



UNIVERSIDAD DE SONORA

UNIDAD REGIONAL CENTRO
DIVISIÓN DE INGENIERÍA
Departamento de Ingeniería Química y Metalurgia

PROCESOS PARA EL APROVECHAMIENTO DE AGUA HIPERSALADA PROCEDENTE DE LA DESALACIÓN DE AGUA DE MAR

Tesis

Que para obtener el título de:

INGENIERO QUÍMICO

Presenta:

María Jesús Gutiérrez Porchas

Hermosillo, Sonora, México, Diciembre de 2013

Repositorio Institucional UNISON



“El saber de mis hijos
hará mi grandeza”



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	III
ÍNDICE DE TABLAS.....	V
OBJETIVOS.....	VII
Objetivo general.....	VII
Objetivos específicos.....	VII
RESUMEN.....	VIII
I.INTRODUCCIÓN.....	1
Problemática.....	1
II. ANTECEDENTES.....	4
III. PROCESOS PARA DESALAR AGUA DE MAR.....	5
III.1.Evaporación de múltiple efecto.....	5
III.1.1.Evaporación de película descendente.....	5
III.1.2.Evaporación a tubo lleno.....	5
III.2.Método de congelación.....	6
III.2.1Congelación directa.....	6
III.2.2.Congelación secundaria.....	6
III.3.Intercambio iónico.....	6
III.4.Compresión de vapor.....	7
III.5.Humidificación-deshumidificación.....	7
III.6.Ósmosis inversa.....	9
IV. ASPECTOS TECNICOS DE LA DESALADORA DE AGUA DE MAR EN BAHIA DE KINO (supuesto).....	10
IV.1.Breve descripción de funcionamiento de la planta.....	10
IV.2.Membranas.....	16
IV.2.1.Según su composición química.....	16
IV.2.2.Limpieza de membranas.....	21
IV.3.Módulos.....	24
IV.3.1.Módulos de placas.....	24

IV.3.2.Módulos tubulares.....	26
IV.3.3.Módulos espirales.....	27
IV.3.4.Módulos de fibra hueca.....	28
IV.4.Motobombas.....	29
IV.4.1.Bombas de desplazamiento positivo.....	29
IV.4.2.Bombas centrifugas.....	29
V. ALTERNATIVAS PARA EL USO DEL AGUA HIPERSALADA.....	31
V.1.Análisis de factibilidad para regresar la salmuera al océano..	31
V.2.Desarrollo, diseño y cálculo de estanques a cielo abierto evaporación natural para obtener sal común.....	34
V.2.1.Estanque de figura cilíndrica.....	36
V.2.2.Estanque de figura rectangular.....	39
V.3.Diseño de procesos para obtener subproductos.....	46
V.3.1.Diseño de un evaporador de triple efecto.....	46
V.3.2.Diseño del proceso para obtener cloruro de sodio.....	49
V.3.3.Diseño del proceso para obtener cloruro de potasio.....	51
V.3.4.Diseño de proceso para obtener ácido bórico.....	52
V.3.5.Diseño del proceso para obtener yodo.....	54
VI. EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS.....	55
VI.1.Características del combustible seleccionado.....	56
VI.2.Materiales para el diseño de los tanques.....	60
VI.3.Posibles fuentes de energía renovable a utilizar.....	62
VI.3.1.Energía solar.....	62
VI.3.2.Energía eólica.....	63
VI.3.3.Energía maremotriz.....	64
VI.3.4.Biomasa.....	65
VI.4.Análisis técnico preliminar.....	66
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Comparación entre los distintos sistemas de recuperación de energía.....	12
2.	Reactivos y función de los mismos.....	13
3.	Diagrama de flujo desalinización de agua de mar.....	15
4.	Clasificación de las distintas membranas de osmosis inversa disponibles.....	20
5.	Formulaciones para la limpieza de membranas de acetato de celulosa.....	22
6.	Formulaciones para la limpieza de membranas de Poliamida aromática.....	23
7.	Módulo de placas.....	25
8.	Modulo tubular.....	26
9.	Módulo espiral.....	27
10.	Módulo de fibra hueca.....	28
11.	Ventajas e inconvenientes de los principales tipos de motobombas.....	30
12.	Disminución de la concentración de salmuera por evaporación natural (días).....	33
13.	Grafica de variación diámetro-altura para estanque cilíndrico.....	37
14.	Variación de longitud y altura para flujo A y relación Largo= 3* Ancho.....	40
15.	Variación de longitud y altura para flujo A y relación Largo= 5* Ancho.....	41

16.	Variación de longitud y altura para flujo B y relacion Largo= 3* Ancho.....	42
17.	Variación de longitud y altura para flujo B y relacion Largo= 5* Ancho.....	43
18.	Variación de longitud y altura para flujo C y relación Largo= 3* Ancho.....	44
19.	Variación de longitud y altura para flujo C y relación Largo= 5* Ancho.....	45
20.	Evaporador.....	48
21.	Vista transversal del evaporador.....	48
22.	Porcentaje de la inversión para cada componente de la planta desalinizadora.....	55
23.	Diagrama de flujo del proceso.....	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla		Página
I	Principales compuestos presentes en el agua de mar.....	2
II	Análisis de costo de traslado de agua dulce de Hermosillo-Bahía de Kino.....	14
III	Litros de agua de mar por litro de salmuera.....	32
IV	Potencia necesaria para transportar la salmuera a los estanques.....	35
V	Flujos teóricos considerados ($m^3/día$).....	35
VI	Variación diámetro-altura para distintos flujos en estanque cilíndrico.....	36
VII	Tiempo aproximado de evaporación del agua contenida en la salmuera.....	38
VIII	Dimensionamiento de estanque rectangular para Flujo A y relación Largo= 3*Ancho.....	39
IX	Dimensionamiento de estanque rectangular para Flujo A y relación Largo= 5*Ancho.....	40
X	Dimensionamiento de estanque rectangular para Flujo B y relación Largo= 3*Ancho.....	41
XI	Dimensionamiento de estanque rectangular para Flujo B y relación Largo= 5*Ancho.....	42
XII	Dimensionamiento de estanque rectangular para Flujo C y relación Largo= 3*Ancho.....	43
XIII	Dimensionamiento de estanque rectangular para Flujo C y relación Largo= 5*Ancho.....	44
XIV	Dimensiones del evaporador.....	47
XV	Dimensiones del clasificador hidráulico.....	50
XVI	Dimensiones del cristalizador.....	53

XVII	Balance de materia del proceso.....	57
XVII	Balance de materia y proceso (continuación).....	58
XVIII	Tipos de acero y características.....	60
XIX	Composición de los aceros inoxidables A.I.S.I.....	61

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Demostrar que el agua hipersalada, producto de la desalación de agua de mar no contamina tanto como se afirma y que, además, se puede procesar para obtener sus subproductos, logrando de esta manera un beneficio económico.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Desarrollar el proceso en base a contenedores para obtener la materia prima de los productos de manera natural, para después separarlos.
2. Proponer procesos técnicamente factibles para la obtención de cloruro de sodio, cloruro de potasio, ácido bórico y yodo.
3. Continuar realizando trabajos como el que aquí se presenta para promover la aceptación de la desalación de agua de mar. Desestimar el mito sobre la contaminación que genera el agua hipersalada producto de la desalación de agua de mar al ecosistema.
4. Promover la utilización de energías renovables como la eólica y solar.

RESUMEN

De acuerdo a datos proporcionados por oficinas climatológicas en el planeta, el cambio del clima ha originado que en vastas regiones, la lluvia se esté ausentando, y, por consiguiente, los cuerpos de agua se estén agotando. En un futuro próximo, esos lugares tendrán, de alguna manera, que desarrollar tecnología para abastecerse del vital líquido, no solo para consumo humano directo sino también para la agricultura, ganadería, comercio y uso industrial. El planeta con aproximadamente 7000 millones de habitantes, y de acuerdo, a datos proporcionados por la ONU, mínimamente por persona y por día debe de existir un consumo de agua potable entre 25 y 30 litros, por lo tanto, la humanidad requiere de 210,000 millones de litros por día.

Gran parte de esta problemática está siendo resuelta en varios países utilizando la desalinización de agua de mar y a la vez tratar de influir lo menos posible en alteraciones al entorno correspondiente. En el presente caso, se analizan los diferentes procedimientos para desalar agua de mar y obtener así, agua potable e industrializar el subproducto.

En este trabajo se propone que hacer con el agua de rechazo o hipersalada que para el caso sería, un subproducto de proceso de la desalinización que constituye la materia prima para desarrollar diversos procesos y obtener productos de valor comercial.

En primer término, se diseñaron contenedores naturales de agua de mar en tierra firme para con evaporación sencilla (efecto de la radiación solar), obtener cantidades considerables de compuestos del mar contenidos en las sales. Las cantidades de sales obtenidas dependen del diseño uniforme y de diversas geometrías como circulares y rectangulares, esto con el fin de abaratar los costos en la construcción de estos depósitos artificiales de agua.

Los anteriores procesos se han seleccionado considerando datos climatológicos, cercanía al mar, pendiente del terreno, fuentes energéticas, materiales de construcción, mano de obra calificada y semicalificada y la cercanía a medios de comunicación como carreteras o caminos vecinales. La propuesta contiene también aparte de utilizar energía eléctrica convencional, el uso de energías no convencionales como la eólica, solar, biomasa, mareomotriz, las cuales contribuirán al menos con un 20% de aportación al consumo total de energía eléctrica consumida en los procesos.

De acuerdo a los flujos de agua marina y la producción que se desea obtener de sales, se diseñaron las figuras geométricas de los estanques, optando por aquellas que se considera, dan buenos resultados, los cuales están en función desde su construcción, mantenimiento y extracción de los productos concentrados. Se utilizan ecuaciones sencillas, tanto para figuras cilíndricas, rectangulares, etc. La producción se obtendrá a partir de los flujos que serán fijados de acuerdo a los requerimientos del mercado.

Una vez que se obtiene el agua hipersalada (o sales con pequeña cantidad de humedad) se procede a establecer y desarrollar procesos que nos den productos como el cloruro de sodio, cloruro de potasio, ácido bórico, etc. Para cada uno de los procesos en cuestión, se hace un análisis y posteriormente una síntesis del proceso, realizando algunas suposiciones comprobables para optimizar el proceso en sí. Para cada uno de ellos se utilizó la metodología de fijar primero la capacidad de producción, fijación de variables, equipo principal y equipo auxiliar.

Con el diseño, cálculo y propuesta de construcción de los procesos, se podrán obtener datos interesantes que finalmente conducirán a comercializar gran parte del agua hipersalada, que en lugar de ser regresada al mar puede ser industrializada para obtener algún beneficio económico.

I.INTRODUCCIÓN

La desalación de agua de mar es una alternativa viable para la obtención de agua potable, en poblaciones donde el vital líquido se encuentra en cantidades que resultan insuficientes para satisfacer las necesidades de la población. Actualmente existen más de 9000 plantas desaladoras a nivel comercial en el mundo, principalmente en la región del Medio Oriente, en países como Arabia Saudita, Israel, Kuwait, entre otras (American Water Works Research Foundation, 1998).

La base fundamental de la desalación es la pureza, equipo y energía utilizada, combinándolas para lograr un costo aceptable. Así como existen grandes beneficios, sus detractores mencionan una serie de inconvenientes relacionados con este proceso. Para que una desaladora resulte bien acogida, es necesario llevar a cabo un análisis de impacto ambiental, así como ajustes entre la tecnología utilizada y la energía requerida.

En el agua de mar se encuentra gran cantidad de elementos y compuestos químicos, la gran mayoría, de interés para la industria. En la Tabla I se presentan los principales:

Problemática

Al momento de analizar la viabilidad de una planta desaladora para abastecer una población, es necesario tomar en cuenta que, si la misma es diseñada de forma moderna y eficaz, las desventajas y el impacto ambiental serían mínimos.

Si bien es cierto que el consumo de energía es mayor al que implicaría un trasvase, existen otros factores a tomar en cuenta, aunque discutibles con respecto al costo-beneficio por las implicaciones sociales y ecológicas: la modificación del ecosistema, la emisión de contaminantes y el riesgo que implicaría para la flora y fauna marina. Además, existen otras alternativas para aumentar la viabilidad de una planta desaladora, como la utilización de energías

renovables y el procesamiento de la salmuera para obtener las sales que la componen, y comercializarlas como subproductos. Cabe señalar que, según proyecciones, con el uso de la energía nuclear, el proceso de desalación será más accesible económicamente, así como aprovechables sus subproductos. En el mar se encuentran gran cantidad de compuestos y elementos químicos de gran utilidad para la industria, lo cuales quedan presentes de manera concentrada en el agua de rechazo. En la Tabla I se muestran los principales compuestos presentes en el agua de mar:

Tabla I. Principales compuestos presentes en el agua de mar.

Compuesto	Porcentaje en agua de mar	Porcentaje en agua de rechazo
Cloruro de sodio	2.4	6
Cloruro de magnesio	0.5	1.25
Sulfato neutro de sodio	0.4	1
Cloruro de calcio	0.11	0.275
Cloruro de potasio	0.07	0.175
Bicarbonato de sodio	0.02	0.05
Bromuro de sodio	0.0096	0.024
Ácido bórico	0.0026	0.0065
Cloruro de estroncio	0.0024	0.006
Fluoruro de sodio	0.0003	0.00075
Yodo	0.0000052	0.00001
Agua destilada	96.4851	91.21275

Fuente: Ruiz F., Valencia L., 2001.

Lo anterior, además de traer un beneficio económico, reduce el impacto ambiental producido, por una parte, al procesar la salmuera en lugar de regresarla al mar, reduce el posible impacto en la flora y fauna marina. Por otro lado, el utilizar energías renovables, además de reducir los costos energéticos, reduce la emisión de contaminantes como dióxido de carbono, entre otros.

II.ANTECEDENTES

Uno de los sueños del ser humano, desde tiempos antiguos, ha sido el poder convertir el agua de mar en agua potable. Existen datos que muestran que el 75% de la población vive a menos de 100 km del mar, lo cual abre las puertas a la desalación como una alternativa viable para hacer frente a la escasez de agua para consumo humano y otras actividades.

Los antecedentes de este proceso se remontan al siglo IV a.C. cuando Aristóteles sentó el precedente del primer evaporador que se conoce. En un principio, la idea consistía en evaporar agua para separarla de la sal. Esta técnica era anteriormente la base para las primeras plantas desalinizadoras instaladas en el Medio Oriente, entre 1950 y 1960. Tales áreas, ricas en hidrocarburos pero pobres en agua potable, lograron transformar el petróleo en dicho recurso esencial, mediante el uso de diversas tecnologías.

A partir del siglo XX, se empezó a trabajar en el desarrollo de membranas para fines industriales, las cuales pronto fueron utilizadas para desalación, por medio de ósmosis inversa. La ósmosis inversa consiste en aprovechar las propiedades osmóticas de las paredes celulares (Giral, 1981). Con el paso del tiempo, se fueron desarrollando sistemas para aprovechar la alta presión de la salmuera remanente del proceso, lo cual sirvió para disminuir las necesidades energéticas del proceso, abaratando su coste.

Las fuentes convencionales de agua potable, tal es el caso de los pozos, se han demostrado más costosas de mantener. En algunos lugares, la extracción supera la capacidad de recuperación de los mantos, lo que lleva como consecuencia la intrusión salina. Es por estas razones que la desalación se presenta como un método capaz de competir ventajosamente con los métodos convencionales de abastecimiento de agua potable y además obtener productos altamente rentables a partir del agua hipersalada, conocida también como agua de rechazo.

