

01/21
5



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

“Plantas Desalinizadoras en México”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A
CARLOS FERNANDO ÁLVAREZ HERRERA



DIRECTOR: ING. JAVIER GUTIÉRREZ REYNOSO

MÉXICO, D.F.

2003

I

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.

PAGINACION DISCONTINUA



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/079/01

Señor
CARLOS FERNANDO ALVAREZ HERRERA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor **ING. JAVIER GUTIERREZ REYNOSO**, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de **INGENIERO CIVIL**.

"PLANTAS DESALINIZADORAS EN MEXICO"

- INTRODUCCION**
OBJETIVOS
- I. ANTECEDENTES**
 - II. DESALINIZACIÓN DE AGUA**
 - III. IMPACTO AMBIENTAL DE LA DESALINIZACIÓN DEL AGUA**
 - IV. CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA UN APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO BASADO EN DESALINIZACIÓN**
 - V. APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO EN UN DESARROLLO TURÍSTICO: UN EJEMPLO DE APLICACIÓN**
 - VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**
 - VII. REFERENCIAS**

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria a 31 de enero de 2001.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/mstg.

AGRADECIMIENTOS.

A Dios por haberme dado la oportunidad de llegar a la conclusión de este trabajo...

A la Universidad Nacional Autónoma de México que a través de la Facultad de Ingeniería y profesores han hecho posible mi formación académica.

A mis padres Lucía de Jesús Herrera y Gilberto Martínez, con gran amor y profundo agradecimiento por su apoyo en todo momento de mi formación no sólo en lo profesional sino de toda mi vida.

A mi hermana Gabriela Martínez por todos los momentos de alegría que compartimos, por estar conmigo en los momentos difíciles y sobretodo por su comprensión.

A Paola Arroyo por todo el amor que sentimos y por lo que esta por venir. Te amo.

Desde luego a mi director de tesis, al Ing. Javier Gutiérrez Reynoso por su valioso tiempo dedicado a la asesoría de este trabajo, por su gran ejemplo en lo profesional y por apoyarme en mis últimos pasos como estudiante y en los primeros como profesional.

A mis familias Alvarez, Herrera y Martínez, a quienes dedico sinceramente este trabajo.

Al señor Alberto Rueda, esposa, hijos y nietos por compartir conmigo un sincero lazo de amistad y por los consejos y apoyos brindados.

A mis grandes amigos Carlos Luna, Alejandro Herrera, David Romero, Dario Ramírez, Noe Cruz, Guillermo Santoyo, Angel Rodríguez, Oscar Frausto, Carlos Cop, Luis Halley, Julio Suárez, Alejandro Venegas, Héctor Curiel, Benjamín Salas y Manuel Jasso, por tener siempre las palabras de aliento en el momento preciso.

A Consultoría Yáñez-Taylor S.A. de C.V. y a todos los que en ella participan con empeño y dedicación y de quienes he aprendido mucho.

Por último a todos los que se me adelantaron, que recuerdo con especial cariño y profundo respeto a mi padre Marino Alvarez, Yocundo Herrera, Teresa Vargas, Martín Velásquez, Guadalupe Velásquez, Cecilia Romero, Norma Herrera, Rogelio Suárez y Julio Lara.

A todos ustedes, gracias.

TESIS

Título: PLANTAS DESALINIZADORAS EN MEXICO
Objetivo: Conjuntar conocimientos de las áreas de la ingeniería civil para la identificación, desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías de aprovechamiento del agua de mar para consumo humano.

INTRODUCCIÓN 1

Capítulo 1 ANTECEDENTES

1.1	Problemática actual del agua en México	3
	Problemática y estrategias para solución	
	Aspectos Físicos	4
	Aspectos Económicos-Financieros	5
	Aspectos Políticos	5
	Aspectos legales y normativos	6
	Aspectos sociales y culturales	7
	Aspectos tecnológicos	8
	Distribución geográfica y temporal del agua	9
	Disponibilidad superficial y subterránea	10
	Grado de contaminación	11
	Regiones hidrológicas-administrativas y su problemática particular	12
	Estrategias de solución	21
1.2	La necesidad de la desalación de agua de mar en México	22

Capítulo 2 DESALINIZACION DEL AGUA

2.1	Generalidades	25
2.2	Procesos de purificación del agua	27
2.3	Técnicas de desalinización	29
	Destilación	29
	Osmosis inversa	34
	Electrodialisis	38
	Intercambio de iones.	40
	Ventajas y desventajas	43
2.4	Evolución tecnológica de la desalinización del agua en México	46
2.5	Evolución comercial de la desalinización del agua en México	50
2.6	Costos de desalinización del agua	51
2.7	Conclusiones	57

Capítulo 3 IMPACTO AMBIENTAL DE LA DESALINIZACION DEL AGUA

3.1	Marco normativo mexicano	61
3.2	Marco normativo internacional	62
3.3	Impactos ambientales y medidas de mitigación de los procesos de desalinización del agua	63
3.4	Impactos ambientales y medidas de mitigación de las obras requeridas para la desalinización del agua	68
3.5	Conclusiones	70

Capítulo 4	CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA UN APROVECHAMIENTO HIDRAULICO BASADO EN DESALINIZACION	
4.1	Generalidades	73
4.2	Elementos que integran el aprovechamiento hidráulico	74
-	- Obra de toma	75
-	- Planta de bombeo	76
-	- Línea de conducción	78
-	- Tanque de regulación	79
-	- Planta desaladora	80
-	- Línea de distribución	82
-	- Línea de rechazo	83
-	- Estructura de disposición	84
4.3	Parámetros de diseño	84
-	- Oceanográficos	84
-	- Geotécnicos	97
-	- Hidráulicos	97
-	- Estructurales	100
-	- De calidad del agua	101
4.4	Otros aspectos de importancia	103
-	- Aspectos económicos	103
-	- Aspectos financieros	105

Capítulo 5	APROVECHAMIENTO HIDRAULICO EN UN DESARROLLO TURISTICO: UN EJEMPLO DE APLICACIÓN	
5.1	Generalidades	109
5.2	Desarrollo Turístico Punta Ballena	110
5.3	Condiciones Físicas del Sitio	111
5.4	Parámetros de Diseño	112
-	- Oceanográficos	112
-	- Geotécnicos	122
-	- Hidráulicos	122
-	- Estructurales	124
5.5	Diseño hidráulico	124
5.6	Diseño electromecánico	129
5.7	Diseño geotécnico	130
5.8	Diseño estructural	130
5.9	Procedimiento constructivo	130
5.10	Presupuesto general de las obras	135

Capítulo 6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
6.1	Conclusiones	137
6.2	Recomendaciones	138
	REFERENCIAS	139
	ANEXOS	141

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1 ANTECEDENTES

Figura 1.1	Precipitación media anual, Precipitación media mensual	9
Figura 1.2	Disponibilidad relativa de agua superficial	11
Figura 1.3	Cuerpos de agua subterránea	11
Figura 1.4	Regiones Hidrológicas-Administrativas	13

Capítulo 2 DESALINIZACION DEL AGUA

Figura 2.1	Esquema básicos del Destilador Solar	29
Figura 2.2	Tipos de destiladores Solares	30
Figura 2.3	Esquema de un destilador DME	31
Figura 2.4	Esquema de la destilación DSME	33
Figura 2.5	Esquema de la destilación DCV	33
Figura 2.6	Fenómeno de ósmosis	35
Figura 2.7	Esquema del principio fundamental de la destilación mediante la osmosis inversa	35
Figura 2.8	Esquema de un módulo de enrollamiento	36
Figura 2.9	Esquema de un módulo de fibras huecas	36
Figura 2.10	Esquema completo de la destilación por ósmosis inversa	38
Figura 2.11	Esquema de la destilación mediante electrodiálisis	39
Figura 2.12	Esquema del proceso osmótico	40
Figura 2.13	Esquema de intercambio de iones de dos camas	41
Figura 2.14	Esquema de una planta dual de gas	42
Figura 2.15	Esquema de una planta dual de combinación de energías	42

Capítulo 4 CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA UN APROVECHAMIENTO HIDRAULICO BASADO EN DESALINIZACION

Figura 4.1	Arreglo General de una Planta Desalinizadora de Agua de Mar	74
Figura 4.2	Tipos de obras de captación directa	75
Figura 4.3	Tipos de obras de captación indirecta	76
Figura 4.4	Tipos de Bomba de Acuerdo a la Procedencia de la Fuente	77
Figura 4.5	Esquema de una planta desalinizadora y sus obras civiles complementarias	80
Figura 4.6	Oceanografía Física	85
Figura 4.7	Límites y Términos Utilizados en la Zona Costera	85
Figura 4.8	Características de las Marcas	86
Figura 4.9	Características de una ola	87
Figura 4.10	Transporte de Sedimentos Debido al Oleaje	91

Capítulo 5 APROVECHAMIENTO HIDRAULICO EN UN DESARROLLO TURISTICO: UN EJEMPLO DE APLICACIÓN

Figura 5.1	Localización de Inmobiliaria Punta Ballena	110
Figura 5.2	Características Físicas de Inmobiliaria Punta Ballena	111
Figura 5.3	Localización de Punta Ballena en el Cuadrante 14 del Ows	113
Figura 5.4	Rosa de Oleaje Normal Anual, Los Cabos, B.C.S.	114
Figura 5.5	Diagrama de Refracción de Oleaje Normal, Dirección S30°E	118
Figura 5.6	Diagrama de Refracción de Oleaje Normal, Dirección S60°E	119

Figura 5.7	Diagrama de Refracción de Oleaje Normal, Dirección Sur	120
Figura 5.8	Diagrama de Refracción de Oleaje Normal, Dirección S30°E	121
Figura 5.9	Obra de Toma para la Planta Desalinizadora de Punta Ballena	125
Figura 5.10	Niveles de Seguridad de la Obra de Toma	126
Figura 5.11	Planta Desalinizadora Tipo Osmosis Inversa, producción 1000 m ³ /día	128
Figura 5.12	Planta Desalinizadora Tipo Osmosis Inversa, producción 200 m ³ /día	128
Figura 5.13	Diagrama Unifamiliar de Conexiones Eléctricas	129

LISTA DE CUADROS

Capítulo 1 ANTECEDENTES

Cuadro 1.1	Normas Oficiales Mexicanas en Materia del Agua	6
Cuadro 1.2	Usos consuntivos del agua	7
Cuadro 1.3	Problemática Hidráulica por Regiones Administrativas Comparativa de Indicadores	13

Capítulo 2 DESALINIZACION DEL AGUA

Cuadro 2.1	Ventajas y desventajas de las diferentes técnicas de desalinización	44
Cuadro 2.2	Datos generales sobre 16 plantas solares construidas en México, de 1974 a 1977	46

LISTA DE GRAFICAS

Capítulo 2 DESALINIZACION DEL AGUA

Gráfica 2.1	Consumo de energía mediante ósmosis inversa	53
Gráfica 2.2	Costos de inversión en función de la capacidad de las plantas	54
Gráfica 2.3	Costos de la ósmosis inversa	54

LISTA DE TABLAS

Capítulo 2 DESALINIZACION DEL AGUA

Tabla 2.1	Costo energéticos por m ³ para los procesos de destilación	51
Tabla 2.2	Costo de consumo eléctrico por m ³ para plantas por destilación	52
Tabla 2.3	Costo de inversión por m ³ para plantas por destilación	52
Tabla 2.4	Costo de operación y mantenimiento; repuestos y requerimientos químicos	52
Tabla 2.5	Costo de inversión por m ³ para plantas por destilación	53

Tabla 2.6	Comparativa de costos por m ³ para procesos idóneos con aguas salobres	56
Capítulo 3 IMPACTO AMBIENTAL DE LA DESALINIZACION DEL AGUA		
Tabla 3.1	Sustancias añadidas durante el proceso de desalinización	64
Capítulo 4 CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA UN APROVECHAMIENTO HIDRAULICO BASADO EN DESALINIZACION		
Tabla 4.1	Características de la onda Progresiva	88
Tabla 4.2	Expresiones de Geotecnia Empleadas en Zonas Costeras	97
Tabla 4.3	Expresiones Hidráulicas Empleadas en Proyectos Desalinizadores	98
Tabla 4.4	Expresiones Estructurales Empleadas en Proyectos Desalinizadores	101
Tabla 4.5	Características del Agua según NOM-127-SSA I-1994	102
Capítulo 5 APROVECHAMIENTO HIDRAULICO EN UN DESARROLLO TURISTICO: UN EJEMPLO DE APLICACIÓN		
Tabla 5.1	Oleaje Característico en la Zona de Punta Ballena	113
Tabla 5.2	Niveles Característicos de Marea en Cabo San Lucas	115
Tabla 5.3	Oleaje Extremal Producido por Huracanes	117
Tabla 5.4	Marejada de Tormenta	117
Tabla 5.5	Unidades Geoeléctricas en Punta Ballena	122
Tabla 5.6	Determinación de Nivel de Seguridad	125
Tabla 5.7	Resultados del Régimen Establecido y Transitorio	127

INTRODUCCION.

Uno de los problemas que se avecina en el siglo XXI es la escasez de agua, la transferencia de volúmenes de las zonas con excedentes hídricos a zonas donde escasea es una solución presente en muchas ocasiones, sin embargo no es la mejor opción debido a la tendencia climática actual de constantes y bruscas variaciones en cuanto al régimen de precipitaciones.

La Tierra en un 70% esta cubierta por agua, aunque esta sólo representa el 0.07% de su masa y el 0.4% de su volumen. Nuestro planeta tiene 1,360 millones de kilómetros cúbicos de agua, el 98% es agua salada, la mayor parte del 2% del agua dulce se localiza en los casquetes polares o en los acuíferos, quedando sólo con el 0.014% disponible en lagos y ríos para el consumo humano.

Debido a que el agua tiene una estrecha relación con las actividades humanas, tanto para su desarrollo como para su propia sobrevivencia, es importante resolver los problemas relacionados con su demanda y abasto, que se enfatizan debido a que la distribución del agua no es uniforme en tiempo ni en espacio, ya que existen regiones que cuentan con grandes cantidades de agua mientras existen otras donde la escasez es tal que limita cualquier clase de vida. El problema de la disponibilidad se complica cuando la cantidad de agua se relaciona con la población y su desarrollo.

La República Mexicana tiene una precipitación media anual de 777 milímetros, equivalente a 1,640 kilómetros cúbicos. Del agua que se precipita en el territorio mexicano, el 27% (410 mil millones de metros cúbicos) se transforma en escurrimiento superficial, localizados en las 320 cuencas del país. Otra parte de la lluvia se infiltra. Aunque aparentemente tengamos agua suficiente para la población total, si nuestro país sigue con la tendencia de desperdicio y haciendo de lado las nuevas políticas de desarrollo sustentable -que algunos países ya comienzan a implementar-, este recurso pasará a ser uno de los problemas más serios de nuestra historia.

Existen regiones del mundo donde la escasez del agua es tal que se han visto en la necesidad de crear nuevas tecnologías para abastecer a su población con el vital líquido, que según los expertos puede llegar a ser causa de conflictos regionales e incluso internacionales. Una de estas técnicas se basa en el agua de mar, y se llama desalinización o desalación, la cual separa el agua salina para obtener, por un lado agua con baja concentración de sales disueltas, que es el flujo de agua potable y por otro lado, agua con una elevada concentración de sales, la salmuera, la cual se reintegra al sistema.

En nuestro país, la escasez del agua en algunas regiones ha dado pie a implementar este tipo de tecnologías con buenos resultados, muy concretamente el desarrollo ha sido para la parte del norte del territorio mexicano, en estados como Baja California, Baja California Sur, Sonora y Sinaloa, así como en atractivos turísticos del Caribe mexicano, entre otros. La desalinización del agua es un medio viable para producir agua de buena calidad exenta de dificultades técnicas, además de ser una atractiva aplicación para las energías renovables.

Este trabajo presenta de manera resumida los diversos procesos para la desalación de agua de mar y salobre sin profundizar en los principios físicos en que se basan, consta de seis capítulos, el capítulo primero es una vista panorámica de la problemática del agua en nuestro país así como la necesidad de desalar el agua; en el capítulo dos se presentan algunas técnicas de desalinización, se hace una comparación y se comentan algunas ventajas y desventajas tanto en procesos, eficiencias y costos. El capítulo tres se refiere al impacto ambiental de la desalinización del agua y algunas medidas de mitigación, también se mencionan algunos aspectos en materia de legislación para esta técnica. En el capítulo cuarto se presentan las consideraciones para el diseño de un aprovechamiento hidráulico basado en la desalinización, se comentan los elementos que integran el aprovechamiento, así como los parámetros y criterios de diseño, y los aspectos económicos y financieros del mismo. En el capítulo quinto se estudia un ejemplo de aplicación ubicado en Baja California, y finalmente se dan algunas recomendaciones y se presentan las conclusiones a este trabajo.

1. ANTECEDENTES.

El agua se ha convertido en un tema de preocupación mundial y es motivo de discordia política en muchas regiones del mundo por su importancia social y económica, ya que el agua es medio fundamental para el proceso de vida de los seres humanos y el desarrollo de sus diversas actividades, pero las alteraciones en el ciclo hidrológico, la sobreexplotación, la contaminación, el mal uso, el desperdicio del agua, así como la degradación del medio ambiente en general producto del hombre, han ocasionado la ruptura de los equilibrios en los ecosistemas y dañado seriamente la calidad y cantidad del agua, propiciando una competencia por este recurso.

Este problema se da de igual manera en México, por lo que el presente capítulo pretende mostrar los indicadores básicos de la problemática del agua en el país, valuados en forma física como numérica y basados en la población y disponibilidad del agua; también como el de repasar aspectos generales del país, tanto en la distribución y la disponibilidad geográfica y temporal del agua, para poder definir el desarrollo sustentable de este recurso y con base en estas características describir la necesidad de la desalinización de agua de mar en las regiones que presenten condiciones adversas como la escasez de agua dulce y condiciones idóneas como son las climáticas y los desarrollos en zonas litorales.

Cabe mencionar que México es un país con características desérticas, semidesérticas y selváticas por su ubicación geográfica, situado en la latitud norte de la franja comprendida entre los trópicos y el ecuador; por lo que más de la mitad de su territorio registra un clima seco que origina sequías persistentes y produce una mala distribución temporal y espacial del agua; esto no es sólo un fenómeno de orden natural sino también de orden social ya que donde se concentra tres cuartas partes del total del agua en el país (sureste) se tiene menos de una cuarta parte de la población y desarrollo; en contraste con el noreste, norte y centro del país que concentran tres cuartas partes de la población y una cuarta parte del total del agua.

1.1 Problemática del Agua en México.

El problema del agua en México, no es la cantidad total de la que dispone anualmente, sino su distribución temporal y espacial que es muy irregular a lo largo y ancho del territorio nacional; sumado a esto están también las diferencias en la distribución de la población y de sus actividades productivas y de desarrollo, como es el hecho de que las mayores demandas se tienen en zonas de menor disponibilidad y las zonas con abundante agua no se aprovecha adecuadamente.

Es conveniente señalar que el conocimiento de los recursos hidráulicos del país aún es insuficiente debido, por una parte a la extensión territorial y por otra parte a la propia naturaleza del agua, que obliga a medirla en las diversas fases del ciclo hidrológico, en cantidad y calidad.

Aspectos Físicos.

El terreno del país es muy accidentado, montañoso por excelencia con formas geológicas jóvenes. Se caracteriza por sus planicies, altiplanos, valles, serranías abruptas y volcanes elevados que yacen sobre una corteza que asciende de norte a sur en la meseta Central y alcanza elevaciones máximas en su conjunción con el Eje Neovolcánico, llegando a ser de 5,610 m sobre el nivel del mar en el Pico de Orizaba.

La acentuada morfología tiene como consecuencia que el país intercepte con sus cumbres una porción importante de vientos húmedos provenientes de ambos océanos. La parte central de México se encuentra bajo el Trópico de Cáncer -una franja orbital de desiertos- y su porción sur pertenece al cinturón tropical de la Tierra; esta última condición aunada a su altura y el hecho de que el continente se adelgaza a 200 km entre dos mares en el Istmo de Tehuantepec, da origen a fuertes lluvias en el sur y sureste. Es por ello que en esta región montañosa y lluviosa se desarrollan los cinco ríos más caudalosos del país: Usumacinta, Grijalva, Papaloapan, Balsas y Lerma-Santiago.

La variación de intensidad de la lluvia durante todo el año y su distribución espacial dificulta su aprovechamiento de acuerdo a las demandas de la población, que generan problemas de escasez, que se agravan por la baja eficiencia con la que se usa el recurso; aunado a ello, la infraestructura hidráulica no se aprovecha plenamente debido a que se encuentra inconclusa, se opera con deficiencia o por la falta de mantenimiento.

Por lo que se refiere al clima, debido a su latitud y a su topografía, México cuenta con una gran diversidad de climas: desde los cálidos, con temperaturas medias anuales mayores a 26°C, hasta los fríos, con temperaturas menores de 10°C; sin embargo, el 93% del territorio nacional oscila entre temperaturas de 10 a 26° C, que puede ser cálido o templado, ambos subdivididos en húmedo, subhúmedo, seco y muy seco.

El clima y sus variaciones afectan indudablemente la disponibilidad del agua e impactan en las actividades productivas del país, como la agricultura, la ganadería, la pesca, la generación de electricidad, la industria y comunicaciones.

Además, las sequías debidas a la escasez de lluvia que se mantiene por periodos prolongados en las zonas del norte del territorio mexicano, han impactado considerablemente el abastecimiento de agua de las poblaciones, la agricultura y la generación de electricidad.

En contraste la ubicación del país lo hace vulnerable a los embates de los huracanes que se generan tanto en el Océano Pacífico como en el Atlántico, los efectos de estos fenómenos son las lluvias intensas que originan inundaciones y deslaves aún en el interior del territorio; pero,

estos efectos también se presentan como resultado de las tormentas que se generan en temporada de lluvias.

Aspectos Económicos-Financieros.

El proceso de desarrollo y avance tecnológico, a la par de procurar el mejoramiento de los niveles de vida de la sociedad, ha desencadenado procesos de concentración económica y demográfica en muchas regiones y ciudades del país, alterando la calidad de vida de la población que tiene un impacto significativo sobre los recursos naturales y el medio ambiente.

El crecimiento de la población y la expansión de los asentamientos humanos en general ha aumentado hacia el norte, noroeste y centro del país, donde se dispone del 28% del agua a nivel nacional y se concentra el 77% de la población mexicana, se genera el 84% PIB nacional y se tiene el 92% de las zonas agrícolas irrigadas.

En el año 2000, el Producto Interno Bruto (PIB) de México ascendió a 574,445 millones de dólares, la distribución fue la siguiente: el agropecuario 4.3%; el industrial 28%, donde las manufacturas constituyen el 73 por ciento de este valor; y el sector de los servicios 67.7%, donde sobresalen los comunales, sociales y personales con el 33.8 por ciento de este valor.

La población económicamente activa -según la Encuesta Nacional de Empleo 1999-, es del orden del 56% de la población de 12 años y más, la cual asciende a 39'751,385 personas.

En lo que respecta al financiamiento para hacer posible el abasto de agua potable a las comunidades y garantizar su desarrollo, el gobierno es el principal sustento de los programas de construcción, operación y conservación de la infraestructura hidráulica a través de la Comisión Nacional del Agua (CNA). Pero estos recursos no son suficientes para atender las necesidades del sector.

Por ello, el Gobierno Federal ha recurrido al financiamiento para apoyar el desarrollo de programas de agua potable, alcantarillado y saneamiento, infraestructura hidroagrícola, así como la administración y manejo del agua; aprovechando líneas de crédito preferenciales con tasas de interés competitivas y largos periodos de amortización, entre los que destacan los créditos bilaterales y multilaterales con mezcla de recursos. Los préstamos en operación hasta septiembre de 2000 ascienden a 2,268.2 millones de dólares.

Aspectos Políticos.

La política del agua en el país, esta asociada a deficientes visiones que a las propias necesidades, disponibilidad y calidad, como son:

- Concentración de funciones en materia del agua.
- Atención centrada en los problemas de corto plazo, sin considerar planes y programas asociados a una visión más amplia que permita dar solución definitiva a los problemas en el suministro del servicio.

- Deficiencias administrativas y operativas derivadas de la constante rotación del personal.
- Ineficiencia de los usos público-urbano y agrícola.
- Poco o escaso mantenimiento a las obras de conducción y distribución del agua.
- Tarifas asociadas a visiones políticas para atraer a los electores; considerando a el agua como un don o bien público casi gratuito.
- Deficiencias en la recaudación por concepto de cobro de derechos.
- Poca cultura sobre el agua y su importancia económica, social y ambiental.

Aspectos Legales y Normativos.

Como resultado de las actividades productivas y demográficas del país se ha generado contaminación en el medio ambiente y al mismo tiempo, se ha presentado la necesidad de desarrollar mecanismos de control mediante leyes y normas para proteger el medio ambiente; desde 1971 se han desarrollado controladores ambientales cuando se emitió la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental.

A partir de esta ley, se han dado una serie de fuertes cambios que han ido reforzando la protección ambiental, enfocada al control y prevención de la contaminación, en nuestro caso particular, del agua, se creó la Ley de Aguas Nacionales, publicada el 1 de diciembre de 1992 en el diario oficial de la federación.

Actualmente la CNA, organismo descentralizado de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat), organismo gubernamental, se encarga de vigilar que estas leyes sean correctamente aplicadas y emitir normas que promuevan la preservación del recurso atendiendo los problemas del agua no contabilizada, la reducción en el consumo de agua domiciliaria y la disminución de la contaminación de las fuentes de abastecimiento, impulsando la reutilización de las aguas.

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de protección de las aguas nacionales, constituyen el conjunto de reglas científicas o tecnológicas que establecen los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles, establecidas por la CNA, y que tienen por objeto, garantizar la conservación, seguridad y calidad en la explotación, uso, aprovechamiento y administración del recurso hidráulico. Las normas emitidas en relación con el agua y el medio ambiente se presentan en el cuadro 1.1.

Cuadro 1.1 Normas Oficiales Mexicanas en Materia del Agua.

Norma	Relativa a:	Publicación en el DOF
NOM-001-ECOL-1996	Límites máximos permisibles de contaminantes de las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales	6 de enero de 1997
NOM-002-ECOL-1996	Límites máximos permisibles de contaminantes de las descargas de aguas residuales en los sistemas de alcantarillado urbano municipal	3 de junio de 1998
NOM-003-ECOL-1997	Límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios al público	21 de septiembre de 1998

NOM-001-CNA-1995	Sistemas de alcantarillado sanitario, especificaciones de hermeticidad	11 de octubre de 1996
NOM-002-CNA-1995	Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable, especificaciones y métodos de prueba	14 de octubre de 1996
NOM-003-CNA-1996	Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de aguas para prevenir contaminación de acuíferos	3 de febrero de 1997
NOM-004-CNA-1996	Requisitos para protección de acuíferos durante el mantenimiento, rehabilitación, y cierre de pozos de extracción de agua	8 de agosto de 1997
NOM-005-CNA-1996	Especificaciones y métodos de prueba de fluxómetros	25 de julio de 1997
NOM-006-CNA-1997	Especificaciones y métodos de prueba para fosas sépticas prefabricadas	29 de enero de 1999
NOM-007-CNA-1997	Requisitos de seguridad para la construcción y operación de tanques de agua	1 de febrero de 1999

Fuente: CNA, El agua en México: retos y avances, 2000.

Es indudable que México cuenta con una fuerte estructura en materia de legislación y normatividad ambientales; sin embargo, aún faltan muchos aspectos por cubrir en este campo, además de reforzar las actividades de vigilancia y que todos los ciudadanos participemos en las actividades de protección ambiental.

Aspectos Sociales y Culturales.

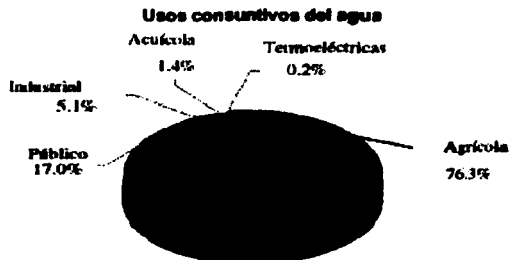
El país presenta un desequilibrio estructural por las condiciones naturales que se combinan adversamente por la concentración de su población y de sus actividades económicas; en el 30% del territorio nacional, ubicada en el norte, se genera tan sólo el 4% del escurrimiento, mientras que en el 20% de la superficie del país, en el sureste se genera el 50%.

De acuerdo con los resultados del INEGI, la población nacional en el 2000 es de 97.6 millones de habitantes; el 73% se concentra en localidades urbanas y el resto en cerca de 200 mil localidades rurales, con una tasa de crecimiento anual del 1.5%. Se presentan rezagos en materia de bienestar social y desarrollo económico, sumado a ello, la baja conciencia que se tiene sobre la importancia del agua y su valor económico, provoca su desperdicio y mal uso.

De los usos que tiene el agua en el país de acuerdo con la CNA, para 1998 se emplearon en México 79.4 km³ de agua para los diversos usos consuntivos (sin considerar la evaporación en vasos), de los cuales el 65% fueron de origen superficial y el 35% subterráneo. Los usos y origen del agua que se tuvieron en 1998 se presentan en el cuadro 1.2.

Cuadro 1.2 Usos consuntivos del agua.

Uso	Origen		Volumen total	Porcentaje
	Superficial	Subterráneo		
	Km ³	Km ³	Km ³	Km ³
Agrícola	44.4	16.1	60.5	76.3
Público (incluye industria y servicios)	4.1	9.4	13.5	17.0
Industrial (industria autoabastecida)	1.6	2.5	4.1	5.1
Acuícola	1.1	0	1.1	1.4
En termoeléctricas	0	0.2	0.2	0.2
Total	51.2	28.2	79.2	100.0



Fuente: CNA, El Agua en México: retos y avances, 2000.

También se tiene un rezago a nivel nacional en coberturas de agua potable del orden del 87% (con el 95% en zonas urbanas y del 66% en zonas rurales) y de saneamiento del orden del 73% (con 87% en zonas urbanas y el 33% en zonas rurales).

Aspectos Tecnológicos.

Aunque en cada región del mundo existen diversos procedimientos para la captación, conducción, potabilización, distribución y reciclaje del agua, la tecnología nos da la capacidad de solución de problemas concretos para poner la naturaleza al servicio del hombre; pero hay que cuidar que no sea utilizada para agotar los recursos y que destruya la naturaleza.

El Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) es la instancia principal de investigación en lo que respecta al agua, para alcanzar tecnologías y procedimientos eficientes normativos para promover el desarrollo sustentable del vital líquido.

A partir de 1986, el apoyo tecnológico se amplió para soportar nuevos programas de racionalización de la demanda, con líneas de investigación y desarrollo tecnológico para el uso eficiente del agua y la infraestructura hidráulica y para el control de la contaminación del recurso.

Asimismo, la automatización y mejoramiento de equipos permitirán la predicción de la demanda y abastecimiento de agua para sus diferentes usos y prevención a las poblaciones, aumentando la confianza de los administradores de agua. Estas tecnologías y metodologías ofrecen una oportunidad para garantizar la sustentabilidad del recurso y proteger los derechos de agua.

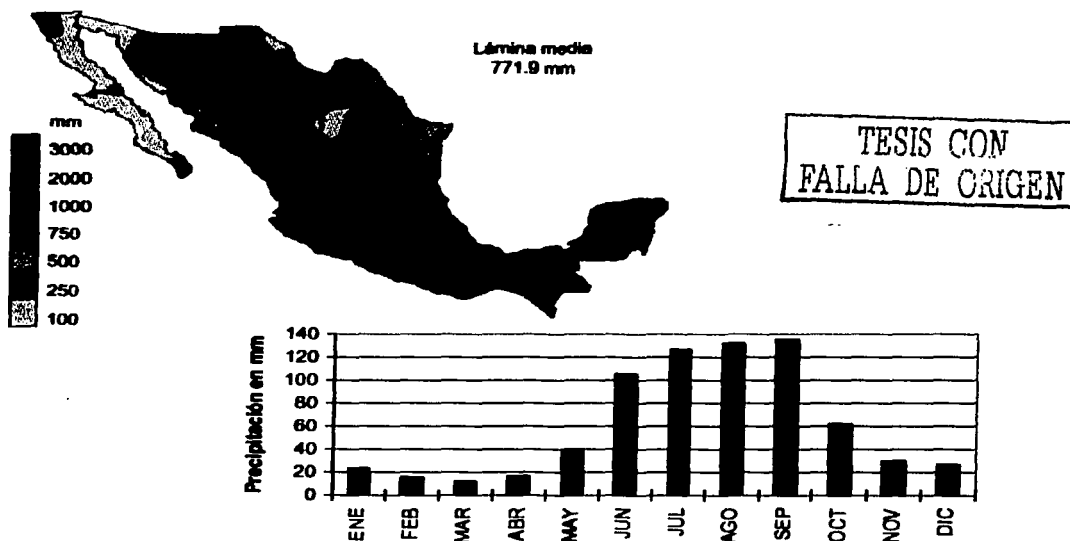
La tecnología del agua en México ha evolucionado apoyando la realización de los programas gubernamentales tradicionales orientados a incrementar la oferta con la construcción de nueva infraestructura de aprovechamiento y control.

Distribución Geográfica y Temporal del Agua.

La disponibilidad natural del agua en el país presenta marcados contrastes ocasionados por la intensidad variable con la que ocurre la lluvia a lo largo de sus 1,978,595 km² de extensión territorial y su ocurrencia durante el año.

De los 772 mm de lluvia que en promedio se precipitan anualmente en el territorio que equivale a un volumen de 1,521 km³, el 67% ocurre de junio a septiembre, lo que dificulta su aprovechamiento, dado su carácter torrencial en la generalidad de los casos, como se muestra en la figura 1.1. La escasa precipitación, principalmente en la porción norte del país, causa periódicamente sequías; en contraste, su abundancia originada por huracanes y tormentas de la temporada de lluvia provoca severos daños por inundaciones en amplias zonas del territorio nacional.

Figura 1.1 Arriba: Precipitación media anual promedio, Abajo: Precipitación media mensual promedio.



Fuente: CNA, Compendio Básico del Agua en México, 2001.

El 73% de la lluvia se evapora, el escurrimiento superficial anual medio es de 410 Km³ y la recarga natural es de 53 Km³, y la disponibilidad natural teórica per cápita en México es de 4,900 m³/hab/año.

Las condiciones naturales antes mencionadas se combinan adversamente con el hecho de que la mayor parte de la población y de la actividad económica del país se concentran donde el agua es escasa: con el 77% de la población nacional se genera el 84% del Producto

Interno Bruto (PIB) donde se tiene el 28% del escurrimiento, lo que ha propiciado una fuerte competencia por el agua, la contaminación del recurso y su sobreexplotación.

Disponibilidad Superficial y Subterránea.

El escurrimiento superficial virgen promedio anual es de 410 km³; en la península de Baja California, norte de Sonora y Mesa del Norte existen zonas áridas en donde prácticamente no hay escurrimientos superficiales; en contraste, en la vertiente del Golfo y el resto de las vertientes del Pacífico existen zonas donde el escurrimiento es alto y el drenaje natural es insuficiente, por lo que con frecuencia se presentan inundaciones. La disponibilidad relativa del agua superficial se presenta en la figura 1.2.

Debido a la variabilidad temporal y espacial de los escurrimientos, es imposible aprovechar totalmente el escurrimiento superficial virgen y, con la infraestructura hidráulica de almacenamiento actual proporciona una capacidad del orden de 150 km³, lo que se traduce en una capacidad de regulación de 82 km³. De esta capacidad el 32% se destina a la generación de energía eléctrica, el 60% son utilizadas para las demandas consuntivas y el resto se evapora.

Por otra parte, se presentan diferencias en la disponibilidad del agua a lo largo del territorio porque la mayoría de los cuerpos de agua superficial reciben descargas de aguas residuales sin tratamiento, lo que ha ocasionado grados variables de contaminación que limita algunos de los usos directos del agua.

En lo que respecta a el agua subterránea, se han identificado 650 acuíferos en el país, de los cuales 450 destacan por su extensión, capacidad e importancia. El 70% del volumen de agua que se suministra a las ciudades proviene del subsuelo. La recarga natural promedio de los acuíferos es del orden de 53 km³ al año, que se suma a la recarga inducida en zonas de riego, estimada del orden de 15 km³, que resulta en un total de 68 km³ por año.

En forma puntual existe una fuerte sobreexplotación en 100 acuíferos que se ubican en el centro, noroeste y norte del país, donde la cantidad extraída es mucho mayor a la de su recarga, lo que provoca que la reserva de agua de agua se esté minando a un ritmo de cerca de 8 km³ por año. Además la sobreexplotación ha inducido a problemas de intrusión salina en 18 acuíferos en los estados de Baja California, Baja California Sur, Colima, Sonora, y Veracruz. Esto ha generado diversas consecuencias, dentro de ellas se encuentra el grave impacto ecológico irreversible de las primeras décadas de sobreexplotación, que se tradujo en el agotamiento de manantiales, desaparición de lagos y humedales, reducción de los caudales base de los ríos, eliminación de vegetación nativa y pérdida de ecosistemas.

El desarrollo de las regiones afectadas por la sobreexplotación de acuíferos es limitado y se agravará aún más de persistir la tendencia climática de los últimos años, caracterizada por condiciones extremas que incluyen sequías más severas, prolongadas y frecuentes, las cuales tendrán un impacto negativo sobre la disponibilidad del agua superficial y la renovación de

los acuíferos. La distribución de agua subterránea y los acuíferos sobreexplotados se muestran en la figura 1.3.

Figura 1.2 Disponibilidad relativa de agua superficial.



Fuente: CNA, Programa Hidráulico 1995-2000, 1995.

Figura 1.3 Cuerpos de agua subterránea.



Fuente: CNA, Compendio de Planos del Agua, 2001.

Grado de Contaminación

La contaminación afecta tanto el agua superficial como el agua subterránea y disminuye notablemente la disponibilidad determinada en los balances volumétricos.

La mayor parte de los cuerpos de agua superficial del territorio nacional reciben descargas de aguas residuales sin tratamiento, ya sea de tipo doméstico, industrial, agrícola o pecuario, lo que ha ocasionado grados variables de contaminación que limitan el uso directo del agua.

Para precisar el grado de contaminación y el posible aprovechamiento de las aguas superficiales se aplica el Índice de Calidad del Agua (ICA) que toma en cuenta 16 parámetros y otorga una calificación en tres intervalos: para valores de ICA entre 0 y 40 se considera que la calidad del agua es mala, entre 40 y 70 se define como media y, arriba de 70 como buena.

De acuerdo con los resultados de la evaluación para el periodo 1974-1995, las cuencas con mayor grado de contaminación son las de Lerma, Alto Balsas, Alto Pánuco y porciones del Bajo Bravo; y por regiones administrativas I Península de Baja California, VIII Lerma-Santiago-Pacífico y XIII Valle de México presentan el mayor deterioro de los recursos de aguas superficiales.

Cabe señalar que los principales contaminantes presentes en las aguas de los cuerpos receptores son en orden decreciente los siguientes: coliformes fecales, grasas y aceites, ortofosfatos, sólidos disueltos y detergentes.

La sobreexplotación en los acuíferos ha ocasionado que la calidad del agua se haya deteriorado, principalmente por intrusión salina y migración de agua fósil de mala calidad inducida por los efectos de bombeo, así por la contaminación difusa en las ciudades y zonas agrícolas.

Otro problema potencial importante en la contaminación de acuíferos, es el resultado del vertido de efluentes urbanos e industriales no tratados que se descargan directamente en las áreas de recarga; en este sentido no existen datos sustantivos que permitan evaluar su evolución.

Regiones Hidrológicas-Administrativas y su Problemática Particular.

Para obtener un conocimiento más detallado de los recursos hidráulicos en el país, la CNA considera como componente fundamental que el recurso debe administrarse por regiones hidrológicas-administrativas para regular su buen uso y preservación, así como la de identificar su problemática particular buscando alternativas de solución con el objeto de garantizar e inducir el uso sustentable y económicamente eficiente del agua, con la participación de la sociedad para hacer más eficaz la administración y la planeación del líquido.

Por ello, las 314 cuencas hidrológicas con las que cuenta el país han sido agrupadas en 61 subregiones hidrológicas, 37 regiones hidrológicas y 13 regiones administrativas (en cada una de ellas existe un Gerente Regional de la CNA) que están delimitadas por criterios hidrológicos y para fines de administración del agua abarcan municipios completos. La demarcación de estas regiones se muestra en la figura 1.4.

Cada una de las regiones del país presenta una serie de particularidades en torno a su problemática hidráulica, resultado de su desarrollo social y económico, su ubicación geográfica y los patrones de consumo de agua que resultarían extensos de describir, por lo cual se resumen en el cuadro 1.3.

Figura 1.4 Regiones Hidrológicas-Administrativas



Fuente: CNA, Compendio Básico del Agua en México, 2001.

El número, lugar y circunscripción territorial de cada Gerencia Regional de la comisión Nacional del Agua fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 18 de mayo de 1998 y los cambios subsiguientes se han publicado en el mismo medio.



El grado de consolidación técnica y administrativa entre las regiones es variable. Paulatinamente, Las gerencias Regionales han ido incorporando actividades que eran realizadas desde el nivel central, con el objetivo de garantizar e inducir el uso sustentable y económicamente eficiente del agua.

Por lo que se transfirió de manera gradual a las autoridades locales y a los usuarios, la responsabilidad de construir y operar la infraestructura hidroagrícola y la infraestructura hidráulica urbana (consolidando previamente las acciones a realizar con el área de oficinas centrales correspondiente) y para que los Estados y Municipios atiendan con mayor agilidad los problemas de sus localidades.

Cuadro 1.3 Problemáticas Hidráulicas por Regiones Administrativas. Comparativa de indicadores



Región Administrativa	Aspectos Físicos	Aspectos Económicos	Problemática del Agua	
I Península de Baja California Se divide en dos regiones Baja California y Baja California Sur Baja California, Baja California Sur y el municipio San Luis Río Colorado, Son.	- 149,000 km ² de superficie (8% del territorio nacional) - 3,605 Km de litorales (25% del total nacional) - Clima: de seco a cálido - 18 a 24 °C de temperatura promedio - Sequías frecuentes y prolongadas	- 2.6 millones de habitantes (2.9% de la población mexicana) 90% concentrada en la frontera 9% en el extremo sur y 10% distribuida en la península - 4.6% en crecimiento poblacional por arriba del 1.7% nacional - Participa con el 3% del PIB nacional, con una tasa media anual del 1.7% 10% sector primario (maquiladoras) 18% sector secundario 72% sector terciario - Niveles de bienestar social superiores a los del promedio nacional - Disponibilidad de agua per-cápita 1,434 m ³ /hab/año calificación 2.9°	- Conformación de cuencas abiertas - Precipitación pluvial escasa: 181 mm/año - La evaporación media potencial sobrepasa los 1,800 mm/año - Baja periodicidad de avenidas extraordinarias - Se dispone de 3,600 Mm ³ /año para los diferentes usos con un gran dependencia de aguas subterráneas (48% del volumen extraído) 90% uso agrícola 9% uso urbano 1% otros usos - Escorrentimiento virgen medio de 2,500 Mm ³ anuales, a través de 84 corrientes litorales abruptas y de corto recorrido - Capacidad de almacenamiento es de 220 Mm ³ /año en 7 presas. - Alta incidencia de ciclones que provocan serios daños por inundaciones al sur de la región	- Las extracciones en los acuíferos de la región son de 1,700 Mm ³ /año y la recarga es de 1,580 Mm ³ /año, de los 88 acuíferos que dispone la región, 4 son sobreexplotados que son: Valle de Mexicali, Mesa Ancones, Sio. Domingo y Vizcaino - Adicionalmente existe contaminación por intrusión salina en 13 acuíferos y el Río Colorado con índices de salinidad de 2,000 ppm - Resagos en el abasto de servicios básicos, con una cobertura regional: 87% en agua potable 76% en alcantarillado 40% de agua no contabilizada - Baja eficiencia en los sistemas de riego, ya que sólo aprovecha el 40% de las aguas - Deficiente tratamiento de aguas residuales lo que provoca problemas puntuales de contaminación en la región, que debe conservarse y proteger el medio ambiente

Cuadro 1.3 Problemática Hidráulica por Regiones Administrativas. Comparativa de Indicadores.



