

D. 106



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

“ANTEPROYECTO DE UNA PLANTA DESALADORA DE OSMOSIS INVERSA PARA AGUA DE MAR DE 30 METROS CUBICOS POR DIA PARA ISLA ARENA QUINTANA ROO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE INGENIERO QUIMICO PRESENTA

JORGE WOO ROSAS



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# I N D I C E

1.	Introducción	1
2.	Antecedentes	3
2.1	Historia	4
2.1.1	Destilación Solar	6
2.1.2	Compresión de Vapor	8
2.1.3	Evaporación Instantánea por Etapas	8
2.1.4	Evaporación de Múltiple Efecto	11
2.1.5	Congelación	13
2.1.6	Intercambio Iónico	15
2.1.7	Electrodiálisis	17
2.1.8	Osmosis Inversa	17
2.2	Bases del Proyecto	19
2.2.1	Localización de Isla Arena	19
2.2.2	Condiciones del Poblado	20
2.2.3	Consumo de Agua	21
2.2.4	Análisis Físico-Químico del Agua	23
2.2.5	Toma de Agua	24
3.	Fundamentos de Osmosis Inversa	27
3.1	Tipos de Membranas	36
4.	Etapas del Proceso de Osmosis Inversa	42
4.1	Descripción	43
4.2	Pretratamiento	44
4.2.1	Prueba Millipore	45
4.3	Dosificación de Floculante	46
4.3.1	Dosificación de Acido Sulfúrico	47
4.3.2	Dosificación de Hexametáfosfato de Sodio	48
4.3.3	Dosificación de Hipoclorito de Sodio	49
5.	Estudio y Evaluación del Proceso	
5.1	Memoria de Cálculo	51

5.2	Determinación de la Inversión Total	
	del Anteproyecto	64
Conclusiones		83
Apéndices		87
Bibliografía		103

## 1. INTRODUCCION

Los Estados Unidos Mexicanos es uno de los países con mayores porcentajes de zonas áridas, semiáridas y desérticas, además de una desequilibrada distribución de aguas dulces, por lo que sus habitantes han luchado desde hace tiempo con los caprichos y problemas del agua, al verse asolados por la sequía o afectados por fuentes inundaciones o enfermos a causa de depósitos contaminados, ya que la población añade grandes cantidades de desperdicios a las aguas superficiales y subterráneas.

El problema se traduce en graves movimientos migratorios internos que causan a la vez fenómenos de gran dispersión y elevada concentración de la población.

El agua es un elemento esencial para el desarrollo económico y social de la humanidad, y se tiene en abundancia, pero no para beber ya que la cantidad disponible para el consumo humano, industrial y actividades agropecuarias es del 2,5%, en comparación a la de los océanos que corresponde al 97.5% del total, de donde se deduce que solamente una cantidad muy pequeña es apta para consumo humano, por lo que se hizo un estudio de un nuevo método de desalación por ósmosis inversa de agua de mar, que ayuda a resolver en parte la carencia de agua potable, mejorando la sanidad de las zonas desérticas como en la Península de Baja California Sur y en Islas del Golfo de México, y con ello aumentarán sus actividades económicas.

Unos ejemplos son Isla Arena y Playa Arena Campeche que cuentan con excelentes recursos naturales como pesca, turismo, etc.. que no son aprovechados plenamente por la escasez de agua.

La desalación ofrece agua potable a costos elevados en comparación a los métodos tradicionales de potabilización y las cantidades que nos ofrece son marginales, por eso se estimó necesario hacer un estudio de una planta desaladora que ayude a resolver en parte las necesidades de agua en comunidades con carencia de servicios indispensables y alejadas de centros urbanos.

En la tesis se considera el aspecto teórico, y -- descripción del proceso de ósmosis inversa, además de un breve estudio de los diferentes métodos de desalación, - para terminar con un análisis económico que define la inversión total del anteproyecto y determina el costo de - cada m<sup>3</sup> de agua dulce.

## 2. ANTECEDENTES

## 2. ANTECEDENTES

### 2.1.0 HISTORIA DE LA OSMOSIS INVERSA

El fenómeno de la ósmosis es conocido desde hace más de dos siglos y el descubridor fue Abbé Nollet (1748). Al observar fenómenos de difusión a través de membranas animales y prosiguieron la investigación Dutrochet (1827) y Vierdadt (1848). Estos emplearon vejigas de cerdos y otros tejidos que no eran idealmente semipermeables.

Pfeffer (1877) hizo experimentos usando membranas de ferrocianuro cúprico  $\text{Cu}_2\text{Fe}(\text{CN})_6$  precipitado sobre los poros de una porcelana. Esta membrana fue la base de un gran número de ensayos precisos sobre la ósmosis a finales del siglo XIX y a principios del XX. En 1953 Reid y Breton, de la Universidad de Florida llevaron a cabo experimentos sobre ósmosis inversa, los cuales indicaron que materiales forman películas semipermeables a las sales presentes en las aguas salobres y de mar. Sin embargo, basándose en velocidad de producción de agua, el acetato de celulosa resultó ser el material más adecuado.

Posteriormente, Loeb (1962) desarrolló una técnica de preparación de películas para una membrana de acetato de celulosa modificado, con lo cual se incrementó extraordinariamente el flujo de agua, manteniéndose un rechazo de sal excelente.

En la actualidad hay una gran competencia entre dos materiales para fabricar membranas como son el acetato de celulosa y las poliamidas que son los capilares em

pleados en la fabricación de módulos desaladores.

Diferentes tipos de aguas de acuerdo a las sales disueltas:

Potable agua que contiene de 500 a 1000 ppm de sales disueltas.

Salobre agua cuyo contenido varía de 1000 a 35000 ppm de sales.

Ligeramente salobre (1000 a 5000 ppm).

Moderadamente salobre (5000 a 15000 ppm).

Muy salobre (15000 a 35000 ppm).

Mar: Agua que contiene aproximadamente 35000 ppm de sales disueltas.

Salmuera: Agua que tiene más sales disueltas que la de mar.

En la clasificación de los procesos de desalación de agua, se tienen dos grupos:

A.- Procesos que separan el agua de la solución, donde hay cambio de fase.

Destilación Solar.

Evaporación Múltiple Efecto.  
Evaporación Instantánea Múltiple Etapa  
Compresión de Vapor  
Congelación Directa  
Congelación Indirecta

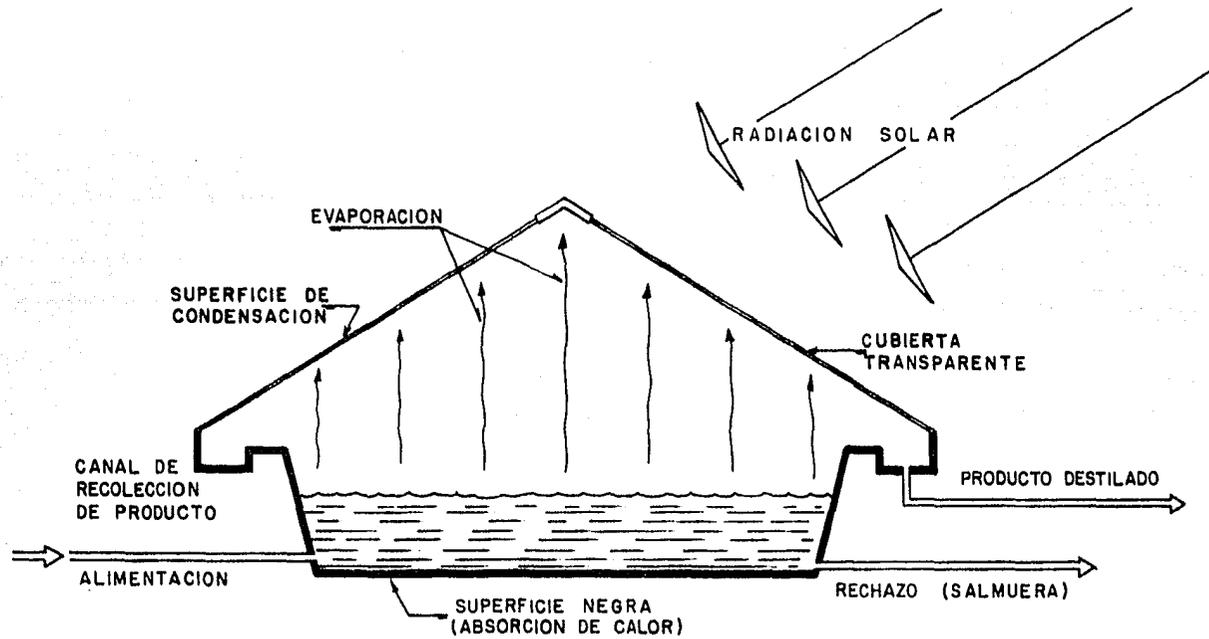
B.- Procesos en donde el agua no cambia de fase  
Osmosis Inversa  
Electrodiálisis  
Intercambio Iónico.

#### 2.1.1. DESTILACIÓN SOLAR

Es un proceso sencillo utilizado, para satisfacer necesidades familiares ya que la producción de agua es aproximadamente de 2 a 3 litros por metro cuadrado de insolación.

El proceso consiste en alimentar agua en el fondo metálico negro de un recipiente, con cubiertas transparentes de vidrio o plásticos, ver figura No. 1, de tal manera que los rayos solares calienten el agua, haciendo que se evapore y al contacto con la cubierta a temperatura ambiente, el vapor se condensa en forma de pequeñas gotas, que escurren por la pared de la cubierta para ser colectadas como producto destilado.

Las ventajas de este proceso son los costos insignificantes de energía, y la sencillez de la operación, sus desventajas están en la gran área de insolación requerida.



**Fig. 1 DESTILACION SOLAR**

### 2.1.2 COMPRESION DE VAPOR

Este proceso se basa en una compresión adiabática, ver figura nº. 2.

El vapor se condensa en un intercambiador de calor dentro de un evaporador, cediendo su calor latente de evaporación y el calor ganado por sobrecalentamiento a la salmuera contenida en el evaporador, provocando que se forme vapor el es comprimido, siguiendo el ciclo en el proceso.

El vapor condensado y la salmuera son enviados fuera de la planta como productos. Este proceso es utilizado para plantas de tamaño entre 200 m<sup>3</sup> día de agua potable.

### 2.1.3 EVAPORACION INSTANTANEA POR ETAPAS (EIPE)

Se fundamenta en el descenso del punto de ebullición del agua cuando la presión decrece. Las plantas de evaporación instantánea por etapas pueden ser:

Con recirculación parcial cuya ventaja principal es que el agua de mar tratada es menor, reduciéndose notablemente el consumo de reactivos.

De un solo paso sus ventajas se basan en el menor contenido de sales de la salmuera en circulación, evitando problemas de incrustación. El inconveniente es que maneja grandes volúmenes de agua de mar incrementándose el costo de pretratamiento.

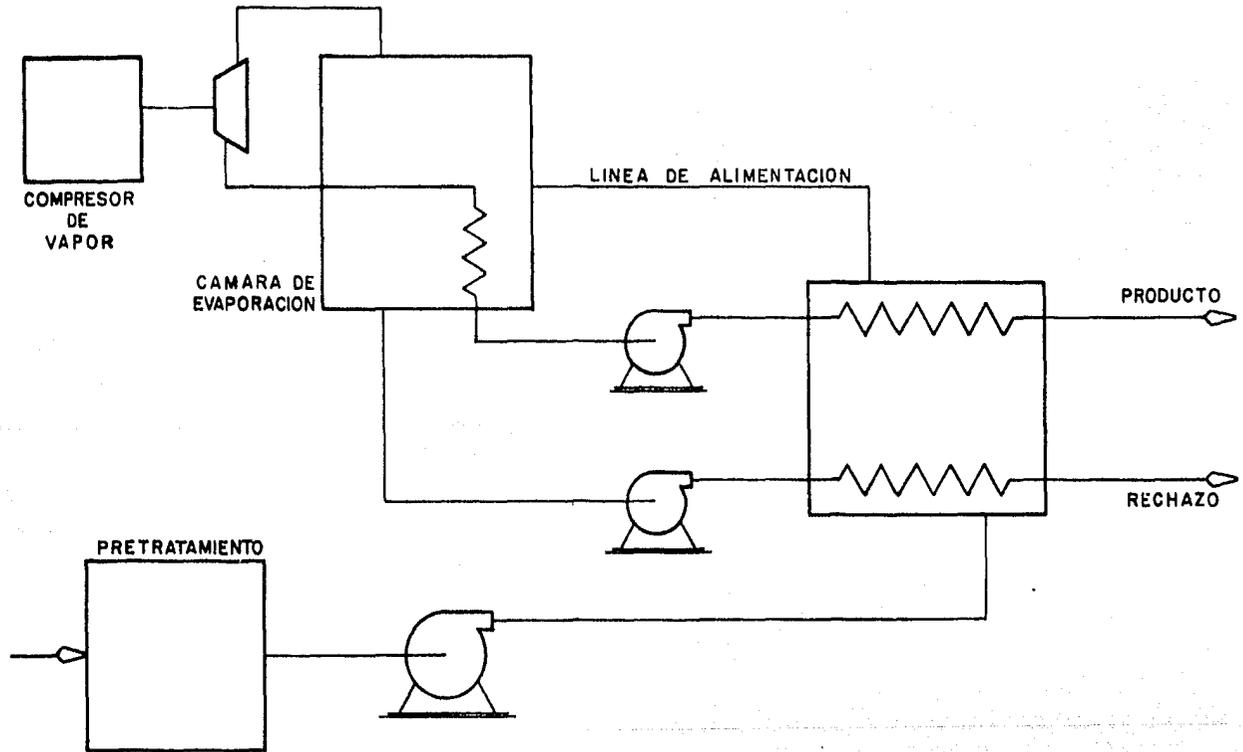
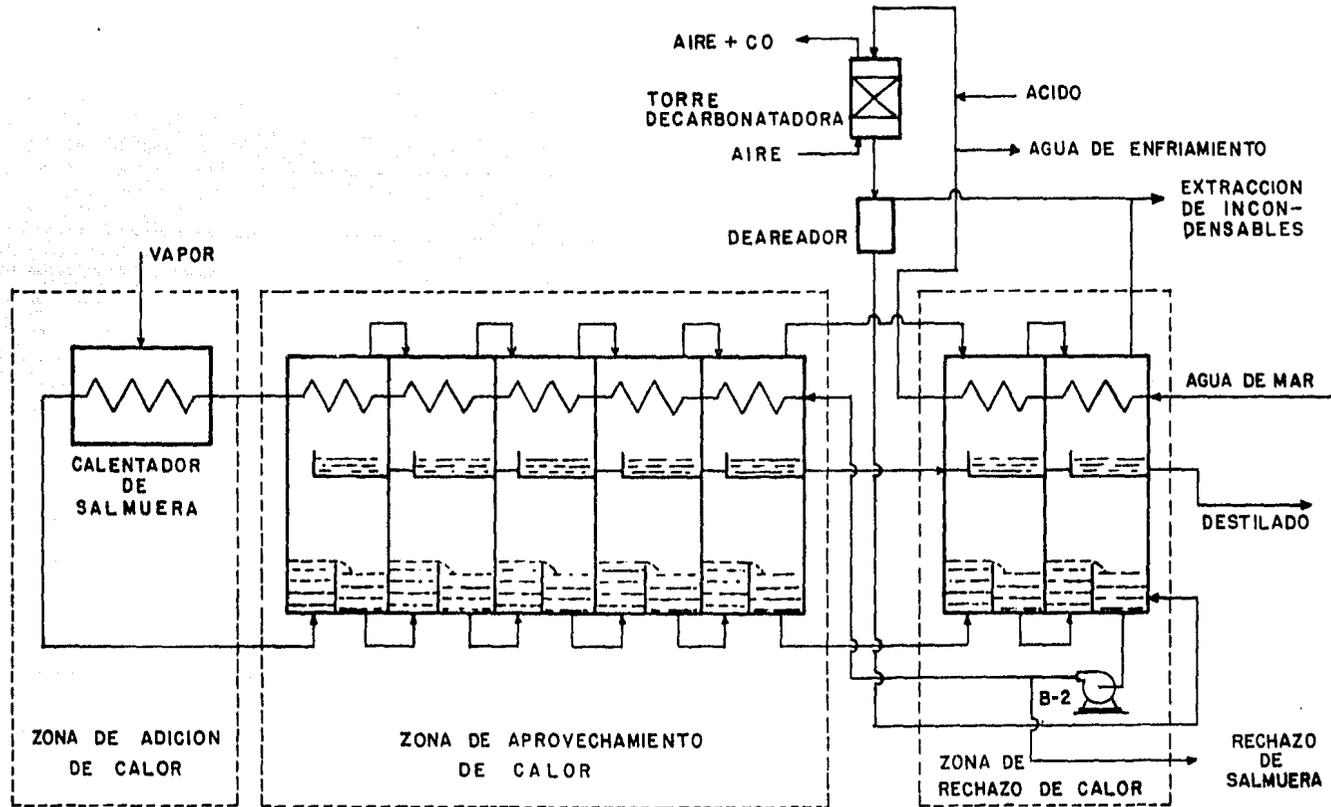


Fig. 2 COMPRESION DE VAPOR



**Fig. 3 PROCESO DE EVAPORACION INSTANTANEA POR ETAPAS CON RECIRCULACION.**

Las plantas de evaporación instantánea por etapas ver fig. 3, se forman por dos secciones, la de rechazo y aprovechamiento de calor y un suministro de calor.

En el arranque se bombea el agua de mar al sistema hasta inundar las cámaras y en seguida opera la bomba de vacío, para luego bombear la recirculación al calentador de salmuera donde se inicia su precalentamiento y alcanza la temperatura de operación. Para la operación diaria el agua de alimentación se precalienta con el vapor de las secciones y en la adición de calor alcanza la temperatura de proceso, al pasar a las cámaras sufre una evaporación instantánea debido a la presión de esa cámara. Este vapor es condensado en la parte superior del evaporador para formar el producto, la salmuera pasa a la siguiente cámara de más baja presión y se repite el proceso hasta la última cámara donde se obtiene salmuera y agua como producto.

#### 2.1.4 EVAPORACION DE MULTIPLE EFECTO (E.M.E.)

Algunos procesos de importancia que utilizan este método son los siguientes:

Tubos sumergidos

Tubos horizontales película descendente

Tubos verticales película descendente

La circulación de la salmuera puede ser:

Natural cuando no utiliza agitación mecánica

Forzada cuando el líquido circula a través de los tubos mediante una bomba.

1.- Tubos sumergidos fue el primer paso de la evaporación en múltiple efecto, los coeficientes de transferencia de calor son bajos, y la incrustación es mayor.

2.- Tubos horizontales película descendente el agua de mar es tratada químicamente y pasada a través de una serie de precalentadores hasta alcanzar una temperatura máxima, luego se descarga en el primer efecto en la parte inferior de donde se bombea a recirculación hacia unas boquillas situadas en la parte superior de la cámara.

En estas boquillas se atomiza la salmuera sobre un haz de tubos que en su interior llevan vapor de calentamiento.

3.- Tubos verticales, película descendente de igual forma que el de tubos horizontales se conectan en serie.

En evaporación de múltiple efecto se conectan en serie varios evaporadores para concentrar una solución, el efecto 1 y 2 son los de mayor temperatura. En este proceso solamente el primer efecto usa vapor de un hervidor y el segundo con los siguientes usan el vapor producido por los evaporadores anteriores como medio de calentamiento. En conjunto se tiene una alta eficiencia térmica que es una de las características principales de evaporación de múltiple efecto.

En este proceso cada efecto se reduce la presión abajo de la presión de saturación, de la temperatura de la solución y el evaporador de baja temperatura es conectada a un condensador y a un sistema de vacío.

El flujo normal de la solución y el vapor es en la misma dirección, aunque también puede fluir en el sentido contrario el más empleado en la desalación es en el mismo sentido.

