

144  
24.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

"DESALACION DE AGUA DE MAR POR OSMOSIS  
INVERSA PARA SU UTILIZACION DE AGUA DE  
SERVICIOS EN LA PRODUCCION DE CRUDO Y  
GAS NATURAL EN LAS PLATAFORMAS MARINAS  
E INSTALACIONES DE APOYO EN COSTA"

TRABAJO MONOGRAFICO DE  
ACTUALIZACION  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO QUIMICO  
P R E S E N T A  
BERNARDO JORGE SALAZAR RODRIGUEZ



MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

Jurado asignado según el tema:

Presidente      Prof. LOPEZ TORRES ARTURO  
Vocal            Prof. ARNAUD HUERTA RAMON  
Secretario      Prof. LUNA PABELLO VICTOR MANUEL  
1er. suplente   Prof. . VILLALOBOS HIRIART ALEJANDRO  
2do. suplente   Prof. RODRIGUEZ RIVERA FERNANDO DE JESUS

Sitio donde se desarrollo el tema: Facultad de Quimica UNAM

Asesor:

  
I.O. LOPEZ TORRES ARTURO

Sustentante:

  
SALAZAR RODRIGUEZ BERNARDO JORGE

Este trabajo esta dedicado a:

A la *Universidad Nacional Autónoma de México.*

A la *Facultad de Química.*

A mi asesor y amigo *I.Q. Arturo López Torres.*

A mi padre *Bernardo* por cuidarme y apoyarme todos estos años de mi vida.

A mi madre *Maria* por enseñarme que la vida es compartir y no solo recibir.

A mis hermanas *Rosa e Ivonne.*

A mis cuñados *Gerardo y Victor.*

A mi tío *Rafael.*

A mis tías *Catalina, Delia, Carmela y Paz.*

A mis primos *Aurían, Gabriela, Ignacio, Jesús, Macario y Rafael.*

A mis amigos *Arcadio, Gonzalo, Javier, Juan Luis, Luis, Rafael y Sergio.*

A mis amigas *Carla, Laura, Lorena y Patricia.*

A mi mejor compañera de la carrera *Carla.*

Agradecemos las facilidades proporcionadas por *CNA, IMP y CITCH.*

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	I
CAPÍTULO I.	
1.1 El agua	1
1.2 Distribución del agua en la Tierra	2
1.3 El agua de mar	3
CAPÍTULO II	
2.1 Generalidades	4
2.2 Fundamentos de ósmosis inversa	5
2.2 A) Procesos de membrana y tipos de módulos	8
2.2 B) Aparatos de ósmosis inversa	13
2.3 Materiales de membrana	21
CAPÍTULO III	
3.1 Generalidades del proceso de ósmosis inversa	23
3.2 Membranas de ósmosis inversa	28
3.2 A) Tipos de membranas de ósmosis inversa	28
3.2 B) Clasificación de membranas de ósmosis inversa	29
3.3 Descripción del proceso de ósmosis inversa	30
CAPÍTULO IV	
4.1 Fuentes y calidad del agua	33
4.2 Pretratamiento de ósmosis inversa	35
4.3 Control de escalas	37
4.3 A) Remoción de Hierro y Manganeseo	40
4.3 B) Remoción de compuestos orgánicos	41
4.4 Mecanismos de formación de escalas en procesos de desalación	42
4.5 Mecanismos de desgaste biológico	43
4.6 Técnicas de control de escalas	45
4.7 Procesos de pretratamiento en plantas de ósmosis inversa	47
4.8 La corrosión y el desgaste de equipo y tuberías	48
4.8 Experiencia en servicios	49
4.9 Composición del acero y su resistencia	51

4.10 Materiales utilizados por secciones	53
4.11 Post tratamiento de plantas de ósmosis inversa	55
4.12 Descripción de los puntos de muestreo	57
4.12 A) Parámetros de muestreo	60
<b>CAPÍTULO V</b>	
5.1 Disposición del agua de mar	62
5.2 Criterios de dispersión	62
5.3 Zona reguladora de mezclado	64
5.4 Modelos para dispersión de descargas	65
5.5 Dispersión de descargas sumergidas en la costa	65
<b>CAPÍTULO VI</b>	
6.1 Plataformas de producción	73
6.2 Descripción del proceso	74
6.2 A) Sistema de separación	75
6.2 B) Sistema de medición y bombeo	80
6.2 C) Sistema de tratamiento del gas	81
6.2 D) Sistema del quemador	82
6.2 E) Sistema de drenajes	82
6.3 Bases de diseño del proceso	84
<b>CAPÍTULO VII</b>	
7.1 Instalaciones de apoyo en costa	89
7.2 Funciones de la planta desaladora	89
7.3 Estimación del costo de una planta desaladora	90
7.4 Aspectos económicos de la ósmosis inversa	93
7.5 Estimación de costos del equipo de proceso instalado	95
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>99</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>103</b>

## INTRODUCCIÓN

En nuestro planeta el agua es utilizada en un número importante de procesos, ya sean naturales o artificiales, sin ella el hombre no podría subsistir,  $\frac{3}{4}$  partes de la superficie terrestre contienen al líquido vital y solamente un 2 % se puede utilizar para consumo del hombre. El agua es motivo de crecimiento, la verdadera importancia del agua está en relación con la vida. Las grandes civilizaciones se generaron cerca de los ríos y hoy en día los países desarrollados como los que conforman la Comunidad Económica Europea tienen una especial atención a sus reservas de agua.

Se estima que para el año 2020 al crecimiento demográfico le seguirá el desequilibrio hidroecológico; de continuar la sobreexplotación y contaminación, por lo anterior se requerirán otros medios de obtención de la misma que mejoren los ya existentes.

Existen diversas alternativas para abordar y potenciar la resolución a este problema como son: Desarrollo de la infraestructura para tratamiento de aguas residuales, desalación de agua de mar, recaudación de aguas de lluvia y educación para el uso racional del líquido vital.

Anticiparnos a las necesidades de agua que se plantean para la población que como se aprecia en el cuadro que a continuación se expone será para el año 2025 de 136 millones de habitantes.

TABLA 1 CRECIMIENTO ANUAL MEDIO DE LA POBLACIÓN (PORCENTAJE)

CRECIMIENTO ANUAL MEDIO DE LA POBLACIÓN (PORCENTAJE)	POBLACIÓN (MILLONES)					
	1970-1980	1981-1991	1991-2000	1997	2000	2025
México	2.9	2.0	1.9	93	99	136

FUENTE: BANCO MUNDIAL WASHINGTON, D.C. 1993

Por lo anterior la propuesta contenida en este trabajo esta basada en el interés de producir, conocer y analizar los sistemas de desalación de agua existentes y cuales podrian instalarse en nuestro pais. En este trabajo se contempla la instalación de un sistema de desalación de agua de mar en la Sonda de Campeche.

La República Mexicana se encuentra entre el Océano atlántico, el Golfo de México, el Océano pacifico y el Golfo de California ; es decir existen algunos puntos localizados a lo largo de nuestros litorales susceptibles para establecer la infraestructura que permita desalar el agua de mar y la recuperación de las sales minerales que ésta contiene, principalmente el cloruro de sodio.

Existen diversos procesos de separación para desalar agua de mar, que emplean como agente de separación las membranas como es el caso de la Osmosis inversa.



## **OBJETIVOS PLANTEADOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

El objetivo de este trabajo es desarrollar una investigación bibliográfica a fin de conocer y analizar los fundamentos que sustentan el proceso de ósmosis inversa en la desalación de agua de mar, así como su utilización de agua de servicios en instalaciones de apoyo en costa que abastecen las plataformas que obtienen el crudo y gas natural.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analizar los tipos de membranas de ósmosis inversa, destacando sus ventajas y desventajas
- Analizar las etapas de pretratamiento de ósmosis inversa
- Conocer las descargas provenientes de una planta desaladora de agua de mar
- Establecer los criterios de dilución de descargas salobres para mitigar el impacto ambiental
- Destacar los materiales recomendados de acuerdo a su resistencia a la corrosión
- Analizar los aspectos económicos de la ósmosis inversa
- Conocer los parámetros de muestreo que verifican el funcionamiento de la planta
- Establecer las funciones de las instalaciones de apoyo en costa
- Analizar el proceso de producción de crudo y gas natural

## **CAPÍTULO I**

### **1.1. EL AGUA**

El agua es el compuesto químico puro mejor conocido, el cual cubre cerca del 75 % de la superficie terrestre.

Las regiones polares se encuentran cubiertas con extensas capas de hielo, estas capas de hielo y glaciares contienen el 76 % en masa de total del agua de nuestro planeta. Siguiendo en importancia, las aguas freáticas contienen el 22 %; sin embargo, estas han sido sobreexplotadas por el hombre de manera irracional. ( *Tabla 1.1* )

La vida en la Tierra depende del agua, principal ingrediente de las células vivas.

Algunas propiedades relevantes del agua son:

- El agua es un buen solvente
- El agua conduce calor con una intensidad superior que todos los líquidos
- El calor específico del agua es de los de mayor magnitud entre los sólidos y líquidos
- El calor latente de evaporación del agua es el mayor de todas las sustancias
- El agua pura congela a 0°C
- El agua pura hierve a 100°C a nivel del mar
- **El agua es esencial para la vida en nuestro planeta**

## 1.2. DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN LA TIERRA

Los océanos principales ( Atlántico, Pacífico, Índico, Ártico y Antártico ) contienen el 97.2 % del agua en la Tierra y ocupan una extensión que cubre aproximadamente el 70 % de la superficie terrestre, mientras que el agua presente en tierra solamente representa el 2.8 % de el total de nuestro planeta y se distribuye de la siguiente manera:

**TABLA 1.1 Agua en la tierra**

	* 10 <sup>13</sup> Kg	%
Corrientes y ríos	1	0.0026
Lagos de agua fresca	125	0.3270
Lagos de agua salada y mares internos	104	0.2720
Agua total superficial	230	0.6016
Glaciares y capas de hielo	29300	76.6410
Tierra húmeda e infiltraciones	70	0.1831
Aguas freáticas	8400	21.9722
Agua total en la tierra	38230	

El agua contenida en los océanos asciende a 1 322 000 \* 10<sup>13</sup> Kg más el agua en tierra proporciona un total de agua en nuestro planeta es de 1 360 000 \* 10<sup>13</sup> Kg.

### 1.3. EL AGUA DE MAR

El mar fue el primer ecosistema, puesto que la vida, como supuestamente ahora se cree, se ha originado en un medio de agua salada.

Los iones principales que se encuentran disueltos en el agua de mar se presentan en la siguiente tabla:

**TABLA 1.2 Concentración promedio de iones del agua de mar**

Ion	mg/L	mg/L
Cloro, Cl <sup>-</sup>	18,980	Total de aniones= 21,861
Sulfato, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,649	
Bicarbonato, HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	140	
Bromuro, Br <sup>-</sup>	65	
Borato, H <sub>2</sub> BO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	26	
Fluoruro, F <sup>-</sup>	1	
Sodio, Na <sup>+</sup>	10,556	Total de cationes=12,621
Magnesio, Mg <sup>2+</sup>	1,272	
Calcio, Ca <sup>2+</sup>	400	
Potasio, K <sup>+</sup>	380	
Estroncio, Sr <sup>2+</sup>	13	Salinidad total = 34,482

(81)

## CAPÍTULO II

### 2.1. GENERALIDADES

Los procesos de separación se usan para remover impurezas y/o contaminantes de las corrientes de proceso, recuperación y purificación de productos primarios.

Los productos químicos primarios como los conocemos se encuentran en la naturaleza generalmente mezclados, para lograr obtenerlos con un alto grado de pureza es necesario someterlos a procesos de separación.

La parte central de los procesos de separación es el agente masa de separación. En destilación es calor ; en extracción es el solvente ; en adsorción es el adsorbente; y en los procesos de membrana es el material de membrana.

**TABLA 2 Algunos Procesos de separación típicos:**

PROCESO	AGENTE MASA DE SEPARACIÓN	APLICACIONES
Adsorción e intercambio iónico	Adsorbente/ resina	Separación de m - p Xileno y desmineralización de agua.
Electrodialisis	Membrana	Desalación de agua
Evaporación	Calor	Manufactura del azúcar y desalación de agua
Membranas	Membrana	Separación de Hidrógeno de hidrocarburos y desalación de agua
Destilación	Calor	Separación de la mezcla propano-propileno

(2)

## **2.2. FUNDAMENTOS DE ÓSMOSIS INVERSA**

### **ÓSMOSIS**

La ósmosis es un fenómeno natural que se presenta con sistemas de membranas; el paso de iones a través de la membrana depende de la selectividad de la misma, usualmente el solvente pasa a través de la membrana. Cuando dos soluciones de diferente concentración se encuentran separadas por una membrana semipermeable, el solvente se transportará a través de la membrana de la parte más diluida hacia la más concentrada hasta que se igualan las concentraciones de ambas partes de la membrana, a este proceso se le conoce como ósmosis.

### **ÓSMOSIS INVERSA**

Cuando se induce el proceso inverso se requiere de la aplicación de presión sobre la parte más concentrada para impulsar moléculas de agua en la dirección de la parte menor concentrada, es decir en sentido opuesto del flujo osmótico normal, de aquí el término ósmosis inversa.

Las membranas empleadas generalmente tienen alta permeabilidad a las moléculas de agua y muy baja permeabilidad a las sales; los materiales de membrana comunes son el acetato de celulosa y las poliamidas aromáticas.

Los materiales de membrana son típicamente fabricados dentro de módulos tubulares o en espiral con perforaciones, los cuales son entonces empacados dentro de un recipiente a presión; La alimentación se introduce presurizada y fluye de manera axial o radial a través de los módulos, como es el caso de esta aplicación en la fabricación de filtros para cigarrillos.

El grado de pretratamiento requerido para un sistema de ósmosis inversa depende del tipo de membrana, la concentración de sólidos disueltos, temperatura de alimentación y presión aplicada.

Para conservar el desempeño de las membranas de ósmosis inversa es necesario controlar la presencia de material suspendido o el material que tienda a precipitarse debido al decremento de su solubilidad en la solución; debido a lo anterior el pretratamiento es fundamental. (11)

#### **MODELO BÁSICO.**

En el diagrama se presenta el modelo básico de cualquier módulo de ósmosis inversa en el cual el área de la membrana se representa como  $S$ ; la corriente de alimentación designada como  $ST1$  entra por el lado con presión elevada con una velocidad de flujo  $F_F$ , concentración del iésimo componente  $C_F(i)$ , temperatura  $T_F$  y presión  $P_F$ . La rapidez de flujo se reduce conforme se fluye a lo largo de la superficie de la membrana, a través de la cual el iésimo componente es permeado a una velocidad de flujo  $J(i)$ , y la salmuera o concentrado  $ST2$  sale del módulo a  $F_B$ ,  $C_B(i)$ ,  $T_B$ , y  $P_B$ . mientras que el permeato  $ST3$  a través de la membrana deja el módulo a  $F_P$ ,  $C_P(i)$ ,  $T_P$ , y  $P_P$  (13)

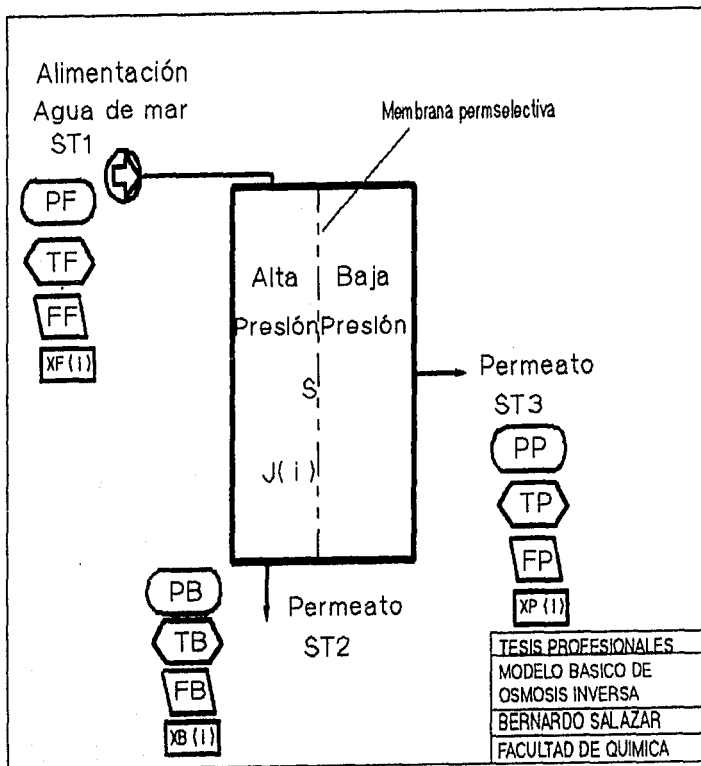


FIG. 1 MODELO BÁSICO



## **2.2.A. PROCESOS DE MEMBRANA Y TIPOS DE MÓDULOS**

El sistema físico en donde se lleva a cabo el proceso de ósmosis inversa se denomina módulo, dentro de este se encuentra empacada la membrana.

Existen cuatro arreglos principales de módulos de ósmosis inversa que cumplen con la descripción proporcionada anteriormente en el *modelo básico* ( 2.2 ):

- 1.- Módulo conformado por placas**
- 2.- Módulo enrollado en espiral con perforaciones**
- 3.- Módulo de fibras huecas de forma capilar**
- 4.- Módulo de fibras huecas tubular**

1.- Módulo conformado por placas; consiste en un recipiente dentro del cual se colocan varias placas una tras otra, las placas son huecas en su interior y están interconectadas a una salida común. Estas placas están atravesadas por túneles constituidos por membranas semipermeables.

La solución de alimentación se pone en contacto con la primera placa, por los túneles se transportan las moléculas de soluto y disolvente, debido a que la membrana es permselectiva solamente permitirá el paso de las moléculas de disolvente, entre más placas colocadas en serie existan más se enriquecerá la corriente en sales y nuestra separación será más eficiente. (4)

2.- Módulo enrollado en espiral con perforaciones; Este arreglo consta de un tubo colector con pequeñas perforaciones contenido dentro del módulo, alrededor del tubo son enrolladas dos membranas intercaladas con sus espaciadores. La solución de alimentación se hace pasar por este módulo, el disolvente pasa a través de la membrana y se introduce por las perforaciones al tubo colector para que este nos proporcione la corriente de permeato final. El soluto es rechazado por la membrana y la corriente que sale del módulo recibe el nombre de retentato o concentrado.

Las membranas y sus espaciadores son enrollados en espiral y empacados a presión.

Módulos convencionales en espiral tienen diámetros de 4 o de 8 pulgadas, 40 pulgadas de largo y contienen entre 80-300 ft<sup>2</sup> de área de membrana de contacto. (4) (58)

3.- Módulo de fibras huecas capilares ; Este arreglo consta de un conjunto de fibras huecas capilares instaladas dentro del módulo que es capaz de soportar alta presión.

La solución se alimenta presurizada al módulo por el lado del envolvente, se fuerza el paso del disolvente al interior de los capilares para su recolección en un extremo del módulo, el soluto rechazado (retentato) sale por el envolvente.

4.- Módulo de fibras huecas tubulares; cumplen con el esquema de el módulo anterior.

Los módulos de fibras huecas capilares o enrollados espiral con perforaciones son más comúnmente utilizados que los módulos de placas, debido a que estas configuraciones maximizan el área por unidad de volumen de módulo.