Región Administrativa	Aspectos Físicos	Aspectos Económicos	Problemática del Agua
<p align="center">II Noroeste</p>  <p>5 subregiones: Mayo, Yaqui, Sonora, Concepción y Sonoyta</p> <p>72 municipios del estado de Sonora y 7 municipios del estado de Chihuahua</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 216,000 Km² de superficie (11% del territorio nacional) - 860 Km de litorales correspondientes al estado de Sonora - Los climas predominantes son de carácter seco y semiseco - En los últimos 50 años se han registrado 3 periodos críticos de sequías 	<ul style="list-style-type: none"> - 2.2 millones de habitantes en la región (2.4% de la población nacional) 78% se ubica en 10 ciudades 22% es población rural - Participa con el 2.7% del PIB nacional 14% sector primario 33% sector secundario 72% sector terciario - Grado de marginación: medio a bajo - Disponibilidad de agua per-cápita 3,415 m³/hab/año calificación 6.8* 	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitación media de 429 mm anuales - Se presenta ciclones con una incidencia de 2 a 4 años y frentes fríos que ocasionan precipitaciones que generan avenidas de desbordamientos; las zonas con mayor afectación son los valles del Yaqui y Mayo - Las extracciones para los usos consuntivos son en promedio de 7,440 Mm³/año; 66% corresponden a aguas superficiales y el resto a aguas subterráneas 94% al uso agrícola 5% uso urbano 1% uso industrial - Escurrimiento virgen medio de 5,400 Mm³ al año; los ríos Yaqui y Mayo concentran Mm³/año - La región cuenta con una importante capacidad de regulación a través de 27 presas con un almacenamiento de 9,300 Mm³ - De los 47 acuíferos de que depende la región 19 se encuentran en equilibrio 15 subexplotados y 13 sobreexplotados como son el Costa de Hermosillo, Valle de Guaymas, El Sahural y Caborca, que presentan intrusión salina - Deficiente suministro de servicios básicos: 92% de agua potable 72% de alcantarillado y saneamiento casi nulo (2,683 lps) - Contaminación de cuerpos de agua, por las descargas sin control y tratamiento - Los sistemas de riego sólo alcanzan el 40% de eficiencia global promedio - Daños por inundaciones y sequías, que se presenta uno por década en la región - Competencia entre los usos de agua, debido a que al aumento de la población urbana demanda del recurso, compitiendo con el sector agrícola
<p align="center">III Pacífico Norte</p>  <p>Con 5 subregiones: Norte, Centro-Norte, Centro-Sur, Turpan y Guadiana</p> <p>Esta comprendido por el estado de Sinaloa y porciones de los estados de Chihuahua, Nayarit, Durango y Zacatecas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 150,000 km² de superficie (8% del territorio nacional) - 650 Km de litorales que corresponden al estado de Sinaloa - Clima en general de seco a cálido - Temperatura media de 17 a 25 °C 	<ul style="list-style-type: none"> - 3.7 millones de habitantes (4.1% de la población mexicana) 40% concentrada en 6 ciudades 22% en localidades medias y 38% es población rural - Participa con el 3.3% del PIB nacional, basado en la agricultura, la ganadería, la pesca y el turismo que se concentra básicamente en Mazatlán - Disponibilidad de agua per-cápita 6,370 m³/hab/año calificación 10.0* 	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitación media de 820 mm/año y su distribución espacial representa fuertes variaciones 450 mm en las planicies costeras del norte 1,200 mm en las partes bajas del sur - Las extracciones para usos consuntivos para la región son de 10,200 Mm³ al año 93% se emplea para la agricultura 4% para uso público 3% en otros usos - Escurrimiento superficial es de 23,950 Mm³ al año (representa el 5% del total nacional) - Cuenta con una importante infraestructura hidráulica, con el fin de adaptarla a las demandas de agricultura, urbanas, generación de electricidad y control de avenidas, con una capacidad de 13,500 Mm³ - La región cuenta con una importante capacidad de regulación a través de 27 presas con un almacenamiento de 9,300 Mm³ - Sobreexplotación de acuíferos en la sub-región Guadiana del orden del 30%, que corresponde al estado de Durango - Las coberturas de servicios básicos en la región son aproximadamente en Agua potable: 93% urbana y 73% rural Alcantarillado: 86% urbana y 32% rural Agua no contabilizada en ciudades: 50% - Deficiencia en riego, con un aprovechamiento, apenas del 38% - El problema de la degradación del agua es prácticamente en toda la región con un saneamiento de 2,971 lps - Problema de inundaciones causado por la poca capacidad de control de avenidas, al ordenamiento territorial inadecuado, por falta de programas de prevención y monitoreo en la región

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Cuadro 1.3 Problemática Hídrica por Regiones Administrativas. Competitiva de Indicadores.



Región Administrativa	Aspectos Físicos	Aspectos Económicos	Problemática del Agua	
<p align="center">IV Balsas</p>  <p>3 subregiones que son: Tepalcatepec, Medio balsas y Alto Balsas</p> <p>Incluye completamente al estado de Morelos y parcialmente a los estados de Tlaxcala, Puebla, Oaxaca, México, Michoacán, Jalisco y Guerrero.</p>	<p>199,000 km² de superficie (6% del territorio mexicano)</p> <p>La región está conformada por dos grandes provincias fisiográficas: La Sierra Madre del Sur y el Eje Neovolcánico</p>	<p>- 9.3 millones de habitantes (10% de la población mexicana) 67% de la población se concentra en la parte alta de la cuenca</p> <p>- Participa con el 6.9% del PIB nacional, basado en la agricultura, la recreación, el turismo y la industria 68% se concentra en el Alto Balsas Noable desarrollo industrial</p> <p>- Disponibilidad de agua per-cápita 2,585 m³/hab/año calificación 5.2*</p>	<p>- Precipitación media histórica de 1,099 mm al año</p> <p>- Las extracciones brutas de agua para el desarrollo de la región es de 9,070 Mm³/año y corresponden de la siguiente manera: 87% para la agricultura 8% para uso público 5% para la industria</p> <p>- Ecurrimiento virgen superficial notable de 24,800 Mm³/año con su principal corriente el río Balsas (5to. lugar a nivel nacional)</p> <p>- Cuenta con una importante infraestructura de presas, localizadas en el extremo aguas abajo de la región, y el 60% de su capacidad es destinado a la generación de electricidad</p> <p>- Sobreexplotación de sus acuíferos, principalmente en la subregión del Alto Balsas, lo que ha ocasionado abatimiento en los niveles de bombeo y el aumento en los costos de explotación</p>	<p>- Coberturas bajas en los servicios de agua 83% en agua potable 64% en alcantarillado</p> <p>- Generación de contaminación en los cuerpos de agua, por carecer de tratamiento, con apenas 2,971 lpa de saneamiento</p> <p>- Baja eficiencia del uso del agua para riego y desaprovechamiento de las superficies con infraestructura hidroagrícola, que son causa de falta de créditos, maquinaria, deficiente organización entre usuarios y bajos ingresos derivados de la producción</p> <p>- Inundaciones; ocasionadas por la insuficiente infraestructura para el control de avenidas en una región propensa a depresiones tropicales de diferente magnitud y al desorden territorial por invasión de poblaciones enteras en zonas de ríos.</p>
<p align="center">V Pacífico Sur</p>  <p>Comprende 6 subregiones: Costa Grande, Costa Chica, Río Verde, Costa Oaxaca, Tehuantepec y Complejo</p> <p>Comprende parcialmente los estados de Guerrero y Oaxaca</p>	<p>80,000 km² de superficie (4% del territorio nacional)</p> <p>Clima: de cálidos subtropicales hasta los semicálidos y templados</p>	<p>- 4 millones de habitantes (4.4% de la población mexicana) 50% de la población se concentra en pequeños poblados rurales</p> <p>- Participa con el 2.2% del PIB nacional, la mayor parte de la población depende de la agricultura, la ganadería, la caza, la pesca. La explotación forestal y el turismo</p> <p>- Grado de marginación alto, con excepción de algunos núcleos urbanos como Acapulco, Chilpancingo, Zihuatanejo, Oaxaca y Salina Cruz</p> <p>- Disponibilidad de agua per-cápita 9,294 m³/hab/año calificación 10.0</p>	<p>- Precipitación media de 1,100 mm/año</p> <p>- Se tiene para usos consumitivos una extracción regional de 2,010 Mm³/año 83% se emplea para la agricultura 15% para uso público 2% en otros usos</p> <p>- Ecurrimiento virgen medio superficial de 35,000 Mm³ anuales; este volumen ocupa el tercer lugar por su magnitud en el territorio mexicano</p> <p>- Insuficiente infraestructura hidráulica de almacenamiento, por lo cual no se aprovecha el importante escurrimiento superficial</p> <p>- Existe dispersión poblacional y pobreza generalizada que afecta por igual a toda la región</p>	<p>- Bajas coberturas en los servicios básicos 71% de agua potable 46% de alcantarillado</p> <p>- Bajas eficiencias en el uso del agua para riego con sólo el 25% de aprovechamiento, debido a la insuficiencia de créditos, maquinaria y equipo especializado, bajos ingresos por la venta de sus productos y mala organización entre usuarios.</p> <p>- El saneamiento básico afecta por igual a toda la región, con una cobertura de 1,072 lpa que representa el 10% de las aguas utilizadas en uso urbano.</p> <p>- Alta degradación en los cuerpos de agua, ocasionados por las descargas directas sin un tratamiento previo</p> <p>- Deficiencia en los sistemas de observación, alerta y prevención; factor de fuertes daños por inundaciones que afecta a las poblaciones cercanas a las corrientes de las aguas.</p>

Cuadro 1.3 Problemas Hídricos por Regiones Administrativas. Comparativo de Indicadores.



Región Administrativa	Aspectos Físicos	Aspectos Económicos	Problemática del Agua
<p>VI Río Bravo</p>  <p>Con 6 subregiones: Coahuila, San Juan, Alto Bravo, Medio Bravo, Bajo Bravo y Cuacmas Cerradas de Norte</p> <p>Comprende porciones de los estados de Chihuahua, Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas</p>	<p>- 377,000 km² de superficie (19% del territorio mexicano)</p> <p>- Situada en la franja de grandes zonas áridas y semiáridas</p>	<p>- 8.6 millones de habitantes (9.4% de la población mexicana)</p> <p>- Particpa con el 12% del PIB nacional, basado en la actividad agropecuaria al grado de ser un factor fundamental del desarrollo socioeconómico de la región</p> <p>- Grado de marginación de bajo a muy bajo con excepción de 22 de 141 municipios que están en la pobreza</p> <p>- Disponibilidad per-cápita 1,316 m³/hab/año calificación 2.6*</p>	<p>- Precipitación media de 402 mm/anales</p> <p>- Las extracciones para los usos diferentes usos consumitivos es de 10,400 Mm³/año distribuidos de la siguiente manera: 87% para uso agropecuario 11% para uso urbano 2% en la industria y otros usos</p> <p>- Escurrimiento virgen superficial de 7,650 Mm³/año con su principal corriente el río Bravo</p> <p>- Se dispone de una capacidad de almacenamiento cercana a los 10,100 Mm³/año</p> <p>- Sobreexplotación de sus acuíferos, cuya recarga natural es de 4,800 Mm³ y su extracción anual se eleva 5,000 Mm³</p> <p>- Coberturas bajas en los servicios de agua 94% en agua potable 83% en alcantarillado</p> <p>- Contaminación en los efluentes municipales e industriales, degrada la calidad de agua con una capacidad de saneamiento de 10,477 lps</p> <p>- Baja eficiencia del uso del agua para riego con una cobertura de aprovechamiento de 34% en distritos de riego 55% en unidades de riego</p> <p>- La relación política y económica de la relación de México con EUA y las condiciones naturales de la zona, propician diversos factores de aprovechamiento y manejo del agua</p> <p>- La región está llegando al límite de la oferta del recurso</p>
<p>VII Cuacmas Centrales del Norte</p>  <p>Conformada por 6 subregiones: Nazas, Villa Hidalgo, Sierra Mojada, Comarca Lagunera, Aguanaval y El Salado</p> <p>Con 83 municipios pertenecientes a los estados de Durango, Zacatecas, Coahuila, San Luis Potosí, Nuevo León y Tamaulipas</p>	<p>- 206,000 km² de superficie (10% del territorio nacional)</p> <p>- Se ubica en el altiplano de la República Mexicana y se caracteriza por una gran variedad fisiográfica</p> <p>- Clima: clasificado como seco templado</p> <p>- La temperatura promedio es de 18.5 °C</p>	<p>- 3.7 millones de habitantes (4.1% de la población mexicana) 1/3 se localizan en zonas urbanas 2/3 se localizan en zonas rurales</p> <p>- Particpa con el 3.3% del PIB nacional, su desarrollo se basa en la agricultura, minería e industria alimenticia</p> <p>- Disponibilidad de agua per-cápita 1,470 m³/hab/año calificación 2.9*</p>	<p>- Precipitación media de 391 mm anuales</p> <p>- Se extrae un volumen de 4,410 Mm³/año de los cuales 57% corresponden a aguas superficiales y el resto a aguas subterráneas 90% para uso agrícola 7% para uso público 3% uso industrial</p> <p>- Muy baja disponibilidad de agua</p> <p>- Escurrimiento virgen medio de 3,750 Mm³ por año</p> <p>- Con una infraestructura hidráulica de regulación cercana a los 1,880 Mm³</p> <p>- Se tienen 64 acuíferos cuya extracción es de 2,530 Mm³ anuales, mientras que la recarga asciende a 1,810 Mm³/año; la sobreexplotación se concentra en pocos acuíferos como El Principal en la Comarca Lagunera y Ceballos en San Luis Potosí</p> <p>- La eficiencia en los servicios básicos es de 85% de agua potable 64% de alcantarillado</p> <p>- Baja eficiencia en los sistemas de riego 35% en los distritos de riego y 50% en las unidades de riego</p> <p>- Deficiente saneamiento a las descargas urbanas e industriales (sólo se tratan 401 lps) así como el uso inadecuado de agroquímicos propicia contaminación en los cuerpos de agua</p> <p>- Competencia por el uso de agua que se agudiza entre los sectores público urbano y agrícola, especialmente en los recursos de agua subterránea</p>

**TESIS CON
 FUENTE DE ORIGEN**

Cuadro 1.3 Problemática Hídrica por Regiones Administrativas. Comparativa de Indicadores



Región Administrativa	Aspectos Físicos	Aspectos Económicos	Problemática del Agua
<p>VIII Lerma-Santiago-Pacífico</p>  <p>Integrada de 326 municipios de los estados de Aguascalientes, Colima, Guanajuato, Jalisco, México, Michoacán, Nayarit, Querétaro y Zacatecas</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 192,000 km² de superficie (10% del territorio mexicano) - Clima predominante en la región templado húmedo y en las costas semi-cálido húmedo - Temperatura promedio de 19 °C - Situada en el centro poniente del territorio mexicano 	<ul style="list-style-type: none"> - 17.8 millones de habitantes (19.9% de la población nacional) - Participa con el 16% del PIB nacional, sus actividades económicas se concentran en la zona del Bajío, con producción agrícola e industrial - Disponibilidad de agua per-cápita 1,879 m³/hab/año calificación 3.8* 	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitación media de 809 mm por año - Se dispone de 14,208 Mm³/año para los usos consuntivos de la región, como sigue: 83% para uso agropecuario 13% para uso urbano 4% para uso industrial - Escurrimiento virgen superficial de 28,200 Mm³ anuales - Capacidad de regulación es de 14,775 Mm³, mediante presas en la que destaca Aguamilpa con 7,000 Mm³ y el Lago de Chapala con 4,500 Mm³ de capacidad - Se extrae agua subterránea a través de 89 acuíferos de la región de los cuales 23 son sobre-explotados como son el Medio Lerma y el Alto Santiago, a nivel regional la extracción es de 6,700 Mm³ y la recarga es de 7,200 Mm³ anuales <ul style="list-style-type: none"> - Bajas coberturas en los servicios de agua 91% en agua potable 76% en alcantarillado 50% de agua no contabilizada - Baja eficiencia del uso del agua para riego con una cobertura de aprovechamiento de 39% en distritos de riego 58% en unidades de riego - Oferta insuficiente en las zonas altas de la región, lo que provoca una fuerte competencia, agotamiento de los recursos y degradación del medio ambiente. - Degradación de la calidad de agua, prácticamente en toda la región, ya que la infraestructura de saneamiento es insuficiente, con 8,516 lps tratadas - Daños por inundaciones que se acentúan por la carencia de drenaje pluvial - Las sequías que se presentan dañan considerablemente al sector agropecuario
<p>IX Golfo Norte</p>  <p>Con 3 subregiones: San Fernando, Soto La Marina y Pánuco</p> <p>Con 154 municipios de ocho entidades federativas, que son: Hidalgo, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz, Querétaro, Guanajuato, México y Nuevo León.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 127,000 km² de superficie (6% del territorio nacional) - Se localiza en la vertiente del Golfo de México - Se caracteriza por un relieve que varía desde zonas planas y de lomerío suave en la planicie costera hasta serranías de gran altitud y pendiente abrupta de la Sierra Madre Oriental - Clima: clasificado como seco templado la temperatura promedio es de 18 °C 	<ul style="list-style-type: none"> - 4.5 millones de habitantes (5% de la población mexicana) 54% habita en comunidades rurales 22% en ciudades medias y 24% en grandes ciudades - Participa con el 4% del PIB nacional, - Grado de marginación alto - Disponibilidad de agua per-cápita 4,866 m³/hab/año calificación 9.7* 	<ul style="list-style-type: none"> - Precipitación media de 862 mm anuales el 70% de la lluvia se concentra de junio a octubre - La evaporación potencial es de 1,570 mm/año - Se extrae un volumen de 4,780 Mm³/año de (los cuales 72% corresponden a aguas superficiales y el 28% a aguas subterráneas) 84% para uso agrícola 9% para uso público 6% uso industrial - Escurrimiento virgen medio de 22,740 Mm³ por año - Para almacenar, regularizar y aprovechar los volúmenes que presentan una variación estacional, se cuenta con una infraestructura hidráulica de 17 presas con capacidad total de 7,100Mm³ - Se tienen 36 acuíferos en la región, los cuales tienen una extracción de 1,320 Mm³/año y su recarga es alrededor de 1,300 Mm³, pero localmente se tienen acuíferos sobre-explotados <ul style="list-style-type: none"> - La eficiencia en los servicios básicos en Agua Potable: 88% urbana y 55% rural Alcantarillado: 75% urbana y 21% rural - Eficiencia en los sistemas de riego: 31% en los distritos de riego y 51% en las unidades de riego - Saneamiento casi nulo de las aguas residuales con 657 lps en tratamiento, lo que ha propiciado que la calidad de los cuerpos de agua se hayan degradado. Por otra parte la cuenca del río Pánuco recibe importantes descargas de aguas residuales de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México - Daños por fenómenos hidrometeorológicos extremos, debido a su ubicación geográfica en una zona propensa de depresiones tropicales con una frecuencia de 2 años

Cuadro 1.3. Problemas Hídricos por Regiones Administrativas. Comparativa de Indicadores.

Región Administrativa	Aspectos Físicos	Aspectos Económicos	Problemática del Agua
<p>X Golfo Centro</p>  <p>Conformada de 443 municipios de los estados de Veracruz, Oaxaca, Puebla e Hidalgo</p>	<p>- 105,000 km² de superficie (5% del territorio nacional)</p> <p>- Esta región constituye gran parte de la vertiente del Golfo de México</p>	<p>9 millones de habitantes (9.9% de la población mexicana)</p> <p>- 54% es población urbana</p> <p>46% es población rural</p> <p>Participa con el 6% del PIB nacional, 11% lo genera el sector primario</p> <p>- 28% el sector secundario</p> <p>61% el sector terciario</p> <p>- Disponibilidad de agua per-cápita 11,834 m³/hab/año calificación 10.0*</p>	<p>- Precipitación media de 1,900 mm anuales variando desde los 500 mm en la porción occidental hasta 4,000 mm en sitios cercanos a Tuxtpec, Oax., Cuetzalan, Pue. y Catemaco, Ver.; casi toda la lluvia se concentra de junio a octubre</p> <p>- Se extraen 4,300 Mm³/año para usos consumivos de la región</p> <p>50% para uso agrícola</p> <p>19% para uso público</p> <p>25% uso industrial</p> <p>6% para generación de energía eléctrica</p> <p>- Escorrentía virgen medio de 100,000 Mm³ por año (a nivel nacional es la segunda región en este aspecto)</p> <p>- Bajas coberturas en los servicios de agua: 85% de abasto de agua potable</p> <p>80% en alcantarillado</p> <p>- Baja eficiencia en los sistemas de riego</p> <p>32% en los distritos de riego provocado por el mal estado de la infraestructura de distribución y drenaje, así como con prácticas inadecuadas de riego</p> <p>- Contaminación en las corrientes superficiales, de manera generalizada en toda la región debido a las descargas de aguas residuales municipales e industriales con sólo 736 lps tratados</p> <p>- Daños por inundaciones a zonas con desarrollo socioeconómico, ocasionadas por la insuficiencia de protección y control de avenidas y por la invasión de los cauces por asentamientos humanos irregulares</p>
<p>XI Frontera Sur</p>  <p>8 subregiones: Costa de Chiapas, Alto Grijalva, Bajo Grijalva-Sierra, Bajo Grijalva- Planicie, Medio Grijalva, Usumacinta, Lacamán-Chixoy y Tonala-Castacalacos</p> <p>Constituida por la totalidad de los estados de Chiapas y Tabasco, así como porciones de los estados de Campeche y Oaxaca</p>	<p>- 102,000 km² de superficie (5% del territorio nacional)</p> <p>- Clima predominante: cálido-húmedo</p> <p>- Temperatura media de 24 °C</p>	<p>- 5.5 millones de habitantes (6% de la población mexicana)</p> <p>- Participa con el 3.3% del PIB nacional,</p> <p>- Grado de marginación alto</p> <p>- Disponibilidad de agua per-cápita 27,152 m³/hab/año calificación 10.0*</p>	<p>- Precipitación media de 2,300 mm anuales llegando a rebasar a los 4,000 mm en la sierra de Chiapas, siendo de las más altas del país</p> <p>- Se extrae un volumen de 2,000 Mm³/año de 65% para uso agrícola</p> <p>23% para uso público urbano</p> <p>12% uso industrial y pecuario</p> <p>- Mayor escorrentía virgen medio del país 150,000 Mm³/año (30% del total), incluye 48,800 Mm³ al año provenientes de República de Guatemala</p> <p>- Se aprovechan 48,000 Mm³/año para generación de energía eléctrica mediante siete hidroeléctricas, ubicadas en el estado de Chiapas con una capacidad instalada de 3,900 MW que representa el 39% del total nacional cuales se extraen 750 Mm³/año y con una re-</p> <p>- Se tienen 21 acuíferos en la región, de los cuales se extraen 750 Mm³/año y con una recarga anual de 5,800 Mm³ solamente se tienen acuíferos sobreexplotados</p> <p>- Baja eficiencia en los servicios básicos en Agua Potable: 85% urbana y 46% rural</p> <p>Alcantarillado: 70% urbana y 6% rural</p> <p>- Bajo aprovechamiento y manejo deficientes del agua superficial y desaprovechamiento de una superficie de 1.7 millones de hectáreas, ya que el 98% están destinadas a cultivos de temporal</p> <p>- Eficiencia en los sistemas de riego: 40% en los distritos de riego y 54% en las unidades de riego</p> <p>- En la región se tratan 490 lps de las aguas residuales, por lo que se ha ocasionado contaminación de corrientes superficiales, afectando lagunas costeras y esteros</p> <p>- Problema de inundaciones se presenta en toda la región, afectando zonas costeras, infraestructura de servicios básicos, zonas agrícolas, por carecer de infraestructura para el control de avenidas y por extraerse planicies costeras, que dificultan la regulación del agua</p>

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Cuadro 1.3 Problemática Hídrica por Región Administrativa. Comparativa de Indicadores.

Región Administrativa	Aspectos Físicos	Aspectos Económicos	Problemática del Agua
<p>XII Península de Yucatán</p>  <p>Tiene tres subregiones que son: Peninsular Oriente, Peninsular Poniente y Candelaria</p> <p>La región está formada por los estados de Quintana Roo y Yucatán en su totalidad y un área del estado de Campeche</p>	<p>- 140,000 km² de superficie (7% del territorio nacional)</p> <p>- 830 Km de litoral, donde existe un gran número de lagunas costeras y humedales</p> <p>- La región se ubica dentro de la franja tropical, no existen montañas grandes ni grandes elevaciones de terreno</p> <p>- Su clima prevalece cálido</p> <p>- Con una temperatura media de 25 °C</p>	<p>- 2.9 millones de habitantes (3.2% de la población mexicana) 79% es población urbana 21% es población rural</p> <p>- Grado de marginalidad medio</p> <p>- Participa con el 4.2% del PIB nacional, el turismo en la subregión Peninsular Oriente y la explotación petrolera en la subregión Candelaria son las principales actividades económicas</p> <p>- Disponibilidad agua per-cápita 10,912 m³/hab/año calificación 10.0*</p>	<p>- Precipitación media de 1,196 mm anuales se presentan fuertes tormentas en el verano y otoño (82% de las lluvias) y existen pocas lluvias el resto del año</p> <p>- Se extraen 1,300 Mm³/año para usos consumivos de la región 51% para uso agrícola 43% para uso público 1% uso industrial el 97% del agua empleada proviene de los acuíferos</p> <p>- Escurecimiento virgen medio de 4,300 Mm³/año</p> <p>- Bajas coberturas en los servicios de agua: 82% de abasto de agua potable 8% en alcantarillado</p> <p>- Contaminación de acuíferos por descargas de aguas residuales, con un tratamiento de 1,551 lps y por falta de drenaje que ha propiciado la infiltración de las descargas residuales</p> <p>- Degradación de la calidad del agua, principalmente antropogénica, por mal manejo en su extracción</p> <p>- Desarrollo agrícola incipiente, existen múltiples obras fuera de servicio, abandonadas o sin equipamiento y con eficiencias de 46% en los distritos de riego</p> <p>- Deficiente e insuficiente información en los sistemas de medición y monitoreo, que no permite el manejo óptimo de los recursos tanto en cantidad como en calidad</p> <p>- Degradación de los humedales de la región que repercute tanto en los ecosistemas como en el sustento económico de muchas comunidades rurales que habitan en la región</p>
<p>XIII Valle de México</p>  <p>Se divide en dos subregiones Tula y Valle de México</p> <p>Incluye el Distrito Federal, 56 municipios del estado de México, 39 de Hidalgo y 4 de Tlaxcala</p>	<p>- 16,000 km² de superficie (1% del territorio nacional)</p> <p>- Se ubica en la región alta del Río Pánuco a 2,240 m snm</p> <p>- Predominan climas templado-húmedo en el sur de la región y templado-seco al centro y norte de la misma</p>	<p>- 18.6 millones de habitantes (20.4% de la población mexicana) las oportunidades de trabajo y de educación atraen a la población de diversos puntos del territorio</p> <p>- Participa con el 33% del PIB nacional.</p> <p>- Disponibilidad de agua per-cápita 171 m³/hab/año calificación 0.3*</p>	<p>- Precipitación media de 716 mm al año</p> <p>- Se extrae un volumen de 5,200 Mm³/año de los cuales 15% corresponden a aguas superficiales, el 36% a aguas subterráneas, 11% de importación (Cutzamala y Lerma) y 38% de agua residual no tratada para usos consumivos 50% para uso agrícola 41% en uso público urbano 9% para uso industrial</p> <p>- Escurecimiento medio anual de 1,067 Mm³ en la subregión del Valle de México y de 1,227 Mm³ en la subregión de Tula (incluyendo aguas residuales de la zona metropolitana, de las bas cuencas importaciones de otras cuencas solo reciben tratamiento 5,588 lps)</p> <p>- Para almacenar, regularizar y aprovechar los volúmenes existen 106 almacenamientos con una capacidad de 659 Mm³, en la subregión del Valle de México se encuentra el 67% de las obras, sin embargo en la subregión Tula se tiene el 76% de la capacidad</p> <p>- Se cuenta con 13 acuíferos en la región, 6 en el Valle de México y 7 en Tula, con una recarga anual de 700 y 340 Mm³, respectivamente, y una extracción que excede 130% de la recarga</p> <p>- Coberturas bajas de servicios en zonas rurales 93% de agua potable en toda la región 89% global de la región en alcantarillado</p> <p>- Deficiente infraestructura para riego y falta de mantenimiento que se refleja en la eficiencia 35% en distritos de riego 52% en las unidades de riego</p> <p>- Contaminación de las fuentes de agua superficial y subterráneas, la cuenca del río Tula es la más afectada por ser receptora de las aguas residuales de la zona metropolitana, de las bas cuencas solo reciben tratamiento 5,588 lps)</p> <p>- Daños por inundaciones aunque existe un sistema general de drenaje, éste ha perdido la perdencia por hundimientos generalizados por la sobreexplotación de acuíferos y eso, unido a que los cauces reducen su capacidad de conducción por ser utilizados como basureros</p> <p>- Daños por el uso de agua, agudizado entre la agricultura y el reúso del agua residual para fines industriales y público urbano</p>

* La calificación corresponde a la disponibilidad del agua en cada Región, considerando la disponibilidad mínima per-cápita de 5,000m³/hab/año para el desarrollo de las comunidades según la Organización de Naciones Unidas; y no considera la disponibilidad y calidad puntual de las ciudades y poblados más importantes.

El presente trabajo se refiere a la necesidad de la desalinización del agua en México y a un ejemplo de aplicación, el cual se encuentra ubicado en la Región Administrativa I, por lo que además de la problemática hidráulica descrita en el cuadro anterior se hace una breve descripción de los problemas centrales y las cuestiones claves de la Península de Baja California.

La problemática de la Región reside por un parte en su clima casi desértico con la consiguiente escasez de recursos de agua y con su calidad y; por otra su reciente evolución socioeconómica y demográfica. La fuerte atracción de la Región, particularmente de la zona fronteriza con Estados Unidos, seguirá siendo el motor de la concentración urbana y del crecimiento poblacional serán fuertes desafíos para el abastecimiento de agua potable.

En relación con los recursos del agua, se tienen identificados los siguientes problemas:

- El 85% de los recursos superficiales corresponden al Río Colorado cuya agua signada a México por el Tratado Internacional de 1944 tiene niveles de salinidad por arriba de 2,000 ppm, que no son aptos tanto para el riego como para el abastecimiento a la población.
- Los principales acuíferos de la Región como los de Mexicali, Mesa Arenosa, San Quintín, Santo Domingo y La Paz están sobreexplotados, éstos tres últimos con deterioro de la calidad por intrusión salina, lo que pone en peligro el suministro de agua para las demandas público-urbanas y/o agrícolas en un futuro.
- Las aguas residuales municipales que ascienden a 230 Mm³/año no reciben un tratamiento adecuado, provocando problemas de contaminación puntual, incompatible con una Región que debe conservar y proteger su medio ambiente por sus importantes reservas naturales y su atracción turística. En adición, el nivel de reuso de agua es apenas del 1% del volumen disponible.
- El riego con agua superficial (1900 Mm³/año, o sea el 53% de todos los recursos de la Región) no tiene una buena eficiencia ya que sólo se aprovecha el 40% de las aguas suministradas para este fin, muy grave para una zona de escasa disponibilidad de agua.

Por lo que, la problemática del manejo de los recursos de agua de la Península de Baja California será el de garantizar el uso racional de sus limitados recursos hidráulicos, especialmente en circunstancias adversas como son los periodos de sequía prolongados, para asegurar que el agua no sea el factor limitante en su desarrollo socioeconómico a corto, mediano y largo plazo, por ello la desalinización se dislumbra como una alternativa de abasto de agua potable, además de que cuenta con las características idóneas para realizar dicho proceso (clima y extensa zona de litorales); sin dejar de tener en cuenta, que el aprovechamiento, el buen uso, el tratamiento y el reuso del agua superficial es también alternativa para garantizar el recurso para generaciones futuras.

Estrategias de Solución.

La problemática del agua en México se ha presentado como resultado de la falta de planeación de tipo productivo, económico, financiero, social y tecnológico que han incidido en graves efectos para el medio físico y ambiental. Las estrategias deben lograr que el recurso se preserve para las futuras generaciones y al mismo tiempo sea un factor que contribuya al bienestar social y al desarrollo económico de las diferentes regiones.

El crecimiento de la población y la expansión de los asentamientos humanos en México, deben constituir un elemento crucial en el diseño de las estrategias de desarrollo del país; por los impactos significativos sobre los recursos naturales y el medio ambiente que esto provoca.

A partir de las enseñanzas durante la década de los 90, se plantea una perspectiva a largo plazo para satisfacer las demandas de la población, mediante acciones que garanticen la preservación del agua. El escenario deseable comprende los siguientes objetivos:

- Reducir los rezagos en las coberturas de agua potable y saneamiento, con especial énfasis en zonas rurales:

Para reducir los rezagos en la cobertura en el medio rural, los recursos financieros deberán abocarse esencialmente a proporcionar los servicios. Simultáneamente se instrumentarán programas de fortalecimiento de autoridades locales para aumentar su presencia en la planeación y ejecución de los proyectos rurales, con apoyo operativo que sea necesario para garantizar la sustentabilidad del recurso.

En las zonas urbanas, las líneas de acción incluirán programas de capacitación intensivas para el personal de los organismos operadores, con el propósito de incrementar la eficacia del sector hidráulico y se acelerará la adecuación de la estructura legal y administrativa de los gobiernos estatales, en relación servicios de agua potable y saneamiento, para fomentar la participación privada.

- Incrementar en forma sustancial la eficiencia del agua en la agricultura y el consumo doméstico:

Se dará prioridad a la rehabilitación y modernización de la infraestructura en los distritos y unidades de riego, así como capacitar a los agricultores para incrementar de manera global la rentabilidad y mejorar sus condiciones de vida. También se dará un constante mantenimiento en las obras de distribución de agua potable para los centros urbanos y difundir a través de la población la importancia del agua en todos sus ámbitos.

- Lograr el equilibrio hidrológico de las cuencas y acuíferos del país.

Para lograr y preservar los recursos de agua subterránea del país es necesario frenar la degradación de los acuíferos sobreexplotados, lo que se traduce en una concertación con los usuarios; modificaciones legales para disponer de instrumentos financieros en las

acciones de estabilización de los acuíferos sobreexplotados; la eliminación de todas las fuentes de contaminación puntual que amenazan la calidad de las aguas. Así como de garantizar la calidad de agua superficial por medio del saneamiento de las cuencas y; la difusión amplia y oportuna de los datos asociados al uso, preservación, disponibilidad y calidad del agua en cada región.

- Proteger a la población y a las áreas productivas de las inundaciones y sequías.

Para ello, es necesario la implantación de programas de prevención y protección ante la ocurrencia de los fenómenos extremos en centros de población y zonas productivas, mediante la reubicación de los asentamientos humanos en las zonas de alto riesgo y la construcción de obras y control de avenidas.

- Consolidar la descentralización del sector al concretar la participación efectiva e los usuarios y autoridades locales en la solución de la problemática del agua en las regiones, subregiones y acuíferos, a través de los Consejos de Cuencas y Comités Técnicos de Aguas Subterráneas (COTAS).

Con la adecuación de los marcos legales para propiciar un uso más eficiente del agua y preservar su calidad, así como la consolidación de la vigilancia y cumplimiento; a través del fortalecimiento de las Gerencias Regionales de la CNA como áreas de excelencia técnica y organismos auxiliares en la planeación misma y en la promoción del desarrollo hidráulico regional.

La cristalización de los objetivos a través de las estrategias mencionadas, precisan un contexto en el que se requiere promover la aplicación efectiva de un conjunto de medidas económicas, tecnológicas y de capacitación; fomentar el uso del agua como un factor de desarrollo y facilitar la transición hacia el reconocimiento del valor económico del agua.

1.2 La Necesidad de la Desalinización del Agua de Mar en México.

México cuenta con una gran variedad de climas y ambientes naturales que afectan las distintas fases del ciclo hidrológico y establecen un marcado contraste entre la escasez de agua en el norte y la abundancia en el sur.

Pero la escasez no es sólo un fenómeno natural, sino un fenómeno socialmente producido, debido a que los principales polos de desarrollo del país han incrementado notoriamente su demanda a través de los últimos años, llevando a la pérdida de la autosuficiencia y provocando la sobreexplotación y contaminación de los recursos hidráulicos locales; por lo que han ubicado al país en un escenario de déficit y competencia en casi la mitad del territorio que comprende el noreste, norte y centro.

Esta situación obliga a buscar y explotar fuentes más lejanas (como es el caso de la región administrativa XIII "Valle de México" y las principales ciudades del país) que permitan

llevar el agua con la calidad y cantidad que necesitan. Sin embargo, como lo ha demostrado la experiencia este proceso tiene un alto grado de ineficiencia y sus posibilidades se ven rebasadas por el aumento de la población, la producción del campo, la producción de la industria, las bajas tarifas que se cobran y los cambios no previsibles en los abastos de agua.

Por lo anterior, desde un punto de vista económico y ambiental, tiene mucho mayor sentido poner énfasis en métodos que puedan aumentar la eficiencia en la utilización del agua para usos, agrícolas, domésticos e industriales, con la elaboración de planes de contingencia, con la búsqueda de alternativas renovables y estrategias como las mencionadas en el apartado anterior.

Una alternativa para aumentar los recursos hídricos es la utilización de aguas salobres y marinas, para las zonas áridas, semiáridas ó desérticas del país con serios problemas en la disponibilidad de agua dulce como son Baja California, Baja California Sur y Sonora; que además presentan un inevitable crecimiento demográfico y de desarrollo por las cercanías al territorio estadounidense, “que de continuar con sus actuales patrones de consumo del líquido, se prevé que se incrementará el grado de sobreexplotación y degradación de la calidad del agua de los principales acuíferos, lo que propiciaría una disminución de la disponibilidad, ocasionando una fuerte competencia por el uso del recurso entre los distintos usos (CNA, El agua en México: retos y avances, 2000)”.

Por lo que es oportuno generalizar el conocimiento sobre la desalinización de agua de mar y salobre en México, con el fin de entender la factibilidad de su aplicación en la solución de problemas de suministro de agua en regiones que adolecen la falta de agua superficial; pero al hecho de contar con acuíferos subterráneos salobres, en algunos casos, o su cercanía al mar en otros plantea la posibilidad de aplicar a dichas fuentes las técnicas de desalinización, que sin duda resolverán el suministro de agua potable.

Esta alternativa puede llegar a ser de vital importancia debido a que con ella aseguraremos el abasto de agua a comunidades e industrias y que sin duda ayudarán a seguir con el desarrollo de muchas áreas como la industrial, el turismo y la agricultura, pilares de la economía regional, que incentiven y promuevan la instalación de plantas desalinizadoras; teniendo en cuenta que a medida que los costos de las fuentes tradicionales aumentan, los costos de la desalinización se reducen notoriamente.

De acuerdo al INEGI, México cuenta con más de 11,000 km de litorales, de los cuales el 32% corresponden al Golfo de México y Mar Caribe y el 68% corresponden a las costas e islas del Océano Pacífico y Golfo de California. Por lo cual el país presenta una riqueza marítima con un potencial extraordinario para satisfacer sus demandas actuales y futuras en el abastecimiento de agua potable en las zonas cercanas al mar y su disponibilidad es limitada para el desarrollo y garantizar el recurso a las generaciones presentes y futuras.

Referencias.

Comisión Nacional del Agua, Compendio Básico del Agua en México, CNA, enero de 2001.

Comisión Nacional del Agua, Compendio de Planos del Agua, CNA, enero de 2001.

Comisión Nacional del Agua, El Agua en México: retos y avances, CNA, octubre 2000.

Comisión Nacional del Agua, Programa Hidráulico 1995-2000, CNA, marzo 1995.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Estadísticas del Medio Ambiente, INEGI, octubre 1999.

2. DESALINIZACION DEL AGUA.

2.1 Generalidades.

La mayor parte de la superficie de la tierra ($\frac{3}{4}$ partes) está compuesta de agua; pero el 96% de esta es agua de mar, el 1.4% es agua salobre subterránea, el 1.1% se encuentra encapsulada en glaciares y solo el 0.5% es agua dulce.

El agua de mar tiene un alto grado de salinidad y contiene impurezas (gases disueltos y material en suspensión; orgánico e inorgánico) y tal cual no es apta para el consumo humano. La salinidad y la temperatura son dos propiedades físicas importantes del agua de mar por el efecto que tienen sobre su densidad, que aumenta al incrementarse la salinidad y disminuye cuando incrementa la temperatura.

Se entiende por salinidad la concentración de sales disueltas en el agua y se mide en porcentaje de su peso, pero generalmente no se expresa de esta manera sino en partes por millón.

En los océanos, la salinidad superficial tiene en promedio 35,000 ppm ó 3.5% de sales disueltas (35 gr/kg), pero varía en promedio de 33,000 a 37,000 ppm en distintas zonas del planeta; que aumenta en zonas cerradas como el Mediterráneo y en torno a 20° latitud en ambos hemisferios que corresponde a los cinturones desérticos de la Tierra y, desciende en bajas latitudes donde se funden los hielos polares y hay gran aporte fluvial como el mar Báltico; por lo que la salinidad depende directamente de la relación entre la evaporación y la precipitación y, de las condiciones climáticas. En los mares, a los 100 metros de profundidad la salinidad se estabiliza en promedio a 35,000 ppm en cualquier latitud y ya no es afectada por la influencia de las variaciones superficiales.

Esta realidad, en cuanto a la salinidad, ha condicionando la elección de localidades idóneas para el desarrollo humano en el mundo. Actualmente esta situación ha cambiado notoriamente con el auxilio de una técnica que nos permite aprovechar una gran fuente de suministro como es el mar, que la convierten en un recurso aprovechable y disponible para el hombre, para promover el desarrollo y el crecimiento de poblaciones en zonas costeras con climas áridos, semiáridos y desérticos con escasez de recursos hidráulicos de agua dulce y garantizar el abasto a las poblaciones que presentan altas cantidades de sales en sus fuentes superficiales y subterráneas.