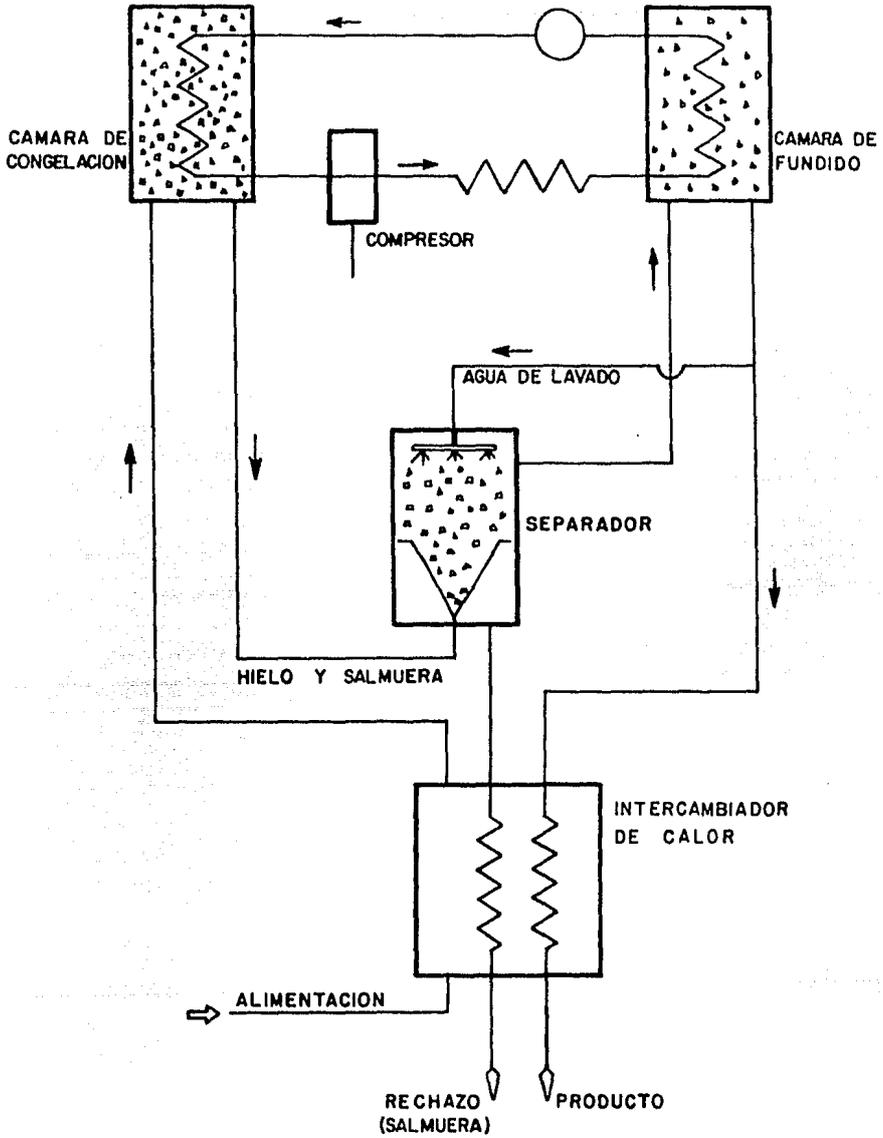
En los procesos de evaporación múltiple efecto se tiene experiencia desde hace más de 100 años y en la desalación hace 70 años.

#### 2.1.5.-CONGELACION.

Los métodos de congelación pueden ser directos e indirectos, se basan en la formación de cristales de agua pura rodeados de salmuera al congelar el agua salada.

En el método indirecto al agua de mar es bombeada a un cambiador de calor, en el que se reduce la temperatura. Es entonces mandada a una cámara de congelación en la cual se enfría por medio de un serpentín de refrigeración separado del sistema principal. Es aquí donde se empiezan a formar cristales de hielo y junto con la salmuera pasan a una unidad de separación donde la salmuera es desechada y sirve como medio de enfriamiento para agua de mar, ver figura No. 4.

Los cristales de hielo son llevados a la unidad de fundición donde el calor removido por el refrigerante es usado para fundir el hielo y el refrigerante se condensa.

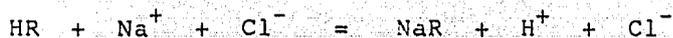


**Fig. 4 METODO DE CONGELACION**

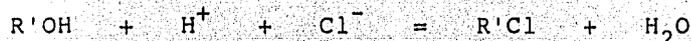
## 2.1.6 INTERCAMBIO IONICO

Las resinas de intercambio fueron el primer material aplicado a la desalación en donde no se usa calor. Es un proceso reversible en el cual intercambian iones entre un líquido y un sólido, algunas sustancias orgánicas funcionan como intercambiadores iónicos<sup>2/</sup>. Este proceso no es muy conveniente para agua de mar y lo emplean para aguas de menos de 500 ppm. de sales, ver figura nº. 5.

Si el agua de mar es tratada con resinas catiónicas ciclo  $H^+$ , y resinas aniónicas ciclo  $OH^-$ , la desalación va de acuerdo a las siguientes 2 reacciones:



Luego la tratamos con la resina aniónica



y obtener agua dulce.

Para efectuar la operación se ponen generalmente en columnas separadas. Esta forma es la más generalizada y se recomienda para aguas de calderas y de hospitales, etc.

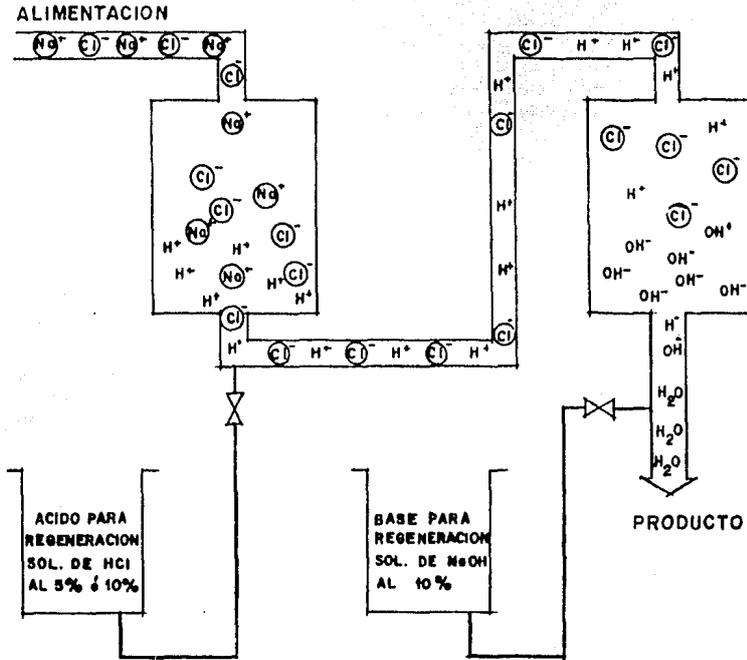


Fig. 5 METODO DE INTERCAMBIO IONICO PARA ELIMINAR SALES DE AGUAS DE MENOS 1000 ppm.

### 2.1.7 ELECTRODIALISIS<sup>3/</sup>

Es un proceso en el cual los iones se mueven a través de una membrana por la aplicación de una diferencia de potencial eléctrico. Ver figura nº. 6. Entonces el agua queda libre de iones que producen dureza. Usualmente las membranas empleadas en este proceso son selectivas de iones, tenemos como fuerza directoras, la diferencia de concentración y la diferencia de potencial eléctrico. El arreglo es alternadamente entre catiónicas y aniónicas ambas dejan pasar únicamente sus iones respectivos, estas se colocan entre dos electrodos y se aplica corriente directa provocándole que los cationes se dirijan al cátodo donde se genera cloro u oxígeno, y los aniones se trasladan al ánodo donde se produce Hidrógeno, para disminuir este efecto una multicámara de 300 pares se usa<sup>4/</sup>.

### 2.1.8 OSMOSIS INVERSA

El proceso de ósmosis inversa se utiliza para la desalación de agua de mar y agua salobre. Se basa en el bombeo de agua a través de membranas semipermeables, en las que se transporta agua potable principalmente, la fuerza directora es una presión diferencial que es mayor a la presión osmótica.

Las membranas tienen una gran permeabilidad al agua, comprenden una superficie activa delgada y una capa densa como soporte. Es uno de los procesos más modernos-

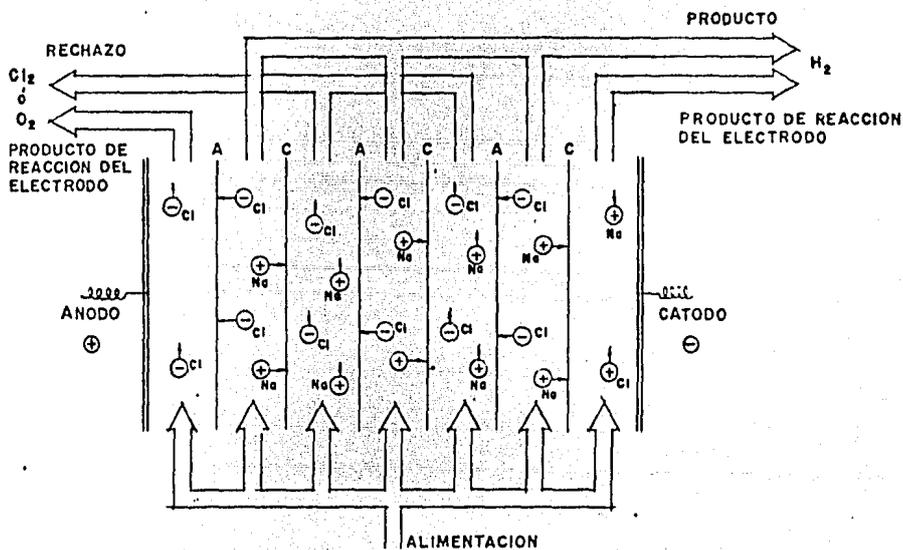


Fig. 6 METODO DE DESALACION ELECTRODIALISIS  
 LAS MEMBRANAS PERMITEN EL PASO DE LOS  
 IONES.

y de mayor porvenir. En las páginas siguientes se ampliará la información.

## 2.2 BASES DEL PROYECTO

### 2.2.1 LOCALIZACION GEOGRAFICA DE ISLA ARENA

Isla Arena se encuentra en el Golfo de México, - al norte del Estado de Campeche en el municipio de Calkini a una altura promedio 1.5 metros sobre el nivel del - mar a los  $20^{\circ} 38'$  de latitud norte y a los  $90^{\circ} 30'$  de longitud oeste.

Es una población de 90 viviendas construidas en una área plana, está comunicada con otras localidades por medio de lanchas que trasladan a la población a Punta Arena y de ahí a Calkini.

El clima es subtropical medio, con lluvias durante los meses de julio y agosto, ocasionado por las tormentas tropicales de verano, la temperatura promedio es de  $26^{\circ}\text{C}$  como mínima y  $31^{\circ}\text{C}$  como máxima. La temperatura promedio anual es de  $28^{\circ}\text{C}$ .

Existe una gran variedad de especies destacando el hule, manglares etc. Y la fauna esta compuesta por - aves tropicales que al encontrar lugares semipoblados se asientan para fecundar sus especies. Hay loros, guacamayas y especies marinas que son la fuente económica principal de la comunidad.

## 2.2.2 CONDICIONES DEL POBLADO

La población total para el año 1982, es de 650 - habitantes que integran 95 familias. En la comunidad se observa un alto grado de emigración debido a la falta de infraestructura y de la escasez de oportunidades de trabajo.

La pesca es la principal actividad económica en la localidad desde hace más de un cuarto de siglo donde - las especies son sierra, pampaño, carito y pargo, por lo que existe una cooperativa pesquera que requiere una cantidad apreciable de agua dulce, y que se encarga de financiar y administrar la producción pesquera de la localidad.

El ingreso familiar oscila entre 7000 y 15000 - mensuales, existe, además un centro de salud instalado - por S.S.A. atendido por un doctor y una enfermera, una - vez por semana.

En la isla solamente existe una primaria que cuenta con tres aulas atendida por tres maestros normalistas - y cuando quieren seguir la secundaria es necesario ir a - Punta Arena a 69 km.

El poblado cuenta con un generador eléctrico de 30 Kws.

### 2.2.3 CONSUMO DE AGUA

La población de Isla Arena para satisfacer sus necesidades de agua ha perforado pozos que contienen una gran cantidad de sales que sobrepasan los límites para ser consideradas como potables.

El consumo de agua en la localidad se estima de 30.0 litros por habitante, distribuidos de la siguiente manera:

CONSUMO DE AGUA EN ISLA ARENA LTS. POR DIA

<u>CONCEPTO</u>	<u>POR PERSONA</u>	<u>POR FAMILIA</u>	<u>LOCALIDAD</u>
Alimentación y bebida	4	28	2600
Aseo personal	8.5	61.6	5525
Lavado de loza	5.3	38.4	3445
Lavado de ropa	10.5	76.1	6825
Varios	1.7	12.4	1100
<u>TOTAL</u>	30	216.5	19495

El cuadro muestra que el consumo diario de la población es de  $19.5 \text{ m}^3$  por día. Esta cantidad se eleva en 15% para la cooperativa, por lo que el consumo es  $22.42 \text{ m}^3$  por día.

ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUA DE MAR

LOCALIDAD: ISLA ARENA

Temperatura (10-15 °C)	27° C	pH(6.0-8.0)	7.6
Color (Max.10U Pt-Co)	0	Turbiedad (Max.5 UTF)	0
Conductividad específica (mhos/cm)	46000	ppm NaCl	36 738
Sólidos totales (500-1000 ppm)		Sólidos disueltos (ppm)	36 233

DETERMINACIONES (NORMAS EN p p m)

	ppm	mEq/l.		ppm	mEq/l.
Dureza de calcio (CaCO <sub>3</sub> )	1000	20	Alcalinidad total (CaCO <sub>3</sub> 400)	185	3.7
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> 300)	6562	112			
Cloruros (Cl <sup>-</sup> 250)	20500	580	Calcio (Ca <sup>++</sup> )	400	20
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>=</sup> 250)	2125	44.2	Magnesio (Mg <sup>++</sup> 125)	1335	109
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>=</sup> )	3.8	0.11	Sodio (Na <sup>-</sup> 400)	11838	
Fluoruros (F <sup>-</sup> 1.5)			Potasio (K <sup>+</sup> )		
Sílice (Si O <sub>2</sub> )	10	0.33	Hierro (Fe <sup>+++</sup> 0.3)	N. D.	
Bicarbonatos (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	155	2.54	Cobre (Cu <sup>++</sup> )	N. D.	
Carbonatos (CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> )	30	1	Plomo (Pb <sup>++</sup> 0.1)		
Oxidrilos (OH <sup>-</sup> )	-	-			
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 45)	10	0.16			
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> 0.2)	N.D.	-			

N.D. = NO DEMOSTRABLE

En base al crecimiento experimentado durante la década de los setentas, se puede decir que en Isla Arena la población crecerá durante los próximos 5 años a un total de 810 habitantes.

Considerando un consumo de 30 l de agua por día la localidad necesitará para 1985 alrededor de 28 M<sup>3</sup> por lo que se requerirá un total aproximado de 30 m<sup>3</sup> por día de agua potable.

#### 2.2.5. ASPECTOS TECNICOS DE LA TOMA DE AGUA.

En Isla Arena la mayor disponibilidad de agua se encuentra en el mar, por lo que es necesario conocer las profundidades en la zona de la costa, el tipo de sólidos en suspensión para determinar el sitio de la toma de agua.

En la localidad se realizaron diversas mediciones de la profundidad, obteniéndose los siguientes resultados.

DISTANCIA EN METOS.	PROFUNDIDAD EN METROS.
20	0.26
30	0.35
40	0.39
50	0.43
60	0.47
70	0.61
100	0.98

La Secretaría de Pesca tiene un proyecto de instalar un muelle y junto a este se colocaría la toma de agua.

El material empleado sería tubería PVC, acero inoxidable 304, 316, bronce, fibra de vidrio con poliester, para evitar una reacción del agua de mar y el material.

### 3. FUNDAMENTOS DE OSMOSIS INVERSA

### 3. FUNDAMENTOS DE OSMOSIS INVERSA.

El flujo osmótico, directo o inverso, depende de la propiedad selectiva de algunas membranas para permitir el paso de ciertos componentes de la solución, -- usualmente el solvente se pasa a través de la membrana, a esta propiedad intrínseca se le llama semipermeabilidad. Si dos soluciones de diferente concentración o un disolvente puro y una solución, son separados por una -- membrana semipermeable, el disolvente fluirá en condiciones normales de la menos concentrada en soluto a través de la membrana a la solución concentrada con la tendencia que ambas soluciones alcancen la misma concentración cuando la solución concentrada alcance una columna suficientemente alta que iguale los flujos en ambos sentidos se tendrá un equilibrio osmótico.

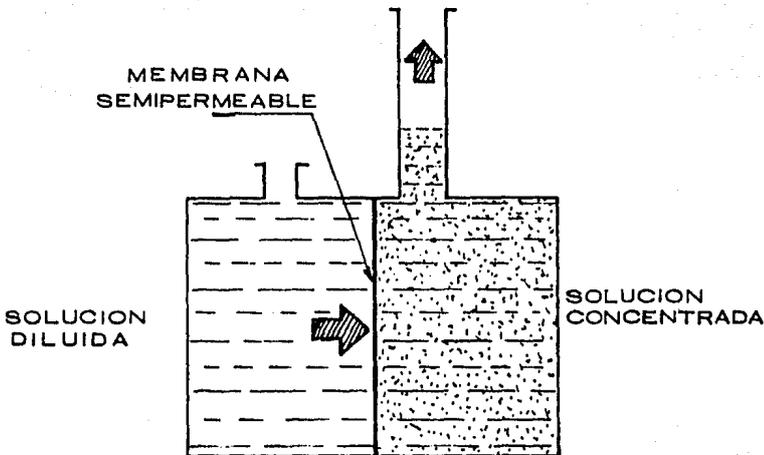
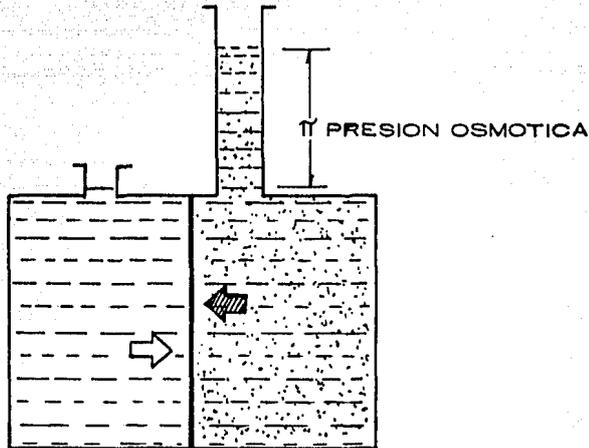


Fig. 7 OSMOSIS NORMAL

El flujo se hace por difusión, del lado de concentración más alta al de menor concentración<sup>6/</sup>, debido a diferencias de potencial químico.

La diferencia de presión entre el solvente y la solución, se conoce como presión osmótica.

El equilibrio se alcanza por aplicación de una presión externa a la solución concentrada igual a la presión osmótica. Ver fig. nº. 8.



**Fig. 8 EQUILIBRIO OSMOTICO**

Cuando un "Incremento adicional de la presión sobre la solución concentrada, más allá de la presión osmótica, provoca un flujo osmótico inverso". Agua pura pasa de la solución a través de la membrana, en dirección opuesta a el compartimiento del solvente. Figura nº. 9

La inversa de el fenómeno osmótico es la base -- del proceso de ósmosis inversa en la desalación.

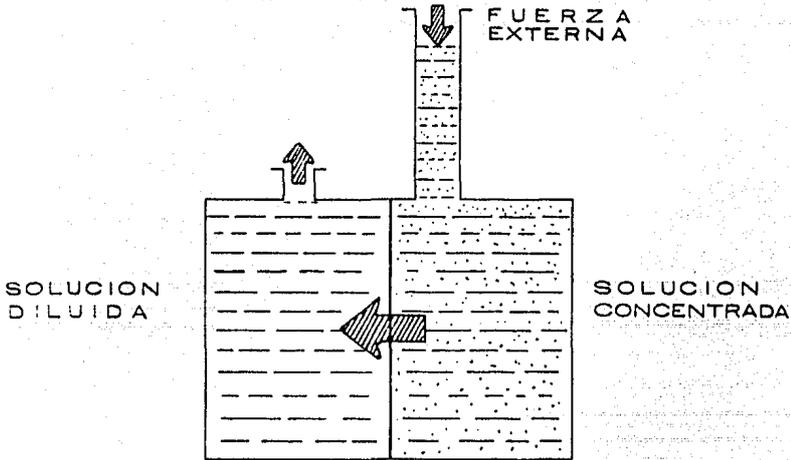


Fig. 9 OSMOSIS INVERSA.

La diferencia en niveles se debe a la presión osmótica y se mide con la fórmula usual para la presión hidrostática.

$$\pi = h d g$$

donde

h = diferencia en los niveles

d = densidad de la solución

g = constante gravitacional

$\pi$  = presión osmótica

La relación entre la concentración y la presión-osmótica para soluciones diluidas es descrita por Van't Hoff quien explicó que había un enlace entre las propiedades de las soluciones y las de los gases ideales en particular la de Boyle y Henry donde presión osmótica sustituye a la presión del gas.

$$\pi V = n_2 RT$$

$$\text{Si } C = \frac{n_2}{V} \text{ Por lo tanto } \pi = CRT$$

donde

$n_2$  = moles de soluto

$V$  = litros de solución

$R$  = constante de los gases

$T$  = Temperatura absoluta

$\pi$  = presión osmótica

Además Van't Hoff encontró que la presión osmótica es más alta para los electrólitos que la de los no - electrólitos, cuando se trata de soluciones con la misma concentración. Expreso estos resultados para los electrólitos con la siguiente ecuación.

$$\pi = i CRT$$

donde  $i$  es la constante de Van't Hoff la cual es la razón del efecto coligativo producido por una concentración  $m$  de electrólitos dividida por el efecto observado - para la misma concentración de un no electrólito<sup>7/</sup>.

$$i = \frac{\pi}{(\pi)_o}$$

$$\Pi = i ( \Pi )_0 = \frac{i \cdot n \cdot R \cdot T}{v} = iCRT$$

$\Pi_0$  = Presión osmótica para no electrólito de la misma concentración.

