

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

E. N. E. P.

A R A G O N.

I N G E N I E R I A

sist. 34651



POTABILIZACION POR MEDIOS DESALADORES EN LA
ZONA DEL LAGO DE TEXCOCO, ESTADO DE MEXICO

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

CESAR FRANKLIN VARGAS GOMEZ

MEXICO, D. F.

1981



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

A mis padres, cuya vida
ejemplar me ha enseñado
más que la meditación y
los libros.

A la Universidad Nacional
Autónoma de México.

A mis maestros y
compañeros

Y en especial a quienes fungieron como
asesores con gran espíritu universitario,
para la plena realización de este trabajo:

Ing. Q. Federico Navarro (U.I.A.)

Ing. C. Salvador Canales de la Parra
(UNAM)

I N D I C E

	PAGINA
PREFACIO	1
CAPITULO I	
GENERALIDADES	6
1.1 Utilización del agua	6
1.2 Sistemas de desalación	12
1.3 Sólidos disueltos	28
1.4 Problemas técnicos que afrontan los sistemas desaladores	30
1.5 Intercambio tecnológico de los sistemas óptimos en México	31
CAPITULO II	
CARACTERISTICAS DE LA ZONA DEL LAGO DE TEXCOCO	32
2.1 Programa parcial "Plan Lago de Texcoco"	32
2.2 Localización geográfica	36
2.3 Situación política	37
2.4 Datos hidrológicos, eólicos y climáticos	37
2.5 Registro de radiación solar y temperatura	38

PAGINA

2.6	Salinidad y sodicidad en la zona	38
2.7	Análisis fisicoquímico del agua contenida en el pozo PP-1	43

CAPITULO III

METODO A EMPLEAR		48
3.1	Opción por el sistema de ósmosis inversa	48
3.2	Principios del proceso ósmosis inversa	49
3.3	Materia en suspensión	67
3.4	Pretratamiento del agua de alimentación	71

CAPITULO IV

DISEÑO DE LA PLANTA		81
4.1	Variables de la presión de alimentación y concentración de sales	81
4.2	Flujo en la membrana y coeficiente de retención	85
4.3	Temperatura	88
4.4	Secuencia en plantas constituidas por permeadores B-9 (permeasep)	92
4.5	Cálculo del N° de permeadores en un ciclo de tres años (vida útil del permeator)	96
4.6	Especificaciones del permeator B-9, 8" 0840-140	104

	PAGINA
4.7 Bombas y equipo	106
CAPITULO V	
CONCLUSIONES	111
5.1 Análisis del costo por metro cúbico de agua depurada	111
5.2 Polución del agua	117
REFERENCIAS	121

"POTABILIZACION POR MEDIOS DESALADORES EN LA ZONA

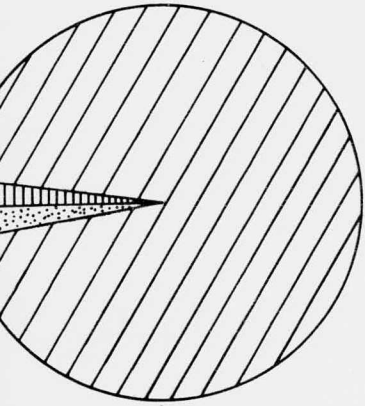
DEL LAGO DE TEXCOCO, EDO. DE MEXICO"

P R E F A C I O

Podemos catalogar al agua, sin exagerar la nota, el elemento vital por excelencia, más valioso de este planeta. Sus particulares propiedades fisicoquímicas han hecho de ella no solo la cuna de la evolución biológica sino también el componente principal de todos los seres vivos (nuestro cuerpo contiene un 60% de agua); su mayor volumen esta en los océanos y es de 1400 millones de kilómetros cúbicos. Cuatro quintas partes de su circulación global se desarrollan sobre el mar, como es la formación de nubes y lluvia en los océanos. Menos de una novena parte de la evaporación oceánica pasa a engrosar el volumen de lluvia sobre la superficie terrestre, para volver al mar en la misma cantidad, a través de los ríos y corrientes subterráneas.

El agua de los océanos contiene aproximadamente el 97.5% del volumen total; en base a este porcentaje podemos observar que la cantidad restante corresponde al agua dulce que es afín: al consumo humano, a la agricultura y a la industria.

Estos volúmenes quedan representados así:



El agua de los océanos representa el 97.50% del volumen total existente.



El hielo de los casquetes polares y montañas contiene el 0.98%.



El agua disponible (a. potable) corresponde al 1.52%

VOLUMEN TOTAL DEL POTENCIAL ACUIFERO

La cantidad de agua disponible en todo el mundo, no solo reside en su escasez sino que su distribución está desbalanceada, como en la extensión de zonas áridas, semiáridas, y desérticas es por eso que el hombre ha procurado crear y/o descubrir nuevas tecnologías para un aprovechamiento equitativo de aquella.

Una distribución adecuada a nivel mundial, de un complejo mecanismo en el que intervienen diariamente alrededor de un billón de metros cúbicos de agua; muy pocas personas son conscientes de lo cerca que estamos también en las zonas templadas, de una bancarrota hidrológica. Más seres humanos necesitan más agua, un mayor cultivo agrícola necesita más agua y, sobre todo, una mayor industrialización, necesita más agua.

He aquí unos ejemplos del requerimiento de este - componente vital: nosotros necesitamos al año y por persona unos 67 m^3 de agua dulce para beber, asearnos y el servicio doméstico, la producción de una tonelada de acero exige 300 m^3 , la de una tonelada de seda artificial 500 y la fabricación de un automóvil promedio 1000 m^3 de agua. Dentro de 20 años, se ha considerado que por el continuo crecimiento de la industria química, - podríamos consumir doble cantidad de agua que la actual; mucho más de la que correspondería al simple crecimiento demográfico.

De cara a estas situaciones tan adversas y complicadas y frente al aumento poblacional a escala mundial, se ha especulado, que el futuro de la humanidad (en este aspecto) estará marcado en relación a los avances científicos en materia de desalación y otras técnicas de reciclaje, para optimizar el empleo y consumo del agua, de los cuales nuestro país en pleno desarrollo de potencial humano, económico y científico-tecnológico no puede ni debe quedarse al margen.

Es realmente increíble que el primer informe de envergadura concerniente a la obtención de agua potable del mar no date más allá del año 1962. Pero puso en marcha un movimiento impetuoso. Tanto en la conferencia atómica de Ginebra en 1964 -

como en las comisiones permanentes de la ONU se da total prioridad a este problema dentro de la tecnología del inmediato futuro, ya que el mar y los acuíferos intercontinentales superficiales y subterráneos encierran la única aportación realizable a nuestro balance hidrológico.

A partir de 1975 se ha convertido la desalación en la fuente más barata de agua dulce, interesante incluso en las zonas templadas, sin olvidar que en este campo están apareciendo nuevas técnicas de gran interés.

Funcionan actualmente en el mundo más de 900 plantas potabilizadoras: 50 de ellas en Kuwait; Inglaterra y los Estados Unidos tienen unas 300 plantas cada uno. En México existen aproximadamente 43 plantas, 29 en funcionamiento y 14 en proceso constructivo, sin incluir las que se han instalado para la C.F.E., así como varias más en estudio de evaluación de resultados, para fines de 1982 serán en México 72 sistemas con 12,400 m³/día en 60 localidades, beneficiando a 110,000 habitantes.

En México el organismo que tiene a su cargo la investigación, el diseño, construcción y mantenimiento de estas plantas potabilizadoras o desaladoras es la Dirección General de Apro

vechamiento de Aguas Salinas y Energía Solar que a su vez depende de la SAHOP.

C A P I T U L O I

GENERALIDADES

1.1 Utilización del agua.

Las clasificaciones de las aguas basadas en los posibles usos a los que se las puede destinar son, sin duda, las más importantes. No obstante, este tipo de clasificación debe ser utilizado siempre con precaución y nunca debe ser aplicado con un criterio demasiado rígido. Por ejemplo, las aguas del océano son, evidentemente, las más inapropiadas para los usos domésticos, agrícolas o industriales; sin embargo, si la obtención de agua dulce en un caso determinado resultara demasiado cara, el agua del mar podría ser utilizada para los usos recreativos, para ciertos lavados, para la refrigeración y para la extinción de incendios.

Un segundo ejemplo en este sentido lo tenemos en las clasificaciones de las aguas destinadas a fines agrícolas. La alfalfa, por ejemplo, que crece en terrenos arenosos, puede tolerar concentraciones de sólidos disueltos mucho mayores que los cítricos, que crecen en suelos arcillosos. En estos casos, el tipo de cultivo y la capacidad de drenaje del suelo son dos factores que deben ser considerados en el momento de estimar la calidad química de un agua destinada a fines agrícolas.

Un tercer ejemplo lo constituyen las clasificaciones de las aguas destinadas a usos domésticos. En algunas partes de Australia y del norte de Africa, así como en otras regiones áridas, muchas personas beben agua con un contenido total de sólidos disueltos superior al doble del límite generalmente recomendado, sin que por ello hayan sufrido efectos nocivos evidentes.

En el cuadro I.I.A está representada una clasificación resumida de la calidad química de las aguas en función de sus diferentes usos.

Las normas sobre potabilidad de las aguas se basan fundamentalmente en dos criterios: 1) en la presencia de olores, sabores y colores desagradables; 2) en la presencia de sus-

tancias con efectos fisiológicos nocivos. En la clasificación que se hace en el cuadro I.I.A los límites de plomo, flúor, arsénico, sulfato, sodio, cloruro, nitrato, selenio y cromo, se basan en los efectos fisiológicos nocivos que pueden producir en el organismo sustancias tales como el sulfuro de hidrógeno, el hierro y el manganeso, pueden ser ingeridas en concentraciones entre 5 y 10 veces superiores a las expuestas en dicho cuadro sin que por ello tengan lugar consecuencias graves, aparentes, para la salud. Los límites óptimos exactos en cada uno de estos iones vienen impuestos por las indicaciones relativas a la salud, talla y edad de cada individuo, así como por el tipo de régimen alimenticio. El clima actúa también sobre los efectos producidos por el agua ingerida y sobre la eliminación de las sustancias tóxicas del organismo.

En los usos domésticos de las aguas suelen ir incluidos los consumos para la bebida, el lavado, la condimentación de los alimentos, las prácticas de higiene y el riesgo de las plantas recreativas. Los límites, de acuerdo con estos usos, se establecen con carácter preventivo sobre ciertos efectos indeseables tales como la formación de depósitos, manchas y producción de olores desagradables, así como también para evitar un consu-

CUADRO I. I. A

CRITERIOS DE CALIDAD SEGUN LOS DIFERENTES USOS.
 LAS CANTIDADES REPRESENTAN LAS CONCENTRACIONES MAXIMAS
 RECOMENDADAS, EXPRESADAS EN PARTES POR MILLON (ppm) = mg/Lt

	Bebida	Usos domésticos comunes		Riego		Refrigeración	Calderas	
		Buena	Baja	Buena	Baja		Alta Presión	Baja Presión
Antimonio	0.05	-	-	-	-	0.05	-	-
Arsénico	0.05	-	-	-	-	0.05	-	-
Bario	1.00	-	-	-	-	1.0	-	-
Bicarbonato	500.0	150	500	200	500	300.0	5	50
Boro	20.0	-	-	0.3	3.0	-	-	-
Cadmio	0.01	-	-	-	-	0.01	-	-
Calcio	200.0	40	100	-	-	80.0	1	40
Cloruro	250.0	-	-	100	300	300.0	-	-
Cromo	0.05	-	-	-	-	0.05	-	-
Cobre	1.0	0.5	3.0	-	-	3.0	-	-
Cianuro	0.2	-	-	-	-	0.2	-	-
Fluoruro	1.5	-	-	-	-	1.5	-	-
Sulfuro de hidrógeno	1.0	0.05	2.0	-	-	0.5	0	5
Hierro	1.0	0.2	0.5	-	-	0.2	-	-
Plomo	0.05	-	-	-	-	0.05	-	-
Magnesio	100.0	20	100	-	-	40.0	1	20
Manganeso	0.05	0.05	0.3	-	-	0.1	-	-
Nitrato	10.00	-	-	-	-	20.0	-	-
Fenol	0.001	-	-	-	-	0.001	-	-
Selenio	0.01	-	-	-	-	0.01	-	-
Sflice	-	10	50	-	-	50	1	30
Plata	0.05	-	-	-	-	0.05	-	-
Sodio	150.0	100	300	50	300	300.0	-	50
Sulfato	200.	100	300	200	500	-	-	-
Detergentes sintéticos	0.05	0.2	1.0	-	-	0.5	0	0
Zinc	5.0	-	-	-	-	5.0	-	-
Total de sólidos disueltos	1,500	300	2,000	500	3,000	1,000	100	2,000

mo excesivo del jabón debido a los elevados índices de dureza. - El agua potable rara vez podrá ser objeto de queja para los usuarios domésticos; sin embargo, un agua que sólo sea sanitariamente tolerable no siempre será aceptable para todos los usos domésticos citados.

El criterio empleado para la utilización de las -- aguas de riego, depende de los tipos de plantas, de las dosis de riego, de la calidad del suelo y del clima local. El cuadro I.I.B clasifica las tolerancias relativas de las plantas frente a la salinidad total. Si un cultivo recibe la mayor parte de su agua a partir de los riegos, su tolerancia frente a las aguas de baja calidad se puede aumentar mediante la administración de fuertes dosis de riego; este hecho es debido a que el exceso de agua administrada sirve para lavar las sales depositadas en el suelo evitando de esta manera la formación de suelos salinos; en general los suelos arcillosos son los que presentan mayores problemas frente a la calidad del agua de los riegos debido a que su drenaje es siempre deficiente, ya que el lavado del exceso de sales acumuladas en el suelo se dificulta considerablemente.

En cuanto a calderas se refiere, la mayoría de las aguas que se utilizan para éstas deben ser tratadas químicamente

antes de su utilización, o bien ser corregidas mediante procesos de intercambios iónicos o, incluso, a veces, deben ser previamente destiladas. Para los usos del agua en calderas sometidas a bajas presiones pueden aceptarse aguas no tratadas pero, en cambio, en las calderas que trabajan a alta presión se requiere un alto grado de pureza. Los límites establecidos en el cuadro I.I.A están destinados a prevenir tanto la corrosión como la incrustación. La práctica más usual recomienda un pH superior a 8.0 para las calderas de baja presión, y de 9.0 para las calderas de alta presión.

CUADRO I.I.B

TOLERANCIA RELATIVA DE LAS PLANTAS FRENTE A LA SAL

Tolerancia baja	Tolerancia media	Tolerancia alta
Peral	Vid	Palmera datilera
Manzano	Olivo	Remolachas
Naranja	Higuera	Espárragos
Almendro	Granado	Espinaca
Albaricoque	Tomate	Hierba de Bermuda
Melocotonero	Col	Cebada
Limonero	Coliflor	Algodón
Aguacate	Lechuga	
Rábano	Maíz	
Apio	Zanahoria	
Haba	Cebolla	
Trébol	Alfalfa	
	Trigo	
	Centeno	
	Avena	
	Girasol	

1.2 Sistemas de desalación.

- Destilación solar
- Compresión de vapor
- Evaporación instantánea por etapas
- Osmosis inversa
- Intercambio iónico
- Congelación
- Electrodialisis

Destilación Solar :
(Aporte gratuito de energía)

La producción de agua potable por este sistema es similar a lo que ocurre en la naturaleza, durante el ciclo del agua, para mantener el balance hidrológico.

- El agua de los mares se evapora, principalmente por el calor de los rayos solares.
- Los vapores de agua de mar, desprovistos de sales, forman el mayor porcentaje de las nubosidades atmosféricas.
- En las nubes, el vapor se condensa y se precipita

ta en forma de lluvia.

La destilación solar, es idónea para satisfacer necesidades individuales, o de pequeños grupos marginados, emplea agua de mar o salobre y produce pequeños volúmenes.

Este sistema está provisto de dispositivos de tipo modular, con charola de fibra de vidrio a dos aguas, el vapor se condensa en la superficie interior de los vidrios y el agua condensada viaja por gravedad, mediante un sistema de canaletas y ductos hasta el colector de agua producto, fig. 1.2.A.

La producción que razonablemente puede esperarse en los destiladores solares tipo modular, depende del valor real de la insolación media horizontal anual y, en condiciones óptimas podría estimarse en 6 litros por m^2 por día.

La cifra promedio anual considerando las bajas sensibles del invierno se estima en 4 a 5.3 litros/ m^2 /día. (estadísticas internacionales Howe, Gomella, Baum).

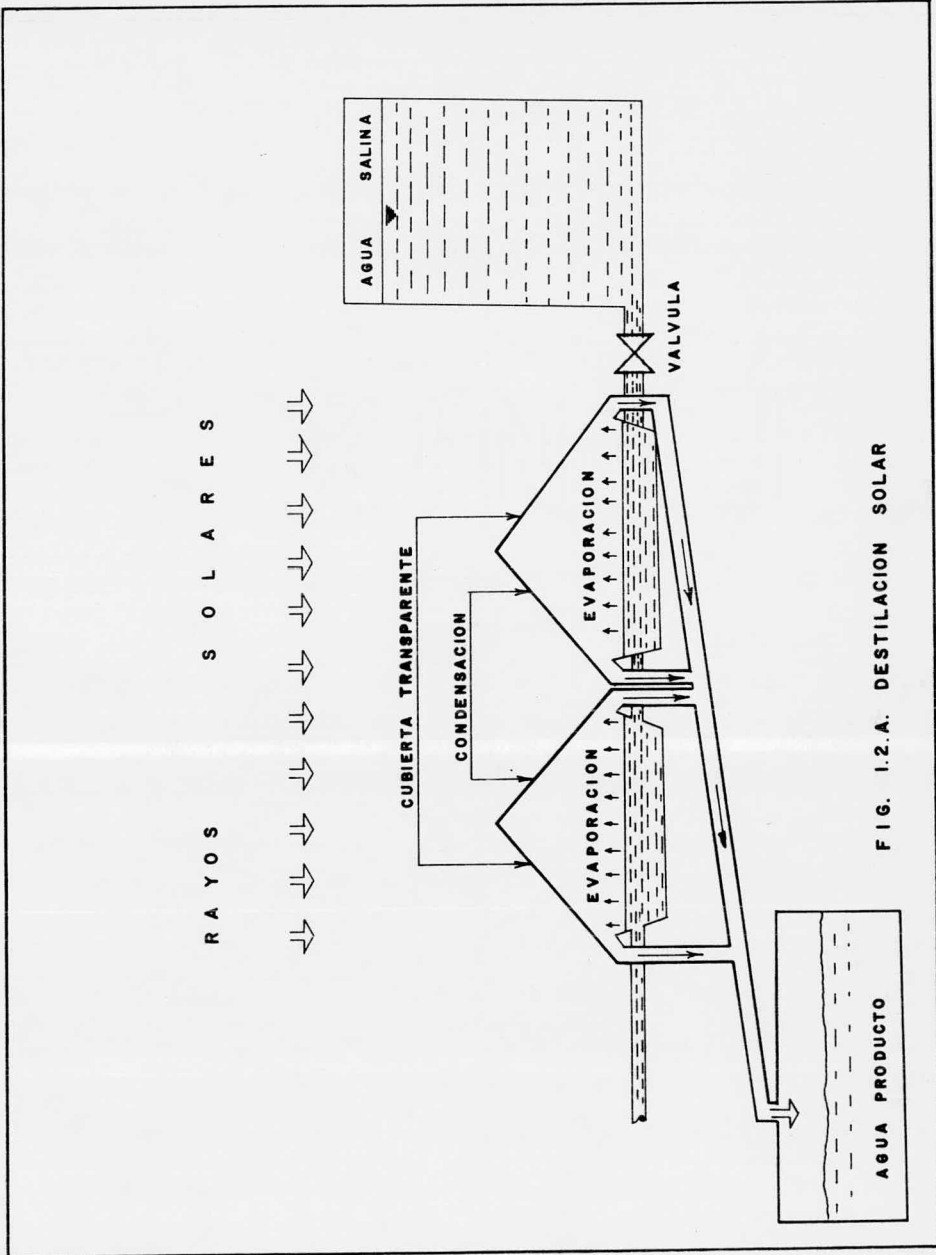


FIG. 1.2.A. DESTILACION SOLAR

Compresión de vapor:

En el dispositivo de la compresión de vapor, el vapor extraído del líquido, es condensado por medio de este propio líquido; es necesario comprimir el vapor producido para llevarlo a una temperatura más elevada que el agua salada en evaporación.