La técnica que nos permiten remover la salinidad del agua se conoce como “purificación del agua salada”, “conversión del agua salada”, “desmineralización del agua”, “desalinación”, “desalación” o “desalinización”. Como a la fecha no hay un acuerdo sobre cuál sea la palabra adecuada, el término que se usará en este trabajo será “desalinización”, mismo que lleva el título de éste.

La idea de desalinizar el agua de mar para hacerla potable es muy antigua; los primeros pasos se dieron hace más de dos mil años cuando el filósofo y científico Aristóteles sugirió hervir el agua de mar y capturar su vapor, que al condensarse daría por resultado agua dulce; emulando un proceso natural a través del cual se desarrolla el ciclo hidrológico, las técnicas que se utilizan son por tanto, una aportación a este ciclo.

La desalinización consiste en separar el agua salina en dos productos: agua dulce y salmuera (agua con altos contenidos de sal). Al respecto existen varios procesos para lograr dicha separación, de los cuales dos son fundamentales; los procesos térmicos y los procesos de membrana.

Procesos térmicos. Consisten en aplicar calor al agua salina o salobre (mediante energía solar, electricidad, combustión, etc.) hasta el punto de ebullición para producir vapor que se enfría y condensa obteniéndose agua pura (sin sales en exceso). Los procesos conocidos hasta ahora son: destiladores solares, destilación multiefectos, destilación súbita en múltiples etapas, destilación por compresión de vapor o conocida también como destilación por termocompresión y otros menos conocidos o que se encuentran en etapa de investigación como la destilación por congelación.

Procesos de membrana. Estos procesos se basan en hacer pasar las moléculas de agua a través de membranas con poros muy pequeños, ya sea por medio de altas presiones o estimulaciones físico-químicas para llevar a cabo la separación de sales del agua y obtener así agua pura. Los procesos conocidos son: electrodiálisis, ósmosis inversa, cambio iónico, ultrafiltración y nanofiltración.

En ambos procesos se obtiene por separado las sales extraídas que se concentran en forma de salmuera, la cual se desecha o se regresa a la fuente tomando en cuenta medidas de mitigación para no producir efectos secundarios en dichas fuentes.

Los beneficios de la desalinización han sido utilizados ampliamente en más de 120 países del mundo, principalmente por países de Oriente Medio y Golfo Pérsico como son Arabia Saudita, Emiratos Arabes Unidos y Kuwait con más del 50% de la capacidad instalada mundialmente; Estados Unidos con el 16%; a éstos le siguen en menor proporción Japón, España, Italia y las Antillas Holandesas.

La producción mundial de agua por medio de la desalinización para el año de 1998 era de 22,700,000 m³/día, equivalentes al 1% de la producción mundial de agua potable; de los cuales 13,330,000 m³ corresponden a la desalinización de agua de mar y 9,400,000 a las otras cualidades. Las principales tecnologías usadas son la destilación y la ósmosis inversa, que se describen más adelante.

2.2 Procesos de Purificación del Agua.

Suministrar agua potable no sólo implica captarla de una fuente confiable y canalizarla hacia la ciudad o industria, sino también purificarla para otorgarle una calidad óptima, utilizarla y desecharla con eficacia. Todo este proceso está relacionado y delimitar sus pasos es algo difícil ya que al considerarse desecho para algunas poblaciones se convierte en fuente para otras aguas abajo.

Actualmente los procesos de purificación han tenido que ser perfeccionados, por que el agua contiene sustancias no degradables provenientes de los desechos industriales y caseros ya que no existe cedazo o filtro capaz de retener sustancias que se han incorporado a las moléculas del agua, por lo que no sólo deben eliminar las impurezas naturales, sino tratar químicamente el líquido.

Los procesos de purificación que a continuación se describen brevemente, son los más utilizados por los organismos operadores del agua, la industria, el comercio y hasta en el propio hogar para evitar problemas de salud, ya que es de todos conocido que el agua es fuente de vida y a su vez fuente de transmisión de enfermedades como el cólera y la tifoidea entre otras, por lo que hay que procurar siempre una buena calidad del agua que cumpla con los niveles establecidos para el consumo humano.

Ebullición: el agua se hierve durante 5 a 10 minutos para eliminar los gérmenes patógenos; en este proceso el agua pierde el oxígeno disuelto con ella, por lo que es conveniente airearla para que lo recupere. Es el método más usado y económico que más se utiliza en el hogar.

Aireado: este proceso de tratamiento consiste en poner al agua en contacto con el aire con el fin de que se sature de oxígeno; que se consigue dispersándolo en el aire o se deja descender en capas delgadas por una serie de peldaños, recogiendo sobre una pantalla de hormigón o dejándola correr sucesivamente por una serie de bandejas perforadas colocadas sobre una y otra; este proceso mejora el sabor y olor, precipita el hierro y el manganeso y expulsa el CO_2 .

Sedimentación simple: en este proceso el agua es almacenada en grandes depósitos de sedimentación, decantadores o clarificadores o se provoca que el agua fluya a bajas velocidades, para que la materia suspendida más gruesa inicie un movimiento natural descendente con una velocidad que depende de su tamaño, forma y peso, así como la densidad y viscosidad del líquido; este proceso disminuye la turbiedad, reduce el número de bacterias y es muy eficiente en la remoción de partículas de arena y otras en suspensión.

Sedimentación con coagulación: este proceso también se conoce como el proceso de Alumbre. El agua turbia o colorada se almacena en los tanques y se trata con sulfato de aluminio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, provocando un precipitado gelatinoso que se sedimenta en el fondo y arrastra consigo la materia coloidal suspendida y algunas bacterias; este proceso es utilizado cuando las partículas que se encuentran en el

agua son muy finas, disminuye la dureza, el manganeso, el hierro oxidado, el hierro no oxidado, el color y la turbiedad.

Filtración: en este proceso generalmente se usan lechos de arena para filtrar el agua; existen dos mecanismos de filtración, lenta y rápida; la filtración lenta consiste en hacer pasar el agua por estanques rectangulares en los que existe una capa de arena de un espesor de 1 m, con una capa soportante de piedra picada de 0.30 m de espesor y un sistema de drenaje formado por una tubería de barro de juntas abiertas; en la filtración rápida se emplean órganos perfeccionados para la aplicación de este principio, los que se combinan con la sedimentación con coagulación para separar el agua a presión, lo que permite filtrar mayor volumen de líquido (este método es utilizado en algunos hogares, los filtros son de uso común y se instalan en las llaves de agua con un costo bajo e instalación rápida). En este proceso se logra reducir más del 95% las bacterias, el olor y el sabor.

Cloración: es un método efectivo de bajo costo y aplicación, por lo que se utiliza para potabilizar el agua de las ciudades, consiste agregar hipoclorito de sodio (NaClO) al agua para eliminar los gérmenes patógenos y parásitos causantes de las enfermedades gastrointestinales.

Ozonización: por su potente actividad química, el ozono se utiliza como purificador para eliminar bacterias y microorganismos contenidos en el agua al reaccionar con sus componentes químicos, el ozono se convierte en Oxígeno en cuestión de media hora lo que lo hace muy seguro para desinfectar, pero se debe tener cuidado por la toxicidad que produce con las fuertes concentraciones.

Destilación: este proceso consiste en poner a hervir el agua y condensar el vapor por medio de alambiques, para obtener agua destilada, que es químicamente pura, por lo que no presenta minerales, razón por la cual resulta impropia para la alimentación humana, teniéndose que mezclar con ciertos componentes para su consumo.

Desalinización: este proceso se refiere a la separación de las sales e impurezas de una solución salina como puede ser agua de mar; o agua salobre de pozos, ríos, lagos o embalses, para convertirlas en aguas adecuadas para el consumo humano, uso industrial o agrícola. Al respecto existe una amplia gama de procesos técnicos diseñados para lograr dicha separación y extraer grandes volúmenes de agua potable; donde sólo unos pocos procesos han alcanzado un reconocimiento comercial de importancia y otros se encuentran en estudio.

Los procesos de desalinización se clasifican atendiendo varios criterios como son: el tipo de proceso; el tipo de energía que requieren y la separación de las sales del agua salina. La utilidad de esta clasificación está relacionada con los costos relativos o finales que pueden alcanzar los diferentes procesos técnicos. Algunas de estas técnicas se mencionan en el siguiente apartado. Cabe mencionar que algunos de éstas han sido utilizados (con excelentes resultados) para el tratamiento de aguas residuales.

2.3 Técnicas de Desalinización.

Destilación

La destilación difiere de todas las demás formas de purificación del agua, en que a través de ésta se remueve el agua de las impurezas en vez de remover las impurezas del agua. Todos los métodos de destilación de agua se basan en el hecho de que solamente el agua y los gases disueltos en ella son volátiles; y todo aquello que tenga un punto de ebullición mayor que el agua (100 °C) permanecerá en estado líquido como las sales.

El agua es sometida a cambios de fase durante el proceso, pasando de estado líquido a gaseoso que conlleva a la separación del agua de sus impurezas volviendo nuevamente a su estado original, pero esta vez como agua de calidad, libre de sales y dispuesta para su consumo humano.

Dada la amplia capacidad de remoción de la destilación, ésta se ha convertido en el estándar de agua pura en todo el mundo y a través de los años se han diseñado diferentes técnicas para desalar agua que varían también en formas y tamaños de acuerdo al volumen de agua y a las características y condiciones donde se requiere el agua purificada.

Destiladores solares

Los destiladores solares han tenido una gran aceptación pese a su modesta producción de purificación de aguas salinas comparada con técnicas de destilación y de membranas, pero es ideal para satisfacer necesidades individuales, familiares o de pequeños poblados. Este proceso de destilación se basa en el aprovechamiento de la energía solar gratuita y hace uso del efecto de invernadero. La 2.1 presenta diferentes diseños de los destiladores solares que tienen una producción diaria de 6 litros por metro cuadrado de superficie en condiciones meteorológicas ideales.

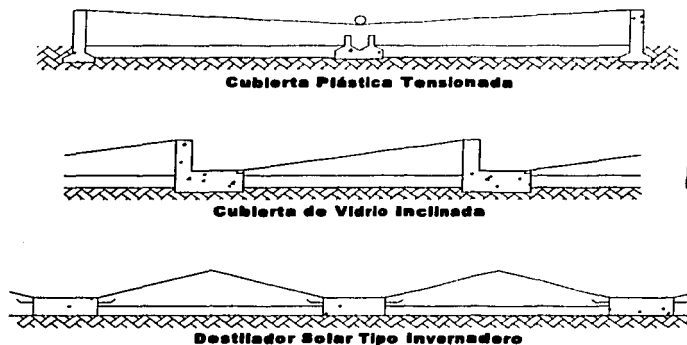


Figura 2.1 Esquemas Básicos del Destilador Solar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

NO SE DEBE
REPRODUCIR SIN
AUTORIZACIÓN

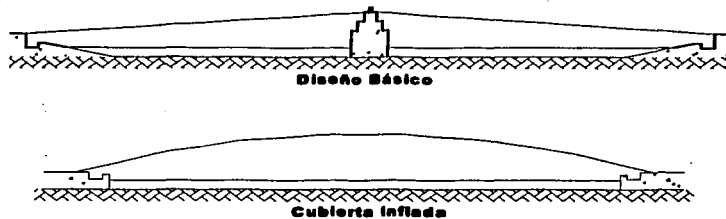
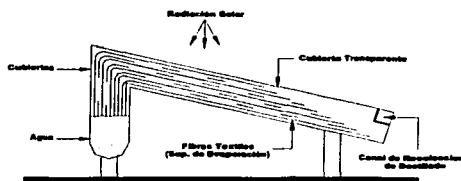


Figura 2.1 Continuación de esquemas básicos del Destilador Solar.

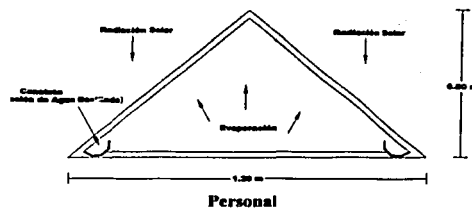
El proceso aprovecha el calentamiento por la radiación solar que ocurre sobre el estanque de escasa profundidad de fondo negro mate y con cubierta transparente inclinada con respecto a la horizontal para producir temperatura en su interior mayores a 60°C y en consecuencia producir vapor en su interior; éste se condensa en la superficie interior del techo de cristal o mica y el agua baja por gravedad que es recogida por unas canaletas laterales.

Existen diferentes tipos de destiladores solares y se clasifican en lo general en:

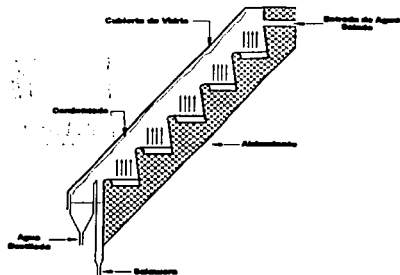
- Destiladores tipo caseta (Similar a los ilustrados en la figura 2.1).
- Destiladores por conversión natural (tipo escalera).
- Destiladores capilares.
- Destiladores personales.



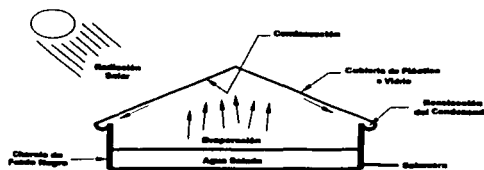
Capilar



Personal



Escalera



Caseta

Figura 2.2 Tipos de Destiladores Solares.

Destilación multiefecto DME.

La destilación en múltiple efecto es la técnica más antigua para desalinizar el agua de mar en grandes volúmenes y se conoce internacionalmente con las siglas MED (multi effect distillation). Este proceso obtiene agua destilada de gran pureza de hasta 4 ppm de salinidad. Para obtener agua destilada, es necesario producir vapor y condensarlo después. De acuerdo con la figura 2.3 el agua de mar se hace pasar (en una determinada cantidad) por el condensador de la planta, con el fin de condensar el vapor que se ha producido en el último efecto; tras atravesar el condensador una parte del agua de alimentación se rechaza y el resto de ella se utiliza como agua de alimentación. Esta agua de alimentación se hace pasar por una serie de precalentadores con el objeto de aumentar su temperatura hasta aproximarla al punto de ebullición del primer efecto o etapa.

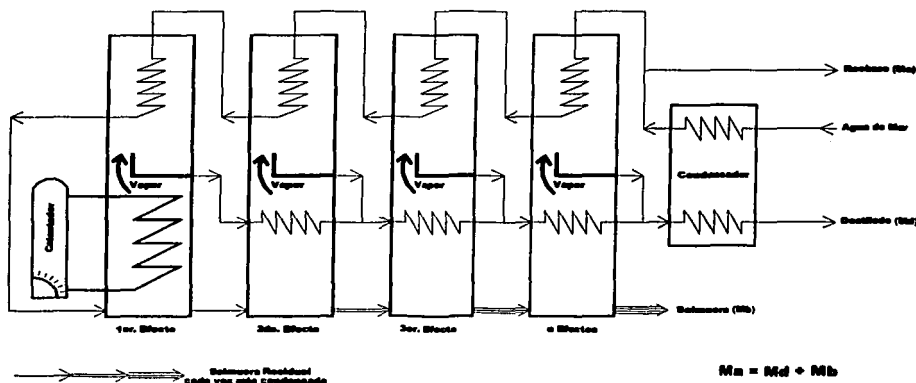


Figura 2.3 Esquema de un destilador DME.

El agua de alimentación es introducida en la 1ra. etapa, pulverizándose sobre un intercambiador de calor de haz tubular. Por el interior de los tubos de este intercambiador circula el fluido caliente que aporta la energía térmica que requiere el proceso (70 a 80 °C). Como consecuencia de esta pulverización, se evapora una fracción del agua de alimentación; donde el vapor pasa a la zona de la primera etapa en el cual se encuentra el precalentador correspondiente que al contacto con la superficie externa de éste se condensa parcialmente.

El resto del agua que no se evaporó en la 1ra. etapa (con un valor correspondiente al de saturación en el siguiente efecto) pasa a la 2da. con menor temperatura, donde se evaporará otra fracción de la misma, debido al calor que cede la mezcla del condensado (agua desalinizada) y el vapor proveniente de la 1ra. etapa. Esta evaporación se produce a una temperatura inferior a la etapa anterior, ya que la presión existente en los siguientes efectos disminuye.

El vapor producido en la 2da. etapa se condensa parcialmente sobre la superficie externa del precalentador correspondiente, pasando la mezcla de vapor condensado a la 3ra. etapa junto

con la salmuera cada vez más concentrada, el proceso se repite de acuerdo al número de efectos y finalmente el vapor pasa a un condensador terminal para obtener el agua destilada. Existe un número óptimo de efectos para cada caso, que varía entre 3 y 12 como lo ha demostrado la experiencia, aunque a veces pueden ser más numerosos; pero, este es menor cuando más barato es el vapor primario.

Este proceso se caracteriza por el hecho de que toda la energía es suministrada al líquido antes de que la ebullición tenga lugar y, que durante la evaporación no se suministra energía adicional; cada efecto multiplica la acción del calor aportado. Y la producción del destilado es 1:2 con respecto a la alimentación de agua de mar.

Con el objeto de eliminar al máximo la formación de depósitos e incrustaciones en el interior de las celdas o tanques, las temperaturas de trabajo en las mismas es del orden de 70 °C; y como se explico anteriormente, para que se produzca evaporación y condensación a estas temperaturas, es necesario que exista un cierto vacío en las celdas, con la cual se baja la temperatura hasta el valor deseado.

Destilación súbita en múltiples etapas DSME:

En este procedimiento al igual que la DME, la destilación se lleva a cabo en una serie de tanques, sin embargo existen algunas diferencias importantes que deben ser tomadas en cuenta:

- a) El destilado en las celdas es sometido a un vacío creciente y sucesivo, por lo que el agua salada cuando pasa de una etapa a la siguiente soporta la evaporación en toda su masa, llamada por esta razón súbita.
- b) La evaporación del agua en cada efecto no se produce mediante el aporte de energía térmica en un intercambiador de calor, sino por expansión brusca de agua caliente presurizada hasta una presión inferior a la de saturación (flashing). Con esto se elimina un intercambiador de calor (el evaporador) en cada etapa.
- c) El agua salada es calentada a presión hasta cerca de la temperatura de ebullición. Esta agua se introduce por un orificio en una cámara, donde se puede seguir evaporando por estar a presión aún menor y así sucesivamente.
- d) La temperatura superior de trabajo en una planta DSME es del orden de 115 a 120 °C; la existencia de estas temperaturas obliga a un pretratamiento inicial del agua más complicado y costoso (acidificación, desgasificación y neutralización) que implican mayores costos de operación y mantenimiento.
- e) La cantidad de agua de mar introducida en el proceso debe ser de 5 a 10 veces superior a la del destilado que se desea producir, lo que implica tener en cuenta la cantidad de agua que hay que bombear.

- f) El número de etapas puede variar entre 20 y 60 (de las cuales 1 a 4 son de eliminación de calor). En los proyectos modernos todas ellas van dentro de una misma carcasa, regulándose las presiones automáticamente mediante el propio flujo del condensado. El arreglo de este sistema se muestra en la figura 2.4.

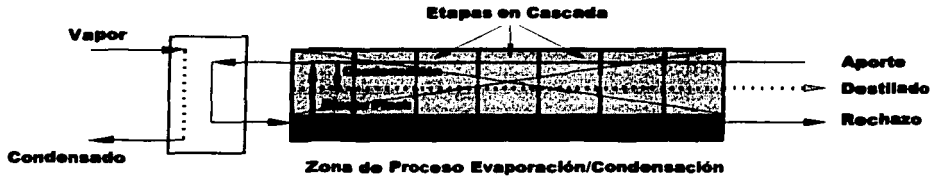


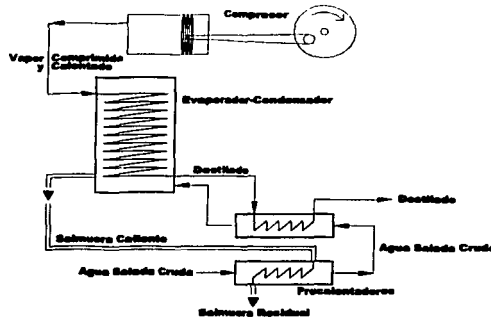
Figura 2.4 Esquema de la destilación DSME.

Destilación por compresión de vapor DCV:

Esta técnica emplea esencialmente energía mecánica y no requiere eliminar calor residual. Se introduce agua salada previamente precalentada a un evaporador donde parte de ella es evaporada a presión por debajo de la atmosférica (bajo vacío) en uno de los lados de la superficie de transferencia de calor; sobre el lado opuesto se condensa el agua destilada.

El vapor de agua comprimido se obtiene por medios electrónicos y mecánicos que al comprimirlo se calienta y al trasladarse por el interior de los tubos, cede energía al agua de mar, que pulverizada sobre el exterior de estos se evapora en parte, al tiempo que el vapor se condensa en el interior, es decir, el vapor caliente actúa en el interior de la tubería y la salmuera dentro del evaporador y al exterior de la tubería que viene del compresor; como se ilustra en la figura 2.5.

El conjunto se mantiene en vacío para trabajar a una temperatura de 40 a 50 °C. El remanente concentrado del agua salobre es extraído como salmuera, que tiene el doble de concentración de sales que la inicial.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Figura 2.5 Esquema de la destilación DCV.

Destilación por congelación.

En el proceso de congelación las sales disueltas en el agua se excluyen de forma natural durante la formación de los cristales. El agua de mar puede desalarse, por tanto, enfriándola hasta el punto de congelación bajo condiciones controladas. Antes de que la masa de agua se haya congelado completamente, la mezcla se lava y aclara con el fin de remover las sales que se puedan ir adhiriendo a los cristales. Una vez que se obtiene el hielo, éste se funde para obtener así el agua dulce.

Teóricamente la congelación presenta algunas ventajas sobre la destilación; entre las que destacan menores requerimientos energéticos -al menos teóricamente-, un mínimo potencial de corrosión, así como menor precipitación e incrustaciones. Como principal desventaja hay que resaltar el hecho de que en la congelación hay que manejar mecánicamente mezclas de agua y hielo lo que resulta complejo de tratar así como disponer del 5% del agua producida, el gran vacío que se requiere y el tamaño del compresor de vapor.

Actualmente, la mayor aplicación de esta tecnología se encuentra en el tratamiento de las aguas residuales industriales, más que en la obtención de agua potable para el abastecimiento de poblaciones.

Osmosis Inversa

A finales de la década de los 60's un nuevo proceso para desalinización directa del agua de mar sin calor, fue introducido, aunque esta técnica fue descubierta por J.A. Nolle en 1748 y fue objeto de numerosos estudios hasta que J.W. Breton dotó de base científica al proceso y a partir del año de 1950 se realizaron los primeros intentos para desalar agua de mar. Este proceso sin cambio de fase fue llamado ósmosis inversa (OI), conocido internacionalmente como reverse osmosis (RO).

Como el nombre lo indica, esta tecnología es la inversión de un proceso natural llamado ósmosis, que establece que, cuando dos soluciones de diferentes concentraciones son separadas por una membrana semipermeable, la de menor concentración o más pura se desplazará -por diferencia de energía potencial- hacia el lado de la membrana en contacto con la solución más concentrada. De tal modo que en la ósmosis con agua de mar, el agua pura fluirá espontáneamente a través de la membrana semipermeable en dirección del lado salino; la presión que se genera en el lado salado es la presión osmótica (figura 2.6) y esta se calcula con la ecuación usual para la presión hidrostática:

$$n = H\rho g$$

donde H es la diferencia de niveles, ρ es la densidad de la solución y g la aceleración de la gravedad. Esta presión osmótica es una presión hidrostática que se opone a que el disolvente siga atravesando la membrana. Por lo que se considera a la presión osmótica como la presión que impide el flujo a través de la membrana.

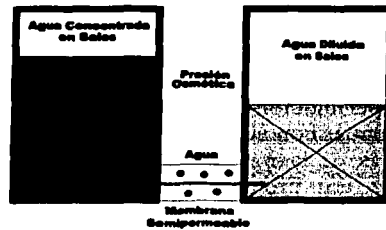
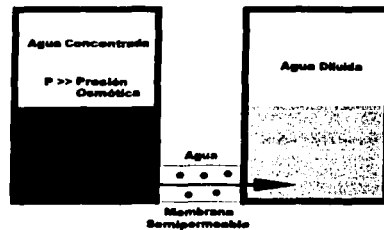


Figura 2.6 Fenómeno de ósmosis

En teoría si uno presiona lo suficientemente fuerte del lado salino de la membrana, con una presión mayor a la presión osmótica natural, se fuerza al agua pura a ser extraída del agua salada a través de la membrana y la ósmosis inversa tiene lugar según se ilustra, figura 2.7, dividiendo el agua de alimentación en dos caudales: *rechazo* con alta concentración de sales (salmuera) y *producto* con baja concentración de sales (agua pura).



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 2.7 Esquema del principio fundamental de la destilación mediante la ósmosis inversa.

Por lo que este proceso de ósmosis inversa se basa en las propiedades de las soluciones y de las membranas semipermeables (principalmente en la resistencia a la presión diferencial, la velocidad de corriente de alimentación y grado de turbulencia) y su desarrollo es prácticamente paralelo al desarrollo tecnológico de las membranas, campo en el cual se está realizando un gran esfuerzo y donde se han tenido logros importantes.

Las soluciones son una mezcla de componentes cuyas cantidades relativas pueden variar, ya que no se trata de una sustancia pura con una composición definida y fija. Se utilizan comúnmente dos términos en el estudio de las soluciones: soluto y disolvente, las que se definen como: la sustancia que esta presente con mayor cantidad generalmente se dice que es un disolvente y la sustancia que se presenta en menor proporción es el soluto.

En lo que respecta a las membranas, en la actualidad se comercia con una amplia gama de éstas en la ósmosis inversa, que para ser utilizadas se encuentran empacadas dentro de módulos¹ con diferentes configuraciones, principalmente para alcanzar el máximo

¹ Un módulo es una agrupación de membranas y es el sistema físico donde se lleva a cabo el proceso de ósmosis inversa.

rendimiento, disponer de sistemas compactos, reducir la polarización, facilitar las labores de mantenimiento y reposición de membranas. Existen cuatro arreglos principales de módulos:

- a) módulo de enrollamiento en espiral con perforaciones: el arreglo consta de un tubo colector con pequeñas perforaciones dentro del módulo, alrededor del tubo son enrolladas dos membranas intercaladas con sus espaciadores; la solución se pasa 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 producto final, el soluto es rechazado por la membrana.

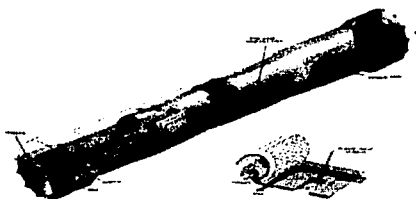


Figura 2.8 Esquema de un módulo de enrollamiento.

- b) módulo de fibras huecas de forma capilar: este arreglo consta de un conjunto de fibras huecas capilares instaladas dentro del módulo; la solución se alimenta presurizada al módulo por el lado envolvente, se forza al paso del disolvente al interior de los capilares para su recolección en un extremo del módulo, el soluto rechazado sale por la envolvente.

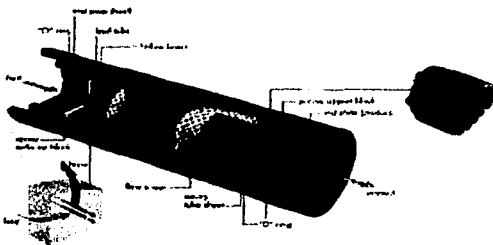


Figura 2.9 Esquema de un módulo de fibras huecas.

- c) módulo de fibras huecas en forma tubular: este arreglo cumple con el esquema del módulo de fibras huecas capilares, con la diferencia que pueden ocurrir desviaciones de la alimentación debido a la falta de uniformidad en el empaqueo del arreglo.
- d) módulo por placas: el arreglo consta de un conjunto de placas una detrás de otra, éstas son huecas en su interior y están interconectadas a una salida común; las placas a su vez están atravesadas por túneles de 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, entre más placas colocadas en serie existan más se enriquecerá la corriente en sales y la separación será más efectiva.

Los módulos de membranas más utilizados son los dos primeros, ya que sus arreglos maximizan el área por unidad de volumen del módulo; pero en muchas aplicaciones se considera la necesidad de controlar la concentración y el desgaste de la membrana por lo que se recurre al módulo por placas, que tiene mayor precisión en el externo de la dinámica de la fase fluida.

Dependiendo de la cantidad de agua que se requiere así como de las características físicas y biológicas del agua a desalinizar, la instalación de una planta será simple o compleja, ya que de ello dependerán los equipos auxiliares de tratamiento que se necesitan. La figura 2.10 muestra un esquema simplificado de una planta de ósmosis inversa convencional.

Los elementos principales que integran una planta convencional de ósmosis inversa son: la bomba de toma de agua, el pretratamiento (inyección de ácido), el filtro, motobomba de alta presión con turbina de recuperación, grupos de membranas alojados en tubos sustentados en módulos, tanque de retrolavado y el tratamiento químico final. La misión de la bomba de toma de agua es suministrar el agua salobre a desalinizar, ya sea a partir del mar o de pozos subterráneos salobres.

El pretratamiento del agua del mar sirve para garantizar las condiciones óptimas del agua de alimentación a los módulos de ósmosis inversa, tanto desde el punto de vista de las propiedades físicas como químicas. En una planta de ósmosis inversa es fundamental y básico un pretratamiento apropiado del agua bruta para conseguir una operación satisfactoria de la instalación.

El pretratamiento consta de varias etapas, con las que se persigue eliminar la existencia de actividad biológica y materias coloidales orgánicas e inorgánicas en el agua, ya que estas bajarían considerablemente el buen comportamiento de los módulos de ósmosis inversa. El pretratamiento incluye una acidificación del agua para evitar la precipitación del carbonato de calcio sobre los módulos. También se suele realizar una decloración del agua con el fin de ajustar la cantidad de cloro residual existente.

A continuación del pretratamiento, se realiza una filtración para eliminar las partículas en suspensión que pudieran existir en el agua y que disminuirían el rendimiento de las membranas de ósmosis inversa.

Una vez pretratada y filtrada, el agua pasa por la motobomba de alta presión que la inyecta en el módulo de ósmosis inversa a la presión necesaria para hacerla pasar por el mismo. No toda el agua inyectada en los módulos de osmosis pasa a través de ellos y es desalinizada, una parte es rechazada en forma de salmuera con una relación aproximada de 2:1.

Antes de ser devuelto al mar, el rechazo de salmuera suele hacerse pasar por una turbina de recuperación para aprovechar su energía mecánica. El eje de esta turbina va acoplado directamente al eje de la motobomba.



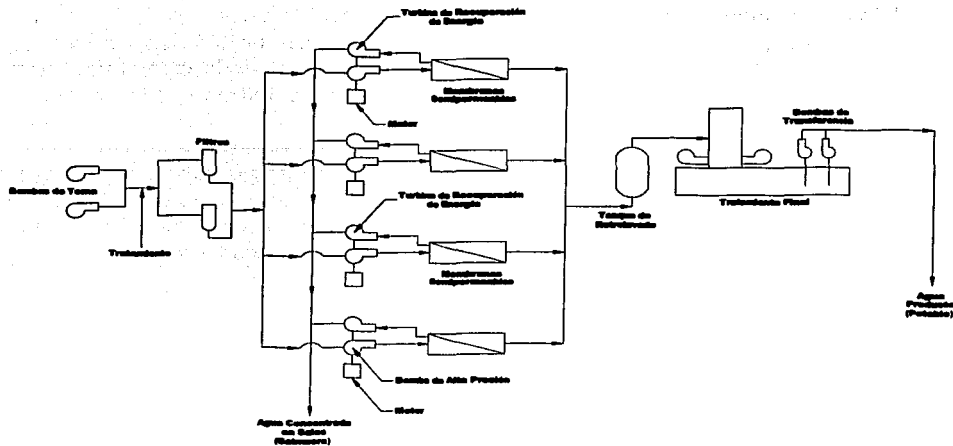


Figura 2.10 Esquema completo de la destilación por ósmosis inversa.

Por último, al agua producida se le realiza un postratamiento que tiene por objetivo garantizar las condiciones adecuadas de potabilidad y prevenir el crecimiento de microorganismos. Este tratamiento generalmente se hace mediante la dosificación de una determinada cantidad de hidróxido cálcico o sódico e hipoclorito sódico.

El consumo energético en una planta de osmosis inversa es netamente eléctrico, correspondiendo principalmente a la energía eléctrica consumida por las motobombas de alta presión, los equipos auxiliares suponen un consumo eléctrico adicional pequeño.

Electrodiálisis.

La electrodiálisis (ED) es otra técnica de desalinización de agua salobre o de mar sin que se produzca un cambio de fase; es un proceso de separación parcial de los componentes de una solución iónica, estos iones son transferidos a través de una membrana selectiva catiónica-aniónica hacia una solución menos o más concentrada por medio de una corriente eléctrica continua. Los iones cargados positivamente (cationes) se desplazan en dirección al electrodo negativo o cátodo y los iones cargados negativamente (aniones) se desplazan hacia el electrodo positivo o ánodo.

Por lo tanto, si entre el ánodo y el cátodo colocamos una serie de membranas paralelas separadas del orden de 1 mm (formando compartimentos), con una alternancia de membranas semipermeables catiónicas y aniónicas, El agua salina penetra en los espacios que hay entre las membranas y de acuerdo con el sentido establecido de la corriente eléctrica, se irán formando paulatinamente zonas de baja salinidad y otras de mayor salinidad en forma alternada; recogiendo por separado el agua de los espacios alternados. Este proceso se ilustra gráficamente en la figura 2.11.

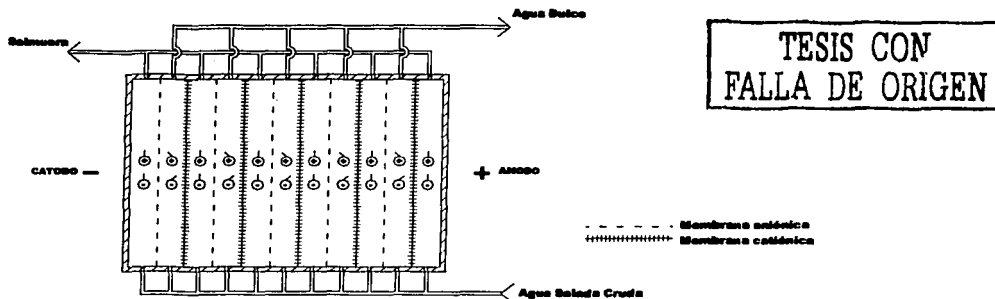


Figura 2.11 Esquema de la destilación mediante electrodiálisis.

En cualquier sistema práctico de electrodiálisis se encuentra generalmente que la cantidad de corriente necesaria para producir una cantidad dada de agua producto, excede el requerimiento calculado con base en el flujo de corriente a través de las membranas semipermeables ideales. Los factores que pueden contribuir a la baja eficiencia de corriente son:

- existencia de patrones de corriente alternos a través de la columna.
- transferencia de agua que puede acompañar al flujo de corriente a través de la membrana.
- a densidades de corriente con bajas o altas concentraciones de sal, los iones H y OH presentes en el agua, empezarán a participar en el proceso de acarreo de corriente

Por lo que se concluye que el consumo de energía es proporcional al contenido de sólidos disueltos, de modo tal que la electrodiálisis no es recomendada para desalinizar agua con 5,000 ppm o mayores.

Una variante del proceso, que en vez de consumir energía eléctrica consume energía mecánica o química, es el proceso osmótico o de ósmosis iónica, que se muestra en la figura 2.12. En los compartimentos extremos 1 y 5, que están comunicados, se introduce agua salobre a presión, la cual cede cationes al compartimento 2 y aniones al 4; éstos compartimentos al igual que el central 3, están alimentados por agua salobre. Entre los compartimentos 2 y 4 existe un desequilibrio iónico que obliga que el agua del compartimento 3 pierda iones, desalinizándose. La salmuera de los compartimentos 1 y 5 debe mantenerse más concentrada que el agua de alimentación.

En la electrodiálisis inversa (EDI), la polaridad de los electrodos se invierte ciclicamente cada 15 o 20 minutos, cambiando la dirección de movimiento de los iones entre las membranas y el agua que pasa en forma alternada por membranas catiónicas y aniónicas, es decir, que al invertir la polaridad de los electrodos varias veces se desvían los flujos simultáneamente, de forma que el canal de salmuera se transforma en el de agua producto y viceversa. Esto prevé una limpieza frecuente y automática de los depósitos formados en la superficie de la membrana, como incrustaciones de sales, limos y otros depósitos antes de que puedan crear problemas.

200 2177
MAY 20 1977

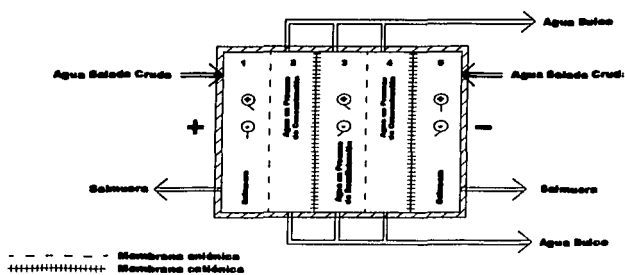


Figura 2.12 Esquema del proceso osmótico.

Como en la mayoría de las separaciones químicas, la desmineralización del agua por electrodiálisis puede lograrse usando ya sea operación continua u operación por lotes (tipo batch). A diferencia de los procesos de desalinización en los cuales hay un cambio de estado del líquido, las condiciones de temperatura ambiente y de baja presión para los procesos de electrodiálisis hace posible ambos métodos: continuos y por lotes. Solamente sopesando los factores técnicos y económicos, por lo que puede seleccionarse el sistema más adecuado para una aplicación dada.

El proceso continuo, consiste en una o más celdas a través de las cuales el agua a ser desmineralizada se pasa sólo una vez. El grado de desmineralización conseguido es una función simple del tiempo de resistencia y de la corriente aplicada.

En el proceso de recirculación batch, se bombea un volumen fijo de agua de alimentación desde un tanque a través de una columna de membrana y de regreso a un depósito temporal hasta que se consigue el grado deseado de desmineralización. El requerimiento de energía de dicho proceso depende en gran medida de si el producto intermedio que deja la columna en cualquier tiempo dado, se mezcla o no con el agua del depósito temporal.

Intercambio de iones

El proceso para desmineralizar agua salina por cambio iónico se basa en la propiedad de ciertas resinas catiónicas saturadas con H^+ (hidrógeno) y ciertas resinas aniónicas saturadas con OH^- (hidróxido), de cambiar éstas a sus ácidos correspondientes: por cationes y aniones de agua, respectivamente. Después de pasar el agua salina por una columna de resina catiónica y con otro de resina aniónica, se obtiene agua pura debido a que $H^+ + OH^- = H_2O$. Las resinas por intercambio iónico son sustancias insolubles, que cuentan con la propiedad de que intercambian iones con sal disuelta si se ponen en contacto.

El intercambio iónico en la desmineralización toma lugar con las reacciones reversibles en equilibrio. Este proceso depende de muchos factores externos, tales como la temperatura y presión, pero principalmente de la naturaleza y valencia del ion, el tipo de cambiador, el grado de saturación de la resina de intercambio iónico y la concentración iónica en el agua.

Una vez agotada la capacidad de las resinas, éstas pueden regenerarse con reactivos adecuados, por ejemplo H_2SO_4 o HCL para los catiónicas y $NaOH$ para las aniónicas. La regeneración puede ser local o externa; en la primera, las soluciones regenerantes son llevadas a las columnas de vaciado y la regeneración es dirigida ahí (localmente) y, en la segunda ocurre en la zona externa, en la cual el cambiador es hidráulicamente regado o transferido después del vaciado.

Esta técnica tiene una implantación industrial muy importante en las plantas de tratamiento para el ciclo de vapor en las centrales termoeléctricas y también es empleada en la industria cuando se precisa de agua con baja salinidad para procesos o calderas.

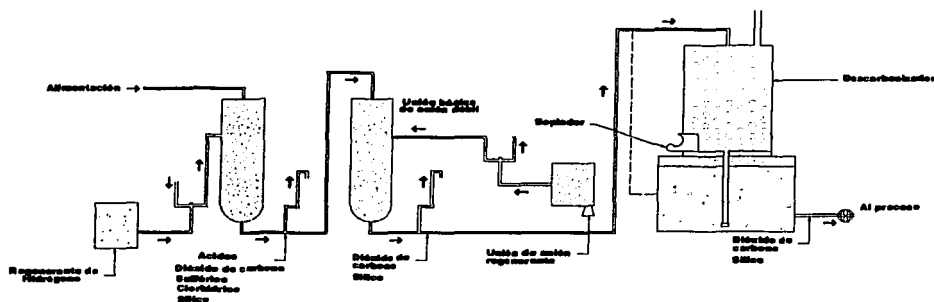


Figura 2.13 Esquema de intercambio de iones de dos camas.

Planta dual y combinación de energía en los procesos de desalinización.

Aunque no es usual en México, excepto en la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en la Planta Rosarito y en Tijuana, Baja California, donde actualmente se está prestando gran interés al acople de plantas desalinizadoras con centrales eléctricas, obteniendo de este modo lo que se conoce como Planta Dual, este acople puede realizarse con plantas DME y DSME como en las plantas de OI.

Las plantas de DME y DSEM requieren una fuente que les suministre energía térmica y las centrales térmicas son una fuente de calor, la implantación de estas plantas duales resulta no solo atractiva sino inevitable para las plantas desalinizadoras de gran capacidad. Para las plantas duales, los procesos DME resultan más ventajosos que los de DSME debido a su menor consumo energético (véase subcapítulo 2.6 de este trabajo); pero el principal inconveniente de las plantas duales con DME o MSED es la fuerte interdependencia que muestran los dos productos (electricidad y agua) de modo que es necesaria una clara coincidencia entre las ofertas y las demandas de ambos.

Desde este punto de vista (interdependencia), la OI presenta una clara ventaja al acoplarse con una central eléctrica, ya que pueden ser bastante independientes las ofertas y demandas extremas de agua y electricidad, porque la energía eléctrica que necesita la planta de OI puede

ser suministrada por una fuente externa, esto ayuda a compensar los inconvenientes derivados de un mayor consumo energético cuando se compara con la planta DME y las membranas que requiere la planta de OI.

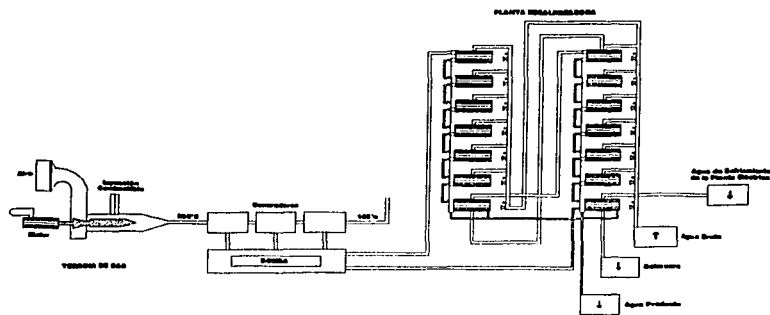


Figura 2.14 Esquema de una planta dual de gas.