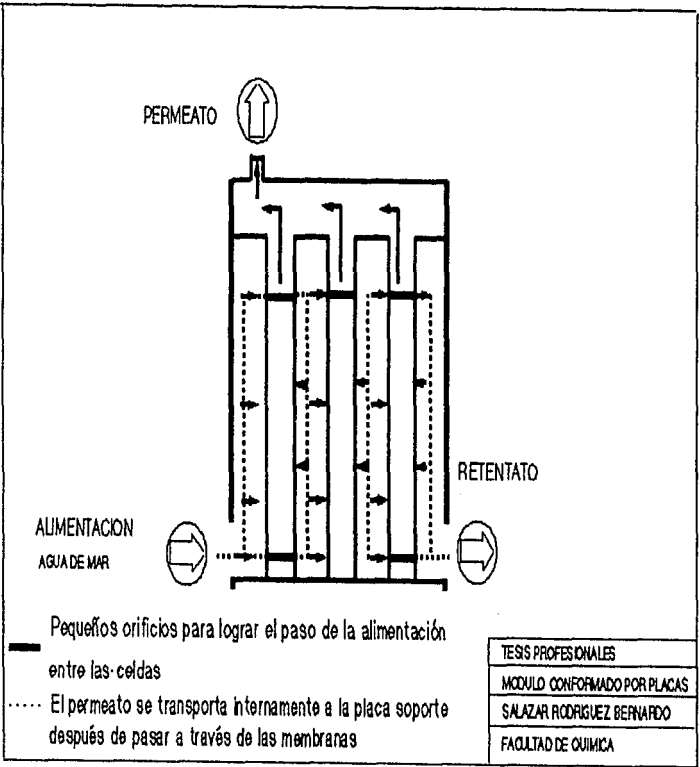


FIG. 2 MÓDULO DE PLACAS

11

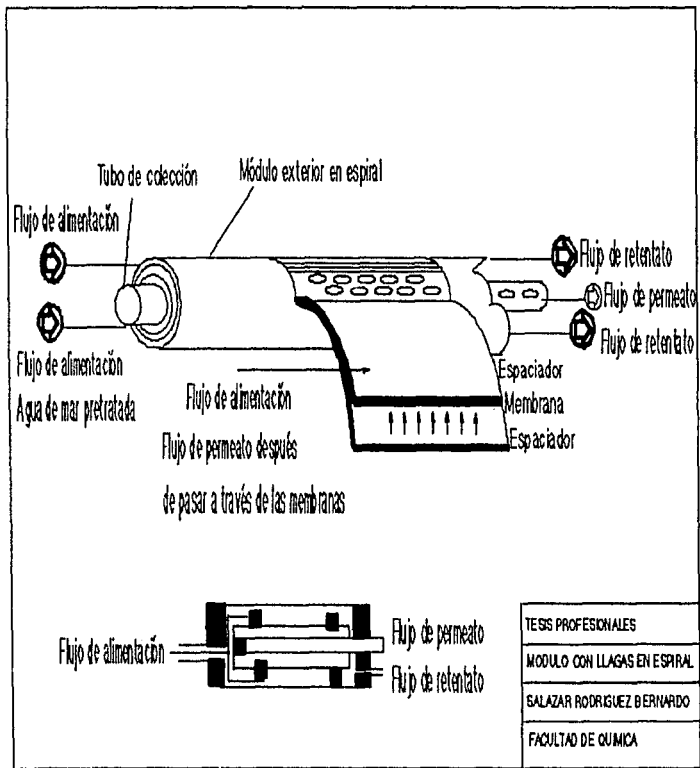


FIG. 3 MÓDULO EN ESPIRAL

**TABLA 2.1 Tipos de módulos de membrana y sus características**

CONFIGURACIÓN	CARACTERÍSTICAS
Módulo conformado por placas	<p><b>Ventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Fáciles de limpiar y en la reposición de membranas</li> </ul> <p><b>Desventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- El área de membrana por unidad de volumen de módulo es baja.</li> <li>- Problema en aplicaciones de altas presiones donde los costos son altos.</li> </ul>
Módulo en espiral con pequeñas perforaciones	<p><b>Ventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Módulo de fácil ajuste hidrodinámico, cambiando el grosor del espaciador en la alimentación se puede superar la concentración de polarización y sus efectos desgastantes sobre la membrana.</li> </ul> <p><b>Desventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La relación de área por unidad de volumen de módulo no es muy alta.</li> <li>- Para presiones altas puede incrementarse el costo debido al desarrollo de envoltentes de presión extra alta.</li> <li>- Desviaciones de la alimentación pueden ocurrir debido a la falta de uniformidad en el enrollado del módulo espiral.</li> </ul>
<p>Módulo de fibras huecas, capilares y tubulares</p> <p>A) Módulo de alimentación perforada.</p> <p>B) Módulo de alimentación por envoltente.</p>	<p><b>Ventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>* Elimina desviaciones cuando se utiliza el módulo de alimentación perforada.</li> <li>* El área por unidad de volumen es enorme.</li> </ul> <p><b>Desventajas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La formación de la membrana es más compleja.</li> <li>- Para evitar <math>\Delta P</math>s excesivos en los huecos del modo de alimentación perforada, se requieren fibras de diámetros grandes en muchos casos.</li> <li>- Las desviaciones de la alimentación en el modo de alimentación por el envoltente se deben a la uniformidad en el empaqueo de las fibras.</li> </ul>

En muchas aplicaciones la necesidad de controlar la concentración de polarización y el desgaste de la membrana, pueden indicar el uso de una configuración de placas que tiene mayor precisión en el control externo de la dinámica de la fase fluida (4).

### **2.2.B. APARATOS DE ÓSMOSIS INVERSA**

Las membranas de ósmosis inversa son empacadas en módulos, en los cuales se controla la velocidad de la corriente de alimentación, presión y grado de turbulencia para reducir la concentración de polarización (enriquecimiento de sales e impurezas).

El sistema completo consiste en:

- A) Una bomba para elevar la presión de la corriente de alimentación de agua hasta las condiciones de operación (150–400 Psi).
- B) Módulo de membrana en un recipiente a presión.
- C) Válvula de estrangulación (regulador de mariposa) en la corriente del retentado para controlar la recuperación.
- D) Filtro Cartridge (5 a 10  $\mu\text{m}$ ) para proteger la bomba y el módulo del material particulado.

La solución se alimenta al sistema a través de una válvula de cierre, se introduce al filtro Cartridge y posteriormente a la bomba de alta presión. la caída de presión a través de filtro sirve para indicar la necesidad del cambio de los cartridge (cartuchos). Se colocan manómetros indicadores antes y después con respecto al filtro Cartridge.

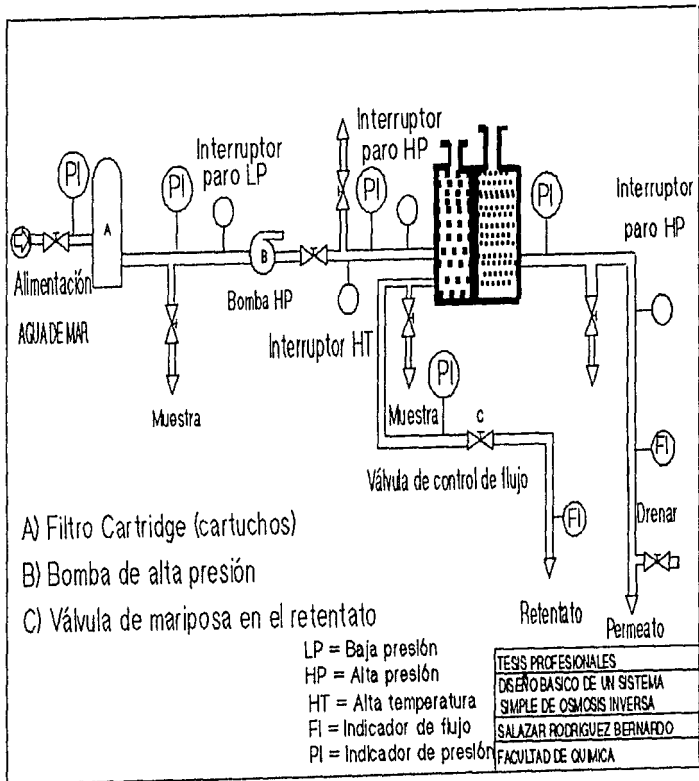


FIG. 4 SISTEMA DE ÓSMOSIS INVERSA

La presión de la solución alimentada es controlada por una válvula en la descarga de la bomba. Con el propósito de proteger los componentes del sistema se instalaron interruptores para condiciones de baja presión, alta presión, y alta temperatura.

La relación de flujo de agua purificada (permeato) con respecto a la alimentación es denominada recuperación.

### **CONFIGURACIÓN EN PARALELO**

La necesidad de obtener una corriente de permeato con el menor contenido de soluto posible provoca la instalación de nuevas configuraciones, como lo es la configuración en paralelo. El sistema o configuración en paralelo permite la conexión de las corrientes de permeato y retentato de diversas formas.

Existen tres tipos de configuraciones en paralelo:

- 1.- Sistema de un solo paso ( paralelo).
- 2.- Sistema de un solo paso ( retentato procesado).
- 3.- Sistema de dos pasos ( Recirculación )

Sistema de un solo paso ( paralelo); Es el sistema más sencillo en donde la solución presurizada se divide para ser alimentada a tres módulos de ósmosis inversa, de los módulos obtenemos tres corrientes de permeato y de retentato.

Con el propósito de mantener el flujo de retentato a un nivel bajo para cada módulo, este arreglo es comúnmente aplicable solo en sistemas que operen a un máximo del 50 % de recuperación global.



Sistema de un solo paso ( retentato procesado); Este arreglo se esquematiza con 3 módulos, la alimentación presurizada se divide en dos corrientes al primer par de módulos.

La corriente de retentato que se obtiene de ambos módulos se mezcla y conforma la alimentación al siguiente módulo. Todas las corrientes de permeato se transportan a procesos de postratamiento.

Cuando se necesita una conversión mayor al 50%, se utiliza el sistema de un solo paso, o sistema en que el retentato procesado dentro de los primeros módulos sirve como alimentación a otro módulo. Utilizando este sistema la conversión total será mayor que la obtenida con etapas individuales.

Por lo general, 2 etapas son suficientes para recuperaciones entre 70 y 75 %; con 3 etapas se puede alcanzar arriba del 90 %.

3.- Sistema de dos pasos (Recirculación); Este arreglo se esquematiza con tres módulos, La solución de alimentación presurizada se introduce a un primer módulo de ósmosis inversa para que se obtengan sus corrientes de permeato y retentato. La corriente de retentato del primer módulo sirve como alimentación al segundo módulo, del segundo módulo se obtienen sus corrientes de permeato y retentato; el permeato se mezcla con el permeato procedente del primer módulo para conformar la alimentación del tercer módulo, y el retentato procedente del segundo módulo va al drenaje. El permeato como producto del tercer módulo es de alta calidad y se envía a postratamiento, mientras que el retentato procedente del tercer módulo se recircula al proceso.

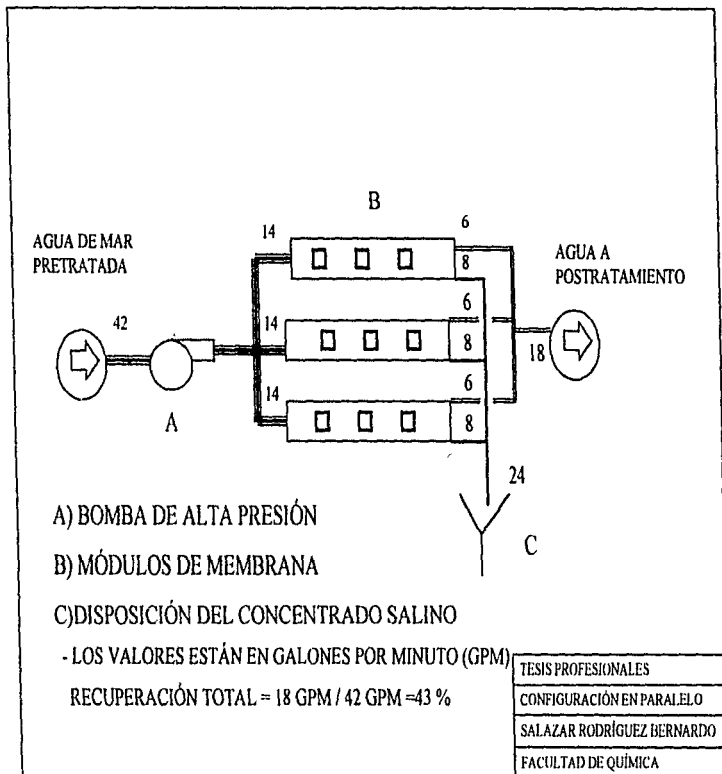


FIG. 5 CONFIGURACIÓN EN PARALELO

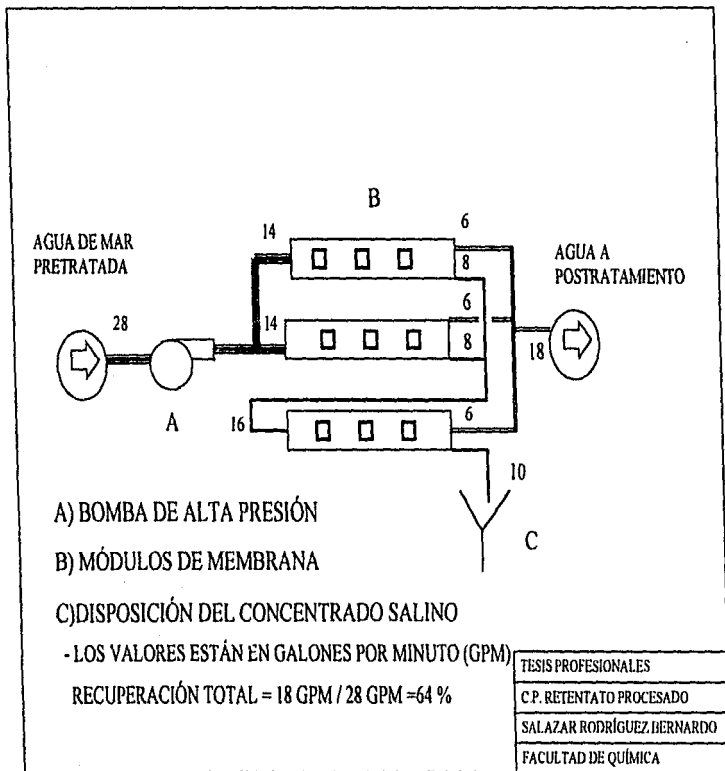


FIG. 6 SISTEMA DE RETENTATO PROCESADO

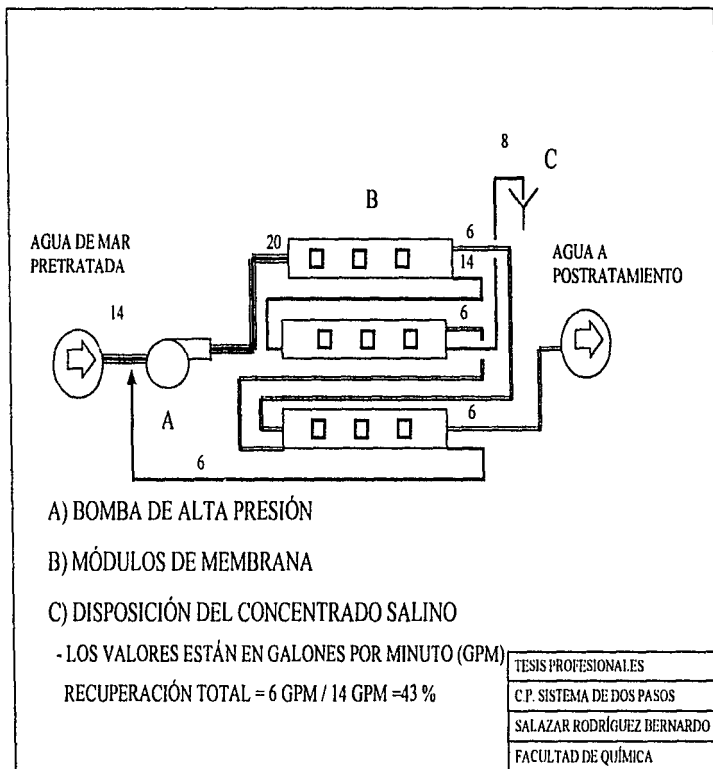


FIG. 7 SISTEMA RECIRCULACIÓN

En el caso que se desee una repulsión elevada de sales, se utilizará un sistema de dos pasos, y recirculación del segundo retentato obtenido. El producto de un primer paso es alimentado a través del sistema, como un ejemplo, si cada paso proporcionara un 90% de repulsión de sales, los dos pasos en su conjunto proporcionarán un 99% de repulsión de sales.

Para reducir el consumo de agua por la unidad de 2 pasos, cada paso puede ser de gradación por etapa. También, debido a que el retentato de la segunda etapa es ligeramente más concentrado como producto del primer paso, es de mucha mayor calidad que el agua de mar de alimentación, se puede recircular y combinar con el agua de alimentación.

El diseño mostrado en el diagrama de proceso no presenta una bomba entre los dos pasos, lo cual asegura la limpieza completa después del primer paso. (7)

### 2.3. MATERIALES DE MEMBRANA

Una membrana es conformada de un material con propiedades permselectivas tales que solamente permitirá el paso de ciertos iones o moléculas a través de ella.

Las membranas se pueden clasificar en:

#### 1.- Celulósicas

#### 2.- Poliméricas

#### 3.- Inorgánicas (2) (7)

*Membranas celulósicas*; han sido empleadas comercialmente demostrando buenos resultados, generalmente se ha utilizado el acetato de celulosa, triacetato de celulosa o una combinación de ambos.

Las principales cualidades que las caracterizan son su resistencia y bajo costo.

Las mayores desventajas son su sensibilidad ante la presencia de cloro y su uso es restringido a limitados rangos de pH.

*Membranas poliméricas*; las membranas no celulósicas están compuestas de una variedad de polímeros sintéticos. Ejemplos de nuevos materiales de la familia polimérica son las poliamidas, que comercialmente se utilizan en las separaciones Alcohol / agua.

Las principales cualidades que las caracterizan son su capacidad de manejo de flujo y que son menos sensibles al pH y los agentes oxidantes, pero su costo es elevado. (7)

*Membranas inorgánicas*; las membranas inorgánicas son de reciente desarrollo, y son más apreciadas por su facilidad para manejar fluidos corrosivos que en la operación a altas presiones. (2)

La desventaja es su limitada resistencia térmica ( Temperaturas no superiores a 200° C). (5)

**TABLA 2.2 Materiales representativos y sus aplicaciones**

MATERIAL DE MEMBRANA	APLICACIONES	PROCESOS DE MEMBRANA
Acetato de celulosa	Desalación de agua de mar	Microfiltración; ultrafiltración
Poliamida	Producción de hidrógeno del aire	Ultrafiltración; osmosis inversa
Polisulfona	Recuperación de hidrógeno de corrientes de hidrocarburos	Microfiltración; ultrafiltración; destilación; gas
Silicon	Remoción de componentes orgánicos volátiles del aire	Gas
Gamma albúmina cerámica	Concentración de caldos de fermentación.	Microfiltración; ultrafiltración

(2) (27) (28) (25) (36) (47) (54) (55)

**TABLA 2.3 Los materiales de membrana poliméricos de acuerdo al tipo de sistema son:**

SISTEMA	POLÍMERO	COMPOSICIÓN DEL POLÍMERO
Osmosis inversa	Celulósicos, poliamidas	Poliamida (CO(CH <sub>2</sub> ) <sub>n</sub> CO-NH(CH <sub>2</sub> ) <sub>m</sub> NH-CO(CH <sub>2</sub> ) <sub>p</sub> CO-H/(CH <sub>2</sub> ) <sub>k</sub> NH)
Microfiltración	Nylon, fluoropolimeros, policarbonato	Nylon 66 (CO-(CH <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> -CO-NH-(CH <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> -NH)
Ultrafiltración	Polisulfona, poliacrilonitrilo, polietersulfona	Poliacrilonitrilo (CH <sub>2</sub> -CHCN-CH <sub>2</sub> -CHCN-CH <sub>2</sub> -CHCN)
Preevaporación	Alcohol polivinílico, caucho de silicon	Caucho de silicon $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \\   \\ (-\text{Si}-\text{O}-) \\   \\ \text{CH}_3 \end{array}$

(1) (26) (60) (61) (62) (63)

Muchas de las membranas comerciales para osmosis inversa, son sensibles en presencia de agentes oxidantes como el cloro y muchos de los surfactantes; además todos los sistemas de membranas pueden ser fácilmente desgastados por partículas suspendidas.

### **3.1. GENERALIDADES DEL PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA**

La ósmosis inversa es utilizada para la producción de agua potable a partir de aguas negras y agua de mar.

Los últimos 15 años ha sido utilizada para producir agua de elevada pureza para la industria farmacéutica, electrónica, y para la industria química, debido a su evidente habilidad para remover impurezas iónicas, microorganismos y materiales pirogenicos del agua.

El proceso de ósmosis inversa ha conseguido ubicarse con un rol importante dentro de los procesos de purificación del agua. (7) (30)

Características del proceso:

A) Constituido por una membrana semipermeable ideal ( que es permeable al solvente pero no al soluto) separa dos compartimientos ; uno que contiene al solvente puro, y el otro que contiene a la solución (solvente + soluto) .

B) La presencia del soluto produce un potencial químico como fuerza impulsora, que induce el transporte del fluido a través de la membrana. La presión osmótica del sistema es la presión exacta que se debe aplicar del lado de la solución, para detener el flujo de solvente que cruza la membrana.

C) El proceso de ósmosis inversa utiliza como energía la presión para separar el agua de sus contaminantes.



En ósmosis inversa, esto se logra por medio de una bomba que aplica una presión mayor que la presión osmótica del lado de la solución, para invertir el flujo y dirigir el solvente al lado del solvente puro.

D) En la práctica real es difícil lograr membranas ideales, ya que una parte del soluto logra pasar a través de la membrana dentro del permeato o el lado del agua purificada, y por lo tanto la presión osmótica de la solución en cada lado de la membrana tiene que ser considerada.

La fuerza efectiva de presión a través de la membrana puede ser definida como la presión aplicada menos la presión osmótica neta.

$$\Pi = 1.12 ( T+273 ) \Sigma m_i$$

Donde

$\Pi$  = Presión osmótica Psi

T = Temperatura

$\Sigma m_i$  = Suma de las molalidades de todos los constituyentes iónicos y no iónicos en la solución

E) En un sistema simple de ósmosis inversa, la solución o alimentación es bombeada dentro de un recipiente que contiene una membrana semipermeable.

El agua que se purifica es llamada permeato, la cual es recuperada a presión atmosférica. El concentrado presurizado, llamado salmuera, reduce su presión a presión atmosférica por medio de una válvula reguladora de flujo. (7) (38)

F) Típicamente, el desempeño de la membrana es evaluado en términos del "flujo" y la "separación". El flujo es la velocidad del permeato transportado por unidad de área de membrana, y la separación es el cambio relativo de concentración desde la alimentación hasta la corriente de permeato:

$$\% \text{ Separación} = 100 * \frac{(C_f - C_p)}{C_f}$$

Donde

$C_f$  = Sal en la corriente de alimentación

$C_p$  = Sal en la corriente de salida

El paso de sal (SP) se define como:

$$\% \text{ SP} = 100 \frac{C_p}{C_f} = 100 - \% \text{ separación}$$

Como una primera aproximación, el flujo de agua es proporcional a la presión efectiva a través de la membrana. El flujo de soluto, sin embargo, es proporcional a la diferencia de concentración de sal a través de la membrana, y es independiente de la presión aplicada. Por esto un incremento en la presión de operación aumentará el flujo de agua sin cambiar el flujo de sal.