El aparato consta de:

- Una cámara de evaporación-condensación
- Un evaporador de tubos sumergidos
- Un compresor de vapor
- Un intercambiador de calor entre el agua de alimentación, el agua condensada y las purgas de sal muera
- Un sistema de suministro de calor de arranque - con el propósito de facilitar la puesta en marcha y compensar las pérdidas térmicas

Los compresores constituyen el punto de liga de estas instalaciones, por lo que deben ser máquinas de alta calidad y de óptimo rendimiento.

Se deberá considerar la prevención de incrustacio--

nes en los intercambiadores de calor, ver fig. 1.2.B.

Como ventaja principal puede destacarse lo compacto del aparato y su alto rendimiento.

Evaporación instantánea por etapas:

Este sistema se emplea normalmente para desalar grandes volúmenes de agua marina.

El principio de este proceso, consiste en que la cantidad de energía que puede ser almacenada en el agua a su temperatura de ebullición decrece cuando disminuye su presión, que es la que fija la temperatura de ebullición.

A causa de esto cuando la salmuera o agua marina a su temperatura de ebullición fluye a un recipiente con menor presión, el exceso de energía contenido en el líquido produce evaporación.

Este flujo de energía que disipa del líquido actúa de tal forma que la temperatura del agua marina o salmuera desciende hasta el valor correspondiente a la de saturación en esa nueva presión.

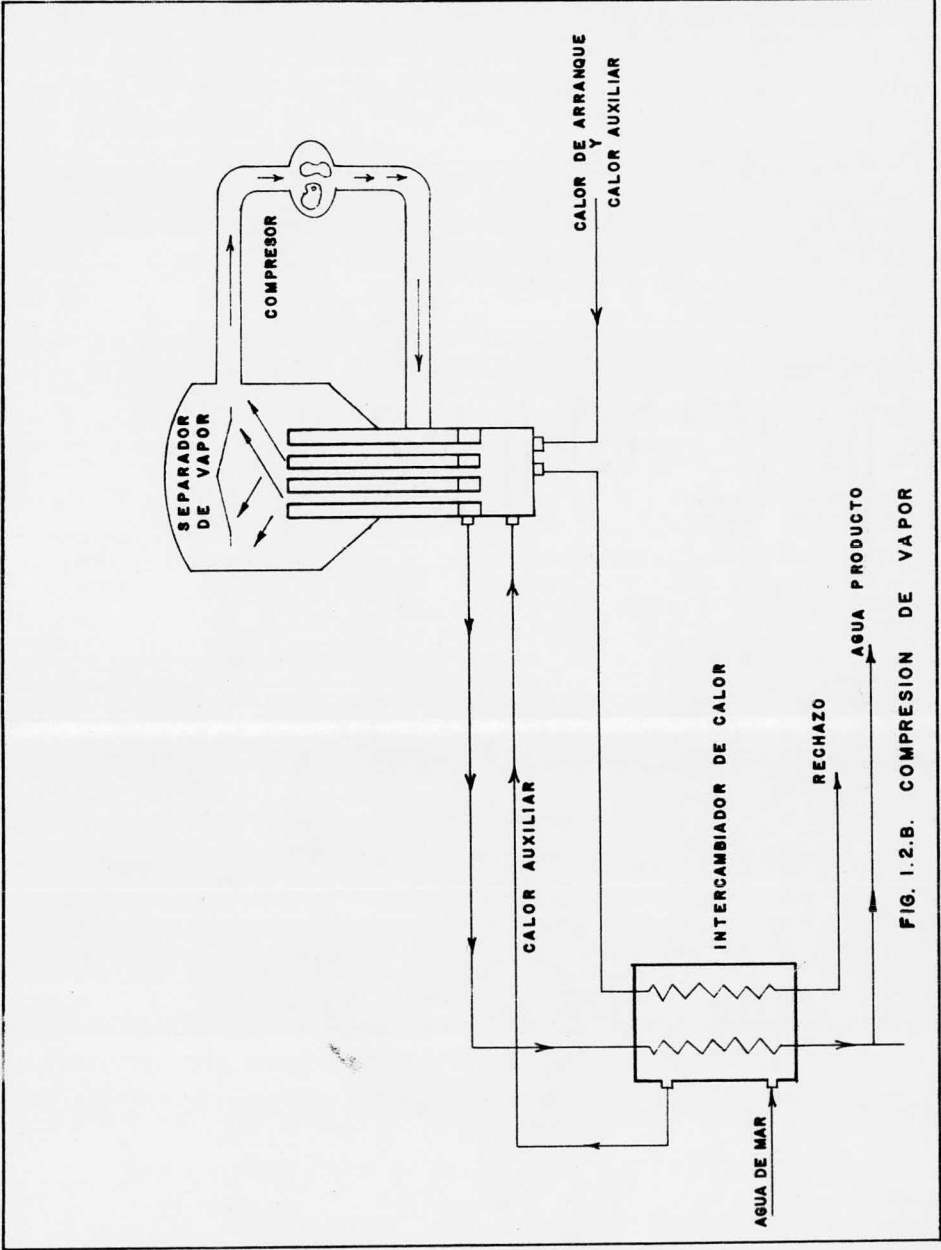


FIG. 1.2.B. COMPRESION DE VAPOR

Posteriormente si la salmuera es transferida a un segundo recipiente cuya presión es menor, el proceso se volverá a repetir y se producirá más vapor y así sucesivamente.

El vapor producido al disminuir la temperatura es condensado en un haz de tubos por cuyo interior fluye agua de mar o salmuera, la cual es precalentada. El condensado así producido, se extrae de la planta y constituye el agua potable generada en el proceso. Ver fig. 1.2.C.

Este proceso se caracteriza porque toda la energía es suministrada al líquido antes de que la ebullición tenga lugar que durante el proceso de evaporación no se suministra energía adicional.

Parte de la energía requerida por la salmuera para el proceso de evaporación, es suministrada en un equipo aparte, como el calentador de salmuera.

Osmosis inversa:

El proceso denominado ósmosis inversa es quizá el método más sencillo para desalar y que parece acercarse a los -

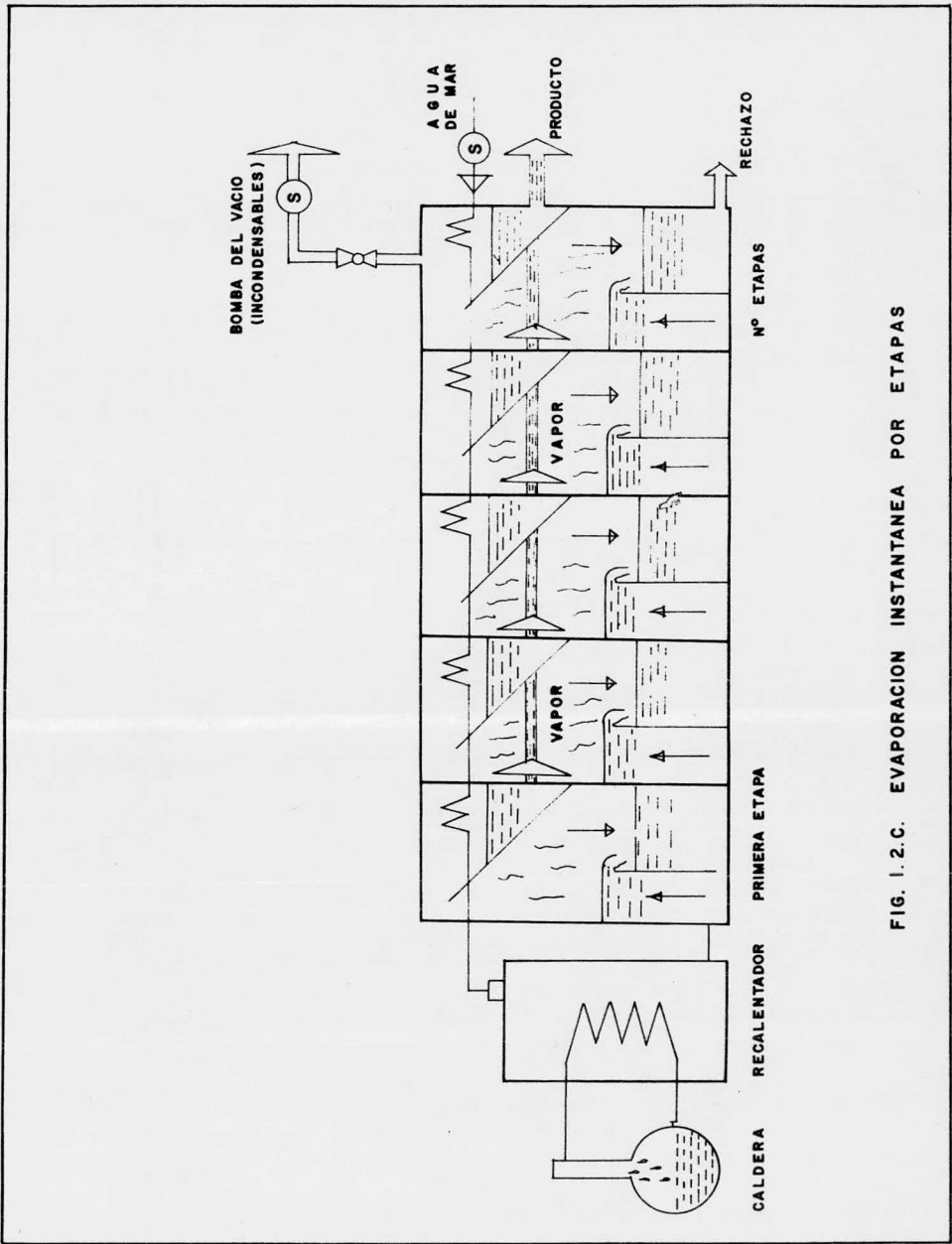


FIG. 1.2.C. EVAPORACION INSTANTANEA POR ETAPAS

mejores rendimientos energéticos.

Recibe este nombre por realizarse el paso de las -
soluciones en forma contraria a los procesos osmóticos normales.

Es decir, las soluciones menor concentradas se des-
plazan, por diferencia de energía potencial, hacia más concentra-
das, a través de una membrana semipermeable, sin necesidad de
aplicar ninguna fuerza externa.

Si a la solución más concentrada, en este caso el -
agua salina se le aplica con presión externa mayor que la presión
osmótica, el solvente, es decir el agua, comenzará a fluir en sen-
tido inverso al mecanismo descrito.

Una forma sencilla de interpretar la ósmosis inver-
sa, consiste en considerarla como un super filtro que tiene la ca-
pacidad de retener los mismos materiales que un filtro común, -
con la diferencia de que además, retiene del 95 al 98% de las sa-
les disueltas y la materia biológica y coloidal presentes en el -
agua.

Otra gran diferencia consiste en que el flujo de ali-
mentación drena a lo largo de la superficie de una de las caras -

de las membranas y una parte las traspasa (producto o permeado), mientras que las impurezas son rechazadas y transportadas por el resto de la alimentación (rechazo o concentrado) en tanto, que en el filtro común el flujo para íntegramente a través del medio filtrante. Ver fig. 1.2.D.

Como aplicaciones prácticas de la ósmosis inversa destacan las siguientes:

- Desalación de aguas salobres y de mar
- Producción de agua para alimentación de calderas y torres de enfriamiento
- Agua para bebidas gaseosas y agua ultrapura
- Tratamiento de efluentes para reducir sólidos, eliminar detergentes, pesticidas y otros componentes tóxicos.

Intercambio iónico:

En su forma más simple consiste en el intercambio de iones de sodio de una solución salina, por iones hidrógeno - proporcionados por una resina sintética intercambiadora de iones, posteriormente la solución se pasa a otra cámara a través de una

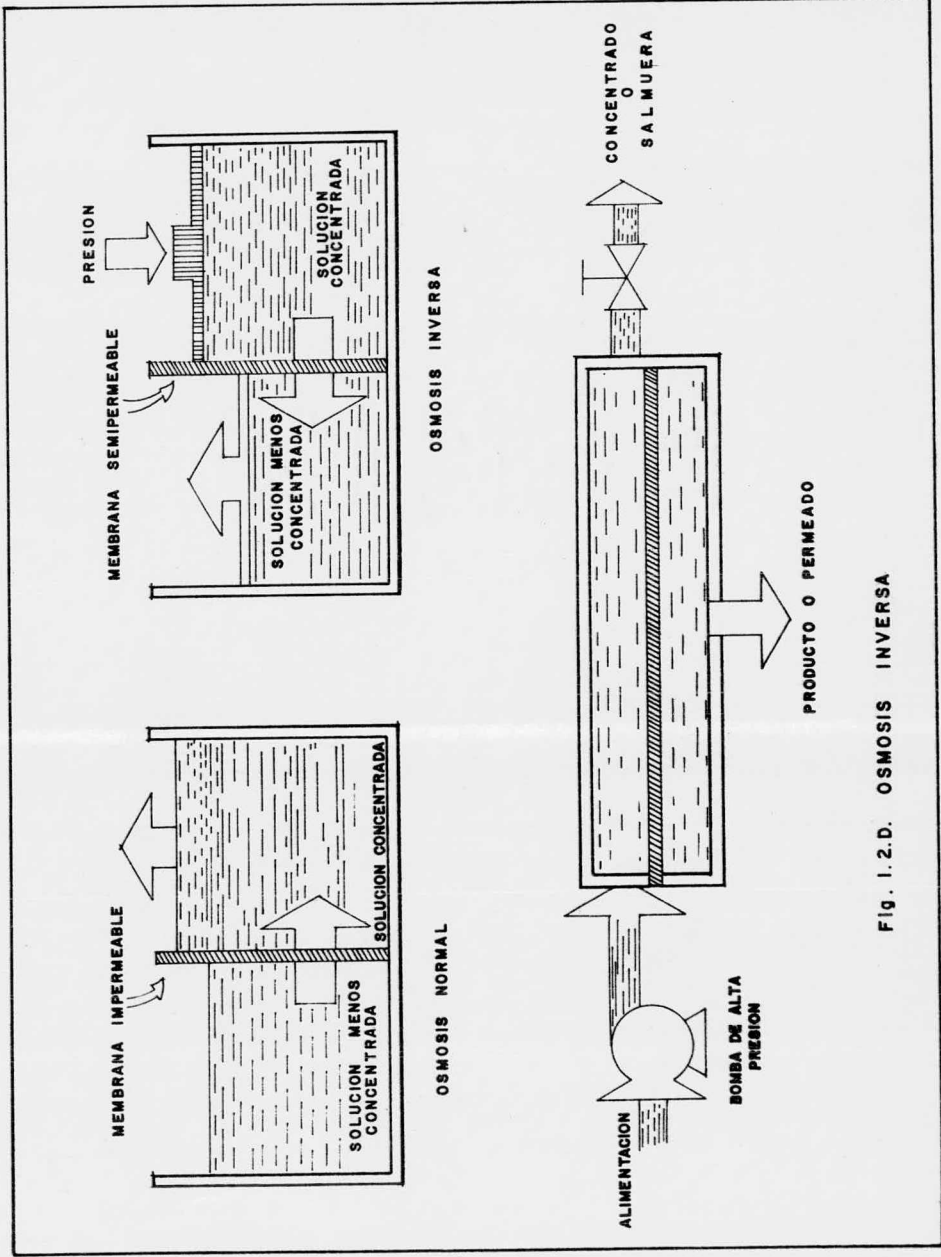


Fig. 1.2.D. OSMOSIS INVERSA

resina diferente que cambia sus iones oxhidrilo por iones cloro - del agua. Al quedar exhaustas estas resinas, se pueden regenerar pasándolas respectivamente por ácido sulfúrico e hidróxido de sodio, que regeneran los iones hidrógeno y oxhidrilo en ambas resinas.

Este proceso funciona para salinidades de cientos - de partes por millón; el consumo de resinas en relación a la cantidad de sal extraída es aproximadamente del 75%, lo que para - altas capacidades lo anula el gran costo de regeneración de las - resinas. Ver fig. 1.2.E.

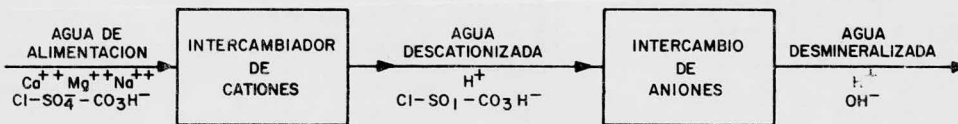


Fig. 1.2.E INTERCAMBIO IONICO

Congelación:

La congelación es un proceso que parte de la fase líquida salada, para obtener una fase diferente (sólida), desprovista de sales.

El proceso consiste en que el agua a tratar, es admitida en una cámara de congelación, donde sufre una congelación parcial, formando pequeños cristales de hielo puro. En la parte baja de la cámara, por un dispositivo apropiado el hielo es separado de la salmuera y canalizado hacia una cámara de fusión (F), que actúa como refrigerador del circuito frigorífico general, que a su vez está interconectado con un compresor (Pp) y un destilador (Dp); las frigorías de fusión son así inyectadas en este circuito.

Como la recuperación de las frigorías no se hace con un rendimiento al 100%, es indispensable usar un circuito frigorífico secundario (Ps y Ds) que suministre el 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 ca

lor permite recuperar parcialmente las frigorías de la salmuera y del agua pura obtenida. Ver fig. 1.2.F.

Electrodiálisis:

Este método se emplea fundamentalmente para --
aguas salobres, (de 1000 a 10000 ppm) utiliza membranas y potencia eléctrica para reducir la concentración de sal desde 6000 ó -
7000 ppm (mg/Lt) hasta agua potable con menos de 500 ppm.

Es conveniente efectuar un pretratamiento para evitar sedimentos y otras impurezas que se incrustan en la membrana y reduce su eficiencia.

El consumo de energía eléctrica está en función directa de la salinidad, debido a esto es antieconómico para aguas marinas. Fig. 1.2.G.