El mecanismo de la permeabilidad de un componente específico a través de las membranas no está claro todavía. Hay propuestas varias teorías que explican el fenómeno, entre las que se pueden citar;

- 1.- Paso de iones, moléculas, etc. a través de las aberturas presentes en la membrana.
- 2.- Repetición de combinación de el agua permeable mediante puentes de hidrógeno con algunos componentes de la membrana y dislocación de tales combinaciones.
- 3.- La difusión a través de la membrana de acetato de celulosa de los componentes permeables principalmente el agua y de algunas sales.

El mecanismo más razonable es el de los puentes-de Hidrógeno, y para explicarlo se considera que la membrana recibe un tratamiento de templado que contrae la película y cristaliza el polímero. La membrana es asimétrica, formada por una capa porosa, y otra capa densa la cual tiene cadenas grandes bien organizadas de polímeros-de acetato de celulosa, empaquetados y apretados que atraen y retienen agua. El agua y soluto se separa porque las moléculas de agua pueden formar puentes de Hidrógeno-con los grupos acetyl del polímero.

Las moléculas de agua se mueven a través de la membrana por la presión aplicada moderada, que empuja el agua ligada con los grupos acetyl al próximo grupo. Los iones disueltos o moléculas que no forman puentes de Hidrógeno, no pueden entrar a ligarse a los sitios del grupo acetyl y son dejados al concentrado en la superficie de la membrana.

#### Velocidad de permeabilidad en Osmosis Inversa.

Para la determinación de la velocidad de permeabilidad del solvente y del soluto se usa la ecuación de Kimura Sourirajans;

$$Q_w = A \{ \Delta P - (\pi X_{1a} - \pi X_o) \}$$

$$Q_s = \frac{D_a m}{K} \cdot C \cdot (X_{1a} - X_o)$$

$$= B \cdot C (X_{1a} - X_o)$$

donde:

$$Q_w = \text{Velocidad de permeabilidad de solvente}$$

- $Q_s$  = Velocidad de permeabilidad de soluto  
 $A$  = Coeficiente de permeabilidad del agua  
 $B$  = Coeficiente de permeabilidad de la sal  
 $C$  = Densidad molar alimentación  
 $\Delta P$  = Presión diferencial a través de la membrana  
 $X_{1a}$  = Concentración de soluto sobre la membrana  
 $X_o$  = Concentración de soluto en el otro lado de la membrana  
 $\pi$  = Presión osmótica en concentración  $X$   
 $D_{am}$  = Coeficiente de difusión  
 $d$  = Espesor de la membrana  
 $K$  = Constante depende del material de la membrana.

#### CONCENTRACION DE POLARIZACION

Cuando la membrana es selectiva a rechazar el paso de solutos específicos, esto es cuando es semipermeable, la concentración del líquido alcanza a saturarse en la superficie de la membrana  $X_{1a}$  y se forma una capa resistente a la difusión de agua en la membrana, este fenómeno es llamado Concentración de Polarización, como se muestra en la figura nº. 10. El flujo de agua desalada es proporcional a la diferencia de la presión aplicada y la presión osmótica.

Para agua salobre la presión osmótica es de 0.7 kg/cm<sup>2</sup> por cada 1000 ppm y para el agua de mar de 35000 ppm es aproximadamente de 24 kg/cm<sup>2</sup>.

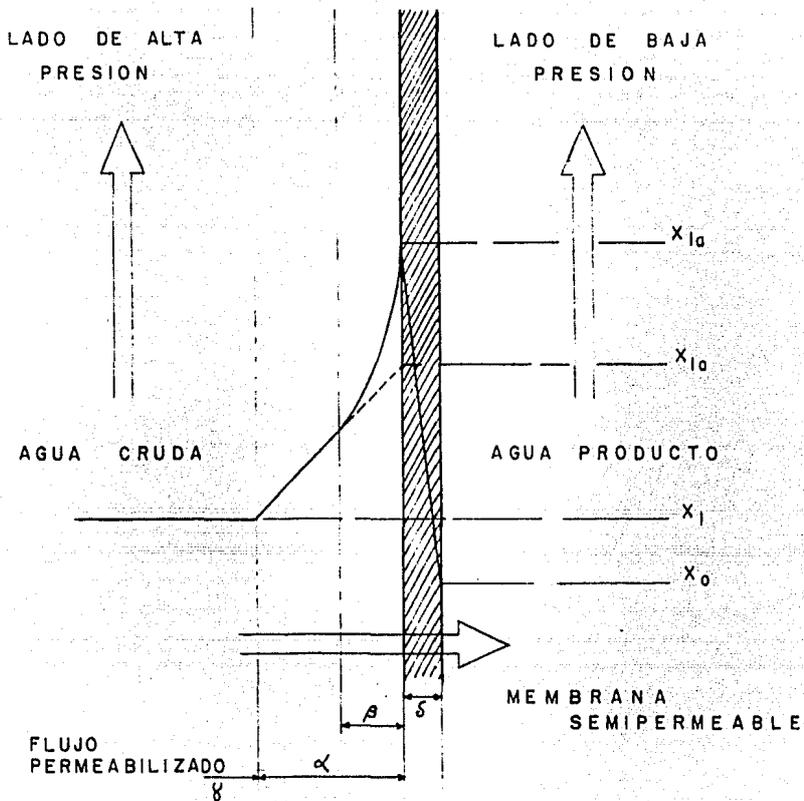


Fig. 10 MODELO DE CONCENTRACION DE POLARIZACION.

La concentración de polarización esta definida - como la relación, de concentración de soluto en la pared de la membrana y de la solución general.

Inicialmente la capa límite esta a la misma concentración que la solución, después se concentra en solutos debido a la permeabilidad del solvente. Esta polarización es reducida por velocidades altas ya que una gran-

turbulencia las evita. El flujo extra que pasa la unidad a altas velocidades resulta sobre todo que baja la recuperación de producto.

La relación usual de concentración de polarización es de 1.2 a 2 veces la de alimentación. Un problema muy común causado por la concentración de polarización es el taponamiento de la membrana por depositar sales densamente. Si la solución en las paredes es sobresaturada, sales insolubles precipitan.

#### Efecto de la temperatura de operación 8/

Cuando la temperatura de la planta de ósmosis inversa se incrementa, provoca que las permeabilidades de agua y sales aumentan 1.5 %, además existe compactación de las membranas (los diámetros de los poros se cierran, la producción disminuye y la vida de la membrana se acorta).

#### Efecto de la presión de operación.

La permeabilidad de soluto decrece al aumentar la presión. Este fenómeno se presenta con bombas de pistones ya que las presiones pueden aumentar considerablemente, si es que no tienen un interruptor de alta presión, en cambio las bombas centrífugas no tienen este problema ya que tienen un rango de presión de 850 lb/in<sup>2</sup> que no sobrepasan.

### 3.1. TIPOS DE MEMBRANAS Y ESTRUCTURA DE LOS MODULOS.

Muchos materiales naturales tienen características semipermeables, tales como vejigas de puerco, celofanes, mezcla de vidrios porosos, precipitados inorgánicos como ferrocianuro de cobre y zinc. El acetato de celulosa tiene buena selectividad, además se usa como comparador de las diferentes membranas inventadas.

En 1962 se desarrolla un sistema basado en el nylon con moderada semipermeabilidad. Las membranas se hilan y tienen diámetros de un cabello, lo que las hace tener bastante superficies de transporte. Este sistema no tuvo suficiente utilidad ya que la desalación de agua era baja (0.1 Gal/día-ft<sup>2</sup>).

En 1969 se desarrolló una segunda generación de membranas de poliamidas aromáticas que venció las fallas anteriores, en 1971 se empezó a producir agua potable a partir de agua de mar, con buenos resultados.

#### DIFERENTES ARREGLOS DE LAS MEMBRANAS.

##### a) MEMBRANAS TUBULARES.

El diseño usa la superficie de un tubo como soporte para la membrana y como recipiente a presión. Generalmente la membrana colocada en la pared interior de un tubo de 1/2 a 1 pulgada de diámetro, y una longitud de 2 metros como se ve en la fig. 10.1.a. El agua producto pasa a través de la membrana a la pared y es conducida a bajas presiones al exterior del tubo. Este puede ser poroso o sólido con pequeños orificios. A últimas fechas este tipo de membranas se están empleando en tecnología de alimentos.

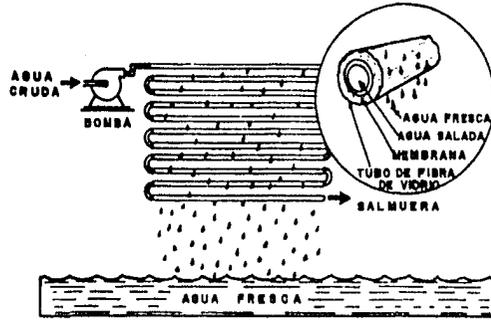


Fig. 10, 1a MEMBRANAS TUBULARES.

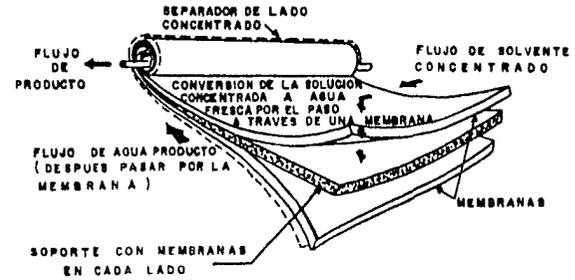
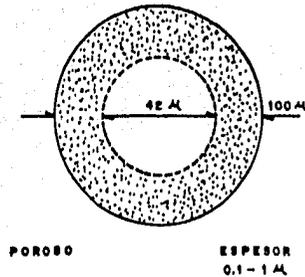


Fig. 10, 1b MODULO EN ESPIRAL DE UNA MEMBRANA.



FIBRA DE POLIAMIDA AROMATICA.

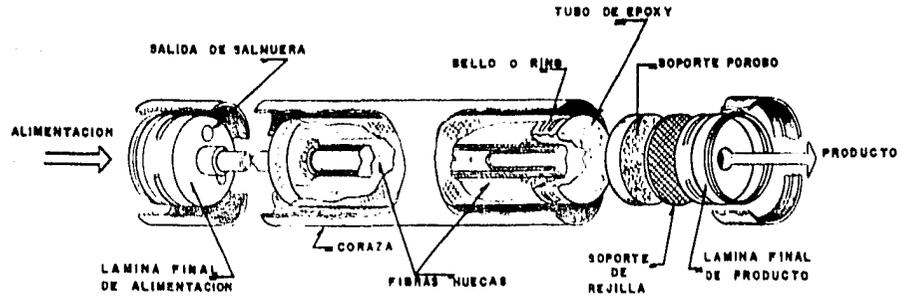


Fig. 10, 1c MODULO DE FIBRA HUECA.

## MODULOS DE MEMBRANAS EN ARREGLO ESPIRAL

En este diseño las membranas están soportadas sobre nylon o rayón en un recipiente a presión. Uno de los extremos se pega al tubo colector perforado, luego se instala una malla, con objeto de servir de espaciadora en una de las caras de la membrana. Para este arreglo los resultados han sido satisfactorios en la desalación de agua salobre.

Existen membranas planas que se colocan en ambos lados de un soporte de plástico de forma hexagonal, en forma de un filtro prensa. Las ventajas de este modelo son la limpieza periodica y el reemplazo de algunas sin afectar a las otras.

## MEMBRANAS DE FIBRA HUECA

Tienen forma de tubos capilares, cerrados en un extremo en forma de U, están contenidos en un recipiente que soporta alta presión. El agua alimentada pasa por fuera de los capilares y se forza a pasar al interior de ellos para que sea recolectada en un extremo como producto, y por el exterior de los tubos queda la salmuera que sale en el otro extremo.

## ESTRUCTURA DE LOS MODULOS DE DESALACION

Las membranas en el proceso de ósmosis inversa son delgadas capas de material semipermeables con características especiales, empleadas en el tratamiento ya que

pueden ser para agua salobre o de pozo, y también para agua de mar.

La coraza es de fibra de vidrio, y contiene en los extremos a dos bloques de resina epoxi que evitan la mezcla de salmuera y producto, un tubo distribuidor de alimentación que pasa por el centro rodeado por un tamiz de flujo, y una envoltura de membranas.

### 3.1. COMPARACION Y EVALUACION DE VARIOS PROCESOS PARA LA DESALACION DE AGUA DE MAR 10/

En el proceso de destilación se produce agua dulce de alta pureza, pero consume gran cantidad de combustible, además requiere vapor de baja presión y presentan problemas de incrustación y corrosión en el equipo.

En el proceso de Osmosis Inversa la fuerza directora es la presión, una bomba presuriza el agua, y el consumo de energía es considerablemente menor que la requerida para la destilación. Además la energía que lleva la descarga o salmuera a alta presión puede ser recuperada.

El equipo usado es compacto y fácil de operar transportar, armar, el mantenimiento es sencillo, la corrosión de este es mínima ya que se trabaja a temperatura ambiente. La tabla 1 muestra el consumo de energía para varios procesos de desalación.

La electrodiálisis no es conveniente para la desalación de agua de mar por la cantidad alta de sales que ocasiona gran consumo de electricidad, se recomienda para aguas de 100 a 3500 ppm de sólidos totales disueltos llamadas salobres. ..

Las desventajas del proceso de ósmosis inversa están en el consumo de mas reactivos químicos, para el pretratamiento químico, que para los procesos de compresión de vapor, evaporación instantanea múltiple etapa.

Y también se tiene que la vida útil de las membranas es muy corta de 2 a 7 años, por lo que hay que reemplazarlas periódicamente.

Además que es necesario darles mantenimiento de limpieza con reactivos químicos tales como Ac. cítrico, hidróxido de amonio para ajustar la solución a un pH=4, esta se emplea en -- las incrustaciones de óxido de fierro, manganeso.

Cuando se presentan incrustaciones de carbonato de calcio se usan el ácido clorhídrico pH= y ácido cítrico pH=4, también hay incrustaciones de sulfato de calcio que son muy duras - de eliminar y se emplean soluciones de 2% peso de ácido cí-- trico, con hidróxido de amonio a un pH=8.

Si se va a dejar de operar la planta durante varios días es necesario preparar una solución de formaldehido al 1% en pe- so para evitar el crecimiento de bacterias que destruyan las membranas.

También se emplean detergentes o hidróxido de sodio a un pH = 11 para la suciedad orgánica. Como se observa se emplean un gran número de reactivos químicos por lo que se incrementan los costos de mantenimiento.

Otra desventaja es que los módulos y la bomba de alta presión son de importación por lo que habrá una gran dependencia tecnológica con el exterior, con la respectiva fuga de divisas.

Tabla 1 energía requerida para desalación de agua de mar.

TIPO.	$\frac{\text{kw-h}}{\text{m}^3}$
Evaporación instantánea múltiple etapa.	15.5
Múltiple efecto 70°C	13.8
Compresión de vapor 100°C	11
Osmosis inversa.	9
Osmosis inversa con recuperación de energía.	6.6

La calidad del agua fresca producida, por destilación es de 10 ppm en comparación de 100 a 200 ppm para ósmosis inversa.

Los costos de construcción de las plantas varían según las condiciones de capacidad del equipo y la localización de las mismas, en promedio para todos los procesos se encuentra entre \$700,000.00 a \$ 900,000.00 por cada  $m^3$  de agua dulce instalado, al final del presente trabajo se determinó que de cada  $m^3$  de agua es de -- \$ 893.58.

La ósmosis inversa y la electrodiálisis son -- costosos para agua de mar, en cambio son muy buenas para agua salobre.

El proceso de destilación consume más energía pero tiene la ventaja que en la operación puede usar vapor de baja calidad.

Las de ósmosis inversa para producir  $1 m^3$  de agua dulce consumen de 6 a 9 kw-h, con las técnicas de recuperación por medio de una turbina se ahorrará de 20 a 30 % del total.

El agua producida por destilación tiene baja cantidad de sólidos totales y oxígeno disueltos que ocasiona corrosión a la tubería por lo que es necesario -- efectuar un tratamiento para eliminarlo. El agua fresca producida por ósmosis inversa es baja en componentes sólidos y ligeramente ácida, por esta razón es necesario -- descarbonatar.

Los arranques y paros para la destilación son mas complejos por lo que se necesita más atención en la operación y mantenimiento, reduciéndose corrosiones e -- incrustaciones. El arranque, paros y supervisión de operación son más simples para ósmosis inversa y el proceso de electrodiálisis.

#### **4. ETAPAS DEL PROCESO DE OSMOSIS INVERSA**

#### 4.1. DESCRIPCION DEL PROCESO DE OSMOSIS INVERSA

El agua de mar se almacena en un tanque de alimentación, donde se le adiciona hipoclorito de sodio, para desinfectarla, luego se le adiciona coagulante para aglutinar las pequeñas partículas y formar flóculos.

El agua preparada es bomeada a los filtros de arena donde quedan retenidos los flóculos, precipitados, algas, lamas etc.

Se cuenta con dos bombas para retrolavar los filtros, cuando la presión es de  $4 \text{ Kg/cm}^2$ ; normalmente operan alternadamente es decir cuando se ensucia uno el otro se pone a trabajar, para no interrumpir la operación de la planta.

En la alimentación se adiciona bisulfito de sodio, ya que las membranas se hidrolizan con la presencia del cloro, luego se agrega ácido sulfúrico y hexametafosfato de sodio, para eliminar las sales incrustantes y solubilizar sulfatos de calcio.

El último paso del pretratamiento es un filtro cartucho, (también se le conoce como pulidor) que deja pasar agua y retiene a las partículas de mas de 5 micras.

El agua pretratada, entra a una bomba de alta presión, que la descarga a  $56 \text{ Kg/cm}^2$  sobre los módulos de saladores de los que salen dos corrientes, una de agua dulce y otra de salmuera, la primera tiene un medidor de flujo y una celda de conductividad para saber, si hay contaminación de sales.

La salmuera desechada es pasada por una válvula de aguja para controlar la conversión, y su flujo se mide en un rotámetro, y la concentración es de 33 a 67 % mayor que el agua de mar.

En el tanque de almacenamiento del agua tratada se adiciona hipoclorito de sodio en 0.5 a 1 ppm antes de su distribución.

#### 4.2. SECCION DE PRETRATAMIENTO.

Para tener una mayor duración de la planta, es indispensable un buen pretratamiento con objeto de tener un gasto constante de agua dulce y evitar las incrustaciones, con limpiezas periódicas ll/. Cuando es inadecuado, el gasto de producto es bajo, los módulos se taponean, -- las limpiezas no funcionan y la planta dura de 3 a 6 meses.

Aunque el pretratamiento incrementa en gran cantidad el costo de las plantas, recompensa su uso porque aumenta la vida útil de estas.

El pretratamiento ajusta el pH, elimina exceso de turbidez, desinfecta el agua de alimentación, elimina sales inorgánicas, fierro, manganeso, aceites emulsifica

dos y materia orgánica.

El control de los factores anteriores se hace -- por medio de un análisis físico-químico del agua cruda pa ra posteriormente saber la cantidad de reactivos que se - emplearan en su eliminación. Los reactivos generalmente- utilizados para:

- Eliminación de turbidez con sulfato de aluminio, sulfato de hierro y polielectrolitos.
- Desinfección del cloro e hipocloritos de sodio y calcio.
- Eliminación de hierro y manganeso en - filtros de arena verde y aereación, etc.

#### 4.2.1 DETERMINACION DEL INDICE DE SEDIMENTACION (IDS)

Nos sirve para conocer la cantidad de materia co loidal que taponea la membrana, el Indice de Sedimenta--- ción debe ser menor de 2 para que no haya taponamiento.

##### Procedimiento

Se coloca un filtro de 0.45 micras, el cual se - sella, luego se abre una válvula completamente para llenar un recipiente de 100 y/o 500 mls, se registra el tiempo. Posteriormente se hacen mediciones cada 5, 10, 15 minutos

y se ve el tiempo requerido para llenar el recipiente.

Si el tiempo para una muestra de 100 ml es de mayor de 60 segundos, el taponamiento es de 90%.

#### CALCULOS

$$\text{I.D.S.} = \frac{(1 - \frac{t_i}{t_f}) \times 100}{T}$$

Donde:

I.D.S. = Determinación del índice de sedimentos

T = Tiempo de prueba

$t_i$  = Tiempo inicial requerido en seg. para obtener la muestra.

$t_f$  = Tiempo requerido en seg. para obtener la muestra después de 15 minutos

#### 4.3 DOSIFICACION DE REACTIVOS Y REACCIONES

Para eliminar el color y la turbidez que se provoca por coloides, se emplean coagulantes y floculantes - estos se adicionan en mezcla rápida, inmediatamente después se pasa a sedimentación y filtración.