Otro concepto de las plantas duales, es el aprovechamiento de las energías renovables como son la eólica y la solar, pero con el inconveniente de no poder garantizar un suministro continuo y constante de energía, por lo que en los procesos de desalinización mencionados anteriormente es necesario la combinación de las energías convencionales que requieren según el proceso con las energías renovables. Por ejemplo las plantas MED consumen energía térmica fundamentalmente, y pueden ser acopladas a un sistema capaz de transformar la radiación solar en energía térmica (por medio de sistemas fotovoltaicos, capaces de transformar la radiación solar a eléctrica o térmica) que demanda el proceso.

Mientras que las plantas de ósmosis inversa y electrodiálisis son adecuadas para ser acopladas a los sistemas eólicos (que transforman la energía cinética del viento en energía eléctrica) o a los sistemas fotovoltaicos. Dependiendo de cual sea el factor meteorológico predominante; el sol o el viento, se instalará un tipo u otro de sistema. Los elementos principales que componen cualquiera de estos sistemas son: sistema de generación de energía, sistema de almacenamiento de energía renovable, sistema de energía convencional, planta desalinizadora y las obras complementarias de ésta. En la figura 2.15 se muestra un esquema general de este tipo de plantas con la combinación de energías.

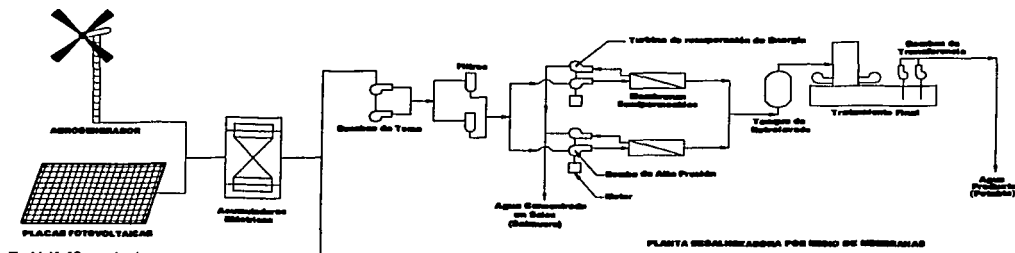


Figura 2.15 Esquema de una planta dual de combinación de energías.

Ventajas y desventajas

Cada una de las técnicas mediante las cuales se puede desalinizar el agua, tiene sus propias características que las hace más o menos adecuadas para el caso de que se trate. Todos tienen ventajas y desventajas, por ello es necesario hacer un adecuado análisis de todos los factores antes de tomar cualquier decisión.

Entre los factores que hay que considerar cabe destacar los siguientes: proceso de desalinización; calidad de la fuente a tratar; costos de inversión y energéticos; operación y mantenimiento; condiciones del sitio de instalación; amortización de la planta y las obras complementarias; rendimientos energéticos, equipo adicional, disponibilidad de mano de obra calificada para la operación de la planta, capacidad de la planta, etc. Todos estos factores inciden de manera directa en los costos de la desalinización (ver subcapítulo 2.6 de este trabajo).

Como característica general, se tiene que el consumo energético de los procesos de desalinización mediante cambio de fase no depende de la salinidad del agua a tratar; la cantidad de energía térmica necesaria para obtener un litro de agua destilada es prácticamente independiente de la salinidad inicial del agua. Mientras que en los procesos sin cambio de fase consumen más energía cuanto mayor es la salinidad del agua inicial, pero resultan más ventajosos cuando se trabaja con agua salobre cuya salinidad es inferior a la de mar o cuando se obtienen grandes volúmenes de agua pura.


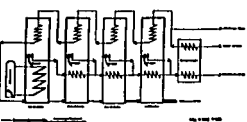
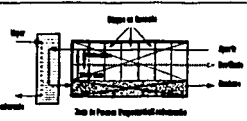
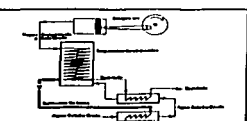
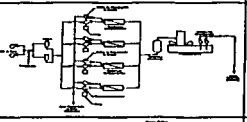
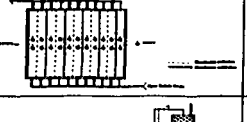

Los costos y amortización de la planta, equipos adicionales y obras complementarias deben ser un factor sumamente analizado para tomar una decisión, ya que hay que considerar la operación y mantenimiento de éstos y definir con precisión cual será el tipo de interés aplicable (si hubiese un préstamo bancario), buscar incentivos fiscales para la inversión en este tipo de obras y la amortización del equipo a través de su vida útil y así buscar qué proceso es el más rentable.

Otra característica de los procesos sin cambio de fase es que requieren un cuidadoso pretratamiento del agua salina, ya que en caso contrario se vería gravemente amenazada la vida útil de las membranas de ósmosis inversa o electrodiálisis. Hay que tener presente que el costo de las membranas constituye una parte importante del costo total de la planta; por este motivo es que estas plantas requieren mano de obra calificada para operarlas adecuadamente.

De las tecnologías mencionadas en este apartado: destilación (solar, ME, SME y CV), ósmosis inversa, electrodiálisis e intercambio iónico, cada una tiene su propio mercado y tienen una diversidad de factores que hay que tener presentes antes de elegir el proceso más adecuado a nuestras necesidades y particularidades. No existe un proceso absolutamente mejor que los demás, siendo este el motivo de que no exista un proceso que haya desplazado del mercado a los demás.

Debido a que no se puede decir en forma general qué técnica de desalinización es mejor que otra, a continuación se presentan algunas diferencias básicas (cuadro 2.1) que pueden ser útiles a la hora de seleccionar el proceso óptimo para cada caso específico.

Cuadro 2.1 Ventajas y desventajas de las diferentes técnicas de desalinización

Proceso	Técnica	Funcionamiento	Tipo de energía	Consumo de energía KWh/m ³	Factores que demandan para potencia	Temperatura máxima	Energía adicional	Pretratamiento	Consumo energético dependiente de la salinidad	Rango de salinidad *	Requisito operacional	Plazo de instalación **	Mantenimiento
TÉRMICOS	Solar		T	-	Temperatura ambiente Viento Insoleación	Ambiente	Si bombe	No	No	Amplio: aguas marinas sobrees	Bajo	-	0 a 12 meses inspección reparación de goteras remoción de sales
	DE		T E	32 1 - 2.5	Temperatura ambiente Agua tratada	125°C	Si equipo	Simple: filtración aireación	No	Amplio: aguas marinas sobrees	Bajo	18 a 24 meses	8 a 18 meses control de corrosión e incrustaciones mantenimiento de bombas
	SDE		T E	48 - 411 3 - 6	Temperatura ambiente Agua tratada	75°C	Si equipo	Moderado: filtración aireación	No	Amplio: aguas marinas sobrees	Bajo	24 meses	2 a 4 años control de corrosión e incrustaciones mantenimiento de bombas
	CV		T E M	8-25	Eficiencia de intercambio de calor	75°C	Si equipo	Simple: filtración control e escala	No	Amplio: aguas marinas sobrees	Bajo	12 meses	6 meses a 2 años control de corrosión e incrustaciones mantenimiento de bombas
MEMBRANAS	Osmosis inversa		M E	4 - 17	Salinidad Recuperación de energía	-	No	Edgerte: filtros químicos (depende del agua bruta)	No	Amplio: aguas marinas sobrees	Alto	18 meses	1 a 2 años cambio de filtros Empieza de membranas mantenimiento de bombas corrosión
	Electrodialisis		E	0.8 - 11	Salinidad	-	No	Moderado: filtros químicos (depende del agua a tratar)	Si	< 10,000 ppm	Medio	-	1 a 2 años cambio de filtros mantenimiento de bombas control de corrosión
	Cambio iónico		E	-	Salinidad	-	No	Moderado: filtros químicos (proceso)	Si en gran medida	< 10,000 ppm	Medio	-	-

Tipo de energía: T = térmica, E = eléctrica, M = mecánica

* El rango de salinidad para aguas marinas es < 40,000 ppm

** Incluye las obras complementarias como son las captaciones y conducciones, tanques de tratamiento y almacén.

*** Se refiere al porcentaje que se produce de agua potable por la cantidad de agua de mar que se introduce al sistema desalinizador.

Fuente: Ingeniería hidráulica en México, Desalinización del Agua, Vol. 1, 2000.
Agua Potable, Desalación y Reusos de Agua en México, Vol. 7, 1992.

Conversión (producto / agua, m ³ bombeado)	Planta de mayor tamaño	Capacidad mundial	Estado comercial	Número de plantas instaladas	Tamaño típico de instalación (m ³ /d)	Costos inversión (USD/m ³)	Complejidad operacional	Requerimiento de repuesto	Otros
-	-	-	Nulo, soluciones locales	-	0.005 a 5	9,000 a 66,000	Baja	Ninguno	Sirve a la vez como superficie captadora de agua de lluvia Necesita grandes extensiones de superficie Envejecimiento de cubiertas Taponamiento de los conductos de agua No apto para países industrializados por el alto costo de mano de obra Cubierta propensa a meteoros (lluvia, granizo, etc.)
25-40%	18,000 m ³ /día	-	Desarrollado recientemente Escasos fabricantes	805 plantas	1,000 a 18,000	1,000 a 12,000	Alta	Filtro	Reducción de necesidades de pretratamiento y mantenimiento Problemas de incrustaciones Factor de producción elevado, condicionado a planta eléctrica
10-25%	45,000 m ³ /día	-	Completamente desarrollado Numerosos fabricantes	1,088 plantas	1,000 a 45,000	800 a 15,000	Alta	Filtro	Factor de producción elevado, condicionado a planta eléctrica
40-50%	3,000 m ³ /día	-	En desarrollo Escasos fabricantes	700 plantas	2 a 3,000	1,100 a 4,200	Alta	Filtro	Factor de producción elevado, independiente a planta eléctrica Otras aplicaciones: obtención de aceites crudos obtención de agua destilada para hospitales
35-45%	9,000 m ³ /día	-	Completamente desarrollado Numerosos fabricantes Numerosos fabricantes de membranas	5,140 plantas	-	1,000 a 2,000	Depende de la tasa recuperación y pretratamiento	Filtro mensual Membranas (2 a 5 años)	Factor de producción elevado, independiente a planta eléctrica Tecnología suficientemente probada Aplicación en el tratamiento de aguas residuales, industriales y urbanas
40%	-	-	-	-	1 a 10,000	280 (sábros)	Depende de la tasa recuperación y pretratamiento	Filtro mensual Membranas (10 años)	Otras aplicaciones: producción de sal común desalación de soluciones proteínicas
-	-	-	-	-	0.1 a 200	-	-	-	-

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.4 Evolución Tecnológica de la Desalinización en México.

Las técnicas de desalinización y su evolución comenzaron a tomar fuerza a partir de los años 60 en todo el mundo, tras finalizar la Segunda Guerra Mundial. En México se comenzaron a construir las primeras plantas de destilación solar y en los años 70 con apoyo de técnicos franceses (Desalinización del Agua, Ingeniería Hidráulica en México, volumen 1, 2000), dentro del programa "Tonatiuh", financiado por el Gobierno Federal, sin embargo actualmente estas plantas no están operando. Las principales características de estas plantas se presentan en el cuadro 2.2.

Cuadro 2.2 Datos generales sobre 16 plantas solares construidas en México, de 1974 a 1977.

Ciudad y estado	Año	Area del colector (m ²)	Capacidad de extracción (m ³ /h)	Profundidad de extracción (m)	Horas de operación	Uso del agua	Ubicación
Caborca, Son	1974	90	3	45	5 a 6	C. Humano	Escuela
Ceballos, Dgo.	1974	90	4	40	5 a 6	C. Humano	Dispensario médico
Cedral, SLP	1975	80	4	20	5 a 6	Irrigación	Colectores a suelo
Mexicali, BC	1975	80	7	20	5 a 6	C. Humano	Restaurant
La Cruz, Chih.	1975	80	7	30	5 a 6	C. Humano	Bodega
Escárcega, Cam.	1975	70	4	25	5 a 6	C. Humano	Escuela
San Luis de la Paz, Gto.	1975	15 000	150	54	5 a 6	C. Humano Irrigación	Institución científica
Los Canes, Zac.	1976	90	4	30	5 a 6	C. Humano C. Animal	Almacén
Todos Santos, BC	1976	90	4	30	5 a 6	C. Humano	Escuela
Tolces, Zac.	1976	90	4	30	5 a 6	C. Humano	Escuela
David Gtz, QR	1976	90	4	50	5 a 6	C. Humano	Dispensario
Yanhuitlán, Oax.	1976	90	4	22	5 a 6	Irrigación	Escuela
Ixtacuixtla, Tlax.	1976	90	4	30	5 a 6	Irrigación	Instituto
Jaumave, Tamps.	1976	90	4	13	5 a 6	C. Humano C. Animal	Almacén
Nocac, Yuc	1976	90	4	50	5 a 6	C. Humano C. Animal	Escuela
Paseo Guayabal	1977	90	4	35	5 a 6	C. Humano	Colector sin suelo

Fuente: Ingeniería Hidráulica en México, Desalinización del Agua, Vol. 1, 2000.

Al mismo tiempo, la tecnología de ósmosis inversa empezaba a ser utilizada para la industria mexicana y por la Comisión Federal de Electricidad (CFE), quienes fueron los pioneros en la utilización de este proceso para su producción específica; después, debido a las necesidades de agua potable de buena calidad en puertos y poblaciones turísticas se les han unido a la utilización de estos procesos la industria hotelera y plataformas petroleras. A continuación se listan algunas empresas que obtienen agua potable mediante la desalinización.

1. Altos Hornos de México (AHMSA). Fábrica de Acero I y II. Monclova, Coahuila.
Cinco sistemas
Inician operaciones 1976, 1988, 1977, 1980, 1981 y 1988
Capacidades de 2 180 m³/día; 820 m³/día; 820 m³/día; 820 m³/día; 1 090 m³/día, respectivamente.
Desalan agua de pozo con una conductividad de 3 400 umho/cm.
El agua producida se usa en la construcción de Boilers de alta presión (después del pulimento I.E.).
2. CFE. Planta Nachicocán, Mérida, Yucatán.
Inicia operaciones en 1981.
Capacidad de 245 m³/día.
Desalación de agua de pozo salobre con una conductividad de 720 umho/cm.
3. General Motors de México. Planta ensambladora. Ramos Arizpe, Coahuila.
Tres unidades.
Inician operaciones en 1981.
Con capacidades de 727 m³/día cada una.
Desalan agua de un pozo salobre con 2 000 mg/l SDT.
El agua que se produce se usa para agua potable y para procesos internos.
4. General Motors de México. Planta de Ingeniería. Ramos Arizpe, Coahuila.
Inicia operaciones en 1982 cuenta con 5 unidades cuya capacidad es de 349 m³/día.
Desalación de agua de pozo con 2 100 a 2 300 mg/l SDT.
El agua que se produce tiene uso potable y de procesos internos.
5. CFE. Planta Río Bravo, Tamaulipas.
Dos sistemas.
Inicia operaciones en 1980 y 1981.
Capacidades de 75 y 2 240 m³/día, respectivamente.
Desalación de agua del Río Grande, con una conductividad de 680 umho/cm.
6. Química de Rey. Industrias Peñoles. Laguna del Rey, Coahuila.
Dos sistemas.
Inician operaciones en 1972 y en 1984.
Con capacidades de 500 m³/día y 1 000 m³/día, respectivamente.
Desalan agua de pozo gaseosa con 5 000 mg/l SDT, desalación de agua de pozo con 4 100 a 4 500 mg/l SDT.

7. CFE. Planta Río Escondido, Nava, Coahuila.
Inicia operaciones en dos partes una en 1981 y finalmente toda la planta en 1984.
Capacidad de 2 880 m³/día.
Desalación de agua de pozo salobre con una conductividad de 850 a 1 250 umho/cm.
8. Industria de Alkali. Fábrica de sosa cáustica. Villa de García, Nuevo León.
Dos sistemas.
Inician de operaciones en 1982 y en 1986.
Ambas con una capacidad de 1 250 m³/día.
Desalan agua de pozo salobre.
9. Cervecería Cuauhtemoc. Fabricación de cervezas. Tecate, Baja California.
Tres sistemas.
Inician operaciones en 1974, 1979 y 1984.
Con capacidad de 380 m³/día cada una de ellas.
Desalan agua de pozo con 900 a 950 mg/l SDT.
El agua que se produce se usa para procesos internos.
10. CFE. Planta Rosarito, Baja California.
Inicia operaciones en 1983.
Capacidad de 600 m³/día.
Desalación de agua salina con una conductividad de 55 000 umho/cm.
11. Papelería Maldonado. Monterrey, Nuevo León.
Un sistema.
Inicia operaciones en 1987.
Capacidad de 980 m³/día.
Desalación de agua de pozo.
El agua producto se usa en procesos internos.
12. Coca Cola. Campeche, Campeche.
Tres sistemas.
Inician operaciones 1991, 1978 y 1983.
Con capacidades de 600, 230 y 230 m³/día, respectivamente.
Desalan agua de pozo.
El agua que se produce se usa para la fabricación de agua gaseosa.
13. CFE. Planta Samalayuca, D.B., Chihuahua.
Dos sistemas.
Inician operaciones en 1985 y 1991.
Capacidades de 950 y 820, respectivamente.
Amabas desalan agua de pozo salobre con una conductividad de 2 000 umho/cm.
14. Fábricas Monterrey. Ensenada, Baja California.
Un sistema.
Inicia operaciones en 1978.
Capacidad de 575 m³/día.

Desalación de agua de pozo salobre.
El agua que se produce se usa también para procesos internos.

15. Renault de México. Planta de Ingeniería. Gómez Palacio, Durango.

Un sistema.

Inicia operaciones en 1984.

Capacidad de 530 m³/día.

Desalación de agua de pozo que presenta una conductividad de 1 750 umho/cm.

El agua producto se usa como potable y también se usa para procesos internos.

16. Chrysler de México. Planta de Ingeniería. Ramos Arizpe, Coahuila.

Dos sistemas.

Inicia operaciones en 1981 y 1982.

Capacidad de 254 y 186 m³/día, respectivamente.

Desalación de agua de pozo que presenta una conductividad de 2 500 umho/cm.

El agua que producen tiene uso potable y también, para procesos internos.

17. CFE. Planta Ciudad Delicias, Chihuahua.

Inicia operaciones en 1991.

Capacidad de 820 m³/día.

Desalación de agua de pozo

18. HYLSA. Monterrey, Nuevo León.

Un sistema.

Inicia operaciones en 1990.

Capacidad de 380 m³/día.

Desalación de agua de pozo.

El agua que producen se usa para procesos internos.

19. GALVAK. Monterrey, Nuevo León.

Un sistema.

Capacidad de 272.5 m³/día.

Desalación de agua de pozo.

El agua que producen se usa en procesos internos.

20. CFE. Planta Huinalá, Pesquería, Nuevo León.

Inicia operaciones en 1984.

Capacidad de 440 m³/día.

Desalación de agua de pozo salobre con una conductividad de 1 850 umho/cm.

21. Pita, S.A.. Mexicali, Baja California.

Un sistema.

Inicia operaciones en 1978.

Capacidad de 230 m³/día.

Desalación de agua de pozo.

El agua producto se usa como agua embotellada.

22. Coca Cola. Cancún Quintana Roo.
 Un sistema.
 Inicia operaciones en 1980
 Capacidad registrada en 230 m³/día.
 Desalación de agua de pozo.
 El agua que produce se usa para la fabricación de agua gaseosa.
23. CFE. Planta El Mezquital, San Nicolás de los Garzas, Monterrey, Nuevo León.
 Inicia operaciones en 1979.
 Capacidad de 2 020 m³/día.
 Desalación de agua de pozo salobre con una conductividad de 1 900 umho/cm, aunque también en algunas ocasiones agua potable con una conductividad de 650 umho/cm.
24. General Mills. Tampico, Tamaulipas.
 Un sistema.
 Inicia operaciones en 1978.
 Capacidad de 230 m³/día.
 Desalación de agua de pozo.
 El agua que produce la usa para procesos internos.
25. Univec. Fabricación de Caprolactam. Salamanca, Guanajuato.
 Un sistema.
 Inicia operaciones en 1991.
 Capacidad de 230 m³/día.
26. Hotel Sol Caribe. Cozumel, Quintana Roo.
 Un sistema.
 Inicia operaciones en 1984
 Capacidad de 200 m³/día.
 Desala agua de un pozo salobre.
 El agua producto la utiliza como potable.

2.5 Evolución Comercial de la Desalinización en México.

Las tecnologías de desalinización en México aún no han alcanzado un punto relevante, en lo que a su comercialización se refiere, ya que como se vio en el apartado anterior, las industrias y paraestatales del gobierno en casos particulares son las únicas que han decidido implementar el uso de esta tecnología para sus procesos y requerimientos industriales.

Y en cuanto a las empresas comercializadoras de estas tecnologías, la mayoría se encuentran en el extranjero, vendiendo plantas paquete, equipos adicionales, repuestos y dispositivos (como las membranas); por lo que la ingeniería mexicana solo compite en la construcción de las obras complementarias y los estudios de ubicación de los mejores sitios para la toma y disposición final de la fuente (que se incluyen en este trabajo en los capítulos IV y V).

2.6 Costos de Desalinización del Agua.

Los costos de la desalinización del agua varían en un rango muy amplio y es preciso señalar que no es el único factor para tomar una decisión, a éste se suman otros de tipo ecológico, geográfico y social, que están ampliamente relacionados entre sí.

Los costos de desalinización también se van a diferenciar de aguas marinas y de aguas salobres, ya que la instalación necesaria y los costos de operación son bastante inferiores en el segundo respecto al primero, a pesar de que los procesos se pueden utilizar en ambos casos. Dado que la mayoría de la tecnología se encuentra en el extranjero y para efectos de comparación de costos, éstos se presentan en dólares (USD).

Costos de desalinización de agua de mar

Hay dos principales tecnologías bien definidas para la desalinización de agua de mar: destilación y ósmosis inversa, por lo que es necesario tratarlas independientemente dada la diferencia que existe entre ambos procesos. Los factores que destacan sobre los costos de desalinización son:

Destilación:

- **Costos de energéticos:** la asignación de costos de producción del agua y energía eléctrica (en plantas duales) es bastante problemática, sobretodo cuando de forma interesada se intenta cargar los costos a uno de los productos. Una metodología ampliamente utilizada para asignar el costo a cada producto es el método de kilowatts perdidos, en la cual se calcula el costo de combustible cargado al agua (Kronenberg y Dvornikov, World Congress on Desalination and Water Reuse, EU, 1999).

$$CC_a = \frac{(w_1 - w_2)CE_1}{D} C_c$$

donde CC_a es el costo de combustible por metro cúbico de agua ($\$/m^3$), w_1 y w_2 son respectivamente las producciones eléctricas de planta (kW) cuando esta desacoplada y no lo está a la DSME, CE_1 es el consumo específico de la planta en condiciones de desacoplamiento (kcal/kW h), D es la producción de destilado ($m^3/día$) y C_c es el costo del combustible ($\$/kW h$).

Combustible	Precio (USD / GJ)	DME (USD / m ³)	DSME (USD / m ³)	DCV (USD / m ³)
Petróleo	3.8	0.60 a 0.80	0.80 a 1.19	0.90 a 1.25

Tabla 2.1 Costo energéticos por m³ para los procesos de destilación.

Considérese que la tecnología de las plantas de generación eléctrica puede variar sustancialmente en función del combustible utilizado; para el caso particular de la tabla

2.1 se consideró el costo de gas natural que se requiere para producir 1JG que es igual a 238,845.90 Kcal.

- **Consumo eléctrico:** esta tecnología consume adicionalmente energía eléctrica para la circulación de los flujos de alimentación, salmuera, destilado, retorno del condensado; y las plantas DSME necesitan una bomba adicional del recirculado de salmuera, que incrementen su consumo respecto a las plantas MED. La tabla 2.2 presenta los costos por este concepto para los diferentes tipos de destilación.

Tabla 2.2 Costo de consumo eléctrico por m³ para plantas por destilación

Procesos de destilación	Consumo específico (kWh/ m ³)	Costo USD / m ³
ME	1.0 - 1.5	0.05 a 0.07
SME	3.0 - 3.5	0.13 a 0.15
CV	11.0 - 25.0	0.43 a 0.53

Fuente: Desalinización del agua. Ingeniería Hidráulica en México, volumen 1, 2000.

- **Inversión:** la inversión necesaria para este tipo de plantas ha ido descendiendo poco a poco, con la inclusión de nuevos materiales más resistentes a la corrosión (no tan caros como los aceros inoxidable o aleaciones de titanio). Los precios por m³/día de capacidad instalada dependen lógicamente del tamaño de la planta, éstos se presentan en la tabla 2.3 y también se presentan los costos de amortización para una vida útil de 20 años y una operación anual de 300 días.

Tabla 2.3 Costo de inversión por m³ para plantas por destilación

Procesos de destilación	Costos de inversión USD / m ³	Estimación de costos ciclo de vida USD / m ³
ME	1,000 a 12,000	0.7 a 4.0
SME	800 a 15,000	1.2 a 4.2
CV	1,600 a 2,000	0.5 a 5.0

Fuente: Desalinización del agua. Ingeniería Hidráulica en México, volumen 1, 2000.

- **Otros costos:** los costos de operación (mano de obra) y mantenimiento; repuestos y químicos (como los utilizados para evitar formación de costras) se muestra en la tabla 2.4.

Tabla 2.4 Costo de operación y mantenimiento; repuestos y requerimientos químicos

Procesos de Destilación	Operación y mantenimiento USD / m ³	Productos químicos USD / m ³	Repuestos (filtros) USD / m ³
ME	0.04 a 0.07	0.02 a 0.03	0.01 a 0.02
SME	0.05 a 0.07	0.02 a 0.04	0.01 a 0.02
CV	0.05 a 0.09	0.03 a 0.05	0.02 a 0.03

Fuente: Desalinización del agua. Ingeniería Hidráulica en México, volumen 1, 2000.

Los costos de un destilador solar incluyen: inversión, operación y mantenimiento, siendo el primero el más significativo ya que aplica hasta el 95% del total del agua (Ingeniería Hidráulica en México, volumen 1, 2000) del costo de producción de la misma; con respecto a la operación y mantenimiento los costos son muy bajos y se tiene la opción de utilizar mano de obra local, sin preparación especializada, por lo que se puede ver como una tecnología propia para el medio rural y zonas marginadas, donde se requieren bajos volúmenes de agua y se cuente con las condiciones para que se opere adecuadamente (niveles de insolación).

Por lo que el costo total para los procesos de destilación, que se presentan en la tabla 2.5 en el caso de consumir petróleo como energía primaria (excepto destiladores solares), pero esta tabla debe considerarse sólo como un ejercicio porque se debe tomar en cuenta los equipos y necesidades de cada región para tomar una decisión basada en los costos por m³.

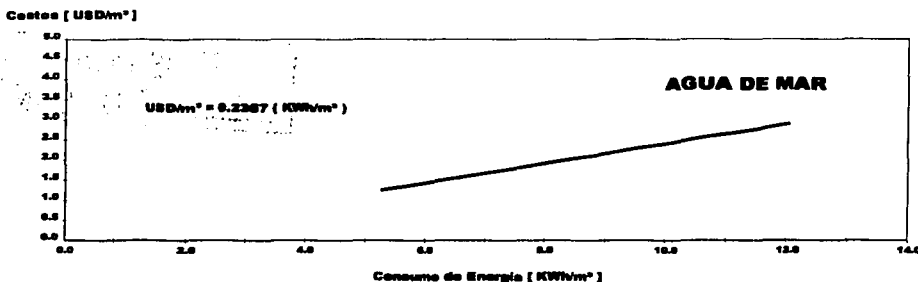
Proceso de destilación	Costo total (USD / m ³)
ME	0.86 a 1.10
SME	0.92 a 1.50
CV	1.12 a 1.60
Solar	9.00 a 12.00

Tabla 2.5 Costo de inversión por m³ para plantas por destilación.

Ósmosis Inversa.

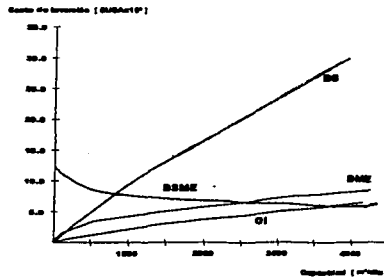
Para este proceso con agua de mar, se tiene que tener en cuenta la infinidad de variables que afectan de forma considerable el costo final del agua desalinizada, como son: tamaño de instalación, condiciones físicas y geográficas de la captación de agua marina, calidad del producto requerido, sistema de recuperación de energía utilizada.

- Costo de energía eléctrica: el consumo eléctrico de las plantas desalinizadoras por OI incluye los equipos adicionales que requieren estas plantas, que principalmente son las bombas de alimentación y motobombas para alcanzar las presiones requeridas. La energía requerida va de 5 a 12 kWh/m³ (ver gráfica 2.1), pero con la aparición de los sistemas de recuperación de energía que existen actualmente este consumo específico varía de 3 a 5 kWh/m³ y los costos por 1.2 a 1.8 kWh/m³.



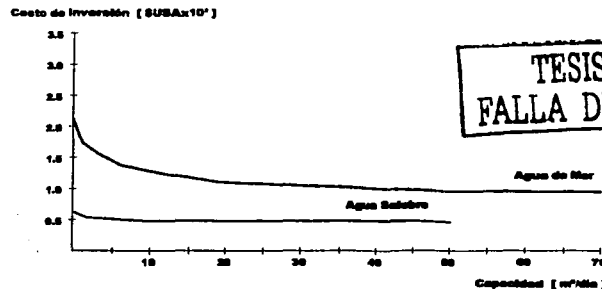
Gráfica 2.1 Consumo de energía mediante ósmosis inversa.

- **Inversión:** el arranque de cualquier proyecto de desalinización se ve impactado por este concepto, que no incluye los consumos energéticos, el pretratamiento, el postratamiento, la operación y el mantenimiento; lo que lo hace el concepto más relevante para el estudio económico de estas plantas. En cuanto a la inversión necesaria por $m^3/día$, ésta se ve beneficiada con el aumento de producción de agua pura, como se ilustra en la gráfica 2.2.



Gráfica 2.2 Costos de inversión en función de la capacidad de las plantas.

- **Costo por reposición de membranas:** si se tiene una adecuada operación de las plantas de OI, las membranas pueden alcanzar su vida útil sin problema, que en la mayoría de los casos es de 8 años (incluyen limpieza), y esta puede evaluarse por m^3 producido que va del orden de 0.02 a 0.04 USD/ m^3 ; otro criterio de evaluación es el 25 al 32% del costo total de la planta.
- **Aditivos químicos:** la dosificación de los reactivos químicos dependen de la calidad del agua de alimentación y a la calidad del agua producto que se quiere obtener, de modo tal que es necesario precisar estos parámetros, pero su costo promedio es de 0.02 a 0.06 USD/ m^3 o, considerar del 8 al 10% del valor de adquisición de la planta.
- **Operación y mantenimiento:** estos costos dependen del tamaño de la planta, ya que entre más grande sea la planta mayor es la necesidad de tener personal fijo para su operación y mantenimiento que permita una producción continua y sin pérdidas. Por lo que los costos por OI por m^3 de agua producido se puede resumir en la gráfica 2.3.



Gráfica 2.3 Costos de la ósmosis inversa.

La gráfica anterior demuestra que la OI para desalinizar agua de mar compite plenamente con los procesos de destilación; teniendo en cuenta que estos costos se dan en condiciones óptimas de operación y mano de obra especializada. Y se incluye una curva más que se refiere a este mismo proceso pero con agua salobres que se analizan en el siguiente apartado; donde se demuestra que la ósmosis inversa puede reducir considerablemente los costos de acuerdo a la concentración de sales minerales.

Costos de desalinización de aguas salobres.

Las tecnologías económicamente rentables para la desalinización de agua salobre: son las que en sus procesos utilizan membranas ya que como se señaló en el subcapítulo 2.3 (véase ventajas y desventajas) los procesos de destilación no dependen de la salinidad del agua, por lo que si se utilizan estas tecnologías los costos de inversión y energético son idénticos al de la desalinización de agua de mar.

En lo que respecta a los costos de desalinización por aguas salobres, éste sólo señalará los factores que intervienen en el precio final por m³ de agua producido, ya que el interés de este trabajo es mostrar la desalinización de agua de mar.

Ósmosis Inversa.

Los costos de una planta de desalinización para aguas salobres son menores a los de una planta para aguas marinas, ya que tanto el tratamiento, como el número de módulos, equipo de bombeo, presión de operación y postratamiento son menos intensivos, lo que se refleja positivamente en el costo final del agua por m³.

- Costo energético (electricidad): este depende directamente de la salinidad del agua a tratar, el porcentaje de recuperación deseado, el tamaño de la planta, el bombeo para la extracción y la calidad requerida; en general se estima que para una planta de mediana a grande, con salinidad de 2,000 a 10,000 ppm varía de 1 a 2 kWh/m³.
- Costo de inversión: el costo de inversión se ve reducido en este tipo de plantas cuando la salinidad es mucho menor a la que tiene el mar, por lo que llega a hacer muchas veces la mitad de inversión que para una planta de OI que pretenda desalinizar agua de mar. Como se muestra en la gráfica 2.2.
- Costo de operación y mantenimiento: el costo en este rubro es prácticamente el mismo que una planta para desalinizar agua de mar, pero cuando el tamaño de las plantas es de mediano a chico este costo se reduce considerablemente.
- Costo de productos químicos: para aguas salobres se requiere menor cantidad de aditivos químicos por la baja salinidad de esta agua y si el uso no es considerado de primera (para consumo humano) los químicos pueden ser usados con menor rigor.

- **Costo de reposición de membranas:** el costo por reposición de membranas que requiere el proceso de desalinización de ósmosis inversa para aguas salobres el menor que para aguas marinas y este es del orden de 0.02 a 0.03 USD/m³.

El costo total de una planta desalinizadora de aguas salobres va desde los \$0.80 dólares/m³/día de agua producido para plantas de grandes a medianas hasta los \$0.75 dólares/m³/día de plantas medianas a pequeñas, como se puede observar en la gráfica 2.3.

Electrodiálisis.

La electrodiálisis puede competir con la OI para el tratamiento de aguas salobres, ya que el consumo eléctrico es prácticamente el mismo, así como el de operación, mantenimiento y la reposición de membranas, pero, el uso de aditivos químicos es menor al de OI; en el cuadro 2.6 se hace una comparativa de los procesos descritos para la desalinización de agua salobres.

Descripción	Osmosis Inversa	Electrodiálisis
Consumo eléctrico	0.04 – 0.12	0.06 – 0.12
Amortización inversión	0.10 – 0.17	0.09 – 0.14
Mano de obra y mantenimiento	0.03 – 0.08	0.03 – 0.07
Reposición de membranas	0.01 – 0.03	0.01 – 0.02
Aditivos químicos	0.01 – 0.03	0.01 – 0.02
Total	0.19 – 0.43	0.20 – 0.37

Tabla 2.6 Comparativa de costos por m³ para procesos idóneos con aguas salobres.

En términos comparativos, la desalinización en algunas regiones de México, sigue siendo una fuente de agua cara, hasta ahora, comparada con los sistemas de abasto de agua potable tradicionales, pero la tecnología de desalinización puede convertirse en una alternativa principal en aquellos casos donde las limitaciones de agua dulce son severas, donde se han realizado esfuerzos importantes en el aspecto de la eficiencia y, donde se tiene una disponibilidad de mares o acuíferos salinos y climas propicios para el desarrollo de estos procesos.

Se dice “hasta ahora”, ya que mientras los avances tecnológicos de la desalinización son mejores y sus costos se reducen, los costos de los sistemas tradicionales van en aumento por lo complicado que éstos se van haciendo, desde extraer el vital líquido desde distancias y profundidades mayores y la calidad del agua va disminuyendo, por lo que hace más intensivo su pretratamiento.

Por último cabe mencionar que los costos presentados para los procesos de desalinización, no incluyen las obras complementarias, como son: la toma submarina o pozo de bombeo (caso acuíferos), caseta de instalaciones y repuestos, tanques de almacenamiento de pretratamiento y posttratamiento, así como la disposición y conducción final, los cuales se abordarán más adelante en este trabajo.

2.7 Conclusiones.

La desalinización se refiere a la amplia gama de procesos físicos diseñados a partir de los años sesentas para remover las sales que contiene el agua salobre y de mar. Este proceso ocurre en el ciclo hidrológico.

La elección del proceso para desalinizar agua salobre o marina depende en gran medida de factores energéticos, del sitio y la calidad de la fuente, para poder tomar una decisión basada en su operación y mantenimiento, así como de obras complementarias, que sin duda se reflejaran en el costo de agua producido por m³.

Las técnicas de desalinización se están mejorando continuamente, ya que los costos de inversión son menores y la eficiencia de las plantas es mayor. Y en particular las plantas de ósmosis inversa de gran tamaño puede competir con los procesos de cambio de fase para desalinizar agua de mar, ya que los costos de inversión están disminuyendo en comparación con los procesos de vapor.

La desalinización de aguas salobres con los procesos de vapor (térmicos) no son rentables, ya que la sus consumos energéticos no dependen de la salinidad, por lo que los procesos de membrana pueden ser los más recomendables para desalinizar agua de mar; pero en estos últimos se debe poner especial atención en el pretratamiento de la fuente y, en la operación y mantenimiento de los equipos, para evitar daños en las membranas y por ende evitar que suban los costos de agua producida.

La desalinización para los usos agrícolas y urbanos en nuestro país, no son una opción rentable, ya que sus costos de producción están por encima de lo que se paga actualmente y se vuelve una tecnología no recomendable con las bajas eficiencias de consumo que se tienen en estos usos, pero no así, para las industrias de producción y hoteleras que pueden incorporar estos procesos a sus patrones de consumo, por medio de estímulos fiscales. Además de que es una alternativa local, que no provoca tensiones sociales ni desequilibrios territoriales y, permite una recuperación de inversión.

Referencias.

Ingeniería Hidráulica en México, Desalinización del Agua.
Felipe I. Arreguin Cortes, Alejandra Martín Dominguez
p.p. 27-48.

Principles of desalination
Spiegler, 1966
p.p. 53-98.

Vector de la Ingeniería Civil. Destiladores solares de agua de mar para consumo humano.
José Luis Fernández Zayas y Norberto Chargoy del Valle
p.p. 32-35.

Kronenberg G., Dvornikov V. (1999). Fuel Cost of Water (FCW) in Dual Plants. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, EU.

<http://editorial.cda.ulpgc.es/>

<http://beta.semarnap.gob.mx/sonora/desalacion/>

<http://www.yao.lc.usbr.gov/>

<http://greenfield.forturecity.com/meadow/82/cem/oceanog/agua.htm>

3. IMPACTO AMBIENTAL DE LA DESALINIZACIÓN DEL AGUA.

En la actualidad, los efectos ecológicos que pueden ocasionarse por el desarrollo de nuevas obras y proyectos al servicio del hombre, deben ser evaluados. El propósito fundamental es *predecir* los efectos de contaminación, el deterioro de los ecosistemas y el agotamiento de los recursos desde las etapas de construcción, inicio de operación y mantenimiento de las obras, y *proponer* medidas de mitigación de acuerdo con la normatividad establecida, para garantizar el aprovechamiento de nuestros recursos.

Para ello, existen varias formas de analizar los efectos negativos o positivos de estos proyectos; con ayuda de una metodología general de evaluación de impacto ambiental, que consiste en una serie de estudios estructurados para la *identificación, predicción, evaluación y presentación de resultados* de los impactos ambientales; a su vez, dentro de esta metodología se utilizan técnicas particulares para predecir el estado futuro de las variables ambientales específicas.

Todos estos estudios deben realizarse durante la planeación del proyecto, que son divididos en cuatro etapas:

- La primera etapa en estudio es la descripción de las características del proyecto, las obras y actividades que se involucran en las fases de selección y preparación del sitio, construcción, operación, mantenimiento y abandono de la obra. Esta descripción debe contener aspectos generales tanto físicos, biológicos y socioeconómicos, por último se hace una predicción de las condiciones ambientales del sitio.
- La segunda etapa consiste en *la identificación* de los impactos en el ambiente que se pudieran ocasionar con las actividades del proyecto, *la predicción* de la naturaleza y extensión de éstos en las actividades que se identificaron y *la evaluación* de forma y cantidad de los impactos para la toma de decisiones, como la de diseñar algunas medidas de prevención o mitigación de efectos o, la de diseñar alternativas del proyecto que eviten o disminuyan los impactos negativos.

Dentro de esta etapa hay varias técnicas para evaluar el o los impactos ambientales, que se clasifican en cinco grupos o tipos generales:

- a) Listas de confrontación.
- b) Matrices.
- c) Redes, sistemas y diagramas (networks)

- d) Sobreposiciones y
- e) Métodos ad hoc.

Una de las técnicas más utilizadas en México, es la de matrices, especialmente la Matriz de Leopold, que fue creada con el propósito de evaluar proyectos de ingeniería civil, pero ésta se aplica en prácticamente todo tipo de obras o proyectos que tienen un gran impacto. La Matriz de Leopold consiste en un arreglo bidimensional, en la cual se colocan 88 filas (eje Y) o variables ambientales que pueden ser alteradas y 100 columnas (eje X) o acciones derivadas del proyecto en sus etapas de construcción y operación del mismo. El uso de esta metodología es evaluar *la magnitud* del impacto, que consiste en el grado o cantidad de efecto en una variable ambiental y *la importancia* de las variables ambientales; ambos criterios se evalúan de 1 a 10, donde el 1 representa menor efecto y el 10 califica al efecto máximo.

- En la tercera etapa de este estudio se toman en cuenta los impactos ya evaluados y se proponen medidas de prevención y mitigación de efectos negativos que tendrá la construcción o ejecución del proyecto sobre el medio ambiente.
- En la última etapa se lleva a cabo por escrito una Declaración de Impacto Ambiental (DIA) o Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), que es un documento en donde se dan a conocer los resultados del estudio y también presenta la manera de evitar o atenuar los impactos ambientales en caso de que sean negativos.

Hay que tener en cuenta que los efectos positivos o negativos no son solo ecológicos, también se pueden clasificar en efectos sociales, efectos económicos y efectos tecnológico-culturales, de los cuales se hace referencia en la DIA o MIA, con el fin, de analizar alternativas hacia un futuro más saludable, apoyados en el concepto de desarrollo sustentable que resulta fácil de entender pero difícil de implementar.

El desarrollo sustentable o sostenible procura que los recursos sean distribuidos de tal forma que permitan satisfacer las necesidades básicas de la presente generación, pero también toma en cuenta que en un tiempo futuro, las generaciones que sigan a la nuestra, puedan tener acceso a esos recursos para que satisfagan sus propias necesidades y poder así, gozar de las condiciones de vida digna que los avances científicos y tecnológicos ponen a nuestro alcance.

Continuar con el desarrollo y crecimiento de la sociedad, a la vez de tomar las medidas necesarias para la protección del medio ambiente y sus recursos no renovables, nos plantea un futuro tecnológico que se verá condicionado por estas nuevas limitaciones; por lo que nuestra vida actual debe restablecer la preservación de la naturaleza, y esto se ha de lograr a través de lo que se conoce como desarrollo sustentable.