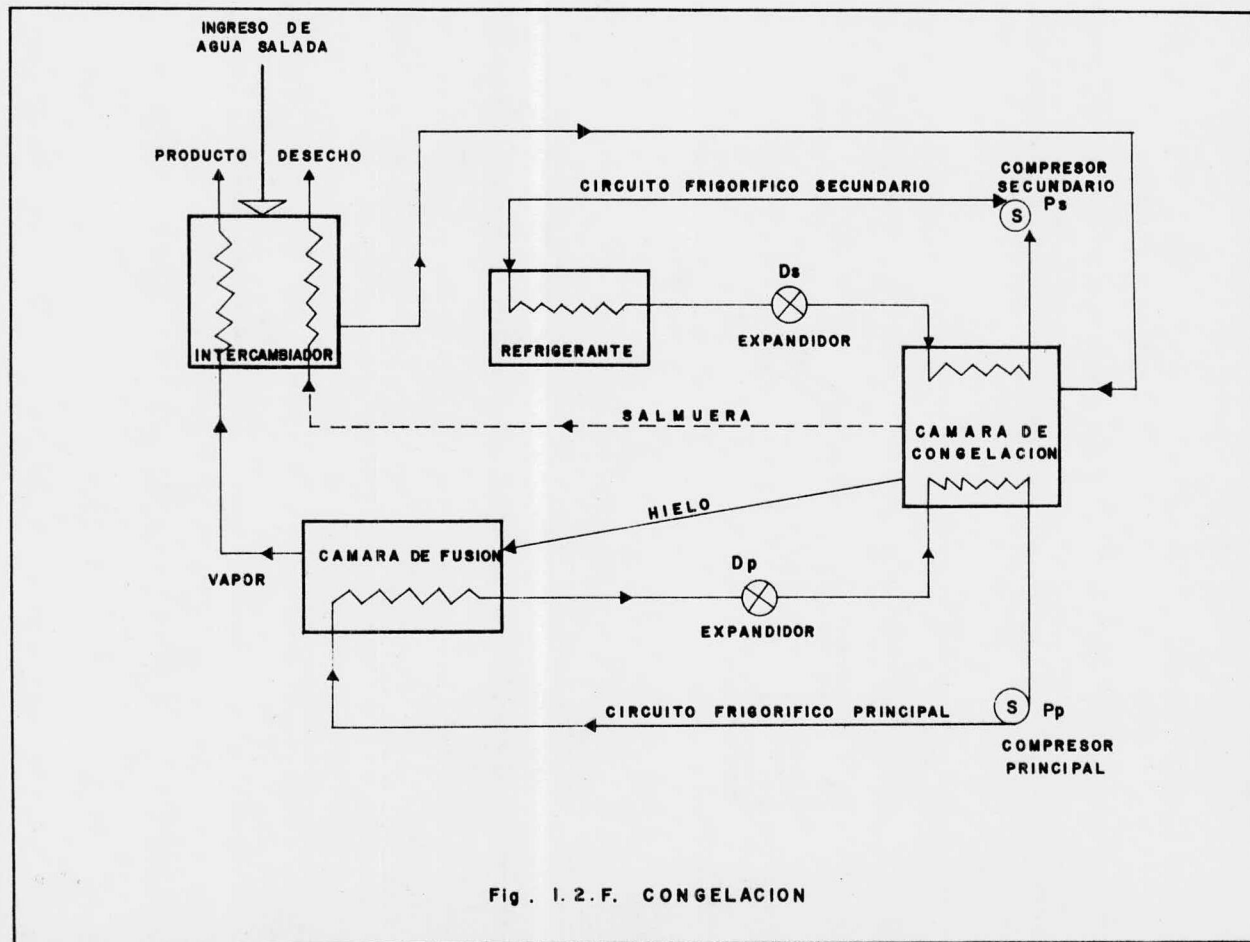


Fig. 1.2.F. CONGELACION

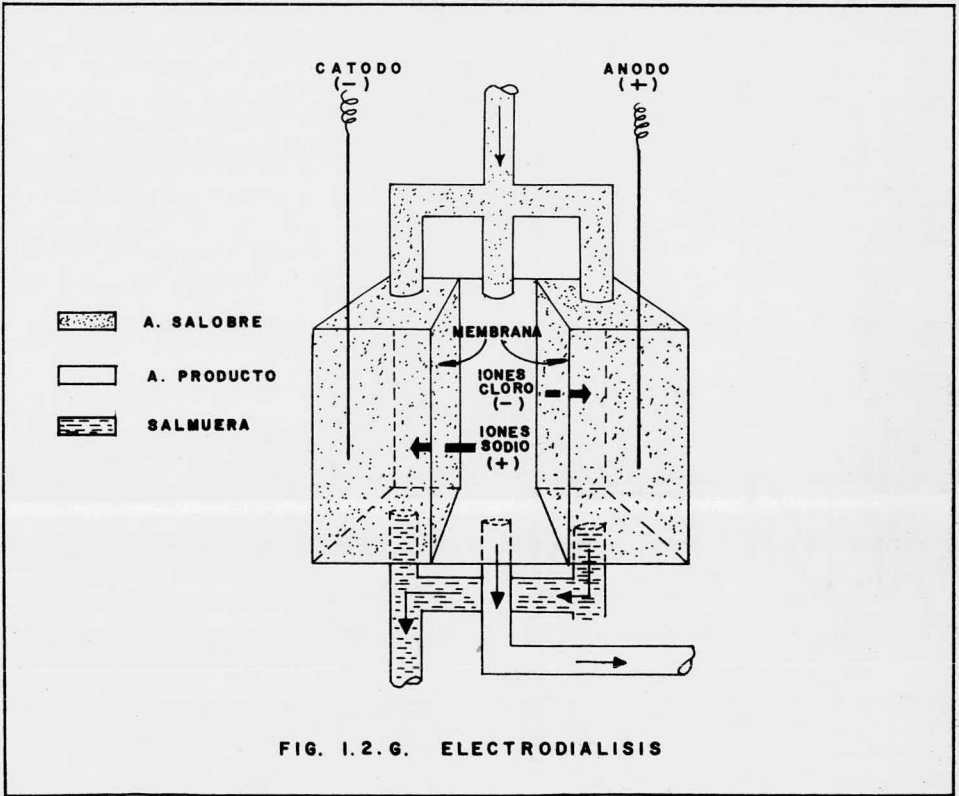


FIG. 1.2.G. ELECTRODIALISIS

1.3 Sólidos disueltos.

Las características químicas y biológicas del agua - determinan su utilidad para los usos industriales, agrícolas y domésticos, estando esto en función directa del total de sólidos disueltos.

El total de sólidos disueltos en una muestra de agua se refiere a todo el material sólido en solución, esté ionizado o no. No incluye, sin embargo, este concepto, a los sedimentos en suspensión, a los coloides ni a los gases disueltos. Teóricamente, si todo el material sólido disuelto pudiera ser exactamente determinado mediante análisis químicos, el total de sólidos disueltos sería la suma numérica de todos los constituyentes determinados.

Un procedimiento para conocer la cantidad de sólidos disueltos en un agua consiste en medir el residuo seco de una muestra sometida a evaporación y secado posterior en una estufa a 180°C, o incluso menos corrientemente, a 110°C, durante una hora (la variación de una temperatura a otra tiene su importancia ya que pueden variar sensiblemente los resultados obtenidos). Sin embargo, la cantidad de sólidos que queda después de estos dos procesos de evaporación y secado no coincide, exactamente con el

total de sólidos disueltos en la muestra original. Ya que los gases disueltos se desprenden, a que el bicarbonato se torna carbonato, a que el sulfato puede depositarse en forma de yeso, reteniendo cierta cantidad de agua, ya que en pequeñas cantidades de magnesio, cloruros y nitratos pueden volatilizarse. No obstante, los residuos secos que quedan después de la evaporación y la medidu de la conductividad eléctrica de un agua, constituye dos procedimientos que, aunque no exactos, dan una idea suficientemente aproximada del contenido total de sólidos disueltos en un agua; la salinidad del agua se obtiene también hoy en día en forma muy sencilla y casi automática con los aparatos llamados salinóme---tros, que permiten prescindir de complicadas valoraciones en el laboratorio.

El total de sólidos disueltos contenidos en las aguas naturales puede oscilar dentro de una amplia gama de valores que pueden ir desde menos de 10 ppm, en el caso de las aguas pluviales y nieve, hasta más de 300,000 ppm en el caso de algunas salmueras. Las aguas destinadas a los usos domésticos e industriales deben contener en la mayor parte de los casos menos de 1000 ppm; las aguas destinadas a usos agrícolas deben poseer también por lo general menos de 3000 ppm, la clasificación es la si-

guiente:

Denominación	Concentración total de sólidos disueltos ppm = mg/Lt
Agua dulce	0 - 1 000
Agua salobre	1 000 - 10 000
Agua salada	10 000 - 100 000
Salmuera	más de - 100 000

1.4 Problemas técnicos que afrontan los sistemas desaladores.

Pese a la aplicación óptima de la termodinámica en desalación y a la disminución máxima de las pérdidas de energía, los procesos de destilación afrontan otros problemas, aún no resueltos en su totalidad:

- 1) El comportamiento de las sales disueltas en el agua en condiciones particulares de temperatura y presión.
- 2) Los fenómenos de corrosión.
- 3) Los mecanismos de incrustación, en ocasiones demasiado rápidos, sobre las superficies de los

intercambiadores de calor.

Cabe mencionar que en relación al grado de salinidad del agua, en todos los procesos de desalación, el agua de alimentación requiere un pretratamiento, salvo en la destilación solar, siendo este tratamiento adecuado, según las propiedades fisicoquímicas del agua de ingreso.

1.5 Intercambio tecnológico de los sistemas óptimos de México.

<u>Sistema</u>	<u>Técnica de Fabricación Méxicana</u>	<u>Importación</u>
Destilación solar	100%	0
Compresión de vapor	60%	40%
Evaporación Instantánea por etapas	90%	10%
Osmosis inversa	65%	35%

C A P I T U L O I I

CARACTERISTICAS DE LA ZONA DEL EX-LAGO DE TEXCOCO

2.1 Programa parcial "Plan Lago de Texcoco".

En base a la continúa acción de evaporación a través de los siglos, las características de las aguas del lago de Texcoco se vieron alteradas en virtud de que la concentración de sales contenidas aumentaba dando lugar a aguas bastante salinas, incrementándose al mismo tiempo la concentración de las sales en los suelos del fondo del lago.

La función reguladora del lago se ha modificado con obras como el emisor poniente, construídas para desviar las aguas de esa zona que antes desfogaban a éste, con el resultado de que su área es ahora demasiado grande para cumplir su fun--

ción reguladora y el área desecada es demasiado extensa, principalmente durante el estiaje, sin embargo, esta función es todavía importante porque continúa recibiendo las aportaciones de los ríos de oriente del valle y los drenajes pluviales del sur de la ciudad.

Las superficies desecadas están desprovistas de vegetación en su mayor parte, debido al alto contenido de sales que se acumulan en los suelos y limitan los espacios vegetales que pueden prosperar en estas superficies.

Dentro del proyecto "Plan Lago de Texcoco" se han distribuido y dividido las áreas, de la siguiente forma:

Lagos	:	2,200 Ha.
Areas de vegetación	:	6,200 Ha.
Parques públicos	:	1,000 Ha.
Posible ampliación del Aeropuerto Internacional	:	950 Ha.
Vivienda	:	500 Ha.
Uso industrial (Sosa Texcoco)	:	3,650 Ha.
Area total	:	14,500 Ha.

El plan Lago de Texcoco se proyectó en dos etapas. En el período 1971-1976, se realizó la primera etapa que comprende la construcción de los lagos Churubusco y Texcoco Sur, la planta de tratamiento de aguas negras con una capacidad de $2 \frac{\text{m}^3}{\text{S}}$; el sistema de riego para intercambio de aguas y las obras de bombeo y conducción de agua potable, además la formación de viveros, la forestación y el establecimiento de pastizales en 3,100 Ha. del lago como evaporadores con el objeto de recolectar salmueras.

En la segunda etapa 1977-1989 se construirán los lagos: Texcoco Norte, de desviación combinada y de regulación horaria. También se concluirán los programas de forestación y pastizales. Ver el croquis de la fig. 2.1.A.

En la zona del lago de Texcoco se ha especulado hace algunos años en la posibilidad de instalar una planta desaladora, mediante el bombeo de pozos profundos de agua salobre y de esta forma aprovechar el agua producto (agua dulce), para uso municipal abasteciendo parcialmente a poblaciones aledañas como Cd. Netzahualcoyotl y Ecatepec.

Por otra parte se ha planeado la posibilidad de dotar a la Industria Sosa Texcoco, S.A. de la salmuera concentrada

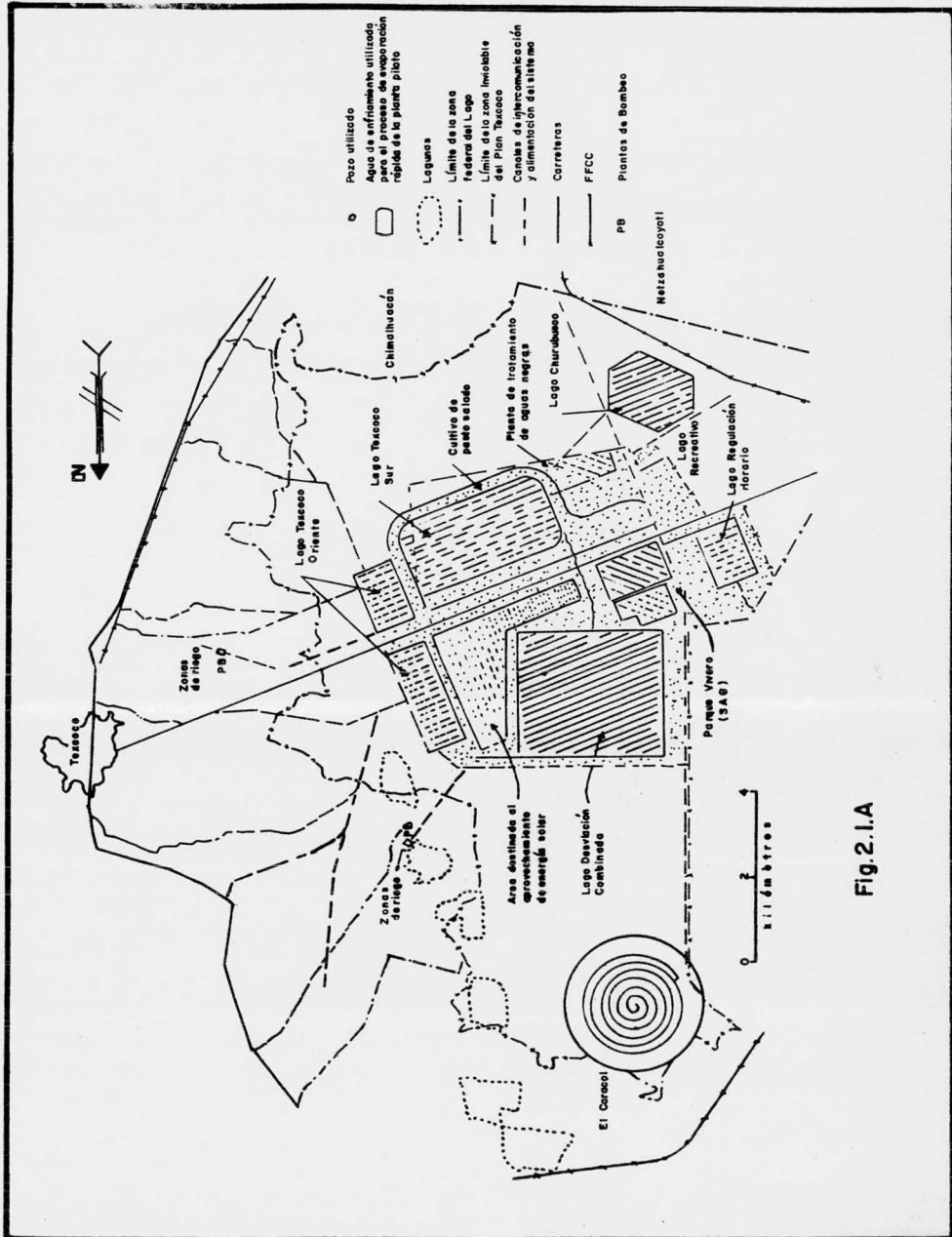


Fig. 2.1.A

residual obteniendo carbonato de sodio y sosa cáustica. Amortizando de esta forma parcial o totalmente los costos del agua producto; tomando como base la disponibilidad del volumen de agua subterránea y el déficit de abasto, se ha estimado una producción de agua potable del orden de $200 \text{ m}^3/\text{día}$ o más a partir de aguas salobres.

Actualmente se extrae del subsuelo de la zona del lago, agua con salinidades que varían de 500 a 80,000 ppm. Provocando la consolidación de las arcillas; los lagos construídos y por construir almacenarán aguas de diversa procedencia: de pozos, negras tratadas y de los ríos oriente y poniente de la zona que se desea no estén polucionados.

2.2 Localización geográfica.

El área que incluye el ex-lago de Texcoco, se encuentra dentro del Valle de México y ocupa la sección sur de la Mesa Central de la República Mexicana, en una planicie cuya altitud media es de 2,200 m.s.n.m. y una presión atmosférica de 585 mm.

La superficie de estudio queda comprendida dentro

de las siguientes coordenadas geográficas:

Latitud N 19° 22' y 19° 37'

Longitud W 90° 54' y 99° 03'

2.3 Situación política.

La zona estudiada abarca parte de los siguientes -
municipios: Texcoco, Tezoyuca, Acolman, Atenco, Chicoloapan, -
Chimalhuacán, Ecatepec y La Paz, perteneciendo al Estado de Mé -
xico y limitando con el Distrito Federal, esta área comprende -
32,208.40 Ha.

2.4 Datos hidrológicos, eólicos y climáticos.

Promedio anual de precipitación pluvial (en 52 años) -
595 mm.

Promedio de evaporación neta anual (en 5 años) -
1,644 mm.

Promedio anual de humedad relativa (en 3 años) -
55%.

Promedio por año de vientos dominantes con dirección NE de 2.3 a 4.1 m/seg.

La 1a. determinación del clima está basada en el segundo sistema de Thornthwaite, resultando ser: semiseco con pequeño o nulo excedente; templado frío, con baja concentración térmica en el verano.

La 2a. clasificación según Köpen y las modificaciones de Enriqueta García, fue denominado: semiseco con verano fresco (temperatura del mes más caliente, inferior a 18°C) y lluvioso, e invierno con un total de lluvia de 5% del total anual.

2.5 Registros de radiación solar y temperatura.

Las gráficas de insolación, radiación y temperatura se encuentran en las gráficas 2.5.A - 2.5.D respectivamente.