El agua de la llave con un contenido total de sólidos disueltos (TDS) de 300 mg/L tendrá una presión osmótica cercana a 3 Psi, y el agua negra que contiene 1500 mg/L tendrá una presión osmótica de 15 Psi.

Los flujos de agua y sales rechazadas son siempre menores que los calculados teóricamente, debido al fenómeno de concentración de polarización y el desgaste. Conforme pasa el agua a través de la membrana y las sales se rechazan, una capa se forma en las cercanías de la superficie de la membrana. Esta capa enriquecida , cuyo contenido salino excede las concentración en el bulto de la solución, llamada concentración de polarización, incrementa el paso de sales y ocasiona el desgaste de tipo coloidal. (7) (6) (37)

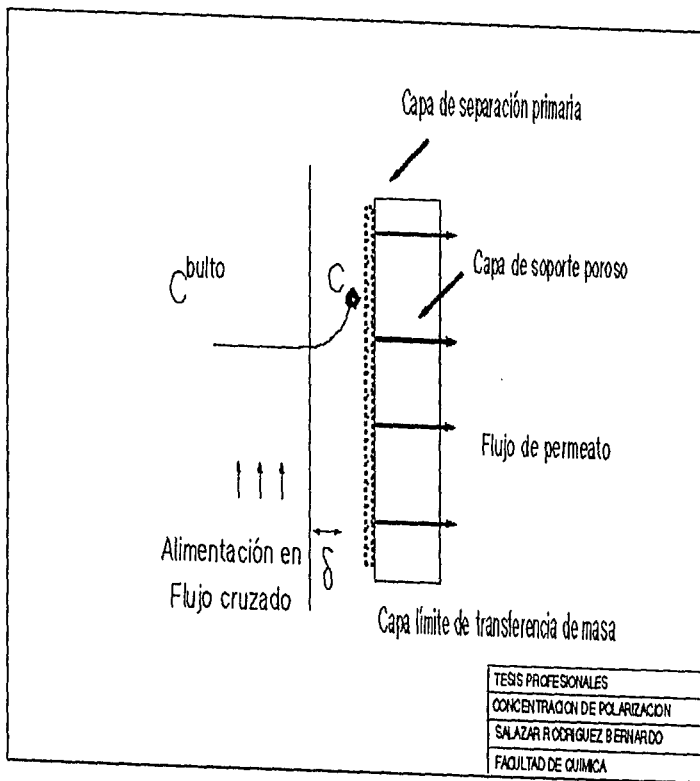


FIG. 8 CONCENTRACIÓN DE POLARIZACIÓN

## **3.2. MEMBRANAS DE ÓSMOSIS INVERSA**

### **3.2.A. Tipos de membranas de ósmosis inversa**

Existen avances continuos con respecto a la producción de membranas de ósmosis inversa de flujos elevados , rechazo eficiente de sales, excelente resistencia química al pH y agentes oxidantes. Inicialmente, las membranas de **acetato de celulosa** fueron utilizadas ; dichas membranas asimétricas, de composición química uniforme, tienen una muy estrecha capa superficial de rechazo de sales.

Las caras superficiales para la corriente de alimentación tienen muy pequeños poros de una profundidad comprendida entre 1000 y 2000 angstroms. El rechazo de sólidos disueltos es función del tamaño del poro, sucede en la superficie y es independiente del espesor de la membrana. Sin embargo el flujo de agua al que se le permite pasar esta inversamente relacionado con el espesor de la capa superficial. La porción de la membrana debajo de la estrecha capa superficial sirve principalmente como soporte físico, y ofrece ligera resistencia al flujo de permeato.

Imitando la estructura básica de esta membrana asimétrica, una versión mixta ha sido producida; una capa delgada de un polímero elegido se impregna encima de la superficie del poro (sustrato preformado), usualmente un ultrafiltro de **polisulfona**. Estas membranas difieren de las originales, cuya composición es homogénea, y estas membranas compuestas combinan la capa superficial de una sustancia con el soporte de membrana de otra. La capa superficial actúa como una membrana repulsora, y el sustrato poroso como el soporte físico.

Las ventajas de la elaboración de membranas compuestas son de dos clases:

La impregnación puede ser realizada de materiales que tengan una resistencia química superior, y el espesor de la capa soporte puede ser controlado para reducir la resistencia hidráulica, por lo tanto incrementar el flujo. (1) (22) (26)

### **3.2.B Clasificación de membranas de ósmosis inversa**

Las membranas de ósmosis inversa se clasifican como "celulósicas o no celulósicas".

1.-Las membranas celulósicas son muy consideradas comercialmente en ósmosis inversa y son muy aceptadas, dentro de estas se incluye el acetato de celulosa, triacetato de celulosa o una combinación de ambos.

La resistencia y el costo relativamente bajo de las membranas con compuestos celulósicos son las mayores ventajas. Sin embargo, existen varias desventajas: las membranas celulósicas son relativamente sensibles al cloro ( El riesgo de daño se incrementa con la exposición a cantidades mayores a 1ppm de cloro), y sus usos son restringidos a limitados rangos de pH.

2.-Las membranas no celulósicas están compuestas de una variedad de polímeros sintéticos. Estas fueron realizadas para obtener altos flujos de membrana que son menos sensibles al pH así como a los agentes oxidantes, y que tienen una repulsión de sales igual o mejor que el acetato de celulosa.

En general, las capas finas de membranas son compuestos celulósicos o no celulósicos que proveen flujos adecuados a bajas presiones, eficiente repulsión de sales, y alta repulsión de sílica. (1)

### **3.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA**

Muchas plantas desaladoras de osmosis inversa han sido construidas y están en operación actualmente en el mundo, el proceso consta de las siguientes etapas:

#### **Desinfección;**

El agua de mar se almacena en un colector, dentro del cual se adiciona el agente esterilizante ( hipoclorito de Sodio ) para eliminar los microorganismos que contenga.

#### **Coagulación-floculación-Filtración en línea;**

Se utiliza un polielectrolito y filtros de arena con el propósito de remover los sólidos suspendidos y reducir el índice de sedimento ( SDI ).

#### **Ajuste del pH;**

Se adiciona ácido sulfúrico para ajustar el pH y facilitar el control de las escalas de carbonato de Calcio.

#### **Decloración;**

Se utiliza el bisulfito de Sodio , se pretende evitar la realización de la reacción de  $Cl_2$  con la membrana .

#### **Adición de un inhibidor de escala;**

El hexametáfosfato de Sodio ayuda a prevenir la precipitación de otras sales poco solubles en los permeadores.

#### **Microfiltración;**

Se utilizan filtros Cartridge para eliminar partículas de 5 a 10  $\mu m$ . (14)

**Bombeo de alta presión:**

El agua de mar pretratada se dirigirá hacia la sección de bombeo de alta presión. Las bombas de alta presión se acoplan a turbinas de recuperación de energía a través de motores eléctricos.

La alimentación de agua a los permeadores se presuriza con el propósito de contrarrestar el fenómeno osmótico y la caída de presión en la tubería, por otro lado la corriente de retentato se dirige a la turbina de recuperación de energía. (6) (14) (17) (32) (50) (51) (66)

**Impulsión del permeato:**

El agua permeada se conduce al tanque del permeato y posteriormente se transporta para su postratamiento y almacenamiento.

**Desinfección:**

El agua finalmente es esterilizada con NaClO y utilizada como agua potable y de uso industrial. (6) (69) (70) (71)

El pretratamiento es fundamental para mantener el buen desempeño de las membranas de osmosis inversa. El índice de desgaste, FI (o índice de sedimento, SDI), en la alimentación es controlado entre 1 y 4 ( Los valores de SDI bajos facilitan la operación de coagulación en la planta desaladora). (14)



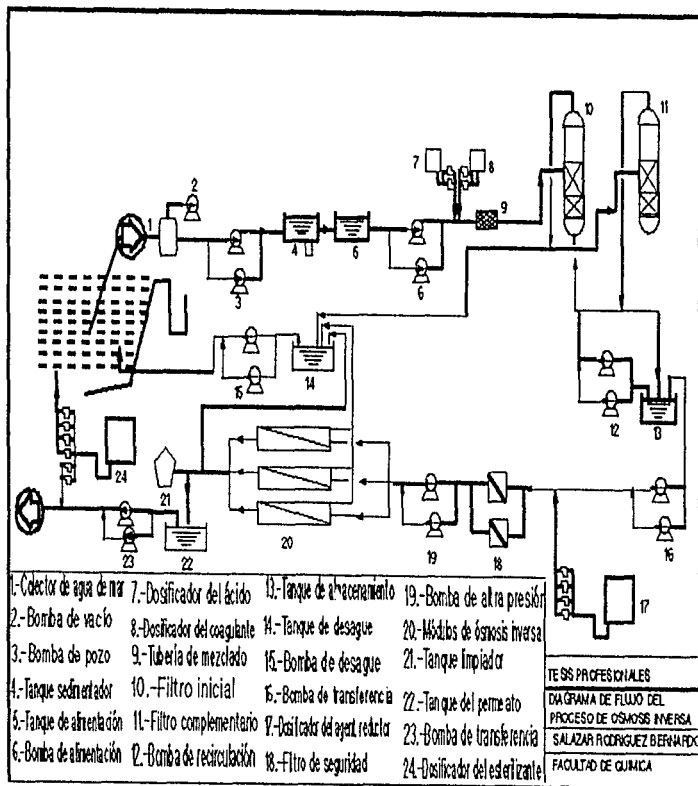


FIG. 9 DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

## **CAPÍTULO IV**

### **4.1. FUENTES Y CALIDAD DEL AGUA**

El primer parámetro a identificar cuando se pretende diseñar un sistema de purificación es la calidad del agua disponible en el lugar de origen, esta tiene influencia directa sobre el grado de complejidad en las etapas de pretratamiento.

El pretratamiento debe eliminar los contaminantes de la corriente de alimentación que deterioran los procesos de purificación. La selección de un método particular depende de la calidad de agua que se requiera.

Los métodos de ultrapurificación generalmente incluyen 3 etapas:

1. Pretratamiento
2. Deionización
3. Postratamiento

En general, el agua contiene los siguientes contaminantes:

- Partículas
- Compuestos orgánicos
- Óxidos de Fe y Mn
- Desinfectantes (cloro, cloroamina)
- Coloides (orgánicos e inorgánicos)
- Ácidos y bases
- Microorganismos
- Pirógenos
- Sales inorgánicas

El tipo y la cantidad de contaminantes depende de la fuente de agua disponible. Para nosotros la fuente es el agua de mar, la cual contiene principalmente sales inorgánicas.

En el cuadro 1.2 se presenta la concentración promedio de iones en el agua de mar. Otros contaminantes presentes en el agua de mar son: microorganismos, coloides, material particulado y bases inorgánicas.

La calidad del agua de mar también dependerá de la profundidad en la que este posicionada nuestra toma principal, por ejemplo los niveles de concentración de partículas, compuestos orgánicos y coloides son superiores en aguas superficiales comparándolos con aguas más profundas. (7) (10)

## **4.2. PRETRATAMIENTO DE ÓSMOSIS INVERSA**

El pretratamiento de ósmosis inversa es definitivamente más complejo que el empleado en otros métodos de desalación; el **desempeño adecuado de las membranas de ósmosis inversa es función de la calidad del pretratamiento** y sus principales objetivos son prevenir la formación de escalas por agentes inorgánicos y orgánicos además de el desgaste ocasionado por organismos biológicos. (10)

Antes de instalar el proceso de pretratamiento se realiza un análisis Físico-Químico y bacteriológico del agua de mar, este análisis es necesario para la selección de los procesos de separación de los principales contaminantes contenidos en el agua de mar que se ajusten a los criterios de calidad establecidos por las normas

Algunos métodos de pretratamiento comúnmente empleados son:

- A) Filtrado de arena**
- B) Ablandamiento de carbón activado**
- C) Recolección de compuestos orgánicos**
- D) Filtración Cartridge**
- E) Adición química**

Filtración de partículas.

(a) Filtros Cartridge

Todos los sistemas de purificación que emplean membranas requieren de filtración al inicio para remover partículas que comprendan entre 5 y 10 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) de diámetro. Las partículas pueden causar daños a los propulsores de las bombas así como corroer otras partes del sistema. (7) (24)

Las partículas de tamaño considerable atrapadas en los equipos de membrana pueden tapanlos ocasionando cambios en la distribución de flujo y alterar el desempeño del sistema.

**(b) Filtros de arena (granuladores)**

Para muchas aplicaciones anteponiendo filtros de arena con respecto al filtro Cartridge se ha logrado extender la vida del último.

Tres tipos de filtros granulares son utilizados:

1. Filtros sencillos de arena
2. Filtro doble ( capa superior de antracita y capa inferior de arena )
3. Filtros múltiples ( contienen 3 capas, la superior de antracita, la intermedia de arena y con gránate en el fondo)

Los filtros dobles y múltiples permiten la escalonación de capas; con la capa más pesada al fondo y la ligera en la parte superior, esto asegura la remoción de partículas en la cama del filtro. (7)

### 4.3. CONTROL DE ESCALAS

La Química del agua de mar es un tema complejo y tratado. Cuando se presenta la combinación de varios iones presentes en el agua se produce la formación de compuestos de baja solubilidad en agua. En el momento en que el límite de solubilidad ha sido excedido, el compuesto precipita como un sólido. Esos precipitados sólidos pueden también permanecer en suspensión acuosa o formar una escala adherente sobre la superficie del equipo utilizado. Desde el punto de vista práctico, los tres principales compuestos o escalas formados son **Bicarbonato de Calcio**  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ , **Sulfato de Calcio**  $\text{CaSO}_4$  y **sales de magnesio**.

El Bicarbonato de Calcio está presente en el agua de mar en concentraciones entre 110 y 140 ppm. Cuando se incrementa la temperatura cerca de los  $50^\circ\text{C}$ , el Carbonato de Calcio se forma, el cual puede precipitar la liberación de dióxido de Carbono. Cerca de  $90^\circ\text{C}$  los iones carbonato pueden hidrolizarse a iones hidroxil, los cuales pueden combinarse con iones Magnesio para producir escalas de Hidróxido de Magnesio. Por esto, el Carbonato de Calcio y el hidróxido de Magnesio se conocen en la práctica como escalas alcalinas.

La formación de Carbonato de Calcio o Hidróxido de Magnesio depende de los parámetros de operación de la planta. Altas Temperaturas y altos valores de pH favorecen la formación de  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ .

Otro agente importante en la formación de escala es el sulfato contenido en el agua de mar, existen tres diferentes fórmulas para el sulfato de Calcio que pueden ser formados en el agua de mar ( $\text{CaSO}_4$  (anhidrato),  $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$  (hemihidrato) y  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  (dihidrato) de hecho el dihidrato es la forma mas estable a bajas temperaturas mientras que el anhidrato se forma a altas temperaturas. (8)

Para sistemas de ósmosis inversa, la concentración de sales se incrementa en el retentato y excede el límite de solubilidad de sales como:  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaF}_2$ ,  $\text{BaSO}_4$ ,  $\text{SrSO}_4$  y  $\text{SiO}_2$ . Las sales precipitan y se depositan en las membranas y equipo, reduciendo así la productividad del sistema. Estos depósitos pueden impedir la transferencia de calor, reducir la remoción de sales, causar taponamientos en los módulos, altas caídas de presión y desgaste irreversible en las membranas.

El potencial de escalación del agua en la alimentación es determinado de acuerdo a su composición química, temperatura, y la cantidad de agua como producto recuperada (factor de concentración). La solubilidad del  $\text{CaCO}_3$  es dependiente del pH, la necesidad del control de escala sobre el  $\text{CaCO}_3$  es determinada por Langelier de acuerdo al índice de saturación (LSI) de la corriente del retentato: 
$$\text{LSI} = \text{pH}_R - \text{pH}_S$$

Donde  $\text{pH}_R$  es el pH de la corriente del retentato, y  $\text{pH}_S$  es calculado a partir de los sólidos totales disueltos, la temperatura, la concentración de Calcio y la alcalinidad de la corriente de alimentación.

Si el LSI es negativo, el  $\text{CaCO}_3$  tendera a disolverse; si el LSI es positivo, el  $\text{CaCO}_3$  tendera a precipitarse. Los fabricantes de membranas de ósmosis inversa especifican los valores recomendados de LSI para la operación adecuada de su Cartridge. (7) (29)

La deposición de escala puede ser controlada si se adiciona al agua de alimentación un ablandador de intercambio iónico, o utilizando inhibidores de escala. La adición de ácido tiene sus desventajas: los ácidos convierten el carbonato en bicarbonato, y el bicarbonato en bióxido de carbono.

El bióxido de carbono no es rechazado por las membranas de ósmosis inversa, por lo tanto la degasificación de la corriente que es producto se requiere para remover el  $\text{CO}_2$ .

En el proceso de ablandamiento, el agua contiene cationes divalentes como  $\text{Ca}^{++}$  se hace pasar a través de un ablandador (resina de intercambio iónico) con iones  $\text{Na}^+$ ; el  $\text{Ca}^{++}$  al igual que otros cationes divalentes es intercambiado por el  $\text{Na}^+$ , obteniendo las sales solubles  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{NaHCO}_3$ . La resina es regenerada con  $\text{NaCl}$ , para restaurar la formación de  $\text{Na}^+$ . La salmuera regenerante, la resina de repuesto y el agua de enjuague comprenden los mayores gastos en sistemas de intercambio iónico.

Para controlar la formación de escala del  $\text{CaSO}_4$  y  $\text{CaF}_2$ , el sistema de ósmosis inversa puede ser operado a la recuperación mínima suficiente para no exceder el límite de solubilidad de estas dos sales en el retentado. (7)

El uso de un inhibidor de escala también previene la precipitación del  $\text{CaSO}_4$  o  $\text{CaCO}_3$ .

Un inhibidor (Hexametafosfato de Sodio) adicionado al agua de alimentación después de la acidificación suprime la nucleación de cristales y permite la supersaturación de  $\text{CaSO}_4$ . (7) (59)

La sílica disuelta se rechaza por las membranas de ósmosis inversa. El nivel de repulsión depende del pH y del tipo de membrana. A elevadas concentraciones de sílica, se presenta la precipitación de la sílica por medio de diferentes reacciones, incluyendo reacciones de polimerización, formación de silicatos y acomplejación con metales. (7)



#### **4.3.A. Remoción de Hierro y Manganeseo**

El hierro puede encontrarse en el agua en su estado ferroso ( $Fe^{+2}$  soluble), en el estado férrico ( $Fe^{+3}$ , como un hidróxido insoluble), o como parte de un compuesto orgánico complejo.

Los sistemas de ósmosis inversa y de intercambio iónico removerán el Hierro en su forma soluble  $Fe^{+2}$ . Sin embargo, si el  $Fe^{+2}$  es oxidado a  $Fe^{+3}$ , el hidróxido de Hierro insoluble ( $Fe(OH)_3$ ) se formará como un precipitado gelatinoso, el cual desgastará la membrana de ósmosis inversa o la resina de intercambio iónico.

Las formas solubles de Hierro y Manganeseo pueden ser removidas por filtración de arena verde ( Silicato de Manganeseo albúmina ) en una cama empacada. En este proceso los óxidos de Manganeseo en la arena verde toman el lugar de el Oxígeno y actúan como catalizadores para la oxidación del bicarbonato ferroso, que oxidado al hidróxido insoluble es simultáneamente filtrado fuera del agua. El medio es regenerado con Permanganato de Potasio. Un ablandador de agua se utiliza para la remoción del Hierro soluble. Cuando la combinación de Hierro y Manganeseo excedan 0.3 ppm, la resina tiene que ser limpiada con sulfito y bisulfito de Sodio.

### **4.3.B. Remoción de compuestos orgánicos**

#### **a) Carbón activado.**

El pretratamiento con carbón es utilizado para remover compuestos orgánicos específicos y carbón orgánico total (TOC). Los compuestos orgánicos en aguas superficiales provienen de los ácidos húmicos de la vegetación, compuestos orgánicos disueltos como aceites, fenoles, pesticidas, surfactantes, halometanos y otros. (7) (33)

La capacidad de remoción orgánica de las camas de carbón granular activado (GAC) depende del área superficial, tamaño de poro, y método de manufactura del carbón. Las características de los compuestos orgánicos como peso molecular, pH, temperatura y tipo de sal desempeñan un papel importante en el proceso de absorción.

#### **b) Limpiadores con adsorbentes orgánicos.**

Resinas de intercambio aniónico de macroporos son utilizadas para la remoción de compuestos orgánicos del agua. Típicamente la resina se encuentra contenida en una cama empacada de Carbón para remoción de cloro

El carbón granular activado es también utilizado para remover cloro libre en el agua de alimentación. El cloro libre ataca las membranas de ósmosis inversa y el equipo de intercambio iónico. El ácido hipocloroso ( $\text{HClO}$ ) y el ion hipoclorito ( $\text{OCl}^-$ ) son dos formas en que se encuentra el cloro disuelto y son dependientes de pH. (7)

#### **4.4. MECANISMOS DE FORMACIÓN DE ESCALAS EN PROCESOS DE DESALACIÓN**

Esos mecanismos pueden ser agrupados en 5 pasos:

- 1.- **Iniciación del desgaste** - Durante el periodo inicial de retención de escalas, la superficie se condiciona para el desgaste que ocurrirá después. Este paso, en el cual se observa el desgaste por precipitación y cristalización se realiza en horas. Después de que este periodo ha sido observado la resistencia al desgaste se incrementa con el paso del tiempo.
- 2.- **Transporte a la superficie** - Este paso de transporte resulta en una variedad de procesos tales como: difusión molecular, convección forzada por el fluido, sedimentación de partículas suspendidas, y termoforesis bajo el gradiente de temperatura.
- 3.- **Ataque a la superficie** - No todos los materiales transportados a la superficie la desgastaran, esto dependerá del tipo de material, su rugosidad, las propiedades de las partículas, y finalmente de las fuerzas de interacción que actúan sobre las partículas.
- 4.- **Remoción de la superficie** - Material puede ser removido del depósito debido a gradiente de velocidad, velocidad del fluido y la rugosidad de la superficie.
- 5.- **Edad del depósito** - Una vez que una capa de depósito se forma en la superficie, esta no permanece estática y por lo regular el espesor del depósito se incrementa con el tiempo hasta que alcanza un valor estable.