El desarrollo sustentable para serlo y diferenciarse del simple crecimiento, tecnificación, industrialización, urbanización o aceleración de los ritmos debe satisfacer ciertas condiciones como el ser endógeno (nacido y adecuado a las condiciones locales) y autogestionado (planificado, ejecutado y administrado por los propios sujetos del desarrollo).

3.1 Marco Normativo Mexicano

La legislación en materia ambiental en México ha presentado un desarrollo importante a través de las reformas de los artículos constitucionales 25, 27 y 73 a partir de los años ochenta; debido a la necesidad de crear mecanismos de control para proteger, conservar y mejorar el medio ambiente, la atmósfera, el agua, el medio marino, el suelo, la energía térmica, el ruido, y las vibraciones.

Por lo que a través de estas reformas, en marzo de 1988 entró en vigor la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)², que en su título primero "Disposiciones Generales"; capítulo IV, "Instrumentos de Política Ambiental"; sección V, "Evaluación de Impacto Ambiental"; en sus artículos 28 al 35, establecen el requisito de la Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) para cualquier proyecto público o privado, que pueda presentar efectos adversos significativos al ambiente.

En esta sección, también se describen las etapas subsecuentes para la preparación y presentación de la manifestación de impacto ambiental de proyectos, así como la forma de supervisar la instrumentación de las medidas de mitigación, compensación, restauración o control que se establezcan para la autorización del proyecto.

Para poder sustentar de una manera definida a la LGEEPA, se han emitido Normas Oficiales Mexicanas (NOM) en materia de protección ambiental, las cuales constituyen un conjunto de reglas científicas o tecnológicas que establecen los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, parámetros y límites permisibles, que deberán cumplir obras o proyectos que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o daño al ambiente.

En lo que respecta a la desalinización, los estudios de impacto ambiental pueden considerarse en el artículo 28 de la LGEEPA en las fracciones IX "Desarrollos inmobiliarios que afecten los ecosistemas costeros" y XIII "Obras o actividades que correspondan a asuntos de competencia federal, que puedan causar desequilibrios ecológicos graves e irreparables, daños a la salud pública o a los ecosistemas, o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones jurídicas relativas a la preservación del equilibrio ecológico y la protección del ambiente".

Por otro lado, la Ley de Aguas Nacionales en el título séptimo "Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas", con capítulo único, en los artículos 85 al 96, hace referencia a las medidas y acciones de control para proteger la calidad de las aguas nacionales (que consideran a los mares). Y en el Reglamento de Aguas Nacionales en el título séptimo "Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas", capítulo único, en los artículos 133 al 156, se establecen las medidas necesarias para prevenir y controlar la contaminación de las aguas nacionales, estableciendo parámetros a través de normas.

Dentro de estas normas se tiene: la NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites permisibles de contaminantes de las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, publicada en el Diario oficial de la Federación el 6 de enero de 1996.

² LGEEPA fue publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988

Otras normas que van de acuerdo a los procesos o usos por las industrias o los centros urbanos son: la NOM-CCA-001-ECOL-1993 hasta la NOM-CCA-033-ECOL-1993, publicadas en el Diario Oficial de la Federación el 18 de octubre de 1993.

La legislación mexicana no considera a la desalinización de manera particular, pero los proyectos de este tipo deben ajustarse a las leyes, reglamentos y normas mencionados anteriormente para evitar posibles impactos al ambiente en los cuerpos de agua que sirven como fuente y a los depósitos donde se planea rechazar a la salmuera. Es decir, los proyectos de desalinización deberán ajustarse al marco normativo mexicano que rige el uso y explotación de los acuíferos y zonas costeras, a los lineamientos que marquen los estados o municipios donde se pretende construir la planta desalinizadora y presentar estudios de impacto ambiental.

Esto aunque no este plenamente identificado en la legislación mexicana, por lo que el presente capítulo tiene como fin mencionar los efectos -hasta ahora conocidos- que pueden producir las plantas desalinizadoras de acuerdo con la experiencia, desarrollo, monitoreo y control de otros países sobre este tema.

3.2 Marco Normativo Internacional

En lo que respecta al marco normativo internacional, se han realizado estudios apoyados en otras profesiones, instituciones y organizaciones dedicadas a la protección del ambiente, generando de éstos, criterios relevantes para poder definir los posibles impactos ambientales y alternativas de rechazo de acuerdo a las características de los ecosistemas donde se pretende realizar el vertido de la salmuera y compuestos químicos producto de la desalinización, pero esta investigación no ha sido proporcional al avance de la tecnología utilizada en el proceso de las plantas desalinizadoras teniendo un rezago en esta materia.

La Agencia de Protección al Ambiente (EPA por sus siglas en inglés) de los estados Unidos, la Unión Europea y algunos otros países asiáticos, tienen conocimiento que algunas comunidades asentadas en el lecho marino podrían ser especialmente sensibles a los vertidos de salmueras y han establecido algunos criterios y normas para las diferentes alternativas de rechazo. Los pocos estudios de impacto disponibles en la literatura indican que el vertido de las plantas desalinizadoras han llevado a reducciones de poblaciones de peces, mortalidad de plancton y corales en el Mar Rojo, así como de manglares y angiospermas marinas en la laguna de Ras Hanjurah en Emiratos Árabes, o bien contaminación importante de fangos por cobre y níquel en Key West Florida.

Estos países también establecen, criterios a través de normas para las obras complementarias de las plantas desalinizadoras y definen procedimientos para mitigar los posibles impactos ambientales, en realidad estas normas se aplican para otro tipo de obras y proyectos, pero que requieren obras de toma e instalaciones en tierra, las cuales se apegan perfectamente a las desalinizadoras.

3.3 Impactos Ambientales y Medidas de Mitigación en los Procesos de Desalinización.

El aumento de la población, la industria y la economía han propiciado un constante aumento en la demanda de agua potable en el país, para abastecer las necesidades de su desarrollo, por lo que cada vez se hace más evidente la utilización de nuevas tecnologías disponibles y apropiadas para garantizar el desarrollo sustentable así como la ordenación de los recursos de agua potable en México, un enfoque específico es la desalinización de agua de mar, en el norte y noreste del país, que se muestra como una alternativa viable porque se dispone extensos litorales en esta región.

En las plantas de desalinización de agua de mar o salobres suele utilizarse vapor o electricidad como energía. Los combustibles fósiles convencionales se han empleado normalmente como fuentes de energía primaria; sin embargo el uso intensivo de éstos, así como las descargas de la salmuera en cuerpos de agua o tierra y, la construcción de obras complementarias para el funcionamiento de este tipo de plantas han motivado preocupaciones respecto al medio ambiente. Motivo suficiente para abordar este tema y dar a conocer los posibles impactos y de medidas de mitigación al ambiente en los procesos de desalinización.

Antes de referirse a los posibles cambios al ecosistema, es preciso señalar que éste es una comunidad de organismos de diferentes formas de vida tanto animal como vegetal que dependen en mayor o menor grado unos de otros, básicamente en lo nutricional. Una comunidad biológica y el ambiente en el que se encuentran forman un ecosistema y la ciencia que lo estudia es la Ecología.

La Ecología es el estudio de las relaciones e interacciones de todo lo que nos rodea, ya sean partes vivas o no vivas que están interrelacionados y es imposible alterar una parte de nuestro medio ambiente sin que se produzcan cambios en algunos otros componentes.

El término de medio ambiente natural se usa para describir a los sistemas que durante millones de años han evolucionado para alcanzar un equilibrio armónico; los sistemas naturales tienden a ser estables, predecibles y ricos en especies, aunque a menudo son perturbados por catástrofes naturales o bien por el hombre, este último con la capacidad de alterar partes importantes de un sistema, pues produce ambientes artificiales los cuales pueden crear beneficios, pero también pueden crear condiciones desfavorables. Por lo que los especialistas en ecología han aprendido que si un ambiente artificial puede funcionar más como un ambiente natural, tendrá la tendencia a comportarse como éste. Lo que nos lleva a buscar esta condición a través de estudiar y comprender el funcionamiento de los ecosistemas, para definir y reducir los posibles impactos al medio ambiente producto del desarrollo del hombre.

El impacto ambiental producto de la instalación de una planta desalinizadora tiene varios efectos significativos en los ecosistemas marinos, entre los que destaca la descarga de la salmuera, por lo que es necesario conocer la calidad de ésta debido a la naturaleza de la fuente -ya sea agua salobre o agua marina- y definir las características del depósito de la salmuera, sin alterar al ambiente o hacerlo en un grado mínimo permisible. La calidad de las descargas de la salmuera de las plantas desalinizadoras se describen a continuación:

- a) Concentraciones de sal que varían de 46,000 a 80,000 ppm, para plantas que desalinizan agua de mar y de 15,000 a 20,000 ppm para aguas salobres.
- b) La salmuera también presenta diferencias en el pH, alcalinidad y sustancias químicas utilizadas en el proceso de pre-post tratamiento, que varía de acuerdo al tipo de la tecnología utilizada, a la calidad de la fuente y del agua producida, que en el caso de plantas que funcionan por destilación el vertido presenta de 8 a 10 veces el volumen de agua depurado, mientras que las plantas de procesos con membranas el volumen residual es de 2.5 a 3 veces el volumen depurado, pero el vertido tiene un contenido en sales mucho mayor.
- c) Incremento de 15°C, sobre la temperatura de la fuente, en los procesos de destilación.
- d) Niveles de turbiedad superiores a la fuente.
- e) Niveles de oxígeno por debajo del influente, sobretudo en plantas destiladoras.
- f) Compuestos químicos del proceso del pretratamiento como cloruro férrico, dióxido de sulfuro, dióxido de carbono, polielectrolitos, bisulfuros de sodio y polímeros.
- g) Compuestos químicos de los procesos de lavado de las tuberías y limpieza de las membranas de ósmosis inversa, como compuestos de sodio, ácido hidroclohídrico, ácido cítrico, polifosfatos y sulfato de cobre.
- h) Compuestos orgánicos y metales que pudieran estar contenidos en el influente y concentrados en el proceso de desalinización.

En la siguiente tabla se resumen los tipos de compuestos y sustancias que se producen en la operación de una planta desalinizadora, su función y los posibles impactos que se tienen por cada uno de ellos.

Tabla 3.1 Sustancias añadidas durante el proceso de desalinización.

Compuestos	Origen / Función	Impacto
Metales pesados: Cu, Fe, Ni, Cr, Zn	Corrosión	Acumulación en el sistema, estrés a nivel molecular y celular.
Fosfatos	Anti-incrustantes	Macronutriente, eutroficación
BELGARD'2000 (Ac. Málico)	Anti-incrustantes	Desconocido
Cl	Antifouling	Formación compuestos halogenados, carcinógenos y mutagénos
Ácidos grasos	Tensoactivos	Membranas celulares
Sulfato de sodio	Anticorrosivo, captura O ₂	Desconocido
Ácido sulfúrico	Anti-incrustantes	En grandes cantidades baja significativamente el pH del sistema
Residuos sólidos	Limpieza de membranas	Turbidez
Salmuera	Concentrado de sales mayor a la de la fuente de origen	Variable
Temperatura	Tratamiento	Variable

Fuente: El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino, Esperanza García.

Conocidas las características de la salmuera de acuerdo a la fuente y del proceso desalinizador, es preciso definir las características de los depósitos donde se pretende descargar la salmuera, para hacer uso de las diferentes alternativas de vertido.

Características de los posibles depósitos marinos para la salmuera.

La distribución de los organismos marinos está estrechamente relacionada con la temperatura y la salinidad y, las variaciones de éstas suelen estar estrechamente relacionadas en condiciones naturales, por ejemplo, se producen incrementos de salinidad en sistemas confinados con mucha evaporación y disminuye donde hay entradas importantes de aguas continentales, las cuales pueden tener temperaturas distintas a las del sistema.

En condiciones naturales los incrementos de salinidad en el medio marino son raros, estos incrementos se producen en sistemas resguardados no comparables a zonas costeras abiertas donde pueden verse las salmueras. Estos sistemas (lagunas, humedales o esteros) se caracterizan por tener condiciones fluctuantes no solamente de salinidad y temperatura, sino también de nutrientes. Las comunidades de los organismos que se desarrollan suelen oscilar en torno a estas dos variables; la salinidad cuyas fluctuaciones impiden el establecimiento de poblaciones estables y los nutrientes que favorecen su proliferación. Son sistemas caracterizados por tener una baja diversidad (se ha observado que más del 38% de especies disminuye considerablemente) y una elevada productividad. En estas aguas la simplificación de las relaciones tróficas es extraordinaria pudiendo dar lugar a comunidades muy sencillas donde participan bacterias y algas unicelulares.

En casos más extremos (aguas salinas o marismas) las únicas comunidades que se establecen son tapices de algas y bacterianos, por lo que estas comunidades son totalmente distintas a las de zonas costeras adyacentes con condiciones ambientales mucho más constantes.

A continuación se mencionan los vertidos más utilizados en los procesos de desalinización que van a dar directamente sobre ecosistemas antes mencionados, así como aspectos generales para su aplicación .

Aguas Salobres.

La fuente principal de las plantas desalinizadoras de agua salobre son acuíferos cuya calidad se ha ido degradando paulatinamente debido a su extracción para el riego y usos urbanos; en general, la degradación de los acuíferos se debe al uso de fertilizantes nitrogenados y otros agentes agrícolas, infiltración de aguas residuales y a intrusión marina en los acuíferos cercanos al mar, con rangos de salinidad que van de 1,000 a 10,000 ppm y la salmuera de rechazo presenta rangos de salinidad entre 15,000 a 20,000 ppm y los tipos de vertidos de ésta se mencionan a continuación:

- Vertidos directo a cauces cercanos: esta solución no se recomienda pues puede salar los cauces, suelos adyacentes y afectar a las poblaciones aguas abajo.

- **Vertido al mar cuando este se encuentra cercano:** debe tenerse especial atención con la diversidad biológica en este tramo costero, debido a que la salinidad del vertido de las aguas salobres es menor que la salinidad del agua de mar, pero estas descargas se aceptan cuando hay aportaciones de aguas continentales al mar y puede igualarse la salinidad de la salmuera a la del sistema.
- **Construcción de colectores y ductos que recolecten los rechazos de una o varias plantas desalinizadoras cercanas a la costa y disponer de la salmuera por medio de emisores submarinos al fondo del mar:** esta es una de las solución aceptable, pero debe considerarse su alto costo, además de estudiarse el punto exacto del vertido en el mar para no alterar las condiciones biológicas de la fauna y flora marinas.
- **Inyección en acuíferos más profundos:** esta alternativa es confiable, desde el punto de vista operativo como la seguridad ambiental, pero sino se apegan a las recomendaciones de esta alternativa se puede afectar a los acuíferos cercanos y reducir las posibilidades de uso para un futuro. La EPA recomienda pozos clase V, para residuos no peligrosos atendiendo a las recomendaciones de pozos profundos. Esta técnica es muy utilizada en plantas desalinizadoras ocupadas en las instalaciones donde se extrae petróleo ya que la inyección de la salmuera a los depósitos del crudo aumentan la presión de éstos y facilitan la extracción del petróleo.
- **Instalación de balsas de evaporación salinas:** esta alternativa ofrece una oportunidad extra de ingresos, ya que se obtiene sal, pero debe tenerse presente que desaparece todo el caudal que podría devolverse a la fuente. Esta técnica es recomendable en zonas donde las láminas de evaporación son mayores que las de precipitación y donde la tierra es barata. Debido a que la salmuera es altamente contaminante se deberá recubrir las lagunas con el objeto de evitar infiltración a los mantos acuíferos.

Estas dos últimas alternativas son las más recomendables y usadas en el mundo, donde la fuente principal para la desalinización son las aguas salobres. Cabe mencionar que la inyección en pozos profundos también es utilizada donde la fuente de las desalinizadoras es el agua de mar y dan la misma ventaja en los procesos de extracción de petróleo.

Aguas Marinas.

Las plantas desalinizadoras de mar, presentan vertidos de salmuera hasta 80,000 ppm cuya fuente de aportación contiene 38,000 ppm, esto es para las plantas de conversión media de del 45%. Las soluciones de vertido de salmueras para este caso se describen a continuación:

- **Inyección en acuíferos más profundos o a depósitos de petróleo:** esta alternativa cumple la misma función que la utilizada para aguas salobres y considera las mismas restricciones y cuidados en su aplicación.
- **Vertido directo al mar a través de cauces o pozos rocosos de filtración:** este tipo de alternativa es una de las más adecuadas en zonas de corrientes y vientos considerables,

debido a la cercanía con la costa, los oleajes y temperatura de las aguas favorecen la dilución de la salmuera.

- Construcción de emisores submarinos que será inferior a 15 m de profundidad: se ha comprobado que la dilución de la salmuera a través de esta alternativa es de menor impacto que los vertidos de aguas residuales, pero debe considerarse el efecto de las corrientes marinas, oleaje y condiciones de fondo para no alterar flora y fauna marina.

En estas dos últimas alternativas, el vertido de salmueras de las plantas desalinizadoras de agua de mar se produce desde la línea de costa hasta profundidades máximas de 30 m, en su gran mayoría sobre fondos blandos (arenas y fangos) y preferentemente se vierte en fondos sin vegetación.

Los impactos más significativos por las descargas de salmuera dependen de las altas concentraciones y fluctuaciones de sal y temperatura, que pueden afectar o incluso matar a los organismos que se encuentren cerca de las obras de descarga. Otro efecto que pudieran tener los cambios de salinidad y temperatura es sobre las rutas de migración de peces muy sensibles a estos cambios que podrían tratar de evitar el área de influencia de la descarga y alejarse de la costa, incrementado su exposición a depredadores; por lo que se han establecido algunas medidas de mitigación para reducir estos efectos negativos, como son:

- Ubicar las obras de descarga en zonas donde no afecten comunidades ecológicas críticas.
- Asegurar una adecuada disolución de las descargas para reducir los impactos en las especies marinas.
- Utilizar pretratamientos para reducir el uso de sustancias peligrosas en los procesos de desalinización.
- Remover sustancias peligrosas que estén presentes en la salmuera antes de su rechazo.
- Programar las descargas para que se produzcan en los tiempos que afecten menos a las comunidades marinas.
- Usar materiales en tubos y en la planta misma que reduzcan los riesgos de corrosión, para que limiten el uso de sustancias anticorrosivas.
- Hacer un análisis comparativo para determinar el sitio más adecuado para la descarga, considerando los sitios tierra adentro.
- Evitar la descarga de la salmuera en bahías cerradas y buscar una ubicación de rechazo en zonas con hidrodinamismo medio o elevado que facilite la dispersión de la sal.

Hasta aquí se han mencionado los tipos de vertidos del rechazo de la salmuera y aspectos generales de estas alternativas, por lo que a continuación se mencionan los posibles impactos al medio ambiente y las medidas de mitigación ligados directamente a estos procesos que

deben considerarse para la construcción y operación de una planta desalinizadora de agua salobre o marina.

3.4 Impactos Ambientales y Medidas de Mitigación de las Obras Requeridas para la Desalinización del Agua.

Los principales factores que pueden causar impactos al medio ambiente y las medidas de mitigación que deben considerarse de una planta desalinizadora durante la construcción y la operación de agua salobre o marina, son:

Impacto de las obras de toma en el ambiente marino.

En las obras de toma los impactos son básicamente dos: el atrapamiento de las especies marinas en las rejillas y la inclusión de las mismas a los procesos donde la mayoría no sobrevive y, en el caso de plantas desalinizadoras grandes la toma podría alterar las corrientes naturales. Las medidas de mitigación para las obras de toma son:

- Ubicar las obras de toma en zonas donde no afecten sistemas con importante valor ecológico.
- Propiciar bajas velocidades en los canales de llamada de las obras de toma para reducir la intromisión de especies marinas en las rejillas y su paso a los procesos.
- Usar pozos playeros o galerías filtrantes para reducir la entrada a la planta de especies marinas.

Impacto durante la construcción.

Los impactos que pueden ocasionar durante la construcción de las obras requeridas son:

- Emisión de humos y polvos
- Ruido
- Afectaciones a la playa y a la ecología marina (incluyendo aves, mamíferos, peces y flora)
- Erosión que genera toda obra nueva
- Interferencia con los accesos a las playas para fines recreativos o productivos y la obstrucción misma de las obras a las actividades costeras y,

Las medidas de mitigación durante la construcción, considerarán los lineamientos establecidos en los reglamentos de construcción estatales y municipales, como:

- Cercas
- Eliminadores de ruido y humo
- Protección a zonas habitacionales, hoteleras o de recreación y sus correspondientes accesos

- Minimizar las longitudes y el número líneas de conducción de agua y eléctricas
- Seleccionar el sitio de ubicación de la planta de tal manera que afecte lo menos posible las actividades productivas

Se recomienda de ser posible aprovechar zonas donde ya existen líneas de abastecimiento de agua y energía y, los accesos correspondientes como: termoeléctricas, hidroeléctricas, puertos o terminales marítimas.

Impactos sobre el crecimiento poblacional.

La construcción de las plantas desalinizadoras inducen asentamientos humanos que pueden afectar zonas no previstas para ello en los planes de desarrollo regional a largo plazo. Las medidas de mitigación para este tipo de impactos son:

- Ubicar al proyecto dentro de los planes de desarrollo regional y cerca de las fuentes de energía y redes de distribución.
- Situar la desalinizadora en las cercanías de las obras de toma existentes y establecer las dimensiones de la planta para necesidades específicas así como para el nivel de desarrollo establecido en la zona de influencia.

Impacto por el incremento en el uso de energía.

La demanda de energía de las plantas desalinizadoras, normalmente es alta, y esto es un impacto que debe evaluarse junto con los efectos secundarios del incremento del uso de la energía, como puede ser: el transporte de petróleo o gas, el incremento de la temperatura provocado por los sistemas de enfriamiento de las termoeléctricas o el atrapamiento de los peces en las obras de toma de las plantas generadoras. Las medidas de mitigación para el uso de energía son:

- El uso eficiente de la energía
- Considerar siempre que cualquier proyecto de plantas desalinizadoras incluya acciones de conservación de la energía o reducción del consumo.
- Utilización de energía remanente en pasos subsecuentes de la desalinización, para el calentamiento o incremento de presión.
- Empleo de energía solar, de manera directa o secundaria, así como aprovechar la energía eólica y la energía marítima para conversión térmica, donde las características fisiográficas y climatológicas de la región lo permitan.

Impacto en la calidad del aire.

Las emisiones de las plantas desalinizadoras se reducen a descargas de nitrógeno y oxígeno, en aquellas que utilizan procesos de aireación para reducir corrosión o la descarga de los

dosificadores de las plantas de ósmosis inversa. Las medidas de mitigación para emisiones al aire son:

- Se recomienda el uso eficiente de la energía y el empleo de fuentes alternas de energía como la solar directa, la eólica o las mareas.

Otros impactos de consideración en zonas costeras.

- Impactos a la pesca comercial y navegación durante la construcción y operación de las obras de toma y de descarga.
- Interferencias a zonas recreativas de las plantas, pozos, líneas de alimentación y distribución.
- Ruido de las bombas durante la operación.
- Impactos visuales, sobretodo en zonas hoteleras.
- Impactos en el proceso de desalinización de sustancias como grasas y aceites.
- Impactos al ambiente marino por derrames accidentales de sustancias peligrosas

Las medidas de mitigación para este tipo de impactos son:

- Ubicación de boyas, que eviten riegos en las zonas cercanas a las tomas y descargas.
- Colocar cercas, anuncios, vías alternas de acceso a zonas recreativas durante la construcción.
- Utilizar equipo para reducir ruido durante la construcción y operación de las plantas.
- Hacer un diseño arquitectónico adecuado para evitar impactos visuales en zonas hoteleras.
- Evitar sustancias contaminantes como grasas o aceites cerca de las obras de toma.
- Reciclar o reusar los residuos sólidos.
- Capacitar al personal operador, establecer sistemas de aseguramiento de calidad y sistemas de seguridad como detectores de fugas y alarmas.

Conclusiones.

El agua es un recurso natural indispensable para el desarrollo del hombre, pero su progresiva escasez y contaminación, aunadas al cambio climático en la Tierra, han tenido como consecuencia la reducción de los recursos hidráulicos en casi todo el planeta, por lo que enfrentaremos desafíos ecológicos fundamentales de resolver (para garantizar el futuro y supervivencia de la humanidad) y, que en la actualidad resulta ya un problema en muchos países como el nuestro. Por lo que antes de pensar en tecnologías que aumenten la cantidad y calidad del abasto de agua potable, es indispensable además de evitar su desperdicio, adaptar nuestra forma de vida y de desarrollo a la disponibilidad existente de la región en particular y, pagar el precio justo por su consumo.

La desalinización es una tecnología que nos ayuda -sin discusión- al aumento de la cantidad y calidad del agua para el desarrollo y actividades del hombre, pero cabe destacar que los

procesos, materiales y funcionamiento de las plantas desalinizadoras deben considerar los posibles impactos que ocasiona al ambiente. Los cuales se deben a la construcción de las obras complementarias, incremento en el uso de energía, por las descargas de la salmuera, ruidos de operación y la posibilidad de fomentar crecimientos poblacionales en torno a la planta, de manera que las medidas de mitigación deben estar bien definidas para llevar equilibrio ecológico y desarrollo, y no problemas. Por tal motivo es recomendable realizar una Manifestación de Impacto Ambiental (MIA), para describir estos impactos y establecer medidas de mitigación.

Las leyes mexicanas no consideran a la desalinización en una forma directa, pero estas técnicas deberán ajustarse a las leyes, reglamentos y normas para evitar contaminación de los cuerpos receptores de aguas residuales provenientes de los procesos de desalinización y se recomienda estar al tanto de las soluciones que han adoptado otros países para resolver de manera satisfactoria los problemas ambientales producto de las plantas desalinizadoras. Y fomentar leyes, reglamentos y normas para regular el uso de plantas desalinizadoras en el país, sobretodo en las regiones del norte y noreste que son propicias para el uso de esta tecnología.

Se tiene que destacar la necesidad de investigar los distintos aspectos del impacto de salmueras de acuerdo a las características de nuestros mares, y realizar los estudios de impacto ambiental de cada elemento del vertido por separado como sus posibles interacciones; así como establecer cuales son los límites de tolerancia de las distintos organismos marinos que pueden afectarse por los vertidos, con el fin regular y minimizar los daños que se pueden ocasionar en los lechos marinos de nuestros litorales, para establecer nuestros propios criterios y normativa acordes a las características de nuestro entorno ecológico.

Finalmente, podemos destacar que los impactos ambientales se pueden reducir al máximo si se tienen presentes los criterios señalados en este capítulo y entonces podemos señalar que la instalación de plantas desalinizadoras es viable desde el punto de vista ecológico para nuestro país y para generar desarrollo en comunidades con características especiales como las que presenta la Península de Baja California con escasos recursos hídricos, condiciones severas en su clima y extensos litorales, sin perder de vista que se tiene flora y fauna endémica y protegidas por ley, pero que pueden convivir con la desalinización.

Referencias.

Ingeniería Hidráulica en México, Desalinización del Agua.
Felipe I. Arreguin Cortes, Alejandra Martín Domínguez
p.p. 27-48.

El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino:
la salmuera en comunidades bentónicas mediterráneas.
Esperanza García, Enric Ballesteros

Impacto Ambiental, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Alba B. Vázquez. Enrique César Valdez
Facultad de Ingeniería, UNAM, 1994

Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993

Diario Oficial de la Federación del 28 de febrero de 1988

Diario Oficial de la Federación del 1 de diciembre de 1992

Diario Oficial de la Federación del 12 de enero de 1994

Diario Oficial de la Federación del 6 de enero de 1996

4. CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA UN APROVECHAMIENTO HIDRÁULICO BASADO EN LA DESALINIZACIÓN.

4.1 Generalidades.

La principal característica a considerar en lo referente a la cantidad de agua que se necesita; es la inseguridad que presenta la determinación a priori de la misma, es decir, la dificultad de determinar el consumo del agua para una población, qué fracción del consumo total se destina a cada uso (doméstico, industrial, agrícola, fugas en la red, etc.) o si éste va a ser independiente de la población.

Es por ello que es necesario establecer una evaluación confiable del crecimiento de la población hasta el año horizonte del proyecto, con base en los datos que se dispongan de la localidad a abastecer. También es preciso analizar la evolución de la demanda de las diferentes actividades industriales, comerciales, y de toda índole que supongan un incremento en el consumo del agua, de tal manera que con base en la disposición de los recursos hidráulicos y los posibles efectos ecológicos al entorno, permita determinar la factibilidad de asegurar el suministro en cualquier circunstancia.

Una vez determinadas las necesidades de agua y evaluados los recursos y calidades del agua de los distintos puntos de captación posibles, se debe hacer un estudio económico y financiero de todas las obras a emprender (obras de captación, de conducción, de tratamiento y regulación, etc.).

Para finalizar, también hay que tener en cuenta, ciertos requerimientos que pueden condicionar el abastecimiento del agua como son:

- a) La naturaleza del agua a captar (subterránea, corriente, almacenada, etc.).
- b) Las condiciones del emplazamiento de la captación que pueden determinar la necesidad de obras accesorias, localización y puntos de toma de agua para el abastecimiento.
- c) La distancia hasta la población a abastecer y las circunstancias topográficas y geotécnicas del desarrollo de la misma.
- d) La calidad de las aguas captadas, que determina los tratamientos de que deban ser objeto y por consiguiente, el diseño de la planta potabilizadora. La calidad que habría que exigir

al agua se establece en función del uso a que vaya a ser destinada (consumo humano, uso industrial, riego, usos recreativos etc.).

El diseño de un aprovechamiento hidráulico de abasto de agua potable debe tener presente el conocimiento y comprensión del entorno físico del sitio de estudio, porque define las características de los elementos que integrarán el proyecto así como de los parámetros de diseño de éstos.

Para el caso de la desalinización de agua de mar, debemos conocer las características físicas del entorno (batimetría, profundidad, mareas, flora y fauna, etc.), las propiedades del agua de mar, aspectos climáticos y las ya mencionadas de conforme al consumo y usos de la población de diseño entre otros.

Para tal efecto a continuación se mencionan los elementos más importantes que integran un aprovechamiento hidráulico para obtener agua potable a través de la desalinización del agua de mar y, posteriormente nos abocaremos a los parámetros de diseño para cada una de las estructuras que integran dicho aprovechamiento.

4.2 Elementos que integran un aprovechamiento hidráulico

En la siguiente figura, se ilustra un arreglo general de una planta desalinizadora de agua de mar por medio de ósmosis inversa y las obras complementarias que esta requiere para su correcta operación, cabe destacar que este tipo de arreglo varía de acuerdo a las condiciones propias del mar, las características físicas de la región donde se instalará la planta y la cantidad y uso para la que se requiere el agua potable.

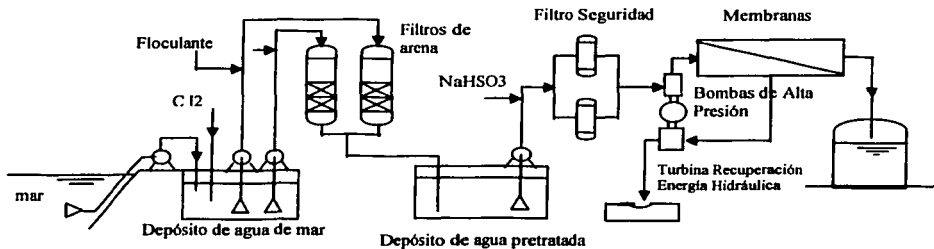


Figura 4.1 Arreglo General de una Planta Desalinizadora de Agua de Mar.

A continuación se describe brevemente la función de cada una de las obras complementarias dentro de un aprovechamiento de agua potable a través de la desalinización de agua de mar, así como algunos criterios y recomendaciones para su diseño, que propiamente no están basados en expresiones matemáticas sino en expresiones empíricas.

Obra de toma

La obra de toma es una estructura de gran importancia, cuya función es captar el agua de la fuente, regular el gasto requerido de acuerdo al tipo y capacidad del aprovechamiento hidráulico, conducir los gastos hasta otros elementos del aprovechamiento proporcionando condiciones adecuadas para su funcionamiento, como son: volumen requerido, acceso fácil, protección, cercanía a las instalaciones en tierra, área de maniobras, desazolve, eficiente control y regulación de extracciones en cualesquiera circunstancias.

La obra de toma adquiere una conformación acorde a la naturaleza del recurso que se pretende utilizar que varía de acuerdo con las dimensiones y tipos de la estructura hidráulica, las condiciones geológicas, topográficas, batimétricas y el gasto por extraer; por lo que se tienen los siguientes tipos de obra de toma:

- a) Obras de captación directa: este tipo de toma consiste básicamente en captar el agua de mar de los niveles que alcanzará su superficie en marea baja (como condición mínima, pero rige el gasto de diseño) por medio de un canal natural o una tubería de succión o la combinación de ambos, como se muestra en la figura 4.2. La obra de toma directa proporciona agua en forma constante y puede establecerse una ley de operación, acorde con las características del cuerpo fuente del recurso. Para evitar el paso de elementos flotantes presentes en el agua, que puedan intervenir negativamente en la operación de la estructura, se colocan rejillas de acero inoxidable.

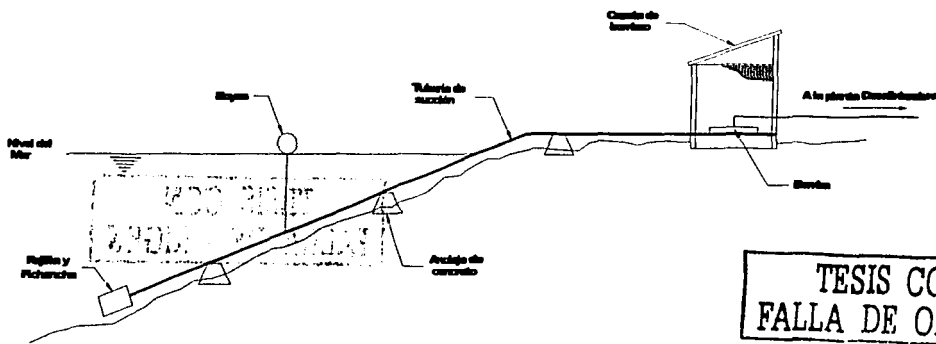


Figura 4.2 Tipo de obra de captación directa.

- b) Obra de captación indirecta: ésta obra consiste en captar y conducir agua de la fuente a través de una tubería o canal (protegidos con una rejilla) hasta un estanque, cisterna o cárcamo como se muestra en la figura 4.3, también se consideran obras de toma indirectas a los pozos profundos (profundidades mayores a 100 m) y someros (profundidades menores de a 100 m), así como a los pozos marinos.

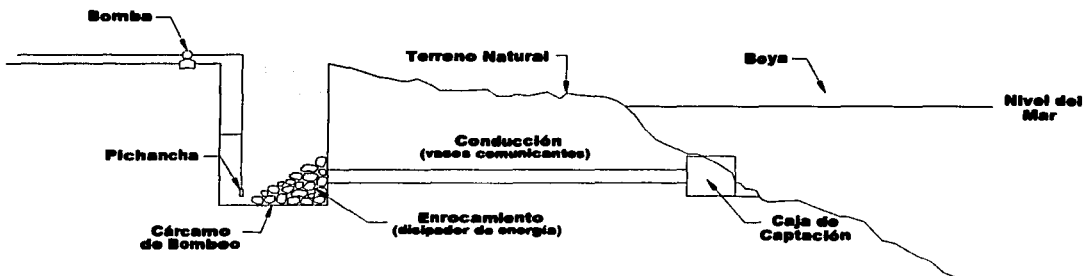


Figura 4.3 Tipo de obra de captación indirecta.

Planta de bombeo

Es uno de los componentes principales de un sistema de agua potable por desalinización y se encarga de impulsar el agua de mar a través de las tuberías hasta los depósitos previos del proceso; es decir, la planta de bombeo transporta el agua desde la obra de toma hasta un sitio de interés. Antes de seleccionar la capacidad de una planta de bombeo, debe considerarse el consumo de agua, los crecientes cambios de hábitos de éste como resultado de la disponibilidad del agua y el nivel socioeconómico, el aumento de la población y la industria, patrones de consumo diario y el o los niveles cambiantes de la fuente de abasto.

Las bombas se clasifican atendiendo los siguientes criterios:

- a) Por tipo de flujo
 - Axial
 - Radial
 - Mixto
- b) Por tipo de impulsores
 - Unicelulares (un solo impulsor)
 - Multicelulares
- c) Por la disposición del eje de rotación
 - Verticales
 - Horizontales

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

De todos estos criterios de clasificación, quizás el más operativo de cara a la elección previa de un determinado diseño sea el último de los mencionados, ya que raramente se decide "a priori" si el grupo a instalar ha de tener tal o cual tipo de flujo o un número de impulsores establecido. Además dicho criterio no establece una clasificación única ya que, por ejemplo, en determinados casos, una bomba de diseño horizontal puede disponerse verticalmente, o una bomba sumergida bien puede instalarse en posición horizontal. Hecha esta aclaración a continuación desarrollaremos brevemente cada uno de los diseños citados en este último criterio (por eje de rotación).

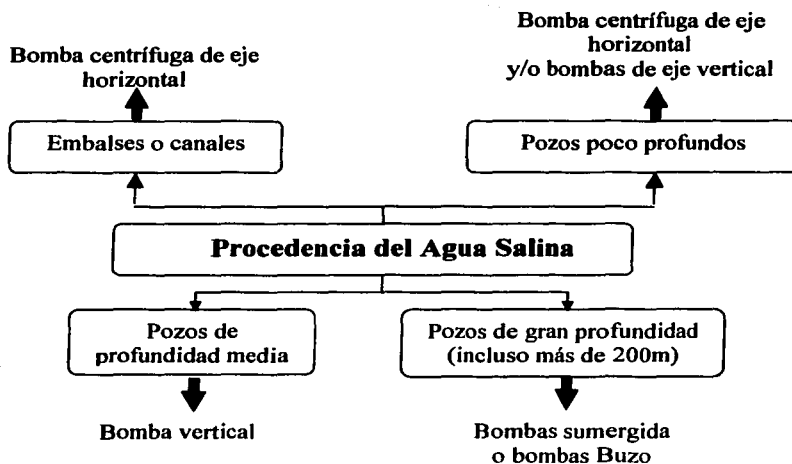


Figura 4.4 Tipos de Bomba de Acuerdo a la Procedencia de la Fuente.

- **Bombas horizontales:** su característica más representativa es que tanto la bomba como el motor están ubicados en superficie. Cuando se pretende conseguir altura manométrica mayor a 70 metros se suele recurrir a utilizar bombas con varios impulsores montados en serie (bombas multicelulares).

Un paso adelante en el diseño de las bombas de tipo horizontal está representado por las bombas de cámara partida. Este tipo de máquinas se caracterizan por permitir el acceso directo a los órganos móviles de la bomba sin necesidad de desmontar la instalación, facilitando de este modo las labores de inspección y mantenimiento. Suelen presentar doble aspiración axial en sentidos contrapuestos, consiguiendo un gran equilibrio hidráulico. Los apoyos del eje de la bomba se realizan en sus dos extremos minimizando los esfuerzos de flexión.

- **Bombas verticales:** son grupos pensados para pozos profundos y estrechos en donde el nivel dinámico del agua se encuentra a más de 5 metros. Su característica principal es que la bomba está sumergida (a la profundidad que requiera el nivel dinámico) y el motor se instala en la superficie. La transmisión se realiza mediante un eje, a veces de decenas de metros, que se instala en el interior de la tubería de impulsión. Cuando la profundidad empieza a ser importante (no es aconsejable su instalación a más de 80 m de profundidad) este grupo de modelo deja de ser interesante por diversos motivos, entre otros, la verticalidad del eje no es perfecta al 100% produciéndose desgastes y averías, el elevado costo de instalación, las grandes pérdidas de rendimiento y lo costoso del mantenimiento.
- **Bombas sumergibles:** su principal característica es que motor y bomba están sumergidos en el agua a la profundidad requerida. Su diseño responde generalmente a la función de extraer agua de pozos estrechos y profundos, aunque no sea esta su

única utilidad. Tienen por ello un aspecto cilíndrico alargado, y se clasifican, normalmente, por su diámetro, o, mejor aún, por el diámetro mínimo del pozo (en pulgadas) en el que sería posible su instalación. Su profundidad puede ser tan grande como requiera el nivel de agua (profundidades normales pueden ser de 150 a 200 m). El grupo se instala suspendido de la tubería de impulsión, que suele ir protegida con una rejilla que evita el paso de los cuerpos sólidos de gran tamaño.

Un aspecto a considerar es la sumergencia mínima que se ha de proporcionar a la bomba de manera que no se produzcan vórtices que pudieran provocar la entrada de aire en la tubería de aspiración.

Una planta de bombeo esta constituida por:

- a) Tubería de succión: que deberá seleccionarse de acuerdo con los requerimientos particulares de cada bomba, ya que forma parte del diseño de las mismas. En los casos que se usen diámetros diferentes al de succión de la bomba, se requerirá un dispositivo de acoplamiento con la tubería, para los cuales existen recomendaciones según el gasto de diseño.
- b) Tubería de descarga o tren de descarga: incluye los elementos para la operación, pruebas y protección contra el golpe de ariete de la conducción a presión y la bomba misma; abarca desde la descarga de la bomba hasta con la conexión de la tubería de conducción a presión.

Línea de conducción

La línea de conducción en cualquier sistema de agua potable es el conjunto de tuberías a presión o canales a cielo abierto, válvulas, accesorios, estructuras y obras complementarias encargadas de la conducción hasta los sitios de interés que forman parte del mismo sistema como son tanques de almacenamiento y la disposición final. Para lo cual debe utilizarse al máximo la energía disponible para conducir el gasto deseado, lo que en el caso de tuberías a presión nos llevará a la selección del diámetro mínimo que permita presiones iguales o menores a la resistencia física que el material de la tubería soporte, incluso en condiciones extremas; por ejemplo, cuando se presenta el golpe de ariete.

Para seleccionar el diámetro de la tubería de conducción se requieren conocer los datos de gasto, velocidad permisible, rugosidad, perfil topográfico del terreno y materiales, que son factores que intervienen en la selección desde un punto de vista económico; todos éstos son estudiados y relacionados unos con otros en función del diámetro del tubo para la decisión final del mismo tomando en cuenta el crecimiento de la demanda y los costos del equipo requerido.

Una vez que el diámetro ha sido establecido, se deben determinar los esfuerzos a los que estará sometida la tubería, haciendo una evaluación de las presiones y de las cargas actuantes, como son:

- **Cargas externas.**
 - a) **Carga muerta:** se denomina carga muerta a la que estará en la tubería en forma permanente y que básicamente corresponde a cargas de tierra y que tiene que ver con la profundidad del relleno (colchón), peso de relleno, tipo de relleno, ancho de zanja y condiciones de encamado.
 - b) **Carga viva:** denominan carga viva a la que se presentará en la tubería por esfuerzos debidos al tránsito y peso de vehículos y, que generalmente se presentan en cargas concentradas o en forma distribuida. Las cargas concentradas se producen por una fuerza simple que puede ser de naturaleza estática o dinámica, las que se presentan con mayor frecuencia son las ejercidas por las ruedas de los vehículos. Y las cargas en forma distribuida se deben a una fuerza uniforme.
- **Cargas internas.**
 - a) **Presión de operación**
 - b) **Gradiente hidráulico**
 - c) **Sobrepresiones (golpe de ariete),** de mucha importancia para un aprovechamiento hidráulico por desalinización, debido a las características de bombeo que se utilizan y a las altas presiones requeridas en los procesos de ósmosis inversa, las velocidades y control de agua que se producen en los procesos, así como el material, espesor y diámetro del tubo.