III. PROCESOS PARA DESALAR AGUA DE MAR.

III.1 Evaporación de múltiple efecto.

III.1.1 Evaporación de película descendente.

En los evaporadores de película descendente, el agua entra al evaporador por la parte superior, o cabezal. El producto se distribuye uniformemente por la pared interna dentro de los tubos de calentamiento. Una película fina entra a los tubos de calentamiento, donde fluye hacia abajo y es calentada a temperatura de ebullición y así es parcialmente evaporada (Mc Cabe, 1991).

En este proceso se debe tener cuidado en los cálculos de los balances de masa y energía por las incrustaciones que existen en el interior de los tubos, al llevarse a cabo evaporaciones instantáneas.

III.1.2 Evaporación a tubo lleno.

El equipo consiste en un evaporador convencional en enchaquetado y con un haz de tubos verticales colocados simétricamente en la parte superior e inferior en espejos metálicos. Por la parte superior, se introduce el agua de mar, que desciende por el interior de los tubos llenos, y por fuera del arreglo de estos, existe vapor de agua o gases de combustión que originan la evaporación de parte del agua del interior de los tubos (International Journal on Science and Technology of Water Desalting, P.O.B. 211).

El agua concentrada que sale por la parte inferior, es introducida a un segundo efecto, el cual tiene el mismo medio de calentamiento que el primero. El agua proveniente del segundo evaporador se introduce en un tercero bajo el mismo procedimiento, obteniéndose, según el diseño, una súper concentración del agua que sale por la parte inferior. El vapor procedente del agua de mar del interior de los tubos, se unen en una sola línea para, posteriormente, pasar a un intercambiador de calor para aprovechar la energía calorífica que despiden este

al condensarse, ayudándole a precalentar el agua que se introduce en cada uno de los efectos. El agua producto es el agua condensada. Lo conveniente del presente método, depende de la relación que exista entre agua producida y costo de la energía.

III.2 Método de congelación.

III.2.1 Congelación directa.

Este método consiste en introducir el agua salada en una cámara a baja presión, lo cual provoca una congelación rápida, dando lugar a la formación de cristales de hielo. Debido a la composición centrifuga, las sales tienden a aislarse y a quedarse en la superficie.

III.2.2 Congelación secundaria

Este método consiste en utilizar gas butano como refrigerante, para dar lugar a la formación de cristales de hielo. En el interior de los mismos se forma el agua dulce.

Este proceso resulta altamente incosteable por la energía eléctrica y calorífica a utilizar, tanto en el sistema de congelamiento como en el proceso de quebrado y fundido de los cristales de las partículas de hielo.

III.3 Intercambio iónico

El intercambio iónico es el paso reversible de iones entre un sólido y un líquido en el cual no hay cambio permanente en la estructura del sólido que es el material del intercambio iónico. La utilidad de tal transferencia radica en la capacidad de volver a usar los materiales intercambiadores de iones.

Hay dos tipos de resinas: aniónicas, que sustituyen aniones del agua por iones OH^- (permutación básica) y resinas catiónicas que sustituyen cationes por iones H^+ (permutación ácida).

La desmineralización por intercambio iónico proporciona agua de gran calidad, si la concentración de sal es menor a 1 gr/l. Por la gran cantidad de energía eléctrica que utiliza, resulta incosteable. Debido a las altas concentraciones de sal del agua de mar, resulta prohibitiva su aplicación para este fin.

III.4 Compresión de vapor

Si el vapor producido por ebullición del agua de mar se comprime, su temperatura de condensación puede ser incrementada hasta el punto donde él puede llegar a ser una fuente de calentamiento para su propia evaporación. De esta manera, no es necesario añadir más calor al proceso y únicamente se requiere energía eléctrica para la compresión.

El principio es sencillo pero existen algunas dificultades, es difícil controlar la formación de incrustaciones y es muy difícil trabajar con el compresor a altas capacidades. La corrosión y producción de incrustaciones pueden ser reducidas trabajando a bajas temperaturas y presiones, pero esto agrava el diseño del compresor e incrementa los costos. *El costo del compresor es proporcional al volumen de agua manejado.*

Las características del proceso de evaporación por compresión de vapor son las siguientes:

- a) Útiles para plantas con una producción de hasta $1000 \text{ m}^3/\text{dia}$.
- b) Emplea solo energía eléctrica, bajos costos de capital.
- c) Es rentable si el costo es de \$0.06 USD kW h (USA o México).
- d) Para una producción pequeña, el costo es de \$ 4 a 5 USD por m^3 .

III.5 Humidificación – deshumidificación

Este proceso consiste fundamentalmente en un sistema de transferencia de masa de agua de mar a aire seco utilizando dos equipos principales. El primer equipo es una torre cilíndrica y vertical con empaques inertes como anillos Raschig, anillo Pall, silletas Berldo, silletas Intalox. El siguiente equipo es una columna de bancos de tubos con área expandida, los cuales están colocados horizontalmente e intercomunicados desde la parte superior hasta la parte inferior de la torre.

El proceso consiste en lo siguiente: se obtiene agua de mar a partir de un pozo perforado cerca del litoral, la cual es precalentada sin llegar al punto de ebullición y se introduce por la parte superior, escurriendo a través del empaque y a contracorriente, se pone en contacto con aire seco, el cual al llegar a la parte superior adquiere un alto porcentaje de humedad. El aire anterior (húmedo) se hace pasar por fuera de los tubos aleteados por los cuales internamente, fluye agua de mar fresca (18°C). En esta última torre, se presenta la transferencia de calor por convección y conducción, haciendo que la humedad del aire condense al ponerse en contacto con los tubos de área expandida y sea retirada por la parte inferior de la torre.

Como el aire húmedo traía cierta cantidad de energía calorífica, que cede al agua salada del interior de los tubos, esta se recircula a la corriente de entrada de la primera torre para ahorrar energía calorífica.

El agua proveniente de la condensación que se retira por la parte inferior de la segunda torre es agua potable que va a un tanque de almacenamiento y el aire semi-seco que ha perdido humedad, con un extractor-soplador, se introduce de nueva cuenta por la parte inferior de la primera torre.

III.6 Ósmosis inversa

Es el método más utilizado actualmente, ya que requiere una menor cantidad de energía eléctrica. La mayor parte de las plantas a nivel mundial operan con este método (Fariñas, 1999).

El objetivo del proceso, en este caso, es el de obtener agua potable partiendo de un gran caudal de agua de mar. Con el paso del tiempo y los nuevos avances en tecnología, este proceso se ha vuelto cada vez más rentable.

Se trata de un proceso que se lleva a cabo a través de membranas semipermeables. Se fuerza el paso del agua a través de las membranas, desde una solución con una mayor concentración de sales disueltas, hasta una solución menos concentrada, mediante la aplicación de presión.

IV. ASPECTOS TÉCNICOS DE LA DESALADORA DE AGUA DE MAR EN BAHIA DE KINO (supuesto).

IV.1 Breve descripción del funcionamiento de la planta.

A continuación se presenta una breve descripción del funcionamiento de la planta desaladora que se ubicaría cerca de la población de Bahía de Kino o en una franja comprendida entre 40 km, alejada aproximadamente del litoral.

El agua de mar, considerada como materia prima, se puede obtener directamente del mar utilizando filtros especiales. Otras opciones consisten en utilizar pozos perforados dentro del mar, o pozos salinizados en tierra firme cerca del litoral (esta última ahorra el sistema de filtrado de la materia prima).

Primeramente, mediante un sistema de bombeo, el agua se introduce en tanques de almacenamiento de gran capacidad. En estos tanques se lleva a cabo un pre-tratamiento con pequeñas dosis de hipoclorito de sodio. Los tanques deben de contar, de preferencia, con agitación. El agua, enseguida, se introduce en filtros de arena, cuyo tamaño de partícula dependerá del análisis cuantitativo de las partículas que contiene el agua pre-tratada. Después, estas aguas se introducen en los filtros de carbón activado para retener aromas y color (ya que el agua, en ocasiones, presenta un alto grado de turbidez y olor).

En algunos procesos, el agua procedente de los filtros se introduce en un sistema de nanofiltración, aunque, por fines económicos puede introducirse de manera directa a los módulos de osmosis inversa (Merten, 1966). Lo anterior, con el fin de producir directamente el agua potable en una proporción de entre 60 y 40%, es decir, se obtiene por cada metro cúbico entre 400 y 600 litros de agua potable. El resto es agua hipersalada, también llamada agua de rechazo.

El agua procedente de la ósmosis contiene pequeñas cantidades de cloro, para aumentar su pureza, se trata con compuestos químicos como poliamidas y amoniaco con el fin de degradar el cloro. Además, dado que el agua es para

consumo humano, se mineraliza parcialmente, después de esto, queda lista para su distribución.

Otros métodos para desalar agua de mar y obtener agua hipersalada, que puede ser tratada para obtener subproductos, son los de evaporación instantánea y evaporación de película descendente (Fariñas, 1999).

Los módulos de osmosis inversa están conformados por tubos perforados, sobre los cuales se colocan concéntricamente las membranas, dependiendo estas de la concentración de sales que tiene el agua de mar que se está tratando. Las presiones para lograr este fenómeno oscilan entre 600 y 800 $\frac{lb}{plg^2}$.

Cabe señalar que ambas aguas, la potable y la de rechazo, contienen gran cantidad de energía que es aprovechada para los equipos auxiliares como las motobombas, motores de agitación y equipo de bombeo para el traslado de los fluidos a los lugares de aprovechamiento de éstos.

En la Figura 1 se muestran los diferentes tipos de turbina para el aprovechamiento de energía.

Características	Turbina Pelton	Turbina de contrapresión	Turbobomba integral	Convertidor centrífugo
Espacio necesario	Reducido	Importante	Medio	Muy reducido
Funcionamiento en seco	Posible	Imposible	Imposible	Imposible
Flexibilidad de funcionamiento	Amplia	Reducida	Reducida	Muy reducida
Rechazo que recibe	Todo	Parte	Parte	Todo
By-pass de la turbina	No necesario	Necesario	Necesario	Necesario
Contrapresión	No tolera	Tolera/precisa	Tolera/precisa	Tolera/precisa
% caudal nominal para recuperar energía	20	40	40	60
Rendimiento mecánico	75-90%	70-83%	65-78%	40-70%
Plantas en que se utiliza	Medias-grandes	Medias-grandes	Medias	Pequeñas-medias

Figura 1. Comparación entre los distintos sistemas de recuperación de energía. (Fariñas, 1999).

En la Figura 2 que se presenta a continuación, se muestran los diferentes reactivos utilizados en el proceso de ósmosis inversa.

Fase de proceso	Producto químico	Funciones
1) Acondicionamiento del agua de alimentación (pretratamiento)	a) Hipoclorito sódico	Desinfectante Eliminación de materia orgánica y/o actividad biológica
	b) Coagulante	Eliminación de coloides sobre lechos filtrantes Reducción del SDI
	c) Ácido sulfúrico	Control de precipitados de CaCO_3 Control del pH Mejor acción bactericida del cloro
	d) Polielectrólito	Ayuda para la floculación Produce flóculos de mayor tamaño
	e) Dispersante	Secuestrante de las sales poco solubles (CaSO_4 , BaSO_4 , SrSO_4 , CaF_2)
	f) Bisulfito sódico	Eliminación del cloro residual. En algunos casos se emplea para regulación del pH y control de los desarrollos biológicos
2) Acondicionamiento del permeado (postratamiento)	a) Hidróxido cálcico	Control del pH y calcificación del agua
	b) Anhídrido carbónico	Carbonatación del agua
	c) Hipoclorito sódico	Desinfectante
3) Limpieza de las membranas	Diversos reactivos	Limpieza química de las membranas

Figura 2. Reactivos y función de los mismos. (Fariñas, 1999).

En la Tabla II se presenta un análisis económico para el traslado del agua potable desde Bahía de Kino hasta Hermosillo (107 km).

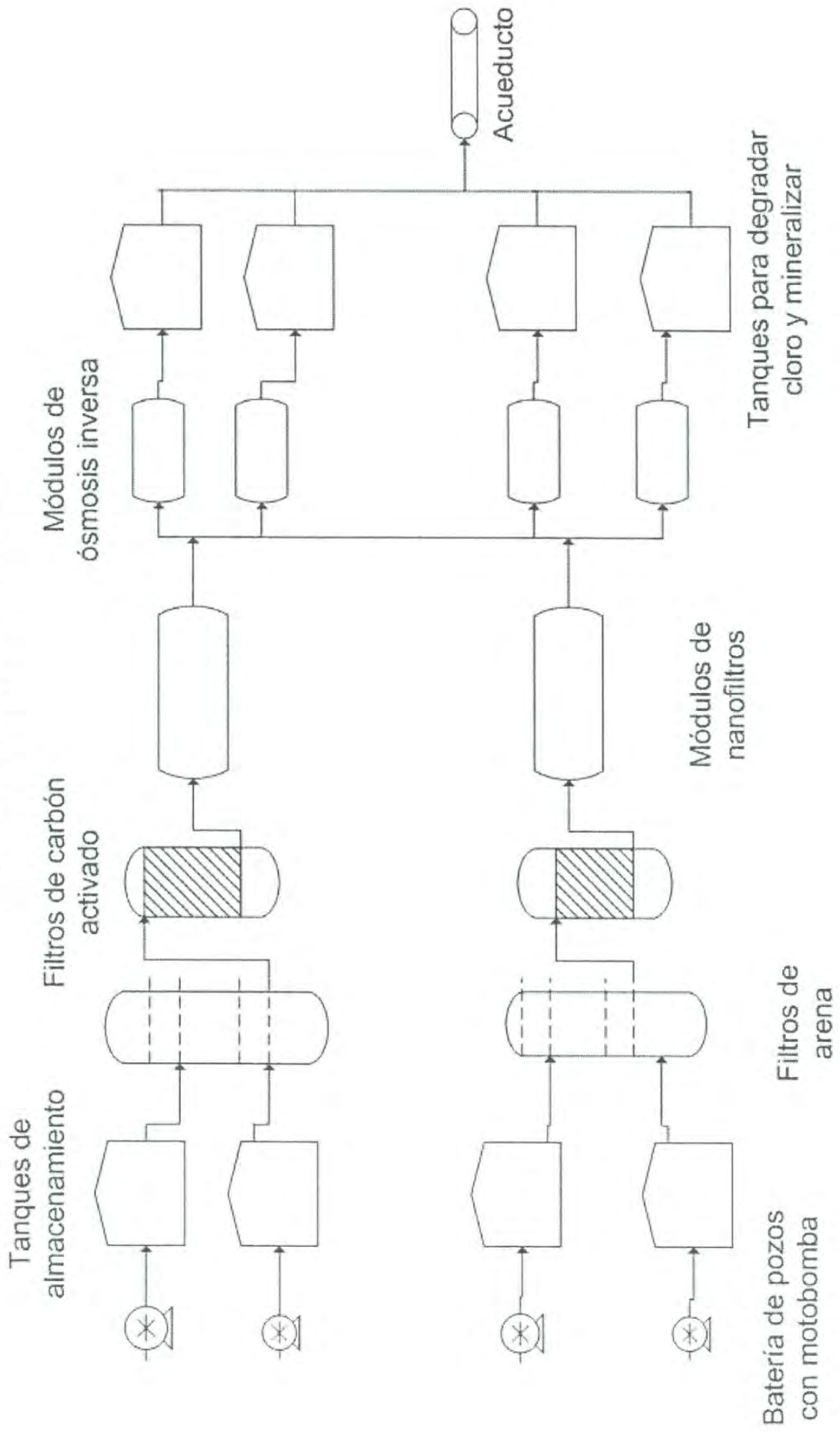
En la Figura 3 se muestra un diagrama de flujo del proceso de la desalación de agua de mar.