#### 4.5. MECANISMOS DE DESGASTE BIOLÓGICO

Bacterias contenidas en el agua atacan a la membrana en las primeras etapas donde pueden ser detectados un número limitado de sitios atacados (cerca del 15% del área de la membrana). Después de dos semanas toda la membrana se cubre con una capa de bacterias de micrómetros de espesor. Conforme la biocapa madura, más cultivos de bacterias crecen y se adhieren a la membrana; puede ser que con el tiempo las biocapas antiguas se compriman, formando una capa impermeable. (8) (23) (67)

Prácticamente, la formación de esta capa puede ser controlada mediante la adición de cloro en el agua de alimentación para tener cloro residual a 0.5 mg/L. Como las membranas de poliamidas se degradan en presencia de un halógeno, la decloración del agua de alimentación también es requerida.

En el caso de una planta de ósmosis inversa, un exceso de dosificación de Bisulfito de Sodio es requerido para eliminar el cloro residual debido a su elevada sensibilidad del material poliamidico en combinación con los altos costos de membrana. (10) (48)

El desgaste biológico se considera un problema inquietante en plantas de desalación de agua de mar. Los microorganismos tienen la tendencia de crecer en las superficies inmersas que no contienen biocidas y la magnitud de este crecimiento biológico depende en factores como el tipo de agua de alimentación y si son aguas superficiales o profundas, su temperatura, la presencia de nutrientes y la intensidad de flujo.

Muchos microorganismos tienden a causar daño tanto químico como físico a las membranas de acetato por lo tanto se requiere de procesos de cloración y decloración. (10) (35)

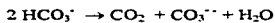
Además de el desgaste biológico, las plantas de desalación de agua de mar sufren debido a la presencia de sólidos suspendidos, coloides, formación de escalas, depósitos de aceite y orgánicos y óxidos de metal. Los principales tipos de escalas presentes en plantas de ósmosis inversa son carbonatos, sulfatos, fluoruros, y silica.(8) (31) (34)

El desgaste producido por agentes orgánicos en procesos de desalación de agua de mar por ósmosis inversa puede resultar en la pérdida de la productividad de la membrana con respecto a la repulsión de sales. (39) (40)

El primer paso que puede ser tomado para reducir el desgaste por coloides a la membrana es diseñar la toma de agua de mar profunda, esto provee agua de mar filtrada para la planta de desalación con bajo índice de sedimento (SDI). En muchas plantas, la adición química de coagulante se requiere antes del filtro para una mayor reducción del índice de sedimento. El valor mínimo recomendable y aceptado del índice de sedimento es de 3 aunque dependiendo del módulo de ósmosis inversa este valor puede incrementarse muy ligeramente.(10)

#### 4.6. TÉCNICAS DEL CONTROL DE ESCALAS

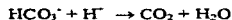
La fuerza impulsora para la formación a escala es la sobre-saturación de agentes formadores de escalas ; en el caso de las escalas del sulfato, está saturación es causada por la reducción en la solubilidad del sulfato de Calcio hemihidrato en agua conforme se incrementa la Temperatura ( comportamiento de solubilidad inversa ), pero en el caso de las escalas alcalinas, la sobre-saturación es causada por el comportamiento de solubilidad inversa y también por las siguientes dos reacciones:



Las cuales producen  $\text{CO}_3^{2-}$  y  $\text{OH}^-$  que son requeridos por los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  para formar los precipitados de las escalas alcalinas [  $\text{CaCO}_3$  y  $\text{Mg(OH)}_2$  ], de aquí que los métodos Químicos utilizados para el control a escala sean el tratamiento ácido o la adición de inhibidores de escala.

##### Adición de ácido

La adición de un ácido fuerte (regularmente ácido sulfúrico) al agua de mar que contiene iones bicarbonato produce la siguiente reacción.



La adición ácida es un medio simple y efectivo de prevención en la formación de escalas alcalinas, pero el uso de ácidos fuertes como el sulfúrico provoca problemas de corrosión.

### **Aditivos Químicos (antiescalantes)**

Actualmente los métodos aceptados de prevención de la formación de escalas utilizan compuestos Químicos conocidos como agentes críticos; el término crítico se les asigna debido al comportamiento de dichos agentes; se encontró que la adición de una menor cantidad de la estequiométrica de determinados polifosfatos a soluciones sobre-saturadas de varias sales, particularmente carbonato de Calcio prevendría la precipitación por substanciales periodos de tiempo.

### **Limpieza mecánica**

Se utilizan actualmente dos sistemas básicos de limpieza en plantas de desalación para remoción de escalas; el primero es relativamente viejo, es el sistema de limpiado mientras se detiene la operación de la planta y es mediante el empleo de cepillos; el segundo sistema es el sistema de limpiado durante la operación de la planta con equipo controlado automáticamente. (8)

### **Procesos de pretratamiento en plantas de ósmosis inversa**

De acuerdo a un estudio reciente dirigido por The Saline Water Conversion Corporation (SWCC) en Arabia Saudita con base a tres plantas de ósmosis inversa ( Jeddah, Umm Lujj y Al-Birk ), los principales pasos en el pretratamiento son:

#### **1.-Desinfección**

- Utilizando sulfato de Cobre o cloro, pero el cloro residual tiene que ser removido completamente con bisulfito de Sodio.

#### **2.-Coagulación, floculación y filtración**

- Albúmina fue utilizada como un coagulante mientras que los filtros de arena fueron utilizados para la filtración y complementados con filtros Cartridge para filtración fina ( 5-25 $\mu$ m).

#### **3.-Ablandamiento y control de escalas**

- El ácido sulfúrico es dosificado en la alimentación a un rango de concentración comprendido entre 30-100 ppm ( dependiendo de el análisis del agua en la alimentación ) mientras que los niveles de Hexa-meta fosfato de sodio a 2 ppm es utilizado para prevenir las escalas de Ca<sup>++</sup> y Mg<sup>++</sup> (8).



#### **4.7 LA CORROSIÓN Y EL DESGASTE DE EQUIPO Y TUBERÍAS**

Para lograr eliminar la corrosión en las plantas de desalación se tiene que poner mayor atención para la selección del material de construcción en cada parte de la planta, y la remoción de Oxígeno tiene que ser completamente realizada en la sección de pretratamiento ya sea por deaeradores o mediante la adición de barredores de Oxígeno (  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  ). (8)

*Son los aceros inoxidable realmente inoxidables ?*

Los aceros inoxidables deben su resistencia a la corrosión a la pasividad ; sus superficies reaccionan con Oxígeno para formar capas delgadas de óxido que previenen la corrosión, a esto se le denomina estar pasivado en la misma forma en que se encuentran el Aluminio y el Titanio. Esta capa de óxido o capa de pasivación se forma en cualquier ambiente con la cantidad suficiente de oxidante, siempre que el contenido de Cromo en el acero sea lo suficientemente alto. (9)

La corrosión ocurrirá si la capa de pasividad se rompiera parcial o totalmente, en ambientes salinos localizados sobre la ruptura es donde se presenta el mayor problema, el cual provoca un incremento en los ataques por corrosión local tales como picaduras y corrosión resquebrajadora.

Las picaduras se caracterizan por ser pequeñas y estar localizadas en áreas de ataque sobre la superficie, su apariencia sobre la superficie no es alarmante pero las pequeñas hendiduras pueden crecer rápidamente y profundamente. También la porción de material dañado por corrosión resquebrajadora puede ser subestimada debido a que más ataques pueden estar escondidos dentro de las fisuras presentes.

**TABLA 4 Las composiciones Químicas típicas y sus correspondientes valores PRE de aceros inoxidables comúnmente utilizados son:**

Designaciones de acero		Componentes típicos de aleación, % w					PRE
Avesta Sheffield	ASTM	C	Cr	Ni	Mo	N	
316L	316L	0.02	17	11.5	2.2	0.06	26
317L	317L	0.02	18.5	13.5	3.2	0.08	31
2205		0.02	22	5.5	3	0.15	36
S31803		0.01	20	25	4.5	0.06	37
904L		0.01	20	18	6.1	0.20	46
N08904		0.01	20	18	6.1	0.20	46
254 SMO®	S31254	0.01	24	22	7.3	0.50	63
654 SMO®	S32654						

254 SMO y 654 SMO son marcas registradas de Avesta Sheffield AB

Si un componente contiene fisuras, tanto por el diseño como por incrustación, los ataques de corrosión ocurrirán dentro de las fisuras antes de que los ataques por picaduras se presenten sobre la superficie.

#### 4.9. EXPERIENCIA EN SERVICIOS

El número de plantas de desalación que han sido instaladas cada año ha sido elevado por décadas, pero no se ha compartido información de las plantas de desalación de agua de mar sino hasta los años 80's, como consecuencia solamente un pequeño número de plantas pueden mostrar experiencia en su servicio por largos periodos de tiempo. (9) (52) (53) (56)

Las plantas recientes con sistemas de alta presión fueron realizadas con designación de acero 316L, pero estas se empezaron a corroer y proporcionaron mantenimiento considerable para seguir funcionando. El grado superior de material aleado utilizado en la sección de alta presión ( 254 SMO) utilizado en bombas, tubería, filtros para micropartículas demuestra un excelente desempeño de acuerdo a la Conferencia de Desalación de Cannes en 1987 y se remarca la operación continua de la planta de Ras Abu Jarjur durante 9 años sin problemas de corrosión. (9)

Las concentraciones elevadas de haluros, bajo pH y sustancias oxidantes dentro de la solución que está en contacto con el acero inoxidable son factores que promueven las picaduras así como la corrosión resquebrajadora. El agua salada contiene elevadas cantidades de haluros en forma de cloruros, para evadir el desgaste biológico dentro de los sistemas de ósmosis inversa se clora el agua lo cual produce un ambiente altamente oxidante que favorece el fenómeno de corrosión.

Sin embargo, el número de grados de acero bajo la designación de acero inoxidable es elevado, por lo tanto la resistencia a la corrosión varía considerablemente dentro de los diferentes grados, por esto se tienen ambos grados de acero inoxidable; el que se corroen en ambientes salinos y los que son completamente resistentes.

#### **4.8. COMPOSICIÓN DEL ACERO Y SU RESISTENCIA**

la resistencia de un acero, austenítico o ferrítico-austenítico a las picaduras o la corrosión desquebrajadora se intensifica cuando se intensifica el contenido de Cromo, Molibdeno y Nitrógeno. Una aproximación estimada de la resistencia de un acero a ser picado y corroído de manera desquebrajante puede ser obtenida por la asignación de diferentes factores de peso a tres de los componentes más importantes en los elementos de aleación cuando se calcula lo que se denomina como Resistencia Equivalente a Picaduras o factor (PRE).

La siguiente fórmula es frecuentemente utilizada:

$$\text{PRE} = \%Cr + 3.3 * \%Mo + 30 * \%N$$

El factor PRE es un indicador de la resistencia a las picaduras superficiales y corrosión desquebrajadora que se puede esperar que el acero tenga, proporcionado durante su manufactura, tratamiento térmico y acondicionamiento.

El desgaste ocasionado por los compuestos corrosivos cuando se utiliza tubería metálica de acero inoxidable puede ser controlado si se utiliza tubería no metálica en la sección de pretratamiento de baja presión; otra solución sería utilizar un grado elevado de acero inoxidable de alta calidad, el cual resista a la corrosión en un ambiente agresivo. (10)

**TABLA 4.1 Experiencia en servicios de 27 plantas utilizando sistemas de flujo con alta presión y nos informa con que designaciones de acero se presento corrosión**

Planta, año de instalación	Corrosión	No corrosión
Bahrain, Al Dur, -89	2205	904L
Gibraltar, Glen Rocky,-88	2205	
Inglaterra, Eurotunnel,-89	2205	
Kuwait, Doha,-81 ,-84	316L 904L	
Malta, Ghar Lapsi,-82,-90 , Tigne,-86,-90 , Cirkewwa,-88,-91 , Pembroke,-91	316L 316L 316L	254 SMO 254 SMO 254 SMO 254 SMO
Oman, Masirah,-85		254 SMO
Arabia Saudita, Jeddah,-78 , Al Birk,-83 , Tanajib,-83 , Umm Lijj,-86 , Safaniyah,-86 , Jeddah I,-89 , Duba,-89 , Haql,-89	316L 317LN 317L 317L	316L 254 SMO 254 SMO 317L
España, Galdar-Agnete,-89 , Lanzarote II,-86,-89 , Ibalsa Y,-90 , Lanzarote III,-91 , Agragua,-91 , Corralejo,-93 , Gran Tarahal,-93 , Gando,-93	316L	254 SMO 254 SMO 254 SMO 254 SMO 254 SMO 254 SMO 254 SMO
Estados Unidos, Gaviota,-88		254 SMO

(9)

52

#### **4.10 MATERIALES UTILIZADOS POR SECCIONES**

El proceso de desalación de agua de mar por ósmosis inversa requiere de una selección adecuada de sus materiales en las diferentes secciones de la planta, los problemas ocasionados por la corrosión pueden ser el resultado de diferentes factores como:

- A) Selección de materiales impropios**
- B) Operación inadecuada del proceso**
- C) Mantenimiento inadecuado del equipo y accesorios**
- D) Diseño y fabricación de baja calidad**

Las secciones de Bombeo de alta y baja presión comprenden bombas, válvulas, tuberías, elementos que requieren ser construidos de diferentes materiales para evadir la corrosión. Los principales materiales son los aceros inoxidables, las aleaciones base Níquel y los plásticos.

##### **Aleaciones Base Níquel**

Las aleaciones con Níquel se utilizan de preferencia en flechas de bombas o impulsores, mientras que otros materiales de construcción como aceros inoxidables o plásticos reforzados se utilizan en otras secciones y equipos del proceso.

### **Plásticos**

Muchos plásticos han comprobado su excelente desempeño en los servicios de las plantas desaladoras por ósmosis inversa; materiales como cloruro de polivinilo (PVC), polietileno, fibras reforzadas de poliéster, vinilester y epoxy son regularmente utilizados en la sección de tubería de baja presión y como recubridores o aislantes de filtros de acero al carbón y otros equipos.

### **Aceros inoxidables**

Los aceros inoxidables son los materiales convencionales utilizados en la sección de bombeo de alta presión; se utilizan en la tubería de alta presión, tubería de transporte del permeato y retentato y la bomba de alta presión. Estos materiales tienen resistencia adecuada la corrosión pero son propensos a las picaduras y la corrosión resquebrajadora cuando el agua contenga cloro o agentes contenidos en aguas estancadas.(16) (41) (42) (43) Finalmente algunas plantas de desalación de agua de mar se encuentran instaladas en estructuras de concreto que resisten condiciones de humedad y desgaste continuo. (57)

#### **4.11. POST TRATAMIENTO DE PLANTAS DE ÓSMOSIS INVERSA**

El agua como producto de la ósmosis inversa se caracteriza por la presencia de sales monovalentes como el cloruro de Sodio. Las sales monovalentes provocan la corrosión y la presencia de elevadas concentraciones del ion cloruro en el agua como producto del proceso, acelerará la corrosión de la tubería en la ausencia de una capa protectora, es por esto que el post tratamiento de la ósmosis inversa dependerá en gran medida de la eficiencia del pretratamiento.

En el pretratamiento, se dosifica ácido para destruir la alcalinidad con el propósito de prevenir la formación de escalas alcalinas que se depositen en la superficie de la membrana. Bióxido de carbono se produce como resultado de la reacción ácida con la alcalinidad y este mismo pasa a través de la membrana con el permeato y disminuye su valor de pH.

El post tratamiento puede llevarse a cabo por dos métodos; el primero es por la incorporación de un decarbonador atmosférico con el propósito de eliminar el Bióxido de Carbono y asegura que el permeato se prepare para mejorar su sabor, el siguiente paso es carbonar el agua como producto la cual pasará a través de una cama de piedra caliza para elevar el valor de alcalinidad al requerido y estar protegidos contra la corrosión. Sin embargo, esto requiere la adición de  $\text{CO}_2$  producido en una planta donde se queme gas natural. El último paso en el post tratamiento es la adición de cloro para la desinfección en contra de microorganismos biológicos en la red de distribución de agua para sus diversos usos. (10) (14)



El segundo método es mediante el paso del agua como producto a través de una cama de piedra caliza o adicionando la piedra caliza, seguido de un proceso de cloración. El  $\text{CO}_2$  en el permeato se utiliza pero se puede necesitar más para exceder el límite de dureza temporal.

La experiencia en plantas de desalación de agua de mar por ósmosis inversa demuestra que el primer método es más fácil de controlar. (10)

#### **4.12. DESCRIPCIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO**

El muestreo es un elemento de medición que tiene como objetivo verificar el funcionamiento correcto de la planta por medio de la evaluación de parámetros Físico-Químicos del agua a lo largo del proceso.

##### **1.- Colección del agua de suministro**

El análisis del agua de suministro debe llevarse a cabo en los alrededores o proximidades de la succión de la bomba; un análisis posterior a la etapa de bombeo es inaceptable y podría producir resultados falsos debido a la posible contaminación en la línea o la bomba, además del deterioro de las uniones, válvulas, etc.

##### **2.-Entrada al filtro de arena**

Este punto de muestreo es muy importante debido a la considerable longitud entre la sección de colección y el filtro de arena, además considerando que el tiempo de retención en el filtro es alto y puede ocasionar la existencia de vida o acumulación de suciedad. Es muy importante obtener el valor diferencial analizado a la entrada y salida del filtro y evaluar el efecto progresivo que tiene el metabisulfito de Sodio medido sobre el agua no tratada.

##### **3.-Salida del filtro de arena**

Debido al elevado tiempo de retención dentro de los filtros, se localiza un punto de muestreo a la Salida con el propósito de comparar las variaciones posibles con respecto a la entrada.

#### **4.- Bombeo de alta presión**

En este análisis, se verifica la eliminación del cloro residual , así como la ausencia total de vida; no debemos olvidar que el cloro y los microorganismos pueden dañar las membranas de ósmosis inversa.

#### **5.- Dosificación del agente dispersante**

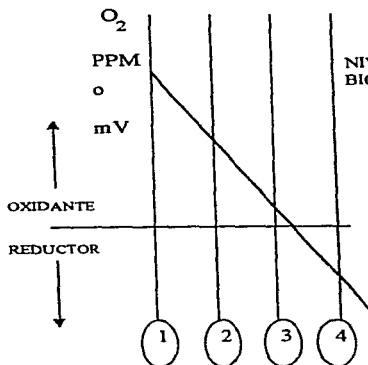
En este punto de muestreo, la posible evolución de vida orgánica en el sistema debe ser controlada, dado que varios casos en los que las colonias existían en la dilución del agente dispersante o el agente inhibidor precipitante han sido reportados. Esto tiende a ocurrir cuando el agente dispersante se disuelve en agua y así se mantiene por varios días.

#### **6.- Corriente del retentato**

Debido a la concentración producida en el retentato y con el conocimiento acerca de la repulsión de gases y material orgánico por la membrana, este punto de análisis debe ser evaluado con las concentraciones existentes. En este punto es necesario evaluar la posibilidad de la presencia de carbonatos y silicas.

#### **7.- Corriente del permeato**

En este punto, las repercusiones que el pretratamiento tiene sobre el permeato deben ser evaluadas.



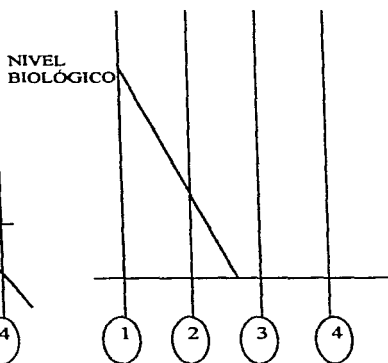
### PUNTOS DE ANÁLISIS

#### CURVA RESULTANTE DE LA MEDICIÓN DE MBS

La eliminación de oxígeno y reducción del sistema en el proceso de pretratamiento del agua en la alimentación a las membranas de ósmosis inversa. Es necesario obtener el nivel reductor al punto 4 con un margen de seguridad considerable en función de la máxima cantidad de oxígeno medido en la coleccion y la cantidad de aire estimada.

- 1.- Nivel oxidante
- 2.- Nivel oxidante
- 3.- Punto de transición
- 4.- Nivel reductor

MBS - metabisulfito de sodio



### PUNTOS DE ANÁLISIS

#### EVALUACIÓN DE LA CURVA DE NIVEL BIOLÓGICO

El desarrollo de los análisis biológicos debe ser evaluado para que el sistema pueda funcionar en ausencia de microorganismos de preferencia antes del punto 3.