Tanque de regulación

Una planificación adecuada de la infraestructura hidráulica conlleva la necesidad de incluir en las redes de distribución ya sean primarias, secundarias y/o terciarias, no solamente unas conducciones con características propias y diferenciadas sino también sus propios depósitos de regulación y reserva.

Esto es debido a que a lo largo del día el caudal aportado desde la captación se mantiene constante mientras que la demanda de agua potable varía en función de una serie de circunstancias, como el mismo ritmo de vida de la población, que no requiere un abasto de agua potable en forma constante. Se hace preciso entonces, contar con volúmenes importantes de agua almacenados en depósitos reguladores con el objeto de hacer frente a la demanda de agua que se produce en las horas pico, es una solución más económica que la de sobredimensionar las conducciones para que en ellas exista la suficiente aportación de agua que se va a demandar en momentos determinados del día.

El volumen de agua que contendrá el depósito regulador principal de la red, debe ser el equivalente al caudal que se demanda durante un día o dos, según un criterio muy generalizado. Con ello se pretende atender la demanda y al mismo tiempo evitar que el agua

permanezca almacenada largo tiempo, con lo cual sus condiciones de potabilidad se verían considerablemente dañadas.

Una consideración adicional para el o los depósitos es que se localicen en lugares elevados, para de este modo aprovechar la fuerza de gravedad en la distribución del líquido y evitar recurrir a bombeos innecesarios.

Los tanques reguladores ó depósitos suelen ser:

- Enterrados:** Mantienen un buen aislamiento térmico de las aguas, pero la salida de las tuberías de agua y de desagües, es difícil y costosa.
- Superficiales:** Los superficiales son fáciles de construir y vigilar, pero hay que dotarlos de un aislamiento eficaz.
- Elevados:** Estos depósitos se construyen en terrenos planos, donde no se puede disponer de cotas elevadas. Su forma es casi siempre cilíndrica.

Planta desalinizadora

En general el arreglo de una planta desalinizadora de aguas salobres o de mar es el mismo. Y disponen de accesorios que fácilmente pueden ser confundidos con las obras civiles complementarias que integran todo el sistema del aprovechamiento hidráulico. En la figura 4.5 se presenta un esquema generalizado de la planta desalinizadora por ósmosis inversa y sus accesorios (mismos que se describen a continuación); así como sus obras complementarias.

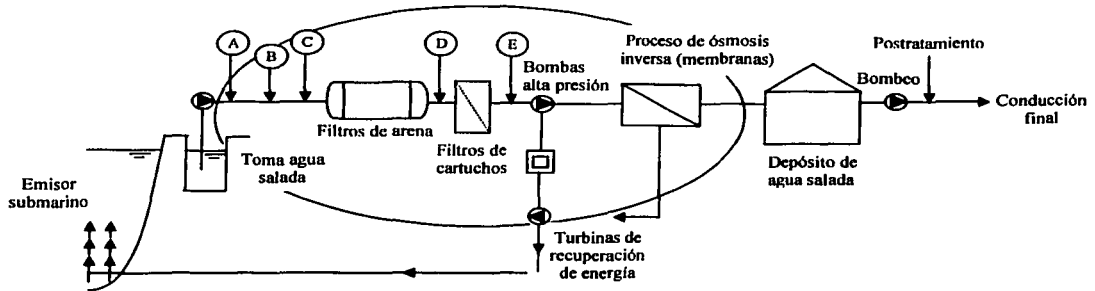


Figura 4.5 Esquema de una planta desalinizadora y sus obras civiles complementarias.

- **Pretratamiento:** el agua de mar o salobre, materia prima en los procesos de desalinización, puede contener sólidos disueltos en suspensión, los cuales deben precipitarse en los tubos de bombas, intercambiadores y/o en las membranas. Estos sólidos pueden distinguirse como: arena y tierras; productos de corrosión; productos

incrustantes; productos de tratamiento y aditivos; productos orgánicos (como fertilizantes y pesticidas); materia orgánica y desperdicios; microorganismos y algas, etc.

Si la fuente de agua es superficial (lago, río, canal o mar) o subterránea de pozos mal concebidos o acuíferos salinos con una agua muy agresiva; y no se le da un pretratamiento adecuado (conforme al proceso desalinizador a utilizar) antes de la alimentación a la planta desalinizadora, la posibilidad de que se requiera una limpieza en los tubos y membranas es muy grande y se convierte en una labor costosa y en algunos casos imposible, ocasionando una vida corta y poco rentable del aprovechamiento desalinizador.

La cantidad de elementos que pueden presentarse en el agua de alimentación de una planta desalinizadora es amplia y no siempre será la misma para todas las aguas; en cada lugar el agua de alimentación presenta diferentes características físicas, químicas y biológicas, por lo que es fundamental caracterizar el agua para cada caso y para cada punto de instalación. Por ello, el agua requiere un estudio del punto de instalación desde la perspectiva del entorno y del subsuelo, además de que se requiere conocer efluentes humanos e industriales, corrientes marinas, cambios estacionales, tipología de los terrenos, vertidos cercanos y la procedencia superficial o subterránea del agua.

La experiencia en la operación de las plantas desalinizadoras ha demostrado que las medidas tendientes a reducir los elementos presentes en el agua de alimentación se traducen en costos menores de mantenimiento y alargan la vida de los elementos implicados directamente en los procesos de desalinización y en consecuencia, los precios de la desalinización se reducen y son competitivos con otras formas de llevar agua potable al lugar donde se requiere.

Por lo descrito anteriormente, el objetivo de los pretratamientos es acondicionar el agua bruta a las condiciones del proceso desalinizador y dependen del tipo de agua y del proceso desalinizador que se va a utilizar.

- **Bomba de alta presión: proporciona la presión necesaria para vencer la presión osmótica y hacer que el agua pase sin sales a través de las membranas semipermeables; el agua entra en las membranas a una presión promedio de 17 a 27 atmósferas para las aguas salobres y 54 a 80 atmósferas para las aguas de mar.**

El agua de desecho presurizado o salmuera, antes de ser desalojada del sistema de la planta desalinizadora, es enviada a través de unidades de recuperación de energía (turbinas) conectadas a la bombas de alta presión; lo que ayuda a la reducción de consumo de energía y por ende a la reducción de costos.

- **Membranas: como se vio en el capítulo 2.3 “Técnicas de desalinización por ósmosis inversa”, existen una gama muy amplia de arreglos, configuración y agrupaciones de**

membranas. De acuerdo a la naturaleza de fuente se hace una recomendación de su uso.

Un sistema de un solo paso producirá agua que cumpla con los estándares de agua potable (los cuales se mencionan en el apartado 4.3.5 “Parámetros de la Calidad del Agua”), conteniendo menos de 500 ppm de cloruro de sodio.

Actualmente existen dos grados de elementos de membrana usados para desalinizar el agua de mar, los elementos estándar y los elementos de alto rechazo. Las membranas de alto rechazo sacrifica la cantidad de agua producida por una mejor calidad de agua, es decir la recuperación es menor.

- **Postratamiento:** el agua producida por la desalinización en la mayoría de los casos requiere alguna forma de postratamiento que tiene como finalidad dar un acondicionado químico al agua procesada para convertirla en agua para el consumo humano y no agresiva. Comúnmente se realizan las siguientes operaciones (aunque existen otras más):

Desgasificación: para eliminar el CO_2 que contiene el agua y que las membranas no pueden contener.

Alcalinización: con el fin de incrementar el pH añadiendo NaOH.

Pasivación: para eliminar la acción corrosiva del agua frente a los metales.

Cloración:

- **Rechazo:** es el gasto o volumen de agua evacuado con alta concentración de sales que no han dejado pasar las membranas y por su alta presión se hace pasar por una turbina para recuperar energía en el proceso (que corresponde hasta un 50% de energía utilizada en el bombeo de alta presión). Posteriormente se dispone o conecta en la conducción final que puede ser un emisor submarino o un canal a cielo abierto que depende de las características de disolución del cuerpo donde se depositará la salmuera.
- **Piezas especiales:** son tuberías, válvulas, accesorios, almacenamientos, estructuras especiales manómetros, sistemas para controlar sobrepresiones, etc., para llevar a cabo un adecuado funcionamiento del proceso desalinizador.

Línea de distribución

La red de distribución es la unidad del sistema que conduce el agua a los puntos de consumo (edificios, industrias, bocas de riego e incendio, etc.). Está construida por un conjunto de tuberías y piezas especiales dispuestas convenientemente a fin de garantizar el abastecimiento de agua potable.

En los últimos años se han producido cambios importantes en aspectos parciales de las conducciones de distribución, principalmente a lo que se refiere a materiales y diámetros mínimos necesarios.

La organización de las redes de distribución depende de:

- La topografía del territorio a abastecer.
- Características y morfología de la traza urbana
- Condiciones urbanísticas y usos del territorio.

Los conductos que forman la red de distribución se pueden clasificar en varios tipos:

- a) Conductos principales o primarios (tuberías de alimentación): son los de mayor diámetro y responsables de la alimentación de los conductos secundarios. Su principal función es la conducción. Se procura no efectuar tomas en ellos.
- b) Conductos secundarios: son de menor diámetro que los anteriores. Transportan el agua desde las redes principales (tuberías de alimentación) a las tuberías de distribución.
- c) Tuberías de distribución: conducen el agua hasta los ramales de acometida de los puntos de consumo.
 - Ramales de acometida: Es el conjunto de tuberías y válvulas que enlazan la red pública con la instalación interior de la vivienda, junto al muro de la fachada. Habitualmente no se considera a estos ramales como parte de las redes de distribución.
 - Tuberías de traída (conducciones generales): Son conductos que unen los puntos de producción de agua con la red de distribución y, por tanto, no forman parte de ésta.

Línea de rechazo

La línea de rechazo es un sistema de una o varias tuberías que conducen la salmuera hasta un punto idóneo para el depósito del efluente proveniente de las plantas desalinizadoras cercanas al mar, donde se procura que exista la disipación de este vertido; si las condiciones propias y particulares de la zona costera donde se pretende verter la salmuera y algunos químicos de los procesos de pre y post tratamiento no son adecuadas para su disipación, entonces se considera la construcción de una obra que facilite la rápida integración del efluente en el medio marino para no provocar daños ecológicos al entorno costero.

La instalación de un emisor submarino puede ser una solución de vertido cuando las características de las zonas costeras sean adversas. Aunque el concepto puro del emisor submarino se refiere exclusivamente a una conducción que discurre por el fondo marino y

que sirve para verter el agua residual en un punto más o menos distante de la costa y provocar que el efluente se disperse e integre al medio marino en una forma adecuada.

Hay que tener en cuenta que el análisis, proyección y construcción de una obra de este tipo, por sí sola, puede ser un trabajo extenso y que esta ligado a un conjunto de instalaciones en tierra que van a completar la acción anticontaminante en el proceso de vertido de la salmuera, así pues, en el apartado “4.3 Parámetros de Diseño” se mencionan algunos aspectos para su diseño.

Estructura de disposición

Las estructuras de disposición son depósitos de regulación o reserva, así como también son canales o tuberías; de acuerdo al tipo de agua que se tenga agua bruta (agua de la fuente), agua producto (agua potable), o agua de rechazo (salmuera) y las condiciones físicas del sitio, será el tipo de estructura de disposición.

Por ejemplo, para el agua bruta son cárcamos y pozos de galería filtrante que están entre la estructura de captación y la de bombeo, según sea el caso; para el agua producto pueden ser tanques o conductos que se colocan después del post tratamiento del agua procesada en la planta desalinizadora y que regulan el agua hasta donde se requiere; y para el agua de rechazo son tanques o canales, que se diseñan para depósito y descargan en momentos adecuados al medio marino.

El uso y capacidad de éstos varía en función de las características propias del lugar y su entorno natural, las condiciones de demanda y de operación del aprovechamiento hidráulico.

4.3 Parámetros de diseño

La desalinización de agua de mar está estrechamente ligada con los procesos físicos naturales de las costas y las características físico, químicas y biológicas del agua de mar, por lo cual, se debe conocer y comprender como funcionan estos procesos naturales para el diseño, la construcción y el mantenimiento de las obras civiles para las plantas desalinizadoras y las técnicas que éstas utilizan.

4.3.1 Oceanográficos.

La oceanografía incluye dos actividades principales: la primera se dedica al estudio directo y a la preparación de cartas sinópticas de las propiedades físicas del océano, como temperatura, densidad, transparencia, presión, punto de ebullición, punto de congelación, calor específico, energía absorbida, entre otras; y la segunda es el estudio teórico de los procesos físicos naturales del mar que intervienen en la circulación del agua oceánica (como corrientes, mareas, oleaje, transporte de sedimentos) y explicar su comportamiento y repercusión en las costas.

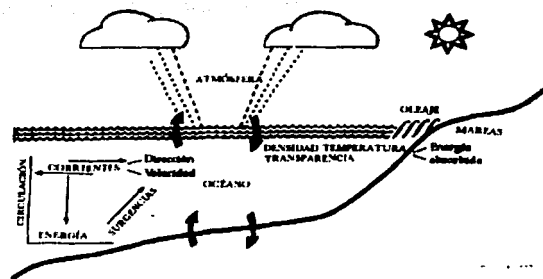
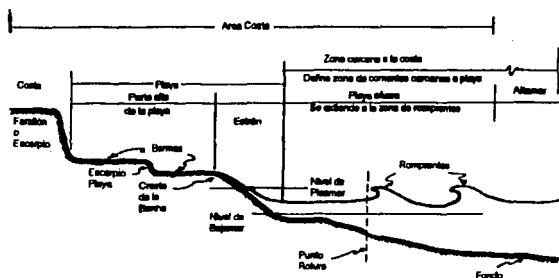


Figura 4.6 Oceanografía Física.

Así pues, en base a esta breve introducción a la Oceanografía, se pretende tomar de ésta sus estudios en los procesos costeros y los conceptos que se deben conocer y comprender para el desarrollo de cualquier tipo de proyecto costero y marítimo para uso del hombre, en condiciones normales y de tormenta. Para definir estos conceptos en la figura 4.7 se presentan gráficamente los límites y los términos utilizados en la zona costera.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 4.7 Límites y Términos Utilizados en la Zona Costera.

4.3.1.1 Morfología.

La zona costera es la región donde interactúan las fuerzas del mar con la tierra; el sistema se compone de la energía que trasmite el mar a través de su movimiento y es absorbida por tierra firme; formando litorales diferentes de un lugar a otro, como pueden ser acantilados, playas, bermas, dunas o la combinación de algunos de ellos.

4.3.1.2 Mareas.

Se conoce como marea astronómica a las variaciones periódicas en el nivel del mar, originadas por la atracción gravitacional de la Luna y el Sol sobre la Tierra. Generalmente hay dos pleamares y dos bajamares en un día lunar o de marea; el intervalo promedio entre

dos mareas altas sucesivas es de 12 horas 25 minutos, que es la mitad del tiempo entre dos pasos sucesivos de la Luna por un meridiano dado.

Existen tres tipos de marea. Las mareas que tienen lugar dos veces cada día lunar se denominan mareas semidiurnas; cuando existe una marea alta al día se le llama marea diurna; y si una de las dos mareas altas es incompleta la marea se conoce como marea diurna mixta.

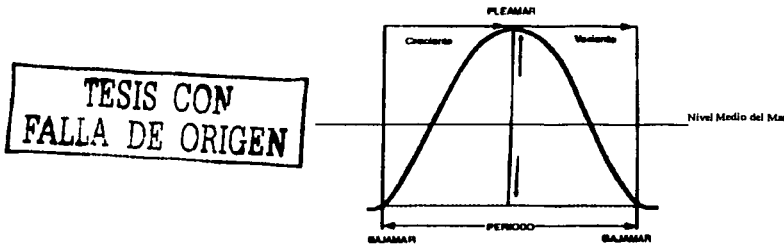


Figura 4.8 Características de las Mareas.

Los niveles generados por las mareas son empleados para definir diferentes elevaciones en los proyectos de obras marítimas y costeras. En la actualidad las características de la marea resultan fáciles de obtener, a través de tablas numéricas de predicción de marea que se publican para casi todas las partes del mundo (en México existe una red mareográfica encargada por el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México) pero, con diferencias debidas al plano de nivel de marea que se usa como referencia —datos que a su vez dependen del tipo de marea—, estos planos son:

- **Altura Máxima Registrada:** nivel más alto registrado en la estación debido al efecto de tsunami o ciclón combinado, probablemente con el de marea astronómica.
- **Pleamar Máxima Registrada (PMR):** nivel más alto registrado debido a las fuerzas de marea periódica, o también su influencia sobre los factores meteorológicos.
- **Nivel de Pleamar Media Superior (NPMS):** promedio de la más alta de las dos pleamares diarias, durante el periodo considerado en la estación, válido para mareas semidiurnas y mixtas.
- **Nivel de Pleamar Media (NPM):** promedio de todas las pleamares durante el periodo considerado en cada estación; cuando el tipo de marea es diurna, este plano se calcula haciendo el promedio de la pleamar más alta diaria, lo que equivale a que la pleamar media en este caso sea lo mismo que la pleamar superior.
- **Nivel Medio del Mar (NMM):** promedio de las alturas horarias durante el periodo registrado en la estación.
- **Nivel de Media Marea (MM):** plano equidistante entre la pleamar media y la bajamar media, es decir, se obtiene promediando estos dos valores.
- **Nivel de Bajamar Media (NBM):** promedio de todas las bajamares durante el periodo considerado en la estación; cuando el tipo de marea es diurna, este plano se calcula

haciendo el promedio de la bajamar más baja media, lo que equivale a que la bajamar media en este caso sea lo mismo que la bajamar inferior.

- Nivel de Bajamar Media Inferior (NBMI): promedio de la más baja de las dos bajamares diarias, durante el periodo considerado en la estación, válido para mareas semidiurnas y mixtas.
- Altura Mínima Registrada: nivel más bajo registrado en la estación debido al efecto del tsunami o ciclón combinado, probablemente con el de marea astronómica.

4.3.1.3 Oleaje.

Las olas son producidas por diferentes causas. Existen olas que son generadas por el viento, por las mareas, por tormentas, por oscilaciones o por terremotos. Para que se genere una ola se requiere que exista una fuente de energía que, al transmitir al agua en reposo una cantidad determinada de energía, produce un movimiento oscilatorio de las partículas del líquido sin que haya un transporte importante de masa.

Las olas son ondas que se forman en la superficie del mar debido a las causas mencionadas y a la resistencia del agua. Como onda que es, tiene una cresta y un valle y se organiza longitudinalmente formando series de surcos y crestas; que a su vez, se mueven por la superficie del agua en trenes de ondas. Como en cualquier onda podemos distinguir: la amplitud de onda, o distancia horizontal entre dos crestas sucesivas (L); y la altura, o desnivel vertical entre las crestas y los valles. La relación entre amplitud y altura (H) se denomina arqueo. Al ser ondas que se mueven también podemos determinar su período (T), es decir, el tiempo que transcurre entre el paso de dos crestas consecutivas, por un mismo punto.

Las olas que llegan a la costa ejercen fuerzas sobre las estructuras que se encuentran en su recorrido. Estas estructuras son muros verticales, rompeolas, columnas o cuerpos sumergidos. Para determinar las magnitudes de las fuerzas es necesario conocer las características de las olas (altura, longitud y periodo) que llegan a las estructuras, así como los fenómenos de refracción y difracción de ola.

Celeridad (c), $c = \frac{L}{T}$

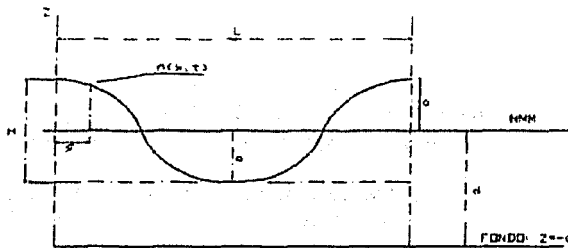
Relación de esbeltez (γ), $\gamma = \frac{H}{L}$

Frecuencia angular (ω), $\omega = \frac{2\pi}{T}$

Número de Onda (k), $k = \frac{2\pi}{L}$

Amplitud de Onda (a), $a = \frac{H}{2}$

Profundidad Relativa, $\frac{d}{L}$



4.9 Características de una Ola.

El comportamiento del oleaje esta en parte regido por la profundidad del fondo marino, lo que establece la definición de tres zonas características: la zona de agua profundas, las aguas intermedias y las agua someras.

Tabla 4.1 Características de la Onda Progresiva.

Profundidad Relativa Característica	Aguas Someras $d/L < 1/20$	Aguas Intermedias $1/20 < d/L < 1/2$	Aguas Profundas $d/L > 1/2$
Perfil de la Ola	$y = \frac{H}{2} \cos 2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) = \frac{H}{2} \cos \theta$		
Celeridad de la Ola	$C = \frac{L}{T} = \sqrt{gd}$	$C = \frac{L}{T} = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{(2\pi d)}{L}$	$C_o = \frac{gT}{2\pi} = 1.56T$
Longitud de la Ola	$L = CT = T\sqrt{gd}$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{(2\pi d)}{L}$	$L_o = \frac{gT^2}{2\pi}$
Energía de la Ola (por unidad de área)	$E = \frac{\rho g H^2}{8}$		

donde:

- t
- $\cos \theta$
- g aceleración de la gravedad 9.81 m/s²
- π 3.1416
- tanh tangente hiperbólica
- ρ densidad del agua de mar

Refracción de Ola.

Entrando en aguas poco profundas, las olas se encuentran sujetas al fenómeno de refracción, el cual ocasiona que la dirección de la ola y su altura cambie conforme disminuye la profundidad de tal manera que las olas tienden a ser paralelas con las curvas de nivel batimétricas.

Para costas rectas con las curvas de nivel batimétricas paralelas, las crestas de las olas se hacen casi totalmente paralelas a la línea de costa. La topografía irregular de fondo puede causar que las olas sean refractadas de una manera compleja, produciendo variaciones en la altura de la cresta y en la energía a lo largo de la costa.

El fenómeno de refracción puede ser modelado con una precisión aceptable a través del concepto de canal de energía, en el cual, la transmisión de energía del oleaje permanece constante entre dos ortogonales de ola (líneas imaginarias perpendiculares a las líneas batimétricas del fondo marino) y supone que no hay pérdidas por fricción.

La ley de Snell, relaciona la modificación en la dirección de una ortogonal de ola con la variación de la celeridad de onda como consecuencia de un cambio de profundidad; lo cual se define con la siguiente expresión:

$$\frac{\text{sen}\alpha_1}{\text{sen}\alpha_0} = \frac{C_1}{C_0}$$

donde:

c_0 y c_1 son las celeridades del oleaje, mientras que α_0 y α_1 representan los ángulos de incidencia, entre los frentes de ola y la línea batimétrica donde cambia la celeridad de c_0 a c_1 . Además, el análisis se complementa con las ecuaciones:

$$K_R = \sqrt{\frac{\cos\alpha_0}{\cos\alpha_1}}$$

$$K_S = \sqrt{\frac{C_0}{2nC_1}}$$

$$H_R = H_0 K_R K_S$$

K_R coeficiente de refracción.

K_S coeficiente de fondo.

H_R altura de ola refractada.

Difracción de Ola.

Este proceso se produce cuando la onda encuentra en su camino un obstáculo que impide el paso a la zona posterior del mismo, sin embargo si una pequeña parte de la energía de la ola pasa hacia la zona tranquila puede crear condiciones de oleaje no deseadas para la infraestructura portuaria.

En el proceso de difracción de ola, la energía es transferida lateralmente a lo largo de la cresta de la ola, de la parte donde la cresta es más alta a donde es más baja.

Es comprensible el interés que tiene el estudio de este fenómeno para el diseño y explotación de un gran número de obras e instalaciones marítimas. La resonancia en las dársenas, las condiciones de entrada a puerto, los azolvamientos y variaciones de las playas próximas a una obra civil son algunos de los casos comunes en los que la difracción del oleaje juega un papel importante.

4.3.1.4 Corrientes.

Las corrientes de mar se definen como el desplazamiento de una corriente de agua, su origen puede ser diverso, por ejemplo, debido a que el agua caliente del Ecuador fluye hacia los polos por la superficie del mar y al llegar a estos desciende, se enfría y regresa al Ecuador por

el fondo, a esto se le agregan los vientos y la rotación del planeta, lo que complica todavía más las características del fenómeno, que básicamente son: dirección y velocidad.

Para la elaboración de un proyecto costero y marítimo, el conocimiento del comportamiento de las corrientes en el sitio es fundamental; por un lado para el diseño estructural de los elementos de la planta desalinizadora que se encuentran en contacto directo con el mar y por el otro, orientar las estructuras de alimentación y descarga en función de las corrientes predominantes para hacer un análisis de fuerzas producidas por las corrientes a las estructuras, así como para definir si las corrientes nos servirán para realizar la disposición de la salmuera en el ambiente marino.

La importancia de las corrientes producidas por el oleaje radica fundamentalmente en el hecho de que son las que originan y regulan, en su mayor parte, el movimiento de los sedimentos costeros. En función de su movimiento, estas corrientes se clasifican en dos tipos:

- Corrientes normales de costa: la importancia de este tipo de corrientes estriba en que se produce una clasificación en los sedimentos de las playas, la cual interviene en su balance o estabilidad.
- Corrientes paralelas a costa: se considera que esta corriente es la principal responsable de transportar los sedimentos a lo largo de la costa, por tal razón es muy importante dentro de la ingeniería de costas. A continuación se presentan las fórmulas más usuales en la evaluación de la magnitud de este tipo de corrientes:

$$\text{Longuet - Higgins (modificada)} \quad V = 20.7m \left(\frac{g}{H_b} \right)^{\frac{1}{2}} \text{sen}(2\alpha b) \quad ; \quad \left[\frac{ft}{s} \right]$$

$$\text{Inman - Quinn} \quad V = \left[\left(\frac{1}{4x^2} + y \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{2x} \right]^2 \quad ; \quad \left[\frac{ft}{s} \right]$$

$$\text{Galvin} \quad V = gT \tan(\beta) \text{sen}(2\alpha b) \quad ; \quad \left[\frac{ft}{s} \right]$$

donde :

$$x = \frac{(108.3H_b \tan(\beta) \cos(\alpha b))}{T}$$

$$y = Cb \text{sen}(\alpha b)$$

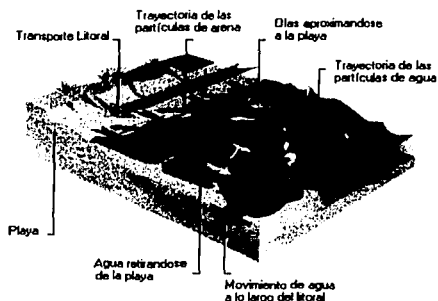
$$Cb = \sqrt{2.28gH_b}$$

V velocidad de la corriente longitudinal, ft/s.
 m pendiente de la playa en la zona de rompientes.
 g aceleración de la gravedad, ft²/s.
 H_b altura de la ola rompiente, ft.
 αb ángulo de incidencia del oleaje en la rompiente, grados.
 β ángulo de la pendiente de la playa, grados.
 T periodo de oleaje en segundos.

4.3.1.5 Transporte de Sedimentos.

El área que es más afectada por las fuerzas del mar, es la playa, por lo que se considera la parte más dinámica de la zona costera.

La playa se puede describir como el lugar en donde se deposita el arena y se localiza desde el punto en el mar donde las olas comienzan a mover las arenas de fondo hasta la zona intermareal. El movimiento de la arena es perpendicular a la costa (de mar a tierra y viceversa) y paralelo (a lo largo del litoral) en la figura 4.10 se muestra el transporte de sedimentos debido al oleaje.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 4.10 Transporte de Sedimentos Debido al Oleaje.

A lo largo de una determinada franja playera deberá existir cuando menos una de las tres condiciones siguientes:

- El azolve predomina sobre la erosión y la playa se amplía;
- La línea de playa es estable, por lo tanto no predomina ni el azolve ni la erosión, y
- La playa se encuentra bajo la condición de erosión en la cual las pérdidas de material exceden al abastecimiento.

Transporte Litoral

El transporte a lo largo de la costa es originado por el rompimiento de las olas, y depende del ángulo de aproximación, de la duración y energía del oleaje; está directamente influenciado por la acción de los vientos. La energía con que las olas se aproximan a la costa depende de la existencia o ausencia de estructura de arrecifes frente a ella, ya que estas estructuras amortiguan la energía del oleaje.

Al llegar a la costa las olas rompen y disipan su energía en la zona de rompiente, producen un transporte de masas de agua generando una corriente paralela a la línea de costa que transporta la arena, llamada corriente litoral.

Generalmente no es fácil medir el transporte litoral de sedimentos. Tales cuantificaciones son difíciles de realizar, por lo que se necesita un gran número de mediciones, como por ejemplo,

se calcula de estadísticas de olas en donde se encuentran datos como la altura de ola, su rapidez, etc., y se usa una ecuación que las relacione, como lo son los métodos de Larras, Cerc y Cadwell; o también tomando medidas de grado de disolución de granos gruesos entre las arenas de la playa.

- Método de Larras.

Para arenas de 0.16 a 0.4 mm, bajo alturas de olas de 2.6 a 14 cm y períodos de 0.8 a 1.75 segundos.

$$Q = K g H_o^2 T \operatorname{sen}\left(\frac{7}{4}\alpha\right)$$

$$K = 1.18 \times 10^6 \phi^{-\frac{1}{2}} \frac{L_o}{H_o}$$

donde:

Q , transporte litoral, m^3/s .

ϕ diámetro medio del material playero, mm .

H_o , L_o representan la altura y longitud de ola en aguas profundas, m .

- Método de CERC.

Relaciona el transporte con la componente del flujo de energía sobre la playa y un coeficiente de proporcionalidad.

$$Q_s = 125 E_a$$

$$E_a = \frac{E_o}{2} K r^2 (\# \text{ de olas en el día}) (\operatorname{sen}\alpha \operatorname{cos}\alpha)$$

$$E_o = \frac{\gamma H_o^2 L}{8,000,000}$$

donde:

E_a energía, millones de $lb/ft/día$.

- Método de Cadwell.

Aplicable a playas sujetas a la acción del oleaje con incidencia entre los 9° y 21° con material playero de 0.2 a 0.5 mm.

$$Q_s = 210 E_i^{0.8}$$

$$E_i = \frac{\gamma H_o^2 K r^2 L}{8,000,000} (\# \text{ de olas en el día}) (\operatorname{sen}\alpha \operatorname{cos}\alpha)$$

$$\# \text{ de olas en el día} = \frac{86,400}{T}$$

donde: Q_s transporte litoral, $yd^3/día$.

E_i	energía incidente en millones de lb/ft/ día.
γ	peso específico del agua, lb/ ft ³ .
H_o	altura de la ola en aguas profundas, ft.
Kr	coeficiente de refracción en zona de rompiente.
L	longitud de la onda en la profundidad de rompiente, ft.
α	ángulo de incidencia, grados.
T	periodo, segundos.

La dirección del transporte litoral a veces puede ser determinada por observaciones en la configuración de la costa, cerca de las estructuras de costa naturales o hechas por el hombre. La acumulación de arena detrás de escolleras o espigones nos puede indicar la dirección del transporte litoral en algún momento, pero esta representa solo un periodo corto de tiempo, se requiere hacer observaciones durante periodos de un año; también es conveniente señalar que existen algunos modelos matemáticos apoyados en programas de cómputo para definir la dirección y cantidad del transporte litoral.

Transporte Perpendicular a la Costa

El movimiento perpendicular esta determinado principalmente por la altura del oleaje y la pendiente de la playa; en general las olas de mayor tamaño mueven la arena fuera de la playa y las de menores dimensiones causan el efecto contrario, por lo que este tipo de transporte de la arena está directamente asociado a los cambios estacionales en la energía del oleaje y a los eventos de tormenta.

Los cambios en la forma de la playa a través del tiempo se deben a que las olas incrementan su altura y su energía, llegando a lugares ubicados por arriba de su nivel promedio, a su regreso llevan consigo la arena (erosión) depositándola en la zona por debajo de la línea de marea (estrán), después de la tormenta las olas moverán una vez más la arena localizada en la zona de estrán hacia fuera del mar para formar la berma y posteriormente la duna.

4.3.1.6 Climatológicos.

La atmósfera y los fenómenos que tienen lugar en ella juegan un papel de gran relevancia en relación con la vida en el planeta. Existen dos formas distintas y complementarias de enfrentarse al conocimiento de la atmósfera: la meteorología y la climatología.

La meteorología estudia los meteoros o elementos atmosféricos, sus características y su funcionamiento, es decir las condiciones de la atmósfera en un momento concreto, mientras que la climatología estudia las condiciones medias de la atmósfera y las características medias de los meteoros.

Los elementos climáticos pueden definirse como toda propiedad o condición de la atmósfera cuyo conjunto caracteriza el clima de un lugar en un periodo de tiempo suficientemente representativo. Igualmente definen el tiempo en un momento determinado: insolación, temperatura del aire, presión atmosférica, viento, lluvia y humedad. De estos elementos, el

viento resulta de gran interés para definir en base a sus características (dirección, intensidad y frecuencia), los efectos sobre el mar.

Viento.

Se define al viento, en general, como el movimiento de las masas de aire en la atmósfera con relativa proximidad a la superficie terrestre; originado por la diferencia de densidad de aire que se encuentra a distinta temperatura y presión y se caracteriza por los siguientes elementos:

- Dirección de la que sopla: la dirección del viento es el punto cardinal de donde sopla.
- Intensidad con que sopla: se expresa en unidades de velocidad (m/s, km/h, nudo).
- Frecuencia: es el número de veces, que con determinadas características, el viento se presenta durante un lapso cualquiera, utilizándose normalmente la hora, el día, el mes, estación o año.

El viento es el principal generador de oleaje y su efecto sobre la costa es permanente, provocando, además, mareas de vientos y fuerzas sobre las estructuras; de ahí la importancia de su estudio desde el punto de vista de las obras marítimas y la ingeniería de costas.

Para el diseño en el mar, el oleaje generado por viento es función creciente de tres variables, la intensidad, la frecuencia y el fetch. El fetch es la extensión rectilínea sobre la que sopla un viento de dirección e intensidad teóricamente constante, es decir, es una "zona de generación"; el fetch delimita su longitud en forma paralela a la dirección del viento, expresándose en kilómetros o millas y para un viento dado, la altura del oleaje es creciente; en otras palabras, la altura del oleaje es mayor para un viento dado, con fetches largos, que con fetches cortos.

Para el diseño en tierra se consideran tanto los vientos sostenidos (duración mayor o igual a un minuto) como las rachas (duración menor de un minuto); los primeros son empleados en el cálculo de las cargas totales por viento en la estructura, mientras que el segundo es utilizado para el diseño individual de algunos elementos de la estructura.

4.3.1.7 Condiciones de Tormenta.

Para la población en general y para el diseño de obras civiles en particular, los efectos o acciones producidas por los fenómenos meteorológicos y sus efectos ponen en riesgo a la población, sus bienes materiales, su actividad económica y a las diferentes estructuras de protección, comunicación, transporte, aprovechamientos hidráulicos, etc.

En general, los efectos meteorológicos extremos de insolación, temperaturas altas, lluvia escasa, etc., son condiciones suficientes para la instalación de una planta desalinizadora de agua de mar, en las inmediaciones del mar; pero se deben tener presente otros tipos de fenómenos extremos como son los ciclones y sus representantes de máxima intensidad, los

huracanes (que traen consigo vientos, oleajes, marea de tormenta y precipitación), para el diseño adecuado de las estructuras y su comportamiento ante estos fenómenos.

Vientos.

Los vientos son la característica que mejor identifica a los huracanes y son éstos, con excepción de los tornados, los fenómenos que presentan las mayores intensidades de viento que en ocasiones sobrepasan velocidades de 300 km/h. Estos vientos producen daños importantes, ya que las fuerzas que ejercen sobre las estructuras son muy apreciables.

En nuestro país las zonas que son afectadas por vientos huracanados significativos son las vertientes del Pacífico y del Golfo, así como la totalidad de la península de Yucatán.

Oleaje Ciclónico.

Los huracanes están íntimamente relacionados con el mar, puesto que se originan y tienen posibilidad de trasladarse por grandes distancias e intensificarse sólo sobre él. Debido a que el viento es una variable aleatoria de gran intensidad y extensión en el mar, genera fuertes oleajes que al trasladarse de aguas profundas a aguas someras, pueden afectar en gran medida a zonas alejadas del punto de incidencia del huracán sobre la costa.

La práctica común en el diseño de las estructuras costeras y marítimas, ha sido la de seleccionar la altura de ola de diseño que potencialmente causará más daño. En México, los huracanes son los que producen las condiciones de oleaje más severas. Existe un método de evaluación de oleaje extremal, para un huracán que se mueve con una velocidad menor o igual a 30 Km/h, que es el método de huracán estándar para estimar la altura de ola significativa en aguas profundas y el periodo en el punto de máxima velocidad del viento.

$$H_c = 5.033 \left[\frac{1 + 0.15\alpha V_c}{\sqrt{U_R}} \right] e^{\frac{R\Delta P}{6270}}$$

$$T_c = 8.6 \left[\frac{1 + 0.076\alpha V_c}{U_R} \right] e^{\frac{R\Delta P}{6270}}$$

$$U_R = 0.865U_{\max} + 0.5V_c$$

donde:

H_c , T_c representan la altura(m) y el periodo (s) ciclónicos, a una distancia R del centro del huracán.

α coeficiente que toma en cuenta la variación de la velocidad.

V_c velocidad de desplazamiento del huracán (km/h).

U_R velocidad de viento a 10m sobre el nivel del mar (km/h).

U_{\max} velocidad máxima de viento

$$U_{\max} = 20.19\sqrt{\Delta P - R\omega \sin\theta}$$

R radio donde se presentan los vientos de mayor intensidad (Km).

$$R = 28.52 \tanh[0.0873|\theta - 28|] + 12.22e^{\frac{-\Delta P}{33.86}} + 0.2V_c + 37.22 \quad \text{para el Océano Pacífico}$$

$$R = 1.85[10^{(P_n/150-3.45)}] + 1.85[10^{0.5(P_n/38-16.74)}]$$

ΔP diferencia de presiones (mb), $P_n - P_o$.
 P_n presión atmosférica normal, $P_n = 1013$ mb.
 P_o presión en el ojo del huracán (mb).
 θ latitud del ojo del huracán ($^\circ$).
 w velocidad angular de la tierra.
 $\omega = \frac{\pi \text{ rad}}{12 \text{ hora}}$

para el Golfo de México

Marea de Tormenta.

La marea de tormenta es la sobre elevación del nivel medio del mar cuando el huracán se acerca a la costa, que puede ser producida por varias razones. Una de ellas y quizá la de mayor importancia es el viento, en dirección normal o en dirección tangencial a la costa; en la primera el viento ejerce una fuerza cortante sobre la superficie del mar que, como no puede producir una corriente se contrarresta con una sobre elevación del nivel en la costa; en la segunda, el viento produce una corriente a lo largo de la costa, y la fuerza de Coriolis tiende a desviarla a la derecha; si la costa se encuentra a la derecha de dicha corriente, tal desviación no puede ocurrir y la manifestación es una sobre elevación del nivel.

Es un hecho que el principal efecto de esta marea de tormenta es la inundación de extensas zonas costeras con agua de mar que, dependiendo de la topografía, puede llegar a cubrir franjas de varios kilómetros, que combinándolo con el oleaje y la marea astronómica (dependiendo de la coincidencia de la pleamar o a la bajamar con la incidencia del huracán), se producen efectos destructivos en la zona costera y a su infraestructura. Por lo que, el cálculo de esta sobre elevación tiene gran importancia en el contexto de la seguridad de la población y los procedimientos de protección civil. Para el caso de mares limitados en su extensión por barreras orográficas, lagunas y dársenas cerradas, se sugiere el uso del método de Bretschneider:

$$S = \frac{C}{h} V^2 F \cos \phi$$

donde:

- S marca de tormenta definida como la variación del NMM, m.
- C coeficiente cuyo valor se toma como 0.000004, s^2/m .
- V velocidad del viento a 6m sobre el nivel del mar, m/s.
- F fetch en el que actúa el viento, unidades de longitud.
- ϕ ángulo entre la dirección del viento y el eje del área considerada.
- H profundidad media del área, medida a lo largo del eje del fetch, m.

Precipitaciones.

Los huracanes arrastran consigo enormes cantidades de humedad que al precipitarse con gran intensidad (de 50 mm/h y láminas totales de 400 mm) en una barrera montañosa provocan avenidas extraordinarias, deslizamientos de tierra e inundaciones en las zonas con insuficiente drenaje natural.

4.3.2 Geotécnicos.

La realización de cualquier proyecto de construcción de obras civiles, deberá contar con un estudio geotécnico específico de acuerdo a las condiciones de cada caso en particular. Los estudios de campo, los ensayos de laboratorio, los análisis de la información, etc., servirán para completar la descripción y morfología del terreno en cuanto a las propiedades físicas y mecánicas del mismo, que ha de servir de base a los trabajos posteriores de diseño, como movimientos de tierras, terraplenes, empujes de tierra y la capacidad de carga para cimentaciones, así como también, los problemas de hundimientos y desplazamientos de los materiales del subsuelo y de las obras de tierra.

Los estudios geotécnicos son necesarios para conocer las características de los materiales del subsuelo, el comportamiento general de las masas y su procedencia geológica y clasificar los diferentes depósitos de materiales que se encuentran en la naturaleza, tanto en mar como en tierra; para determinar básicamente la capacidad de carga de los suelos en el desplante de las estructuras, para ello, nos podemos apoyar en diferentes expresiones como las presentadas en la tabla 4.2, conviene señalar que éstas no siempre se usarán, ya que van de acuerdo a un estudio preciso de las condiciones del sitio particular donde se requiere el diseño y construcción de la obra.

Tabla 4.2 Algunas Expresiones y Estudios de Geotecnia Empleados en Zonas Costeras.

<i>Expresiones</i>	<i>Observaciones</i>
$P_V = \gamma \cdot z$	P_V presión vertical sobre las estructuras, Kg/m ² .
$P_H = k_0 \cdot \gamma \cdot z$	P_H presión horizontal sobre las estructuras, Kg/m ² .
	γ peso específico del suelo correspondiente al estado en que se encuentra el medio, Kg/m ³ .
	z profundidad, m.
Determinación del SUCS	SUCS Sistema Unificado de Clasificación de Suelos
Métodos Geofísicos	Como el de Resistividad Eléctrica, para determinar la distribución de las unidades litológicas y la presencia de agua de mar en ellas.

Entre los procesos a considerar como riesgos geológicos en el medio marino, pueden destacarse la inestabilidad en el sedimento originada por carga sedimentaria, tormentas, olas, terremotos o accidentes tectónicos; procesos erosivos debidos a corrientes, y la existencia de sedimentos; las expresiones que nos pueden ayudar a definir estos parámetros se han descrito con anterioridad en este capítulo.

4.3.3 Hidráulicos.

Para el diseño hidráulico de una planta desalinizadora y sus obras complementarias se requiere, en primer instancia conocer el gasto de diseño, el uso y calidad de la fuente, así como el agua solicitada, patrones de consumo diario y, el o los niveles cambiantes de la fuente de abastecimiento.