2.6 Salinidad y sodicidad en la zona.

La etiología de las sales solubles del suelo son minerales y rocas de la corteza terrestre, que al estar bajo el efecto de los procesos de intemperización física y química liberan -

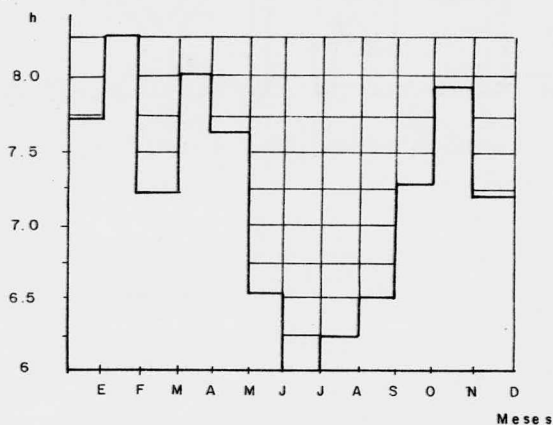


Fig.2.5.A Horas de insolución promedio diario – mes (promedio en 10 años)
 promedio de insolución horas- año 220



Fig.2.5.B Promedio de radiación recibida, cal/cm² día- mes valor medio
 anual 463 cal/cm² día- mes

Temperatura °C

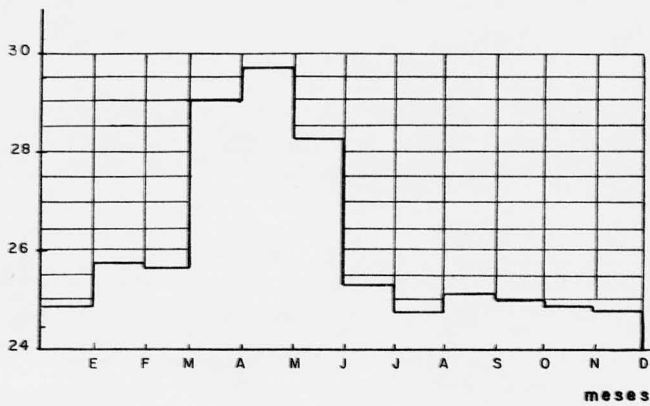


Fig.2.5.C Temperatura máxima promedio (diurno) mes-13años

Temperatura °C

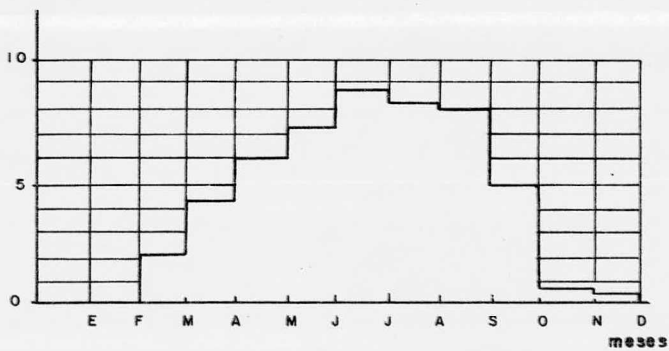


Fig.2.5.D Temperatura promedio (nocturna) mes-13 años

gradualmente los componentes de las sales quedando disueltos en el agua.

En el caso del área del Ex-Lago de Texcoco, el principal factor que ha influido en la salinización de los suelos se atribuye a que la evaporación es mucho mayor que la precipitación, lo que trae como consecuencia que se concentren las sales disueltas en el agua. También ha contribuido el haber sido una cuenca confinada; donde no había escape de las aguas que se almacenaban.

Por otra parte, el manto freático presenta altos contenidos de sales y se localiza a poca profundidad, lo cual unido a la fuerte evaporación fomenta el ascenso de sales por capilaridad y las concentra en la superficie; en cuanto a los altos contenidos de sodio intercambiable que se presentan en los suelos del Ex-Lago, estos se deben a una posible reducción biológica.

Mejoramiento de suelos salinos y/o sódicos.

Suelos salinos. - Estos suelos se están tratando por medio de lavados, aplicando láminas de agua con objeto de disolver y transportar las sales solubles hacia profundidades fuera de la influencia de la zona radicular, o bien drenarlas artificialmente.

Suelos sódicos no salinos.- Estos suelos contienen gran cantidad de sodio intercambiable absorbido en el complejo coloidal, por lo que las prácticas que se emplean para su mejoramiento son la aplicación de mejoradores químicos que promueven el intercambio de sodio por calcio y posteriormente efectuar lavados para eliminar las sales de sodio. En este caso también es necesario un sistema de drenaje adecuado.

Suelos salino-sódicos.- Las actividades para el mejoramiento de estos suelos son las mismas que las indicadas en el caso anterior, sin embargo, cuando se efectúa el lavado de los suelos, antes de la aplicación del mejorador químico, se obtiene una mayor eficiencia en la sustitución del sodio intercambiable, pero también se presenta el inconveniente de que el suelo se transforma en sódico-no salino originando disminución de su permeabilidad.

La aplicación del lavado de suelos antes o después del mejorador químico, estará en función de sus características de permeabilidad.

2.7 Análisis fisicoquímico del agua contenida en el pozo PP-1

Se seleccionó este pozo, como prototipo, ya que está dentro de la clasificación de agua salobre y pozo profundo, implicando así un gasto máximo de 160 lt/seg como se muestra en la curva de gastos, fig. 2.7.A, la localización del pozo se encuentra en el croquis, fig. 2.7.B.

DIRECCION GENERAL PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS SALINAS (DEPARTAMENTO DE CONTROL QUIMICO) SAHOP. 1978

Estos datos son valores medios que fueron determinados a diferentes profundidades, a lo largo del pozo.

CARACTERES FISICOS

Temperatura		22 °C	
Color		Incoloro	
Conductividad específica		3143 Mmhos/cm	
Sólidos totales		2,300 ppm	
pH		7.05	
Turbiedad		N.D.	
		<u>ppm</u>	<u>MEq/L</u>
Cloruro de sodio	NaCl	1600	
Sólidos disueltos		1900	

DETERMINACIONES

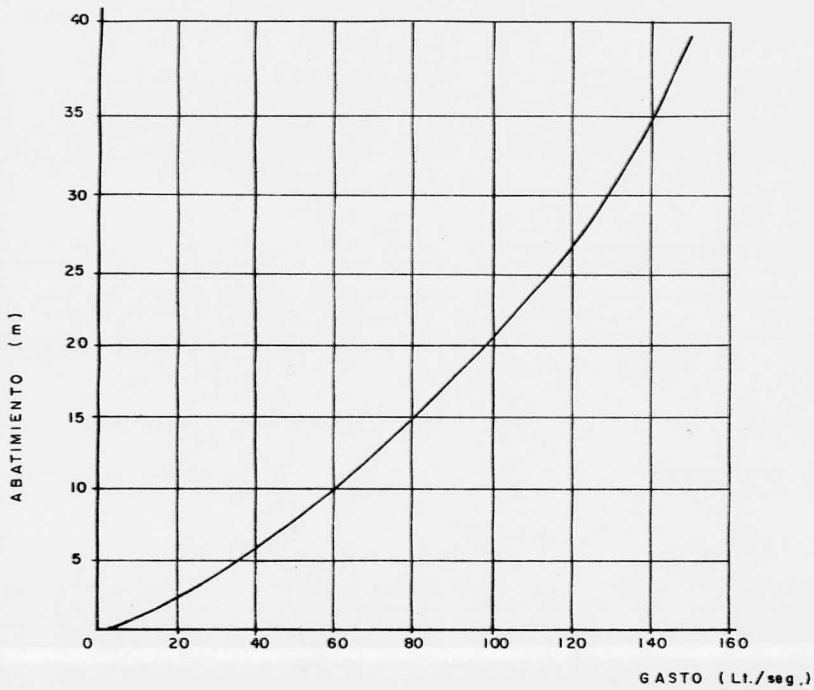
Dureza de calcio	CaCO ₃	657	13.1
Dureza total	CaCO ₃	1,081	21.6
Alcalinidad fenoftaleína	CaCO ₃	0	0
Alcalinidad total	CaCO ₃	680	13.6
Cloruros	Cl ⁻	561	15.8
Sulfatos	SO ₄ ⁼	1.0	0.01
Fosfatos	PO ₄ ⁼	0.07	2 x 10 ⁻³
Fluoruros	F ⁻	N.D.	—————
Sílice	SiO ₂	85	2.8
Bicarbonatos	HCO ₃	830	13.6
Carbonatos	CO ₃ ⁼	0	0
Oxidrilos	OH ⁻	0	0
Nitratos	NO ₃ ⁼	0.03	5 x 10 ⁻⁴
Nitritos	NO ₂ ⁼	6.52	0.142
Calcio	Ca ⁺⁺	262	13.1
Magnesio	Mg ⁺⁺	102	8.5
Sodio	Na ⁺	212	9.2
Potasio	K ⁺	21	0.5
Fierro	Fe ⁺⁺⁺	0	0

Cobre	Cu^{++}	0.02	6.3×10^{-4}
Plomo	Pb^{++}	0	0
Aluminio	AL_2	0	0
Amoniaco	NH_4^+	3	0.2
Litio	Li^+	0.9	0.13
Oxígeno disuelto	O_2	3	0.4
Bióxido de carbono	CO_2	24	0.5
Acido sulfhídrico	H_2S	N.D.	

N.D. = No determinado

Análisis bacteriológico : Menos de 2 coliformes/100 ml

Desarrollo de bacterias mesofílicas
aerobias.



Gasto máximo = 150 Lt/seg
Abatimiento máximo = 37.76 m
Nivel estático = 5.96 m
Capacidad específica = $\frac{Q \text{ máx.}}{\text{Abatimiento máx.}} = 4.105 \text{ Lt/seg/m}$

Fig.2.7.A Curva de gastos del PP-1

- SIMBOLOS**
- PS Pozo somero
 - ▣ PA Pozo de agua
 - PP Pozo profundo
 - EP Estacion piezometrica
 - ▲ BNP Banco de nivel profundo

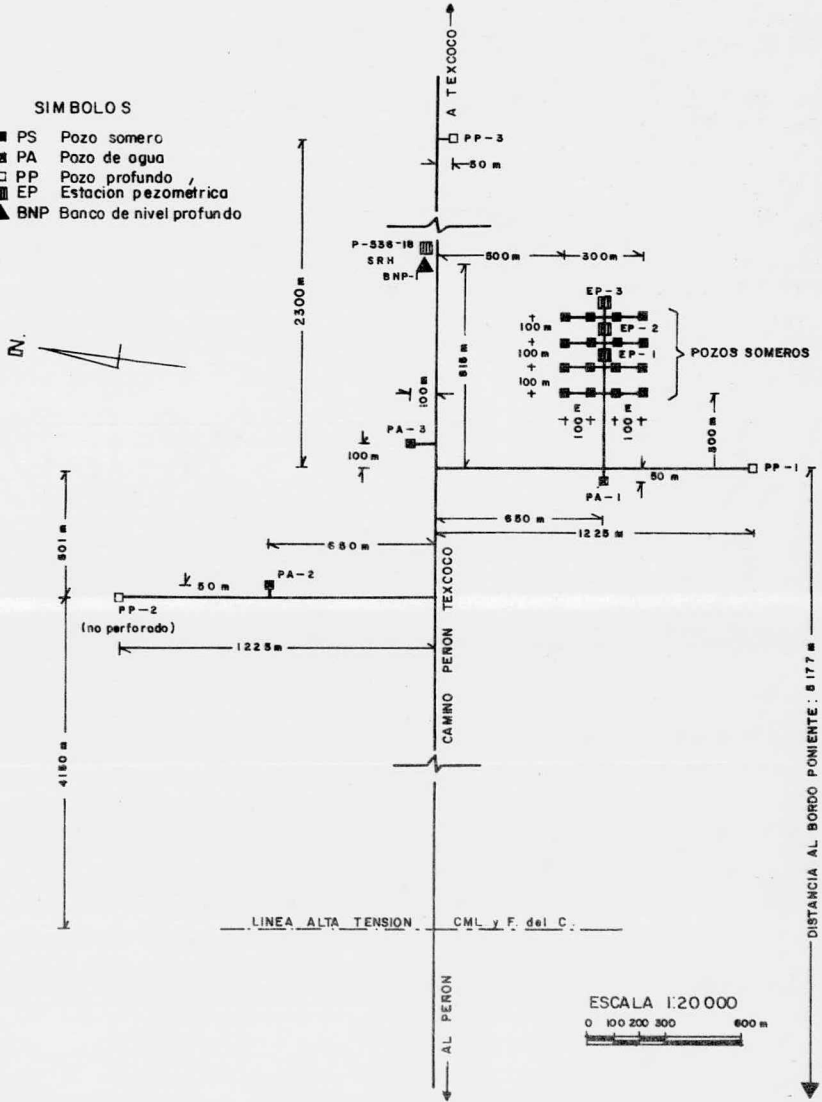


Fig.2.7.B LOCALIZACION DE LOS POZOS Y ESTACIONES PIEZOMETRICAS

C A P I T U L O I I I

METODO A EMPLEAR

3.1 Opción por el sistema de ósmosis inversa.

Se ha seleccionado este sistema ya que otra posible alternativa como sistema podría ser, el denominado Destilación Solar, pero en vista de los registros de insolación y radiación que son de: 220 h-año y 463 cal/cm^2 día-mes, como fue mostrado en el subtema anterior, estas cantidades no están dentro de los límites aceptables para lograr que el sistema alcance la función objetivo.

La decisión de montar una planta de ósmosis inversa también se atribuye a los análisis fisicoquímicos del agua ya que estos si cumplen con las características deseables para los -

módulos de ósmosis inversa, dentro de las propiedades más relevantes para este sistema están: el relativo bajo contenido de sólidos disueltos y sólidos totales así como las ppm de cloruro de sodio, que se encuentran dentro de las cantidades aceptables. El proceso de ósmosis inversa es uno de los más simples y que se encuentra cerca de los rendimientos energéticos óptimos y dentro de las características de la zona en estudio. Así pues de las aguas extraídas del pozo que tomamos como modelo, que en este caso es el pozo profundo 1, se efectuará el ensayo de potabilización utilizando una planta de ósmosis inversa para un período de vida útil de los permeadores de 3 años a partir de la fecha de "puesta en marcha"; esperando lograr un paso de sal en el agua producto de menos del 10%

3.2 Principios del proceso ósmosis inversa.

En su más simple representación la OI es un sistema que consta de una membrana que actúa como un filtro molecular para extraer de un 95 a 99% los minerales disueltos, y de 95 a 97% de materia orgánica.

Para la mejor comprensión de como trabaja la OI -

consideramos la ósmosis natural. En la fig. 3.2.A el agua depurada es separada de la solución salina por una membrana semi-permeable, la cual permite el acceso rápido del agua depurada, pero retarda el flujo de los sólidos disueltos. La ósmosis es el proceso natural donde el agua purificada fluye a través de la membrana hacia una solución concentrada. El agua continúa fluyendo hasta que la presión originada por la carga osmótica sea equivalente a la presión osmótica de la solución salina, a este fenómeno se le denomina equilibrio osmótico. Ver fig. 3.2.B.

Si la presión osmótica es invertida (como se muestra en la fig. 3.2.C) mediante la aplicación de una presión externa, el flujo se invierte de sentido y el agua pura es extraída de la solución concentrada, a este fenómeno se le denomina ósmosis inversa.

El diagrama de flujo de un sistema típico de OI está representado en la figura 3.2.D. La presión aplicada al flujo de alimentación es continua, y es producida por una bomba de alta presión; el producto tamizado (o salmuera) es continuamente evacuado.

Los sólidos disueltos, rechazados por la membrana

Fig. 3.2.A
Flujo Osmótico

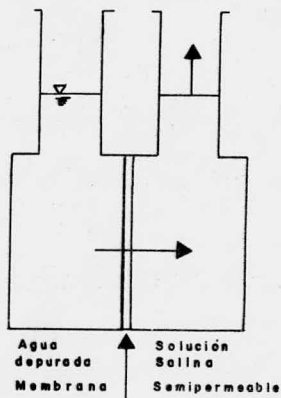


Fig. 3.2.B
Equilibrio Osmótico

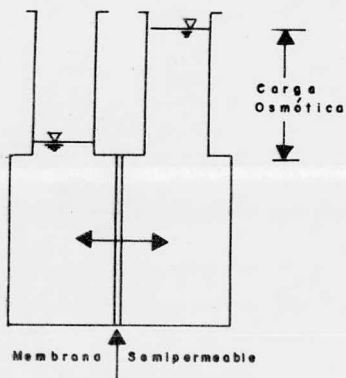
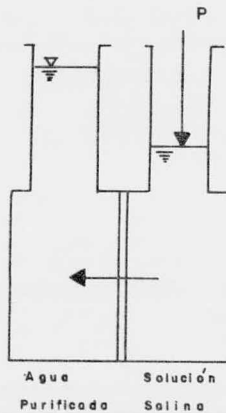


Fig. 3.2.C
Ósmosis Inversa



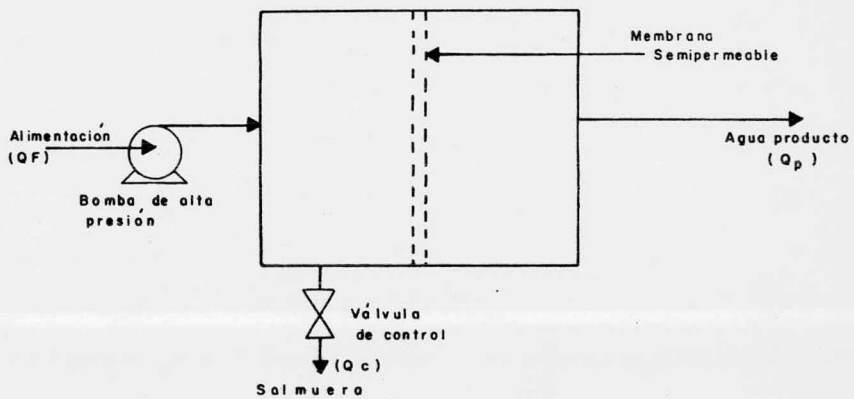


Fig. 3.2.D Diagrama de Flujo O.I.

son arrojados en forma constante, del sistema; de este modo el rechazo tiene un alto contenido de sólidos disueltos, mientras que el producto presenta un nivel muy bajo.

Representación de variables:

Dos ecuaciones que definen el paso de solventes (agua) y la solución (sólidos disueltos) a través de la membrana semipermeable son las siguientes:

$$Q_w = \frac{K_w (AP - A\Pi)}{t} \quad (1)$$

$$Q_s = \frac{K_s (AC) A}{t} \quad (2)$$

donde:

Q	=	Flujo de sal o agua a través de la membrana
K	=	Permeabilidad de membrana
W	=	Agua
S	=	Sal
AP	=	Presión diferencial aplicada
AΠ	=	Presión diferencial osmótica
AC	=	Concentrado de solución, diferencial

- A = Area de membrana
 t = Espesor de membrana

Estas dos ecuaciones ilustran el concepto de flujo - del agua a través de la membrana, siendo proporcional a la presión diferencial aplicada.

Una forma de obtener el porcentaje de producción - está representado por la ecuación:

$$Y = \frac{Q_p}{Q_f} (100) \quad (3)$$

donde:

- Y = % conversión
 Q_p = Gasto de agua producto
 Q_f = Gasto de alimentación

Esto simplemente significa que si operamos al 75% la conversión de 100 lt producirá 75 lt de agua potable y 25 lt - de rechazo de sales disueltas.

La producción de agua depurada en volúmenes considerables, reduce los costos de bombeo y también bajas en las pérdidas del gasto de rechazo. La mayor parte de los sistemas

de OI operan en un rango de conversión del 75-80%. En algunas - ocasiones conviene operar en un gradiente bajo de conversión debido a que la posibilidad de precipitación de las sales disueltas - hacia el acceso de ingreso es alta.

El término "acceso de sal" esta definido por la ecuación:

$$Sp = \frac{Cp}{Cf} \quad (100) \quad (4)$$

donde:

- Sp = % acceso de sal
 Cp = Concentración salina en el volumen producto
 Cf = Concentración salina en el volumen ingreso

En las ecuaciones (1) y (2) se mostró que la cantidad de flujo producido es proporcional a la presión diferente aplicada, siendo que no ocurre lo mismo en el flujo salino.

En la fig. 3.2.E se presenta el efecto originado por la reducción de presión con el modelo de dispositivos de OI. Disminuyendo la presión aplicada en un punto en este caso de 29 - Kg/cm² resulta una disminución en el gasto del agua producto y

un incremento en el paso de sales. El incremento en el paso de sal no contradice el principio básico, en el cual el flujo salino - sea independiente de la presión ejercida. El aumento simplemente origina que menos volumen de agua sea filtrada con la reducción de presiones y consecuentemente existiría menor dilución de sal que filtra dicha membrana.