Los coagulantes y floculantes empleados son los sulfatos de hierro o de aluminio, y polielectrólito catio

nicos, arcillas y sílice activada.

El pH favorable para los coagulantes de aluminio es de 5.5 a 6.8.

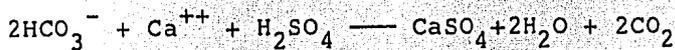
Reacciones para coagulación:



Reactivos	Dosificaciones
Sulfato de aluminio	10 a 30 ppm
Polielectrólitos catiónicos	0.01 a 1 ppm

#### 4.3.1 DOSIFICACION DE ACIDO SULFURICO Y REACCION

La reacción del ácido sulfúrico con los bicarbonatos es la siguiente:



Reactivo	Dosificación
$\text{H}_2\text{SO}_4$ al 98%	129 ppm

## OBSERVACION

El criterio empleado para conocer si es necesario usar  $H_2SO_4$  es el Índice de Saturación de Langelier, - ya que un valor (+) de relación empleada indica que el medio es incrustante y cuando es (-), indica que el agua es ligeramente ácida y habrá corrosión; por lo tanto el Índice de Saturación de Langelier (I.S.L.), es:

$$I.S.L. = pH \text{ real} - pH \text{ calc.}$$

cuando I.S.L. es cero tenemos un equilibrio, (no hay incrustación y la corrosión es mínima).

El  $pH_s$  se calcula con la siguiente ecuación:

$$pH_s = pCa + pAlk + c.$$

Donde:

$pH_s$  = pH de saturación

$pCa$  = Factor logarítmico de la dureza de  $Ca^{++}$

$pAlk$  = Factor logarítmico de la alcalinidad total

$C$  = Factor que depende de la fuerza iónica y la temperatura.

Para determinar los valores de  $pCa$ ,  $pAlk$  y  $C$  se utilizan las gráficas Nos. 13 y 14.

### 4.3.2 DOSIFICACION DE HEXAMETAFOSFATO DE SODIO $(NaPO_3)_6$

El hexametafosfato de sodio actúa como inhibidor de las reacciones de los cationes  $Ca^{++}$ ,  $Ba^{++}$ ,  $Sr^{++}$ , con -

los aniones de sulfato, además mantiene en solución al -  
hierro.

Reactivo	Dosificación
$\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{18}$	10 ppm (*)

El tratamiento funciona mejor a un pH menor de 7, por lo que se adiciona después del ácido sulfúrico.

Una bomba dosificadora, con un tanque y un agitador son necesarios para controlar la alimentación de la - solución de hexametáfosfato de sodio, se recomienda preparar diariamente por evitar que se precipite.

#### 4.3.3 DOSIFICACION DE HIPOCLORITO DE SODIO

El hipoclorito de sodio es muy empleado en pequeñas comunidades, ya que no requiere un manejo especial, - como el cloro usado en plantas grandes.

Reactivo	Dosificación
$\text{NaOCl}$	0.5 a 1 ppm

Para que sea efectiva la desinfección el  $\text{NaOCl}$  - debe tener un tiempo de residencia de 15 minutos.

(\*) El mecanismo exacto de como actúa el inhibidor no está definido, y no es necesario añadirse en forma estequiométrica a los cationes.

La siguiente relación nos ayuda a determinar los gramos de NaOCl

$$g \text{ NaOCl} = \frac{C \times L}{\%Cl \times 10}$$

donde:

g = Cantidad de hipoclorito en gramos

C = Concentración en el agua de NaOCl (se recomienda 1 ppm)

L = Cantidad total de agua en litros

%Cl = Concentración del hipoclorito que se adiciona.

#### 4.3.4 DOSIFICACION DE BISULFITO DE SODIO

Para evitar la reacción entre el cloro y la poliamida se adiciona bisulfito de sodio o se hace pasar el agua a través de carbón activado.

Reactivo	Dosificación
$\text{NaHSO}_3$	6 ppm

Esta solución se prepara cada 48 hrs. y la concentración 600 g en 150 litros de agua (por un gasto de  $100 \text{ m}^3$ ).

## 5.- ESTUDIO Y EVALUACION DEL PROCESO.

DETERMINACION DE LA TENDENCIA A INCRUSTAR LAS --  
MEMBRANAS DEL MODULO DE OSMOSIS INVERSA POR LA --  
SALMUERA.

- S = Sólidos totales disueltos en la alimentación.
- H = Dureza de calcio en la alimentación como  $\text{CaCO}_3$  en ppm.
- A = Alcalinidad total (expresada en ppm de  $\text{CaCO}_3$ )
- K = Relación de alcalinidad (gráfica # 12 )  
 $\text{CO}_2$
- C = Nivel de  $\text{CO}_2$  en el agua cruda (expresada en - ppm)
- C =  $\frac{A}{k}$
- R = Recuperación deseada.
- R =  $\frac{\text{Gasto de agua tratada}}{\text{Gasto de agua cruda}}$
- $k_1$  = Relación Alcalinidad a un pH deseado, (gráfica # 12 )  
 $\text{CO}_2$
- x = Cambio en la alcalinidad y  $\text{CO}_2$  debido al ajuste de pH.
- x =  $\frac{A - Ck_1}{k_1 + 1}$
- C<sub>1</sub> = Nivel de  $\text{CO}_2$  en la alimentación después de ajustar el pH.
- C<sub>1</sub> = C + 0.9x
- A<sub>1</sub> = Alcalinidad del agua de alimentación después de ajustar el pH.
- A<sub>1</sub> = A - x
- C<sub>2</sub> = Nivel de  $\text{CO}_2$  en la salmuera.

$$C_2 = \frac{0.5 C_1}{1 - R}$$

$A_2$  = Alcalinidad de la salmuera

$$A_2 = \frac{0.95 A_1}{1 - R}$$

$k_2$  = Relación de alcalinidad en la salmuera

$$k_2 = \frac{A_2}{C_2}$$

$P_2$  = pH de la salmuera (gráfica # 13)

$H_2$  = Dureza de calcio en la salmuera

$$H_2 = \frac{0.95 H}{1 - R}$$

$S_2$  = Sólidos totales disueltos de la salmuera

$$S_2 = \frac{0.9 S}{1 - R}$$

$P_{2s}$  = pH incrustante de la salmuera (Índice de Langlier).

NOTA:

Si  $P_{2s}$  es mayor que  $P_2$  entonces la salmuera no provoca problemas de incrustación. Si  $P_{2s}$  es menor que  $P_2$  entonces si los hay, por lo tanto el pH deberá modificarse. Esta estimación debe ser usada como una guía, no es estricta. Deberá entonces buscarse que la diferencia sea de - 0.5 ( $\bar{+}$ ).

5. DETERMINACION DEL ACIDO REQUERIDO PARA REDUCIR EL pH AL NIVEL DESEADO.

- A = Alcalinidad total del agua cruda (expresada - ppm de  $\text{CaCO}_3$ ).
- k = Relación de alcalinidad (gráfica # 12 )  
 $\text{CO}_2$
- C = Nivel de  $\text{CO}_2$  en el agua cruda (expresada ppm - de  $\text{CO}_2$ ).
- C =  $\frac{A}{k}$
- $k_1$  = Relación de alcalinidad a un pH deseado (gráfica # 12 ).
- x = Acido sulfúrico requerido (expresada en ppm de  $\text{H}_2\text{SO}_4$ )
- x =  $\frac{A - (C k_1)}{0.9 k_1 + 1.02}$
- S = Acido sulfúrico requerido para ajustar el pH, expresada lb por 1000 galones de agua cruda  $S = \frac{x}{1.20}$
- M = Acido Clorhídrico requerido para ajustar el pH, expresada en lb por 1000 galones de agua cruda.
- M = 0.745 S

## 5.1 MEMORIA DE CALCULO

### 5.1.1. DETERMINACION DEL AGUA DE ALIMENTACION A LA UNIDAD DESALADORA CONSIDERANDO UN 30% DE CONVERSION.

$$Y = \frac{Q_p}{Q_A} \times 100$$

y = % de conversión; (30% de acuerdo al módulo desalador).

Q<sub>p</sub> = Gasto de agua tratada

Q<sub>A</sub> = Gasto de agua cruda

$$Q_A = Q_p \times \frac{100}{30} = 30 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 3.33 = 100 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_p = 30 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_A = 100 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{\text{día}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} \times \frac{1000 \text{ Lts}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ Gal}}{3.785 \text{ Lts}} = 18.35 \text{ GPM}$$

$$\text{Si } Q_A = Q_p + Q_R$$

$$100 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 30 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} + Q_R$$

$$Q_R = 100 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} - 30 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} = 70 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

### 5.1.2 DETERMINACION DEL DIAMETRO DE LA LINEA DE AGUA - CRUDA.

$$Q = 18.35 \text{ GPM}$$

$$= 6 \text{ ft/seg}$$

$$d^2 = 0.408 \frac{Q}{v} \quad d = \sqrt{0.408 \frac{Q}{v} \frac{(\text{GPM})}{(\text{ft/seg})}}$$

$$d = \sqrt{0.408 \times \frac{18.35}{6}} = 1.117 \text{ pulg.}$$

NOTA:

Se reduce el diámetro a un tamaño comercial de 1" y recalculamos la nueva velocidad para 1".

$$v = 0.408 \frac{Q}{d^2} = 0.408 \times \frac{18.35}{(1.00)^2} =$$

$$v = 7.48 \text{ ft/seg.}$$

5.1.3 DETERMINAR EL DIAMETRO PARA LA LINEA DE AGUA TRATADA.

$$Q_p = 30 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{\text{día}}{24\text{hr}} \times \frac{\text{hr}}{60\text{min}} \times \frac{1000 \text{ Lts}}{1 \text{ m}^3} \times \frac{1 \text{ GAL}}{37.85 \text{ Lts}} = 5.5 \text{ GPM}$$

$$6 \text{ ft/seg}$$

$$d^2 = 0.408 \frac{Q}{v} \quad d = 0.408 \frac{Q}{v} \frac{(\text{GPM})}{(\text{ft/seg})}$$

$$d = 0.408 \times \frac{5.5 \text{ GPM}}{6 \text{ ft/seg}} = 0.61 \text{ pulg.}$$

$$d = 0.61 \text{ pulg.}$$

Como nos interesa tener mayor velocidad deducimos el diámetro a 1/2 pulg. y recalculamos la velocidad.

$$V = 0.408 \times \frac{5.5}{(0.5)^2} = 8.97 \text{ ft/seg.}$$

5.1.4. DETERMINACION DEL DIAMETRO DE LA LINEA DE LA SALMUERA.

$$Q_R = 70 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times \frac{\text{día}}{24\text{hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60\text{min}} \times \frac{1000 \text{ Lts}}{\text{m}^3} \times \frac{1 \text{ GAL}}{3.785 \text{ Lts}} = 12.84 \text{ GPM}$$

$$= 6 \text{ ft/seg}$$

$$d^2 = 0.408 \frac{Q}{V}$$

$$d = \sqrt{0.408 \times \frac{Q \text{ (GPM)}}{V \text{ (ft/seg)}}$$

$$d = \sqrt{0.408 \times \frac{12.84 \text{ GPM}}{6 \text{ ft/seg.}}} = 0.9344 \text{ pulg.}$$

Reducimos el diámetro a 3/4 pulg. para aumentar la velocidad.

$$= 0.408 \frac{Q}{d^2} = 0.408 \times \frac{12.84 \text{ GPM}}{(0.75)^2 \text{ in}^2} = 9.31 \text{ ft/seg.}$$

### 5.1.5. SELECCION DE LA BOMBA DE AYUDA.

$$Q = 18.35 \text{ GAL POR MINUTO}$$

$$P = 82.5 \text{ lb/in}^2 \times 2.3 = 189.75 \text{ ft DE CARGA DINAMICA}$$

$$d = 62.3 \text{ lb/ft}^3$$

Selección de bomba modelo 344A tamaño 11/4 x 11/-  
2 x 7, 3500 RPM de acuerdo a la gráfica mostrada en el -  
apéndice y se observa que la capacidad del motor es de 4  
Hp.

La eficiencia de la bomba se determina con la ---  
ecuación obtenida 19/

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= \frac{Q \cdot P \cdot d}{247000 \cdot \eta} \\ &= \frac{18.35 \times 189.75 \times 62.3}{247000 \times 4} = 0.2195 \end{aligned}$$

### 5.1.6. SELECCION DE LA BOMBA DE ALTA PRESION

Datos:

$$Q = 18.35 \text{ GPM}$$

$$P = 1960 \text{ ft de carga dinámica total}$$

$$d = 62.3 \text{ lb/ft}^3$$

De acuerdo con la gráfica nº. 17 del apéndice, se observa que la bomba tiene una eficiencia de 21% de - donde se determina la capacidad del motor con la ecuación <sup>19/</sup>

$$\text{BHP} = \frac{Q \text{ H P}}{247 \text{ 000}}$$

$$\text{BHP} = \frac{18.35 \times 1960 \times 62.3}{247 \text{ 000} \times 0.21} = 43.19 \text{ HP}$$

$$\text{Pot. Motor} = \frac{43.19}{0.92} = 46.95 \text{ HP}$$

$$\text{ef. del motor} = 92\%$$

### 5.1.7 SELECCION DEL FILTRO DE ARENA

$$Q = 18.35 \text{ GPM}$$

$$P = 82.5 \text{ lb/in}^2$$

$$\text{vel. de filtración recomendada} = 4 \text{ GPM/ft}^2$$

$$Q \text{ AREA} = \frac{18.35 \text{ gpm}}{2} = 9.175 \text{ GPM}$$

$$\text{AREA} = \frac{9.175 \frac{\text{gpm}}{\text{ft}^2}}{\text{ft}^2} = 2.294 \text{ ft}^2$$

$$A = 0.785 D^2 \text{ por lo tanto}$$

D = 1.71 ft

D = 52 cm

El medio filtrante es del tipo múltiple-capa formado por Arena-Antracita, la proporción que guardan es de 60%-40% respectivamente. Y a su forma irregular tiene - las siguientes características:

- Es un lecho poroso que no se agrieta
- Se lava con facilidad
- Tiene una área grande los granos angulosos lo que facilita la retención de flóculos.

#### Especificaciones del filtro:

Arena fina de 0.45 a 0.5 , , 68.58 cm

Antracita No. 2 de 0.47 a 0.234cm 5.08 cm

Antracita No. 3 de 7.92 a 0.475cm 7.62 cm

Antracita No. 4 de 1.427 a 0.792 cm 7.62 cm

Antracita No. 6 de 4.125 a 2.062 cm 10.62 cm

Antracita No. 7 de 6.038 a 5.08 cm 15.24 cm

Altura total del multi-lecho = 114.3 cm

Una desventaja de la antracita es que puede ser arrastrada al drenaje, si utilizan gastos muy altos de re trolavado.

### 5.1.8. DETERMINACION DEL INDICE DE LANGELIER

Conforme a los datos del análisis tenemos:

Dureza de calcio como $\text{CaCO}_3$	=	1000
Alcalinidad M como $\text{CaCO}_3$	=	185
Sólidos totales	=	36 233
Temperatura	=	$27^\circ \text{C}$
pH	=	7.6
Conversión	=	30%

Para condiciones de rechazo:

Factor de concentración	=	1.4 de la gráfica 11
Dureza como $\text{CaCO}_3$	=	$1000 \times 1.4 = 1400$
Alcalinidad M como $\text{CaCO}_3$	=	$185 \times 1.4 = 259$
Sólidos totales	=	$36233 \times 1.4 = 50726$
pCa	=	1.68
p Alc	=	2.45 ver fig. 13 para localizar ambos valores.

El valor de C es función de las atracciones y repulsiones eléctricas entre iones, ya que no están libres de la presencia de otros.

La concentración efectiva es algo menor que la molar. La magnitud de este efecto interiónico es función de la concentración iónica total que se define por:

$$M = \frac{1}{2} \sum m_i Z_i^2$$

Donde:

M = Concentración iónica

m = Molalidad del ión

Z<sub>i</sub> = Magnitud de la carga

Se efectúa la suma tanto de los positivos y negativos. Con el valor de M total en la figura 14 localizamos la C.

La concentración molal es determinada por la ecuación

$$m_i = \frac{C_i}{1000 \text{ M W} \frac{1000000 - \text{TDS}}{1000000}}$$

$C_i$  = Concentración del ión en ppm

MW = Peso molecular del ión

TDS = Sólidos totales disueltos

$$m_{\text{Na}} = \frac{11838}{1000 \times 23 \frac{10^6 - 36233}{10^6}} = 0.53$$

Iones	$m_i$	$Z_i$	$Z_i^2$	$M = \frac{1}{2} m_i Z_i^2$
$\text{Na}^+$	0.534	1	1	0.267
$\text{Ca}^{2+}$	0-01037	2	4	0.0207
$\text{Mg}^{2+}$	0.047	2	4	0.094
$\text{Cl}^-$	0.6107	1	1	0.305
$\text{SO}_4^{2-}$	0.022	2	4	0.044
$\text{HCO}_3^-$	0.0028	1	1	0.0014

$$M \text{ tot.} = 0.7321$$

De la figura 14 tenemos  $C = 3.32$

como  $\text{pHs} = \text{pCa} + \text{pAlk} + C$

$$\text{pHs} = 1.68 + 2.45 + 3.3 = 7.45$$

$$\text{I.S.L.} = 7.6 - 7.45 = 0.15$$

Se presenta incrustación.

5.1.9 DETERMINACION DE LA TENDENCIA DE LA SALMUERA A INCRUSTAR LOS MODULOS DE OSMOSIS INVERSA.

Para un pH = 6 sabremos si el I.S.L. es positivo o negativo y de acuerdo con el valor obtenido agregaremos el ácido sulfúrico, se buscará que el I.S.L. sea negativo y entre 0 a -0.5

S = Sólidos totales disueltos de agua cruda

S = 36233

H = Dureza de calcio en agua cruda, como ppm de  $\text{CaCO}_3$

H = 1000

A = Alcalinidad total a un pH sin tratar como ppm  $\text{CaCO}_3$

A = 185

k = Relación de alcalinidad a un pH sin tratar de la gráfica Nº.12<sup>CO<sub>2</sub></sup>

pH = 7.6

k = 21

k<sub>1</sub> = Relación alcalinidad a un pH deseado de la gráfica Nº. 12<sup>CO<sub>2</sub></sup>

pH = 6

k<sub>1</sub> = 0.5

C = Nivel de  $\text{CO}_2$  en agua sin tratar, como ppm  $\text{CO}_2$

$$C = \frac{A}{k} = \frac{185}{21} = 8.81$$

x = Cambio en alcalinidad y  $\text{CO}_2$  debido al ajuste de pH

$$x = \frac{A - Ck_1}{k_1 + 1}$$

$$x = \frac{185 - 8.81 \cdot 0.5}{0.5 + 1} = 120.4$$

$$C_1 = \text{Nivel de CO}_2 \text{ en la alimentación después de - ajustar el pH.}$$

$$C_1 = C + 0.9 x = 8.81 + 0.9 x 120.4 = 117.17$$

$$A_1 = A - x = 185 - 120.4 = 64.6$$

$$C_2 = \text{Nivel de CO}_2 \text{ en la salmuera}$$

$$C_2 = \frac{0.5 C_1}{1-R} = \frac{0.5 x 117.17}{1-0.3} = 83.69$$

$$A_2 = \text{Alcalinidad en la salmuera}$$

$$A_2 = \frac{0.95 A_1}{1-r} = \frac{0.95 x 65.6}{1-0.3} = 87.67$$

$$k_2 = \frac{A_2}{C_2} = \frac{87.67}{83.69} = 1.047$$

$$P_2 = \text{pH de la salmuera de la gráfica a } k_2$$

$$P_2 = 6.325$$

$$H_2 = \text{Dureza de calcio en la salmuera}$$

$$H_2 = \frac{0.95H}{1-r}$$

$$H_2^+ = \frac{0.95 H}{1-R} = \frac{0.95 x 1000}{1-0.3} = 1357$$

$$S_2 = \text{Sólidos totales disueltos}$$

$$S_2 = \frac{0.95 S}{1-R} = \frac{0.95 x 36233}{1-0.3} = 49173$$

$$pCa = 1.74$$

$$p \text{ Alc.} = 2.71$$

$$C = 2.2$$

$$P_2S = 6.65$$

$$P2S = \text{pH de la salmuera incrustante del Índice de Langelier}$$

$$I.S.L. = 6.325 - 6.65 = -0.33$$

5.1.10 DETERMINACION DEL ACIDO REQUERIDO PARA REDUCIR EL pH A UN VALOR DESEADO.

A = Alcalinidad total del agua sin tratar, como ppm de  $\text{CaCO}_3$

$$A = 185$$

k =  $\frac{\text{Alcalinidad}}{\text{CO}_2}$  a un pH sin tratar de la gráfica 12.