- 1.- Nivel biológico
- 2.- Nivel normal
- 3.- Punto base de análisis

#### **4.12A. Parámetros del muestreo**

Los parámetros a ser determinados en los siete puntos de muestreo son :

- 1.-  $O_2$
- 2.- **Potencial Redox**
- 3.- **Conductividad**
- 4.- **pH**
- 5.- **Temperatura**
- 6.- **Contenido de microorganismos**

Muchas de estas medidas se consideran indispensables para la operación de la planta, es por esto que se deben llevar a cabo mediciones continuas tales como:

**Potencial Redox antes de entrar a los equipos**

**pH antes de entrar a los equipos**

**Conductividad del agua antes de entrar a los equipos**

**Conductividad del agua como producto**

Esos medios de medición deben ser periódicamente comparados con elementos estándar.

En los restantes puntos de muestreo las mediciones pueden llevarse a cabo con unidades de medición portátiles o por el envío de muestras a laboratorios de análisis.

Dentro del análisis biológico, es recomendable en chequeo periódico de la ausencia de microorganismos generada por aguas estancadas dentro del proceso. (15) (49)

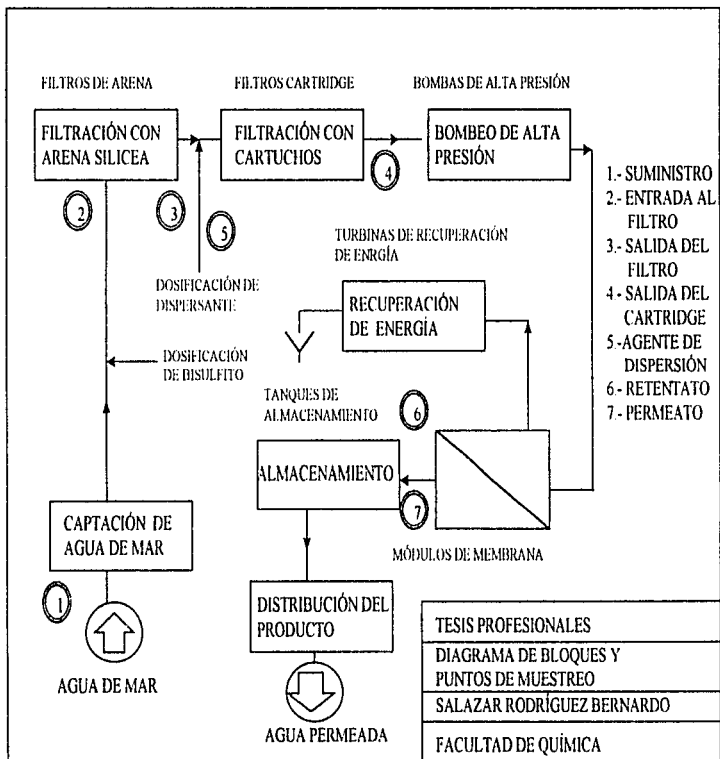


FIG. 10 DIAGRAMA DE BLOQUES Y PUNTOS DE MUESTREO

## **CAPÍTULO V**

### **5.1. DISPOSICIÓN DEL AGUA DE MAR**

Para las plantas de desalación localizadas en o cerca del océano, en método más común y menos caro de disposición del agua de mar es la descarga en el océano; no existen guías específicas en lo concerniente a la dispersión de concentrados salinos descargados en el océano o para mezclas con agua de desperdicio y sus opciones de descarga.

El Instituto de Investigaciones de Energía Eléctrica EPRI financió el desarrollo de un programa con el propósito de desarrollar las herramientas que permitan modelar la dispersión salina y la evaluación de la aplicabilidad de guías reguladoras para descargas salinas. (12)

### **5.2. CRITERIOS DE DISPERSIÓN**

**Las descargas provenientes de plantas de desalación de agua de mar consisten en concentrados salinos, antiescalantes, biocidas y coagulantes como el  $FeCl_3$ . Los antiescalantes son típicamente ácido sulfúrico o los nuevos antiescalantes, como lo es el poliacrilato, estos materiales se desintegran por lo que son biodegradables. (12) (38) (64)**

La Agencia de Protección del Ambiente "EPA" en California y Florida menciona que las regulaciones de descarga al océano no identifican la salmuera como sólidos totales disueltos TDS como un contaminante. Sin embargo, salinidades extremadamente bajas ( cercanas a cero) o extremadamente altas ( dos veces la del ambiente oceánico ) pueden impactar negativamente la flora y fauna marina si estan expuestas por amplios periodos de tiempo.

Para descargas salinas cerca del fondo del océano, el ambiente benthico podria ser expuesto a elevadas salinidades durante el tiempo que el efluente continúe.

Debido a las grandes variaciones de las características benticas, el impacto por el incremento en la salinidad en el ambiente béntico será una función del ecosistema local. Para cualquier sitio dado al ecosistema específico y las consecuencias de el incremento en su salinidad deben ser evaluados. La información acerca de la afectación debida al incremento en los niveles de salinidad en los ecosistemas es mínima; resultados publicados por diferentes investigadores muestran que los organismos individuales no son significativamente impactados por las variaciones de salinidad que se desvian algunas partes por mil (ppt) comparadas con el ambiente.; sin embargo, variaciones significativas en la salinidad han tenido un claro y significativo impacto en organismos individuales.

Chesner encontró que incrementos en la salinidad del orden de 0.2 ppt no impactaban una ecomunidad, a su vez mediciones acerca de las características oceánicas mostraron las variaciones naturales de la salinidad del orden de +/- 1 ppt debidas a el flujo de las mareas, afluencia de agua fresca superficial, y variaciones estacionarias.

**Conservadoramente, parecería que el ambiente béntico podría tolerar una perturbación en su salinidad de +/- 1 ppt con respecto a la salinidad normal del ambiente, lo cual equivale a un 3 % de desviación del ambiente (salinidad del océano pacífico =33 ppt).**

Por ejemplo para una descarga de salmuera proveniente de una planta de ósmosis inversa con una salinidad de 70 ppt , una dilución de aproximadamente 35-40 veces sería requerida para alcanzar la salinidad en el efluente de 1 ppt por encima del medio ambiente.

1ppt = 1000 mg/L= 1000 ppm



### 5.3. ZONA REGULADORA DE MEZCLADO

La política de calidad del agua en los Estados Unidos Americanos utiliza el concepto de zona de mezclado. Una zona de mezclado es un área o volumen de agua donde se inicia la dilución de una descarga acuosa con contaminantes.

Una zona reguladora de mezclado ( RMZ ) se utiliza en situaciones de descarga de efluentes para lograr identificar las regiones que han sido impactadas. La EPA define una zona reguladora de mezclado como una " zona de impacto distribuida " dentro de la cual el valor numérico correspondiente a los límites de calidad establecidos podría ser excedido. Otras definiciones como la " zona hidrodinámica de dilución inicial " en donde el mezclado de la corriente de efluente se lleva rápidamente ( regularmente una pluma ascendente flotante de agua fresca dentro de un ambiente salino ), la profundidad de la columna de agua medida horizontalmente desde la estructura de descarga, y un área superficial rodeando la descarga que entonces se aplica a la columna de agua y el área béntica recalcando el área superficial.

Si se va a definir una zona de mezclado para una descarga de salmuera, el uso de la zona hidrodinámica de dilución inicial podría ser apropiado para descargas sumergidas. En este caso la zona de dilución inicial podría ser la distancia que la pluma viaja antes de que entre en contacto con el fondo del océano, la cual es una región de fuerte mezclado. Si el fondo del océano se encuentra inclinado cerca de la región de descarga, una dilución considerable podría ocurrir conforme la pluma viaja hacia el fondo a lo largo de la región inclinada, y la zona de mezclado puede ser definida más allá de la zona de dilución inicial.

Para salmueras procedentes de descargas superficiales que sean mas densas que el ambiente la corriente del efluente fluirá en dirección al fondo del océano - no existe una región antes del contacto béntico - . En estos casos una zona reguladora de mezclado definida por la distancia u área delimitada seria apropiada. (12) (19)

#### **5.4. MODELOS PARA DISPERSIÓN DE DESCARGAS**

Existen diversos modelos para evaluar la dispersión de descargas salinas en el mar; los más utilizados son las PLUMAS y los programas CORMIX elaborados por la EPA. Existen 2 programas, CORMIX y B-CORMIX que permiten modelar descargas con tendencias flotantes (comportamiento positivo; menor densidad que al ambiente) y con tendencias sumergibles (comportamiento negativo; mayor densidad que el ambiente). Estos programas contienen experiencias de personas relacionadas con el fenómeno de descarga y los modelos matemáticos descriptivos.

La combinación de ambos programas predice el comportamiento de una descarga de forma cuantitativa ( clasificación de flujo y patrones de flujo) y cuantitativa ( razón de dilución y trayectoria de pluma).

#### **5.5 DISPERSIÓN DE DESCARGAS SUMERGIDAS EN LA COSTA**

El programa CORMIX se utilizo para evaluar el comportamiento de la descarga sumergida proveniente de una planta desaladora de agua de mar por ósmosis inversa localizada costafuera.

Un puerto de descarga se utilizo para examinar el comportamiento del efluente con las siguientes condiciones:

Condiciones de descarga

Salmuera TDS, 68 ppt

Flujo volumétrico, 1.0 mgd/puerto

Densidad, 1046 kg/m<sup>3</sup>

Velocidad, 2.5m/s

Diámetro del puerto, 0.15m

Dirección del puerto: 45° con la horizontal,  
normal con respecto a la corriente ambiental,  
y tres metros el fondo oceánico

Condiciones ambientales

Profundidad, 30m

Corriente marina, 0.2 m/s .

( paralela al borde de la playa)

Densidad, 1025 kg/m<sup>3</sup>

En los siguientes gráficos se representa la trayectoria de la pluma y la dilución como una función de la distancia a partir de el punto de descarga. La pluma inicialmente flota, sin embargo por su densidad pierde la inercia y finalmente se hunde alcanzando el fondo oceánico a 10 metros a partir del punto de descarga. Dentro de esta distancia la pluma sufre un mezclado significativo, y la línea central de dilución es 40 veces en el punto de hundimiento y alcance del fondo. Conforme el efluente continua viajando a lo largo del fondo oceánico se seguirá mezclando pero con menor intensidad.

Trayectoria de la pluma  
vista lateral

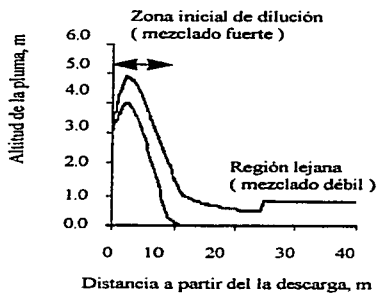


Gráfico 1 Trayectoria de la descarga

línea central de dilución

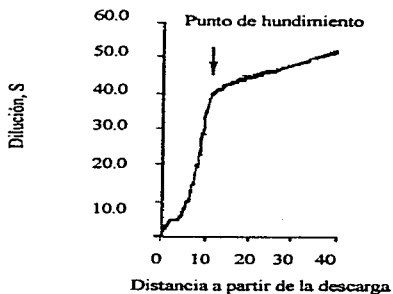
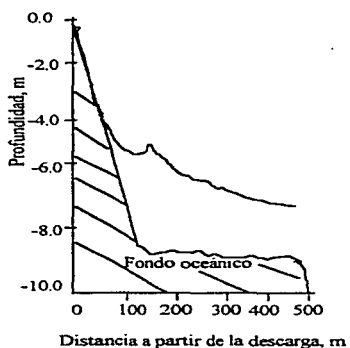


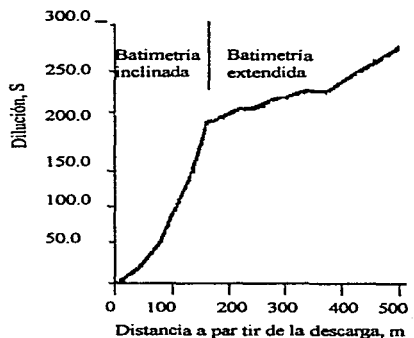
Gráfico 2 Dilución de la descarga

Trayectoria de la pluma  
vista lateral



Gráfica 3 Trayectoria de la descarga

Línea central de dilución



Gráfica 4 Dilución de la descarga

Con el propósito de averiguar el efecto en la dilución durante el punto de hundimiento en el fondo oceánico se variaron diferentes parámetros:

<u>Parámetro</u>	<u>Valor base</u>	<u>Rango del parámetro</u>	<u>Rango de dilución</u>
Diámetro de puerto, m	0.15	0.06-0.18	100-30
Densidad de descarga, kg/m <sup>3</sup>	1046	1027-1046	284-40
Ángulo con la horizontal, °	45	10-80	20-57
Ángulo con la horizontal, °	90	90-10	40-43

Valor base de dilución: 40

Los resultados muestran que para tamaños de puerto pequeños y densidades de descarga cercanas al valor del ambiente se requiere un incremento en la dilución. Cuando el tamaño de puerto es pequeño se requerirán más puertos para mantener velocidades de descarga razonables( debajo de 4 m/s) . La combinación una descarga salobre con agua de desperdicio o una descarga proveniente de una planta generadora de potencia se podría alcanzar densidades cercanas al valor del ambiente.

La siguiente figura presenta las trayectorias de las plumas y la dilución requerida, S, al punto de contacto superficial (superficie del océano) o profundo (fondo del océano) de las plumas para un rango de densidades de descarga comprendidas desde agua salobre proveniente de la planta desaladora mediante ósmosis inversa hasta agua de desperdicio. Los resultados muestran que la mezcla de agua salobre con agua de desperdicio con densidades resultantes menores que la del ambiente favorecen la dilución del concentrado salobre pero obstaculizan la dilución de agua de desperdicio.

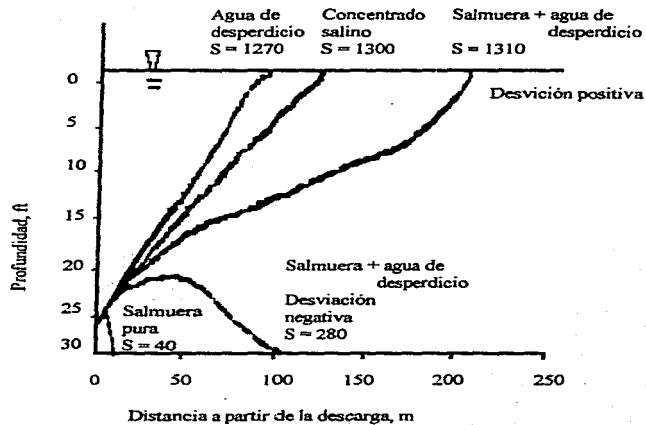


Gráfico 5 Comportamiento de las descargas

Por el contrario la mezcla de agua salobre y agua de desperdicio con densidades mayores que el ambiente favorecen la dilución del concentrado salobre y el agua de desperdicio. (12) (64) (65) (68)

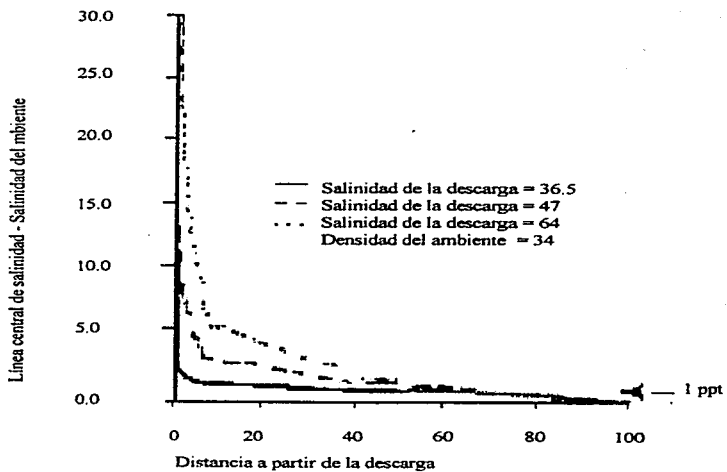
El programa B-CORMIX fue utilizado para evaluar el comportamiento de una descarga de efluente cerca de la costa proveniente de una planta desaladora de agua de mar mediante ósmosis inversa (Costa oeste de Florida). El canal de descarga tiene 0.5 m de ancho y 0.1 de profundidad, la velocidad de descarga es 2m/s (2.3 mgd). La batimetría indica 10 ° de pendiente hasta 50 m, después la profundidad es constante a 9m (región costera lejana). La densidad del ambiente es uniforme a lo largo de las regiones anteriormente descritas, sin embargo la velocidad en el ambiente es 0.1 m/s para la región costera lejana.

El diagrama para esta planta presenta la trayectoria de la corriente de descarga; la pluma de descarga hace contacto inmediatamente con el fondo inclinado y sufre un fuerte mezclado. Cuando la corriente alcanza el fondo plano su mezclado es influenciado por la velocidad (menor) del ambiente y su rapidez de dilución disminuye.

Para descargas superficiales más densas que el ambiente (salinidad elevada), las descargas presentan un mezclado intensificado a lo largo del fondo inclinado, alcanzando mayores velocidades. Sin embargo salinidades superiores requieren de mayores razones de dilución.

El último diagrama presenta la línea central de salinidad (relativa a la salinidad del ambiente) como una función de la distancia a partir del punto de descarga para tres salinidades de descarga. La dilución hasta logra 1 ppt con respecto al valor del ambiente es menor para la salinidad con menor descarga; sin embargo todas las descargas se diluyen rápidamente. (12) (44) (45) (46)





Gráfica 6 Línea central de salinidad

## CAPÍTULO VI

### 6.1. PLATAFORMAS DE PRODUCCIÓN

Las plataformas de producción constituyen la etapa medular en la explotación de los yacimientos de gas y petróleo en el mar.

Generalmente las plataformas de producción son fijas, contruidas con acero y concreto.

Estas plataformas pueden ser de perforación y producción simultánea.

El objetivo de este tipo de instalaciones es llevar a cabo las operaciones de acondicionamiento necesarias en el menor espacio que permitan enviar la mezcla de crudo y gas hasta tierra, para lo cual una plataforma de producción puede constar de los siguientes sistemas:

**A) Sistema de Separación:** Tiene por objeto separar el gas del crudo.

**B) Sistema de Medición y Bombeo:** Tiene por objeto enviar y cuantificar el crudo y el gas extraído hacia los centros de producción, explotación y/o consumo de tierra.

**C) Sistema de Tratamiento del gas:** Dependiendo de diversos factores como la cantidad de gas generado por barril; tiempo requerido y disponible para la extracción del petróleo y las características del gas se realizan diversos tratamientos como son:

- 1) Envío directo a un quemador en el cual se consume conforme se genera; a este mismo quemador se envían los desfuegos de los dispositivos de seguridad.
- 2) El gas es sometido a un proceso de endulzamiento ya sea para ser usado como gas de combustión para turbinas de gas o bien para ser enviado a tierra mediante tubería submarina.
- 3) Una tercera alternativa podría ser la recompresión del gas generado para reinyectarse al yacimiento con objeto de restablecer la presión del yacimiento.

**D) Sistema de drenajes:** Tiene por objeto desechar y/o tratar residuos aceitosos, pluviales, drenajes de líquidos a presión conteniendo gas disuelto, etc.

**E) Sistema de servicios auxiliares:** Agua potable, aire de planta y aire de instrumentos, agua de servicios, diesel, turbosina, etc.

**F) Sistema de seguridad:** Tanto para proteger al personal operativo como al equipo y a la misma plataforma, por ejemplo: Bombas de agua contra incendio, monitores, chalecos salvavidas, botes inflables, dispositivos para detección y monitoreo de gas combustible y  $H_2S$ , protección catódica, etc.

## **6.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

Con objeto de obtener en el menor tiempo posible, producción de crudo de la Bahía de Campeche, la plataforma de producción será diseñada con el equipo mínimo necesario para separar y recuperar la corriente líquida de aceite producida por los pozos sin llevarse a cabo ningún proceso de acondicionamiento y/o aprovechamiento para el gas, debido a que este será quemado conforme se genere.

La capacidad de diseño será de 100,000 BPD siendo el crudo procesado en un tren de separación que consta de dos etapas, la primera a 50 PSIG y la segunda a 10 PSIG de presión de operación.

El sistema de gas se diseñará para manejar 33 MMSCFD, capacidad correspondiente a una relación gas-aceite de 330 pies cúbicos estándar por cada barril ( SCF/BBL). Esta capacidad cubre tanto los requerimientos de las condiciones normales de operación así como los desfogues en caso de incendio.

El sistema de bombeo de crudo a tierra se diseñará para ser efectuado por dos bombas centrífugas de 38,000 BPD y dos bombas rotatorias de 24,000 ( siendo una de ellas de repuesto).

La corriente de descarga de las bombas de esta plataforma de producción, AKAL PT-1, será enviada a través de una tubería de 12 " que cruza por el puente hacia la plataforma de enlace AKAL PE-1, pasando por la plataforma de perforación AKAL "C" para conectarse con el cabezal de producción de una fase y ser enviada a través de una línea submarina de 36 " hacia tierra( ver figura); dicho cabezal de 36" manejará el flujo de una(s) plataforma(s) futura(s) de producción de mayor capacidad.

## **6.2. A SISTEMA DE SEPARACIÓN**

El sistema de separación de aceite y gas es mostrado en el diagrama de proceso Dibujo .

La corriente de petróleo que sale de cada plataforma es conectada en un cabezal localizado en la plataforma de enlace AKAL "PE-1" ; dicho cabezal recibirá la contribución de crudo de las plataformas de perforación remotas AKAL "D", AKAL "E", AKAL "F", AKAL "G" y AKAL "I" localizadas en la periferia a este complejo de AKAL "C".

El crudo (liquido/gas) recolectado en este cabezal es enviado a la plataforma de producción AKAL PT-1 a través del puente donde será recibido en un separador llamado "separador de la primera etapa" el cual operará a 50 PSIG, en donde se separan tres corrientes: aceite, agua libre y gas.