El nivel de conversión seleccionado en el diseño de una planta, afecta el rendimiento en el término de acceso de sal, fig. 3.2.F. Esta gráfica nos indica que el porcentaje de conversión bajo condiciones de 29 Kg/cm^2 y $1,500 \text{ ppm}$ de NaCl, no se deberá exceder más allá del punto de intersección, es decir que la cantidad óptima de conversión es aproximadamente de 78% para lograr un máximo gasto y una cantidad mínima de sal infiltrada.

Dispositivos de OI.

El punto fundamental para el diseño de un dispositivo o, una pieza del equipo de OI es lograr un bloque de membrana muy fino. El gasto o flujo a través de la membrana es directamente proporcional a el área de la membrana e inversamente -

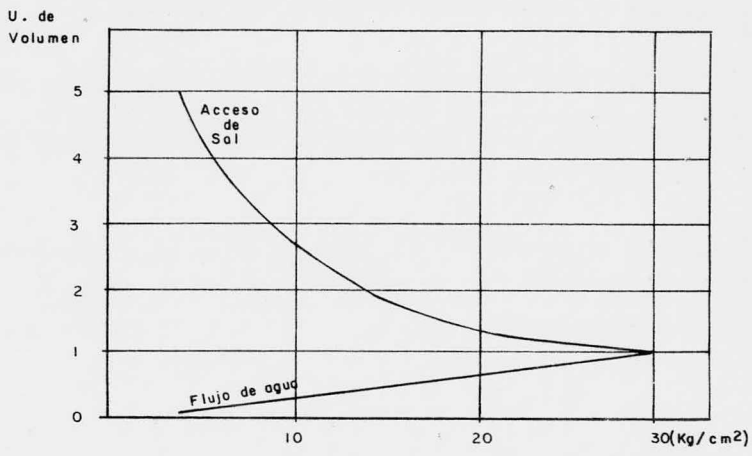


Fig. 3.2.E Efectos de variación de presiones

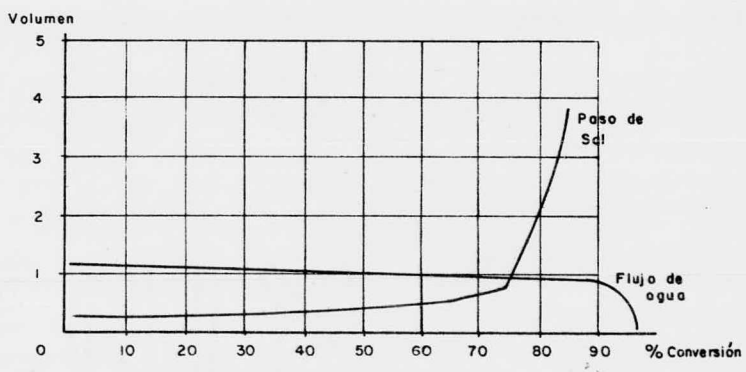


Fig. 3.2.F Efectos de conversión

proporcional al espesor. Sin embargo se desea, lógicamente, encontrar algunos medios para lograr la mayor área posible con el menor espesor. Esta consideración y muchas otras varían el grado de importancia; actualmente se diseñan tres tipos de dispositivos para cubrir la membrana:

- 1) Dispositivo tubular
- 2) Hojas de material poroso
- 3) Fibra hueca

Dispositivo tubular. - Su funcionamiento es el más simple; fue el primer dispositivo comercial que fue desarrollado, fig. 3.2.G.

La membrana es ya sea, insertada dentro del tubo o el tubo es cubierto por aquella; la superficie porosa del tubo es diseñada para soportar altas presiones. El agua de ingreso o de alimentación es introducida bajo presión al tubo y el agua producto se filtra a través de la membrana y el tubo, en seguida es enviada hacia afuera. El rechazo o salmuera sale del tubo.

Este dispositivo tuvo gran auge en la década de los 60 y un gran número de sistemas fueron instalados especialmente

en aplicaciones a procesos carentes de agua, justamente como fil
tros de separación de algunos componentes químicos de alimentos
o fármacos. En general el costo de este sistema reside básica--
mente en el área de membrana muy pequeña y por ende la producci
ón por unidad de volumen es baja originando costos elevados, para
el tratamiento de aguas.

Hojas de material poroso.- Este dispositivo ha lo--
grado el mayor adelanto a los esfuerzos por obtener grandes --
áreas por unidad de volumen de almacenamiento, es decir se ob-
tienen volúmenes considerables de agua producto, fig. 3.2.H.

La unidad emplea una hoja de membrana sujeta en -
ambos lados por un material poroso utilizado para la distribución
del flujo, y como soporte de membrana. Este es aglutinado en tres
puntos formando un abrigo.

Fibra hueca.- En 1970, la División Técnica de Pro-
ductos Du Pont introdujo el permeator de fibra hueca fina B-9, es
este nuevo dispositivo y la membrana aramid fueron producto de toda
una década de investigaciones y desarrollo; la fig. 3.2.I ilus-
tra la asimetría típica de la membrana B-9. Las fibras son asi-
métricas y poseen una cubierta rígida en la superficie, la cual -

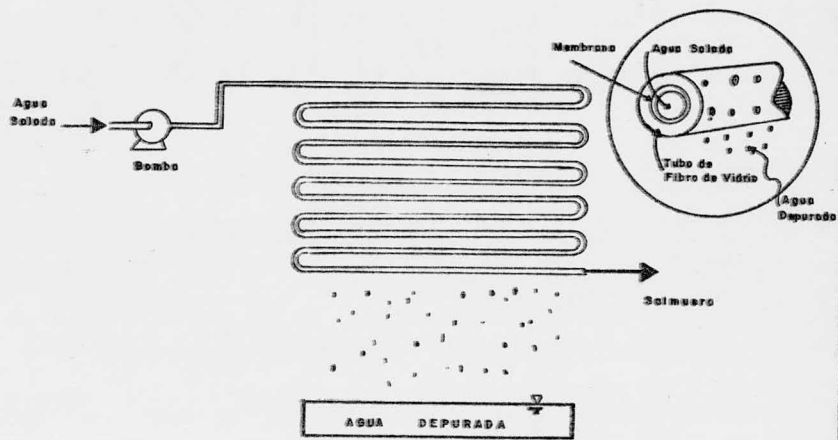


Fig.3.2.G DISPOSITIVO TUBULAR DE QI.

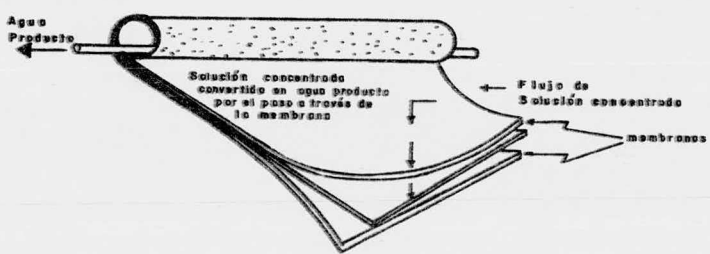
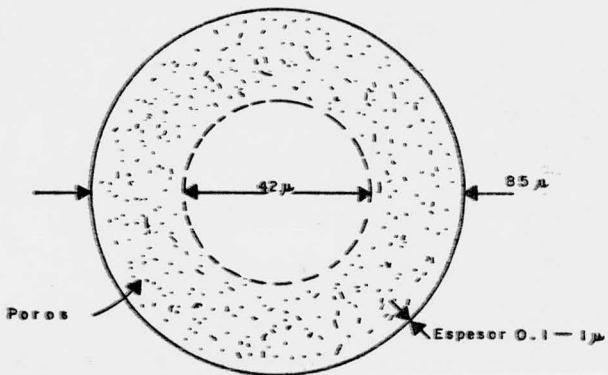


Fig.3.2.H MODULO DE MEMBRANA PARCIALMENTE ENROLLADO



$$1\mu = \text{micrón} = \frac{1}{1000} \text{ mm}$$

$$42\mu = 0.042 \text{ mm}$$

$$85\mu = 0.085 \text{ mm}$$

Fig.3.2.I F i b r a B - 9

bloquea la permeabilidad de sales pero no la filtración del agua. Debajo de esta cubierta está una capa gruesa de material poroso, el cual actúa como almacén del producto rechazado por la cubierta, pero debido a su alto grado de porosidad no impide el flujo del agua dentro del canal u orificio de la fibra. El radio exterior tiene una relación con el interior de 2 a 1, estas fibras poseen una resistencia a altas presiones sin sufrir falla alguna, debido a su diámetro tan diminuto, el uso de estas fibras huecas permite la capacidad de obtener un dispositivo sumamente compacto y a su vez de un área de superficie muy amplia para la canalización o dren del agua.

En base a un análisis comparativo con los dispositivos: Tubular y de hojas porosas tenemos que con la misma unidad de área las fibras huecas convierten 50 veces más unidades de volumen que el dispositivo tubular y 16.6 veces más que las hojas porosas.

La figura 3.2.J ilustra el principio de un sistema con fibras porosas. Frecuentemente la analogía de una placa rígida y una tubería intercambiadora de calor es usada para describir la acción del permeator.

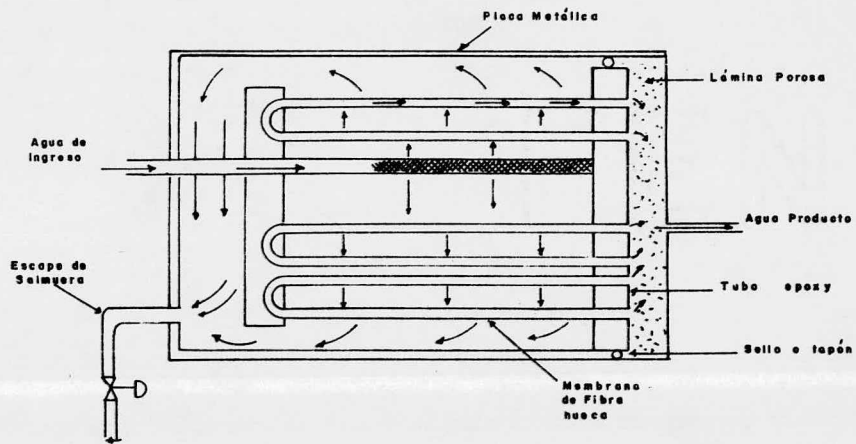


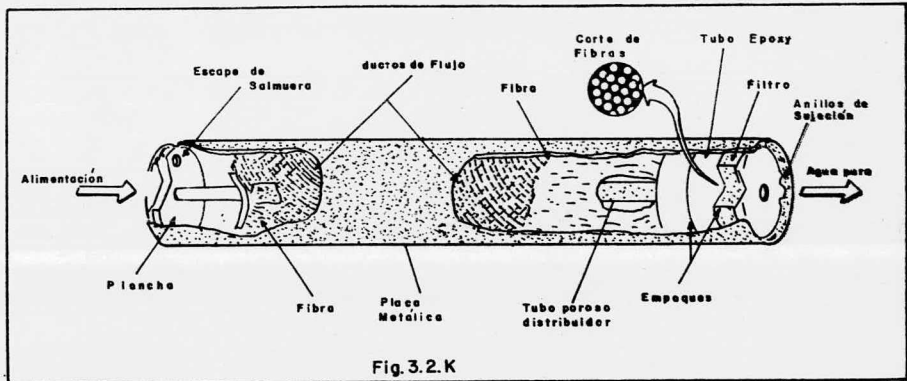
Fig. 3.2.J

Permeator B-9.

La figura 3.2.K muestra el permeator B-9. El agua de ingreso o de alimentación bajo una presión de 28 Kg/cm^2 (400 PSI) penetra al permeator a través del tubo poroso distribuidor lo calizado en el centro del permeator. Este distribuidor está a lo largo de aquel. El agua se extrae del distribuidor hacia afuera a la placa rígida, todavía con la presión de 28 Kg/cm^2 . Esta presión origina que el agua depurada drene a través de las paredes de las fibras y dentro del orificio de ésta a lo largo de toda su longitud hasta donde las fibras han tenido un corte, permitiendo así el escape del agua purificada. Las sales, minerales y otros contaminantes que permanecen en el agua son conducidos al perímetro exterior del permeator y después lanzados hacia el acceso de escape.

Criterios de diseño.

Existen tres criterios básicos para la selección del tipo de equipo de OI para emplearse en aplicaciones específicas, estos son:



Capacidad (flujo)

Eficiencia (paso de sal)

Estabilidad (vida útil)

La característica más importante que la fibra hueca nos ofrece, reside en el área pequeña con relación a la producción por unidad de volumen, y que en la actualidad comercialmente está disponible. Con este dispositivo no necesitamos un gran espacio de instalación.

Se puede decir que la eficiencia está definida en términos de paso o acceso de sal. Este rendimiento deberá ser manejado por el ingeniero dentro de los costos de operación, tomando en cuenta la presión a la cual el sistema operará, para obtener un rechazo específico.

Los costos de operación resultan del contenido de minerales que permanece aún en el agua producto, y que pueden ser evaluados en términos de mezclado o solución si el sistema está produciendo agua potable, o bien en el caso de que se requiera una alta calidad de agua industrial, se adiciona un sistema de desmineralización por intercambio de iones.

Estabilidad: la membrana de OI es la más adecuada para ejecutar, bajo circunstancias críticas que pueden presentarse en una planta de tratamiento. "La vida" de la membrana bajo estas condiciones puede ser expresada en términos de costos de operación para el reemplazamiento de membrana o amortización de ésta. La membrana aramid usada en los permeadores, es inherentemente estable; con el agua natural éstas no están sujetas a la hidrólisis, o al ataque biológico ni a la oxidación.

3.3. Materia en suspensión.

Materia inorgánica.

Haciendo referencia al agua contenida en pozos, ya que nuestro estudio está basado en la explotación de estos. En el agua de los pozos pueden encontrarse diferentes tipos de materia inorgánica en suspensión. Las pequeñas partículas de óxido férrico que a veces pueden contener las aguas suelen proceder de la oxidación de las tuberías metálicas de las conducciones y tuberías de impulsión de las bombas o, incluso, de la oxidación y precipitación del hierro disuelto en el agua. Mucho más frecuentes que las del hierro son las suspensiones de limos y arenas finas, par

ticularmente en los pozos sometidos a una fuerte extracción. En algunos pozos que obtienen su agua de acuíferos calcáreos, pueden existir también suspensiones apreciables de arcilla. La turbidez se presenta a menudo como consecuencia de una fuerte lluvia cuando la circulación rápida del agua arrastra la arcilla de las fisuras y cavernas hasta el interior de los pozos de bombeo; en otros casos, la turbidez suele ser el resultado de una perturbación exterior, ajena al acuífero, que se produce desde la superficie directamente al interior de los pozos.

Las concentraciones de elementos en suspensión pueden causar ciertos problemas en las explotaciones de agua subterránea; por ejemplo, un pozo que alumbre 65 Lt/s y que contenga 5 ppm de sólidos en suspensión producirá casi una tonelada mensual de sólidos, cantidad que de no ser extraída de los pozos irá en su mayor parte a alojarse en el interior de las tuberías y en los depósitos del sistema de distribución, pudiendo elevar con ello considerablemente el costo de mantenimiento de la explotación.

La extracción de cantidades excesivas de arenas finas, limos y arcillas de las formaciones acuíferas puede provocar importantes hundimientos y asentamientos en los terrenos colindando.

tes a los pozos, con el consiguiente daño para los mismos pozos y para las áreas afectadas.

Materia orgánica.

La materia orgánica presente en las aguas de los pozos es fundamentalmente de tres tipos: 1) los organismos vivos, en su mayoría de tamaño microscópico; 2) los restos de organismos muertos que se encuentran en suspensión en las aguas; 3) los compuestos orgánicos en solución.

Los organismos vivos son, con mucho, los más importantes, ya que algunos de ellos pueden ser patógenos y muchos de los que no lo son suelen ser indicadores indirectos de contaminaciones.

El desplazamiento de los organismos en las aguas subterráneas en función de su tamaño relativo frente al tamaño de los poros del terreno acuífero.

La poliomielitis y la hepatitis son causadas por virus. Los virus son generalmente de un tamaño comprendido entre 20 y 300 milimicras. Debido a su tamaño tan diminuto, sus car-

gas eléctricas superficiales juegan un papel muy importante en su movilidad. Se ha comprobado que existe un considerable aumento de la adsorción de los virus cuando disminuye el pH del agua del suelo. En los virus experimentados se ha observado que la adsorción es realmente rápida y efectiva por debajo de valores de pH 7.0 ó 7.5.

En los acuíferos fisurados se ha comprobado que las bacterias pueden viajar muchos kilómetros; por el contrario, en los acuíferos aluviales y en los acuíferos consolidados normales, las distancias recorridas por las bacterias no fueron superiores a 100 m, siendo las distancias más frecuentemente recorridas inferiores a 30 metros.

Respecto a los compuestos orgánicos solubles, aunque presentes en cantidades aparentes en la mayoría de las aguas subterráneas, debemos hacer constar que muy pocos de los análisis publicados son suficientemente fiables. Los azúcares, el ácido tánico, los almidones, los aceites, el metano y otra serie de constituyentes, se presentan probablemente en cantidades, comprendidas, para la mayoría de las aguas poco profundas entre 0.1 y 10.0 ppm (cuando los suelos no son salinos, que no pertenece a nuestro

caso). Los constituyentes orgánicos muy raramente llegan a alcanzar concentraciones tan elevadas como para producir olores y sabores desagradables y coloraciones especiales.

3.4 Pretratamiento del agua de alimentación.

El pretratamiento es un factor muy importante en el proceso, ya que colabora a facilitar y aumentar la conversión de los módulos y obtener condiciones óptimas de operación.

Un requisito del agua a tratar por ósmosis inversa residen en que deberá ser clara y libre de sólidos en suspensión y de bacterias. Esto es debido a que los sólidos no disueltos pueden obturar la membrana e incrementar la caída de presión a través de la unidad reduciendo la capacidad del sistema.

El control de calidad del agua potable tratada, está basado en normas ya establecidas, las cuales nos facilitan las cualidades químicas, físicas y bacteriológicas, requeridas para considerar el agua purificada.

El agua deberá ser atractiva a la vista y no deberá tener una eminente turbidez u olor penetrante; entre sus caracte-

rísticas físicas, no deberá exceder una solución de 10 ppm de sílice ni 20 ppm de platino; químicamente no tendrá cantidades mayores a 0.1 ppm de plomo, 1.5 ppm de flúor, 0.05 ppm de arsénico, 0.05 ppm de selenio y 0.05 ppm de cromo.

Se puede admitir la presencia de las siguientes sustancias pero sin exceder los límites máximos que se indican a continuación: Cobre no más de 3.0 ppm, zinc 15 ppm, cloruros 250 ppm, sulfatos 250 ppm; los compuestos fenólicos tendrán un límite máximo de 0.001 ppm, y los sólidos totales no serán más de 500 ppm. Sin embargo en casos especiales se pueden permitir concentraciones de aproximadamente 1100 ppm como es el caso del agua mineral de Tehuacán, Puebla.

La alcalinidad de la fenoftaleína calculada como carbonato de calcio, será menor a 15 ppm limitando con el valor del pH = 10.6 a 20°C; Cabe recordar que todos estos datos se refieren sólo al agua potable después de su depuración o tratamiento.

En base a los estudios de laboratorio del análisis del agua contenida en el pozo mencionado en el capítulo anterior, está seleccionado el tratamiento previo.