$$k = 21$$

C = Nivel de  $\text{CO}_2$  en el agua sin tratar como ppm  $\text{CO}_2$

$$C = \frac{A}{k} = \frac{185}{21} = 8.81$$

$k_1$  =  $\frac{\text{Alcalinidad}}{\text{CO}_2}$  a un pH ajustado y deseado, de la gráfica # 12

$$k_1 = 0.5$$

x = Acido sulfúrico requerido para ajustar el pH

$$x = \frac{A - C k_1}{0.9k_1 + 1.02} = \frac{185 - 8.81 \times 0.5}{0.9 \times 0.5 + 1.02} = 122.85 \text{ ppm}$$

S = Acido sulfúrico requerido para ajustar el pH como lb por 1000 galones de alimentación

$$S = \frac{x}{120} = \frac{129}{120} = 1.023 \frac{\text{lb de ácido sulfúrico}}{1000 \text{ galones de aliment.}}$$

Como se tiene una alimentación de 100000 ltos y por cada 3785 ltos se consume 1.023 lb entonces se requieren 26,42 veces las lbs. de ácido sulfúrico para tratar a el agua alimentada.

$$\begin{aligned} \text{Y el consumo total de } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ es } & 26.42 \times 1.023 \\ & = 27.02 \text{ lbs.} \end{aligned}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 = 1.82 \text{ kg/l}$$

$$27.02 \frac{\text{lb}}{\text{día}} \times \frac{454 \text{ g}}{\text{lb}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 12.89 \text{ kg}$$

6.74 Lts de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  al 100%

Para conocer el equivalente al 98% tenemos:

$$N_1 V_1 = N_2 V_2$$

$$100 \times 6.74 \text{ Ltos } \text{H}_2\text{SO}_4 = 98 V_2$$

$$\therefore V_2 = \frac{100 \times 6.74}{98} = 6.87 \text{ Ltos } \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ al } 98\%$$

Para un tanque de 100 ltos.

$$100 \ 000 \frac{\text{ml}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 69.43 \frac{\text{ml}}{\text{min}}$$

#### 5.1.11 DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE HEXAMETAFOSFATO DE SODIO.

Debido a que la concentración en la línea de alimentación es de 10 ppm, el consumo de Hexametafosfato de sodio por día.

$$Q_A = 100 \text{ m}^3 \text{ por día}$$

$$100 \ 000 \frac{\text{ltos}}{\text{día}} \times \frac{10 \text{ mg}}{1 \text{ lto.}} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} = 1 \frac{\text{Kg de H.M.F.S.}}{\text{día}}$$

El cual se prepara en un tanque de 100 Ltos, para que dure 8 hr por lo que el gasto que manejará la bomba dosificadora es de:

$$100 \frac{\text{Ltos}}{8 \text{ hr}} \times \frac{1000 \text{ ml}}{1 \text{ lto}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min.}} = 208.3 \frac{\text{ml}}{\text{min}}$$

#### 5.1.12 DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE FLOCULANTE.

La concentración en la línea es de 15 ppm por lo que el floculante necesario para la alimentación es de:

$$100\ 000 \frac{\text{lbs}}{\text{día}} \times \frac{15 \text{ mg}}{1 \text{ lto}} \times \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 1.500 \frac{\text{kg}}{\text{día}}$$

El cual se disuelve en un tanque de 100 ltos para dosificarlo diariamente.

$$100\ 000 \frac{\text{ml}}{\text{día}} \times \frac{\text{día}}{24 \text{ hr}} \times \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min.}} = 69.43 \frac{\text{ml}}{\text{min}}$$

5.1.13 DETERMINACION DE LA CANTIDAD DE HIPOCLORITO DE SODIO.

La concentración que se necesita en línea es de 1 ppm para tratar 100 000 litros, el Hipoclorito de Sodio que se tiene es de 12.5% en peso, de acuerdo con la siguiente expresión: Los gramos requeridos son:

$$g = \frac{C \times L}{\% \text{ cloro} \times 10} = \frac{1 \times 100\ 000}{12.5 \times 10} = 800 \text{ g}$$

Donde:

- g = gramos de hipoclorito
- C = miligramos por litro o ppm deseadas
- % Cloro = Hipoclorito de sodio disponible %
- L = Litros de agua

5.2. ESTIMACION DEL COSTO DEL ANTEPROYECTO DE DESALACION DE AGUA DE MAR POR OSMOSIS INVERSA.

Para determinar el costo total se consideraron los siguientes puntos:

- |   |   |
|---|---|
| Estudio de Gabinete                       | Se refiere al estudio teórico y la elaboración de planos.           |
| Especificación del equipo y construcción. | Selección del equipo y accesorios constituidos por dos subsistemas: |

- Pretratamiento
- Osmosis Inversa

Instalación de la planta y de subsistemas auxiliares.

Se refiere a la instalación de:

- Toma de agua
- de la parte eléctrica
- transporte de la planta a Playa Arena
- Arrancar y operar hasta -- que se estabilice.

Informes

Se lleva a cabo un análisis de los reportes de operación y del proyecto.

Se desarrollará un desglose detallado de cada uno de los puntos anteriores.

#### COSTOS

Estudio de Gabinete

Estudio teórico  
Servicios

Externos

Adquisición de  
Bibliografía.

\$ 65,000.00

Recursos Humanos

1 Ingeniero para  
investigación.

( 3 meses )

151,500.00

1 Secretaria

( 1 mes )

34,500.00

Material

Papelería y útiles.	\$ 7,250.00
	<u>258,250.00</u>

Proyecto Ejecutivo

1 Ingeniero para diseño. ( 5 meses )	252,500.00
1 dibujante ( 5 meses )	162,000.00
1 Secretaria por ( 1 mes )	34,500.00
Papelería y úti les	<u>24,000.00</u>
	473,000.00

ESPECIFICACION DEL EQUIPO Y CONSTRUCCION:

Subsistema de Pretratamiento

Bomba dosificadora para manejar ácido sulfúrico al 98% con presión de descarga de 8.8 kg/cm<sup>2</sup>, capacidad 0 a 150 ml, conexión de 6 mm, con motor integrado de 115 V 50/60 Hz, 1.3 amperes.

1 pza \$ 377,200.00

Bomba dosificadora para manejar solución de Hexametafosfato de Sodio al 1.2% con presión de - descarga de 8.8 Kg/cm<sup>2</sup> y gasto de 0-150 ml/min. conexiones de 6mm, con motor integrado de 115 V, 50/60 Hz 1.3 amperes. 1 pza 261,855.00

Bomba dosificadora para manejar Hipoclorito de Sodio al 1.5% - con presión de descarga 8.8 Kg/cm<sup>2</sup> capacidad de 0 a 150 ml/min, conexiones de 6mm con motor integrado de 115V, 50/60Hz 1.3 amp. 2 pza 416,000.00

Bomba dosificadora de floculante químico con presión de descarga de 8.8 Kg/cm<sup>2</sup> capacidad de 0 a 150 ml/min, conexiones de 6mm, con motor integrado de 1/4 HP, 115 V, 50/60 ciclos, 1.3 A. 1 pza 208,000.00

#### Bombas de Proceso

Bomba centrífuga horizontal para manejar agua de mar 100 m<sup>3</sup>/día, carga dinámica de 7kg/cm<sup>2</sup>, impulsor de bronce, carcasa - acero al carbón con recubrimiento epoxi, acoplada a motor eléctrico de 3HP. Totalmente - cerrado para servicio continuo de 220V, 3 fases, 60 ciclos. 2 pzas 233,077.00

Filtro de arena para una capacidad de 100 m <sup>3</sup> , presión de operación de 5.2 kg/cm <sup>2</sup> , conexiones de 50 mm.	2 pzas.	881,670.00
--	---------	------------

Tanques.

Tanque de poliéster reforzado - con fibra de vidrio con tapa - desmontable que permita acoplar una bomba dosificadora, cap. 60 ltos. marca Lapsolite, diámetro 40.7 mm, altura 50 cm.	3 pza	16,005.00
---	-------	-----------

Tanque de polietileno de alta densidad, con tapa desmontable que permita acoplar una bomba - dosificadora, capacidad 200 ltos diámetro 52 cm altura 65 cm.	1 pza	10,856.00
--	-------	-----------

Instrumentos y Controles de Pretratamiento:

Manómetro rango de 0 a 10 kg/cm <sup>2</sup> con bourdón de acero inoxidable 316 para manejar agua de mar, - conexión inferior de 13 mm Ø en línea.	3 pza	31,980.00
---	-------	-----------

Reactivos químicos para Pretratamiento durante 6 meses:

H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> al 98%	1134 Lt.	72,680.00
HMFS al 1.2 % (NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	200 kg	29,900.00
floculante Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>	247 kg	29,445.00
Bisulfito de Sodio NaHSO <sub>3</sub>	70 kg	22,398.00

## Subsistema de desalación

Bomba centrífuga de alta presión construida en acero inoxidable - 316, montada por medio de bridas a motor eléctrico horizontal para 47 Hp, 3600 68 mm 60 Hz, 220 V, diámetro en succión 50 mm y - en la descarga 38 mm con inductor.

1 pza \$ 1'750,000.00

Filtro cartucho construido en - acero inoxidable 316 conexión de entrada y salida de 38 mm de diámetro para manejar un gasto de - 100 m<sup>3</sup>/día agua de mar.

1 pza 127,500.00

Elemento filtrante para eliminar partículas de 10 micras de polipropileno, capacidad 80 ltos/min, conexiones de 19 mm.

20 pzas 10,200.00

Elemento desalador B-10 capacidad inicial de agua producto de 15.14 a 17.03 m<sup>3</sup>/día, conexiones de alimentación, producto y rechazo de 19 mm NPT.

2 pzas 3'218,921.00

### Instrumentos y controles de la unidad desaladora:

Manómetro de 0 a 7 kg/cm<sup>2</sup> con - bourdon de bronce, carátula 63mm Ø y conexión de 13 mm Ø NPT, para manejar agua de mar, conexión - inferior

2 pzas 21,320.00

Manómetro de rango de 0 a 7 kg/cm<sup>2</sup> con bourdon de acero inoxidable 316 carátula 63 mm Ø y conexión posterior de 13 mm Ø NPT para manejar agua de mar, para ser montado en tablero. 1 pza \$ 12,500.00

Manómetro tipo bourdon con amortiguación de glicerina rango de 0 a 10 kg/cm<sup>2</sup> con conexión macho posterior de diámetro de 13 mm NPT, bourdon y conexiones construidas de bronce o acero inoxidable 316, carátula de 51 mm de diámetro para ser montado en tablero. 1 pza 12,500.00

Manómetro tipo bourdon con amortiguación de glicerina, rango 0-110 kg/cm<sup>2</sup>, con conexión macho posterior de 13 mm de diámetro bourdon y conexiones construidas en acero inoxidable para ser montada en tablero. 1 pza 16,500.00

Elemento sensor, construido en propileno, diámetro de tubería con el indicador de flujo, rango de 0 a 113,5 l/min, carátula 114 mm montado en tablero. 1 pza 97,750.00

Medidor de pH con rango de 0 a 12 portatil mod. 20. 1 pza 166,750.00

Manómetro de rango 0-70 kg/cm <sup>2</sup> con bourdon de acero inoxidable 316, carátula de 63 mm Ø - y conexión de 13 mm Ø NPT, para ser montado en tablero.	1 pza	16,500.00
Celda de conductividad montaje tipo flujo conexión en la entrada de 19 mm Ø NPT.	1 pza	82,500.00
Monitor de conductividad rango de 0-2000 micromohos escala lineal	1 pza	160,450.00
Te para adaptar el sensor de flujo construido en PVC 40, - No. de parte de long. 50.8 cm	1 pza	
Anexada al elemento sensor de tubería de 19 mm rango del -- gasto 0 a 113.5 lts/min. y -- con el indicador de flujo para agua de mar con rango de - 0 a 113.5 lts/min., modelo MK 384 carátula 114 mm montado - en tablero.	1 pza	97,750.00
Interruptor de presión, rango de 7 a 70 kg/cm <sup>2</sup> con caja Nema 4 a prueba de intemperie.		
Tee para elemento sensor de flujo construido en PVC 40, - No. de parte.	1 pza	5,525.00

Pretratamiento

Válvula de bola de 25mm en PVC roscada.	4 pzas	17,348.00
Tee de 25 mm $\emptyset$ en PVC ce- mentada.	10 pzas	6,050.00
Codo de 90 <sup>o</sup> de 25 mm $\emptyset$ en PVC cementado.	13 pzas	3,445.00
Adaptador macho de 25 mm $\emptyset$ en PVC cementado.	16 pzas	1,712.00
Tuerca unión de 25 mm $\emptyset$ en PVC cementada.	5 pzas	9,875.00
Tubería de 25 mm $\emptyset$ en PVC cementada.	10 mts.	3,680.00
Reducción bushing de 51 a 25 mm en PVC cementada.	2 pzas	916.00
Codo de 90 <sup>o</sup> de 51 mm $\emptyset$ en PVC para cementar.	11 pzas	9,361.00
Tee de 51 mm de $\emptyset$ en PVC - para cementar.	13 pzas	16,445.00

	CANTIDAD	UNIDAD	\$
Tubería de 51 mm Ø en PVC para cementar.	5	mtos.	3,450.00
Válvula de bola en PVC de 51 mm Ø roscada.	10	pzas.	70,750.00
Adaptador macho de 51 mm Ø en PVC cementado.	20	pzas.	4,660.00
Reducción bushing de 51mm Ø en PVC cementado.	5	pzas.	2,290.00
Niple de 13 mm Ø 25.4 mm de long. en PVC para cementar.	1	mtos.	40.00
Codo de 90° de 13 mm Ø en PVC para cementar.	1	pza.	98.00
Mezclador de línea	1	pza.	45,250.00
Sujetador de 13 mm Ø en PVC para cementar.	2	pzas.	351.00
Adaptador hembra 13 mm Ø en PVC para cementar.	2	pzas.	171.00
Válvula check de 25 mm Ø en PVC roscada.	2	pzas.	22,346.00

LINEA DE AGUA CRUDA

DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	\$
Adaptador macho de 19 mm en PVC para cementar.	8	pza.	536.00
Tee de 13 mm en PVC para cementar.	3	pza.	610.00
Tuerca unión de 38 mm en PVC para cementar.	3	pza.	5,925.00
Reducción bushing de 38 mm en PVC para cementar.	3	pza.	453.00
Adaptador hembra de 13mm en PVC para cementar.	1	pza.	92.00
Válvula de bola 38 mm en PVC para cementar.	2	pza.	8,674.00
Tubo de 38 mm en PVC para cementar.	2	mto.	370.00
Codo unión de 90° SS 316.	5	pza.	16,250.00
Válvula de globo de Ø - 19 mm en acero inox. 316.	1	pza.	21,870.00
Tee unión de 19 mm en ace ro inox. 316.	3	pza.	20,314.00

Tubing de 13 mm en acero inox. 316.	0.20	mto.	300.00
Reducción Bushing de 51 mm a 19 mm en PVC.	1	pza.	526.00
Conector macho de 19 mm acero inox. 316 para tubing.	4	pza.	37,720.00
Tubing de 19 mm en acero inoxidable.	3	mto.	3,885.00
Válvula check de 19 mm - en acero inoxidable.	1	pza.	19,465.00
Válvula de aguja 19 mm - en acero inoxidable.	1	pza.	21,870.00
Reducción bushing de 38 mm a 19 mm en acero inox.	1	pza.	6,500.00
Válvula de tres vías de 6mm acero inoxidable.	1	pza.	15,000.00
Tubing de 6 mm acero inoxidable 316.	2	mto.	5,301.00
Reducción unión de 19 a 13 mm.	1	pza.	2,400.00
Reducción unión de 13 a 6 mm SS 316.	1	pza.	1,450.00

Codo de 90° unión de 6 mm SS31.	2	pza.	2,386.00
Reducción bushing de 38 a 19 mm PVC.	1	pza.	198.00
Reducción bushing de 51 a 19 mm PVC.	1	pza.	458.00

#### LINEA DE RECHAZO

Tubing de 19 mm Ø de acero inox. 316.	1.3	mto.	2,770.00
Tee de 19 mm Ø para tubing de acero inox. 316.	2	pza.	40,624.00
Válvula de aguja de Ø = 19 mm para tubing de acero inox. 316 Ced. 40 roscada NPT.	1	pza.	21,870.00
Conector macho Ø 19 mm para tubing acero inox. 316.	1	pza.	8,200.00
Tubing de 6 mm Ø acero inoxidable 316.	0.65	mto.	1,722.00
Tubo de 19 mm Ø PVC para conectar.	1.5	mto.	390.00

Codo de 90° de Ø 19 mm - en PVC para cementar.	3	pza.	552.00
Adaptador macho de Ø - 19 mm PVC para cementar.	1	pza	67.00
Reducción bushing de ace ro inoxidable 19 mm a - 6 mm NPT.	2	pza.	5,800.00
Conector macho Ø 6 mm - para tubing de SS 316.	1	pza.	2,240.00
Tee de Ø = 19 mm para - tubing de 316 SS.	1	pza.	20,314.00

#### LINEA DE PRODUCTO

Tubo de Ø 13 mm en PVC - para cementar.	2.5	mto.	485.00
Codo de 90° Ø = 13 mm - PVC para cementar.	5	pza.	750.00
Tee de Ø = 13 mm, en PVC para cementar.	3	pza.	220.00
Válvula de bola Ø 13 mm PVC para cementar.	1	pza.	2,530.00
Reducción bushing de 19 a 13 Ø PVC para cementar.	2	pza.	116.00

Codo de 90° Ø = 19 mm en PVC para cementar.	1	pza.	184.00
Cople de 19 mm en PVC - para cementar.	1	pza.	56.00
Adaptador macho de Ø = 13 mm en PVC para cementar.	1	pza.	67.00
Tubo de 19 mm en PVC para, cementar.	0.6	mto.	156.00

## COSTOS DIRECTOS

\$

Compra e instalación del equipo de proceso.	7'511,284.00
Obra de toma de agua	910,350.00
Instrumentación y control	722,025.00
Tubería	519,904.00
Estructura y tablero con material electrico.	666,000.00
Caseta de la planta desaladora y generador.	2'200,000.00
Tanque de alimentación 10 m <sup>3</sup>	750,000.00
Tanque de producto 30 m <sup>3</sup>	1'800,000.00
Compra e instalación del generador eléctrico con motor de combustión interna y tanque de almacenamiento de diesel 15 m <sup>3</sup> .	3'540,500.00

## COSTOS INDIRECTOS

Ingeniería y supervisión	731,250.00
Contingencias	929,754.00
Capital de trabajo	1'110,000.00

TOTAL \$ 21'391,067.00

DETERMINACION DEL COSTO DE CADA M<sup>3</sup> DE AGUA PRODUCIDA.

Se consideran los siguientes costos:

Depreciación.

Costos fijos.

Costo de Pretratamiento.

Costo de operación

Costos variables.

Costo de mantenimiento.

Costo del combustible.

Para la depreciación del anteproyecto el capital es de \$ 18'620,063.00. Y la duración es de 7 años aproximadamente, por lo que.

$$\text{Costo por m}^3 \text{ de agua} = \frac{18'620,063.00 - 2'500,000.}{7 \times 330 \times 30.}$$

$$= 232.61.$$

Costo de pretratamiento por día.

	Filtro cartucho.	\$ 10.20
6.87	Ltos. de ácido sulfúrico	462.16
1.6	Lto. de hipoclorito de sodio.	59.59
1.5	Kg de floculante.	179.00
0.3	Kg de bisulfito de sodio	32.00
1	Kg de hexametafosfato de sodio.	149.50
	Costo por m <sup>3</sup> de agua	29.75

Costo de operación.

1 supervisor        \$ 1,683  
3 operadores         3,700.00

Costo por  $m^3$  de agua = \$ 179.40.

Costo de la energía que consume la planta de ósmosis inversa es:

$$60 \text{ kw-h} \times 0.31 \frac{\text{LTOS COMBUSTIBLE}}{\text{KW-h}} = 18.6$$

$$\frac{\text{LTOS COMB.}}{1.25 \text{ M}^3} \times \frac{1}{1.25 \text{ M}^3} = 14.88 \text{ LTOS COMBUSTIBLE. PRODUCTO}$$

Considerando que el  $m^3$  de agua producto, necesita aproximadamente 14.88 litros de combustible, y este tiene un costo de 26.00 m-n entonces tenemos lo siguiente.

$$\text{Costo}/m^3 = 14.88 \times 26 = 387.00$$

Costo de mantenimiento.

Aproximadamente un 6 % de la inversión total para 2 años.

$$\$ 21,391.067 \times 0.06 = 12,834.64.$$

$$\text{Costo}/m^3 = 64.82.$$

RESUMEN.

Depreciación.	\$	232.61.
Costo de operación		179.40.
Costo de mantenimiento		64.82
Costo de pretratamiento		29.75
Costo del combustible		387.00
Costo total por m <sup>3</sup> de agua producida.		893.58

## CONCLUSIONES

Este trabajo propone el diseño de una planta de ósmosis inversa para resolver las carencias de agua potable en Isla Arena dado que no existen fuentes de agua dulce en ese lugar e impide a sus habitantes una vida y desarrollo adecuado.