El gas separado en este equipo es enviado a un separador de espuma que operará a la misma presión que el separador de la primera etapa.

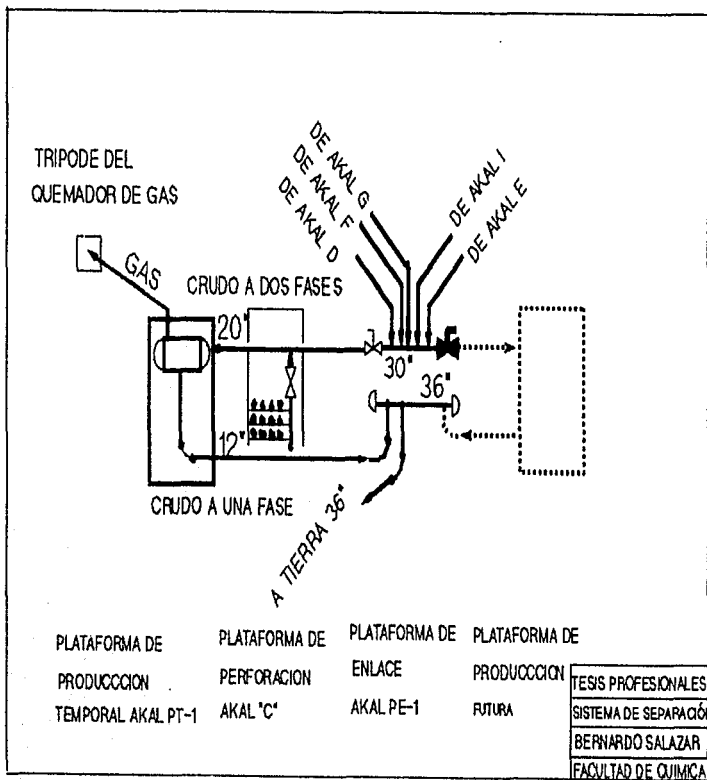


FIG. 11 SISTEMA DE SEPARACIÓN



CORRIENTE No	1	2	3	4	5	6	
DESCRIPCION	Corriente de Pozo	Salida de gas la Etapa	Salida de agua la Etapa	Salida de agua la Etapa	Salida de gas 2a Etapa	Salida de agua 2a Etapa	
TEMPERATURA °F	72	72	72	72	70.3	70.3	
PRESION PSIG	100	60	60	60	10	10	
FLUJO Lb/h	1360696	46167	134674.6	19701.3	6692.3	1308362.6	
BPD (MNPCE)	109636	(19,478)	100965.3	1352.9	(1,932)	100000	
% API (G.ESP. AL AIRE/GASES)	34.949	(0.944)	26.92		(0.93929)	26.046	
G.ESP. A C.O. (GAS Lb/TT3)	0.848	(0.05687)	0.897	1.0	(0.07011)	0.896	
G.ESP. A C.O. (PACM)	3203.6	(1776.886)	2946.4	39.46	(13.837)	2916.667	
PESO MOLECULAR	163.93	2158	263.67	18.016	26.834	263.242	
FACTOR DE CARACTERIZACION- SECO	11.829	17.098	11.627		16.824	11.604	
VISCOSIDAD - CS 100°F / 210°F							
AZIFRE % PESO / PPM							
MOL/HR	8421.713	238.878	9184.661	1096.319	212.130	4972.644	
COMPONENTE	% MOLECULAR						
1 AGUA	16.01	13.04	0.002	0.0077	100	0.0692	0.0066
2 NITROGENO	28.02	0.482	1.763	0.0107	0.0	0.2477	0.0006
3 BIODIÓXIDO DE CARBONO	44.01	1.121	3.062	0.6494	0.0	6.066	0.1667
4 ÁCIDO SULFÚDRICO	34.08	0.6346	1.076	0.8662	0.0	2.366	0.6107
5 METANO	16.04	19.60	71.643	2.065	0.0	47.767	0.6776
6 ETANO	30.07	6.82	15.843	4.083	0.0	29.022	2.9677
7 PROPANO	44.10	6.694	6.296	7.038	0.0	12.648	6.8032
8 ISOBUTANO	68.12	0.8087	0.288	1.197	0.0	0.6623	1.2191
9 N-BUTANO	68.12	3.063	0.7189	4.676	0.0	1.747	4.7390
10 PENTANO	72.15	0.9926	0.0676	1.669	0.0	0.1966	16.494
11 N-PENTANO	72.15	1.166	0.0794	2.183	0.0	0.91	22.689
12 N-HEXANO	86.18	3.668	0.0497	6.769	0.0	0.873	6.019
13 HEPтанOS Y HEXANOS	340.0	47.97	0.0	69.791	0.0	0.0	72.773
TOTAL		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ABREVIATURAS: CO: CONDICIONES DE OPERACION MNPCE: MILLONES DE PIES3 STD./DIA		BPD: BARRILES POR DIA	PPM: PARTES POR MILLON				
							TESIS PROFESIONALES
							HOJA DE BALANCE
							SALAZAR RODRIGUEZ BERNARDO
							FACULTAD DE QUIMICA

FIG. 13 HOJA DE BALANCE

## ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

La presión en estos equipos es controlada por medio de un controlador de presión el cual envía su señal a una válvula controladora de presión a través de la cual el gas que sale del separador de espuma es enviado al cabezal de desfogues. El flujo de gas que pasa por la válvula de control de presión es cuantificado por medio de un medidor de placa de orificio. El nivel de líquido dentro del separador se mantiene por medio de un controlador de nivel que envía su señal a una válvula, a través de la cual el líquido separado es enviado hacia la entrada de crudo del separador de la primera etapa.

El nivel de la interfase (aceite-agua) dentro del separador de la primera etapa es controlado por un controlador de nivel que envía su señal a una válvula controladora de nivel a través de la cual el agua libre separada es enviada hacia el sumidero de drenajes localizado en la parte inferior de la plataforma de producción. El agua libre separada es cuantificada por medio de un medidor de flujo de desplazamiento positivo localizado antes de la válvula de control de nivel.

La corriente de aceite que sale del separador de la primera etapa, es enviada hacia el separador de la segunda etapa a través de una válvula controladora de nivel, la cual recibe señal de un controlador de nivel localizado sobre el separador de la primera etapa.

El separador de la primera etapa ha sido provisto con la instrumentación necesaria para protección por alto-alto nivel y por alta-baja presión, la cual envía señales de paro completo de la plataforma si las condiciones de operación se salen fuera de los rangos de control establecidos previamente. También se han incluido alarmas por alto y bajo nivel, por alta y baja presión.



La corriente de aceite procedente de la primera etapa, entra al separador de la segunda etapa que opera a 10 PSIG, en donde se separan dos corrientes: aceite y gas.

El gas separado en la segunda etapa es enviado al cabezal de desfogues , a través de una válvula de control de presión que recibe señal de un controlador de presión localizado en el equipo. El flujo de gas que pasa por la válvula de control es cuantificado por medio de un medidor de placa de orificio.

La corriente de aceite que sale de la segunda etapa, es enviada a través de una válvula de paro al cabezal de succión de las bombas de transferencia de crudo a tierra.

## **6.2. B SISTEMA DE MEDICIÓN Y BOMBEO**

El sistema de bombeo consiste, de dos bombas centrífugas y dos bombas rotatorias conectadas en paralelo, cuya operación depende de la cantidad de petróleo que entra a procesarse a la plataforma, ya que esta cantidad puede variar desde la producción promedio de un pozo (6000 BPD) hasta la de diseño ( 1000,000 BPD).

El flujo de aceite que es enviado a tierra es cuantificado por medio de dos medidores del tipo de desplazamiento positivo conectados en paralelo y para diferentes rangos de flujo.

El sistema involucrado con el sistema de bombeo, ha sido diseñado para mantener el nivel dentro del separador de la segunda etapa, así como también, la presión de descarga de las bombas, lo cual se lleva a cabo, mediante una válvula de control de nivel y dos válvulas de recirculación, las cuales operan una con señal de nivel y otra con señal de presión.

El separador de la segunda etapa ha sido provisto con la instrumentación necesaria para proteger el sistema por alto-alto nivel y por bajo-bajo nivel, la cual acciona alarmas primero y el paro total de la plataforma después. También cuenta con interruptores de presión que accionan una alarma cuando se tiene alta o baja presión.

## **6.2. C SISTEMA DE TRATAMIENTO DEL GAS**

El gas producido por el separador de la primera etapa, es enviado directamente a través de una línea de 12 ". Hacia la descarga del separador del quemador, siendo esta, una línea de 16" que es enviada por puente directamente hacia el quemador localizado a 350 pies de la plataforma.

El gas producido por el separador de la segunda etapa, es enviado a través de una línea de 12", hacia el separador del quemador , siendo conectadas también a esta línea la descarga de las válvulas de seguridad de la primera y segunda etapas de separación.

El separador del quemador tiene como principal función, eliminar los arrastres líquidos producidos por la salida de gas de la segunda etapa y los que se producirán en la descarga de las válvulas de seguridad en caso de un desfogue.

Este separador ha sido provisto por la instrumentación requerida para drenar los arrastres líquidos que se acumulan dentro de este, por medio de una válvula de control que recibe señal de un controlador de nivel. También cuenta con señal de alarma y paro total por alto nivel.

## **6.2. D SISTEMA DEL QUEMADOR**

Este sistema consta de un generador de flama frontal, pilotos, sello de fluido y quemador.

Los pilotos son puestos en operación por medio del generador de flama frontal, el cual es alimentado del gas por medio de una válvula autorreguladora de presión, ajustada a 15 PSIG, también alimentado de aire de servicios por medio de una válvula autorreguladora de presión ajustada a 30 PSIG.

El gas que mantiene en operación los pilotos, es suministrado por medio de una línea de 1 ½", desde la descarga de gas de la primera etapa de separación, a través de dos válvulas reguladoras de presión auto operadas, ajustadas a 20 PSIG una y a 15 PSIG otra.

## **6.2. E SISTEMA DE DRENAJES**

El sistema consta de un recipiente sumergido en el mar, el cual está abierto en su parte inferior y cerrado herméticamente en su parte superior, bomba reciprocante operada con aire, sistema de extracción de gas y tubería de colección de drenajes abiertos y cerrados.

El sistema de drenajes cerrados, recolecta todos aquellos drenajes que tienen desprendimiento de gas a la presión atmosférica, los cuales son enviados al sumidero de drenajes a través de una línea de 6" en donde el gas desprendido es extraído por el eyector del sistema de extracción de gas.

Los drenajes abiertos son enviados también al sumidero de drenajes a través de un tubo de 4", el cual penetra 16 pies en el sumidero con el objeto de lograr un sello y evitar que el gas salga por los drenajes abiertos.

La presión de operación dentro del sumidero de drenajes es mantenida a 5 plg de agua por medio de una válvula autorreguladora de presión que inyecta gas, el cual es extraído juntamente con los gases desprendidos de los drenajes cerrados, por medio de un inyector que opera con gas procedente de la primera etapa de separación; de la descarga del eyector, se extrae gas por medio de una válvula autorreguladora de presión ajustada a 3 plg de agua y se reinyecta a la succión del eyector, con el objeto de que la presión en el sumidero de drenajes no baje a 3 plg de agua.

La descarga del gas eyector es enviada al cabezal de desfogues.

### **6.3. BASES DE DISEÑO DE PROCESO**

**Alcance:**

Estas bases de diseño cubren las características, condiciones y criterios generales con los que deben diseñarse los equipos de proceso para la plataforma de producción temporal AKAL PT-1.

**Localización de la plataforma:**

Bahía de Campeche

19°23'58.788" Lat. Norte

92°02'19.653" Lat. Oeste

**Nota:** las coordenadas de la plataforma están con respecto al centro de la plataforma.

**Producto a obtener:**

Crudo bombeable

**Materia prima:**

a) Especificaciones: Se cuenta con una corriente de pozo, cuya composición tiene una considerable cantidad de volátiles y condiciones específicas. (ver hoja de Balance)

b) Presión de salida de pozos:

Máxima 360 PSI

Mínima 45 PSI

De cierre 995 PSI

**Temperatura de salida de pozos:**

Máxima 104 °F

Mínima 86 °F



**Temperatura de bulbo húmedo:**

**Máxima 82°F**

**Mínima 62°F**

**Diseño 80°F**

**Humedad relativa:**

**Máxima promedio 97%**

**Mínima promedio 44%**

**Diseño 85%**

**Precipitación pluvial:**

**Máxima por hora 85 mm.**

**Máxima por día 334 mm.**

**Promedio anual 1995 mm.**

**Viento:**

**Velocidad del viento 240 Km/hr.**

**Dirección reinante.**

**Criterios de dimensionamiento de equipo:**

**a) Separador de la primera etapa**

**- Presión de operación: 50 PSIG para asegurar que fluyan todos los pozos al separador.**

**- Temperatura de operación 72 °F**

- Tipo de Flash                      Isotérmico debido al equilibrio térmico alcanzado entre el mar y la línea submarina por la cual fluye el crudo.
- Diámetro de partícula        150 Micrones.
- L/D                                    2 a 4.
- Tiempo de residencia        2 a 3 minutos.
- Tipo de separador            Horizontal, por requerir menor tiempo de residencia y además minimizar peso.

**b) Separador de la segunda etapa:**

- Presión de operación        10 PSIG, cumpliendo principalmente como tanque acumulador para las bombas.
- Temperatura de operación    70.3 °F.
- Tipo de Flash                    Adiabático.
- Diámetro de partícula        150 Micrones.
- L/D                                    2 a 4.
- Tiempo de residencia        2 a 3 minutos.

**c) bombas:**

**Factores de seguridad:**

- Capacidad                        10% sobre flujo máximo ( diseño y selección )
- NPSH disponible = NPSH calculado - 2 ft    ( selección )



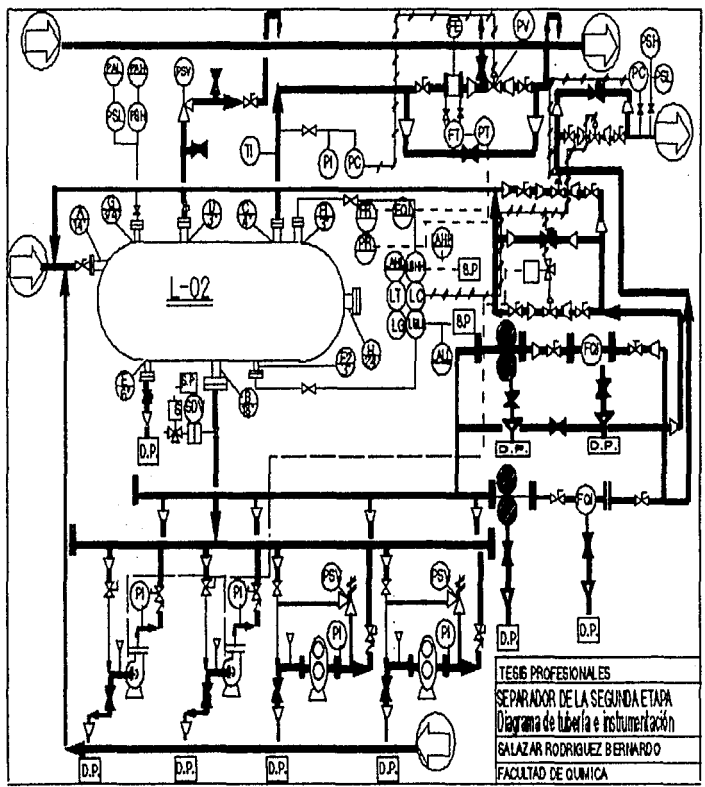


FIG. 14 SEPARADOR DE LA SEGUNDA ETAPA

## **CAPÍTULO VII**

### **7.1. INSTALACIONES DE APOYO EN COSTA**

Las instalaciones de apoyo en costa están encargadas de suministrar a las plataformas petroleras de los servicios básicos necesarios para la operación del proceso y el bienestar del personal dentro de las mismas.

Entre los servicios auxiliares que proveen estas instalaciones tenemos:

- **Generación de energía eléctrica**
- **Tratamiento de aguas de desecho**
- **Sistemas de suministro de agua de enfriamiento**
- **Sistemas de suministro de agua potable**
- **Sistemas de suministro de agua de servicios**

El transporte de agua a las plataformas se puede llevar a cabo mediante buques-tanques o utilizando líneas marinas entre las instalaciones de apoyo en costa y las plataformas.

### **7.2. FUNCIONES DE LA PLANTA DESALADORA**

Este proyecto tendrá la función de desalar un volumen considerable de agua de mar para producir agua de alta calidad ( Agua de servicios y agua potable) en la Sonda de Campeche ( Dos bocas ). El agua producida por esta planta de desalación de agua de mar mediante ósmosis inversa podría utilizarse en las plataformas como agua de servicios y agua potable. Además parte de la producción podría destinarse a incrementar las reservas de la zona. La planta desaladora de agua de mar puede instalarse cerca de Dos bocas (instalación de apoyo en costa).

### 7.3. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE UNA PLANTA DESALADORA

A continuación se presenta un modelo de planta instalada en España "Inalsa I" que se utilizará como base de nuestro proyecto debido a su eficiente desempeño ambiental y productivo durante 6 años. Esta planta tiene una capacidad de 5000 m<sup>3</sup>/ida.

Especificaciones de diseño:

pH = 7.29, conductividad=44,700  $\mu$ S/cm

SDI normal 1 - 1.5                      SDI máximo < 5

Calidad del agua producida < 500 mg/L

Configuración en paralelo (sistema de retentato procesado) con 45 % de conversión

Consumo eléctrico = 5.15 kW/m<sup>3</sup>

Temperatura promedio = 19 ° C

**TABLA 7.1 Análisis del agua de mar**

CATIONES	CONCENTRACIÓN (mg/L)
Ca <sup>2+</sup>	471
Mg <sup>2+</sup>	1,355
Na <sup>+</sup>	11,200
K <sup>+</sup>	476
SP <sup>2+</sup>	7.5
SiO <sub>2</sub>	3.8
ANIONES	
CO <sub>3</sub> H <sup>-</sup>	208
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2,408
Cl <sup>-</sup>	20,272
F <sup>-</sup>	2.2

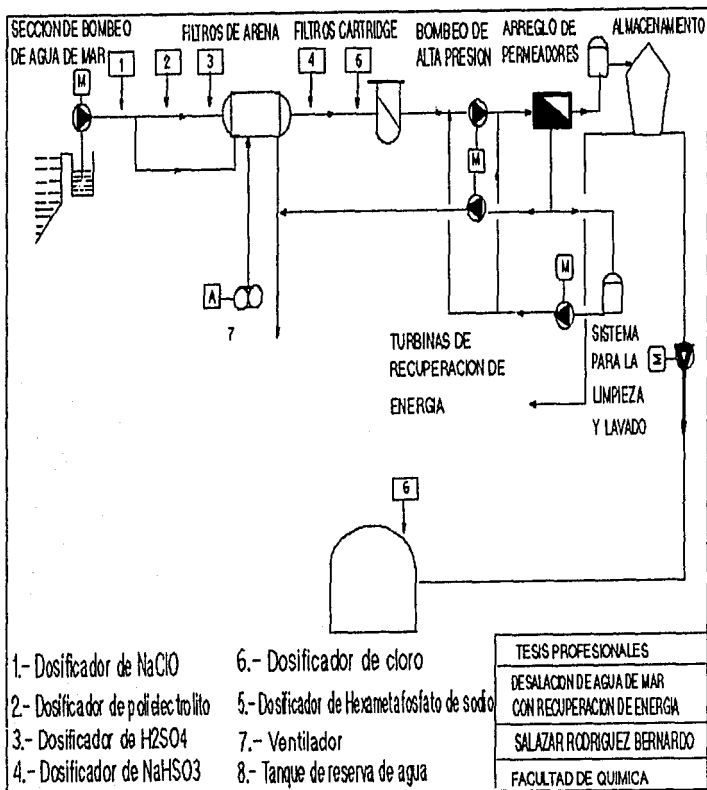


FIG. 15 SISTEMA CON RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

TABLA 7.2 Equipo de proceso instalado

EQUIPO	MATERIAL O TIPO	UNIDADES
Bombas de agua de mar centrifugas 50 kW, 232m <sup>3</sup> /h	Acero inoxidable	3
Filtros de arena horizontales presión 5.5 bar DI=2m, L=7m	Recubrimiento de acero inoxidable	3
Filtros Cartridge (cartucho) Área de filtro m <sup>2</sup>	Acero inoxidable	3
Módulos de membrana (O.I) Presión de operación 800 Psi Modelo M-S8040F Dow F.T. 4.166 GPM 4.167	Membrana en espiral	522
Bombas de alta presión 300 kW, 240 m <sup>3</sup> /h	Acero inoxidable	3
Turbinas de recuperación de energía 135 m <sup>3</sup> /h	Acero inoxidable	3
Tanque de almacenamiento 60 m <sup>3</sup>	Acero al carbón	1
Tubería de sección de alta presión	Acero inoxidable 254 SMO	
Tubería de sección de baja presión	Policloruro de vinilo (PVC)	
Bomba de limpieza de membrana 250 m <sup>3</sup> /h	Acero inoxidable	1
Bomba de impulsión del producto 100 m <sup>3</sup> /h	Acero inoxidable	1
Sistema de control AS-215 y OS-32		1

## 7.4 ASPECTOS ECONÓMICOS DE LA ÓSMOSIS INVERSA

La selección final de los componentes que conformarán nuestro sistema de desalación se debe basar en datos confiables; esta clase de datos son difíciles de obtener en países en desarrollo. Una estimación razonable de costos para la construcción, operación y mantenimiento se puede obtener utilizando los datos provenientes de otros países que los publican en la literatura, apoyada por las cotizaciones nacionales.