Tabla II. Análisis de costo de traslado de agua dulce de Hermosillo-Bahía de Kino.

Cálculo para transportar agua dulce						
Altura	HP (altura)	Energía Eléctrica (kWh)	HP (longitud y fricción)	HP total	kWh total	kWh total + 60%
11.074	36.388	27.109	45.485	81.873	60.996	97.593
33.220	109.158	81.323	136.455	245.613	182.982	292.771
55.370	181.941	135.546	227.425	409.366	304.978	487.965
77.519	254.720	189.766	318.395	573.115	426.971	683.153
99.667	327.497	243.986	409.365	736.862	548.963	878.340
121.815	400.274	298.204	500.335	900.609	670.954	1073.526
143.963	473.050	352.422	591.305	1064.355	792.945	1268.712
166.111	545.827	406.641	682.275	1228.102	914.936	1463.897
188.260	618.607	460.862	773.245	1391.852	1036.929	1659.087
210.407	691.380	515.078	864.215	1555.595	1158.918	1854.269
237.000	778.762	580.178	973.379	1752.141	1305.345	2088.552
Total kWh diario					50125.26	
Tarifa kWh					\$2.00	
Precio					\$100,250.51	
Total mensual					\$3,007,515.42	

Figura 3. Diagrama de flujo de desalinización de agua de mar.

Diagrama de bloques desalinización



IV.2. Membranas

Las membranas utilizadas actualmente en el proceso de ósmosis inversa se clasifican:

IV.2.1. Según su composición química:

Membranas orgánicas:

En este tipo de membranas, la capa activa se encuentra fabricada de un material polímero o copolímero orgánicos. Son muy pocos los polímeros con los cuales se pueden fabricar membranas que resultan aptas para la osmosis inversa.

Acetato de celulosa (CA)

Este tipo de membranas orgánicas se fabrican acetilando la celulosa de madera o algodón, para después proceder con un tratamiento de saponificación para hidrolizar una pequeña parte de los grupos acetato.

Triacetato de celulosa (CTA)

Este material presenta un mejor comportamiento que el acetato de celulosa frente a la hidrólisis, lo cual nos da la oportunidad de trabajar en un rango de pH más amplio (Turbak, 1970). Con este material se elaboran membranas de fibra hueca, ya que la superficie por unidad de volumen que se consigue es elevada, contrarrestando de esta manera el bajo flujo de permeado.

Poliámidas aromáticas (AP)

- Poliamida aromática lineal: Se utiliza para fabricar membranas integrales, tanto aromáticas como de fibra hueca.
- Poliamida aromática con entrecruzamientos: se utiliza para fabricar membranas compuestas de capa fina.

Este tipo de membranas son las más utilizadas actualmente, ya que trabajan con un menor gradiente de presión, lo cual se traduce en un menor consumo de energía, y por lo tanto, en una disminución de los costos de operación.

Poliéter urea

Estos polímeros se utilizan para fabricar membranas de osmosis inversa. Este tipo de membranas contiene un exceso de grupos amina, por lo cual presentan una naturaleza catiónica.

Poliacrilonitrilo

Estas membranas se comportan muy bien ante los disolventes orgánicos, además, presentan rechazo a sustancias orgánicas.

Polibencimidazola

Las membranas fabricadas con este polímero presentan una resistencia, tanto como a pH extremos, como a diferentes productos químicos, por lo cual son aplicados en galvanoplastia y otros procesos industriales. Como desventaja presenta la pérdida de caudal y rechazo de sales que se producen durante su almacenamiento.

Polipiperacidamidas

Estas membranas presentan una gran resistencia al cloro y otros agentes oxidantes, más que las membranas de poliamida y poliurea. Presentan un elevado rechazo de iones divalentes, pero el rechazo a iones monovalentes es mucho menor, por lo cual solo se utilizan en casos especiales.

Polifurano sulfonado

Estas membranas producen los máximos rechazos, tanto de sales como de solventes orgánicos entre todas las membranas. Sin embargo, son extremadamente sensibles a la oxidación, lo que limita considerablemente su implementación.

Polisulfona sulfonada

La polisulfona sulfonada podría ser el polímero que agrupase las ventajas de la membrana poliamida, con la resistencia al cloro libre. Para lograr que este tipo de membranas presenten flujos de permeado adecuados y rechazo de sales correctos, se debe alcanzar un determinado contenido de grupos sulfónicos, lo cual es difícil de lograr.

Membranas inorgánicas

Cerámicas

Este tipo de membranas son las más investigadas. El material más utilizado para este propósito es la alúmina en sus distintas variedades. Para modificar el tamaño del poro de la membrana obtenida, partiendo de un compuesto orgánico de aluminio, es necesario controlar la formación de gel y variar las condiciones de precipitación, como de la calcinación.

Vidrios

Se fabrican membranas planas, tubulares o capilares.

Para su fabricación se utilizan materias primas como cuarzo, ácido bórico, y carbonato sódico, a los cuales se les añade óxido potásico, cálcico y alúmina. Se obtiene una mezcla de dos fases: la primera de vidrio de silicio casi pura y otra de ácido bórico, rica en borato sódico.

Al tratar dicho vidrio con ácido, se disuelve la fase rica en borato sódico, dando lugar a un vidrio con una estructura porosa.

Este tipo de membranas presentan fragilidad y poca resistencia a las vibraciones.

Fosfacenos

En presencia de disolventes o ácidos y bases fuertes, las membranas que se fabrican con este material pueden soportar temperaturas de hasta 250 °C.

Carbonos

Este tipo de membranas suelen soportar valores extremos de pH (0-14) y temperaturas de 300°C. Siendo su desarrollo reciente, solo se cuenta con membranas disponibles para microfiltración y ultrafiltración. Todavía no existen en el mercado membranas disponibles para ósmosis inversa.

Entre sus desventajas se encuentran su alto costo, y la dificultad para poder realizar módulos con ellas.

En la Figura XX se presenta una comparación entre los distintos tipos de membranas.

Tipo de polímero	Fabricante	Nombre comercial	Clasificación	
			Naturaleza	Forma
Acetato de celulosa modificado	Fluid systems	Roga	Integral	Plana
	Hydranautics	CAB	Integral	Plana
	Nitto Denko	NTR 1500/1600	Integral	Plana
	Toray	SC	Integral	Plana
	Desalination Systems	Desal CA	Integra	Plana
	Permetec	AC	Integral	Plana
	Osmonics	Sepa	Integral	Plana
Trisep	SB	Integral	Plana	
Triacetato de celulosa	Toyobo	Hollosep	Integral	Fibra hueca
	Dow chemical	Dowex LP, SP	Integral	Fibra hueca
Poliamidas aromáticas lineales	Du Pont	B9, B10	Integral	Fibra hueca
	Du Pont (*)	B-15	Integral	Plana
Poliamidas aromáticas con entrecruzamientos	Fluid systems	TFCL	Compuesta	Plana
	Hydranautics	CPA/SWC/ESPA	Compuesta	Plana
	Nitto Denko	NTR/SF/SR/UP/SWC	Compuesta	Plana
	Permetec	PA	Compuesta	Plana
	Toray	SU 700/800	Compuesta	Plana
	Desalination Systems	Desal 3	Compuesta	Plana
	Filmtec	FT-30	Compuesta	Plana
	Trisep	ACM	Compuesta	Plana
PCI	ZF99	Compuesta	Tubular	
Poliéter-urea	Fluid Systems	TFC	Compuesta	Plana
	Hydranautics	CPA 1	Compuesta	Plana
	Nitto Denko	NTR-7100	Compuesta	Plana
	Toray	SU 400	Compuesta	Plana
	Trisep	A 15/X20	Compuesta	Plana
Polipiperacidamida	Nitto Denko	NTR7250/729HF	Compuesta	Plana
	Toray	SU-200/600	Compuesta	Plana
	Permetec	LP	Compuesta	Plana
	Desalination Systems	Desal 5	Compuesta	Plana
Filmtec	NF 40	Compuesta	Plana	
Polifurano sulfonado	Toray	PEC 1000	Compuesta	Plana
Polisulfona sulfonada	Nitto Denko	NTR 7400	Compuesta	Plana
	Desalination Systems	Desal plus	Compuesta	Plana
	Millipore	PSRO	Compuesta	Plana

Figura 4. Clasificación de las distintas membranas de ósmosis inversa disponibles. (Fariñas, 1999).

IV.2.2. Limpieza de membranas:

Para un adecuado mantenimiento de las membranas es necesario realizar limpieza de las mismas cada tiempo determinado. En las Figuras 5 y 6 se presentan las opciones de químicos que pueden ser utilizados para la limpieza de las mismas:

Formulación química	Tipo de ensuciamiento							
	CaCO ₃	CaF ₂	CaSO ₄ BaSO ₄ SrSO ₄	Óxidos metálicos	Coloides inorgánicos	Desarrollos biológicos	Compuestos orgánicos	Sílice
Ácido clorhídrico pH 3	X				X			
Ácido cítrico al 2% ajuste pH = 3 con NH ₄ OH	X		X	X				
Detergente no iónico 0,1% Fosfato trisódico 2% Na ₄ EDTA 2% pH 7-8		X	X		X	X	X	X
Fosfato trisódico 1% Tripolifosfato sódico 1% Dodecil sulfato sódico 0,1% Na ₄ EDTA 1% pH 9,0		X	X		X	X	X	
EDTA Diamónico 5% Ácido eritórbico 1% pH 4-5		X	X	X				
Ácido cítrico 2,4% Bifluoruro amónico 2,4% pH 1,5-2,5	X				X			X
NaHMP 1%	X				X			X
NaHSO ₃ 2% Detergente no iónico 0,1%				X				
Na ₂ S ₂ O ₄ 1%				X				
Cloro libre 1-5 ppm pH 6,5-7,5						X	X	
NaHSO ₃ 0,1%						X		
Formaldehído 0,1%						X		

Figura 5. Formulaciones para la limpieza de membranas de acetato de celulosa. (Fariñas, 1999).

Formulación química	Tipo de ensuciamiento							
	CaCO ₃	CaF ₂	CaSO ₄	Óxidos metálicos	Coloides inorgánicos	Desarrollos biológicos	Compuestos orgánicos	Sílice
Ácido clorhídrico pH 2	X				X			
H ₃ PO ₄ 0,5%	X		X	X				
NH ₂ SO ₃ H 0,2%	X		X	X				
Ácido cítrico 2% NH ₄ OH hasta pH 4	X		X	X	X			
Ácido cítrico 2% Na ₂ EDTA 2% NH ₄ OH hasta pH 4			X	X	X			
Ácido cítrico 2% NH ₄ OH hasta pH 8		X						
Na ₂ EDTA 1,5% NaOH hasta pH 7-8		X						
Na ₄ EDTA 1,5% HCl hasta pH 7-8		X						
Na ₂ EDTA 1% NaOH hasta pH 11-12			X			X	X	X
NaOH pH 11-12					X			X
Ácido cítrico 2,4% Bifluoruro amónico 2,4% pH 1,5-2,5	X				X			X
Na ₂ S ₂ O ₄ 1-2,4%				X				
Fosfato trisódico 1% Trifosfato sódico 1% Na ₂ EDTA 1%						X	X	
Dodecil sulfato sódico 0,5% NaOH hasta pH 11-12			X		X		X	X
Na ₂ EDTA 0,1% NaOH hasta pH 11-12						X	X	X
NaHMP 1%				X	X		X	
Perborato sódico 0,3% Dodecil sulfato sódico 0,25% pH 10					X	X	X	X
Trifosfato sódico 2% Dodecil sulfato sódico 0,2% pH 10					X		X	X
NaHSO ₃ 0,1%						X		
Formaldehído 0,1%						X		

Figura 6. Formulaciones para la limpieza de membranas de poliamida aromática. (Fariñas, 1999).

IV.3. Módulos

Los módulos, son una agrupación de membranas ordenadas, formando una unidad elemental de producción (Fariñas, 1999).

Los propósitos de la fabricación de módulos son los siguientes:

- Maximizar el rendimiento de las membranas.
- Minimizar los fenómenos de polarización en las membranas.
- Compactar las dimensiones del sistema.
- Facilitar la sustitución de las membranas deterioradas.
- Facilitar la limpieza de las membranas sucias.

Las configuraciones que existen para los módulos son:

IV.3.1. Módulos de placas

Este tipo de módulos se encuentra formado por un conjunto de membranas planas, recortadas en forma rectangular o de disco circular. Éstas se apilan, formando paquetes espaciador-membrana-placa porosa-membrana. El paquete se comprime mediante el uso de un sistema de espárragos, para que pueda soportar la presión del trabajo. La estanquidad se logra con el uso de juntas elásticas colocadas en los extremos.

El propósito de los separadores consiste en:

- Recoger de manera uniforme el rechazo, impidiendo de esta manera, la formación de caminos preferenciales
- Separar las capas activas de dos membranas consecutivas
- Lograr un reparto uniforme de la solución a tratar sobre las membranas.

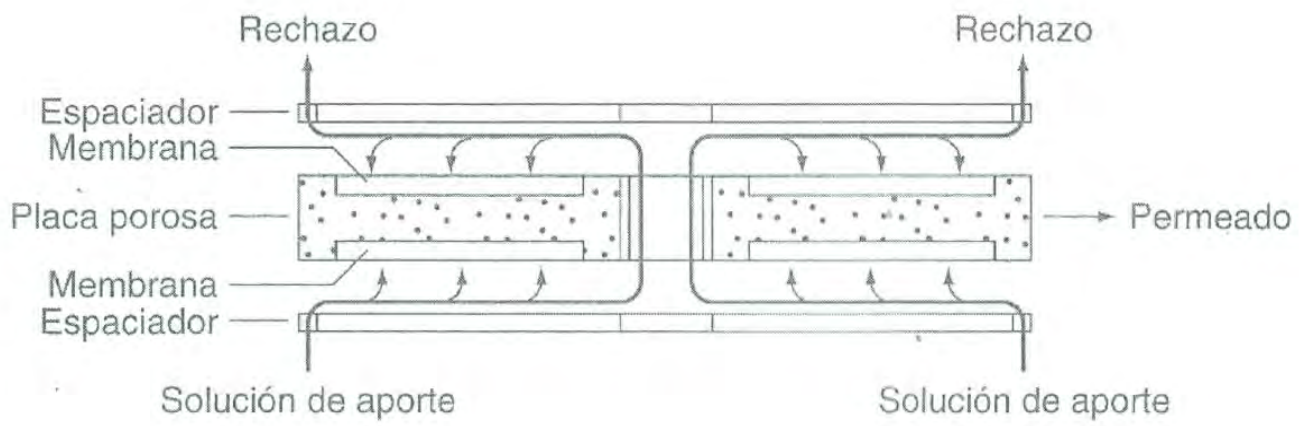


Figura 7. Módulo de placas (Fariñas, 1999).

IV.3.2. Módulos tubulares

Estos módulos se fabrican a partir de membranas tubulares y tubos porosos que le sirven de soporte, de esta manera resisten el gradiente de presiones con las cuales deben trabajar.