El proyecto esta dividido en tres secciones:

- Pretratamiento del agua de mar
- Proceso de ósmosis inversa
- Desinfección del agua tratada

El pretratamiento como fue descrito tiene la función principal de eliminar la mayor cantidad de carbonatos de calcio, materia en suspensión, ciertos coloides presentes, sales disueltas etc., para protección del equipo como módulo desalador que es tan importante en la planta.

Y sus etapas son mezclado-floculación-filtración, agregándose en las 2 primeras etapas reactivos como:

- . Sulfato de Aluminio
- . Hipoclorito de Sodio
- . Acido Sulfúrico
- . Bisulfito de Sodio
- . Hexametáfosfato de sodio

La selección del proceso de ósmosis inversa radica en que presenta las siguientes ventajas:

El conocimiento amplio del ensamble de las plan-

tas en México.

De la falta de agua en distintas partes de la República como Isla Arena.

El arranque y la operación de una planta es sencilla, son compactas, poco ruidosas, fáciles de transportar, la corrosión es mínima además no se necesita personal especializado.

La inversión es menor que en otros procesos de desalación como compresión de vapor.

La confiabilidad del proceso ósmosis inversa es comprobable ya que se han instalado plantas en distintas partes y están trabajando adecuadamente. Consume menor cantidad de combustible por cada  $m^3$  de agua producto que compresión de vapor y evaporación instantánea por etapas. Y presenta las siguientes desventajas:

La vida útil es corta debido a la incrustación de las membranas.

La tecnología de fabricación de membranas fibrahueca y espiral en México está muy atrasada con respecto a otros países, y es difícil que se produzcan en los próximos años por lo que habrá dependencia con el exterior, - se recomienda aumentar el presupuesto para la investigación de membranas.

El costo de cada  $m^3$  de agua dulce producido es muy caro, en comparación con los métodos tradicionales de obtención de agua.

El consumo de reactivos químicos para el pretratamiento es mayor que para los otros procesos de desalación.

La última sección es la desinfección del agua - dulce con Hipoclorito de Sodio para evitar enfermedades-gastrointestinales que tanto afectan a las zonas tropicales, se deben dar recomendaciones para el almacenamiento de agua tratada y evitar la contaminación ya que si no se siguen ciertas reglas muy poco serviría el haberla potabilizado.

El análisis económico consta de:

Equipo y accesorios	9'419,213.00
Obra civil	5'660,350.00
Instalación eléctrica	3'540,500.00
Ingeniería y supervisión	731,250.00
Contingencias	929,754.00
Capital de trabajo	1'110,000.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 21,391,067.00</b>

Y del costo por  $m^3$  de agua tratada para una capacidad  $30 m^3$ /día esta determinado por:

Mano de obra	179.40
Reactivos químicos	29.75
Mantenimiento	64.82
Combustible	387.00
Depreciación	232.60

**TOTAL**      \$       $893.57 \times 30 \frac{m^3}{día}$   
 = \$ 26,807.00

En comparación con otros procesos resulta ser -  
mas económico un 25 % cuando se fabrica en el país, tam--  
bién puede considerarse que al construirse en serie se --  
abaten los costos.

En relación a los paquetes de plantas de ósmosis  
inversa importados resultan ser más económicas un 30 % por  
el hecho de ensamblarlas en México.

Se tiene que ver como un proyecto de beneficio -  
social donde estará subsidiada la instalación de la planta  
para que el costo se reduzca a \$ 893.57 que está más al al  
cance, aunque se considere como agua únicamente para beber.

## A P E N D I C E S

### Gráficas

Factor de concentración vs conversión Fig. 11

Efecto de la alcalinidad y  $\text{CO}_2$  en pH Fig. 12

Indice de saturación de Langelier Fig. 13

Concentración iónica Fig. 14

pH de alimentación vs pH de salmuera Fig. 15

Curvas características para bomba de alimentación Fig. 16

Curvas características para bomba de alta presión Fig. 17

### Diagrama de Flujo

Diagrama de Flujo e Instrumentación

Distribución del equipo de pretratamiento

Vista lateral derecha y frontal de pretratamiento

Isométrico del Pretratamiento

Isométrico de Alimentación a bomba de alta presión

Isométrico del Producto

Isométrico del Rechazo

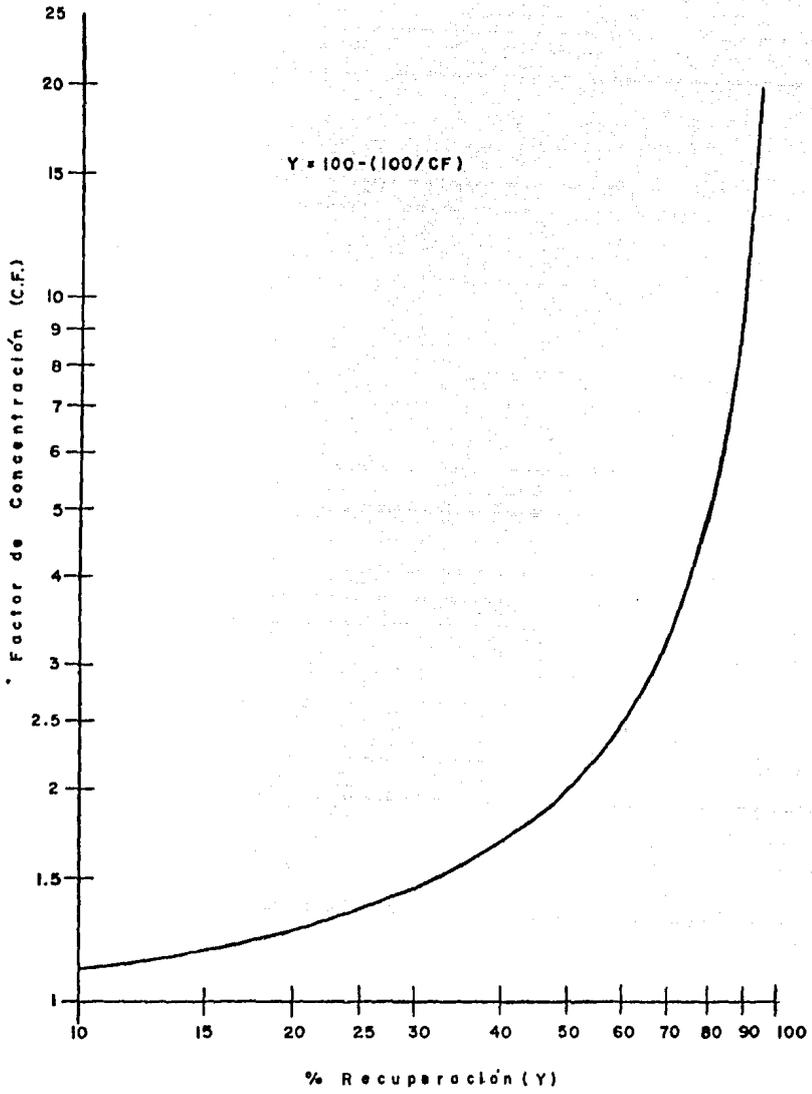


Fig 11 FACTOR DE CONCENTRACION (C.F.) VS % CONVERSION (Y)

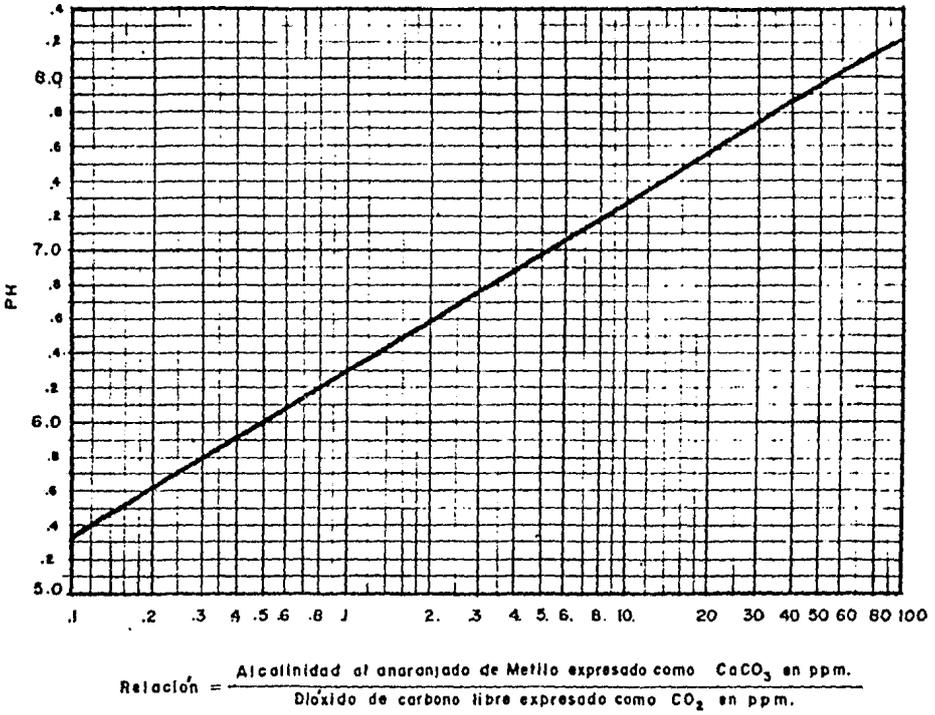


Fig. 12 EFECTO DE LA ALCALINIDAD Y CO<sub>2</sub> EN pH

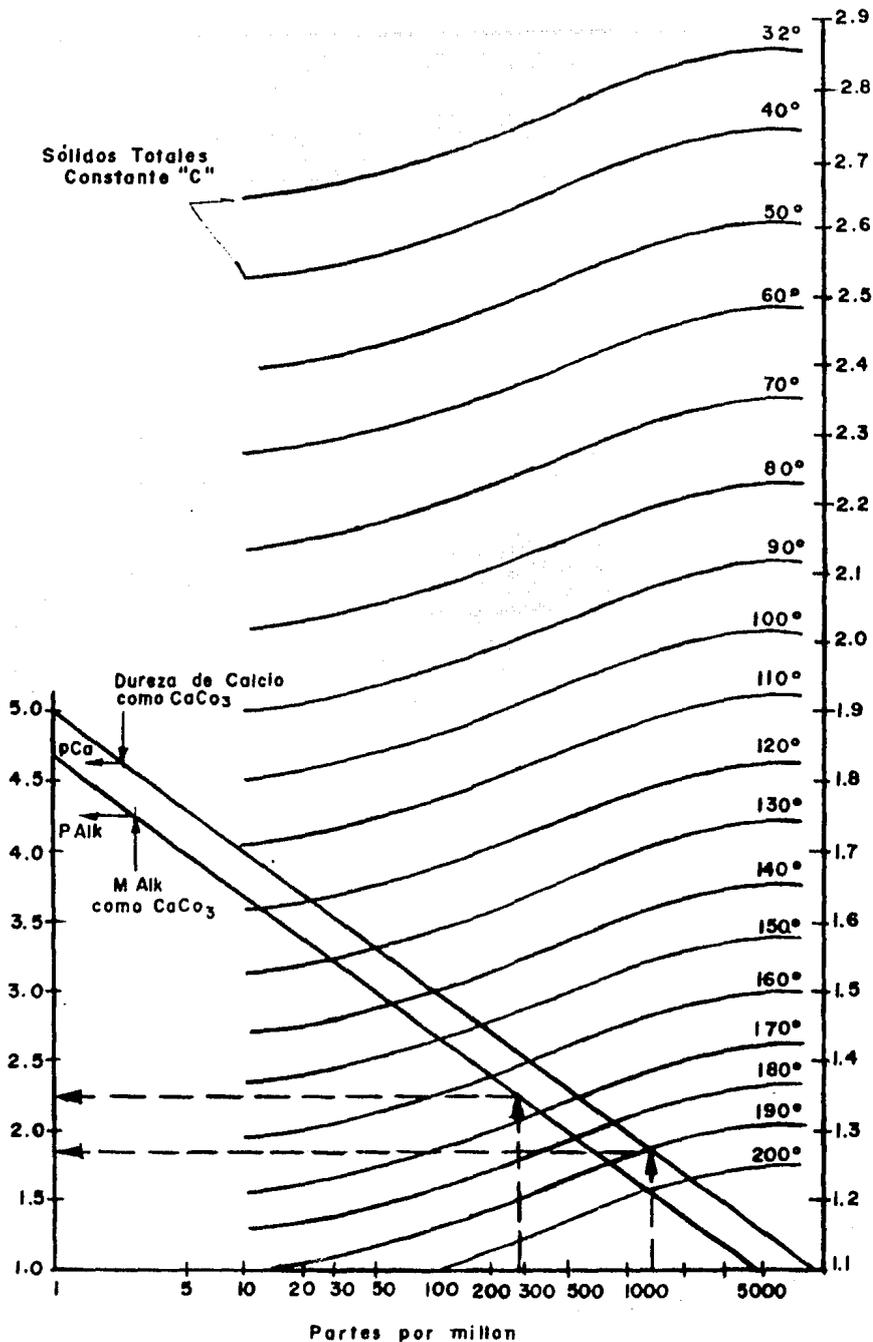


Fig. 13 INDICE DE SATURACION DE LANGELIER

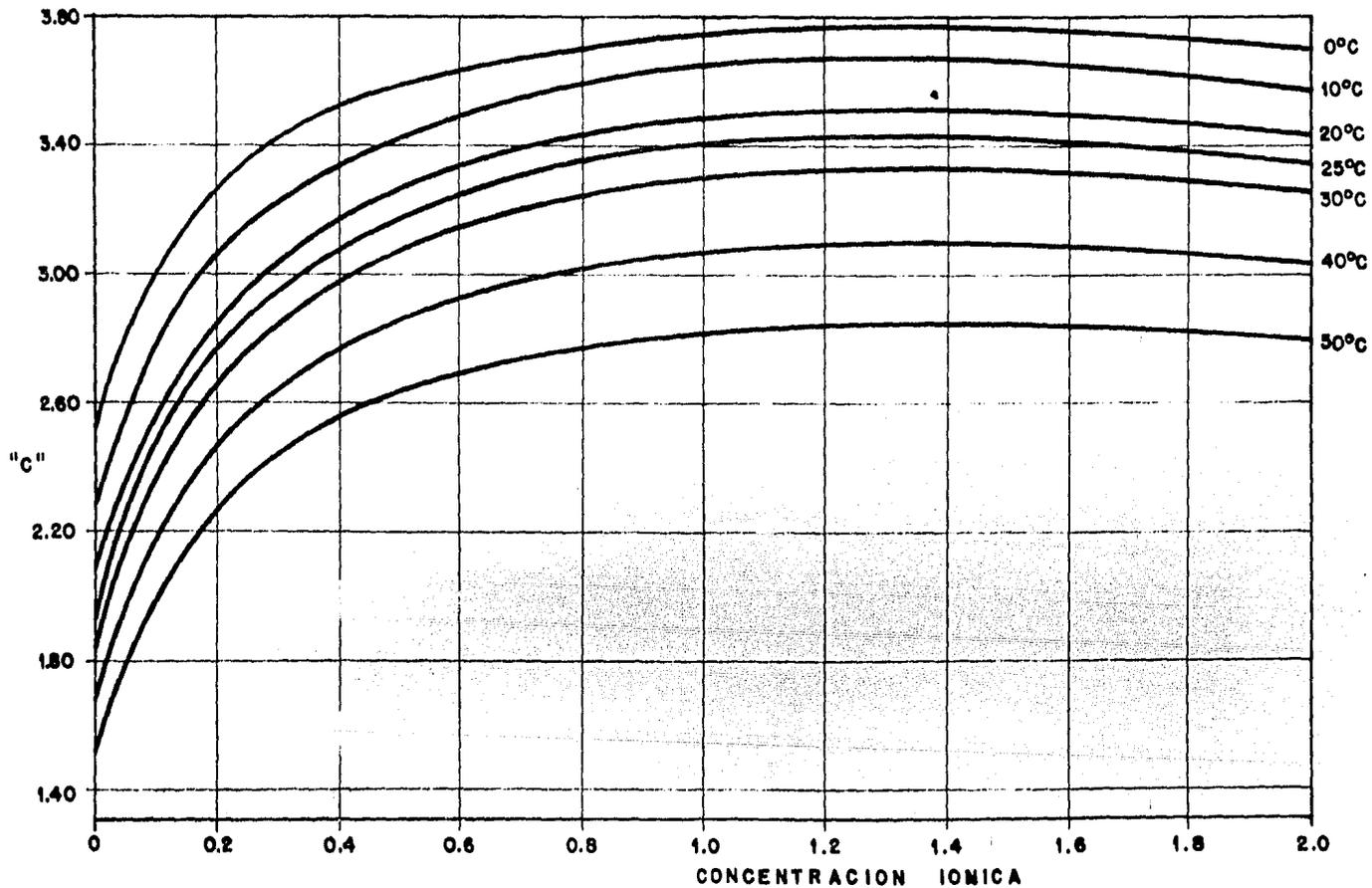


Fig. 14 CONCENTRACION IONICA VS "C"

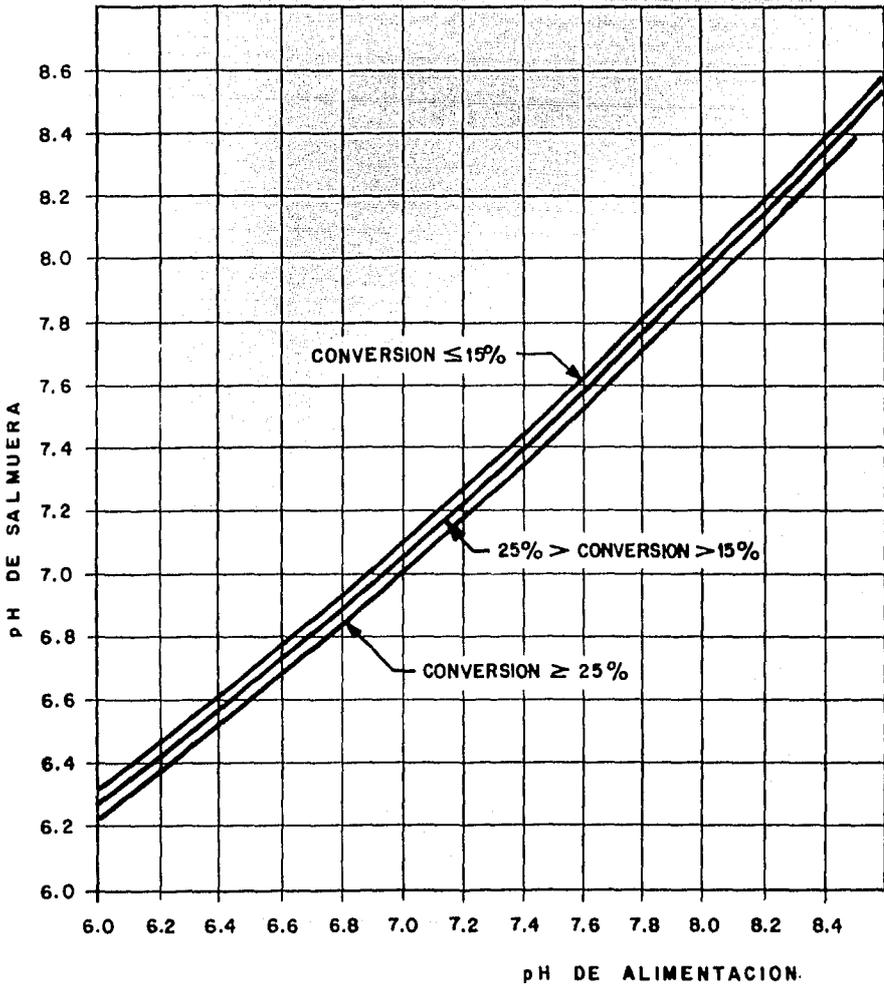
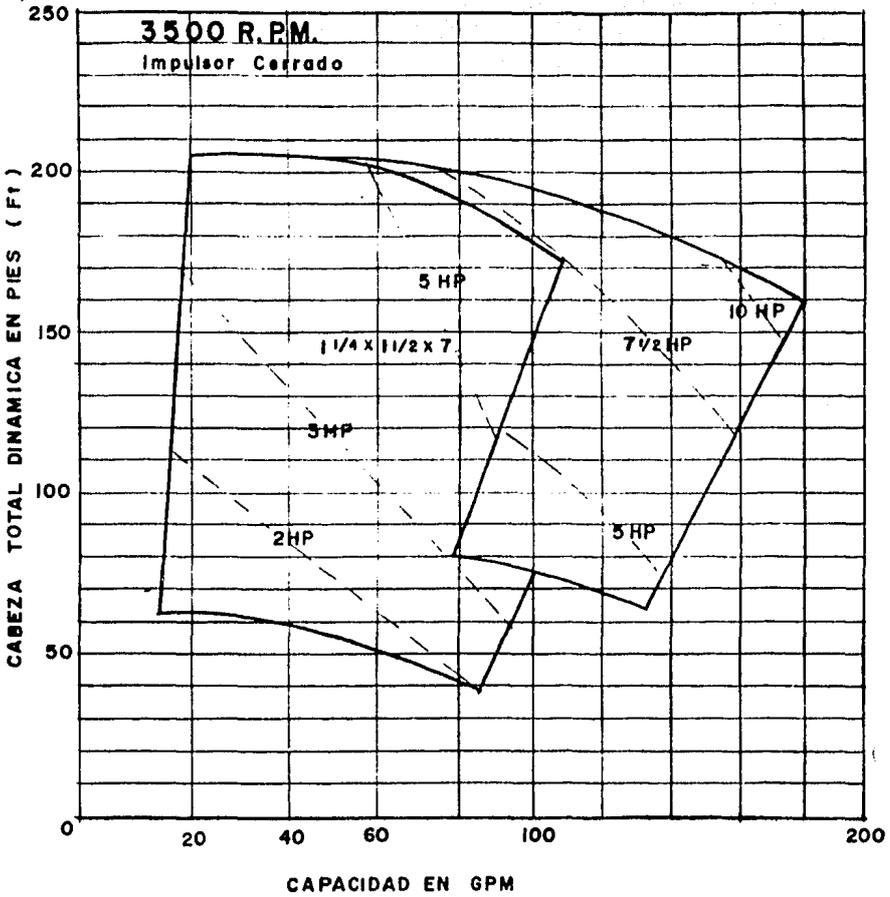


Fig. 15 pH DE ALIMENTACION vs pH DE SALMUERA.