Los costos para sistemas de ósmosis inversa pueden ser expresados de 3 formas, las cuales dependen de la calidad del agua disponible y por lo tanto el sistema de tratamiento adecuado:

### 1) Costo total del agua

Este representa los gastos por concepto de operación más la recuperación de capital; estos dependerán del tipo de sistema empleado.

Para plantas operadas a baja presión se tiene un costo comprendido entre 0.13-0.26\$/m<sup>3</sup>.

En plantas para tratamiento de agua de mar se tiene un costo comprendido entre 0.66-0.92 \$/m<sup>3</sup>.

En plantas procesadoras de agua salobre se tiene un costo de 0.26-0.40 \$/m<sup>3</sup>.

### 2) Costo total promedio

Este costo cubre los costos directos e indirectos, incluyendo agentes químicos y reemplazo de membranas, pero no incluye el capital de recuperación.

Las plantas operadas a baja presión tienen un costo que varía de 0.20-0.33 \$/m<sup>3</sup>.

En plantas de tratamiento de agua de mar se tiene un costo de 1.05- 1.60 \$/m<sup>3</sup>.

En las plantas procesadoras de agua salobre se tiene un costo de 0.26- 0.4 \$/ m<sup>3</sup>.

### 3) Costo de capital de instalación por unidad de producto diario

El costo de capital depende de la capacidad del sistema, el grado de pretratamiento, la salinidad del agua de mar y la temperatura del agua de alimentación.

Los costos de capital se pueden dividir en directos e indirectos:

**TABLA 7.3 Costos de capital**

<b>Costos directos</b>	Uso de suelo
	Instalación de diversos servicios
	Equipo de procesamiento
	Construcción
	Embarques de equipo y materiales
<b>Costos indirectos</b>	Interés durante la construcción
	Administración del proyecto
	Capital de trabajo
	Contingencias

**Uso de suelo** - El equipo de operación necesita un área determinada. Se requiere de tres áreas independientes del área de plataformas de perforación. Un área de pretratamiento del agua de mar, el área de separación por medio de los módulos de membrana y el área de postratamiento para la distribución del agua.

**Instalación de diversos servicios** - los servicios de mantenimiento requieren de espacio, así como los sistemas eléctricos y de bombeo empleados.

**Equipo de proceso** - el equipo de proceso, así como el equipo de relevo y sus accesorios requieren el mayor espacio dentro de la planta desaladora. El equipo de proceso comprende bombas centrífugas, bombas dosificadoras, filtros de arena, filtros Cartridge, bombas de alta presión, módulos de ósmosis inversa, tanques de almacenamiento y distribución.

## 7.5 ESTIMACIÓN DE COSTOS DEL EQUIPO DE PROCESO INSTALADO

Para estimar los costos se utilizaron las condiciones de diseño de los equipos como material de construcción, presión, potencia, volumen, área de filtrado, etc. Los costos de membranas fueron proporcionados por FILMTEC (DOW) que produce los módulos de ósmosis inversa.

**TABLA 7.4 Costo del equipo de proceso instalado**

EQUIPO	FACTORES DE MATERIAL Y PRESIÓN	COSTO USD / UNIDAD
Bombas Agua de mar Centrifugas 50 kW, 232 m <sup>3</sup> /h	Acero inoxidable FM=1.9	3 (10500 \$ <sub>1982</sub> )
		3 (13044 \$ <sub>1997</sub> )
Filtros de arena horizontales Presión 5.5 bar DI=2m, L=7m	Recub. Acero inoxidable FP=1.15 FM=2.5 FM*FP=2.875	3 (43125 \$ <sub>1982</sub> )
		3 (53574 \$ <sub>1997</sub> )
Filtros Cartridge (cartucho) Área de filtro 5 m <sup>2</sup>	Acero inoxidable FBM=2.8	3 (5600 \$ <sub>1982</sub> )
		3 (6957 \$ <sub>1997</sub> )
Módulos de membrana ( O.I.) Presión operación 800 psi Modelo M-S8040F Dow F.T. 4.166 GPM	Membrana en espiral	522 (2600 \$ <sub>1997</sub> )
Bombas de alta presión 300 kW, 240 m <sup>3</sup> /h	Acero inoxidable	3 ( 300000 \$ <sub>1982</sub> )
	FBM=6	
Turbinas de recuperación de energía 135 m <sup>3</sup> /h		3 (372690 \$ <sub>1997</sub> )
Tanque de almacenamiento 60 m <sup>3</sup>	Acero al carbon FBM=1.9	1 (20500 \$ <sub>1982</sub> )
		1 (25467 \$ <sub>1997</sub> )

FM=Factor del material, FP=Factor de presión, FBM=Factor de módulo simple



Se utilizaron los índices de CHEMICAL ENGINEERING de costos de equipo para actualizar los costos de equipo en nuestra planta.

**TABLA.7.5 Índices para equipos de proceso**

<b>CE ÍNDEX</b>	<b>314</b>	<b>316.9</b>	<b>322.7</b>	<b>325.3</b>	<b>318.4</b>	<b>323.8</b>	<b>342.5</b>	<b>355.4</b>
<b>AÑO</b>	<b>1982</b>	<b>1983</b>	<b>1984</b>	<b>1985</b>	<b>1986</b>	<b>1987</b>	<b>1988</b>	<b>1989</b>
<b>CE ÍNDEX</b>	<b>357.6</b>	<b>361.3</b>	<b>358.2</b>	<b>359.2</b>	<b>368.1</b>	<b>381.1</b>	<b>385.3</b>	<b>390.1</b>
<b>AÑO</b>	<b>1990</b>	<b>1991</b>	<b>1992</b>	<b>1993</b>	<b>1994</b>	<b>1995</b>	<b>1996</b>	<b>1997</b>

1996 y 1997 consideran 1.1 % de inflación anual en Estados Unidos Americanos

De 1982 a 1997 % Inflación =  $100 ( 390.1 / 314 - 1 ) = 24.23$

**COSTOS DIRECTOS**

**\$ 1997**

EQUIPO

2 721,462

INSTALACIÓN DE EQUIPO Y TUBERÍA

205,000

CASETA CON PANEL DE CONTROL

200,000

TOMA DE AGUA DE MAR

105,000

EQUIPO DE LAVADO

200,000

**COSTOS INDIRECTOS**

**\$ 1997**

SUPERVISIÓN

245,000

CONTINGENCIAS

210,000

CAPITAL DE TRABAJO

412,000

---

**TOTAL**

**4 298,462**

**COSTOS TOTALES DE AGUA PARA DESALACIÓN DE AGUA DE MAR**

<b>COSTOS DE OPERACIÓN</b>	<b>S/ m<sup>3</sup></b>
1.- Electricidad	0.50
2.- Agentes químicos	0.008
3.- Reemplazo de membranas	0.154
4.- Mantenimiento de materiales	0.020
5.- Filtros	0.007
Total por operación	0.69
Recuperación de capital	0.12
<b>Costo total del agua</b>	<b>0.810 Dolares ( 6.32 Pesos)</b>

### TARIFAS DE COBRO DE LOS SERVICIOS DE AGUA DE CAMPECHE

Para el 1<sup>er</sup> trimestre de 1997 : el Sistema Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Campeche presenta las siguientes tarifas:

**TABLA 7.7 Tarifas del sistema municipal de agua potable de Campeche**

COBRO MENSUAL ZONA PERIFERICA	TARIFA		
	DOMESTICA PESOS	COMERCIAL PESOS	INDUSTRIAL PESOS
	Consumo por m <sup>3</sup>	Consumo por m <sup>3</sup>	Consumo por m <sup>3</sup>
	0-50..... \$ 2.00 >50 ..... \$ 1.35	0-30.....\$ 2.00 31-60.....\$ 2.20 61-100.....\$ 2.53 101-200...\$ 3.03 >200 .....\$ 4.05	0-30.....\$ 2.00 31-60 .....\$ 2.20 61-100.....\$ 2.53 101-200...\$ 3.03 >200 .....\$ 4.05
SISTEMA MUNICIPAL DE	AGUA POTABLE DE CARMEN		
COBRO MENSUAL	DOMESTICA PESOS	COMERCIAL PESOS	INDUSTRIAL PESOS
	Consumo por m <sup>3</sup> 1.62 (cuota fija)	Consumo por m <sup>3</sup> 2.07 (cuota fija)	Consumo por m <sup>3</sup> 2.31 (cuota fija)

El costo total del agua tiene un valor elevado comparado con el precio al que la misma puede ser vendida, debido a que cuesta más dinero producir el agua que venderla en el estado de Campeche la realización de este proyecto es difícil. Sin embargo en el futuro próximo de no desarrollarse alternativas de obtención de agua para nuestro país , este padecerá rezagos originados por el impulso que el líquido vital puede generar.

## Conclusiones

- 1.- El control preciso en las condiciones de operación como son temperatura, pH, contenido de sólidos y velocidad del fluido son de importancia significativa para asegurar la operación continua de la planta con el mínimo de problemas de escalas.
- 2.- La limpieza mecánica y aditivos Químicos se emplean para el control de escalas en plantas desaladoras de agua de mar.
- 3.- Se tiene que atender de manera precisa las etapas de pretratamiento empleadas en plantas de desalación de agua de mar, especialmente para los sistemas de ósmosis inversa.
- 4.- La selección de los materiales adecuados de construcción así como los sistemas de remoción de oxígeno de la alimentación que pueden ayudar de manera considerable en la reducción del desgaste por corrosión en las plantas de desalación.
- 5.- Como se puede predecir, debido a la gran variedad de composiciones de los diferentes aceros inoxidables pero principalmente por las pruebas de corrosión en ambiente altamente clorado, los diferentes grados de aceros tienen diferente resistencia a la corrosión para los sistemas de desalación de agua de mar por ósmosis inversa en servicio.
- 6.- La resistencia equivalente a picaduras (PRE) es un indicador de la resistencia del acero a las picaduras superficiales y la corrosión desquebrajadora.
- 7.- Ni el grado de acero 316L y tampoco el 317L poseen la suficiente resistencia a la corrosión como se ha demostrado en los servicios en plantas de desalación; de un total de once plantas que han utilizado estos grados de acero solamente 2 no han reportado problemas por corrosión y reportan resultados satisfactorios.

- 8.- Ni siquiera los grados de aleación elevados tales como 2205 y 904L presentan confiabilidad en cuanto a su desempeño en servicios de desalación debido a que se han reportado fallas por corrosión en plantas que utilizan dichos grados.
- 9.- No se han reportado daños por corrosión para el grado 254 SMO, el cual ha sido utilizado en 16 plantas completamente resistentes a salinidades elevadas. Todas estas plantas en su conjunto representan un número extenso de años de servicios exitosos.
- 10.- Basándose en las pruebas de laboratorio, el uso del grado 654 SMO representa un incremento en el margen de seguridad en todos los requerimientos.
- 11.- Los materiales en la sección de alta presión recomendables por su desempeño en plantas desaladoras mediante ósmosis inversa son los aceros inoxidables producidos por Avesta Sheffield 254 SMO y 654 SMO (bombas de alta presión , tubería de transporte del permeato y retentato).
- 12.- En la sección de baja presión se pueden utilizar diversos plásticos ( policloruro de vinilo, polietileno, fibras reforzadas de poliéster, etc).
- 13.- El desgaste por microorganismos de las membranas de ósmosis inversa representa un problema inquietante y requiere de un esfuerzo substancial para ser controlado.
- 14.- El post tratamiento tiene como objetivo disminuir el riesgo por corrosión y mejorar el sabor del agua.
- 15.- Las descargas de salmuera densas pueden impactar negativamente las comunidades bentónicas.

- 16.- Una dilución del efluente a 1 ppt con respecto al ambiente es una guía conservativa en los estudios iniciales con el propósito de limitar el impacto; sin embargo, las evaluaciones de impacto ambiental del sitio específico deben de ser desarrolladas.
- 17.- El impacto debido al incremento de salinidad en el ambiente béntico es una función del ecosistema local.
- 18.- Los programas CORMIX se utilizan para predecir la dispersión de descargas tóxicas en diferentes sistemas acuíferos (ríos, lagos, océanos, etc).
- 19.- El programa CORMIX /B-CORMIX puede ser utilizado para predecir la dispersión de las descargas salobres y descargas combinadas en el agua de mar.
- 20.- Las descargas combinadas ( salobres y de desecho ) parecen ser benéficas debido a las menores razones de dilución siempre y cuando ambas densidades superen el valor de la densidad del agua de mar.
- 21.- Pueden lograrse diluciones de descargas salobres hasta obtener 1 ppt en distancias razonables.
- 22.- Las plataformas petroleras de producción de crudo y gas natural contaminan las comunidades cercanas principalmente por residuos aceitosos, pero este estudio no se realizó en este trabajo.
- 23.- Las instalaciones de apoyo en costa tienen una función muy importante en la producción de crudo y gas natural; suministran los servicios auxiliares indispensables para la operación del proceso y el bienestar del personal que trabaja en las plataformas petroleras.

24.- Los servicios auxiliares son: generación de energía eléctrica, suministro de agua de enfriamiento, suministro de agua de servicios, suministro de agua potable.

25.- Los módulos de membrana de ósmosis inversa tienen un costo muy elevado. Sin embargo este proceso de separación se presenta como una alternativa interesante si se requiere una alta repulsión de sales.

26.- En la instalación de una planta desaladora de agua de mar mediante el proceso de ósmosis inversa los módulos de membrana requieren el mayor desembolso de capital para el inversionista.

27.- Los parámetros de muestreo son: Oxígeno disuelto en la corriente analizada, potencial Redox, Conductividad y contenido de microorganismos.

#### RECOMENDACIONES

1.- Las plantas de ósmosis inversa necesitan buenos peritos Químicos para controlar el proceso de pretratamiento debido a que este influye de manera determinante en el comportamiento de las membranas.

## BIBLIOGRAFÍA.

- 1.- CARTWRIGHT, P. 1994. MEMBRANES ENVIROMENTAL .  
CHEMICAL ENGINEERING, 84-89.
- 2.- HUMPHREY, J. 1995 "SEPARATION PROCESSES .PLAYING A CRITICAL  
ROLE".  
CHEMICAL ENGINEERING PROGRESS; 31-41.
- 3.- ARMOR, N, 1992.,PURIFY WATER FOR EVAPORATIVE PROCESSES  
CHEMICAL ENGINEERING; 121-129.
- 4.- KOROS J. .1995. MEMBRANES "LEARNING A LESSON FROM NATURE".  
CHEMICAL ENGINEERING PROGRESS; 68-80.
- 5.- ARMOR N. J.1992. CHALLENGES IN MEMBRANE CATALYSIS.  
" CARRY OUT PHASE REACTIONS AND SEPARATE  
PRODUCTS FRAM REACTANTS SIMULTANEOUSLY".  
CHEMTECH; 557-560.
- 6.- NISHIMURA, M. Y Kiyushi, K. 1992." REVERSE OSMOSIS ". MEMBRANE  
SCIENCE AND TECHNOLOGY.  
C 9; 352.
- 7.- PAREKH, S. B.1991. "GET YOUR PROCESS WATER TO COMO CLEAN".  
CHEMICAL ENGINEERING; 70-85.
- 8.- AL-AHMAD, M. Y ALEEM, F. A. 1994."SCALE FORMATION AND FOULING  
PROBLEMS AND THEIR PREDICTED REFLECTION ON THE PERFORMANCE OF  
DESALINATION PLANTS IN SAUDI ARABIA".  
DESALINATION AND WATER TREATMENT IN HARMONY WITH THE  
ENVIROMENT, VOL 96; 409-419.
- 9.- NORDSTRÖM, J. Y OLSSON, J. 1994."STAINLESS STEEL FOR HIGH PRESSURE  
PIPING IN SWRO PLANTS. ARE THERE ANY OPTIONS ?".  
PROCEEDINGS OF THE IDA AND WRPC WORD CONFERENCE ON  
DESALINATION AND WATER TREATMENT, NOVEMBER 3-6, 1993 YOKOHAMA,  
JAPAN. DESALINATION AND WATER TREATMENT IN HARMONY WITH THE  
ENVIROMENT VOL 97, No. 1-3; 213-220.



- 10.-NADA;N.A, ZAHrani, A.; ERICSSON, B.1987."EXPERIENCE ON PRE- AND POST-TREATMENT FROM SEA WATER DESALINATION PLANTS IN SAUDI ARABIA".  
THIRD WORLD CONGRESS ON DESALINATION AND WATER REUSE. VOL. 3 ; 303-318.
- 11.- BELHATECHE H. D.1995. "CHOOSE APPROPRIATE WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGIES".  
CHEMICAL ENGINEERING PROGRESS; 32-51.
- 12.- DEL BENE J.V., JIRKA G. Y LARGIER J. 1994."OCEAN BRINE DISPOSAL".  
PROCEEDINGS OF THE IDA AND WRPC WORLD CONFERENCE ON DESALINATION AND WATER TREATMENT, NOVEMBER 3-6, 1993 YOKOHAMA, JAPAN. DESALINATION AND WATER TREATMENT IN HARMONY WITH THE ENVIRONMENT.  
DESALINATION. VOL 97; 365-372.
- 13.- OHYA H. , YAJMA K. Y MIYASHITA R.1987. " DESIGN OF REVERSE OSMOSIS PROCESS".  
DESALINATION. VOL 63; 119-133.
- 14.- HENRIQUEZ F. J, BONET J.Y ETXANIZ J.1991." GALDAR-AGAETE SEAWATER DESALINATION PLANT CONSTRUCTION AND ONE YEAR OPERATIONAL EXPERIENCE FOR THE 3,500 M3/DAY R.O. PLANT".  
DESALINATION. VOL 82; 71-106.
- 15.- GARCIA M.L.,SANCHEZ M.J.1987. "EXPERIMENTS ON THE DESIGN, INSTALLATION AND OPERATION OF DESALINATION PLANTS BY O.I. INALSA I".  
DESALINATION. VOL 82; 119-129.
- 16.- ABU-SAFIAH.A.,1991. "MATERIAL SELECTION FOR HIGH PRESSURE SECTION OF SEAWATER RO PLANTS".  
DESALINATION. VOL 84; 279-308.
- 17.- NISHIMURA, M. Y KIYUSHI, K.1992.MEMBRANE SCIENCE AND TECHNOLOGY EDITED BY YOSHIIITO OSADA AND TSOTOMU NAKAGAWA. " FACTORS INFLUENCING THE ECONOMICS OF REVERSE OSMOSIS".  
C11; 483-504.

- 18.- MATZ R. Y FISHER U.1980. " A COMPARISON OF THE RELATIVE ECONOMICS OF SEA WATER DASELINATION BY VAPOUR COMPRESSION AND REVERSE OSMOSIS FOR SMALL TO MEDIUM CAPACITY PLANTS". PROCEEDINGS OF THE 7 th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FRESH WATER FROM THE SEA, VOL 1; 339-350. ISRAEL DESALINATION ENGINEERING, TEL AVIV, ISRAEL.
- 19.- DONEKER L. R. Y JIRKA H. G.1991."EXPERT SYSTEMS FOR MIXING-ZONE ANALYSIS AND DESIGN OF POLLUTANT DISCHARGES". JOURNAL OF WATER RESOURCES PLANNING AND MANAGEMENT, VOL 117; 679-697.
- 20.- HUMPHRIES R. J. Y MIDDLETON E.1994. "CANDESAL A CANADIAN NUCLEAR DESALINATION SYSTEM". DESALINATION, VOL 99; 329-344.
- 21.- ODUM, P. E..1978. ECOLOGIA: EL VINCULO ENTRE LAS CIENCIAS NATURALES Y LAS SOCIALES. COMPAÑIA EDITORIAL CONTINENTAL,MEXICO.
- 22.- MEHDISADEH H. Y DICKSON M.J.1993. " MODELING OF REVERSE OSMOSIS IN PRESENCE OF STRONG SOLUTE-MEMBRANE AFFINITY". AICHE JOURNAL, VOL 39; 434-445.
- 23.- OLSEN, R. K.1992. "HOW TO REMOVE FOULING SOLIDS COOLING WATER". CHEMICAL ENGINEERING; 155-158.
- 24.- HARTUNG, R. Y MARTURANA, D.1992. " TREATMENT: INVEST IN A QUALITY PROGRAM". CHEMICAL ENGINEERING; 98-106.
- 25.- MULDOWNEY P. G., HUNT B. K. Y PUNZI L. V.1990. "A COMPARISON OF SOLUTE REJECTION MODELS IN REVERSE OSMOSIS MEMBRANES. SYSTEM WATER-SODIUM CHLORIDE-ASYMMETRIC POLYAMIDE". IND. ENG. CHEM. RES. , VOL 29; 259-269.