En caso que sea utilizado para tratar líquidos cargados, se colocan en el interior de los tubos dispositivos especiales con el fin de producir altas turbulencias, que aseguren altas velocidades de circulación sobre la superficie de las membranas. Todo esto con el propósito de impedir la deposición sobre ellas de las distintas sustancias en suspensión (Fariñas, 1999).

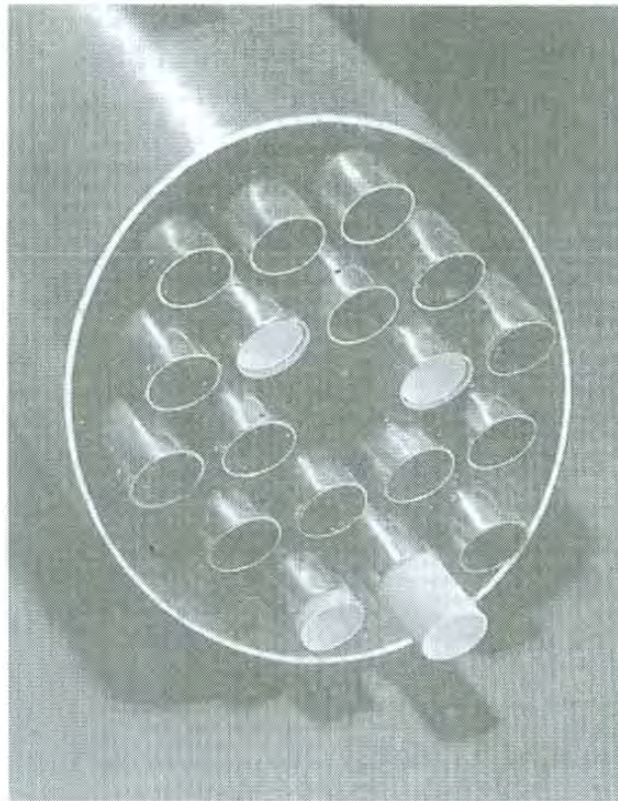


Figura 8. Módulo tubular (Fariñas, 1999).

IV.3.3 Módulos espirales

Esta configuración está formada de membranas planas, enrolladas de forma espiral alrededor de un tubo central.

Cada paquete se compone de una lámina rectangular de membrana semipermeable, esta lámina de doble por la mitad, de manera que la capa activa quede en su exterior. Entre las dos mitades se coloca un tejido provisto de pequeños canales para recoger el permeado que atraviesa la membrana.

En los laterales de la lámina de ósmosis inversa se colocan cordones de cola entre el tejido colector del permeado y las membranas, con el fin de conseguir la estanquidad entre la solución de aporte y el permeado. Los laterales del tejido colector del permeado se encolan igualmente al tubo central de material plástico y provisto de orificios.

De esta forma se enrolla el paquete alrededor del tubo central, resultando en un cilindro. Se colocan en los extremos dos dispositivos plásticos. El conjunto se recubre con una capa de resina epoxi, reforzada con fibra de vidrio para proporcionar rigidez y resistencia mecánica.

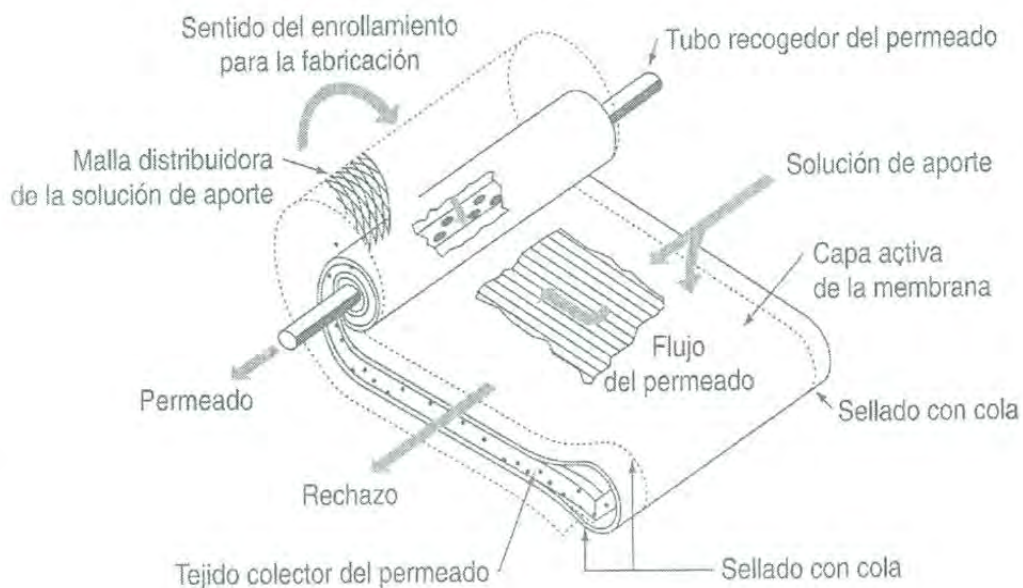


Figura 9. Módulo espiral. (Fariñas, 1999).

IV.3.4 Módulos de fibra hueca

Estos módulos se fabrican con miles de membranas de fibra hueca, dobladas en forma de U, colocadas de manera paralela al tubo central. Las membranas se fijan en ambos extremos con resina epoxi, para brindarle estabilidad.

La solución se introduce a presión en el tubo central, que la reparte de manera uniforme a través del haz de fibras.

Al entrar en contacto con la superficie exterior de la fibra, el permeado atraviesa la fibra, moviéndose por el interior hueco, hasta el extremo abierto. Finalmente, los finales de las fibras se encuentran embebidos con resina epoxi.

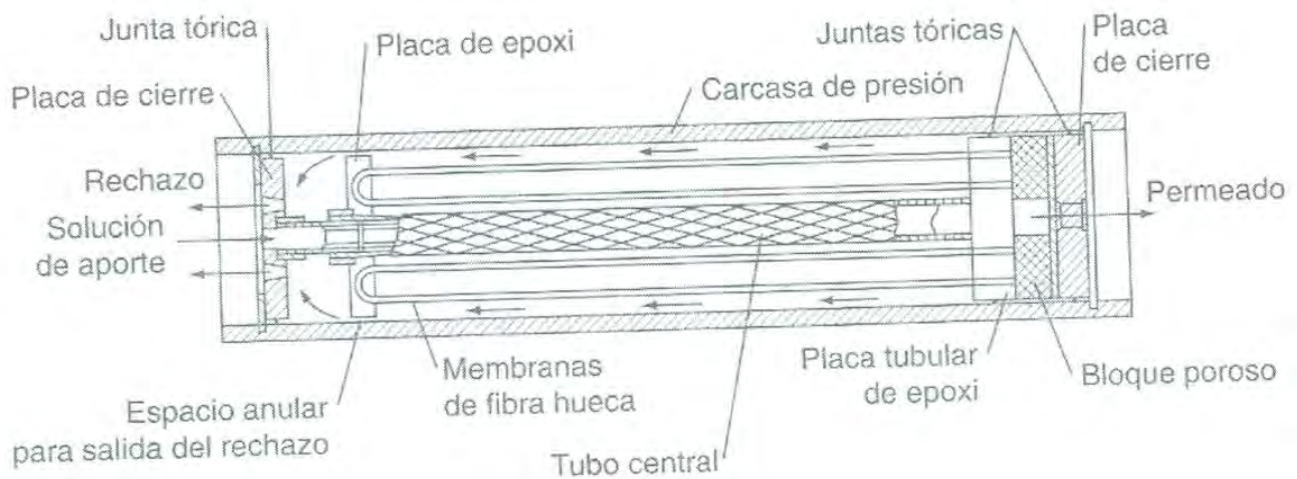


Figura 10. Módulo de fibra hueca. (Fariñas, 1999)

IV.4. Motobombas.

Una parte principal de las planta de ósmosis inversa con las bombas de alta presión, ya que son las encargadas de impulsar la solución hacia las membranas, para que esta pueda ser tratada. Es en estos equipos donde se consume la mayor cantidad de energía destinada al proceso, es por ello que es de suma importancia seleccionar el tipo de bomba idóneo (Fariñas, 1999). Para la selección del tipo de bomba se deben tomar en cuenta varios factores: costo, rendimiento, mantenimiento, disponibilidad en el mercado, etc. La selección de cada bomba dependerá principalmente del contenido de sales de la solución. Estos tipos de bombas también pueden ser utilizadas para el transporte del agua de rechazo. En este proceso se requiere principalmente, dos tipos de bombas:

IV.4.1. Bombas de desplazamiento positivo

Este tipo de bombas se utilizan en plantas de tamaño pequeño, que requieran trabajar con altas presiones, como el caso de la desalación de agua de mar, ya que tienen la capacidad de bombear un flujo reducido a presiones elevadas. También se utilizan en plantas de mediana capacidad, cuando se requieren un alto rendimiento de energía al momento de impulsar la solución a tratar. Este tipo de bombas exige un alto costo de mantenimiento (Tchobanoglus, 1996).

IV.4.2. Bombas centrífugas.

Existen algunos tipos de bombas centrífugas, entre los que se destacan los siguientes:

1. De segmentos.
2. De cámara partida.
3. Con tubo Pitot.
4. De alta velocidad.

Las bombas centrífugas sobre todo las de segmento y las de cámara partida se utilizan más frecuentemente que las de desplazamiento positivo, dado que presentan una serie de ventajas, como las siguientes:

1. Ausencia de pulsación de presión y caudal.
2. Mayor operatividad
3. Menor mantenimiento.

Cada tipo de bomba presenta ventajas e inconvenientes los cuales se mencionan a continuación en la Figura 11:

Tipo de bomba	Ventajas	Inconvenientes
Desplazamiento positivo	<p>Alto rendimiento hidráulico (superior al 90%)</p> <p>Bajo consumo específico de energía</p> <p>Se adaptan a la compactación y al ensuciamiento de las membranas, aumentando o reduciendo la presión de impulsión sin la intervención de ningún sistema de control</p>	<p>Suministran un caudal y una presión «pulsados»</p> <p>Requieren un cambio frecuente de empaquetaduras y émbolos</p> <p>Pueden llegar a las membranas partículas procedentes de las empaquetaduras</p> <p>Elevado costo de mantenimiento</p> <p>Vibraciones y alto nivel sonoro</p>
Segmentos	Económicas	<p>El rendimiento hidráulico rara vez supera el 80%</p> <p>Es preciso desmontar las tuberías y toda la bomba para inspeccionar o cambiar un rodete</p> <p>Riesgo de corrosión en las superficies de contacto entre segmentos</p>
Cámara partida	<p>Buen rendimiento hidráulico (en el entorno del 80%)</p> <p>Bombas muy robustas</p> <p>Fácilmente desmontables, sin desconectar las tuberías</p> <p>Se accede con facilidad a todas las piezas internas</p> <p>Fáciles de mantener</p>	<p>Costo de inversión elevado</p> <p>Repuestos caros</p>

Figura 11. Ventajas e inconvenientes de los principales tipos de motobombas. (Fariñas, 1999).

V. ALTERNATIVAS PARA EL USO DEL AGUA HIPERSALADA.

V.1. Análisis de factibilidad de regresar la salmuera al océano.

Existen diversos detractores en cuanto a esta forma de disponer de la salmuera o agua de rechazo. La mayoría de las plantas desalinizadoras bombean la salmuera de regreso al océano, causando un impacto ambiental para todas las especies que en él habitan, ya que éstas no se encuentran preparadas para afrontar un cambio en la salinidad de su entorno. El agua con un contenido excesivo de sal, disminuye los niveles de oxígeno en el agua, lo cual causa hipoxia en todas las especies.

Existe una forma segura para regresar esta salmuera al océano: diluirlas parcialmente. Esta dilución se puede realizar con la misma agua de mar, para esto es necesario contar con un estanque donde se pueda llevar a cabo el proceso: mezcla de salmuera con agua de mar, hasta que esta se estabilice y pueda ser regresada al océano.

Para poder regresar el agua de forma segura, es necesario contar con un parámetro de salinidad seguro, que en este caso fue de 40,000 ppm como máximo.

En la Tabla III se puede apreciar que para obtener una concentración segura, se necesita, por litro de salmuera entre 9 y 10 litros de agua de mar:

Tabla III. Litros de agua de mar por litro de salmuera.

Litros	Concentración (gr. de sal por litro)
	0.0875
1	0.06125
2	0.0525
3	0.04812
4	0.0455
5	0.04375
6	0.0425
7	0.04156
8	0.04083
9	0.04025
10	0.03977
11	0.03937

Teniendo el primer litro de salmuera de una alta concentración de sales, y los siguientes litros de agua de mar. Se puede apreciar que a partir del litro 8, la concentración disminuye más lentamente, lo cual se puede observar en la Figura 12 presentada a continuación:

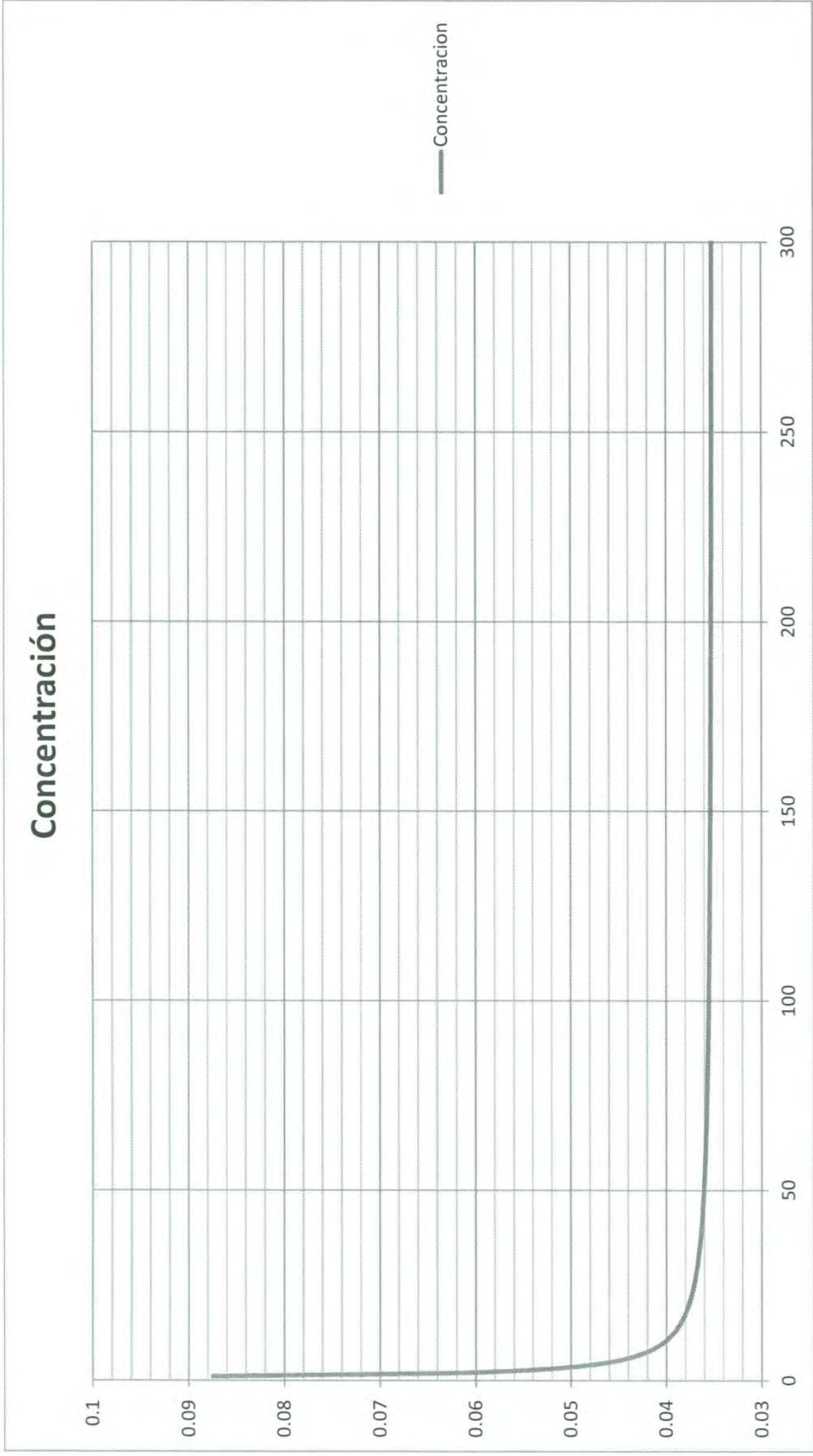


Figura 12. Disminución de la concentración de salmuera por evaporación natural (días).