**Fig. 16 CURVAS CARACTERISTICAS PARA BOMBA DE ALIMENTACION Y PRELAVADO**

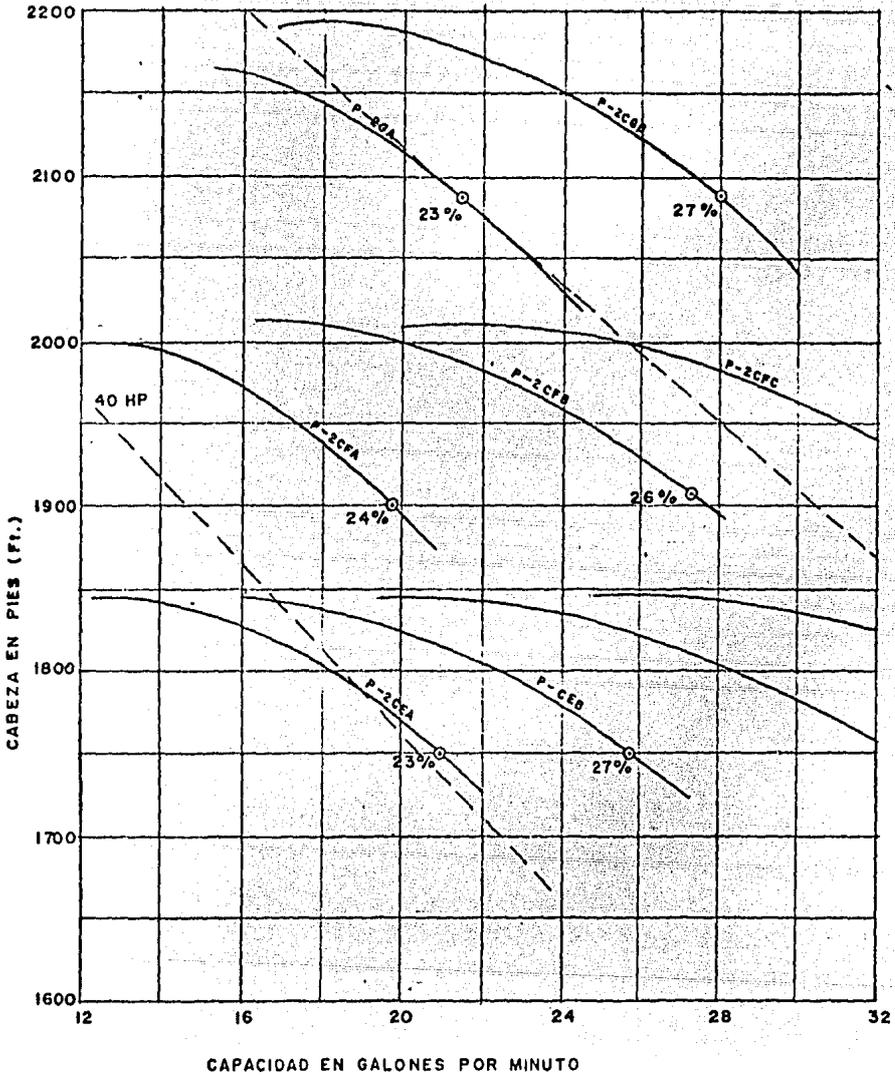
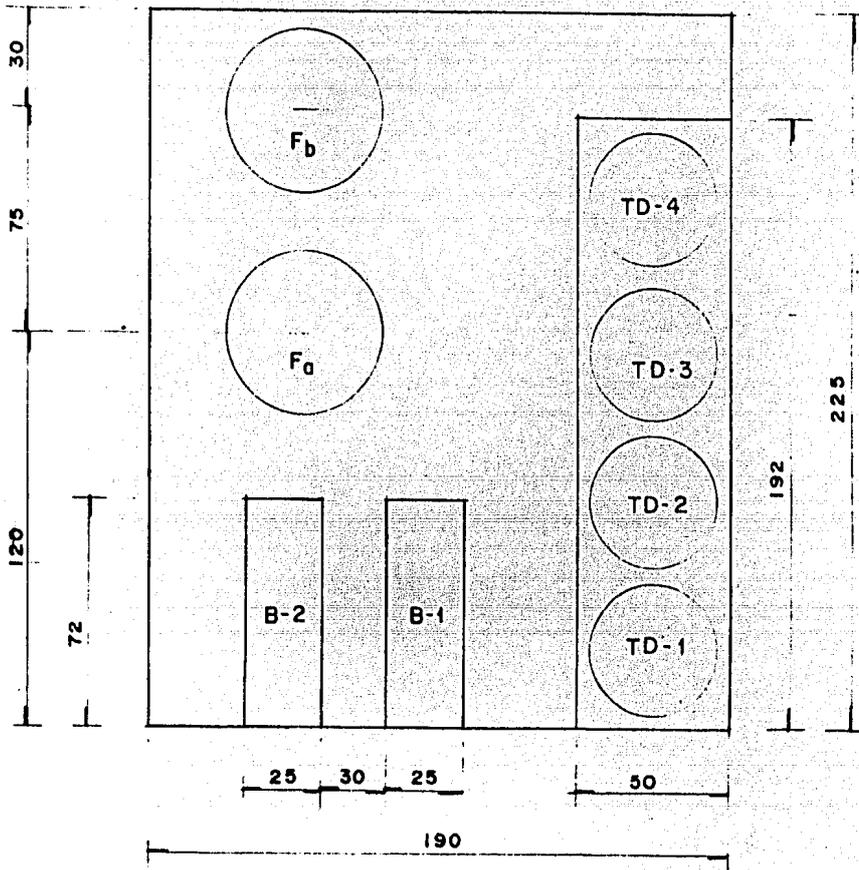
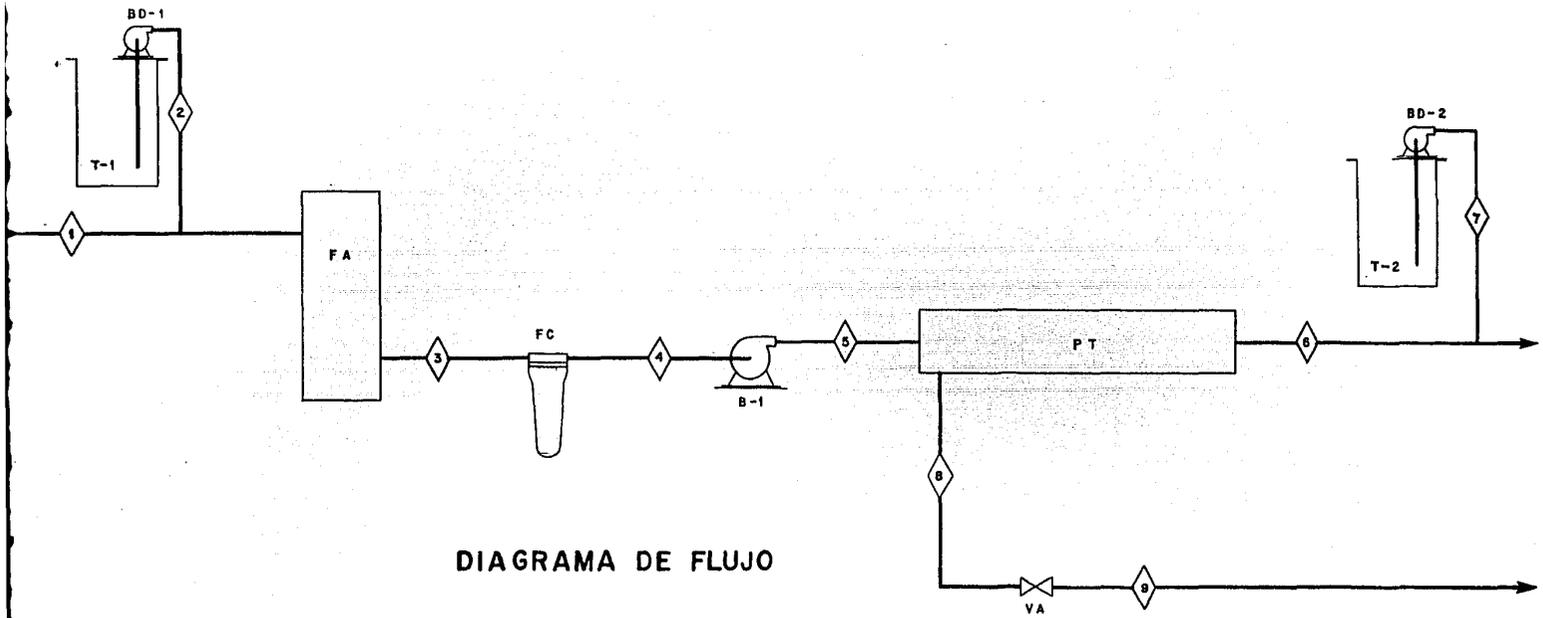


Fig. 17 CURVAS CARACTERISTICAS PARA BOMBA DE ALTA PRESION.



**DISTRIBUCION DEL EQUIPO DE PRETRATAMIENTO  
PARA LA PLANTA DE 30 m<sup>3</sup> DIA AGUA DE MAR**



LÍNEA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
FLUIDO	ALIMENTACION.	COAGULANTE	ALIMENTACION	ALIMENTACION	ALIMENTACION	PRODUCTO	HIPOCLORITO DE SODIO	RECHAZO	RECHAZO
FLUJO (m <sup>3</sup> /h)	4.7		4.7	4.7	4.7	1.4		3.3	3.3
PRESION (kg/cm <sup>2</sup> )	7.0	8.0	3.0	2.0	56.0	2.0	4.0	52.0	2.0

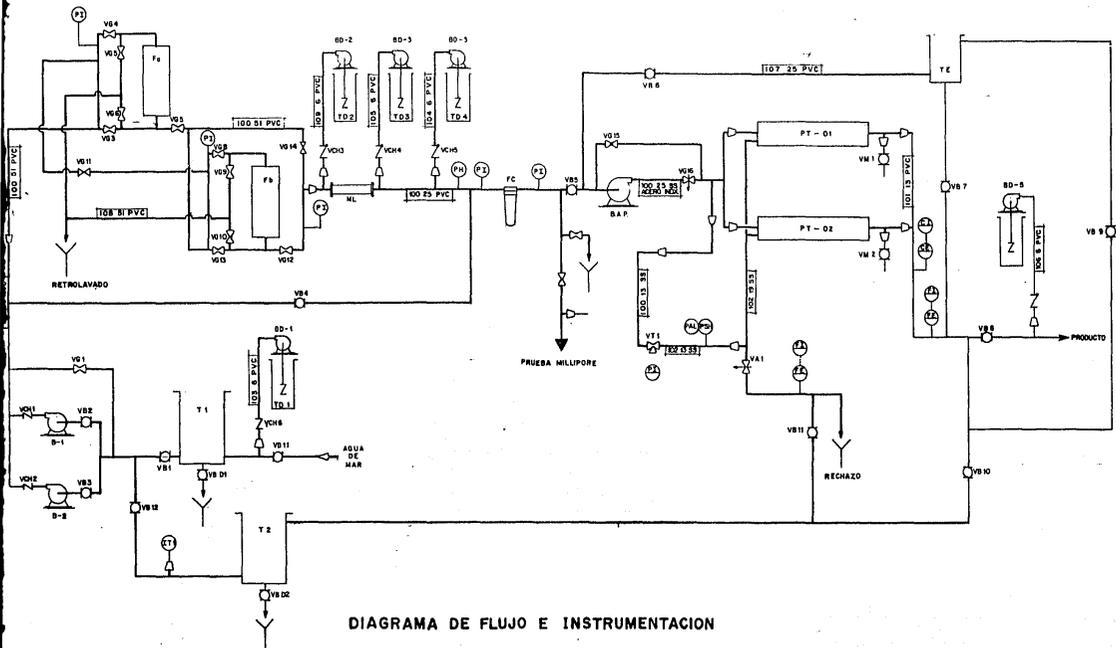


DIAGRAMA DE FLUJO E INSTRUMENTACION

IDENTIFICACION DE LINEAS

AAA BB CCC

- AAA CLAVE DE FLUIDO
- BB DIAMETRO NOMINAL
- CCC CLAVE DE MATERIAL

CLAVE DEL FLUIDO

- 1 0 0 AGUA MAR
- 1 0 1 AGUA PRODUCTO
- 1 0 2 AGUA RECHAZO
- 1 0 3 FLOCULANTE E HIPOCLORITO DE SODIO
- 1 0 4 MEMBRANOSFOSFATO DE SODIO
- 1 0 5 AGUO SULFURICO
- 1 0 6 HIPOCLORITO DE SODIO
- 1 0 7 AGUA DE LAVADO
- 1 0 8 AGUA DE RETROLAVADO
- 1 0 9 BISULFITO DE SODIO

SIMBOLOGIA

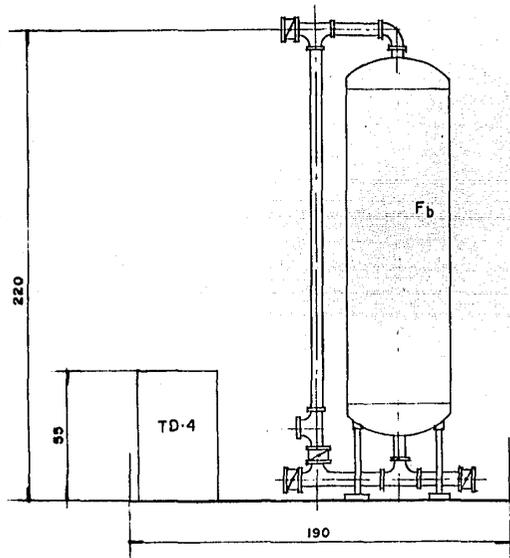
- ⊗ VALVULA DE ARUJA
- ⊗ VALVULA DE GLOBO
- ⊗ VALVULA DE 3 VIAS
- ⊗ VALVULA CHECK
- ⊗ VALVULA DE BOLA
- ⊗ SEÑAL LOCAL
- ⊗ EQUIPO MONTADO DENTRO DE TABLERO
- ⊗ SEÑAL DE TABLERO
- ⊗ SEÑAL ELECTRICA
- ⊗ LINEA DE PROCERO
- ⊗ FILTRO MILLIPORE
- ⊗ BOMBA
- ⊗ REDUCCION

LISTA DE COMPONENTES

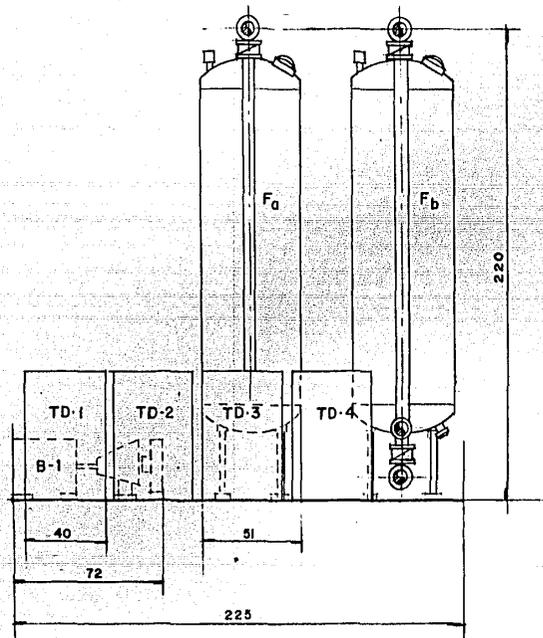
- CT TABLERO DE CONTROL
- PHI INDICADOR DE PH
- P.I INDICADOR DE PRESION
- FC FILTRO CARTUCHO
- PSL INDICADOR DE BAJA PRESION
- PSH INDICADOR DE ALTA PRESION
- V VALVULA
- PT PERMEATOR
- CE INDICADOR DE CONDUCTIVIDAD
- PAL LUZ DE ALARMA POR PRESION
- FM FILTRO MILLIPORE
- B BOMBA DE AYUDA
- BAP BOMBA DE ALTA PRESION
- Fa, Fb FILTRO DE ARENA
- BDAL-1 BOMBA DOSIFICADORA
- ML MEZCLADOR EN LINEA
- TE TANGUE ELEVADO
- T TANGUE DE ALIMENTACION

MATERIAL

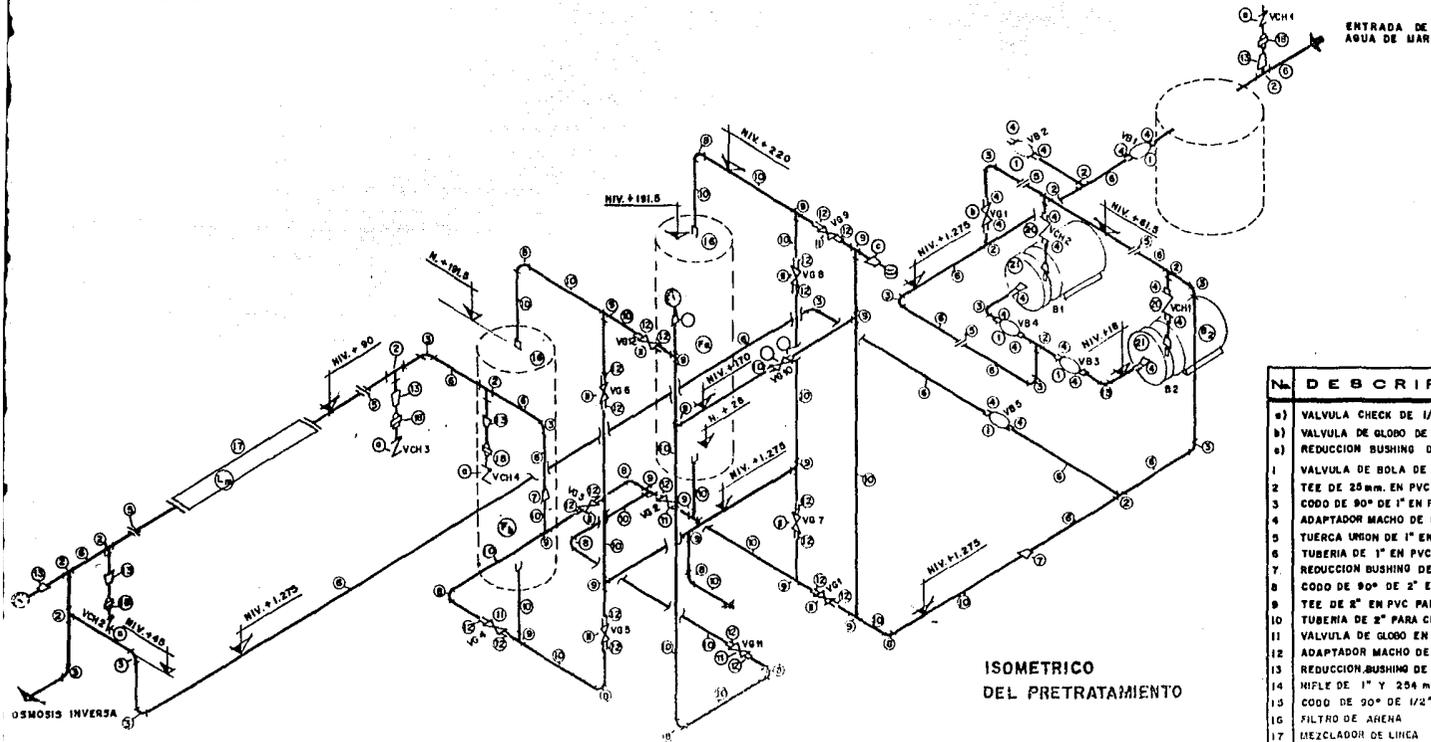
- PVC CLORURO DE POLIUNILDO
- SS ACERO INOXIDABLE