Como podemos apreciar en los análisis, los sólidos totales y disueltos varían de 2,300 a 1,900 ppm, teniendo además un exceso de magnesio, bicarbonatos y cloruros, implicando así una clasificación de agua dura; iniciaremos el pretratamiento, añadiéndole cloro con el objeto de eliminar bacterias y desinfectar el agua. Posteriormente someteremos al agua a un proceso de coagulación y sedimentación con el fin de eliminar los sulfatos, en seguida se hace pasar por filtros de arena para extraerle materias en suspensión que no pudieron retirarse en el paso anterior, después se conduce hacia filtros de carbón para así eliminar el exceso de cloro y por filtros de algodón o fieltro para cribar algunos materiales suspendidos que no hubiesen sido eliminados en los filtros anteriores, la función de esto es evitar que llegue material suspendido y que pueda azolvar los poros de las membranas en los módulos. Posteriormente se le agrega hexametáfosfato de sodio para evitar la precipitación de los carbonatos en los módulos. Finalmente el agua fluirá por un intercambiador de temperatura que ajuste la temperatura circunstancial a la temperatura de operación; durante el proceso de deberá mantener el pH del agua agregándole ácido sulfúrico para conservar un rango determinado.

En vista del significativo papel que desempeñan pe-

queñas cantidades de oxígeno en la oxidación del hierro, deberá tratarse por todos los medios de prevenir la introducción de aire en la alimentación. Las aguas del fondo normalmente no contienen oxígeno disuelto y previniendo cualquier contacto con el aire durante el bombeo, es la forma óptima de minimizar daños debido a oxígeno disuelto.

Se pueden tolerar concentraciones grandes de hierro como de 4 ppm, sólo si el hierro está totalmente disuelto y si el agua no contiene más de 0.1 ppm de oxígeno disuelto. En caso de que la alimentación contenga cantidades significativas de hierro y oxígeno se pueden emplear filtros de zeolita de manganeso para extraer en gran parte el hierro. Si se desean períodos largos de operación sin limpieza, es necesario mantener la presencia de hierro y oxígeno menor a 0.05 ppm. En la figura 3.4.A se ilustra el diagrama de flujo del pretratamiento; como se mencionó anteriormente la función de la clorinación es eliminar la materia orgánica; en condiciones normales, el cloro es un gas pero tiene la propiedad de ser fácilmente compresible hasta licuarse. Los cloradores consisten en combinaciones de válvulas de reducción de presión, operadas por medio de diafragmas mecánicos u orificios, con dispositivos para hacer una solución acuosa del gas e inyectar esta -

solución al fluído, también puede aplicarse directamente conduciendo el gas por tuberías instalando difusores al final de éstas. Cuando tenemos un régimen de turbulencia uniforme es recomendable utilizar equipo manual.

Las aguas naturales tienen diferentes soluciones de sustancias, que influyen en la cloración, entre las cuales pueden citarse las siguientes:

- Los sólidos suspendidos pueden proteger a las bacterias de la acción del cloro.
- La materia orgánica al reaccionar con el cloro anula sus propiedades desinfectantes.
- El amoníaco presente, reacciona con el cloro libre formando un compuesto eficaz.
- Las aguas con un pH y alcalinidad bajos son más fácilmente desinfectables.
- Los nitritos reaccionan con el cloro y lo eliminan.

La eficiencia del tratamiento desinfectivo depende en

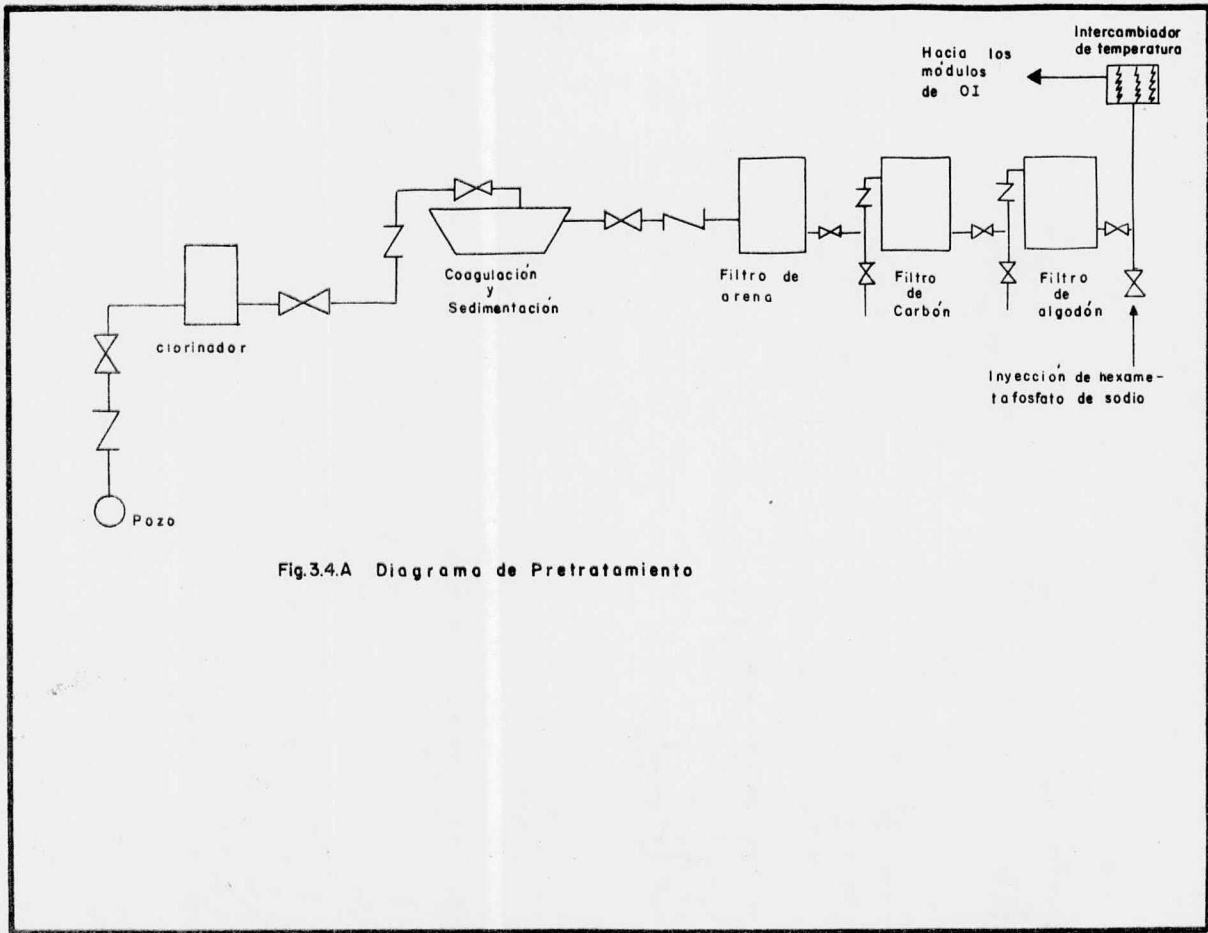


Fig.3.4.A Diagrama de Pretratamiento

gran parte de la temperatura del agua, siendo más eficaz a altas temperaturas, sin embargo el cloro es más estable en aguas duras durando más el efecto de desinfección (el tiempo mínimo de reacción es de 15 minutos).

El cloro en el agua es un agente muy activo y por tanto si se adiciona una pequeña cantidad, tenderá a reaccionar con las sustancias suspendidas en el agua, si se añade más de este elemento, reaccionará con cualquier compuesto como: ácido sulfhídrico, manganeso, hierro, nitritos, etc. llamados compuestos reductores. Aumentando más, reaccionará con la materia orgánica presente sin producir efectos antisépticos; en el caso de aplicar cloro suficiente para originar una reacción con las materias reductoras (materia orgánica y amoníaco), el excedente permanecerá como cloro residual libre, el cual, actuará como un antiséptico muy eficaz. En nuestro caso añadiremos cloro hasta obtener cloro residual.

Como ya se mencionó con anterioridad la cantidad de cloro está en función de la temperatura, por ejemplo se debe tener el doble de cloro para una temperatura de 5°C que para una T igual a 21°C.

El precipitador lo utilizaremos para reducir la dureza del agua, debido a los bicarbonatos, añadiendo hidróxido de calcio y una pequeña cantidad de coagulante para el sulfato férrico.

El tipo de precipitador que se propone utilizar es el de lecho suspendido de tipo continuo. El principio básico consiste en filtrar el agua en forma ascendente a través de un volumen de suelo saturado suspendido, formado por los precipitados previamente sedimentados, con esto obtenemos una dosificación en forma de suspensión del hidróxido de calcio, no permitiendo así que conduzcan los precipitados formados, ya que se disuelve y reacciona con la dureza del agua.

La filtración ascendente y la ausencia de precipitaciones posteriores, conducen a la obtención de efluentes que son suficientemente claros (menos de 10 ppm). El tiempo de residencia de este equipo es de una hora aproximadamente. Da buen resultado para la remoción de sílice, ya que está en contacto con grandes masas de sólidos reactivos y absorbentes.

La justificación de los filtros de arena es la eliminación de los coágulos o flóculos que no se retiraron en el proceso anterior. Un filtrado rápido de arena es lo más conveniente -

para nuestro caso, el principio de estos filtros se basa en que el material coagulado es suficientemente exuberante para ser retenido por los granos de arena grandes, y que la película producida por la acumulación de flóculos, elimina eficazmente las bacterias y los sólidos finos suspendidos.

Una planta de filtración rápida por arena consiste fundamentalmente en un espesor de arena relativamente grueso, que elimina previamente los sólidos coagulados, los huecos y oquedades de la arena deben ser lo más reducidos posible para lograr que los flóculos no penetren.

La función de los filtros de carbón activado es la de eliminar el exceso de cloro que da olor y sabor desagradable al agua. Estos filtros son de tipo vertical, a presión y con una construcción similar a los filtros de arena. Contienen una capa de carbón activado cuyo espesor varía entre 60 y 80 cm, soportada por capas de arena y grava. La capacidad del carbón activado, para eliminar sabores y olores es bastante elevada y bajo condiciones normales de operación, una carga es suficiente para un año de servicio.

Los filtros de algodón tienen como función objetivo,

efectuar el último filtrado para evitar la obstrucción en los módulos; las fibras de algodón prensadas retienen las partículas muy -
finas.

El objeto del intercambiador de temperatura es satisfacer la temperatura de operación requerida por los módulos de ósmosis inversa.

C A P I T U L O I V

DISEÑO DE LA PLANTA

4.1 Variables de la presión de alimentación y concentración de sales.

Previamente a los cálculos de diseño de la planta, serán expuestos los factores variables de los dispositivos, en base a estos seleccionaremos los más apegados a nuestras características.

Todos los permeadores Permeasep (que son los actualmente más competitivos y comerciales) son diseñados en términos de capacidad inicial (cantidad de flujo), se encuentran regidos por un grupo de condiciones específicas. Las fabricaciones standard usadas por los fabricantes de permeadores Permeasep son:

	B - 9	B - 10
Solución de alimentación	1,500 ppm NaCl	30,000 ppm NaCl
Presión de alimentación	$28 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ (400 PSI)	$56 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$ 800 (PSI)
Temperatura de alimentación	25°C	25°C
Conversión	75%	30%

La capacidad inicial con una $T = 25^\circ\text{C}$ es definida - por la ecuación:

$$Q_{wi} = K_{wi} (AP - A\Pi) \quad (5)$$

donde:

- Q_{wi} = Flujo inicial a través de la membrana
- K_{wi} = Coeficiente inicial de permeabilidad en la membrana
- AP = $P_{fb} - P_p$ presión promedio, del agua salada en el permeator, menos la presión producto.
- $A\Pi$ = Presión diferencial osmótica.

La presión promedio del agua salada puede ser calculada mediante la ecuación:

$$P_{fb} = \frac{P_f + P_b}{2} = P_{fb} - \frac{AP_{fb}}{2} \quad (6)$$

donde:

P_{fb} = Presión promedio de agua salada

P_f = Presión de alimentación

P_b = Presión en el rechazo o salmuera

$\frac{AP_{fb}}{2}$ = Disminución de la presión a través del permeator.

Si igualamos Q_{wi} a 1.0 en condiciones standard de salinidad en el agua a tratar, así como la presión ejercida, el porcentaje de conversión y la temperatura, es posible calcular el coeficiente de permeabilidad, el cual puede emplearse para cuantificar el factor operacional de corrección en condiciones diferentes a la standard. Sin embargo de la ecuación (1), podemos calcular lo siguiente:

$$K_{wi} = \frac{Q_{wi}}{(AP - A\Pi)} \quad (7)$$

El valor de Q_{wi} podría ser tomado como 1.0, AP como 397 psi (27.9 Kg/cm²) asumiendo la presión de alimentación standard de 400 $\frac{Lb}{in^2}$ (28.1 Kg/cm²) con una presión atmosférica en la salida del agua producto del permeator y una presión en el agua salada de 394 psi (27.7 Kg/cm²) y $A\Pi$ será tomado como 432 psi (30.4 Kg/cm²), la presión osmótica de la presión prome

dio de la salmuera asume 1,500 ppm de NaCl y 75% de conversión. Esto implica que una parte del producto de la presión osmótica será cero, el factor que la membrana rechaza, bajo estas condiciones será menor al 10%, por tanto está dentro de los límites aceptables. El promedio de concentración de salmuera puede ser calculado por medio de las siguientes ecuaciones:

$$C_{fb} = \frac{C_f + C_b}{2} \quad (8)$$

$$C_b = \frac{C_f}{1-Y} \quad (\text{concentración producida} = 0) \quad (9)$$

donde:

- C_{fb} = Media de la concentración de sales de ingreso (ppm)
 C_f = Concentración del agua de alimentación, (ppm)
 C_b = Salmuera (ppm)
 Y = Conversión o recobro, (en decimales)

Resolviendo la ecuación (3) con las condiciones standard para el permeator B-9 implica $K_{wi} = 0.00283 \text{ psi}^{-1}$. Empleando esta constante, es posible calcular un factor de corrección de productividad (FCP) para cualquier porcentaje de conversión y concentración, usando la ecuación:

$$FCP = K_{wi} (AP - \Pi_{fb}) \quad (10)$$

donde:

FCP = Factor de corrección de productividad, para obtener la producción del permeator bajo condiciones de operación, específicas.

Π_{fb} = Presión osmótica del agua salada, la cual puede obtenerse de la gráfica 4.1.A

4.2 Flujo en la membrana y coeficiente de retención.

El coeficiente de retención del flujo de la membrana variará según la vida de operación del permeator y será medido en función del tiempo. Así pues una gráfica del coeficiente de retención contra el tiempo producirá una línea recta. En la tabla 4.2.A se muestra una evaluación de los efectos de temperatura y presión de la membrana.

Los datos presentados en la tabla 4.2.A pueden ser consultados para establecer una gráfica de tiempo VS retención y si es necesario estimar la capacidad en algún punto específico, ya sea en 1 ó en 3 años de operación; en vista del rápido descenso de la eficiencia durante el primer año de operación, especialmente trabajando a temperaturas altas se sugiere que con cualquier -

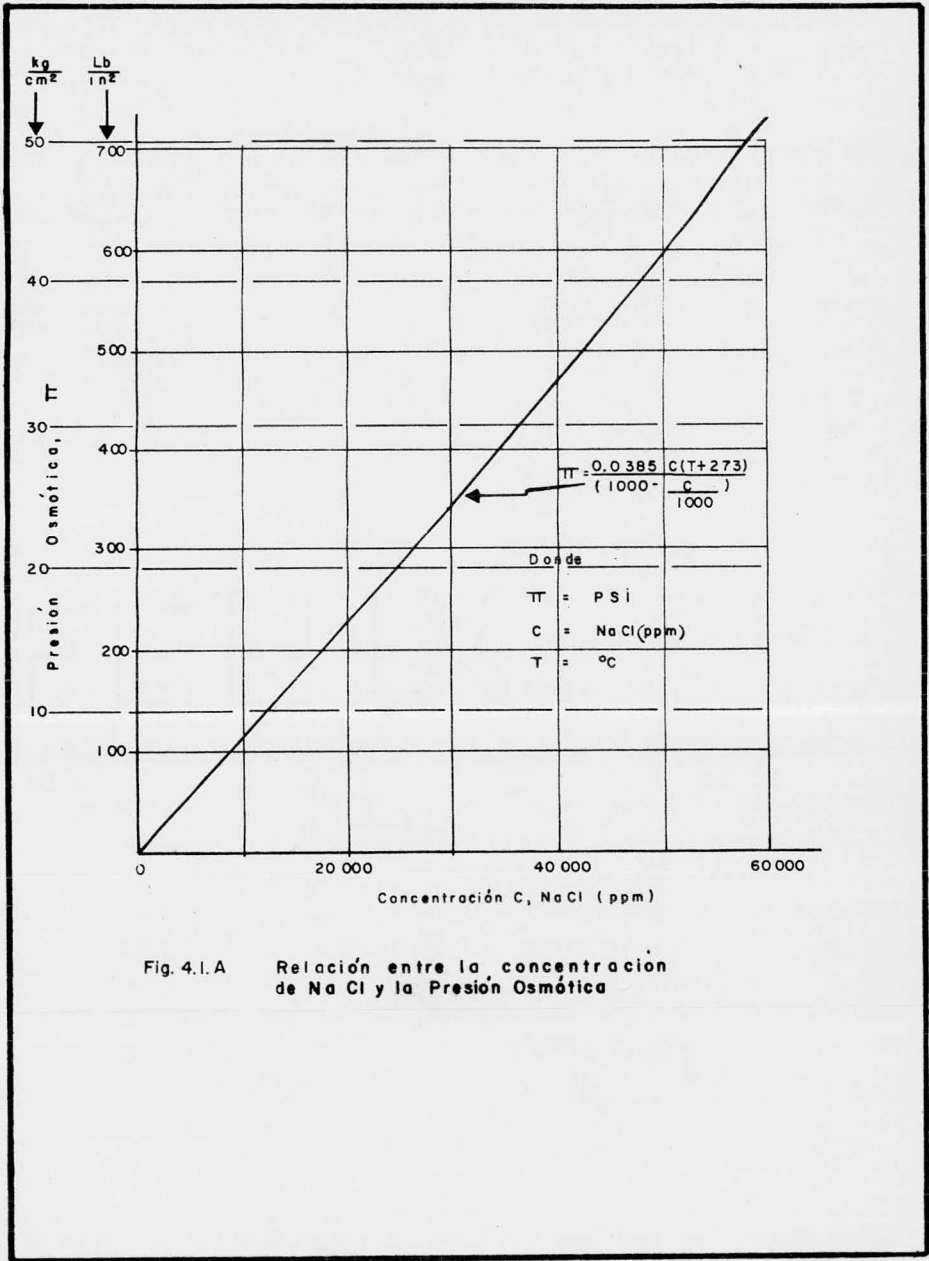


Fig. 4.1.A Relación entre la concentración de NaCl y la Presión Osmótica

TABLA 4.2.A

Coefficiente de retención en la membrana, en función de: presión, temperatura y tiempo.

Presión	Temperatura (°C)	Capacidad inicial	% retención primer año	% retención tercer año
400 psi = $28 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$	5	0.55	0.914	0.900
	10	0.64	0.907	0.890
	15	0.74	0.891	0.872
	20	0.86	0.868	0.845
	25	1.00	0.828	0.800
	30	1.16	0.767	0.730
	35	1.34	0.675	0.629
300 psi = $21 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$	5	0.40	0.936	0.925
	10	0.46	0.929	0.917
	15	0.54	0.919	0.905
	20	0.62	0.901	0.883
	25	0.72	0.868	0.845
	30	0.83	0.817	0.787
	35	0.97	0.736	0.695
200 psi = $14 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}$	5	0.24	0.956	0.952
	10	0.28	0.953	0.947
	15	0.32	0.946	0.937
	20	0.37	0.934	0.923
	25	0.43	0.910	0.894
	30	0.50	0.871	0.848
	35	0.58	0.807	0.776

coeficiente de retención ya sea de uno o tres años de operación, - puede emplearse para el cálculo de diseño. Para obtener la capacidad mínima esperada se multiplica la capacidad con las condiciones standard por el factor respectivo.