V.2. Desarrollo, diseño y cálculo de estanques a cielo abierto con evaporación natural para obtener sal común.

En esta parte del trabajo, una de las alternativas propuestas es el diseño y construcción de estanques cerca del litoral sonoreense que evaporaren de manera natural por la radiación solar, y concentren la solución de agua de mar, la cual al llegar a su totalidad, quedarán sales en el fondo, cuya proporción dependerá del volumen del depósito y del tiempo de residencia, considerando que los días estarán soleados total o parcialmente.

En el diseño se consideró lo siguiente:

Primero se consideró la altura sobre el nivel del mar a la cual estarán colocados los estanques, obteniéndose el agua de mar de forma directa o por medio de pozos con intrusión salina, los cuales alimentarán por medio de motobombas a los depósitos.

Las dimensiones serán las siguientes:

Manejando un flujo volumétrico de: 0.1, 0.2 y 0.25 m^3/seg

Considerando una evaporación promedio de 30%, con lo cual tendríamos a la semana cierta cantidad de sales.

El proceso tendrá más eficiencia en las épocas de primavera, verano, otoño e invierno.

Las sales sirven como materia para su uso directo o la obtención de subproductos.

Para este propósito, se tiene como propuesta el diseño de dos estanques, uno cilíndrico y otro rectangular. Cabe destacar que la forma del estanque influirá en gran medida en el tiempo de evaporación (principalmente la profundidad del mismo). La forma del estanque dependerá de las decisiones que tome la constructora en cuanto a conveniencia, tipo y forma de terreno, precio, etc.

Los estanques se ubicarían a en un rango de entre 3 a 5 kilómetros del litoral. Para ello se realizaron los siguientes cálculos de potencia necesaria para transportar el flujo de salmuera. En la Tabla IV se presenta el cálculo de potencia necesaria para transportar la salmuera a los tanques.

Tabla IV. Potencia necesaria para transportar la salmuera a los estanques

H (m)	HP	HP (longitud y fricción)	HP total	kWh total
500.00	3.638	3.965	7.603	5.664
1000.00	7.275	7.931	15.206	11.328
1500.00	10.909	11.896	22.805	16.990
2000.00	14.557	15.861	30.418	22.661
2499.99	18.194	19.827	38.021	28.326
2999.99	21.832	23.792	45.624	33.990
3499.99	25.469	27.758	53.227	39.654
3999.99	29.113	31.723	60.836	45.323
4499.99	32.747	35.688	68.436	50.985
4999.99	36.388	39.654	76.042	56.651

A continuación en la Tabla V, se muestran los flujos considerados para la realización de los cálculos de dimensionamiento de los estanques.

Tabla V. Flujos teóricos considerados (m^3/dia)

	Teórico	c/ 30% evaporación diaria
Flujo diario A	21600	15120
Flujo diario B	17280	12096
Flujo diario C	8640	6048

V.2.1 Estanque de figura cilíndrica.

Considerando los flujos antes mencionados, se consideró calcular el volumen de un estanque con forma cilíndrica, variando la relación diámetro-altura. En la Tabla VI se presentan los resultados de dicha variación.

Tabla VI. Variación diámetro-altura para distintos flujos en estanque cilíndrico.

Variación de Diámetro	Altura (H)		
	Flujo A	Flujo B	Flujo C
5H	10.325	9.585	7.607
10H	6.504	6.038	4.792
20H	4.097	3.804	3.019
30H	3.127	2.903	2.304
40H	2.581	2.396	1.902
50H	2.224	2.065	1.639
60H	1.970	1.829	1.451
70H	1.777	1.650	1.310
80H	1.626	1.509	1.198
90H	1.503	1.395	1.108
100H	1.401	1.301	1.032

Como ejemplo de la variación mostrada, la cual presenta un comportamiento similar para los tres flujos, en la Figura 13 se muestra la gráfica representativa.

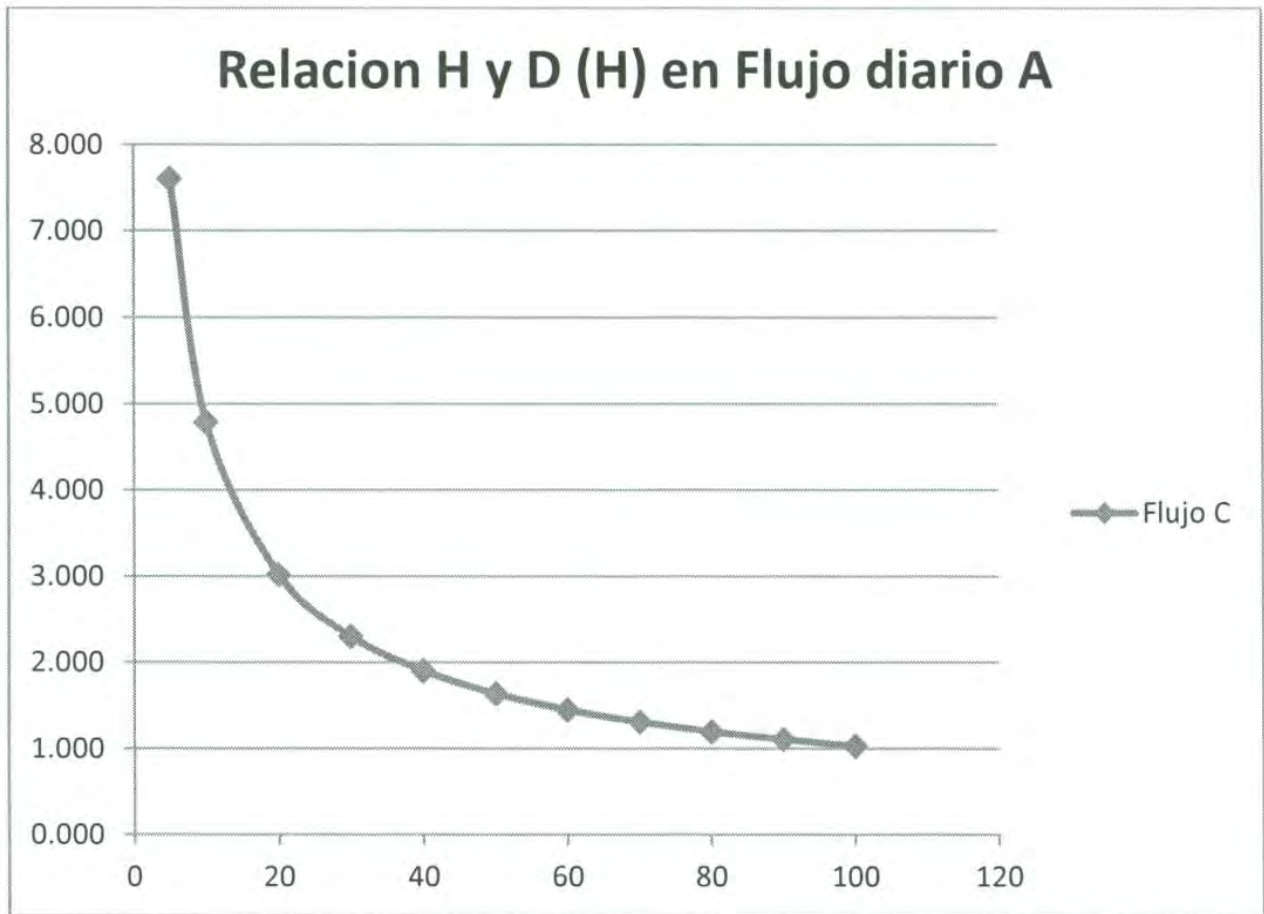


Figura 13. Grafica de variación diámetro-altura para estanque cilíndrico.

Tiempo aproximado de evaporación:

Dado que se trata de agua hipersalada con una concentración aproximada de 8.75 gramos de sal por litro. El interés es llegar a una evaporación casi total del agua.

Por lo tanto, si el flujo es de $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$, al final del día se tendrá un total de 21600 m^3 con un contenido de sales de 8.75%.

Como se puede apreciar en la Tabla VII, el tiempo aproximado para obtener una evaporación casi total (1890 m^3), que es el volumen contenido de sales, del agua es de entre 8 y 9 días.

Tabla VII. Tiempo aproximado de evaporación del agua contenida en la salmuera.

Volumen de agua (m^3)	Días
21600.000	0
16200.000	1
12150.000	2
9112.500	3
6834.375	4
5125.781	5
3844.336	6
2883.252	7
2162.439	8
1621.829	9
1216.372	10
912.279	11
684.209	12
513.157	13

V.2.2 Estanque de figura rectangular.

Para el diseño de este tipo de estanque, se mantuvieron fijas al alturas, y se vario el largo en proporción a lo ancho. Todo se encuentra en función al flujo con que se cuenta.

Para el diseño teórico del tanque se utilizaron las siguientes relaciones:

$$\text{Largo} = 3 * \text{Ancho}$$

$$\text{Largo} = 5 * \text{Ancho}$$

Para el flujo A:

Tabla VIII. Dimensionamiento de estanque rectangular para Flujo A y relación Largo= 3*Ancho

Alto	Ancho	Largo
1.00	84.85	254.56
2.00	60.00	180.00
3.00	48.99	146.97
4.00	42.43	127.28
5.00	37.95	113.84
6.00	34.64	103.92
7.00	32.07	96.21
8.00	30.00	90.00
9.00	28.28	84.85
10.00	26.83	80.50

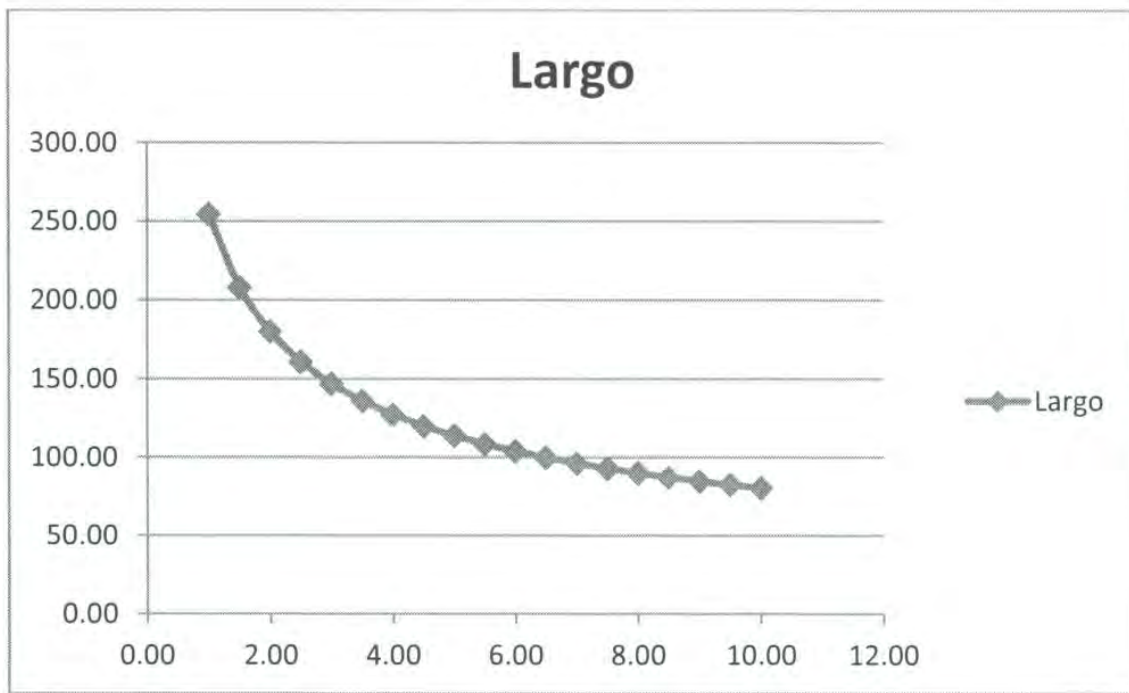


Figura 14. Variación de longitud y altura para flujo A y relación
 $Largo = 3 * Ancho$

Tabla IX. Dimensionamiento de estanque rectangular para Flujo A y relación
 $Largo = 5 * Ancho$

Alto	Ancho	Largo
1.00	65.73	328.63
2.00	46.48	232.38
3.00	37.95	189.74
4.00	32.86	164.32
5.00	29.39	146.97
6.00	26.83	134.16
7.00	24.84	124.21
8.00	23.24	116.19
9.00	21.91	109.54
10.00	20.78	103.92

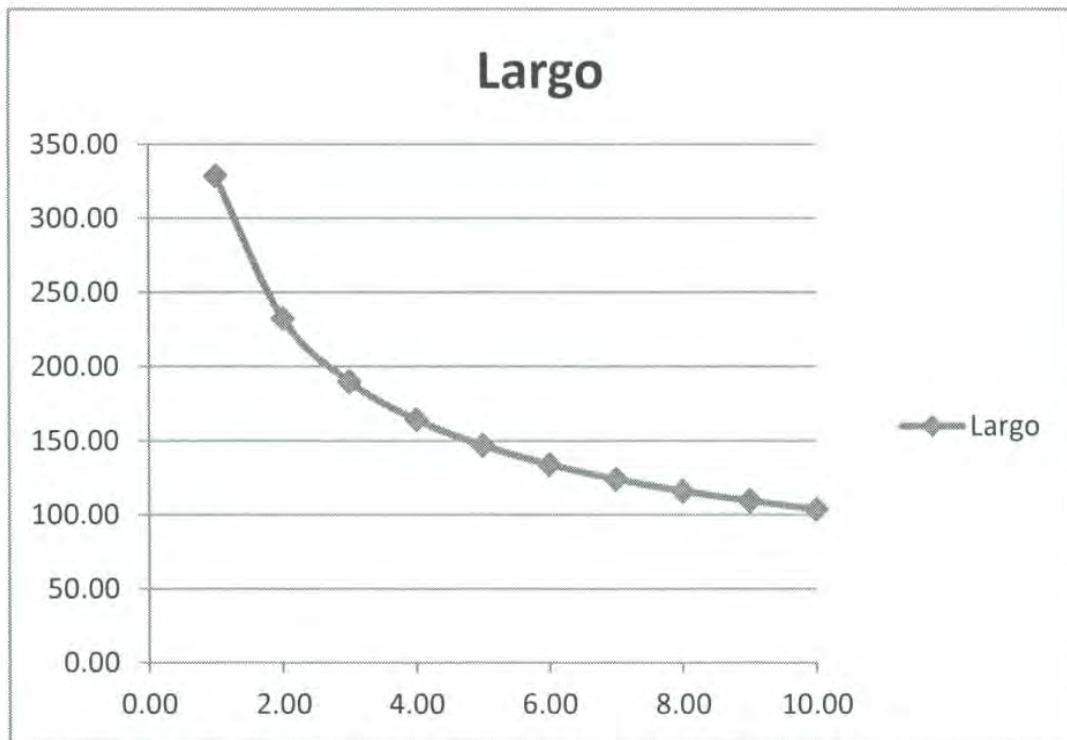


Figura 15. Variación de longitud y altura para flujo A y relación

$$\text{Largo} = 5 * \text{Ancho}$$

Para el flujo B:

Tabla X. Dimensionamiento de estanque rectangular para Flujo B y relación

$$\text{Largo} = 3 * \text{Ancho}$$

Alto	Ancho	Largo
1.00	75.89	227.68
2.00	53.67	161.00
3.00	43.82	131.45
4.00	37.95	113.84
5.00	33.94	101.82
6.00	30.98	92.95
7.00	28.69	86.06
8.00	26.83	80.50
9.00	25.30	75.89
10.00	24.00	72.00

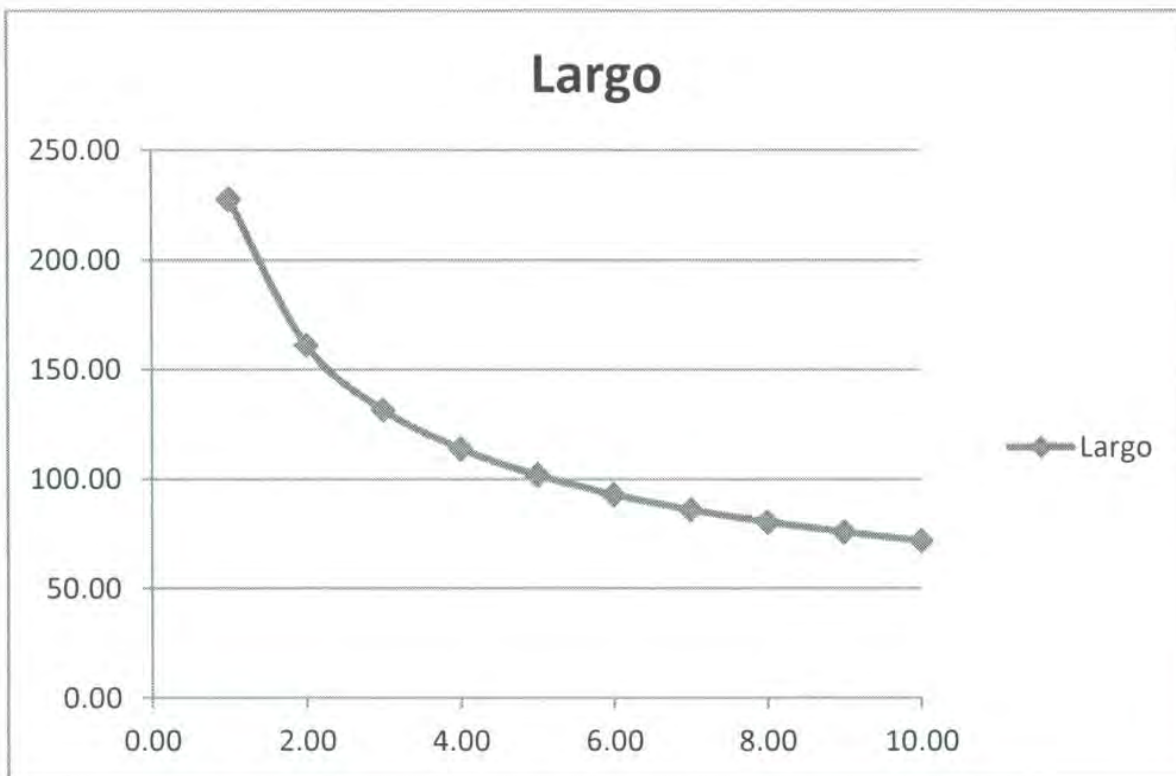


Figura 16. Variación de longitud y altura para flujo B y relación
 $Largo = 3 * Ancho$

Tabla XI. Dimensionamiento de estanque rectangular para Flujo B y relación
 $Largo = 5 * Ancho$

Alto	Ancho	Largo
1.00	58.79	293.94
2.00	41.57	207.85
3.00	33.94	169.71
4.00	29.39	146.97
5.00	26.29	131.45
6.00	24.00	120.00
7.00	22.22	111.10
8.00	20.78	103.92
9.00	19.60	97.98
10.00	18.59	92.95

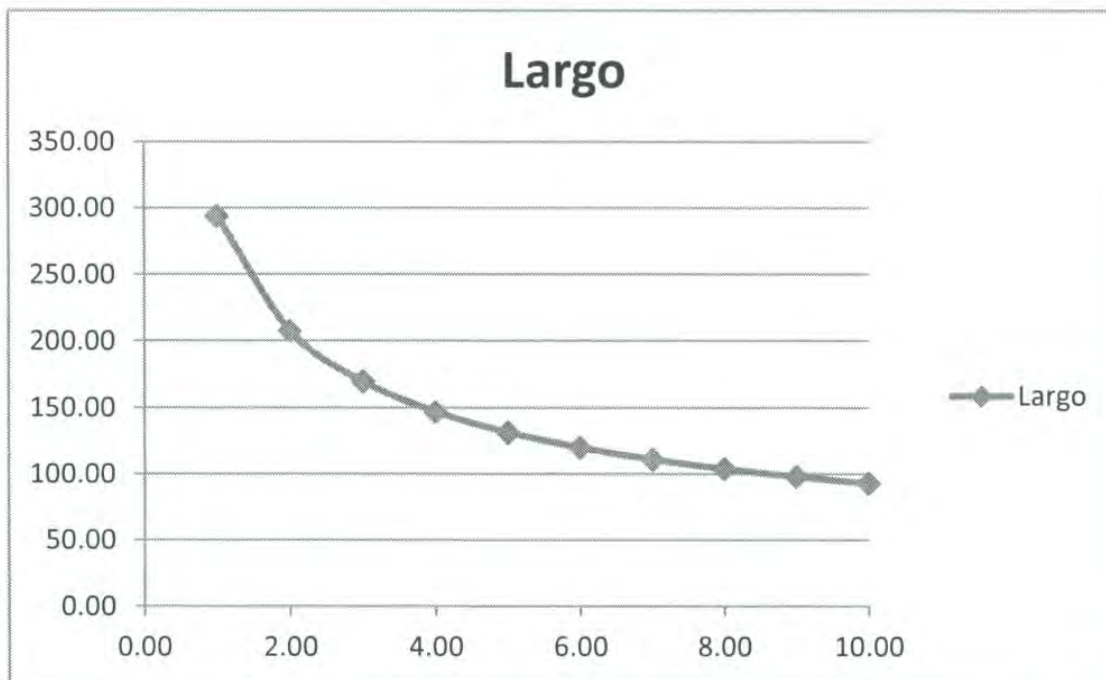


Figura 17. Variación de longitud y altura para flujo B y relación

$$\text{Largo} = 5 * \text{Ancho}$$

Para el flujo C:

Tabla XII. Dimensionamiento de estanque rectangular para Flujo C y relación

$$\text{Largo} = 3 * \text{Ancho}$$

Alto	Ancho	Largo
1.00	53.67	161.00
2.00	37.95	113.84
3.00	30.98	92.95
4.00	26.83	80.50
5.00	24.00	72.00
6.00	21.91	65.73
7.00	20.28	60.85
8.00	18.97	56.92
9.00	17.89	53.67
10.00	16.97	50.91

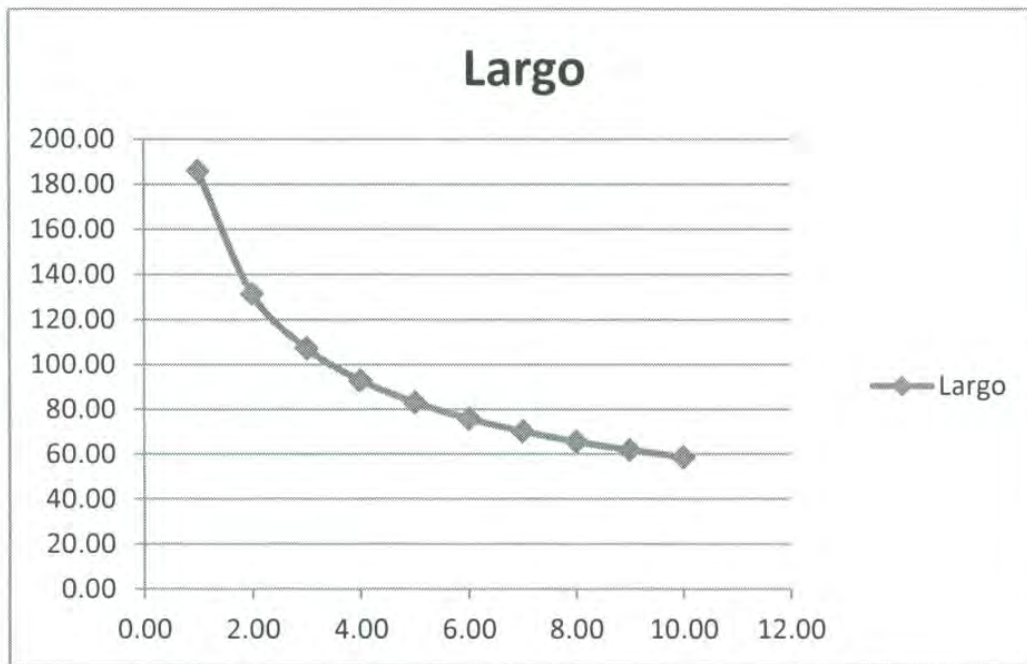


Figura 18. Variación de longitud y altura para flujo C y relación Largo= 3* Ancho

Tabla XIII. Dimensionamiento de estanque rectangular para Flujo C y relación Largo= 5*Ancho

Alto	Ancho	Largo
1.00	41.57	207.85
2.00	29.39	146.97
3.00	24.00	120.00
4.00	20.78	103.92
5.00	18.59	92.95
6.00	16.97	84.85
7.00	15.71	78.56
8.00	14.70	73.48
9.00	13.86	69.28
10.00	13.15	65.73

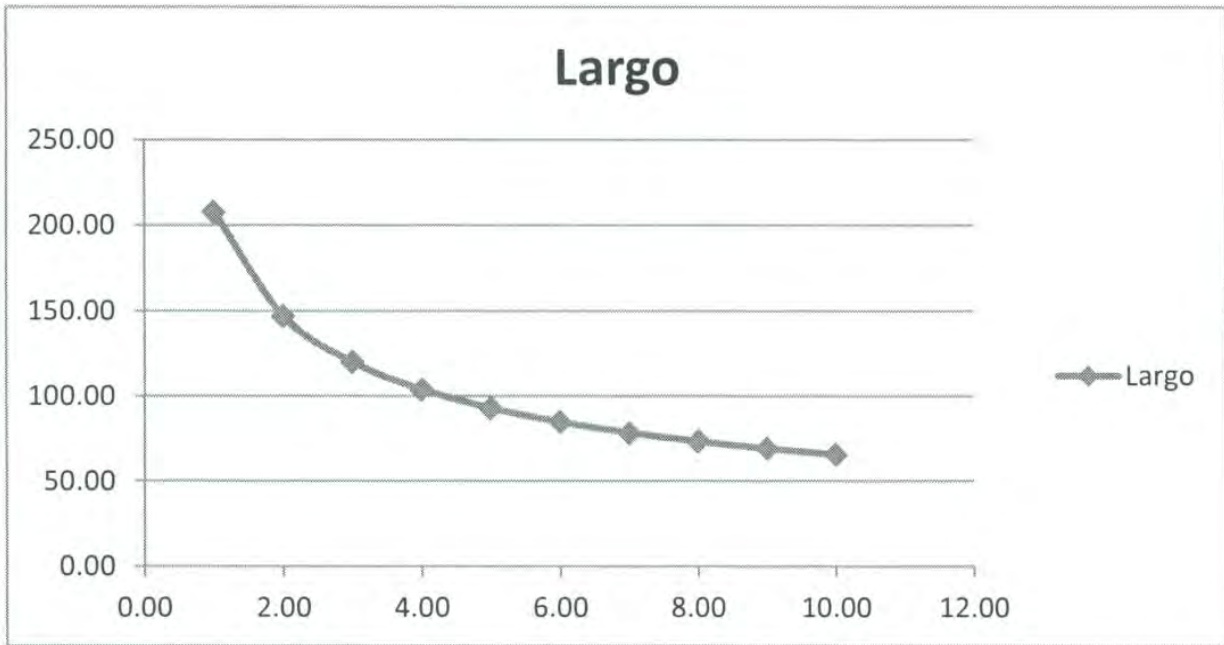


Figura 19. Variación de longitud y altura para flujo C y relación

$$\text{Largo} = 5 * \text{Ancho}$$

V.3 Diseño de procesos para obtener subproductos.

V.3.1 Diseño de un evaporador de triple efecto

El primer paso para llegar a los demás procesos, consiste en evaporar la salmuera para obtener una mayor concentración. Se seleccionó un evaporador de triple efecto, una de las principales ventajas de este tipo de evaporadores, es que el vapor procedente de un efecto, sirve de medio de calefacción para el siguiente efecto (Rudd, 1993). El líquido concentrado constituye la alimentación de cada uno de los efectos. Se seleccionó un evaporador vertical de película descendente.

Como medio de calentamiento utilizamos combustóleo 4, el cual fue seleccionado por tener un mayor poder calorífico, además de ser más económico que los otros combustibles convencionales.

Para el diseño, se tomaron en cuenta los siguientes datos

- Un flujo laminar o turbulento
- Flujo de $0.25 \frac{m}{s}$

Se tomaron en cuenta las siguientes eficiencias para cada uno de los efectos:

	Efecto 1	Efecto 2	Efecto 3
Eficiencia	60%	40%	20%

En la Tabla XIV se muestran las dimensiones obtenidas para el evaporador:

Tabla XIV. Dimensiones del evaporador.