**VISTA LATERAL DERECHA DEL  
SUBSISTEMA DE PRETRATAMIENTO**

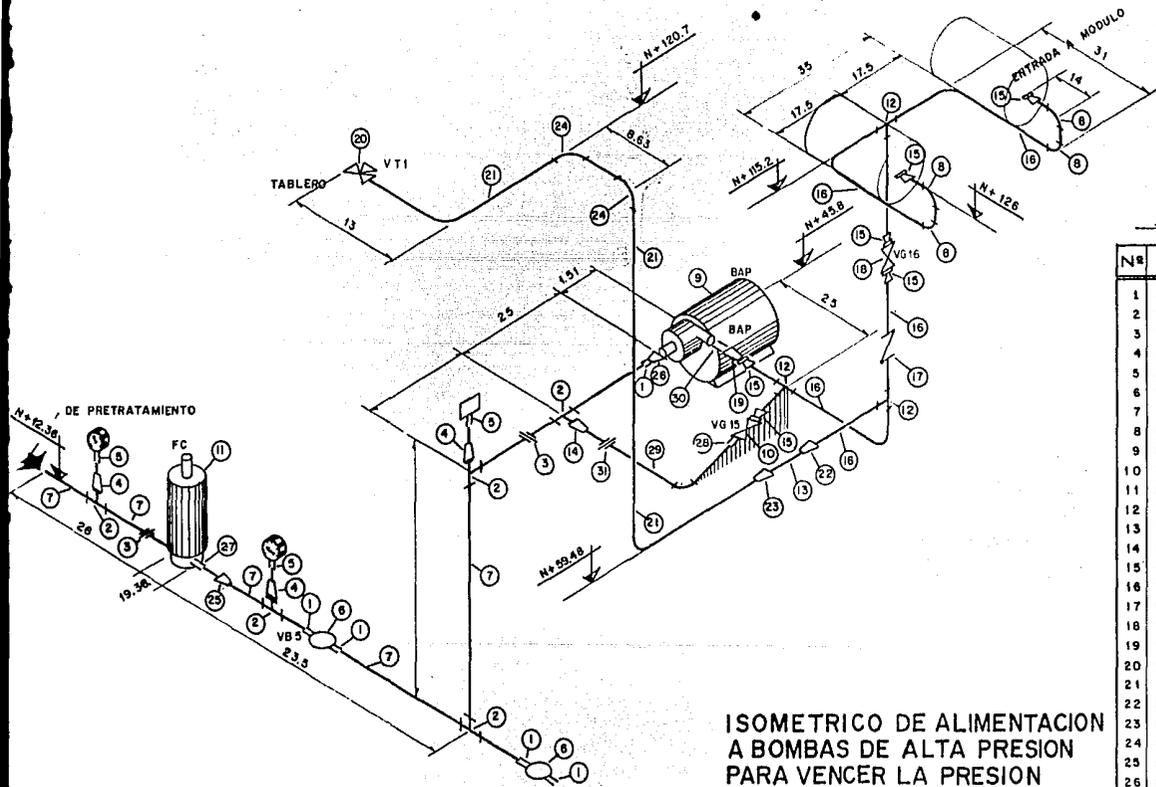


**VISTA FRONTAL DEL SUBSISTEMA DE PRETRATAMIENTO  
EN LA FIGURA SE MUESTRAN LOS FILTROS DE ARENA Y  
BOMBA DE AYUDA, ADEMAS LOS TANQUES DE DOSIFICACION.**



ISOMETRICO  
DEL PRETRATAMIENTO

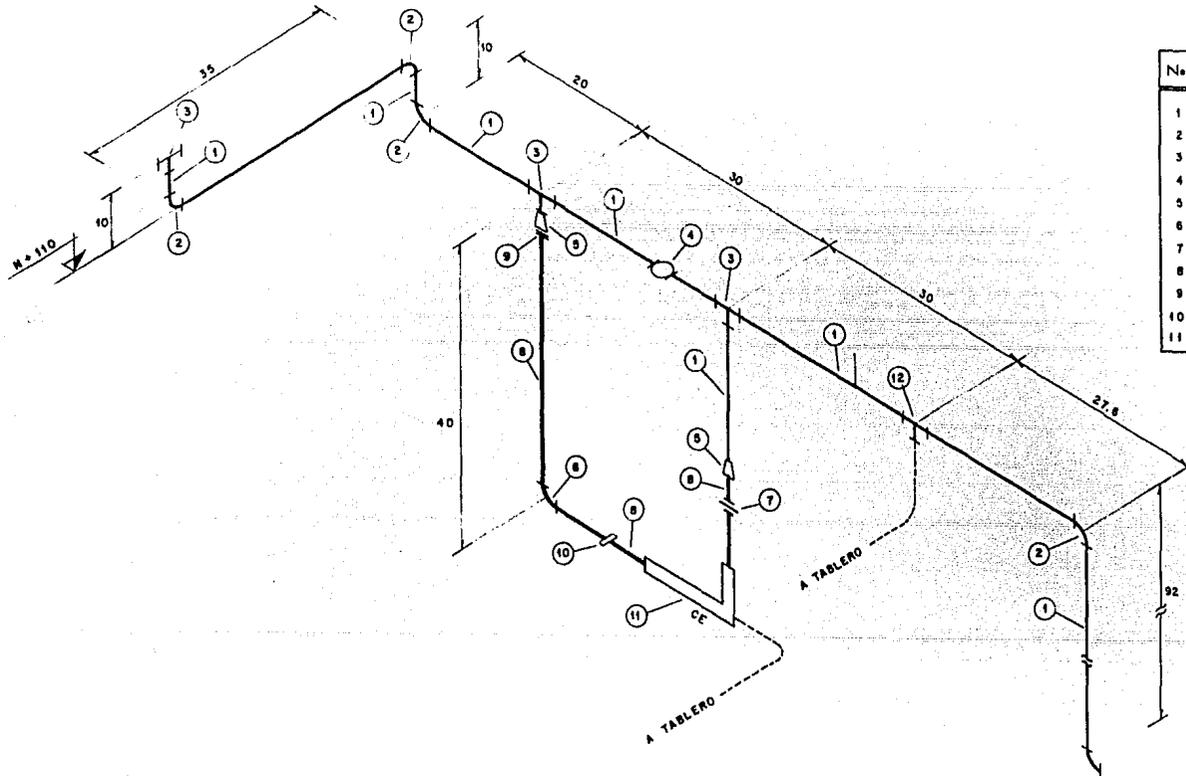
Nº	DESCRIPCION	CANT.	UNI.
1)	VALVULA CHECK DE 1/2" EN PVC ROSCADA	4	P.
2)	VALVULA DE GLOBO DE 1" EN PVC ROSCADA	1	P.
3)	REDUCCION BUSHING DE 2"-1/2" EN PVC P/CEM.	1	P.
4)	VALVULA DE BOLA DE 1" EN PVC ROSCADA	4	P.
5)	TEE DE 25mm. EN PVC PARA CEMENTAR	10	"
6)	CODO DE 90° DE 1" EN PVC PARA CEMENTAR	13	"
7)	ADAPTADOR MACHO DE 1" EN PVC PARA CEMENTAR	18	"
8)	TUERCA UNION DE 1" EN PVC PARA CEMENTAR	5	"
9)	TUBERIA DE 1" EN PVC PARA CEMENTAR	10	m
10)	REDUCCION BUSHING DE 2"-1" EN PVC PARA CEM.	11	P.
11)	CODO DE 90° DE 2" EN PVC PARA CEM.	11	P.
12)	TEE DE 2" EN PVC PARA CEMENTAR	13	P.
13)	TUBERIA DE 2" PARA CEMENTAR	8	m
14)	VALVULA DE GLOBO EN PVC ROSCADA DE 2"	10	P.
15)	ADAPTADOR MACHO DE 2" EN PVC PARA CEM.	10	"
16)	REDUCCION BUSHING DE 1"-1/2" EN PVC PARA CEM.	20	"
17)	HFLY DE 1" Y 254 mm DE LONG. EN PVC PARA CEM.	3	"
18)	CODO DE 90° DE 1/2" EN PVC PARA CEM.	1	"
19)	FILTRO DE ARENA	2	"
20)	MEZCLADOR DE LINEA	1	"
21)	SUJETADOR PT 1/2" EN PVC PARA CEMENTAR	2	"
22)	ADAPTADOR HEMBRA 1/2" EN PVC PARA CEM.	2	"
23)	VALVULA CHECK DE 1" EN PVC ROSCADA	2	"
24)	DOMIDA DE AYUDA		



ISOMETRICO DE ALIMENTACION  
A BOMBAS DE ALTA PRESION  
PARA VENCER LA PRESION  
OSMOTICA.

### LISTA DE MATERIALES

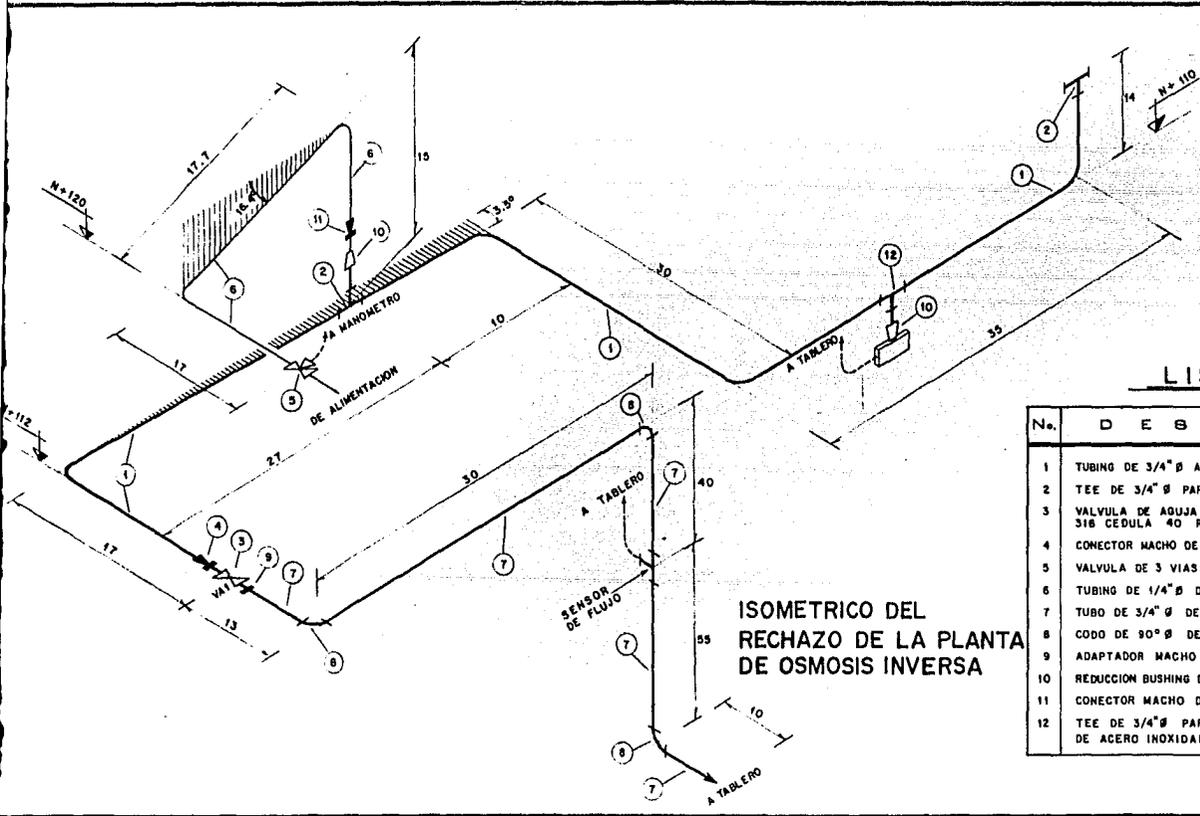
Nº	DESCRIPCION	CANT	UNIDAD
1	ADAPTADOR MACHO DE 1" EN PVC PARA CEM.	4	PZA.
2	TEE DE 1" EN PVC PARA CEMENTAR.	4	"
3	TUERCA UNION DE 1" EN PVC PARA CEM.	2	"
4	REDUCCION BUSHING. DE 1" - 1/2" EN PVC.	3	"
5	ADAPTADOR HEMBRA DE 1/2" EN PVC PARA CEM.	2	"
6	VALVULA DE BOLA DE 1" EN PVC PARA CEM.	2	"
7	TUBO DE 1" DE PVC PARA CEMENTAR.	2	mts.
8	CODO DE 90° Ø 3/4	5	PZA.
9	BOMBA DE ALTA PRESION	1	"
10	VALVULA DE GLOBO DE 3/4" EN ACERO INOX.	1	"
11	FILTRO CARTUCHO EN ACERO INOX.	1	"
12	TEE UNION DE 3/4"	3	"
13	TUBING DE 1/2" EN ACERO INOX.	20	cm.
14	REDUCCION BUSHING DE 1" A 3/4"	1	PZA.
15	CONECTOR MACHO DE 3/4" PARA TUBING.	4	"
16	TUBING DE 3/4" EN ACERO INOX.	3	mts.
17	VALVULA CHECK DE 3/4"	1	PZA.
18	VALVULA DE AGUJA 3/4" EN ACERO INOX.	1	"
19	REDUCCION BUSHING. DE 1 1/2" - 3/4" EN ACERO	1	"
20	VALVULA DE 3 VIAS DE 1/4"	1	"
21	TUBING DE 1/4" ACERO INOX.	2	mts.
22	REDUCCION UNION DE 3/4" - 1/2"	1	PZA.
23	REDUCCION UNION DE 1/2" - 1/4"	1	"
24	CODO UNION DE 1/4"	2	"
25	REDUCCION BUSHING DE 1 1/2" - 1"	1	"
26	REDUCCION BUSHING DE 2" - 1"	1	"
27	ADAPTADOR MACHO 1 1/2" EN PVC PARA CEM.	2	"
28	ADAPTADOR MACHO 3/4" EN PVC PARA CEM.	1	"
29	TUBO DE 3/4" EN PVC PARA CEM.	1	mts.
30	NIPLE DE 1 1/2" EN ACERO INOX	1	PZA.
31	TUERCA UNION DE 3/4" EN PVC	1	"



### LISTA DE MATERIALES

Nº.	DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD
1	TUBO DE 1/2" Ø PVC PARA CEMENTAR	2.5	mls.
2	CODO DE 90° 1/2" Ø PVC PARA CEMENTAR	5	PZA.
3	TEE DE 1/2" Ø PVC PARA CEMENTAR	3	"
4	VALVULA DE BOLA 1/2" Ø PARA CEMENTAR	1	"
5	REDUCCION BUSHING DE 3/4" A 1/2" Ø PVC P/CEMENTAR	2	"
6	CODO DE 90° 3/4" Ø PVC PARA CEMENTAR	1	"
7	TUERCA UNION DE 1/2" Ø PVC PARA CEMENTAR	1	"
8	TUBO DE 3/4" Ø PVC PARA CEMENTAR	0.6	mls.
9	COPLÉ DE 3/4" Ø PVC PARA CEMENTAR	1	PZA.
10	ADAPTADOR MACHO DE 1/2" Ø PVC PARA CEMENTAR	1	"
11	CONDUCTIVIMETRO	1	"

ISOMETRICO DEL PRODUCTO  
DE LA PLANTA DE O.I.



ISOMETRICO DEL  
RECHAZO DE LA PLANTA  
DE OSMOSIS INVERSA

**LISTA DE MATERIALES**

Nº.	DESCRIPCION	CANT.	UNIDAD
1	TUBING DE 3/4" Ø ACERO INOXIDABLE 316	1.3	mts.
2	TEE DE 3/4" Ø PARA TUBING DE ACERO INOXIDABLE 316	2	PZA.
3	VALVULA DE AGUJA DE 3/4" Ø PARA TUBING DE ACERO INOXIDABLE 316 CEDULA 40 ROSCADA N.P.T.	1	"
4	CONECTOR MACHO DE 3/4" Ø PARA TUBING DE ACERO INOXIDABLE 316	1	"
5	VALVULA DE 3 VIAS DE 1/4" Ø PARA TUBING DE ACERO INOX. 316	1	"
6	TUBING DE 1/4" Ø DE ACERO INOXIDABLE 316	0.85	mts.
7	TUBO DE 3/4" Ø DE PVC PARA CONECTAR.	1.5	"
8	CODO DE 90° Ø DE PVC PARA CEMENTAR.	3	PZA.
9	ADAPTADOR MACHO DE 3/4" DE PVC PARA CEMENTAR	1	"
10	REDUCCION BUSHING DE 3/4" A 1/4" DE ACERO INOX. ROSCADA N.P.T.	2	"
11	CONECTOR MACHO DE 1/4" Ø PARA TUBING DE ACERO INOX. 316	1	"
12	TEE DE 3/4" Ø PARA TUBING CON RAMAL HEMBRA N.P.T. DE ACERO INOXIDABLE 316	1	"

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Walter J. Weber, Jr ET AL. Control de la Calidad del agua. Procesos Fisicoquímicos Editorial Reverte, S.A. Barcelona, España, Primera edición, 1979 Págs.91, 172, 176, 177, 319, 322, 323, 324, 326, 327, 334, 335, 336, 337.
- 2.- Paul Ander, Anthony J. Sonnessa, Principios de Química e Introducción a los conceptos teóricos. Wiley Limusa primera ed. México 1973, págs. 467, 68,69,70,71,72,73.
- 3.- Gilbert W. Castellan Fisicoquímica, Fondo Educativo Interamericano, S.A. segunda ed. México 1974 págs. 293, 94, 95.
- 4.- K.S. Spiegler Principles of Desalination, Academic Press. U.S.A. 1966 primera ed.
- 5.- Leopold Gmelin, Water Desalting, Berlin Heidelberg N.Y., 1974 primera ed. pág. 235, 36.
- 6.- Sun-Tak Hwang, Karl Kammermeyer, Membranes in Separations. N.Y. 1975 John Wiley & Sons. págs. 11, 24, 25, 44, 83, 99, 125, 153, 155, 461.

- 7.- Samuel H. Maron y Carlo F. Prutton, Fundamentos de Fisicoquímica, tercera re-impresión ed. Limusa Wiley 1972, págs. 333, 336, 338, 339, 344, 345.
- 8.- Enginerring Design Manual Permasep Permeator E.I. DuPont de Menours & Co. 1976 U.S.A. Sección 700 Number 271, pág. 81
- 9.- Comisión Constructora e Ing. Sanitaria págs. s/n Manual de plomería Secretaría de Salubridad y Asistencia.
- 10.- Water re-use Promotion Center Sea Water Desalination Tokkio Japan October 1980, doc. 5541 págs. 1, 2, 7, 8, 42, 44, 45, 46, documento 5543, 4. 5. documento 5544, 3, 4, 5, 12.
- 11.- Dirección General de Aguas Salinas y Energía Solar. Curso Teórico Práctico sobre Desalación. Tomo I 1980, México, D.F. págs. s/n.
- 12.- Sheppard T. Powell Acondicionamiento de aguas - para la Industria, ed. Limusa Wiley, primera ed. México 1979 págs. 332, 333, 334.
- 13.- Eskel Nordel. Tratamiento de Agua para la Industria y otros usos. Compañía Editorial Continental, S.A. México 1979. págs. 15,63,70,117,179, - 386,387,389, 393, 394, 402, 403.

- 14.- Manual de Saneamiento, vivienda, agua y desechos. Dirección de Ingeniería Sanitaria, S.S.A. Editorial Limusa, S.A. 2a reimpresión 1982, México, D.F. págs. P2, GI, G2.
- 15.- Chemical Engineering. April 2, 1973 vol. 80 Design Factors in Reverse Osmosis. Edgar C. Kaup Burns and Roe, Inc. U.S.A. págs. 46 a 56.
- 16.- Robert H. Perry/Cecil H. Chilton. Chemical Engineers' Handbook fifth edition Mc. Graw Hill Pág. 17-40, 17-41.
- 17.- Harry E. Jordan. Water Quality and Treatment. American Water Works Ass. N.Y. 1951, págs. 131, 127, 128, 129, 130, 178.
- 18.- Permasep Du Pont Engineering Design Manual. Technical Bulletin No. 201, 272, 401, 501. U.S. 1976.
- 19.- Crane Flow of Fluids Throught Valves, Fittings and Pipe. Technical paper nº. 410 Chicago USA. 1969 PP. 1, 4, P.P. 1-4, 3-2, 3-6, B-9.
- 20.- Max. S. Peters and Klaus D. Timmerhaus. Plant Design and Economics for Chemical Engineers. Mc. Graw A.ll. Kogakusha, second edition. págs. 104, 118, 218.

21.- Ecomundo. Crisis de agua ocasionada por el hombre.  
Informe de la economía internacional S.H.C.P. No.  
28 Junio 1978. México, D.F., Págs. 3, 4, 6, 9,  
10.