4.3 Temperatura.

La capacidad instantánea del permeator también es - afectada por la temperatura transmitida. El factor de corrección - de temperatura (FCT) está definido por la ecuación:

$$FCT = \frac{Q_{wt}}{Q_{w25}} = (1.03)^{(T-25)} \quad (11)$$

donde:

Q_{w25} = Gasto a una temperatura de 25°C

Q_{wt} = Gasto a temperatura deseada

T = Temperatura de operación, °C

Esta corrección es aproximadamente el 3% por cada grado Celcius, y los factores de corrección están representados - en la curva de la fig. 4.3.A.

Puede notarse que tanto la tabla 4.2.A, como la curva 4.3.A, pueden usarse para evaluar el efecto de temperatura en

relación con la eficiencia del permeator. La curva 4.3.A corregirá el efecto instantáneo y la tabla 4.2.A el efecto permanente irreversible en la constante de permeabilidad; el efecto irreversible de la membrana o declinación de gasto está ilustrado en la figura 4.3.B. La línea superior en esta figura, aproxima la declinación del flujo (menor capacidad) en un periodo de tres años a una $T = 35^{\circ}\text{C}$. La línea inferior aproxima la declinación de flujo con $T = 5^{\circ}\text{C}$; los valores de ambas curvas son referidas a la tabla 4.2.A; la línea discontinua muestra la capacidad de corrección que se asume en un año de corrección con $T = 35^{\circ}\text{C}$, seguida por dos años con $T = 5^{\circ}\text{C}$. Como podrá notarse la capacidad, al concluir el periodo de tres años es solo de 0.36 veces de la capacidad inicial, en lugar de ser 0.50, esto es debido a que durante el primer año de operación el flujo declina en forma muy acelerada.

La mayoría de los diseños conservadores coinciden en que, la declinación es proporcional a la temperatura muy alta de operación en relación al periodo completo (tomado de la tabla 4.2.A), seguido por una corrección en una temperatura muy baja de operación experimentada, (en base a la curva 4.3.A). Esta aproximación generalmente es necesaria cuando se trabaja con aguas que varían su temperatura, según la estación del año, sin embargo

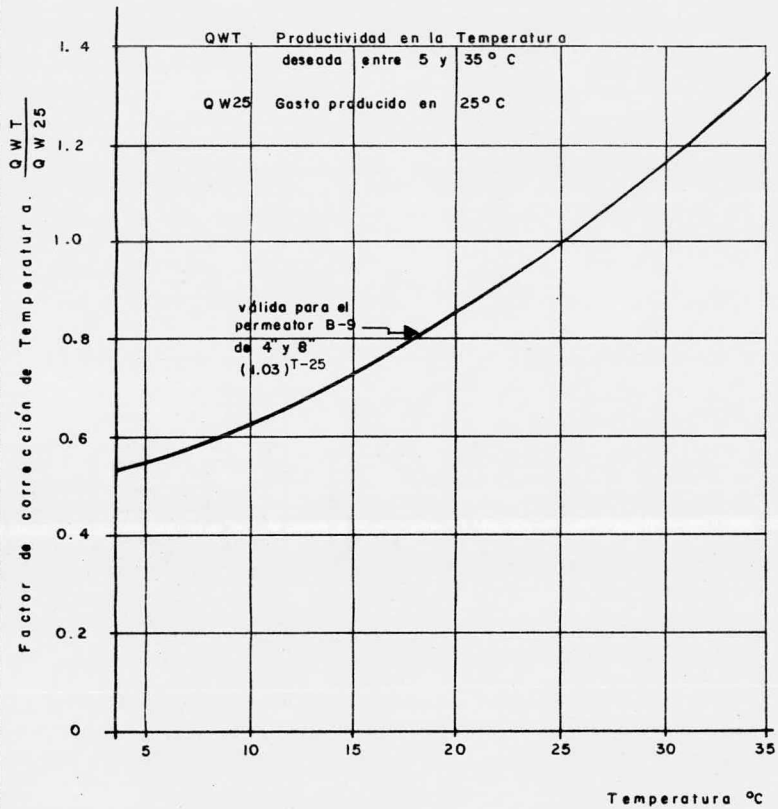


Fig. 4.3.A Efecto de Temperatura, en la productividad del permeador B-9

Factor de corrección
de flujo

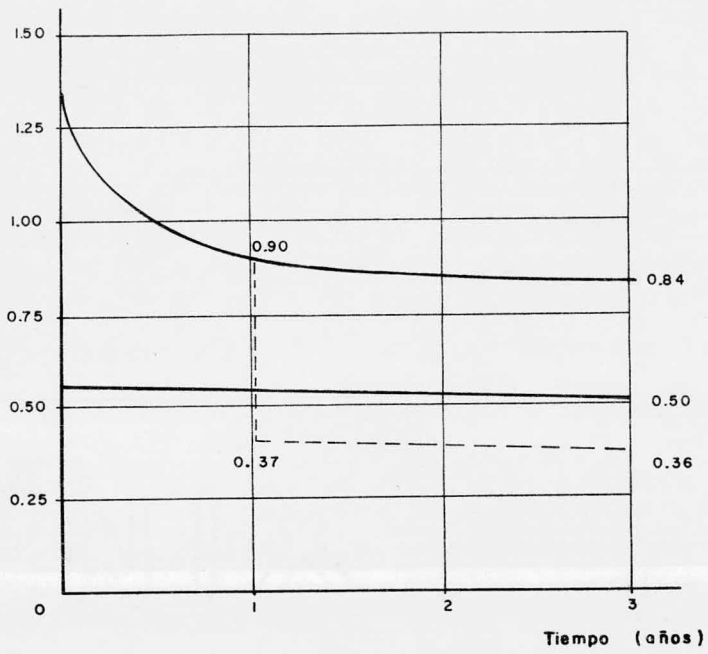


Fig. 4.3. B

con la designación de una temperatura óptima, es teóricamente posible calcular el efecto de la temperatura sobre la declinación del flujo; donde la temperatura oscila esta declinación es pequeña, generalmente se puede mantener, una producción o productividad determinada, variando la presión a la cual penetra obteniendo un gasto aceptable de producción.

4.4 Secuencia en plantas constituidas por permeadores B-9 (Permeasep)

La eficiencia más alta en estos permeadores, se obtiene cuando se mantiene constante una buena distribución. Por esta razón, una cantidad mínima de flujo de rechazo ha sido obtenida por los permeadores B-9, estos valores se presentan en la tabla 4.4.A, en términos de máximo recobro o conversión; en una secuencia de obtención para una determinada conversión, los permeadores pueden ser programados periódicamente estimando que el rechazo de un grupo de permeadores (1º paso) es el que alimenta a un segundo grupo (2º paso).

En ciertas circunstancias, será posible operar en un rango de eficiencia de 70-75%, utilizando un sistema de conversión con dos periodos de permeadores y a temperaturas que van

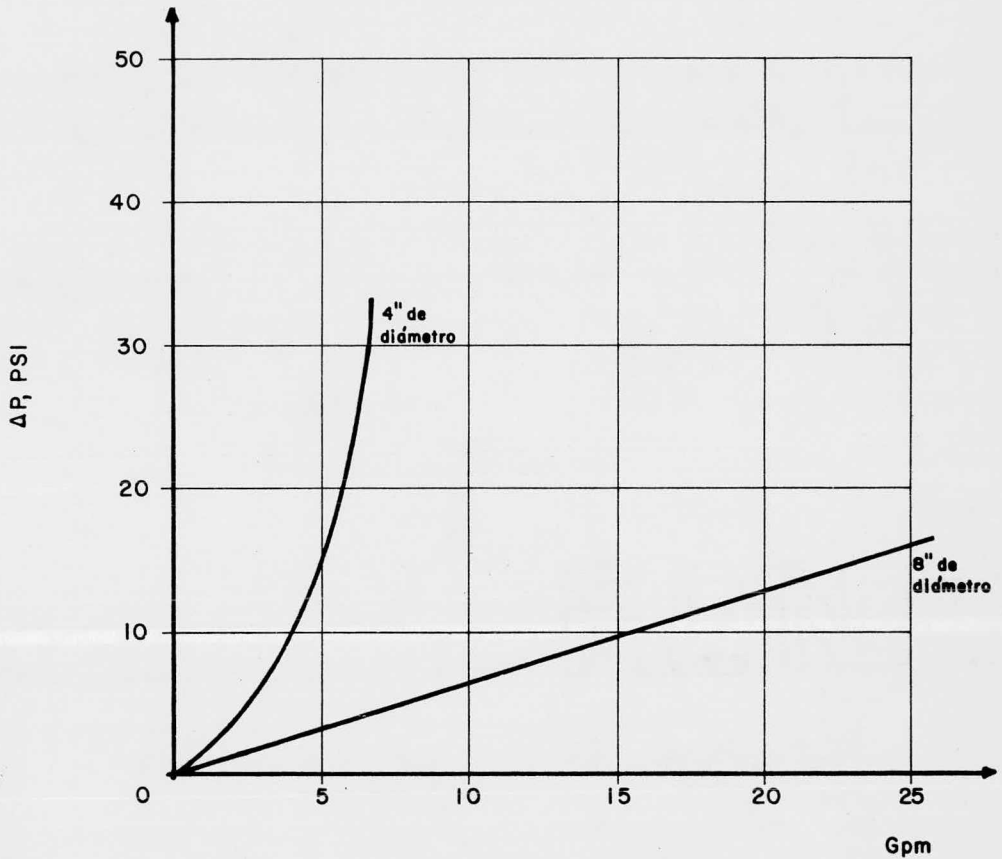
de 20°- 35°C. Con tres periodos se lograría un sistema máximo de conversión, aproximadamente, entre 80 y 85%. Las conversiones máximas más comunes están mostradas en la tabla 4.4.A.

La presión de alimentación para el segundo paso será menor a la del primero debido a la presión que disminuye cuando pasa por el primer grupo de permeadores. La gráfica de la figura 4.4.B muestra las variaciones de presión, en función del promedio de flujo del agua salada para los permeadores de 4 y 8 pulgadas de diámetro; se considera una presión adicional de 35 psi - (2.46 Kg/cm²), restada en el diseño para permitir un flujo balanceado, esto es debido a que varía la presión dentro del permeador.

TABLA 4.4.A

Conversiones máximas aproximadas, usando 1, 2 y 3 pasos para permeadores modelo 0840 - 140 y 0440 - 042.

	15°C	20°C	25°C	30°C	35°C
1 Paso					
1,000 ppm	45%	50%	50%	50%	55%
2,000 ppm	45	45	50	50	50
3,000 ppm	40	45	50	50	50
4,000 ppm	40	45	50	50	50
5,000 ppm	40	45	45	45	50
6,000 ppm	40	45	45	45	45
8,000 ppm	35	40	45	45	45
10,000 ppm	35	40	40	40	40
2 Pasos					
1,000 ppm	65	70	75	75	75
2,000 ppm	76	70	70	75	75
3,000 ppm	65	65	70	70	70
4,000 ppm	65	65	70	70	70
5,000 ppm	60	65	65	65	70
6,000 ppm	60	60	65	65	65
3 Pasos					
1,000 ppm	80	80	85	85	85
2,000 ppm	75	80	80	80	80
3,000 ppm	75	75	80	80	80



$$\text{PROMEDIO DE FLUJO} = \frac{\text{REHAZO} + \text{ALIMENTACION}}{2}$$

Fig. 4.4.B

4.5 Cálculo del N° de permeadores en un ciclo de tres años (Vida útil del permeator)

Datos:

Capacidad de la planta (agua producto requerida)	200,000 Lt/día
Temperatura de entrada	20 - 25°C
Conversión requerida	70%
Contenido de NaCl	1,600 ppm
Capacidad inicial del permeator B-9, 8" N° 0840-140	53 m ³ /día (9.7 G/min)

Calcular:

El número de permeadores de 8" B-9 requeridos para producir 200 m³/día en un periodo de 3 años de operación, (vida útil de los permeadores), donde la temperatura mínima es de 20°C, calcular también el N° de pasos requeridos.

Solución:

(1) Se analizará un sistema de operación de dos pasos con un 70% de recuperación o conversión; para los cálculos iniciales con cualquier sistema se puede operar en 50% de conversión.

a) Paso 1

Capacidad para $C_f = 1,600$ ppm

$$Y = 50\%, \quad P = 28 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (400 psi)}, \quad \frac{AP_{fb}}{2} = 3 \text{ psi} = 0.2 \text{ Kg/cm}^2$$

Usando las ecuaciones 8, 9, 10 y 11, la figura 4.1.A y la tabla 4.2.A.

$$C_b = C_f / (1 - Y) = 1,600 / (1 - 0.5) = 3,200 \text{ ppm}$$

$$C_{fb} = (C_f + C_b) / 2 = (1,600 + 3,200) / 2 = 2,400 \text{ ppm}$$

$$\Pi_{fb} = 47 \text{ psi} = 3.3 \text{ Kg/cm}^2 \quad \text{Fig. 4.1.A}$$

$$F_{cp} = K_{wi} (AP - \Pi_{fb}) \\ = 0.00283 (400 - 3 - 47) = 1.0$$

$$F_{ct} = 0.86 \text{ en } 20^\circ\text{C} \quad \text{Tabla 4.2.A}$$

CRM Coeficiente de retención en la membrana para 25°C , 3 años y 400 psi (28 Kg/cm^2)

$$\text{CRM} = 0.8$$

$$Q_p = F_{CP} (F_{CT}) \text{ CRM} (Q_{wi}) \\ = 1.0 (0.86) 0.8 (9.7) = 6.67 \text{ GPM} = 25.26 \text{ Lt/min.}$$

$$Q_p = 25.26 \text{ Lt/min.}$$

$$Q_f = Q_p / Y = 25.26 / 0.5 = 50.52 \text{ Lt/min.}$$

$$Q_b = Q_f - Q_p = 50.52 - 25.26 = 25.26 \text{ Lt/min.}$$

$$Q_{fb} = (Q_f + Q_b) / 2 = 37.90 \text{ Lt/min} = 10.0 \text{ G/min.}$$

$$AP_{fb1} = 5 \text{ psi} = 0.35 \text{ Kg/cm}^2$$

Fig. 4.4.B

donde:

Q_p = Gasto producto o de salida del permeator

Q_f = Gasto de entrada al permeator

Q_b = Gasto de salmuera

Q_{fb} = Gasto de alimentación promedio de sales disueltas

b) Paso 2

$$PF_2 = Pf_1 - AP_{fb1} - A P \text{ balance}$$

$$PF_2 = 400 - 5 - 35 = 360 \text{ psi} = 25.3 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_f = C_b \text{ del paso 1} = 3,200 \text{ ppm}$$

$$Y = 50\%$$

$$C_b = 6,400 \text{ ppm}$$

$$C_{fb} = 4,800 \text{ ppm}$$

$$\Pi_{fb} = 4.2 \text{ Kg/cm}^2 = 60 \text{ psi}$$

$$F_{cp} = 0.00283 (360 - 3 - 60) = 0.84$$

$$FCT = 0.86 \text{ en } 20^\circ\text{C}$$

CRM = 0.818 para 360 psi, 25°C y 3 años (de la tabla 4.2.A, interpolando)

$$Q_p = 0.84 (0.86) 0.818 (36.72) = 21.70 \text{ Lt/min} = 7.32 \text{ GPM}$$

$$Q_f = 21.7 / 0.5 = 43.4 \text{ Lt/min}$$

$$Q_b = 43.4 - 21.7 = 21.70 \text{ Lt/min}$$

$$Q_{fb} = (21.7 + 43.4) / 2 = 32.5 \text{ Lt/min} = 8.6 \text{ G/min}$$

$$AP_{fb2} = 4.5 \text{ psi} = 0.35 \text{ Kg/cm}^2$$

(2) Cálculo de la conversión en cualquier paso con grupos de permeadores de 2:1

$$\text{Paso 1 : } 2 \times 25.26 = 50.52$$

$$\text{Paso 2 : } 1 \times 21.70 = \underline{21.70}$$

$$\text{Total de agua producida } 72.22 \text{ Lt/min}$$

$$\text{Alimentación en 70\% Y} = 72.22/0.7 = 103 \text{ Lt/min}$$

$$Y_1 = 50.52/103 = 49\%$$

$$Y_2 = 21.70/(103 - 50.52) = 41\%$$

(3) Cálculo de las capacidades corregidas, basadas en las conversiones anteriores.

a) Paso 1

$$P_f = 28 \text{ Kg/cm}^2 = 400 \text{ psi}$$

$$C_f = 1,600 \text{ ppm}$$

$$Y = 49\%$$

$$AP_{fb1} = 5 \text{ psi} = 0.35 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_b = 1,600 / (1 - 0.49) = 3,137 \text{ ppm}$$

$$C_{fb} = (1,600 + 3,137) / 2 = 2,368 \text{ ppm}$$

$$fb = 1.70 \text{ Kg/cm}^2 = 24 \text{ psi}$$

$$FCP = 0.00283 (400 - 2.5 - 24) = 1.06$$

$$FCT = 0.86 \text{ en } 20^\circ\text{C}$$

$$CRM = 0.8 \text{ con } 400 \text{ psi, a } 25^\circ\text{C en } 3 \text{ años}$$

$$Q_p = 1.06 (0.86) 0.8 (36.72) = 27 \text{ Lt/min}$$

$$Q_f = 27 / 0.49 = 55 \text{ Lt/min}$$

$$Q_b = 55 - 27 = 28 \text{ Lt/min}$$

$$Q_{fb} = 41.5 \text{ Lt/min } 11 \text{ GPM}$$

$$AP_{fb1} = 0.38 \text{ Kg/cm}^2 = 5.5 \text{ psi}$$

b) Paso 2

$$P_{f2} = 400 - 5.5 - 35 = 359.5 \text{ psi} = 25.3 \text{ Kg/cm}^2$$

$$C_f = 3,137 \text{ ppm, } Y = 41\%$$

$$AP_{fb2} = 0.35 \text{ Kg/cm}^2 = 4.5 \text{ psi (del inciso 1)}$$

$$C_b = 3,137 / (1 - 0.41) = 5,317 \text{ ppm}$$

$$C_{fb} = (3,137 + 5,317) / 2 = 4,227 \text{ ppm}$$

$$fb = 3.8 \text{ Kg/cm}^2 = 55 \text{ psi}$$

$$FCP = 0.00283 (359.5 - 2.25 - 55) = 0.85$$

$$FCT = 0.86$$

CRM = 0.818 con 359.5 psi, 25°C en 3 años

$$Q_p = 0.85 (0.86) 0.818 (36.72) = 22 \text{ Lt/ min} = 5.8 \text{ GPM}$$

$$Q_f = 22/0.41 = 53.66 \text{ Lt/min}$$

$$Q_b = 53.66 - 22 = 31.66 \text{ Lt/min}$$

(4) Cálculo de la conversión, usando las capacidades corregidas

$$\text{Paso 1 : } 2 \times 27 = 54.00$$

$$\text{Paso 2 : } 1 \times 22 = \underline{22.00}$$

$$\begin{array}{l} \text{Total de agua produ} \\ \text{cida} \end{array} \quad 76.00 \text{ Lt/min}$$

$$\text{Alimentación en } 70\% \text{ Y} = 76/0.7 = 108.60 \text{ Lt/min}$$

$$Y_1 = 54/108.6 = 0.49$$

$$Y_2 = 22/(108.6 - 54) = 0.41$$

(5) Cálculo del número de permeadores requerido usando las capacidades calculadas en los incisos (2) y (4).

$$Q_{\bar{x}} = 74 \text{ Lt/min} = 19.55 \text{ GPM}$$

$$\begin{aligned} 19.55/3 \text{ permeadores} &= 6.5 \text{ GPM/permeator} = \\ &= 9,360 \text{ GPD/permeator} = 35,431 \text{ Lt/día/perm.} \end{aligned}$$

Permeadores requeridos:

$$200,000/35,431 \text{ Lt/día/permeator} = 5.6$$

Por tanto emplearemos 6 permeadores distribuidos en dos grupos: el primer grupo de 4 y el segundo de 2.