	Dimensiones (metros)
Altura total	6
Altura tubos	5.0000
Diámetro tubo	0.2032
Área cilindro del tubo	3.1919
Total de tubos	428.9028
Numero de tubos por evaporador	142.9676
Área circular por tubo	0.0730
Área circular total	10.4318
Diámetro total (solo tubos)	3.6445
Separación entre tubo	0.0508
Diámetro total (con separación aproximada)	4.6097
Separación del envoltente	0.1016

En las Figuras 20 y 21 que se presentan a continuación, se puede apreciar el evaporador:

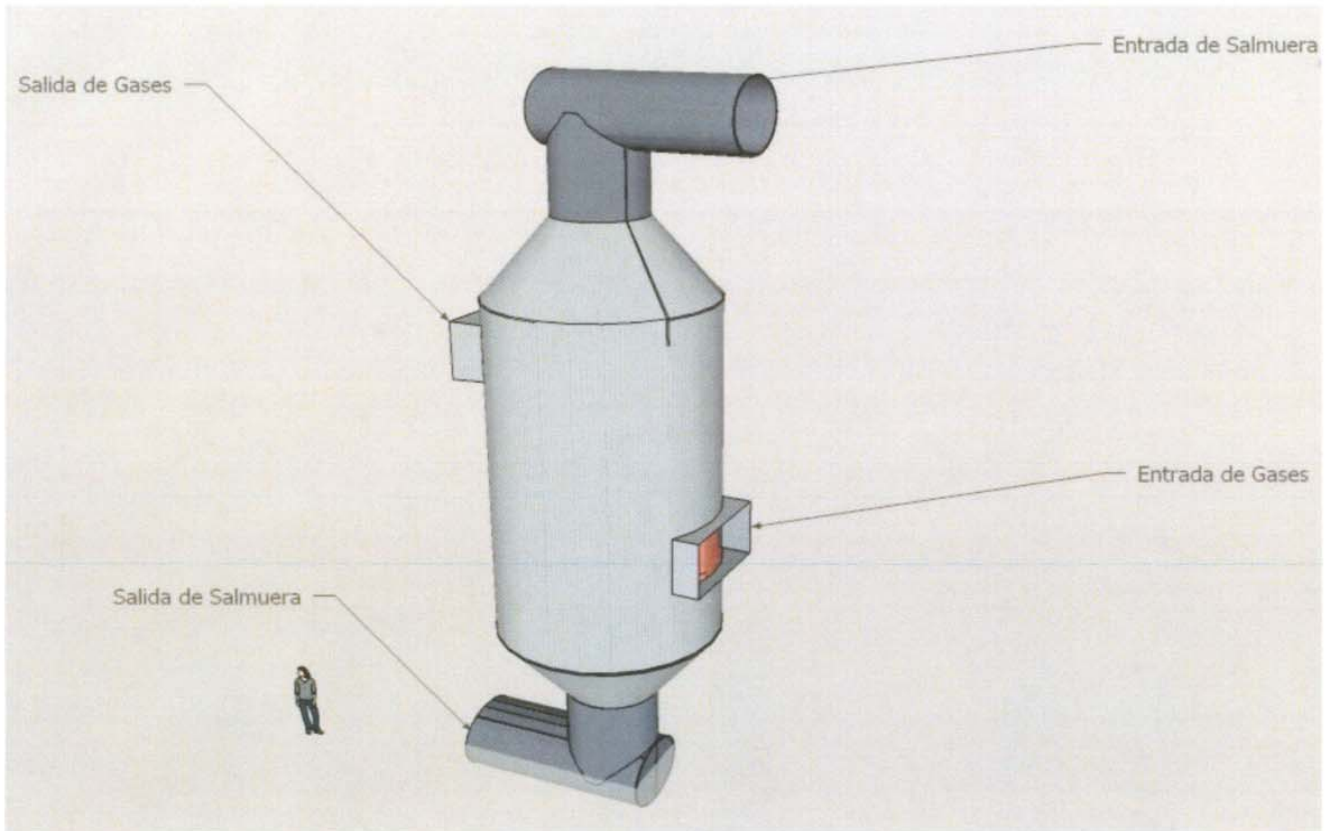


Figura 18. Evaporador.

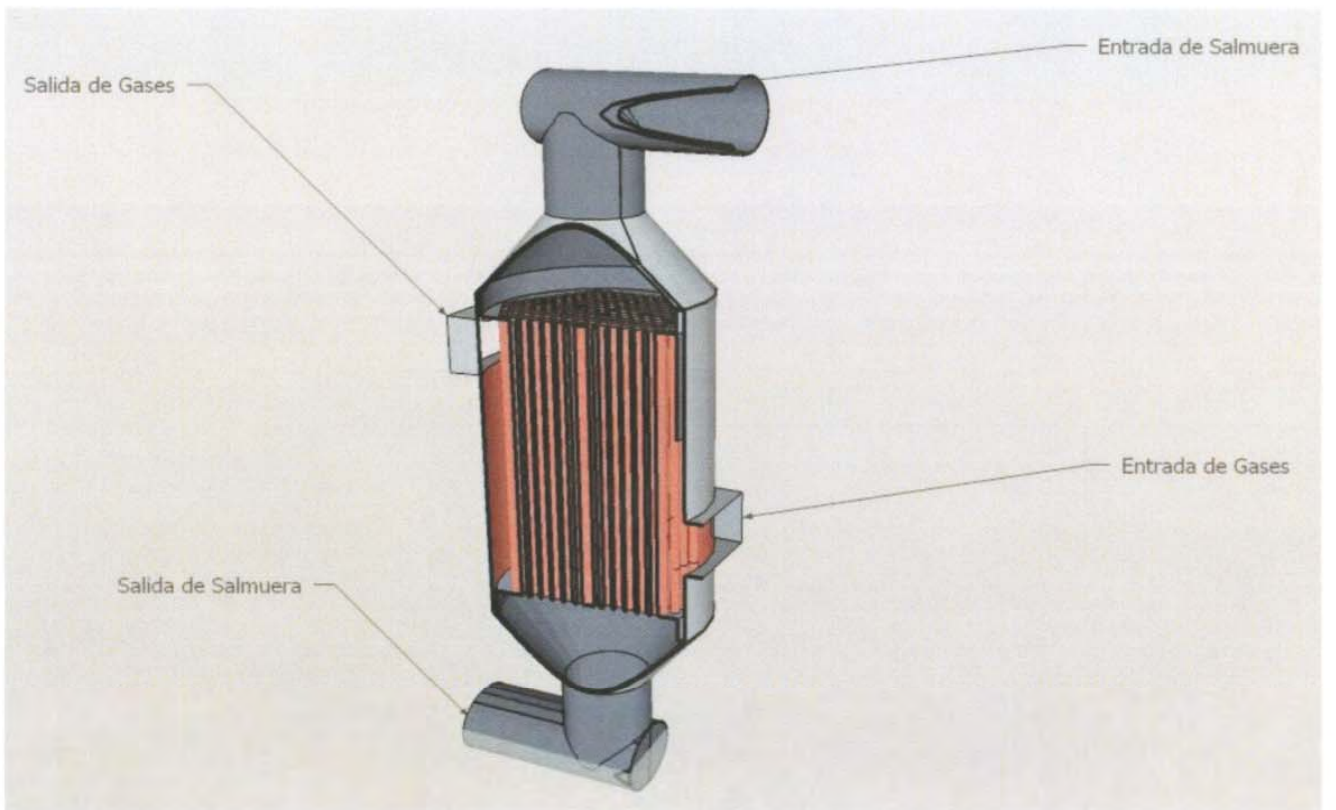


Figura 19. Vista transversal del evaporador.

V.3.2 Diseño del proceso para obtener cloruro de sodio

Para obtener cloruro de sodio, se diseñó un clasificador hidráulico. En este clasificador, la interacción entre las partículas y el fluido se da por sedimentación y la descarga se da por medios no mecánicos. Es un recipiente cilíndrico vertical, de tapa planas con pestaña, ya que se trabaja a presión y temperatura ambiente (Ulrich, 1988).

El agua hipersalada entra por la parte superior, descendiendo por gravedad a manera de vórtices, chocando éste con una pared cilíndrica interna, formada por una malla porosa a través de la cual pasa el agua y las sales se quedan en la parte interna, descendiendo por gravedad hacia la tapa inferior cónica, de donde los sólidos son retirados. Para una mayor eficiencia, en cuanto a tiempo se puede utilizar energía calorífica.

Otra opción, es utilizar un equipo que posee mallas horizontales a diferentes alturas y en las cuales, de igual forma desciende el agua por gravedad, aunque a veces dependiendo del tamaño de partícula del agua hipersalada, es necesario aplicarle cierta presión por la parte superior, funcionando como un equipo de ósmosis inversa.

El mantenimiento de este tipo de equipos se realiza utilizando retrolavado con agua potable.

En la Tabla XV se presentan las dimensiones obtenidas para el clasificador hidráulico.

Tabla XV. Dimensiones del clasificador hidráulico.

Clasificador Hidráulico									
Flujo (m ³ /seg)	Volumen (m ³)	Peso (kg)	Diámetro (m)	Altura (m)	V Cono (m ³)	Diámetro Real (m)	Altura Real (m)	Esesor (pulgadas)(1 pulgada=2.54cm	
0.0106	38.16	82616.4	2.530	7.591	2.515	2.474	7.421	0.312	
0.0105	37.8	81837	2.523	7.568	2.499	2.466	7.397	0.312	
0.0095	34.2	74043	2.440	7.319	2.337	2.383	7.149	0.310	

V.3.3 Diseño del proceso para obtener cloruro de potasio.

Para este proceso se diseñó un cristizador. En este proceso, la solución se concentra y se enfría, hasta que la concentración del soluto es superior a su solubilidad a dicha temperatura y el soluto forma cristales casi puros. La cristalización ocurre solo con soluciones sobresaturadas. El crecimiento ocurre, primero, con la formación del núcleo, el cual va creciendo gradualmente (Perry, 1968).

Es un recipiente cilíndrico, rodeado de una chaqueta de calentamiento. La solución saturada entra por la parte superior. La solución es agitada por un tiempo determinado, después, la solución se enfría súbitamente mediante una bomba de vacío, dando lugar a la formación de cristales.

V.3.4 Diseño del proceso para obtener ácido bórico.

Para la obtención de este compuesto se diseñó igualmente un cristizador, en este caso se trata de un proceso de cristalización lenta.

Es un recipiente cilíndrico, rodeado de una chaqueta de calentamiento. La solución saturada entra por la parte superior. La solución se agita por un tiempo determinado (un tiempo mayor al requerido en la cristalización rápida). Este tipo de cristalización requiere una menor cantidad de energía, ya que, en este caso no es necesario un enfriamiento súbito. Una de las ventajas de este método, es que se obtienen cristales de mayor tamaño (Perry, 1968).

En la Tabla XVI presentada a continuación, se muestran las dimensiones obtenidas para los cristalizadores utilizados en este proceso y el anterior.

Tabla XVI. Dimensiones del cristalizador.

Flujo (m ³ /seg.)	No Cristales	Cristalizador							Espesor (m)
		Vol. Cristales (m ³)	Peso Cristales (kg.)	Diámetro (m)	Altura (m)	Volumen Cono (m ³)	Diámetro real (m)	Altura real (m)	
0.0077	7.14981E+2 6	27.6480	54936.5760	2.6017	5.2034	2.6581	2.5155	5.0310	0.3129
0.0065	6.05127E+2 6	23.4000	46495.8000	2.4610	4.9219	2.3783	2.3746	4.7492	0.3094
0.0055	5.12031E+2 6	19.8000	39342.6000	2.3277	4.6553	2.1277	2.2411	4.4822	0.3060

V.3.5 Diseño del proceso para obtener yodo

Otro subproducto importante es el ácido yodo. Para obtenerlo, se diseñó un proceso donde, en primer lugar, se trata la corriente de salmuera con ácido clorhídrico. Posteriormente, se pasa la salmuera tratada a un tanque, ya en el tanque, se hace pasar una corriente de cloro en estado gaseoso. De esta forma, el cloro libera el yodo contenido en la solución, el cual se obtiene en estado gaseoso (King, 2000).

El recipiente donde se recupera el yodo es de tapa superior abombada, con una válvula superior de escape a través de la cual se recupera el yodo.

VI. EVALUACIÓN DE LOS PROCESOS

Como ya se menciono anteriormente, es muy importante buscar medios de energías alternativas para disminuir en la medida de lo posible el consumo de energía eléctrica, ya que ésta es en mayor medida la causa de encarecimiento de los costos de operación. Es por ello que se pensó, primeramente, en usar combustóleo como medio de calentamiento y para generar energía eléctrica por medio de turbinas. También se pensó en aprovechar las fuentes de energía renovables con que contamos en el estado, sobre todo la energía eólica y la energía solar.

De esta manera el proceso resulta mucho más rentable. Si bien es cierto que en un principio representa una mayor inversión, con el ahorro en energía eléctrica, la misma será recuperada muy pronto.

En la Figura 22 se muestra el porcentaje de inversión aproximado, por componente de una desaladora de agua de mar.

Elemento	% de la inversión
Membranas	20-30
Bombas	15-20
Tuberías y válvulas	15-20
Equipos eléctricos	7-10
Instrumentación	3-5
Edificios	10-15
Toma de agua	3-5
Impulsión del producto	5-10

Figura 22. Porcentaje de la inversión para cada componente de la planta desalinizadora. (Fariñas, 1999)

VI.1 Características del combustible seleccionado

Se seleccionó el combustóleo por varias razones:

- Amplia disponibilidad en el mercado.
- Económico (a un precio aproximado de \$6 MN por litro).
- Presenta un alto poder calorífico (9800 Kcal/kg).

Un inconveniente sobre este combustible sería el hecho de ser muy contaminante, ya que de los derivados del petróleo es el que presenta una menor refinación. Este problema se puede solucionar instalando una torre de lavado de gases, ya que resultaría contradictorio para los fines de este trabajo, el expulsar esos gases contaminantes al medio ambiente.

Para el proceso de evaporación que antecede a los demás procesos, se requiere un aproximado de 5.5 litros de combustible por segundo.

En la Tabla XVII se presenta el balance de masa total del proceso.

En la Figura 23 se aprecia el diagrama de flujo del proceso.

Tabla XVII. Balance de materia del proceso (lts/seg).

Compuesto	1	2	3	4	5	6	7
Cloruro de sodio	6	6	6	6	2.4	1.8	0.9
Cloruro de magnesio	1.25	1.25	1.25	1.25	0.5	0.375	0.1875
Sulfato neutro de sodio	1	1	1	1	0.4	0.3	0.15
Cloruro de calcio	0.275	0.275	0.275	0.275	0.11	0.0825	0.04125
Cloruro de potasio	0.175	0.175	0.175	0.175	0.07	0.0525	0.02625
Bicarbonato de sodio	0.05	0.05	0.05	0.05	0.02	0.015	0.0075
Bromuro de sodio	0.024	0.024	0.024	0.024	0.0096	0.0072	0.0036
Ácido bórico	0.0065	0.0065	0.0065	0.0065	0.0026	0.00195	0.000975
Cloruro de estroncio	0.006	0.006	0.006	0.006	0.0024	0.0018	0.0009
Fluoruro de sodio	0.00075	0.00075	0.00075	0.00075	0.0003	0.000225	0.0001125
Yodo	0.000013	0.000013	1.3E-05	1.3E-05	5.2E-06	0.0000039	1.95E-06
Ácido clorhídrico	0	0	0	0	0	0	0
Gas cloro	0	0	0	0	0	0	0

Tabla XVII. Balance de materia del proceso (lts/seg.) (Continuación).