- 26.- COMB F. L. 1994. " GOING FORWARD WITH REVERSE OSMOSIS".  
CHEMICAL ENGINEERING; 90-92.
- 27.- SOURIRAJAN, S., LANG K. MATSUURA T. Y CHOWDHURY O. 1995. "  
PREPARATION AND TESTING OF POLYVINYL ALCOHOL COMPOSITE  
MEMBRANES FOR REVERSE OSMOSIS".  
THE CANADIAN JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING, VOL 73, 686-692.
- 28.- YAO, X. W., KANNEDY, J. K., TAM M. C Y HAZLETT J. 1994. "PRE-  
TREATMENT OF KRAFT PULP BLEACH PLANT EFFLUENT BY SELECTED  
ULTRAFILTRATION MEMBRANES".  
THE CANADIAL JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING, VOL 72; 991-995.
- 29.-MULLER-STEINHAGEN M. H. Y BRANCH A. C. 1988. " COMPARISON OF  
INDICES FOR THE SCALING AND CORROSION TENDENCY OF WATER".  
THE CANADIAL JOURNAL OF CHEMICAL ENGINEERING, VOL 66; 1005-1007.
- 30.- CROSS J. 1994. " PURIFYING PHARMACEUTICAL PROCESS WATER".  
PROCESSING; 8-10.
- 31.- SHAMS M. A., DIN E., SHAWKI AND A. Y MAKKAWI B. 1991. " ELECTRICITY  
AND WATER PRODUCTION IN THE EMIRATE OF ABU DHABI AND ITS IMPACT  
ON THE ENVIRONMENT".  
DESALINATION, VOL 84; 309-333.
- 32.- ABU-SAFIAH A. 1991. " FAILURE OF SECTIONS AND COMPONENTS IN  
SEAWATER RO PLANTS".  
DESALINATION, VOL 84; 309-333.
- 33.- WINTERS HARVEY. 1987. " CONTROL OF ORGANIC FOULING AT TWO  
SEAWATER REVERSE OSMOSIS PLANTS".  
DESALINATION, VOL 66; 319-325.
- 34.- BACCHIN, P., AIMAR P. Y SANCHEZ V. 1995. " MODEL FOR COLLOIDAL  
FOULING OF MEMBRANES".  
AICHE JOURNAL, VOL 41; 368-376.

- 35.- ALEEM A. F. Y AL-AHMAD M.1994. " SCALE FORMATION AND FOULING PROBLEMS AND THEIR PREDICTED REFLECTION ON THE PERFORMANCE OF DESALINATION PLANTS IN SAUDI ARABIA".  
DESALINATION, VOL 96; 408-409.
- 36.- YEUNG, L. K. Y VARMA, A.1995. " NOVEL PREPARATION TECHNIQUES FOR THIN METAL-CERAMIC COMPOSITE MEMBRANES".  
AICHE JOURNAL, VOL 41; 2131-2138.
- 37.- CROSS, J., OF, E.,1994. " PURIFYING PHARMACEUTICAL PROCESS WATER".  
PROCESSING; 8-10.
- 38.- ABU-SAFIAH A.1991. " FAILURE OF SECTIONS AND COMPONENTS IN SEAWATER RO PLANTS".  
DESALINATION, VOL 84; 309.
- 39.- WINTERS, H.,1987. " CONTROL OF ORGANIC FOULING AT TWO SEAWATER REVERSE OSMOSIS PLANTS".  
DESALINATION, VOL 66; 319
- 40.- BACCHIN ,P., AIMAR, P. Y SANCHEZ, V.1995. " MODEL FOR COLLOIDAL FOULING OF MEMBRANES ".  
AICHE JOURNAL, VOL 41; 368-369 .
- 41.- AL-ARRAYEDH M., ERICSSON M. A. Y YOSHIOKA, H.1987.  
" REVERSE OSMOSIS DESALINATION PLANT, RA'S ABU JARJUR, STATE OF BAHRAIN -TWO YEARS OPERATIONAL EXPERIENCE FOR THE 46,000 M3/DAY RO PLANT".  
DESALINATION, VOL 65; 197.
- 42.- CAREW J.,ABDEL-JAWAD M.,JULKA A. Y AL-WAZZAN Y.1989.  
"PERFORMANCE OF MATERIALS USED IN SEA WATER REVERSE OSMOSIS PLANTS".  
DESALINATION, VOL 74; 85.
- 43.- HASSAN M. A., AL-JARRAH S., AL-HAMDAM A., BAKHEET M. L. Y AL-AMRI M.1989. " PERFORMANCE EVALUATION OF SWCC SWRO PLANTS".  
DESALINATION, VOL 74 ; 37.

- 44.- DONEKER R. L. Y JIRKA G. H. 1991. " CORMIX1: AN EXPERT SYSTEM FOR MIXING ZONE ANALYSIS OF CONVENTIONAL AND TOXIC SINGLE PORT AQUATIC DISCHARGES".  
REPORT No 600/600/3-90/012, ENVIR. PROTECTION AGENCY, ATHENS, GA.
- 45.- JIRKA G. H. Y DONEKER L. R. 1991. " HYDRODYNAMIC CLASSIFICATION OF SUBMERGED SINGLE PORT DISCHARGES".  
J. HYDR. ENGRG., ASCE; 117.
- 46.- LEE J. H. W. Y NEVILLE-JONES. 1987. "INITIAL DILUTION OF HORIZONTAL JET IN CROSSFLOW".  
J. HYDR. ENGRG., ASCE ; 113.
- 47.- IDEM. 1969. "SOME PARAMETRIC STUDIES IN SEA WATER DESALINATION BY REVERSE OSMOSIS USING POROUS CELLULOSE ACETATE MEMBRANES".  
DESALINATION, VOL 6; 153-178.
- 48.- AL-AHMAD M. Y ALEEM A. F. 1994. "SCALE FORMATION AND FOULING PROBLEMS AND THEIR PREDICTED REFLECTION ON THE PERFORMANCE OF DESALINATION PLANTS IN SAUDI ARABIA".  
DESALINATION, VOL 96; 408-409.
- 49.- HASSAN, M. A., AL-JARRAH, S., AL-LOHIBI, T., BAKEET, M. L. Y AL-AMRI, J.M.M. 1989. "PERFORMANCE EVALUATION OF SWCC SWRO PLANTS, VOL 74; 37-50.
- 50.- MATZ, R. Y FISHER, U. 1980. "A COMPARISON OF THE RELATIVE ECONOMICS OF SEAWATER DESALINATION BY VAPOUR COMPRESSION AND REVERSE OSMOSIS FOR SMALL TO MEDIUM CAPACITY PLANTS".  
PROCEEDINGS OF THE 7TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FRESHWATER FROM THE SEA, VOL 1; 339-350.
- 51.- MATZ R. Y FISHER U. 1981. " COMPARISON OF THE RELATIVE ECONOMICS OF SEAWATER DESALINATION BY VAPOUR COMPRESSION AND REVERSE OSMOSIS FOR SMALL TO MEDIUM CAPACITY PLANTS".  
DESALINATION, VOL 31; 137-151.
- 52.- MURO, S., STERNER, R. Y UGARTE, J. 1979. "INVESTIGATION ON SEAWATER DESALINATION PLANTS IN SPAIN".  
DESALINATION, VOL 28; 109-116.

- 53.- TREILLE, P.1974. " SEAWATER DESALINATION BY REVERSE OSMOSIS : RECENT EXPERIENCE".  
DESALINATION VOL 14; 21-31.
- 54.- OHYA H., YAJIMA K. AND MIYASHITA R.1987. " DESIGN OF REVERSE OSMOSIS PROCESS".  
DESALINATION , VOL 63; 119-133.
- 55.- OHYA H. Y SOURIRAJAN.1969. " ANALYSIS OF DATA IN REVERSE OSMOSIS WITH POROUS CELLULOSE ACETATE MEMBRANES".  
DESALINATION, VOL 8; 131-152.
- 56.- BURKARD, H.1991. " VARIABLE SPEED TURBO COUPLINGS USED FOR SPEED CONTROL OF PUMPS FOR SEAWATER DESALINATION PLANTS".  
DESALINATION, VOL 82; 107-117.
- 57.- AWERBUCH, L. Y DAYE, A. MARWAN.1994. " DURABILITY OF CONCRETE STRUCTURES IN THE HOSTILE SERVICE ENVIROMENT OF DESALINATION PLANTS".  
DESALINATION, VOL 97; 221-232.
- 58.- OHYA, H., YAJIMA, K. Y MIYASHITA, R.1987. " DESIGN OF REVERSE OSMOSIS PROCESS".  
DESALINATION, VOL 63; 119-133.
- 59.- STERNER, R., MURO, S. Y UGARTE J.1979. " INVESTIGATION ON SEA WATER DESALINATION PLANTS IN SPAIN".  
DESALINATION, VOL 28; 109-116.
- 60.- KIMURA S. Y SOURIRAJAN .1969." ANALYSIS OF DATA IN REVERSE OSMOSIS WITH POROUS CELLULOSE ACETATE MEMBRANE USED".  
IBID, VOL 13; 297-503 .
- 61.-OHYA H. Y SOURIRAJAN.1967 " REVERSE OSMOSIS SEPARATION OF UREA IN AQUEOUS SOLUTIONS USING POROUS CELLULOSE ACETATE MEMBRANES".  
DESALINATION, VOL 6; 153-178.

- 62.- SPIEGLER S. K. Y KEDEM O. 1982. "THERMODYNAMICS OF HYPERFILTRATION (REVERSE OSMOSIS) CRITERIA FOR EFFICIENT MEMBRANES".  
DESALINATION, VOL 1; 311-326.
- 63.- OHYA, J., TAGA, J, OKADA, M., YAGUSHI, H., OSADA, T, BABA, Y KOMURA A. 1980. "REVERSE OSMOTIC CONCENTRATION OF AQUEOUS  $\epsilon$ -CAPROLACTUM SOLUTIONS".  
MEMBRANE, VOL 8; 171-176.
- 64.- SEAWATER DESALINATION IN CALIFORNIA. 1993. " POTENTIAL ENVIROMENTAL IMPACTS/COASTAL ACT ISSUES".  
SEAWATER DESALINATION, CAP 3; 1-16.
- 65.- SEAWATER DESALINATION IN CALIFORNIA. 1993. "RECOMMENDATIONS".  
SEAWATER DESALINATION, CAP 5; 1-4.
- 66.- SEAWATER DESALINATION IN CALIFORNIA. 1993. " KEY DESALINATION FACTS".  
SEAWATER DESALINATION; 1-3.
- 67.- GHAZANFAR ALI KHAN. 1995. " BUSINESS OPPORTUNITIES IN DESALINATION".  
ARAB NEWS STAFF; 1-4.
- 68.- THE RESOURCES AGENCY OF CALIFORNIA. 1992. " DESALINATION".  
CALIFORNIA'S OCEAN RESOURCES: AN AGENDA FOR THE FUTURE,  
CAP 5K; 1-3.
- 69.- SPECIFIC EQUIPMENT COMPANY. 1997. " DESALINATION BY REVERSE OSMOSIS".  
SPECIFIC EQUIPMENT COMPANY ; 1-3.
- 70.- APPLIED MEMBRANES. 1997. " COMPLETE REVERSE OSMOSIS SEAWATER SYSTEMS, SERIES S".  
APPLIED MEMBRANES, INC MANUFACTURERS; 1-2.
- 71.- SEAWATER DESALINATION IN CALIFORNIA. 1993. " BACKGROUND".  
SEAWATER DESALINATION, CAP 1; 1-9.

- 72.- SEAWATER DESALINATION IN CALIFORNIA. 1993. " COASTAL DESALINATION PROJECTS ON CALIFORNIA". SEAWATER DESALINATION, CAP 2, 1-12.
- 73.- ECONOMIC INDICATORS. 1989. "MARSHALL & SWIFT EQUIPMENT COST INDEX". CHEMICAL ENGINEERING; 186.
- 74.- ECONOMIC INDICATORS. 1988. "MARSHAL & SWIFT EQUIPMENT COST INDEX". CHEMICAL ENGINEERING; 192.
- 75.- ECONOMIC INDICATORS. 1990. " MARSHAL & SWIFT EQUIPMENT COST INDEX". CHEMICAL ENGINEERING; 198 .
- 76.- ECONOMIC INDICATORS. 1996. "MARSHAL & SWIFT EQUIPMENT COST INDEX". CHEMICAL ENGINEERING; 166 .
- 77.- PETERS Y TIMMERHAUS. 1988. " PLANT DESIGN AND ECONOMICS FOR CHEMICAL ENGINEERS; CHEMICAL ENGINEERING SERIES". MCGRAW HILL.
- 78.- DOUGLAS M. J. 1988. " CONCEPTUAL DESIGN OF CHEMICAL PROCESSES ; CHEMICAL ENGINEERING SERIES". MCGRAW HILL .
- 79.- ULRICH D. GAEL. 1992. "DISEÑO Y ECONOMIA DE LOS PROCESOS DE INGENIERIA QUIMICA". MCGRAW HILL.
- 80.- LOPEZ T. A. " ANTEPROYECTO DE UNA PLATAFORMA DE PRODUCCION TEMPORAL EN LA BAHIA DE CAMPECHE". FACULTAD DE QUIMICA UNAM.
- 81.-PERGAMON;. 1989. " SEAWATER: ITS COMPOSITION, PROPERTIES, AND BEHAVIOUR". 1-80. OXFORD , INGLATERRA.



## **GLOSARIO**

**ABLANDAMIENTO DEL AGUA-** Ablandar agua significa eliminar sus impurezas minerales. Uno de los métodos más satisfactorios para ablandar agua es por medio de Intercambio iónico.

**ADSORCIÓN-** A la manifestación de considerables fuerzas superficiales asociadas con partículas de tamaño muy pequeño que consiste en la atracción y sujeción de iones a la superficie de las partículas se le conoce como adsorción.

**CALOR-** La transferencia de energía que ocurre entre el sistema y el medio circundante en virtud de una diferencia de temperatura.

**CALOR ESPECÍFICO-** Es la cantidad de calor requerido para incrementar la temperatura de una unidad másica de una sustancia en una unidad de temperatura.

**CATALIZADOR-** Un catalizador es una sustancia que acelera la reacción al proporcionar otros posibles caminos para la formación de los productos, siendo la energía de activación de cada etapa catalítica, inferior a la de la reacción homogénea (no catalítica).

**CELULOSA-** Sustancia orgánica, que forma la membrana envolvente de las células vegetales.

**COLOIDES-** Se considera actualmente que toda sustancia es coloidal si se mantiene en una condición tal que al menos una de sus dimensiones se encuentra en el rango comprendido entre 10 y 10,000 angstrom.

**COMPUESTOS INORGÁNICOS-** Son compuestos que están constituidos por combinaciones entre los elementos del sistema periódico.

**COMPUESTOS ORGÁNICOS-** Son compuestos provenientes de algún ser vivo que contienen carbono, casi siempre hidrógeno y con frecuencia oxígeno, nitrógeno, azufre, halógenos y fósforo.

**COMUNIDAD BENTÓNICA-** Comunidades estables que están sobre las rocas o en el fondo del mar.

**COMPUESTOS QUÍMICOS-** Son sustancias en las que se combinan dos o más elementos diferentes.

**COMUNIDAD BIÓTICA-** Incluye a todas las poblaciones de un área dada.

**CONCENTRACIÓN-** Es una medida de la cantidad de soluto presente en una cierta cantidad de solvente (o de solución).

**DENSIDAD-** Es una propiedad que relaciona la masa y el volumen de un objeto, que se define como la masa por unidad de volumen.

**DESINFECCIÓN-** Es el proceso que tiene como objetivo eliminar los organismos patógenos presentes en el agua.

**DILUCIÓN-** Una solución se diluye cuando permanece constante la cantidad de soluto mientras que el volumen de la solución aumenta.

**DUREZA DEL AGUA-** El agua que contiene impurezas disueltas en cantidades apreciables, se dice que es dura. Algunos de los cationes multivalentes más importantes que se encuentran disueltos son:  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Fe^{2+}$ .

**ECOLOGÍA-** Se refiere al estudio de los pobladores de la tierra, incluyendo plantas, animales, microorganismos y el género humano, quienes conviven a manera de componentes dependientes entre sí.

**ECOSISTEMA-** También conocido como sistema ecológico, es la unidad fundamental básica que debemos considerar, ya que incluye tanto a los organismos como al medio ambiente abiótico, de tal manera que aquéllos influyen sobre las propiedades de éste y viceversa, y ambos son necesarios para conservar la vida existente en el planeta.

**ELEMENTOS QUÍMICOS-** Son las sustancias que no son susceptibles de ser reducidas a materiales más simples, ni por cambios físicos, ni por cambios químicos.

**ENERGÍA DE ACTIVACIÓN-** Es la cantidad de energía que deben tener las moléculas para poder reaccionar.

**FENOL-** Un grupo hidroxilo (-OH) que se encuentre directamente unido a un anillo aromático se conoce como fenol.

**FILTRACIÓN-** Es un proceso físico, químico para separar del agua las impurezas suspendidas mediante el paso a través de un medio poroso.

**FLOCULACIÓN-** Es el proceso de agitación suave y continua, mediante el cual las partículas suspendidas en el agua se juntan formando masas más grandes de manera que se puedan remover del agua por procesos de tratamiento subsecuentes como la sedimentación.

**FREATICO-** Se refiere a la capa de agua subterránea formada al filtrarse las aguas de lluvia.

**GLACIAR-** Masa de hielo formada en las altas montañas que se desliza lentamente hacia los valles.

**INTERCAMBIO IÓNICO-** En este proceso el agua que contiene cationes indeseables pasa a través de un medio de intercambio iónico ( resina ). Este medio cargado negativamente contiene al cation  $\text{Na}^+$ ; en el momento que los cationes  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$  y  $\text{Fe}^{++}$  se ponen en contacto con la resina los iones  $\text{Na}^+$  son substituidos en la resina obteniendo así un agua libre de dureza.

**MONÓMERO-** Son las unidades pequeñas que dan origen a un polímero.

**PESTICIDA-** Es una sustancia empleada para combatir las plagas.

**PETRÓLEO-** Es una mezcla de hidrocarburos, principalmente alcanos, acompañados de cantidades variables de naftenos (cicloalcanos) y compuestos aromáticos con pequeñas cantidades de sustancias que contienen oxígeno, azufre y nitrógeno.

**POBLACIÓN-** Se utiliza para definir un grupo de gente, en Ecología se amplía para incluir grupos de individuos de la misma especie.

**POLIELECTROLITO-** Los polielectrolitos son unidades idénticas de bajo peso molecular químicamente combinadas para formar una molécula grande de tamaño coloidal; cada unidad porta cargas eléctricas o grupos ionizables. Ejemplo.- poli(acrilamida).

**POLÍMERO-** Es una molécula muy larga de elevado peso molecular formada por la unión de muchas moléculas pequeñas e iguales denominadas monómeros.

**POTENCIAL HIDRÓGENO ( pH )-** El pH de una solución es la medida de su acidez. La escala del pH varia de 0.0 a 14.0, siendo el valor de 7.0 para soluciones en estado neutro. Las soluciones ácidas comprenden el intervalo de 0.0 a 7.0 en esta escala, mientras que las soluciones alcalinas comprenden el intervalo de 7.0 a 14.0.

**PRECIPITACIÓN-** El proceso que consiste en el retorno de especies disueltas (átomos, iones o moléculas) al estado no disuelto se conoce como precipitación.

**PRESIÓN OSMÓTICA-** Es la diferencia de presión entre el solvente y la solución que se encuentran separados por una membrana semipermeable.

**SAL-** Es un compuesto iónico que consta de iones positivos llamados cationes, y negativos llamados aniones.

**SALMUERA-** Se conoce así a las soluciones con alto contenido en sales.

**SEDIMENTACIÓN-** Este proceso facilita el asentamiento y remoción de las partículas más grandes y pesadas suspendidas en el agua dentro de unidades conocidas como estanques de sedimentación.

**SOLUBILIDAD-** Es una expresión de la composición de la solución saturada.

**SOLUCIÓN-** Es un solvente líquido que contiene ya sea otro líquido, o bien un sólido o gas como soluto.

**SOLUCIÓN SATURADA-** Cuando la disolución y la precipitación suceden continuamente y con la misma rapidez, permanece constante en el tiempo la cantidad de soluto disuelto presente en una cantidad determinada de solución.

**SOLUCIÓN NO SATURADA-** Es una solución que contiene menos soluto que el necesario para la saturación.

**SOLUCIÓN SOBRESATURADA-** Es una solución que contiene mayor cantidad de soluto que una solución saturada normal.

**SOLUTO-** Se denomina soluto al componente de la solución que está presente en menor cantidad.

**SOLVENTE-** Se denomina solvente al componente de la solución que está presente en mayor cantidad, o que determina el estado de la materia en que existe la solución.

**TEMPERATURA-** Es el grado de <calor> de un objeto, se puede medir la temperatura en función del efecto que su cambio produce en alguna otra propiedad medible como, por ejemplo, la longitud.

## ÍNDICE DE NOTACIÓN

A	Alarma
BPD	Barriles por día
C	Concentración en masa ( mg / L )
C	Concentración molar ( moles/ L )
D	Diámetro
$\delta$	Espesor de capa de transferencia de masa
EPA	Agencia de protección del medio ambiente
EPRI	Instituto de investigaciones de energía eléctrica
FBM	Factor de módulo simple
FE	Plato de orificio
FI	Indicador de Flujo
FI	Índice de desgaste
FM	Factor del material
FP	Factor de presión
FT	Plato de orificio conectado a transmisor de presión diferencial
GAC	Carbón granular activado
HP	Caballos de potencia
HP	Alta presión
HT	Alta temperatura
J	Velocidad de flujo
L	Litros
LC	Controlador de nivel
LP	Baja presión
LSI	Índice de saturación de Langelier
MBS	Mesa bisulfito de sodio
P	Presión
P	Corriente del permealto
PC	Controlador de presión
pH	Potencial hidrógeno
PI	Indicador de presión
PSV	Válvula de relevo o seguridad
ppm	Partes por millón
ppt	Partes por mil
PRE	Resistencia equivalente a las picaduras
PVC	Policloruro de vinilo
R	Corriente del reentrato o concentrado salino
RMZ	Zona reguladora de mezclado
S	Dilución
SDI	Índice de sedimentación
STD	Estándar
SWCC	Corporación de conversión del agua salina
T	Temperatura
t	Tiempo (s)
TDS	Sólidos totales disueltos
TOC	Carbón orgánico total
u	Velocidad ( m/s)