Tabla 4.3 Algunas Expresiones Hidráulicas Empleadas en el Diseño de Plantas Desalinizadoras.

Expresión	Observaciones
<p>Rejillas</p> <p>Pérdidas por fricción</p> $k = 1.45 - 0.45(A_n/A_b) - (A_n/A_b)^2$	<p>A_n área neta de paso entre rejillas, cm².</p> <p>A_b área bruta de la estructura de rejillas, cm².</p>
<p>Tanque sedimentador</p> <p>Velocidad del flujo</p> $v = \frac{a\sqrt{d}}{100}$ <p>Ancho</p> $b = \frac{Q_d}{hv}$ <p>Longitud</p> $L = \frac{\lambda^2 V^2 (\sqrt{h} - 0.2)^2}{7.51 \omega^2}$	<p>a coeficiente de Camp según el cual para partículas con diámetro de 0.9 mm $a=44$</p> <p>d es en diámetro de la partícula, mm</p> <p>v es la velocidad del flujo, m/s</p> <p>Q_d gasto de diseño, m³/s.</p> <p>v velocidad del flujo, m/s.</p> <p>h es el tirante, m.</p> <p>λ es la función o coeficiente que depende del grado de sedimentación que deseamos procurar.</p> <p>ω es la velocidad de caída de la partícula, m/s.</p>
<p>Bombas</p> <p>Carga</p> $H_B = z + h_f$ <p>Potencia hidráulica</p> $P_H = \gamma H_B Q$ <p>Potencia mecánica</p> $P_M = Par \times \omega$ <p>Eficiencia de bombeo</p> $\eta_B = \frac{P_H}{P_M}$ <p>Eficiencia de turbina</p> $\eta_T = \frac{P_E}{P_H}$	<p>H_B carga de la bomba, m.</p> <p>z carga de posición, m.</p> <p>h_f pérdidas por fricción, m.</p> <p>P_H Potencia del líquido, W.</p> <p>γ peso específico del líquido, kg/m³.</p> <p>H_B carga de la bomba, m.</p> <p>Q gasto en la sección considerada, m³/s.</p> <p>Par fuerza por brazo de palanca, kg m²/s².</p> <p>ω velocidad angular,</p> <p>P_H potencia hidráulica, W.</p> <p>P_M potencia mecánica, W.</p> <p>P_E potencia eléctrica, W.</p>
<p>Conducciones de tuberías a presión</p> <p>Bernoulli</p> $H = z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g}$	<p>H energía total respecto del plano de referencia, m.</p> <p>$\frac{P}{\gamma}$ carga piezométrica, m.</p> <p>$\frac{V^2}{2g}$ carga de velocidad, m.</p>

Tabla 4.3 (continuación) Algunas Expresiones Hidráulicas Empleadas en el Diseño de Plantas Desalinizadoras.

<p>Tanques</p> <p>Gasto medio diario</p> $Q_{MD} = \frac{Pp \times D}{86\,400} \times CVD = Q_E$ <p>Gasto medio horario</p> $Q_{MH} = Q_{MD} \times CVH$ $Q_S = Q_E \times F_D$ <p>Volumen de regulación</p> $V_R = M_E - M_D$ <p>$M_E = \text{valor máximo } \sum(Q_E - Q_S)$</p> <p>$M_D = \text{valor mínimo } \sum(Q_E - Q_S)$</p>	<p>Q_{MD} gasto medio diario, l/s.</p> <p>Q_E gasto de entrada, transformar a m³/h.</p> <p>Pp población de proyecto, hab.</p> <p>D dotación, l/hab/día.</p> <p>CVD coeficiente de variación diaria, adimensional.</p> <p>CVH coeficiente de variación horaria, adimensional.</p> <p>Q_S gasto de salida, m³/h.</p> <p>F_D factor de demanda, adimensional.</p> <p>V_R volumen de regulación, m³.</p> <p>M_E máximo excedente, m³.</p> <p>M_D máximo déficit, m³.</p>
<p>Fenómenos Transitorios</p> <p>Golpe de Ariete</p> <p>Método de las características</p> <p>Para puntos interiores de la conducción:</p> $C_a = g \frac{A}{C}$ $\Delta t = \frac{\Delta x}{C}$ <p>Característica positiva</p> $C_p = Q_R + C_a H_R - f \frac{\Delta t}{2DA} Q_R Q_R $ <p>Característica negativa</p> $C_n = Q_S + C_a H_S - f \frac{\Delta t}{2DA} Q_S Q_S $ <p>Gasto</p> $Q_p = \frac{C_p - C_n}{2}$ <p>Presión</p> $H_p = \frac{C_p - Q_p}{C_a} \quad \text{o bien,}$ $H_p = \frac{Q_p - C_n}{C_a}$ <p>Para condiciones de frontera:</p> <p>En el tanque de carga constante</p> $H_p = H_0$ $Q_p = C_a H_p + C_n$	<p>C celeridad de la onda de presión, m/s.</p> <p>A área del conducto, m².</p> <p>g aceleración de la gravedad, m/s².</p> <p>Δx intervalo de longitud a considerar para la longitud total de conducción, m.</p> <p>Q_R gasto en el punto anterior al punto de análisis, m³/s.</p> <p>H_R carga piezométrica en un punto anterior al punto de análisis, m.</p> <p>f factor de fricción.</p> <p>Δt intervalo de tiempo, s.</p> <p>D diámetro de la conducción, m.</p> <p>Q_S gasto en un punto posterior al punto de análisis, m³/s.</p> <p>H_p carga piezométrica en el punto de análisis, m.</p> <p>Q_p gasto en el punto de análisis, m³/s.</p> <p>H_R carga piezométrica en un punto posterior al punto de análisis, m.</p> <p>H_0 carga piezométrica en el tanque</p>

Tabla 4.3 (continuación) Algunas Expresiones Hidráulicas Empleadas en el Diseño de Plantas Desalinizadoras.

<p>En la válvula aguas abajo</p> $Q_p = f(\text{ley de cierre})$ $H_p = \frac{C_p - Q_p}{C_a}$	
<p>Emisores Submarinos</p> <p>Dilución inicial</p> $D_1 = 0.54F \left(0.38 \frac{Y}{d \cdot F} + 0.68 \right)^{5/3}$ <p>Dispersión horizontal</p> $D_2 = \frac{3.65 \times h \times \sqrt{k \cdot v \cdot x}}{Q}$ $k = 1.63b^{4/3}$ $h = \frac{Q \cdot D_1}{v \cdot b}$ <p>Descarga lineal</p> $D_3 = \sqrt{\frac{\left(1 + \frac{13t}{b^{2/3}} \right)^3 - 1}{1.5}}$	<p>F número de Froude. D diámetro del difusor, m. Y profundidad del vertido, m.</p> <p>Q caudal total del efluente, m³/h. v velocidad de la corriente, m/h. x distancia de recorrido, m. k coeficiente de difusión horizontal, m²/h. b diámetro superior del penacho, iguala $Y/3$, m. h espesor superior del penacho, m.</p> <p>t tiempo de recorrido, horas. b longitud de difusores proyectada, normalmente en la dirección de la corriente, m.</p>

4.3.4 Estructurales.

Una estructura esta formada generalmente por una arreglo de elementos básicos. El arreglo debe aprovechar las características preliminares de cada elemento y lograr la forma más eficiente del sistema global, cumpliendo con las restricciones impuestas por el funcionamiento de la construcción. Para el diseño estructural de las obras en general se siguen los siguientes procedimientos y algunas expresiones empleadas se muestran en la tabla 4.4.

- Selección del tipo y distribución de la estructura: basado en la funcionalidad, economía, estética y servicio.
- Determinación de las cargas que actúan sobre ella: partiendo de una solicitud.
- Determinación de los momentos y fuerzas internas en los componentes estructurales: por medio de uso de condiciones de equilibrio estáticamente indeterminadas, llevar a cabo aproximaciones de dimensionamiento de los elementos de la estructura.
- Selección del material y dimensionamiento de los miembros y conexiones para la seguridad y economía de la estructura: conocidos los esfuerzos internos y materiales a emplear; se selecciona el tamaño de cada elemento, basado en resistencia, rigidez, ductilidad, facilidad de conexión y economía.
- Revisión de la estructura en servicio: por deformaciones máximas admisibles, distorsiones excesivas, vibración, fatiga, corrosión, esfuerzos por temperatura y por asentamiento en los apoyos.

- **Revisión final:** verificar si las cargas propuestas para la estructura corresponden con las cargas reales obtenidas en el diseño.

Tabla 4.4 Algunas Expresiones Estructurales Empleadas en el Diseño de Plantas Desalinizadoras.

Expresiones	Observaciones
<p>Teoría Plástica por Fléxión</p> <p>Refuerzo mínimo</p> $A_{s_{min}} = \frac{0.7 \, b d \sqrt{f'_c}}{f_y}$ <p>Refuerzo máximo</p> $A_{s_{max}} = \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{4800}{f_y + 6000} \right) b d$ $f'_c = 0.85 f'_c$ <p>Momento resistente: Para secciones rectangulares sin acero de compresión:</p> $M_R = F_R A_s f_y d (1 - 0.5q)$ $q = \frac{P f_y}{f'_c}$ $p = \frac{A_s}{b d}$ <p>Para secciones rectangulares con acero de compresión:</p> $M_R = F_R \left[(A_s - A'_s) f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s f_y (d - d') \right]$ $a = \frac{f_y (A_s - A'_s)}{b f'_c}$ <p>Por Cortante</p> $V = \frac{w_u [(a_1/2) - d]}{1 + (a_1/a_2)^6}$ $V_{CR} = 0.5 F_R b d \sqrt{f'_c}$ $w_u = 1.4 w_s$	<p>$A_{s_{min}}$ área mínima de refuerzo, cm².</p> <p>f'_c resistencia especificada del concreto a compresión, kg/cm².</p> <p>d peralte efectivo, cm.</p> <p>b ancho de la sección, cm.</p> <p>$A_{s_{max}}$ área máxima de acero de tensión, cm².</p> <p>f'_c resistencia nominal del concreto a compresión, kg/cm².</p> <p>M_R momento resistente, kg m.</p> <p>F_R factor de resistencia, adimensional.</p> <p>A_s área del refuerzo de tensión, cm².</p> <p>f_y esfuerzo nominal de fluencia del acero, kg/cm².</p> <p>A'_s área del acero a compresión, cm².</p> <p>d' distancia entre el centroide del acero a compresión y la fibra extrema a compresión, cm.</p> <p>V_{CR} fuerza cortante</p> <p>V fuerza cortante de diseño que actúa en un ancho unitario, kg.</p> <p>w_u carga de diseño de la losa, Kg.</p> <p>w_s carga de servicio por m², Kg/m².</p> <p>a_1, a_2 claros corto y largo de un tablero de una losa, respectivamente, cm.</p>

Nota: algunas de las expresiones consideran parámetros de diseño diferentes debido a ciertas condiciones, por lo que esta tabla sólo describe algunas expresiones a emplear, lo cual nos obliga a realizar un análisis más detallado de acuerdo a las condiciones particulares de cada proyecto.

4.3.5 De calidad del agua.

Básicamente el agua que se suministre, debe cumplir con dos condiciones;

- No debe ser peligrosa para la salud o la vida humana, por lo que el agua no debe contener ni microorganismos patógenos, ni sustancias tóxicas o nocivas para la salud, condición imprescindible.
- El sistema de tratamiento debe poder operarse a un costo razonable, por lo que las características del agua deben ser tales, que no produzcan daño, ni a la red de distribución, ni a las industrias, ni a la economía privada, sin tener que hacer un tratamiento del agua excepcionalmente costoso.

En México se cuenta con una serie de parámetros o requisitos físicos, químicos y biológicos que deben cumplirse en el abasto de agua potable; los cuales se establecen en la Norma Oficial Mexicana 127-SSA1-1994, "*Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano-Limites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe Someterse el Agua para su Potabilización*".

En la Tabla 4.5 se muestran las características, límites permisibles de esta norma y se hace una comparativa con las características del agua de mar y con el proceso de ósmosis inversa.

Tabla 4.5 Características del Agua según NOM-127-SSA1-1994.

Norma Oficial Mexicana	
<i>Característica</i>	<i>Límite Permissible</i>
Microbiológicas	
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectados
E. coli o coliformes fecales u organismos termotolacs	Ausencia o no detectados
Físicas y Organolépticas	
Color	20 unidades de color verdadero en la escala platino-cobalto
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de las condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico)
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método
Químicas	
Aluminio	0.20
Arsénico	0.035, (para el año 2003)
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN-)	0.07
Cloruro residual	0.20 - 1.50
Cloruros (como Cl-)	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00

Tabla 4.5 (continuación) Características del Agua según NOM-127-SSA1-1994.

Norma Oficial Mexicana	
<i>Característica</i>	<i>Límite Permisible</i>
Químicas	
Fenoles o compuestos fenólicos	0.30
Fierro	0.30
Fluoruros (como F-)	1.50
Benceno	10.00
Etilbenceno	300.00
Tolueno	700.00
Xileno (tres isómeros)	500.00
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	1.00
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
PH (potencial de Hidrógeno) en unidades de pH	6.50 – 8.50
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.30
Clordano (total de isómeros)	0.20
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	1.00
Heptacloro y epóxico de heptacloro	0.03
Metoxicloro	
2,4 - D	20.00
Plomo	30.00
Sodio	0.01
Sólidos disueltos totales	200.00
Sulfatos (como SO ₄)	1000.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	400.00
	0.50
Trihalometanos totales	
Yodo residual libre	0.20
Zinc	0.20 – 0.50
	5.00
Radioactivas	
Radioactividad alfa global	0.56 Bq/l
Radioactividad beta global	1.85 Bq/l

4.4 Otros aspectos de importancia.

Aspectos económicos

Los proyectos surgen debido a las necesidades de un grupo o localidad, o bien, para aprovechar oportunidades de desarrollo que se presentan; es decir, los proyectos son

respuestas a algo y por lo tanto no deberían surgir como ideas aisladas, sin ningún contacto con la realidad. Además de que un proyecto implica costos y beneficios para quien lo realiza.

Para un proyecto conviene plantear alternativas de solución (ya que casi siempre, para un mismo problema existen diferentes soluciones), seleccionar las que parecen mejores y someterlas a un análisis cuidadoso de costos y beneficios a fin de optar por una solución con mayores probabilidades de ser la más rentable.

En el caso de un proyecto privado, se invierten recursos privados y se espera obtener un rendimiento para los inversionistas privados. Si se trata de un proyecto que pretende realizar el Estado, se invierten recursos de la sociedad y se espera obtener para ésta un rendimiento o una mejora en su bienestar. Es por esta razón que los precios vigentes en el mercado, tanto de los insumos que se utilizan, como del bien o servicio motivo del proyecto, deben reflejar el costo y el beneficio real que implican para la sociedad. Si esto no es así, la evaluación de un proyecto puede dar respuestas correctas para el interés privado, pero equivocadas para la comunidad, simplemente porque las cifras y el enfoque que se usaron para valorar costos y beneficios, están equivocadas.

La evaluación privada de un proyecto consiste en comparar los costos con los beneficios que éste genera, con el propósito de decidir si conviene o no realizar el mismo, desde el punto de vista del interés privado. En consecuencia, los costos y beneficios asociados a cada uno de los componentes del proyecto se determinan de acuerdo a los precios relevantes para el inversionista privado, es decir, los precios de mercado.

Es por ello que resulta casi natural que los proyectos de inversión privada, donde los costos y beneficios recaen finalmente en las personas, deban evaluarse bajo el enfoque de calcular, en términos monetarios, a cuánto ascienden los costos y los beneficios esperados. Simplemente, porque si los costos son superiores a los beneficios esperados, difícilmente una persona o empresa iniciará un negocio, ya que esto redundaría en un deterioro de su patrimonio. Por el contrario, si los beneficios esperados superan los costos, en principio es probable que valga la pena realizar el proyecto debido a que habría un aumento en el patrimonio privado; pero si los beneficios son casi iguales a los costos no se llevará a cabo el proyecto.

En cambio, la evaluación social consiste en comparar los beneficios con los costos para decidir si es conveniente para la sociedad realizar el proyecto. En este caso, los precios que deben asignarse a los elementos que intervienen en la determinación de los costos y beneficios son una medida del valor que, en términos de producto nacional, sustraen o adicionan al bienestar de la sociedad, por unidad utilizada o producida. A estos precios se les conoce como precios sombra, social o económicos.

La evaluación social de los proyectos de inversión que se realizan con financiamiento público permite medir el efecto de este tipo de gastos en la asignación de los recursos de la economía y, de esta manera, su impacto en el bienestar de la sociedad. En particular, las decisiones sobre el gasto público afectan la asignación de recursos de la economía, tanto entre las necesidades y objetivos públicos, como entre éstos y los usos privados. El objetivo de la evaluación social de proyectos es valorar tanto los bienes y servicios producidos -beneficios-

como los insumos y recursos de capital utilizados -costos-, de acuerdo a su precio económico, que es independiente de la forma en que los percibe quien realiza el proyecto.

El método del valor presente neto (VPN) se considera como el más apropiado para analizar la rentabilidad de un proyecto privado y se estima mediante la siguiente expresión:

$$VPN = S_o + \sum_{t=1}^n \left[\frac{FEN_t}{(1+i)^t} \right]$$

donde:

VNP	valor neto presente.
s _o	inversión inicial.
FEN _t	flujo de efectivo neto del periodo t.
n	número de periodos de la vida del proyecto.
i	tasa de recuperación mínima atractiva a tasa de descuento.

Aspectos financieros

El financiamiento de un proyecto representa una nueva oportunidad para el crecimiento de la infraestructura necesaria para promover el desarrollo del país. El potencial y necesidad de crecimiento de la infraestructura es enorme y brindarle apoyo con instrumentos viables es cada vez más imperante. Este mecanismo financiero puede aplicarse tanto en proyectos públicos como privados, en proyectos de energía, minas, gas, petroquímica, agua, telecomunicaciones o en cualquier otra industria que genere recursos en forma confiable para hacer un proyecto auto-financiable.

En México, poco a poco, comienzan a utilizarse y a asimilarse los novedosos esquemas de financiamiento en proyectos de infraestructura y su respuesta ha sido alentadora. Las instituciones financieras están cada vez más dispuestas a tomar los riesgos inherentes a los proyectos y no dirigir su revisión hacia los antecedentes crediticios del solicitante del financiamiento; es decir, su análisis se concentra en la viabilidad técnica, legal y económica del proyecto en cuestión y en su capacidad de generar los recursos que servirán para pagar el crédito.

Esto implica que las entidades financieras que participan en un proyecto de esta naturaleza se conviertan en un socio más del negocio; sin embargo, existen esquemas en donde los acreedores conservan la posibilidad de reclamar el pago del crédito a los desarrolladores de un proyecto en circunstancias específicas, se dice entonces que cuentan con recursos limitados; pero a su vez existen esquemas legales que permitan aislar a los desarrolladores de las responsabilidades, riesgos y obligaciones que surgirán en el desarrollo de un proyecto, de manera que únicamente el propio proyecto sea responsable de sus obligaciones y riesgos. Entonces, debido a la importancia que tiene el financiamiento para la exitosa conclusión de proyectos de infraestructura, es esencial lograr un manejo y distribución adecuados de los riesgos. Esto se logra cuando los riesgos son tomados por cada participante del proyecto, quienes tienen la facultad de controlar sus tareas técnicas y especializadas con base a sus conocimientos y experiencias para cubrir un determinado riesgo.

La variedad de alternativas de esquemas y estructuras legales utilizadas en el financiamiento de proyectos es tan amplia y tan específica como lo son los proyectos que pueden ser realizados bajo un mecanismo financiero. Cada proyecto cuenta con características especiales y particulares que lo distinguen de otros, inclusive de proyectos similares, lo que resulta en diferencias estructurales en el esquema financiero. Sin embargo, existen aspectos comunes que podemos encontrar en prácticamente todos los esquemas de financiamiento:

- La participación de diversos protagonistas que realizan distintas funciones necesarias para concluir exitosamente un proyecto (desarrolladores, constructores, entidades financieras, entidades gubernamentales, etc.).
- El repago de los créditos con los flujos provenientes del proyecto, sin recurso contra los desarrolladores del mismo.
- El análisis profundo por parte de los acreedores de la viabilidad técnica, económica y legal del proyecto en cuestión.
- Una participación directa y un alto grado de supervisión por parte de los acreedores en el desarrollo del proyecto derivada de los riesgos que asumen.
- Documentación legal compleja.
- Altos costos causados por la complejidad de los proyectos y por el alto grado de riesgo que toman los acreedores.

A continuación se describen algunos de los elementos que busca un acreedor para financiar un proyecto que hace asumir ciertos riesgos en el financiamiento.

- a) **Marco legal:** un elemento esencial en el desarrollo de un proyecto, que éste sea factible jurídicamente, es decir, que conforme a la legislación aplicable el proyecto esté previsto y permitido, para que funcione de manera adecuada y completa para que se logren los resultados ofrecidos. En el caso de la desalinización en México, ésta se presenta como una tecnología nueva y no está referida expresamente en la legislación mexicana, pero si esta permitida siempre y cuando se apegue a estándares de infraestructura hidráulica y del tipo ecológico en la interacción con el medio marino.
- b) **Entidad convocante solvente:** así como es importante la seguridad contractual de los pagos generados por el proyecto, es de crucial importancia el que la persona que habrá de recibir los beneficios de éste, sea solvente desde el punto de vista crediticio, ya que si no lo es, la inversión en el proyecto no podrá recuperarse, aún si los contratos cuentan con mecanismos de pago adecuados. La desalinización en México es en su mayoría particular y operada por entidades solventes de la industria, comercio y el turismo.
- c) **Contratos comercialmente adecuados:** en virtud del valor que tienen en el proyecto, los contratos que se celebren para proveer bienes y servicios, aún antes de ser cumplidos, es importante que sean negociados en los mejores términos posibles, pues formarán en principio una garantía realmente valiosa para los acreedores del proyecto. Cuando un contrato de desalinización presenta una distribución de riesgos inadecuada será más difícil financiarlo, o los bancos pedirán garantías adicionales.

- d) **Disponibilidad de energías y el medio natural para operar el proyecto:** debemos tener en mente que el éxito de la operación de un proyecto se basa en su adecuado funcionamiento y esto no podrá lograrse si no se cuenta con los elementos para hacerlo funcionar. El combustible, la electricidad y el agua de mar son la materia prima primordial en proyectos de desalinización como en nuestro caso particular y deben ser garantizados para la operación y funcionamiento de la planta desalinizadora.
- e) **Desarrolladores prestigiados:** al invertir dinero en un proyecto, se busca que la inversión sea operada por personas confiables y experimentadas; es importante para un acreedor que los desarrolladores del proyecto, tengan la experiencia y los conocimientos, así como la capacidad financiera adecuada para la operación del proyecto en cuestión. Generalmente la desalinización en México es realizada por grandes empresas industriales, comerciales y turísticas con un respaldo técnico y económico reconocido.
- f) **Contratistas y tecnología confiables:** a fin de reducir los riesgos de que el proyecto no se complete o que una vez completado falle y con ello se acarreen retrasos o funcionamientos insatisfactorios que impedirían la obtención de los recursos necesarios para el pago de los créditos, los acreedores buscan que los encargados de la construcción del proyecto y la tecnología utilizada hayan probado su eficiencia y eficacia de manera indubitable. En México se cuenta con empresas constructoras capaces de realizar las obras complementarias de las plantas desalinizadoras con una experiencia amplia y reconocida a través de los años y la tecnología propia de la desalinización en sus diferentes procesos está ampliamente probada con más de 40 años en su aplicación.
- g) **Adecuada distribución de riesgos:** es muy importante no dejar riesgos descubiertos. El proyecto debe prever y asignar, en la medida de lo posible, todos los riesgos que puedan surgir y afectar la viabilidad del proyecto a cada participante según su función, de tal manera que se asegure el funcionamiento del mismo. La contratación de los seguros necesarios para cubrir cualquier pérdida o imposibilidad de generar los recursos necesarios por la operación de plantas desalinizadoras y poder cubrir los créditos del financiamiento, obtienen gran importancia en este punto.
- h) **Países y empresas de bajo riesgo:** países con un clima político y económico estable son el objetivo natural para los acreedores en el financiamiento del proyecto. Por el alto monto invertido en el costo de la desalinización, los proyectos que pueden ser financiados mediante este esquema son proyectos de largo plazo; en consecuencia, solo puede asegurarse su desarrollo adecuado en un ambiente estable. Riesgos tales como la nacionalización o estatización de la industria, o movimientos sociales que pongan en riesgo el funcionamiento del proyecto, o movimientos bruscos en los indicadores económicos, pueden afectar negativamente la viabilidad de cualquier proyecto.

Referencias.

Ingeniería Marítima y Portuaria
Guillermo McDonel, Héctor López.
Ed. Alfaomega, 1999.

Ingeniería de Costas
Armando Frías Valdés y Gonzalo Moreno
Ed. Limusa, 1988

Diseño Estructural
Roberto Meli
Ed. Limusa, 1985

Aspectos Generales de Financiamiento de Proyectos
Carlos de María y Campos.

Tema XV "Contaminación Marina"

"Federalismo y Desarrollo" N° 61 "Proyectos de Inversión".
Año 11. Enero-Febrero-Marzo de 1998.
Revista BANOBRAS

Proyectos Electromecánicos Tipo Para Plantas de Bombeo
De Agua Potable en Poblaciones Rurales. Libro V, 4.5
Comisión Nacional del Agua, 1994.

Manual de Selección para Tubería de Conducción
Mexalit/Versalite

[http: //Libro de Oceanografía.htm](http://Libro de Oceanografía.htm)

[http: //IX_ LAS MAREAS_ SU ENERGÍA Y SU UTILIZACIÓN.htm](http://IX_LAS MAREAS_ SU ENERGÍA Y SU UTILIZACIÓN.htm)

[http: // XII_ EL OCÉANO Y EL CLIMA.htm](http://XII_EL OCÉANO Y EL CLIMA.htm)

[http: //Notas de Oceanografía, Capítulo 9.htm](http://Notas de Oceanografía, Capítulo 9.htm)

5 APROVECHAMIENTO HIDRAULICO EN UN DESARROLLO TURISTICO. UN EJEMPLO DE APLICACION.

5.1 Generalidades.

Durante los últimos años, Baja California Sur, ha explotado su potencial turístico que hoy por hoy es una de sus principales actividades de desarrollo; en la zona de Los Cabos, como en otras regiones el Estado ha permitido el desarrollo de centros turísticos de alta plusvalía y refinamiento que buscan aprovechar el atractivo natural de la zona; destinados a captar el turismo extranjero y nacional que pueda aportar mayores divisas y utilidades.

Los desarrollos turísticos, como cualquier núcleo poblacional, demandan servicios básicos entre ellos el agua potable. En este sentido Los Cabos carece de fuentes superficiales de abastecimiento y pese a que el agua subterránea presenta una buena opción para satisfacer esta necesidad, en muchas ocasiones es de difícil acceso o simplemente no se encuentra en la cantidad y calidad requerida. Por lo que se ha dado mayor atención al aprovechamiento de agua de mar para este uso, cobrando mayor importancia en sitios cercanos a la costa el uso de esta fuente previa desalinización.

Cada aprovechamiento hidráulico por medio de la desalinización representa una solución particular en función de las características naturales del sitio, el desarrollo de la región y las necesidades que deba satisfacer, para lo cual se requiere de la participación de las instituciones, especialistas en diversas disciplinas y de los usuarios.

Haciendo referencia al aprovechamiento hidráulico en sí, a continuación se presenta un ejemplo práctico en el Desarrollo Turístico de Punta Ballena, Los Cabos, Baja California Sur; donde se aplican los conceptos, criterios, análisis y metodologías descritas en los capítulos precedentes. Cabe destacar que de manera general, en el diseño de cualquier tipo de obra de ingeniería civil, se presenta un análisis de alternativas en lo técnico y en lo económico para la solución y evaluación óptima del problema a lo largo del proceso de diseño; en la medida de lo posible, en este capítulo se presentarán las diferentes alternativas que se tuvieron para el diseño de la planta desalinizadora de este desarrollo turístico y sus obras complementarias, de no ser así, en el mejor de los casos se presentarán tablas comparativas de dichas soluciones.

5.2 Desarrollo Turístico. Punta Ballena.

Gracias a su ubicación geográfica, Baja California Sur ha sido favorecido con gran afluencia turística, siendo éste el sector con más rápido crecimiento en la economía del estado, por ser una de las principales fuentes de ingreso de trabajo para sus habitantes.

Existen tres polos principales de desarrollo turístico: Los Cabos, La Paz y Loreto-Nopoló-Puerto Escondido en estos lugares se llevan a cabo actividades de pesca deportiva, yatismo, turismo cultural e histórico, las cuales están enfocadas principalmente hacia el turismo ecológico y científico.

El plan maestro del desarrollo turístico de Punta Ballena consiste básicamente en aprovechar la belleza natural del estado e integrarse al desarrollo de la zona de Los Cabos, con 72.82 has destinadas, por una parte a alojar visitantes en lujosas y cómodas estancias hoteleras y, por otra a la venta de residencias o villas, para formar parte de los destinos y atractivos de la zona.

Punta Ballena se encuentra dentro del kilómetro 7+155 del corredor turístico de 33 km de longitud Cabo San Lucas-San José del Cabo que se ubica en el extremo sur de la entidad; y cuenta además con el aeropuerto internacional de San José del Cabo y dispone de infraestructura portuaria para embarcaciones turísticas, pesqueras y comerciales en Cabo San Lucas y San José del Cabo, como se muestra en la figura 5.1.

Entre La Paz y Cabo San Lucas hay una distancia de 152 kilómetros vía Todos Santos y entre La Paz y San José del Cabo 183 Km vía El Triunfo. A lo largo de los corredores se han establecido multitud de servicios: fraccionamientos residenciales, condominios, campos de golf, canchas de tenis, trailer parks, restaurantes, centros nocturnos, discotecas, bares, boutiques. Entre los servicios que se ofrecen destacan la pesca deportiva por la abundancia de especies como el marlin (negro, azul y rayado), pez vela, pez espada, dorado y jurel; el buceo, natación, esnórquel, veleo y surf.

Se cuenta con una amplia cobertura de servicios como: electrificación (95%), comunicaciones (100%), alcantarillado (90%), saneamiento (55%) y abasto de agua potable (con 90% a costa de la sobreexplotación del acuífero San José del Cabo), por lo que la Inmobiliaria de Punta Ballena pretende solucionar su abastecimiento de agua potable a través de la desalinización de agua de mar.



Figura 5.1 Localización de Inmobiliaria Punta Ballena.

5.3 Condiciones Físicas del Sitio.

El paisaje se caracteriza por la sierra y la planicie costera. La sierra paralela a la costa, es de suaves pendientes hacia el Océano Pacifico y escarpada hacia el Mar de Cortés, se prolonga hasta el mar y tiene una altitud media de 600 m. Esta formada por rocas de origen volcánico y recibe el nombre de Sierra de La Laguna con una elevación máxima de 2,080 metros sobre el nivel del mar, entre los municipios de La Paz y Los Cabos. Estas formaciones obedecen principalmente a movimientos tectónicos, con unidades litológicas del tipo ígneo, sedimentario y metamórfico. Dichos movimientos han contribuido de dos maneras al comportamiento hidrológico; por un lado, a la fractura de las unidades rocosas y formación de manantiales; y por el otro, relacionado a esta fase tectónica dieron pie a la formación de estructuras "gravens" que geológicamente son fronteras de depósitos acuíferos y controladores de flujo subterráneo.

En la región Los Cabos el clima es cálido subhúmedo, influido en gran medida por los ciclones; la temperatura anual oscila entre 18 y 24 grados centígrados, tiene una precipitación media anual de menos de 260 mm y posee algunas corrientes de tipo estacionario que durante época de lluvias se convierten en arroyos turbulentos que desembocan al mar.

La vegetación principal de la región es de tipo xerófila con abundancia de matorrales y especies desérticas; la vegetación de la región es producto de diversos factores, sobretodo de las condiciones climáticas básicamente áridas y la escasa precipitación, se desarrollan matorrales de baja cobertura y alta resistencia a la aridez, así como algunas concentraciones boscosas en las partes altas de las sierras.

Los Cabos tiene un uso limitado para las actividades agrícolas, debido a las pocas extensiones de terrenos planos; en cuanto a las posibilidades de uso pecuario, esta región es de las pocas en el estado que puede aprovechar cierto potencial; y las posibilidades de uso forestal son muy restringidas, ya que dependen directamente de la vegetación natural, la cual tiene una condición y cobertura muy baja.



Figura 5.2 Características Físicas de Inmobiliaria Punta Ballena.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.4 Parámetros de Diseño.

Para el diseño de cualquier estructura de ingeniería civil, es necesario determinar las condiciones físicas de su entorno, cuyo objetivo principal es identificar cualitativa y cuantitativamente las condiciones que prevalecen en la zona. En el caso de infraestructura costera los reconocimientos y estudios físicos deben incluir los fenómenos que definen el comportamiento dinámico de la costa y el lecho marino.

Para el diseño, la construcción, la operación y el mantenimiento de una planta desalinizadora de agua de mar, es importante conocer las características topográficas, batimétricas y geotécnicas de la costa; el oleaje normal y extremal; los tipos de mareas; las corrientes; los vientos; las características físicas, químicas y biológicas del agua bruta; y los usos y requerimientos del agua producto. Para realizar el mejor diseño que se adapte a las características físicas del entorno y al desarrollo de la zona, para que la infraestructura justifique los conceptos de funcionalidad, economía, seguridad y armonía con la naturaleza.

Así pues, este apartado documenta los estudios necesarios para la caracterización del entorno físico de Punta Ballena, Los Cabos, B.C.S., los cuales se describen a continuación.

- **Reconocimiento del entorno:** como primer paso para la ejecución de los trabajos se realiza una visita técnica, para identificar los posibles sitios para la ubicación de las instalaciones de tierra-mar como son la obra de toma y la descarga de la salmuera, documentando de manera general las características físicas del lugar, la magnitud de los procesos y la influencia sobre el proyecto.
- **Topobatimetría:** es un elemento indispensable que constituye la oportuna información sobre la morfología del lecho marino y terrestre, y tiene por objeto revelar aspectos de gran importancia de ésta, para formar el trazo definitivo de la línea de conducción y dar la posición exacta de las estructuras que integran la obra de toma y la línea de rechazo de la salmuera; además de permitir una evaluación del comportamiento dinámico de la costa.

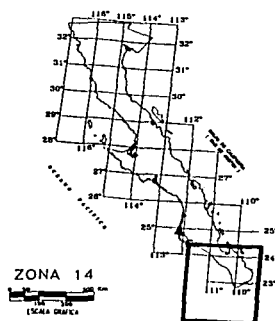
Cabe señalar, que estos trabajos tienen un costo elevado y requieren en algunos casos demasiado tiempo para su ejecución, por lo se tiene que valorar en primer instancia la dimensión de la obra para justificar su realización y en segundo término debe estar basado en un reconocimiento físico del sitio y apoyados en estudios preliminares con cartas náuticas para inferir la configuración y comportamiento del fondo marino y su influencia en las características del comportamiento del mar.

Oceanográficos

- **Oleaje Normal:** éste es una característica física del mar de gran relevancia para la proyección de infraestructura portuaria y marítima, debido a que la propagación de las ondas inciden constantemente sobre las estructuras de obra de toma y rechazo de la salmuera, lo que establece la necesidad de conocer cual es el comportamiento del

oleaje en condiciones ordinarias (oleaje normal o frecuente) y extraordinarias (oleaje ciclónico).

Para la revisión del oleaje normal en Punta Ballena fueron utilizados los registros del Ocean Wave Statistics (OWS), documento elaborado por el Almirantazgo Británico, que incluye observaciones de oleaje hechas en embarcaciones que navegan en alta mar, durante el período comprendido entre 1949-1961; este registro contempla observaciones visuales del oleaje hechas por las tripulaciones de estas embarcaciones, que han sido recopiladas y procesadas para su presentación asociada a distribuciones frecuenciales de altura de oleaje y período, por direcciones y por cuadrantes, en diversas zonas en las que han sido divididos los mares del mundo. La posición geográfica del sitio que nos ocupa se ubica en el cuadrante 14 del OWS, la cual incluye en su mayoría al Océano Pacífico y parte del Mar de Cortés, como se puede observar en la figura 5.3.



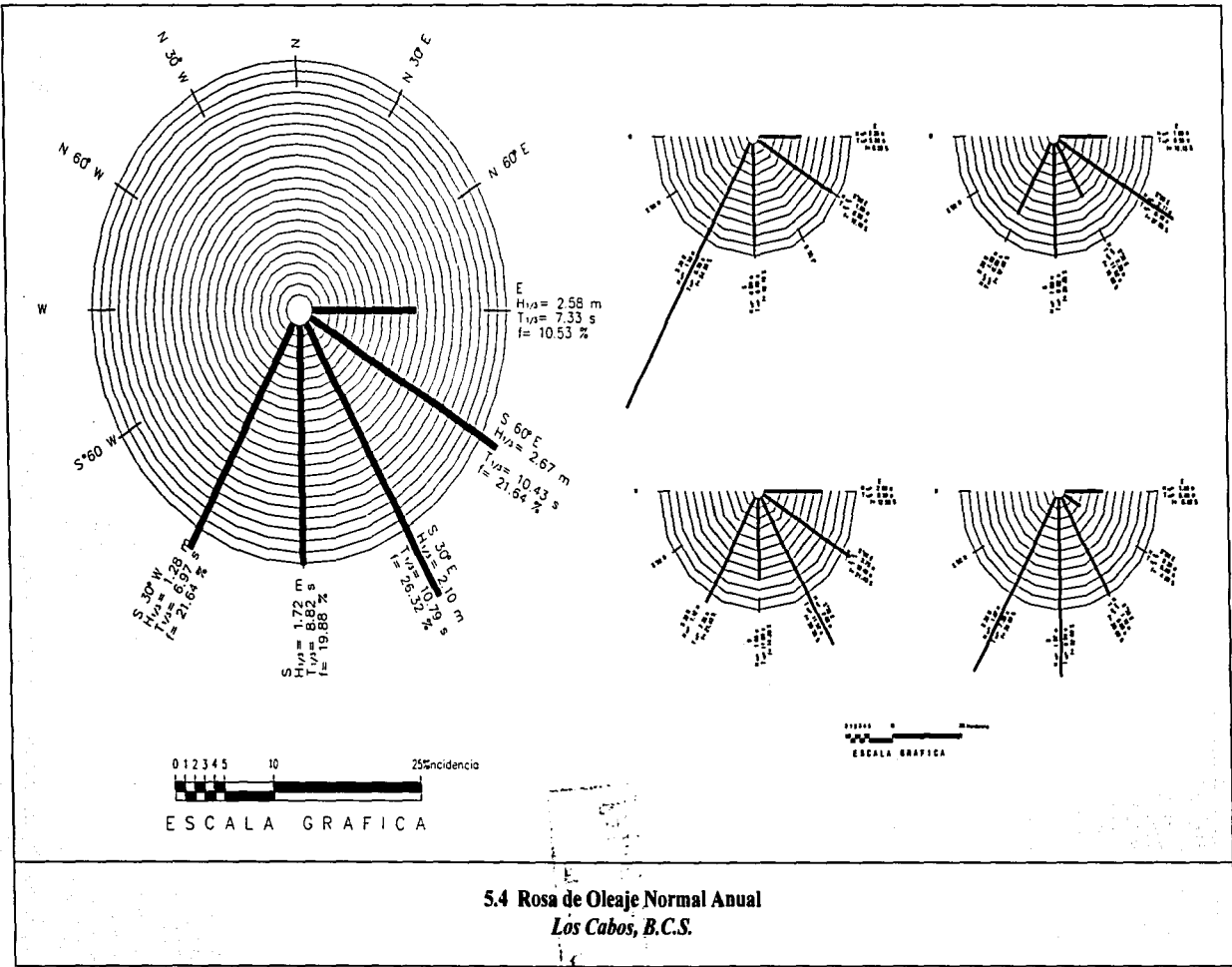
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 5.3 Localización de Punta ballena en el Cuadrante 14 del Ocean Wave Statistics.

Los datos de altura y periodo de ola son ordenados por rangos de magnitud y dirección, lo que permite obtener la distribución de frecuencias, se presentan en la figura 5.4 (en forma de rosa de oleaje anual) y calcular los valores de altura de ola y periodo significantes ($H_{1/3}$ y $T_{1/3}$), que se definen como el promedio del tercio superior de los registros en cada dirección, los cuales se recomiendan en el Manual de Diseño de Obras Marítimas (CFE, 1983) para la revisión de efectos de oleaje en condiciones normales; los cuales se presentan en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Oleaje Característico en la Zona del Desarrollo Turístico Punta Ballena.

Característica Dirección	Altura de Ola ($H_{1/3}$) [m]	Periodo ($T_{1/3}$) [m]	Frecuencia [%]
Sur 30° Oeste (S30°W)	1.28	6.97	21.64
Sur (S)	1.72	8.82	19.88
Sur 30° Este (S30°E)	2.10	10.79	26.32
Sur 60° Este (S60°E)	2.67	10.43	21.64
Este (E)	2.58	7.33	10.53



5.4 Rosa de Oleaje Normal Anual
Los Cabos, B.C.S.

A partir del análisis de la información, es posible concluir que los oleajes más significativos en la zona son:

- a) El oleaje de mayor intensidad es el proveniente del S60°E, con 2.67 m de altura y 10.4 s de periodo.
 - b) Sigue en orden de importancia el oleaje proveniente del S30°E, con una altura de 2.10 m y 10.8 s de periodo.
 - c) En tercer lugar se encuentran los oleajes provenientes del S con 1.72 m de altura y 8.82 s de periodo y del S30°W con 1.28 m de altura de ola y 6.97 s de periodo.
- Marea Astronómica: las mareas o variaciones periódicas del nivel de mar son otra característica a considerar en los diseños de estructuras costeras, ya que definen los límites mínimo, máximo y medio del mar que alcanzará la superficie de éste sobre la costa, así como para determinar la influencia del oleaje rompiente.

Cabo San Lucas, B.C.S., se encuentra localizado en una zona donde la variación de la marea media es de 1.066 m, manifestándose como un evento de naturaleza semidiurna, es decir, dos pleamares y dos bajamares sensiblemente distintas, con periodo promedio de 24 horas.

Los niveles característicos de marea para Punta Ballena, se obtuvieron de las Tablas Numéricas de Predicción de Mareas para el año 2000, editadas por el Instituto de Geofísica de la Universidad Nacional Autónoma de México, los cuales se presentan en la tabla 5.2.

Tabla 5.2 Niveles Característicos de Marea en Cabo San Lucas.

Niveles Característicos de la Marea.		
<i>Plano de Mareas</i>		<i>Nivel [m]</i>
Pleamar Máxima Registrada	PMR	1.703
Nivel de Pleamar Media Superior	NPMS	1.194
Nivel de Pleamar Media	NPM	1.066
Nivel Medio del Mar	NMM	0.608
Nivel de Bajamar Media	NBM	0.149
Nivel de Bajamar Media Inferior	NBMI	0.000
Bajamar Mínima Registrada	BMR	-0.409

El nivel de bajamar media inferior, será el nivel de referencia para todas las elevaciones de las estructuras de la planta desalinizadora a las que se haga mención.