Compuesto	8	9	10	11	12	13	14	15
Cloruro de sodio	0.9	2.4	0	1.8	0	0	0	0
Cloruro de magnesio	0.1875	0.00375	0	0.375	0	0	0	0
Sulfato neutro de sodio	0.15	0.003	0	0.3	0	0	0	0
Cloruro de calcio	0.04125	0.000825	0	0.0825	0	0	0	0
Cloruro de potasio	0.02625	0.000525	0	0.0525	0	0	0.02625	0
Bicarbonato de sodio	0.0075	0.00015	0	0.015	0	0	0	0
Bromuro de sodio	0.0036	0.000072	0	0.0072	0	0	0	0
Acido bórico	0.000975	1.95E-05	0	0.00195	0	0	0	0.00098
Cloruro de estroncio	0.0009	0.000018	0	0.0018	0	0	0	0
Fluoruro de sodio	0.0001125	2.25E-06	0	0.000225	0	0	0	0
Yodo	1.95E-06	3.90E-08	0	0.0000039	0	3.90E-09	0	0
Acido clorhídrico	0	0	0.789003	0.7890033	0	0	0	0
Gas cloro	0	0	0	0	2.169759	0	0	0

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

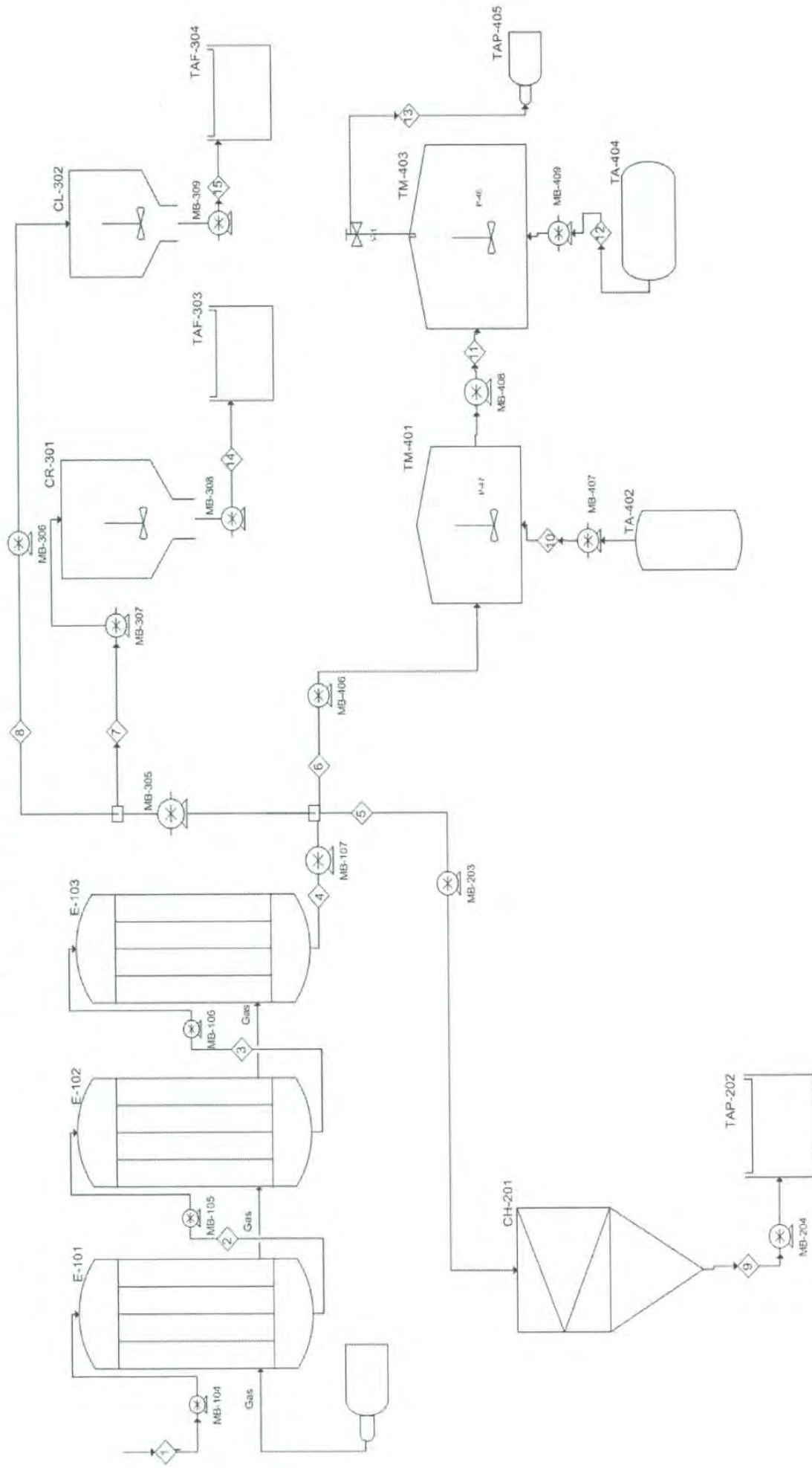


Figura 23. Diagrama de flujo del proceso.

VI.2 Materiales para el diseño de los tanques

Es muy importante, antes que nada, tomar en cuenta la localización de la planta y la materia prima con la cual se trabajará para poder hacer la elección más conveniente en cuanto a material de construcción, con el fin de ahorrar costos. A continuación se presenta la Tabla XVIII, con los distintos tipos de acero (Becerra, 1985):

Tabla XVIII. Tipos de acero y características.

Acero No.	Contenido de Carbono	Condición	Resistencia a la tracción Lb/plg ² x 10 ³	Resistencia a la efluencia (Lb/plg ² x 10 ³)	Uso
Hierro en lingotes	0.02	Recocido laminado en caliente	42-44	19-23	Tubería, Arquitectura
		Estriado en frío	73	59	
1010	0.1	Laminado caliente	47	26	Guardafangos de autos
		Estriado en frío	57	44	
304	19 Cr 10 Ni	Recocido trabajado en frío	85	35-75	Equipo químico en general
430	16 Cr 0.1 C	Recocido trabajado en frío	80	55-80	Guarniciones para autos, equipo de cocina
440	17 Cr	Recocido templado y revenido	110-285	65-275	Instrumentos, válvulas

Fuente: Fundidora de Hierro y Acero de Monterrey, 1964.

El acero inoxidable resulta una opción viable, ya que además de localizarse la planta desalinizadora cerca de la costa, la materia prima serán sales, por lo cual es necesario un material que sea resistente a la corrosión. En la siguiente tabla se muestra la composición de los diferentes tipos de acero inoxidable.

Tabla XIX. Composición de los aceros inoxidables del A.I.S.I.

Tipo	C	Cr	Ni	Otros elementos	Propiedades generales y usos
315	0.10 máx.	16-18	10-14	Mo. 2.00- 3.00	Resistencia superior a la corrosión química
317	0.10 máx.	18-20	11-14	Mo 3.00- 4.00	Gran resistencia a la corrosión química
430	0.12 máx.	14-18	-----	-----	Fácil conformación, equipo químico, adorno de autos
446	0.35 máx.	23-27	-----	-----	Alta resistencia a la corrosión y formación de escamas a 1175° C
443	0.20 máx.	18-23	-----	Cu 0.90- 1.25	Se trabaja fácilmente, equipo químico, altas temperaturas
501	0.10 máx.	4-6	-----	Mn, Si 1.00 máx.	Bajo en cromo, resistencia a la energía calorífica.

Fuente: Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, 1964.

VI.3.Posibles fuentes de energía renovable a utilizarse

VI.3.1. Energía Solar

El estado de Sonora cuenta con aproximadamente 185,000 km² de superficie, de los cuales, entre el 25 y 30% es zona desértica, 30% es valle y el resto es sierra. Entre la zona desértica y el valle se tiene una alta incidencia solar durante aproximadamente 8 meses en el año, es decir, cielo completamente despejado y con temperaturas que van desde 25 a 45 °C. Lo anterior, y considerando que por cada m² de superficie se reciben entre 4 y 7 kw-hr, se pueden desarrollar o adaptar equipos para aprovechar este tipo de energía de manera eficiente.

Existen tecnologías de colectores solares que concentran la incidencia, lo cual hace que la eficiencia se aumente considerablemente. También existen las celdas fotovoltaicas, las cuales representan una buena opción para convertir la energía calorífica del sol en energía eléctrica directamente. Aunque existen algunas restricciones con este tipo de energía, se puede buscar una opción para su máximo aprovechamiento. Se considera que el estado de Sonora cuenta con 275 días al año despejados.

VI.3.2. Energía eólica

En los 837 km de litoral que comprende el estado de Sonora, el viento alcanza velocidades promedio entre 15 y 40 km/hr. Lo anterior resulta muy provechoso para utilizar la energía eólica como un auxiliar en el abaratamiento del consumo total del proceso de desalación de agua de mar y los que se derivan en el tratamiento del agua hipersalada. Además, puede resultar de gran utilidad la obtención de subproductos que pueden ser de utilidad directa o como se señaló anteriormente, materias primas para la elaboración de otros productos.

Basta con tener la velocidad y la temperatura a la cual se encuentra el viento para el diseño de los aerogeneradores, cuya obtención de energía eléctrica dependerá del tamaño de las hélices de los aparatos. La energía cinética que genera el viento se transforma en mecánica y esta a su vez, por medio de un generador, en energía eléctrica. Si se considera un flujo de aire con una velocidad promedio de 20 km/hr, se pueden obtener altas cantidades de energía eléctrica, aplicable al menos para los servicios de un complejo industrial como el que aquí se propone.

Con la velocidad del viento, el área circunscrita por las aspas del generador al girar se obtiene el flujo volumétrico del aire, el cual, al tratarse con el peso específico a esa temperatura, se obtiene la masa por unidad de tiempo con lo cual se puede obtener la energía cinética, la cual, con un factor de eficiencia del 40%, obtenemos la cantidad de energía mecánica, que a su vez sería transformada en energía eléctrica.

VI.3.3. Energía maremotriz.

Otra alternativa para el aprovechamiento de energía renovable es la maremotriz. En Sonora hay lugares donde las mareas alcanzan alturas de hasta 2.5 m., lo cual permitiría mediante diques a lo largo del litoral, almacenar agua de mar y colocar en compuertas, turbinas horizontales Pelton o Kaplan, las cuales al abrir las compuertas serán accionadas rotativamente, generando energía mecánica y posteriormente eléctrica. Estas energías se pueden interconectar mediante una subestación y abastecer al complejo industrial propuesto.

Es importante considerar que entre la Isla del tiburón y punta chueca en el estado de Sonora, se encuentra el canal del infiernillo, el cual diariamente presenta dos mareas verticales, pero a la vez, por efecto de las mismas, y considerando que hay una gran estrechez del mar en esta región, el agua de mar, al subir la marea, adquiere una velocidad horizontal alta al igual que cuando baja, pudiéndose aprovechar esta energía en base a la velocidad de desplazamiento horizontal que tienen las aguas, lo cual puede hacer factible el colocar turbinas que funcionen en dos sentidos y producir energía mecánica, la cual se convertirá en eléctrica.

VI.3.4. Biomasa

Es bien sabido que en la costa de Sonora, gran parte de los desechos agrícolas durante los ciclos de las cosechas, se utilizan para alimento de ganado y en gran parte estos se queman. Es importante que estos puedan ser utilizados para producir, mediante intercambiadores de calor, energía temporal para el sistema y a la vez, obtener con la combustión, metano, que pudiera ser aprovechado como un combustible para ayudar en un 5% aproximadamente el consumo total.

VI.4. Análisis técnico preliminar

Considerando una eficiencia en el proceso de desalación por ósmosis inversa de 60%, es decir obtener por cada metro cúbico de agua de mar alimentada, 600 litros de agua potable y 400 litros de agua de rechazo o hipersalada. Se considerará la cantidad de combustible orgánico utilizada en lugar de implementar un sistema de energía eléctrica como medio de calentamiento. Se considera el poder calorífico del material, en este caso combustóleo, cuya energía calorífica puede ser aprovechada en diferentes partes del proceso.

Al igual que la energía calorífica suministrada, también se puede aprovechar el excedente de energía que lleva tanto el agua producto como el agua de rechazo, es decir, si las presiones de trabajo al introducir el agua de mar en los módulos de osmosis inversa con alrededor de 600-800 lb/plg^2 , parte de esta presión a la salida, que es aproximadamente de un 30%, servirá para producir la energía necesaria a través de un sistema de turbinas para generar energía eléctrica que sirva al sistema, obteniéndose de esta manera un ahorro sustancial.

Con la energía eléctrica generada y la energía calorífica que acompaña a los gases de calentamiento de salida del tercer efecto del sistema de evaporación, se utilizarán para los procesos donde existen cristalizadores y clasificador hidráulico, incluyendo el sistema de motobombas.

De acuerdo a los requerimientos del mercado se pueden generar otros procesos para la obtención de nuevos productos que pueden ser materias primas para el desarrollo de compuestos industriales.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Con la presente propuesta de utilizar el agua de rechazo, el impacto sobre el medio ambiente es mínimo.

El aprovechamiento de los subproductos del agua hipersalada hace que el proceso de desalación tenga una mayor viabilidad.

Con una combinación de las fuentes de energía renovables es posible obtener energía eléctrica, además, evita la quema de combustibles fósiles, por lo tanto, reduce el impacto ambiental.

Con el uso de energías renovables, se pueden cubrir los requerimientos de energía eléctrica para servicios como: iluminación, confort, uso doméstico, etc.

El desarrollar un complejo industrial como el que se propone con los productos del agua hipersalada contribuiría a ser un detonante económico en la región.

En la zona costera del estado de Sonora se les daría un uso adecuado a los pozos que han sido salinizados, contribuyendo a mejorar la economía de la región.

Los productos obtenidos del agua hipersalada pueden ser materias primas para el desarrollo de otros procesos.

Con una combinación de energía renovable y no renovable, como solar, eólica, maremotriz y biomasa (desechos agrícolas, económicamente se reducen los costos de la potencia eléctrica utilizada en los procesos.

La energía calorífica que acompaña a los vapores del sistema de triple efecto, puede aprovecharse para precalentar la corriente de entrada al primer evaporador,

Cuando en alguno de los procesos exista una falla que amerite un paro parcial o total, la corriente de agua hipersalada correspondiente se puede enviar a dilución para regresarse al mar.

VIII. BIBLIOGRAFÍA.

American Water Works Association Research Foundation. (1998). Tratamiento del agua por procesos de membrana. Principios, procesos y aplicaciones. (Primera ed.). España. Mc Graw Hill.

Becerra, H. y Abrajan, R. (1985). Diseño de recipientes del proceso. México.

Fariñas, M. (1999). Ósmosis Inversa: fundamentos, tecnología y aplicaciones. (Primera ed.). España. McGraw Hill.

Fundidora de Hierro y Acero de Monterrey. Manual para constructores.

Giral-Gonzalez (1981). Tecnología apropiada, Alhambra

International Journal on Science and Technology of Water Desalting. Desalination, P.O.B. 211, Amsterdam, Holanda, Elsevier.

King, C. J. Separation Processes. (Segunda ed.) Courier Dover Publications

Mc Cabe, W., Smith, J., Harriott, P., (1991) Operaciones básicas de Ingeniería Química. (Cuarta ed.). España. McGraw Hill.

Merten, U., (1966) Desalination by Reverse Osmosis, Cambridge, Massachusetts, M.I.T Press.

Perry, E.S., (1968). Progress in separation & Purification" (Vol. I & III). New York. Interscience.

Perry, Chilton, Manual del Ingeniero Químico (últimas ediciones), McGraw Hill.

Rudd, D. F. y Ch. C. Watson, (1993) Estrategia en Ingeniería de Procesos, México, Alhambra.

Tchobanoglus, G. (1996). Ingeniería de aguas residuales. Redes de alcantarillado y bombeo. (Tomo III). México, D.F. McGraw Hill.

Turbak, A.F. (1970), "Membranes for Cellulose and Cellulose Derivatives", New York, Interscience.

Ulrich, G.D. (1988) Procesos de Ingeniería Química, México, D.F., Nueva Editorial Interamericana.