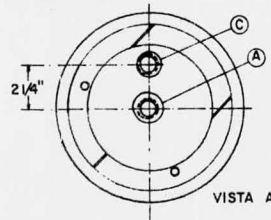
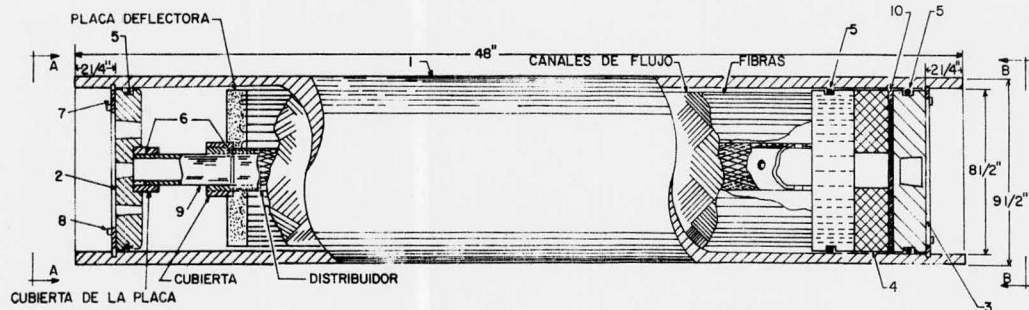
4.6 Especificaciones del permeator B-9 8", 0840 - 140.

Tipo de membrana	B-9 aramid
Configuración de membrana	Fibra hueca
Dimensiones	22 cm de diámetro interior 24 cm de diámetro exterior 125 cm de longitud
Material del tubo	Fibra de vidrio
Placas de rondana en extremos	Fibra de vidrio
Anillos o juntas segmentadas	Aluminio
Conductos de alimentación, producto y salmuera	3/4" diámetro
Peso del permeator, saturado de agua	66 Kg.
Posición de operación	Vertical u horizontal
Capacidad inicial de agua producto*	53 mínimo, 59 máximo m ³ /día
Paso de sal*	Menos de 10%
Presión en operación	400 psig = 28.13 Kg/cm ²
Rango de temperatura	0-35°C (32°F - 95°F)
Rango de pH del agua	4 - 11
Producción mínima de sal- muera	38.2 m ³ /día (10,100 gpd)
Producción máxima de sal- muera	94.6 m ³ /día (25,000 gpd)

* Basado en una operación con 1,400 a 1,600 ppm de NaCl a una presión de 400 psig, en 25°C y 75% de conversión, (condiciones de pruebas standard).

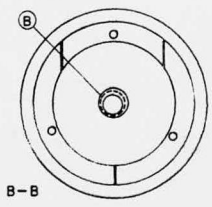
LISTA DE PARTES REEMPLAZABLES

No. DE PARTE	CONCEPTO	MATERIAL	No. REQ.
1	PLACA TUBULAR EXTERIOR	FIBRA DE VIDRIO	1
2	PLACA DE RONDANA DE ALIMENTACION	FIBRA DE VIDRIO	1
3	PLACA DE RONDANA DEL PRODUCTO	FIBRA DE VIDRIO	1
4	BLOCK DE SOPORTE POROSO	ALUMINIO	1
5	SUJETADOR DE PLACAS FINALES	CAUCHO	3
6	SUJETADOR DEL TUBO DE ALIMENTACION	CAUCHO	2
7	ANILLO SEGMENTADO	ALUMINIO	2
8	TORNILLO	ACERO INOXIDABLE	6
9	TUBO DE ALIMENTACION	PVC	1
10	COLCHON DE SOPORTE	PVC	1



VISTA A-A

A	B	C
ALIMENTACION	PRODUCTO	SALMUERA
3/4" Ø	3/4" Ø	3/4" Ø



VISTA B-B

4.7 Bombas y equipo

Cálculo de bombas.

Datos:

Agua producida = 200,000 Lt/día = Qp

Conversión máxima = 90%

Gastos del pozo de 0 - 160 Lt/seg; abatimiento máximo 37.36 m (gráfica fig. 2.7.A)

Qa = Gasto de alimentación

Qr = Gasto de salmuera o rechazo

 γ = Densidad del agua extraída del pozoQa (considerando pérdidas) = 286 m³/díaQr = 286 - 200 = 86 m³/día

Bomba de alta presión:

Qa = 286 m³/día = 33 x 10⁻⁴ m³/segH = 50 Kg/cm², $\frac{50 \times 10^4}{1,041} = 480.3$ m, columna de agua (carga) $\gamma = 1,041$ Kg/m³

N = 35% (eficiencia)

 $P_1 = \frac{Q_d H \gamma}{N} = \frac{33 \times 10^{-4} (480.3) 1,041}{0.35} = 4,714.21$ Kg·m/seg

$$P_2 = \frac{4,714.21 \text{ Kg}\cdot\text{m}/\text{seg} \cdot \text{H.P.}}{75 \text{ Kg}\cdot\text{m}/\text{seg}} = 62.86 \text{ H.P.}, \text{ implica una bomba}$$

de 65 H.P.

Bomba de ayuda:

$$H = 40 \text{ Kg}/\text{cm}^2, \quad \frac{40 \times 10^4}{1,041} = 384 \text{ m columna de agua (carga)}$$

$$P_1 = \frac{33 \times 10^{-4} (384) 1,041}{0.75} = 1,759 \text{ Kg}\cdot\text{m}/\text{seg}.$$

$$P_2 = \frac{1,759}{75} = 23.45 \text{ H.P.}, \text{ implica una bomba de 25 H.P.}$$

Tubería de alimentación:

$$V_a \doteq 1.5 \text{ m}/\text{seg}$$

$$Q = VA; A = Q/V = \frac{33 \times 10^{-4}}{1.5} = 22 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 22 \text{ cm}^2$$

$$A = \pi r^2; r = \left(\frac{A}{\pi}\right)^{1/2} = \left(\frac{22}{\pi}\right)^{1/2} = 2.64 \quad D = 5.29 \text{ cm con}$$

diámetro comercial de 2"

$$\text{Areal} = \frac{\pi (5.08)^2}{4} = 20.27 \text{ cm}^2$$

$$V_{\text{real}} = \frac{33 \times 10^{-4}}{2 \times 10^{-3}} = 1.65 \text{ m}/\text{seg}$$

Tubería de rechazo:

$$Q_r = 86 \text{ m}^3/\text{día} = 10 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$V_r \doteq 1.5 \text{ m/seg}$$

$$A = Q/V = \frac{10 \times 10^{-4}}{1.5} = 7 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 7 \text{ cm}^2$$

$$D = \left(\frac{7 \times 4}{\pi} \right)^{1/2} = 2.98 \text{ cm, implica un diámetro comercial de } 1 \frac{1}{4}''$$

$$\text{Areal} = \frac{\pi (3.17)^2}{4} = 7.89 \text{ cm}^2$$

$$V_{\text{real}} = \frac{10 \times 10^{-4}}{7.89 \times 10^{-4}} = 1.26 \text{ m/seg}$$

Tubería del producto:

$$Q_p = 200 \text{ m}^3/\text{día} = 23 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{seg}$$

$$V_p \doteq 1.5 \text{ m/seg}$$

$$A = \frac{23 \times 10^{-4}}{1.5} = 15 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$D = \left[\frac{4 (15 \times 10^{-4})}{\pi} \right]^{1/2} = 0.0442 \text{ m} = 4.42 \text{ cm}$$

con un diámetro comercial de 2''

$$A_{\text{real}} = \frac{(5.08)^2 \pi}{4} = 20.27 \text{ cm}^2$$

$$V_{\text{real}} = \frac{23 \times 10^{-4}}{20.27 \times 10^{-4}} = 1.13 \text{ m/seg}$$

Equipo:

- 1) Seis permeatores 8", B-9, 0840 - 140 (Permeasep)
- 2) Una bomba centrífuga de 50 H.P. (alta presión)
- 3) Una bomba centrífuga de 20 H.P. (ayuda)
- 4) Dos rotámetros, con presión máxima permisible de 30 Kg/cm²
- 5) Tres filtros de cartucho para presión máxima permisible de 30 Kg/cm²
- 6) Seis monómetros diferenciales con carátulas de 11.40 cm de diámetro
- 7) Dos interruptores de presión con límite de 60 Kg/cm²
- 8) Dos interruptores de temperatura

Control eléctrico:

Este control desempeña una función muy importante - para el óptimo funcionamiento de un 90% del equipo, por tanto se requiere que el suministro de energía sea lo más uniformemente

posible para lograr la máxima eficiencia en su conjunto.

El sistema eléctrico debe tener cuatro condiciones, - que son: marcha y paro, alarmas: óptima y de audio así como indicador del accesorio en mal funcionamiento, como: baja presión - en la succión o emisión de las bombas, temperatura inadecuada - del agua dentro de los módulos, alta presión, etcétera.

C A P I T U L O V

CONCLUSIONES

5.1 Análisis del costo por metro cúbico de agua depurada.

Este presupuesto aproximado fue elaborado en septiembre de 1981, y es posible medirlo o compararlo con el costo que implica conducir o hacer llegar el agua a la Cd. de México y a sus zonas fronterizas aledañas, con una densidad de población e industrial muy elevada, por ejemplo conducir 1.0 m^3 de agua potable en una distancia aproximada de 250 - 350 Km con una carga hidráulica de 1,200 m tiene un costo aproximado de 600 millones de pesos actualmente, (sin considerar los costos de operación y mantenimiento); por medio de este podríamos ubicar nuestra propuesta en un plano comparativo y deducir conclusiones.

Gastos de montaje:

EQUIPO DE LA PLANTA

Permeatores	\$ 1'963,665.00
Bomba de extracción pozo profundo	700,000.00
Bombas de inyección alta presión	2'400,000.00
Sistema de control eléctrico	30,000.00
Estructura de soporte	60,000.00
Tuberías, conexiones, válvulas	25,000.00
Equipo ligero (monómetro, flexómetro, filtro, rotámetro, interruptor de presión, etc.)	<u>55,000.00</u>
	\$ 5'233,665.00
Obra de mano	<u>100,000.00</u>
Total	\$ 5'333,665.00

Obra civil:

Comprende: caseta de equipo de mantenimiento y subestación, cárcamo de regulación, instalación eléctrica e hidráulica	<u>\$ 1'500,000.00</u>
Valor de la planta	\$ 5'333,665.00
Instalación y operación inicial	50,000.00
Obra civil	<u>1'500,000.00</u>
Inversión total	\$ 6'883,665.00

Gastos fijos (F):

Operador		\$ 250,000.00/año
Depreciación de la planta	$\frac{5'333,665.00}{10 \text{ años}}$	533,366.50/año
Amortización de la obra civil, instalación y operacion inicial	$\frac{1'500,000.00 + 50,000.00}{15 \text{ años}}$	103,333.33/año
Gasto fijo total		\$ 886,699.83/año

Gastos Variables (V):

Energéticos:

Energía eléctrica: la cantidad de energía eléctrica requerida en un día es de aproximadamente 600 Kwh.

$$\frac{600 \times 0.90}{286} \quad \$ \quad 1.88/\text{m}^3$$

Reactivos:

Acido sulfúrico; el precio de este reactivo es de \$3.98/Kg, y se requieren 35 Lt/286 m³. El peso volumétrico es 1.84 Kg/Lt

$$\left(\frac{3.98 \times 35 \times 1.84}{286} \right) \quad \$ \quad 0.89/\text{m}^3$$

Hexametáfosfato de sodio: se requieren
6.35 Kg/286 m³, a un precio de \$51.10/Kg

$$\left(\frac{51.10 \times 6.35}{286} \right) \quad \$ \quad 1.13/\text{m}^3$$

Acido cítrico: se necesitan 2.38 Kg/286m³
a \$3.50/Kg.

$$\left(\frac{3.50 \times 2.38}{286} \right) \quad \$ \quad 0.03/\text{m}^3$$

Cloro: se requieren 7 Kg/286 m³ a un
precio de \$5.40/Kg.

$$\left(\frac{5.40 \times 7.0}{286} \right) \quad \$ \quad 0.13/\text{m}^3$$

Refacciones, reparaciones por contratos,
transportes, etc., aproximadamente
\$100,000.00, para un año de 330 días
tenemos:

$$\left(\frac{100,000.00}{330 \times 286} \right) \quad \$ \quad 1.06/\text{m}^3$$

Gasto variable total \$ 5.12/m³

Con ayuda de los costos fijos y variables obtenidos,
calculamos por medio de la siguiente ecuación, diferentes porcen-
tajes de eficiencia operativa que van desde un 10 hasta un 90% de
producción y de este modo observar la optimización en cualquier -

rango de eficiencia que se encuentre entre aquellas cantidades.

$$C = (F + Vr) \ 1/r$$

donde:

- C = Costo por metro cúbico de agua producto
 F = Costo fijo por metro cúbico al 100% de producción
 V = Costo variable por metro cúbico al 100% producción
 r = Capacidad productiva o eficiencia (%)

$$F = \frac{886,699.83}{286 (330)} = \$ 9.40/m^3$$

$$V = \$ 5.12/m^3$$

$$C_{100\%} = 9.40 + 5.12 = \$14.52/m^3$$

$$C_{90\%} = \left[9.40 + (14.52 \times 0.9) \right] 1/0.9 = 24.96/m^3$$

<u>r</u> %	<u>Capacidad productiva (m³/día)</u>	<u>C (\$/m³)</u>
100	200	14.52
90	180	24.96
80	160	26.27
70	140	27.94
60	120	30.18
50	100	33.32
40	80	38.02
30	60	45.85
20	40	61.52
10	20	108.52

Como abastecimiento a la población el precio a ésta por metro cúbico es muy bajo: por ejemplo, al usuario de la toma domiciliaria se le cobra aproximadamente de \$0.70 a \$1.20 el metro cúbico, habiéndose conducido el agua a grandes distancias, es decir el gobierno federal en muchos años no podrá amortizar los costos de infraestructura (actuales), por medio del usuario ya sea industrial o doméstico; con el método propuesto de obtención de agua potable mediante la desmineralización o desalación los gastos de montaje y mantenimiento, son bajos como se aprecia en nuestra propuesta y como ya se mencionó en el capítulo II es posible venderle a la industria Sosa Texcoco, S.A. nuestro volumen de salmuera o aguas salinas en concentraciones consideradas óptimas para su explotación y aprovechamiento en esa industria con un volumen aproximado de 86 m³ diarios (24 h) y de esta forma amortizar nuestros costos de un 50 a un 80%.

5.2 Polución del agua.

En la época contemporánea el ciudadano debe hacerse a la idea de que habrá que adoptar varias medidas ineludibles si queremos disponer en lo sucesivo de suficiente agua potable. Entre ellas habrá que poner en funcionamiento sistemas de depura

ción mucho más eficaces, reducir el volumen de los desagües y - su tópicó contenido, restringir mucho el consumo de agua potable, empleando en lo posible para diversos fines otras clases de agua y por último introducir en gran escala sistemas de reciclaje. Una más rápida recirculación de una misma agua es el único medio de hacer uso de más agua sin gastar más agua.

En cuanto a la contribución de la industria hacia los ríos y lagos, debería adoptarse una lucha efectiva contra los inven tados abusos en materia hidrológica por parte de la industria con - la ayuda de sanciones altas, de carácter penal, encargadas de sub sistir las ridículas multas que tan barato pagan hoy la cómoda eli - minación de sustancias tóxicas a través de las aguas. Ello obliga - rá sobre todo a la industria química y metalúrgica a recurrir a - ideas nuevas (¡ y viejas !), al reciclaje de sus productos de dese - cho y contribuirá mucho a la combinación de tecnologías en direc - ción a una mayor economía y aprovechamiento de los materiales, para bien de todos, incluyendo desde luego a la propia industria - química.

En otro aspecto, las sales minerales de los desagües pueden extraerse del agua de un modo ingenioso siguiendo el proce -

so desfosforizante con un limo bacteriano que, en un proceso cíclico incesante, fija las sales en un tanque y las suelta en otro, en vez de abandonar la planta depuradora siempre en un proceso unidireccional que conduce de nuevo al agua del subsuelo las sustancias eliminadas del agua superficial.

Una planta depuradora multibacterial, puesta en servicio en Phoenix, Arizona después de 5 años de experimentos con un rendimiento de dos millones de litros diarios proporciona, mediante un sistema todavía desconocido en Europa, un agua purísima con mínima formación de limo bacteriano y un exiguo consumo bioquímico de oxígeno (1 - 5 ppm frente a las 20 ppm consideradas ideales hasta ahora).

En diferentes islas del Caribe y en la ciudad de -- Hong Kong se emplean desde hace tiempo varias clases de agua. - Se utiliza allí exclusivamente agua salobre o del mar para los WC, las tomas de incendios, el aseo de las calles y los fines industriales. Sin esa distribución, Hong Kong hubiera muerto de sed hace mucho.

Es tan seguro como dos y dos son cuatro, que sin un planeamiento previsor del abastecimiento de agua en un futuro

inmediato, tendremos que prescindir pronto de gran parte de nue
tras comodidades actuales.

R E F E R E N C I A S

- 1.- LA EDAD CIBERNETICA, Vester Frederic : R.F.A.
Sant Vincenç dels Horts 1976
C. de Lectores, S.A.
- 2.- LA DESALACION EN MEXICO. SAHOP
Dirección General para el Aprovechamiento de Aguas Salinas
y Energía Solar (DIGAASES). México 1979
- 3.- HIDROGEOLOGIA, S.N. Davis y R. de Wiest
Edit. Ariel, Barcelona 1971
- 4.- Informes de la Dirección de Información y Divulgación
S.A.R.H. 1975
- 5.- Estudio de la factibilidad de una planta desaladora en el Lago de Texcoco, Urquidi de Goñin Mirna y Muñoz Felipe.
C.L.T. (S.A.R.H.)
- 6.- TESIS PROFESIONAL.- Estudio preliminar para la instalación de una planta desaladora en San Felipe, Municipio de Mexicali, Espejel Placios José A., Huerta Hernández José R.,

Rodríguez López Rafael, Eskauriatza Araux Jesús M., 1974
UNAM, F.I., DIGAASES. México, D. F.

- 7.- TESIS PROFESIONAL.- Tratamiento de agua salobre por el método de ósmosis inversa. Navarro Ochoa Danel. 1979
UNAM, F.I., DIGAASES.
- 8.- ESTUDIO AGROLOGICO ESPECIAL DEL EX-LAGO DE TEX-COCO, EDO. DE MEXICO. Dirección General de Grande Irrigación y Control de Ríos. Dirección de Agrología, serie de - estudios, publicación No. 2, 1971, Méx. D.F., S.A.R.H.
- 9.- Estudios realizados en el Instituto de Ingeniería, UNAM 1976
- 10.- DUPONT, Permeasep Products Division, Technicals Bulletin: 201, 501 and 510. 1977