- **Oleaje Extremal:** En lo que respecta al oleaje extremal, se debe determinar las características de oleaje que un evento extraordinario -originado por el paso de un huracán- su importancia radica en el conocimiento de las condiciones máximas extremas a que estará sujeta la costa y las obras civiles que se encuentren en ella, por lo que estas condiciones de oleaje constituyen las condiciones de diseño de la estructura.

Sobre esta base, fué analizado el comportamiento de 10 huracanes o tormentas tropicales registrados en la costa del Pacífico, seleccionados a partir de un total de 42 eventos extremos ocurridos en la zona desde la década de los años cincuenta hasta 1999. Las fuentes consultadas para la obtención de las trayectorias, velocidades del viento y demás características de los huracanes y tormentas tropicales fue la base de datos del registro de huracanes denominada Hurricane Tracking Data by Year, de la Universidad de Purdue.

El análisis de la trayectoria de los huracanes y tormentas tropicales mas intensas presentadas en la zona, permitió identificar como casos mas severos los ilustrados en la tabla 5.3 y ésta contiene la aplicación del método de Oleaje Extremal, contenido en el Shore Protection Manual (1984).

De acuerdo a lo que puede apreciarse, de los huracanes más severos fueron; el Huracan Henriette en 1995 (con 9.10 m de altura de ola y 21.9 s de periodo); seguido por los huracanes Isis en 1998 (con 5.46 m de altura de ola y 12.6 s de periodo) e Ismael en 1995 (con 5.37 m de altura de ola y 14.7 s de periodo). Esta altura de ola corresponde al valor asociado a la depresión atmosférica y a la intensidad del viento generado por el huracán, fuera de la zona de generación (radio del huracán).

Si bien puede considerarse que estos valores son extremos, la magnitud del oleaje que llega a la costa se ve afectado por los fenómenos de refracción, los cuales se analizan más adelante.

- **Marea de Tormenta:** la determinación de marea de tormenta (basada en el método de Pern Brunn, Shore Protection Manual, 1983) considera tres eventos que actúan directamente sobre la zona de estudio; uno, la velocidad e intensidad del viento; dos, éste asociado a la depresión atmosférica y; tres, la pendiente de fondo en su aproximación a la línea de costa. El resultado de esta metodología, se resume en la tabla 5.4.
- **Refracción de Ola:** como se mencionó en el capítulo anterior, cuando el oleaje normal como ciclónico provenientes de aguas profundas se aproximan a la costa, éstos sufren cambios en la dirección de incidencia y en su altura, debido a la proximidad y morfología del fondo marino. Los valores analizados anteriormente, tanto para el oleaje normal como para el oleaje extremal, tienen validez para aguas profundas y las obras complementarias de una planta desalinizadora de agua de mar se constituyen por lo general en aguas someras o en aguas bajas, entonces, es necesario propagar el oleaje hasta las profundidades requeridas.

Para el análisis de refracción de oleaje en Bahía San Lucas, se empleó la batimetría contenida en la Carta Náutica No. S.M. 604, México-Costa Oeste, de la Secretaría de Marina y se aplicó el método de Snell y el método gráfico. Las figuras 5.5 a 5.8 muestran el comportamiento del oleaje sobre la bahía y corresponden a las tres direcciones de oleaje normal más desfavorables.

Tabla 5.3 Oleaje Extremal producido por Huracanes Método Propuesto por el Shore Protection Manual

NOMBRE	Año No	LAT	LON	Dir. (Compass)	Dir. (Greenwich)	Hoyz. (m)	Velocidad de Viento (mph)	Duración (hrs)	Distancia al punto de estudio (mi)			Clasificación	Velocidad de Transmisión (ft/min)		Dist. (mi)	Presión (ft)		Ua (ft)	Ua (ft)	Hs (ft)	Hs (ft)	Hs (ft)	Hs (ft)	
									Y	X	TOTAL		Front	Rear		Front	Rear							Front
ORIO	6	21.26	-108.90	28.00	18.00	31.44	8.00	6.00	-31.48	-108.93	110.31	Huracán-3	48.73	7.79	2.18	360.00	44.50	52.73	6.90	21.73	4.45	15.10	16.06	14.10
RACHEL	22	21.90	-111.40	2.00	8.00	28.29	8.00	6.00	146.31	161.50	271.82	Tem. Tropical	161.93	26.99	7.50	994.00	24.47	61.20	6.72	22.44	3.20	17.84	18.84	17.04
CALVIN	17	21.50	-108.80	8.00	12.00	20.58	8.00	6.00	-44.42	-108.29	141.95	Tem. Tropical	227.29	37.88	10.52	1003.00	17.80	59.78	6.54	23.59	4.53	17.10	18.10	16.10
LEONA	19	22.50	-108.70	13.00	0.00	43.73	8.00	6.00	46.30	-116.47	125.34	Huracán-2	129.36	21.57	5.98	875.00	37.82	56.41	8.08	21.91	4.51	15.26	16.26	14.26
ROSA	24	21.20	-108.90	14.00	8.00	90.00	8.00	6.00	190.79	-113.14	366.67	Huracán-2	117.07	26.51	7.82	874.00	40.09	58.14	9.91	21.47	2.65	18.38	19.38	17.38
BERNETTE	15	22.80	-108.70	4.00	12.00	43.73	8.00	6.00	35.19	-113.78	37.77	Huracán-2	104.00	18.00	5.00	976.00	37.82	55.46	8.10	21.93	4.10	15.03	16.03	14.03
SAMUEL	9	22.80	-108.80	14.00	18.00	36.91	8.00	6.00	36.19	-108.16	113.84	Huracán-1	202.81	33.75	8.38	964.00	31.15	58.05	8.79	21.85	3.37	14.67	15.67	13.67
PAUSTO	13	21.80	-110.00	13.00	0.00	46.30	8.00	6.00	146.31	79.02	198.28	Huracán-2	98.23	18.87	2.74	952.00	40.05	56.18	8.65	22.45	3.08	17.22	18.22	16.22
ESS	6	22.20	-109.50	2.00	6.00	30.87	8.00	6.00	79.64	-144.30	66.71	Tem. Tropical	111.58	18.00	5.17	960.00	28.70	54.82	8.08	22.22	5.48	15.02	16.02	14.02
GREG	6	21.80	-109.50	7.00	12.00	61.00	8.00	6.00	35.19	-142.25	49.11	Tem. Tropical	48.73	15.57	4.33	890.00	28.82	57.96	7.75	21.89	4.28	14.79	15.79	13.79

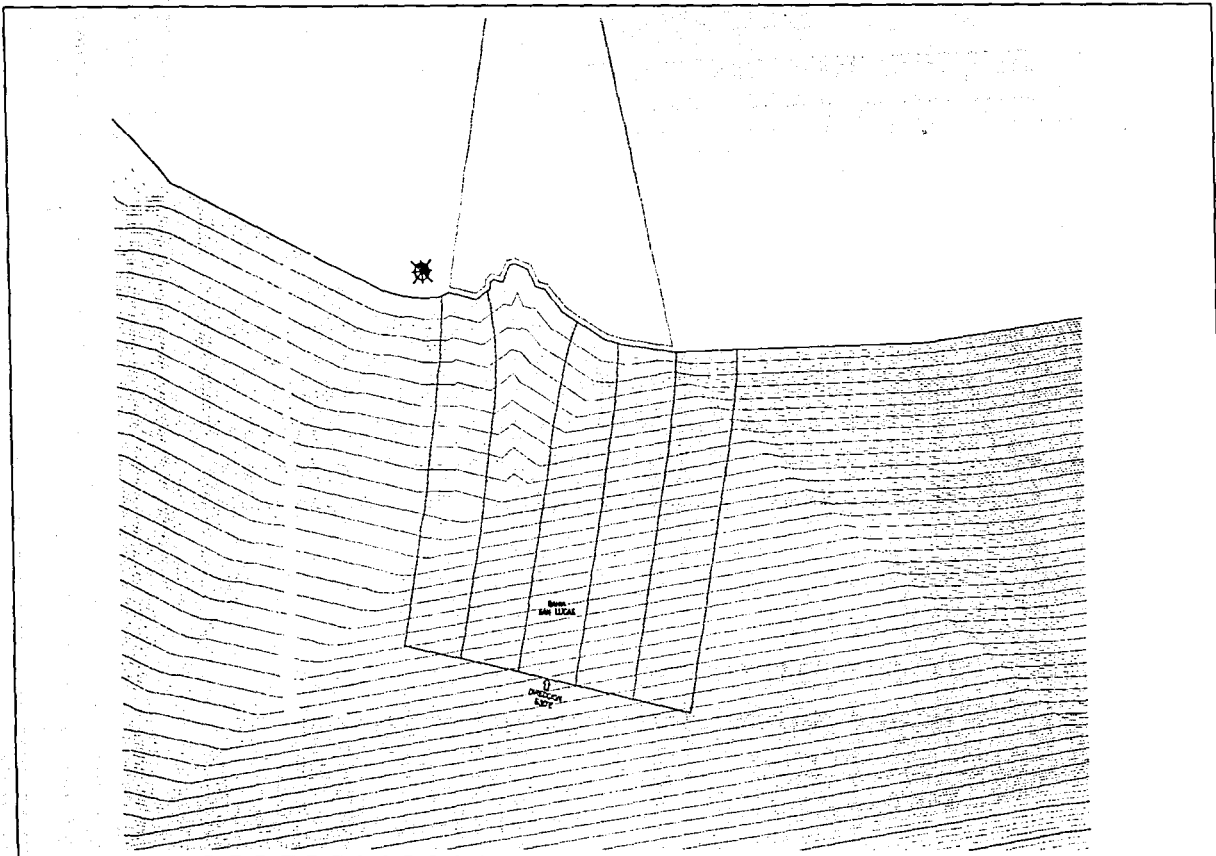
Ua (ft) es la velocidad de oleaje en ft/min. Hs (ft) es la altura de oleaje. Hs (ft) es la altura de oleaje. Hs (ft) es la altura de oleaje. Hs (ft) es la altura de oleaje.

Tabla 5.4 Manipulada de Tormenta Método de la Subsección del Nivel Producido por Depresión Atmosférica

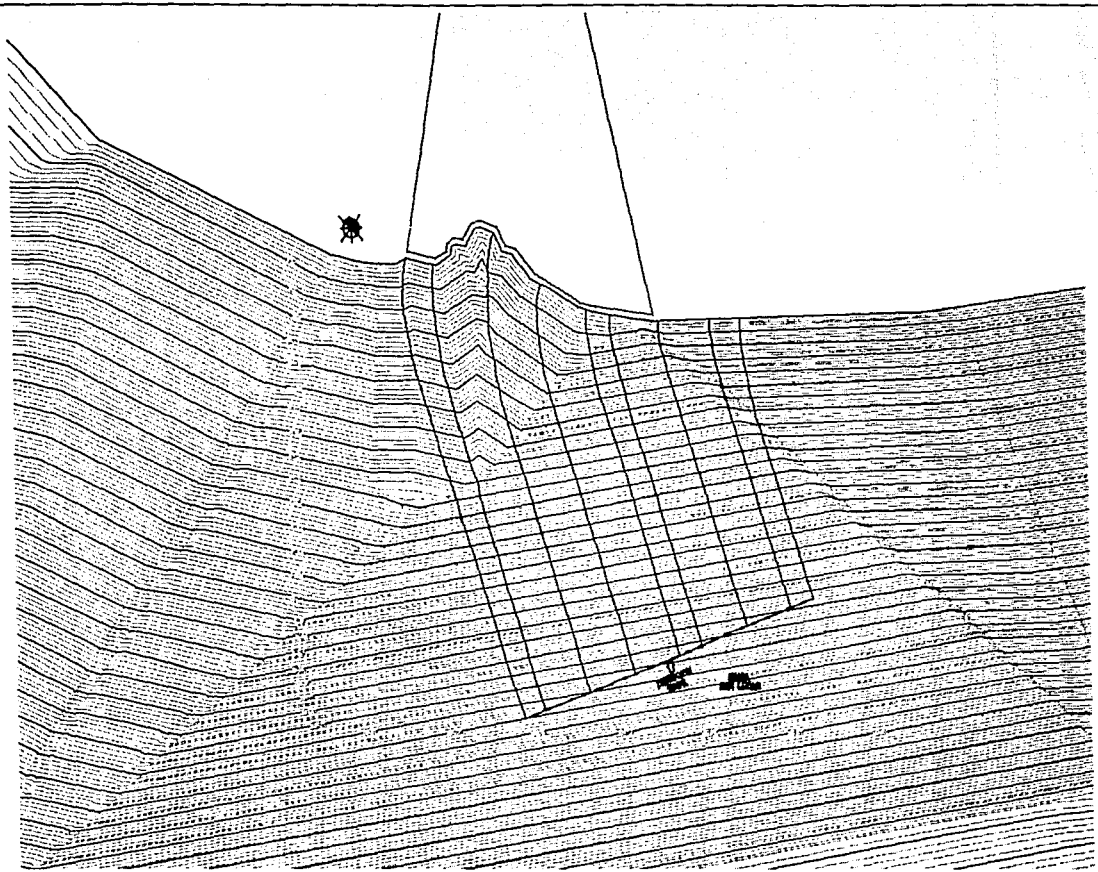
NOMBRE	Año No	LAT	LON	Dir. (Compass)	Dir. (Greenwich)	Hoyz. (m)	Velocidad de Viento (mph)	Duración (hrs)	Distancia al punto de estudio (mi)			Clasificación	Velocidad de Transmisión (ft/min)		Dist. (mi)	Presión (ft)		Ua (ft)	Ua (ft)	Hs (ft)	Hs (ft)	Hs (ft)	Hs (ft)	
									Y	X	TOTAL		Front	Rear		Front	Rear							Front
BERNETTE	15	22.80	-108.70	4	12.00	43.73	8.00	6.00	35.19	-113.70	37.77	Huracán-2	104.00	18.00	5.00	976.00	37.82	55.46	8.10	21.93	4.10	15.03	16.03	14.03
ESS	6	22.20	-109.50	2	6.00	30.87	8.00	6.00	79.64	-144.30	66.71	Tem. Tropical	111.58	18.00	5.17	960.00	28.70	54.82	8.08	22.22	5.48	15.02	16.02	14.02
SAMUEL	9	22.80	-108.80	14	18.00	36.91	8.00	6.00	36.19	-108.16	113.84	Huracán-1	202.81	33.75	8.38	964.00	31.15	58.05	8.79	21.85	3.37	14.67	15.67	13.67

Ua (ft) es la velocidad de oleaje en ft/min. Hs (ft) es la altura de oleaje. Hs (ft) es la altura de oleaje. Hs (ft) es la altura de oleaje. Hs (ft) es la altura de oleaje.

LIBRO DE REGISTRO
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



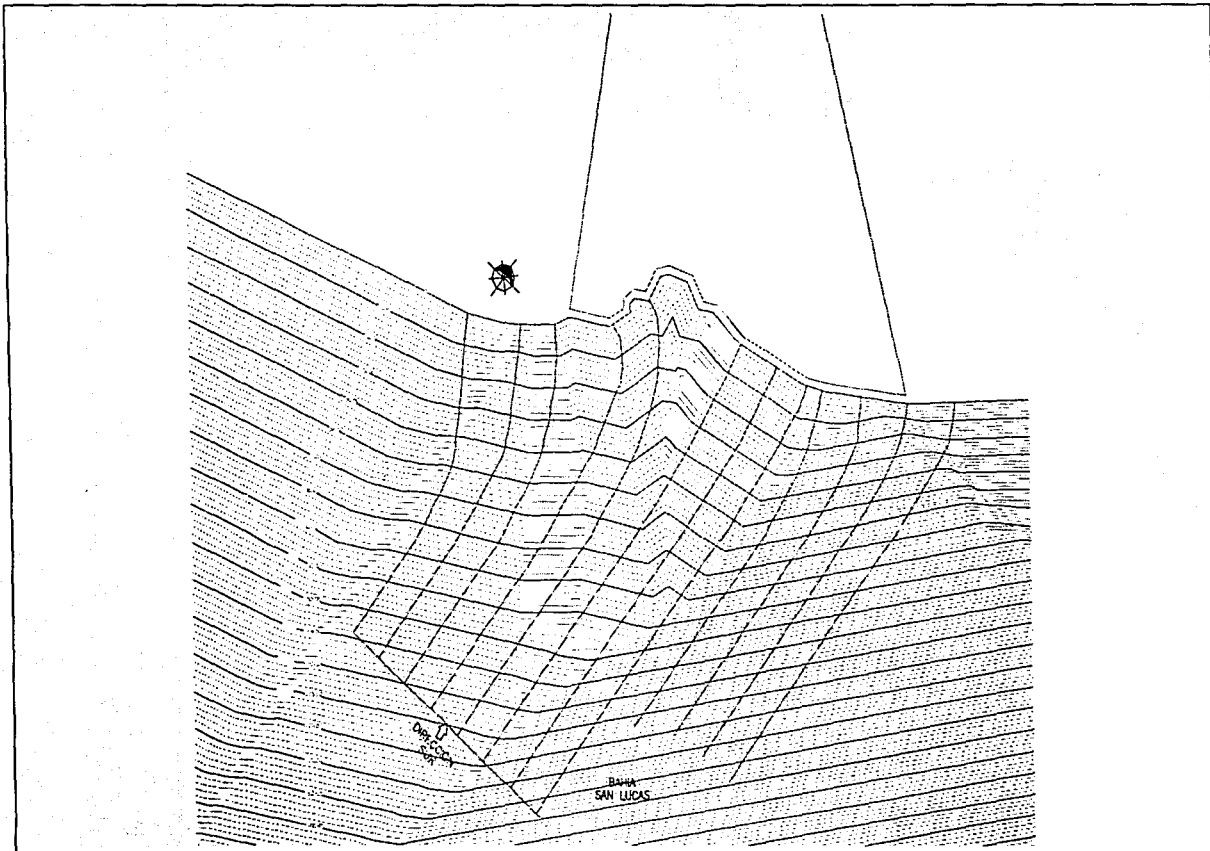
5.5 Diagrama de Refracción de Oleaje Normal, Dirección S30°E
Los Cabos, B.C.S.



5.6 Diagrama de Refracción de Oleaje Normal, Dirección S60°E
Los Cabos, B.C.S.

INSTITUTO MEXICANO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
SERVICIO GEOLOGICO NACIONAL

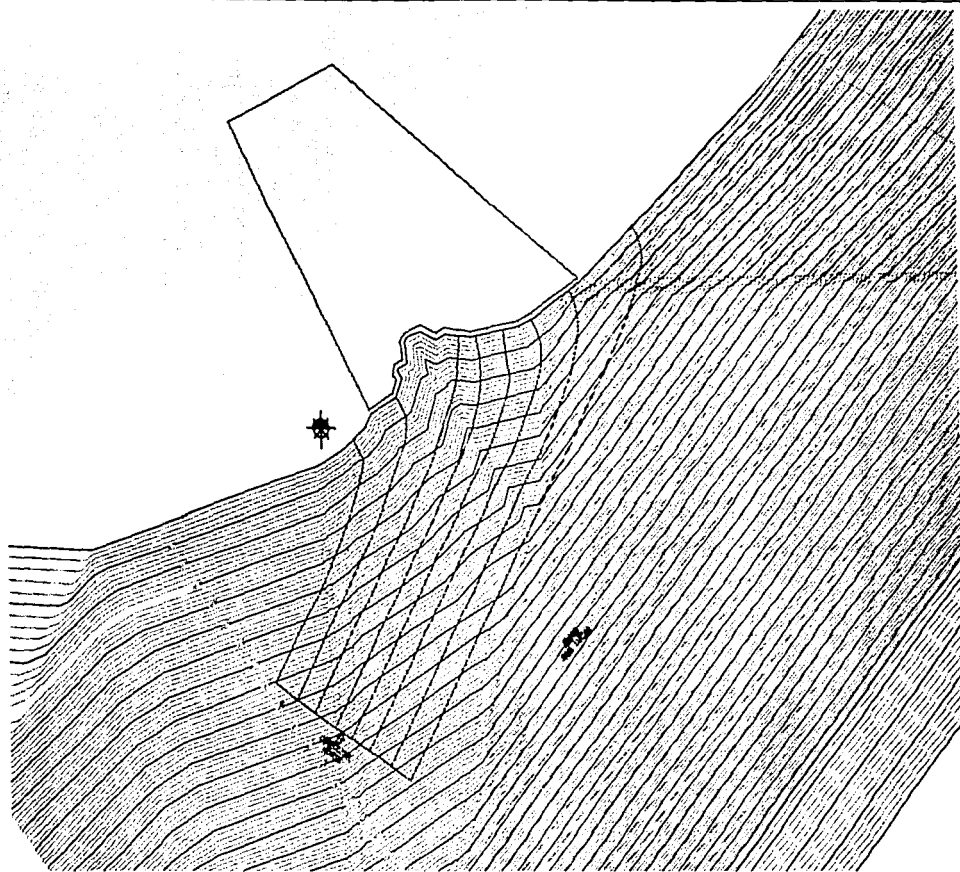
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



5.7 Diagrama de Refracción de Oleaje Normal, Dirección Sur
Los Cabos, B.C.S.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD
 DE BAHIA
 DE LOS RIOS



5.8 Diagrama de Refracción de Oleaje Normal, Dirección S30°W
Los Cabos, B.C.S.

Geotécnicos.

Como se describió en el capítulo anterior, los aspectos geotécnicos nos sirven para detectar las características físicas y mecánicas de los materiales de los suelos en que se desplantarán todas las obras de una planta desalinizadora de agua de mar, y que varía sustancialmente de proyecto en proyecto debido a la conformación de la costa como puede ser: arenas, gravas y rocas en formaciones de acantilados. La capacidad de carga de estos materiales que se tienen en Punta Ballena según los estudios geofísicos del lugar son:

Arena:	$2 \times 10^2 \text{ Kg/cm}^2$
Roca Alterada:	$2 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$
Roca Sana:	$2 \times 10^4 \text{ Kg/cm}^2$

Adicionalmente se realizaron sondeos electromagnéticos (resistividad eléctrica) para inferir la distribución de los materiales presentes en el subsuelo a través de sus propiedades eléctricas, los cuales definieron básicamente dos unidades geoelectricas de acuerdo a sus propiedades físicas, litológicas y de resistividad eléctrica; en la tabla 5.5 se presentan las unidades definidas asociadas a sus características.

Tabla 5.5 Unidades Geoelectricas en Punta Ballena.

UNIDAD	RESISTIVIDAD [ohm-m]	ESPEJOR [m]	LITOLOGÍA	
I	a	5 - 341	0.5 - 7.0	Arena y granito muy alterado y fracturado, sin agua de mar.
	b	2.8 - 10	1.0 - 2.7	Arena y granito muy alterado y fracturado, saturado con agua de mar.
II	a	104 - 792	1.0 - 16.2	Granito blanco fracturado, sin agua de mar.
	b	43 - 856	6.0 - 6.8 indefinido	Cuerpo intrusivo de granito color rojo compactado y poco fracturado, sin agua de mar.
	c	5 - 37	0.5 - 30.0	Granito fracturado con agua de mar en parte de sus fracturas.
	d	53 - 1053	indefinido	Granito poco fracturado sin agua de mar.

Hidráulicos.

Los parámetros hidráulicos de diseño de la planta desalinizadora son el gasto requerido para abastecer el desarrollo turístico, las necesidades de éste y el tipo de material con que se construirán cada obra complementaria de la planta y los parámetros específicos para cada obra que se mencionan a continuación, cabe destacar que estos mismos varían de acuerdo a las particularidades de cada proyecto y las condiciones físicas de su entorno. Para el caso de Punta Ballena, que es nuestro ejemplo de aplicación se tiene:

- Tanto la obra de toma como el cárcamo de bombeo, para su concepción, deben garantizar que funcionarán de manera continua sin ser afectada por la ocurrencia de las mareas, el oleaje normal y ciclónico, las corrientes y el movimiento de sedimento de fondo (si existe o es de consideración) presentes en la costa; así como el gasto de diseño requerido para las diferentes etapas del proyecto (si es que las hay).

Adicionalmente el cárcamo de bombeo debe tener la geometría necesaria para abastecer el gasto requerido y evitar el abatimiento del agua en la succión de la bomba (presencia de vórtices).

- En lo que respecta a la planta de bombeo, esta requiere además, una política de operación en lo que respecta a las fases del proyecto, análisis de funcionamiento hidráulico, tanto en régimen establecido como en régimen transitorio y que trabaje de forma similar con las fluctuaciones de niveles debidos a las mareas y oleaje.

El gasto requerido para abastecer a la planta desalinizadora de Punta Ballena se presenta de la siguiente manera: para el zona hotelera se requiere de 11 litros por segundo, para la zona de condominios se necesitarán 63 litros por segundo dividido en tres etapas de 21 litros por segundo para cada una de ellas.

- El tanque de almacenamiento tiene dos funciones principales que son el suministro a la planta desalinizadora durante fallas del equipo de bombeo hasta por 9 minutos con 40 m³ de capacidad y para dar un pretratamiento físico al agua de mar.
- Planta desalinizadora: la técnica desalinizadora seleccionada para el desarrollo de Punta Ballena es la ósmosis inversa, esta técnica no es necesariamente la solución para todos los problemas, pero puede tener muchas ventajas sobre otros procesos como se menciona en el capítulo dos. La conversión de diseño es del 30%, por ejemplo, de un litro de agua de mar se obtienen 30 ml de agua potable y 70 ml de agua salobre; por lo que la zona hotelera dispondrá de 3.30 litros por segundo y la zona de condominios de 18.90 litros por segundo concluidas sus tres etapas. Este sistema de desalinización fue elegido por los desarrolladores de Punta Ballena con base a las necesidades que ellos proyectaron.
- El tanque de regulación tiene dos funciones en el sistema de agua potable del desarrollo turístico de Punta Ballena, una es el servir agua potable en tiempo picos de demanda y la otra como tanque de almacenamiento por mantenimiento a la planta desalinizadora o al sistema de bombeo de agua de mar. La capacidad del tanque corresponde al diseño de gasto máximo diario, lo que resulta para el desarrollo inmobiliario un almacenamiento de 160 m³ para las residencias y 40 m³ para el hotel.
- La red de conducción y de distribución deben ofrecer un suministro seguro de agua potable en cantidad suficiente y a una presión adecuada. A fin de tener servicio idóneo de la tubería, la presión con que se diseña debe estar en un rango de 4.2 a 5.3 kg/cm² y soportar presiones máximas de 8.80 kg/cm²; cuando existen desniveles muy grandes en el terreno por donde pasa el trazo de la tubería, esto provoca que las presiones aumenten, por lo que se recomienda instalar reguladores de presión para evitar daños; otra característica

de diseño es la rugosidad de la tubería. Estas dos características se obtienen de acuerdo al tipo de material a emplear, que en este caso será polietileno de alta densidad, que de acuerdo a sus características es ideal para zonas costeras por tener mayor ventaja que otros materiales en cuanto a corrosión, durabilidad y soporta adecuadamente las presiones internas y externas a las que se someten las tuberías de distribución.

- Descarga de salmuera: previo pretratamiento, esta será devuelta a la fuente por medio de canales revestidos existentes a cielo abierto, el gasto de rechazo será el 70% del extraído de la obra de toma, es decir, 52 litros por segundo.

Estructurales.

Por la ubicación geográfica de Punta Ballena, hace que las solicitaciones a las que estarán sujetas las estructuras son las fuerzas producidas por oleaje, mareas, vientos y sismos. Basándonos en las hipótesis fundamentales de análisis estructural elástico, podemos determinar que:

- Los materiales son lineales y por lo tanto elásticos (rígida).
- El desplazamiento de los miembros de la estructura en que se presenten fuerzas, son pequeños

Por lo que para su diseño, nos apoyaremos en esta teoría y las fórmulas presentadas en la tabla 4.4.

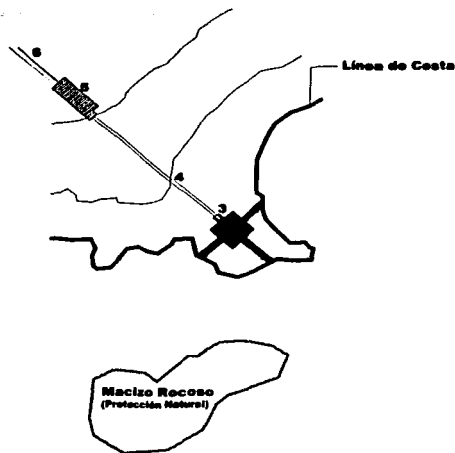
5.5 Diseño Hidráulico.

Todas las obras hidráulicas para su concepción deben garantizar que funcionarán de manera continua (para gasto de diseño específico en cada estructura de la planta desalinizadora) sin ser afectada por la ocurrencia de las mareas, el oleaje normal y ciclónico, las corrientes y el movimiento de sedimento de fondo, presentes en la costa; además de su parámetros de diseño particulares. A continuación se describe el diseño hidráulico y consideraciones de cada estructura.

Obra de Toma de Agua de Mar.

La obra de toma se ubicará en el lindero este del terreno, donde se localizan afloramientos de macizos rocosos característicos a nivel regional, presenta ventajas como protecciones naturales (macizos rocosos) ante algunas incidencias de oleaje y eventos ciclónicos o extremos, se encuentra a una distancia mínima de la planta desalinizadora.

Su diseño obedece algunos de los parámetros del proyecto por realizar. La obra de toma esta constituida por los siguientes elementos, como se muestra en la figura 5.9.



Elementos de la Obra de Toma

- 1 Canales Artificiales de Alimentación
- 2 Fosa Excavada en Roca, donde se procurarán las condiciones apropiadas para la extracción del agua de mar
- 3 Una Estructura de Toma o Caja de Alimentación
- 4 Un Primer Tramo de Conducción, el cual parte de la caja de alimentación hasta la estación de bombeo
- 5 Una Estación de Bombeo, conformada a su vez por una obra civil donde se alojarán los equipos electromecánicos
- 6 Dos líneas de Conducción, hasta la zona de tanques de almacenamiento y pretratamiento de la planta desalinizadora

Figura 5.9 Obra de Toma para Planta Desalinizadora de Punta Ballena.

De estos elementos, la caja de captación, la estación de bombeo y la conducción primaria estarán expuestas a las condiciones marítimas, las cuales se referirán a la influencia de fenómenos físicos característicos de la zona litoral, siendo de especial importancia la marea astronómica y de tormenta, así como el oleaje normal y el extremal; éstos se analizaron en el subcapítulo anterior, de los cuales podemos determinar el nivel de seguridad al cual quedarán los elementos de la obra de toma.

Tomando en consideración la ubicación de la estructura de toma y la estación de bombeo, resulta muy importante mencionar que las condiciones de abrigo en Punta Ballena nos lleva a considerar que a la zona de obra de toma llegará únicamente oleaje residual, resultado de la energía remanente del oleaje al romper en la costa. Bajo esta consideración, los principales factores en la determinación del nivel de seguridad se presentan en la tabla 5.6.

Tabla 5.6 Determinación de Nivel de Seguridad.

Parámetro de Diseño		Magnitud [m]	Nivel Acumulado [m]
Nivel de Bajamar Media Inferior	NBMI	0.000	0.000
Nivel de Pleamar Máxima Registrada	NPMR	1.703	1.703
Semiapertura del Oleaje Máximo Rompiente	H _{OLA} =2.70 m	1.350	3.053
Bordo Libre	BL	1.000	4.053

Por lo tanto el nivel de seguridad para las instalaciones de la obra marítima de Punta Ballena corresponde a la cota +4.00. Sin embargo esta cota se localiza en la Zona Federal Marítima Terrestre, por lo que la estación de bombeo se ubicará en la cota +5.50 y se realizará la excavación hasta alcanzar la cota deseada como se muestra en la figura 5.10.

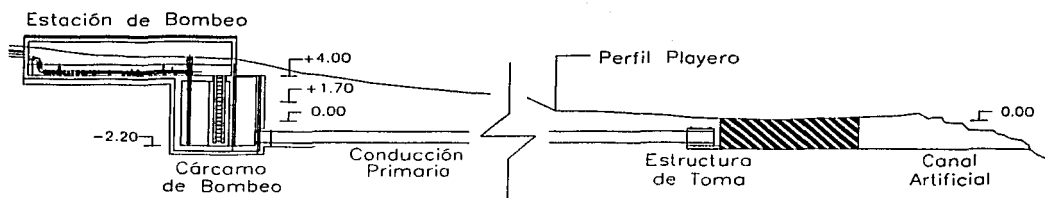


Figura 5.10 Niveles de Seguridad de la Obra de Toma.

Estación de Bombeo de Agua de Mar

El proyecto de obra de toma submarina para Punta Ballena contempla dos sistemas de bombeo independientes entre sí (aunque comparten la obra de toma y el cárcamo de bombeo), siendo estos:

- El sistema de bombeo para suministro de agua de mar para la planta de desalinización del desarrollo turístico, para implementarse en tres etapas con 21 litros por segundo en cada una de ellas, por una conducción de 778.50 metros de longitud, de la cota +1.70 hasta la cota +26.00.
- El sistema de bombeo para suministro de agua de mar para la planta desalinizadora del hotel con 11 litros por segundo, por una conducción de 946.50 m de longitud, de la cota +1.70 hasta la cota +23.00.

Los análisis de funcionamiento hidráulico de los sistemas de bombeo contemplan el gasto como requisito indispensable (suministro continuo para la planta desalinizadora) tanto para regímenes establecidos como transitorios (paro de bombas, condición más desfavorable) considerando piezas especiales (válvulas de seccionamiento, de retención, de alivio, de mediciones de flujo, etc.), así como los criterios de vida útil y facilidad de operación, costos de construcción, operación y mantenimiento, protección ante eventos costeros extremos, y diferencia de niveles en la succión (debidos a mareas y oleajes). Cabe señalar que este cálculo se realizó conforme las recomendaciones que al respecto tiene la Comisión Nacional del Agua en el Manual de Diseño de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, 1994. Los resultados de estos diseños se muestran en los anexos hidráulicos.

De los cálculos se tiene que las cargas máximas y mínimas para cada una de las condiciones de operación son las que se muestran en la tabla 5.7, su diseño se presenta en el anexo hidráulico.

Línea de Alimentación de Caja de Captación a Cárcamo de Bombeo.

El tramo de tubería que comunicará a la estructura de captación con la estación de bombeo, está conformada por tubería de polietileno de alta densidad de 36" (0.91 m) de diámetro y RD de 26 con 15 m de longitud. Su diseño se muestra en el anexo hidráulico.

Tabla 5.7 Resultados de Regimén Establecido y Transitorio.

Sistema de Suministro al Complejo Turístico	Carga Máxima	Carga Mínima
Una bomba en operación	66.6 mca	44.85 mca
Dos bombas en operación	75.13 mca	33.52 mca
Tres bombas en operación	82.8 mca	21.6 mca
Sistema de Suministro al Hotel	Carga Máxima	Carga Mínima
Una bomba en operación	70.00 mca	39.27 mca

Línea de Alimentación de Caja de Captación a Cárcamo de Bombeo.

El tramo de tubería que comunicará a la estructura de captación con la estación de bombeo, está conformada por tubería de polietileno de alta densidad de 36" (0.91 m) de diámetro y RD de 26 con 15 m de longitud. Su diseño se muestra en el anexo hidráulico.

Línea de Conducción de la estación de Bombeo a la Planta Desalinizadora.

La línea de conducción es la que parte de la estación de bombeo hasta el sitio donde se encuentra una cisterna de 40 m³ de capacidad con un recorrido de 778.50 m para la conducción del complejo turístico y 946.50 m para el hotel. El diseño del diámetro y las condiciones de trabajo a las que estará sometida se calcularon por el criterio de diámetro económico, resultando de 10" (0.25 m) y 4" (0.10 m) de diámetro para el complejo turístico y el hotel, respectivamente. Dicho diseño se muestra en el anexo hidráulico.

Depósito de Agua de Mar.

El diseño del depósito de agua de mar, obedece a los requerimientos por el constructor de la planta desalinizadora, para cumplir con las siguientes funciones: un tratamiento físico a la fuente previo al proceso desalinizador y un almacén mínimo para el paro de las bombas de alta presión y evitar entradas de aire al sistema. El constructor de la planta define de 4 a 8 minutos de tiempo mínimo para determinar el paro del sistema; lo que nos lleva a un depósito de 30 m³ para la inmobiliaria y 5 m³ para el hotel; para este caso se diseñó un tanque que almacenará 40 m³ que corresponde a la suma de ambos requerimientos y un 10% más como margen. Las dimensiones del depósito serán de 2.50 m de ancho por 5.00 m de largo y 4.00 m de altura, la altura de operación de la cisterna será de 3.20 metros, lo cual origina un volumen de almacenamiento deseado.

Planta desalinizadora de Agua de Mar.

Está definida por el constructor y fue elegida por los desarrolladores de Punta Ballena, como características principales se tiene:

- Proceso que utiliza: de ósmosis inversa con una conversión de 33%, es decir, una parte de agua potable y dos partes de agua concentrada en sales (salmuera).
- Tipo de energía para su operación: eléctrica.

- Arreglo de membranas: tipo espiral.

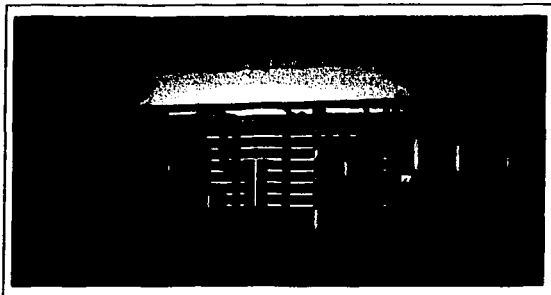


Figura 5.11 Planta Desalinizadora Tipo por Osmosis Inversa, producción 1,000 m³/día.

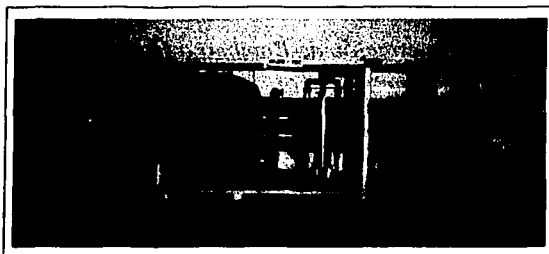


Figura 5.12 Planta Desalinizadora Tipo por Osmosis Inversa, producción 200 m³/día.

Depósito de Agua Potable para su Regulación.

El diseño del depósito de regulación de agua potable se muestra en el anexo hidráulico, dando como resultado un volumen de 40 m³ para el hotel y 160 m³ para las residencias, lo que nos lleva a diseñar las dimensiones de las cisternas, que en este caso serán de las mismas dimensiones que el tanque de almacenamiento de agua de mar (2.50 m de ancho por 5.00 m de largo y 4.00 m de altura, la altura de operación de la cisterna será de 3.20 m), entonces tenemos 1 para el hotel y 4 más para las residencias.

Descarga de la Salmuera

Previo tratamiento de la salmuera (retiro de residuos químicos del proceso de pretratamiento), se determinó que con base a los parámetros oceanográficos esta puede ser descargada superficialmente, por lo que se pretende hacerlo a través de canales revestidos existentes, el gasto de salida para el hotel es de 7.70 litros por segundo, mientras que para el desarrollo condominal es de 44.10 litros por segundos que sumados tenemos 51.80 l/s, de acuerdo a la geometría del canal como se muestra en el anexo hidráulico se tiene un tirante de $y=1.5$ cm y una velocidad de 1.12 m/s.

5.6 Diseño Electromecánico.

Dentro de un proyecto desalinizador se encuentra el diseño de la instalación para el suministro de energía a los equipos y dispositivos con que cuenta el sistema de bombeo y la planta desalinizadora cuyo objetivo primordial es lograr que el diseño e instalación sean de la mejor calidad; este suministro de energía varía de acuerdo a las condiciones físicas del sitio (insolación y viento) y a la disponibilidad de los recursos energéticos con los que cuenta (electricidad y combustibles) o a la combinación de ambos. Para el caso de Punta Ballena el suministro de energía contemplado es eléctrico, basado en la disponibilidad de esta fuente en la zona de Los Cabos; su diseño se sustenta en la Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-SEDE-1999 y especificaciones de la C.F.E., en la figura 5.13 se muestra el diagrama unifamiliar de conexiones de la estación de bombeo de agua de mar.

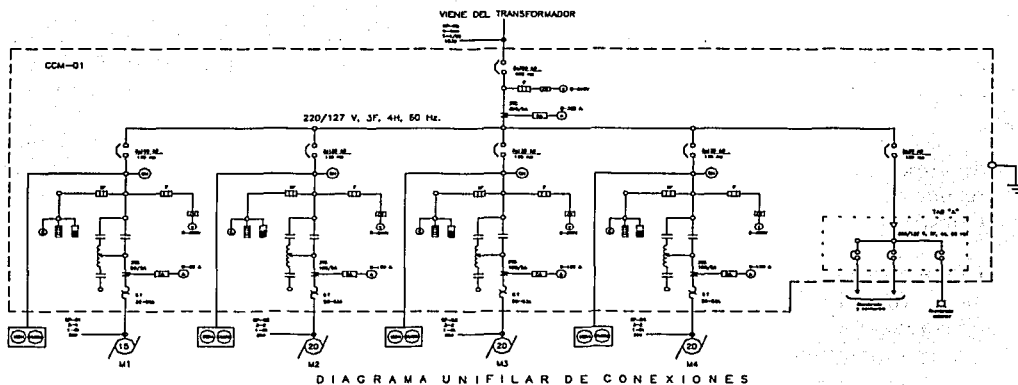


Figura 5.13 Diagrama Unifamiliar de Conexiones de la estación de bombeo de la Planta Desalinizadora.

Para el bombeo hacia la planta desalinizadora se contará con tres bombas de 20 CP y una de 15 CP, operadas con motor eléctrico de inducción tipo jaula de ardilla. Dada la capacidad de los motores de los dos tipos de bombas, se prevé alimentación eléctrica a 220 Volts (3 fases, 60 Hz).

Se propone controlar los motores en forma local a través de un centro de control de motores dentro de la misma caseta en que se localizan las bombas; adicionalmente se contará con alumbrado exterior a base de una luminaria de VSAP, 220 Volts (2 fases, 60 Hz) montada en uno de los postes de la subestación eléctrica.

La carga instalada es de aproximadamente 77 kVA. Los detalles del proyecto eléctrico se muestran en el anexo electromecánico.

5.7 Diseño Geotécnico.

Dentro de las condiciones del suelo en Punta Ballena, sabemos que existen formaciones de roca de alta resistencia donde se desplantarán las estructuras y también existen suelos cohesivos friccionantes debido a la presencia de arenas.

De la tabla 5.5 se determinó por realizar una obra de toma por vasos comunicantes y se desecha la posibilidad de alguna galería filtrante por la falta de garantías de presencia de agua de mar en condiciones óptimas en el sitio de interés (cercanías al desarrollo turístico).

5.8 Diseño Estructural.

Generalmente, la flexión se presenta acompañada de fuerza cortante. Sin embargo, la resistencia a flexión puede estimarse con suficiente precisión despreciando el efecto de la fuerza cortante.

La resistencia de elementos sujetos a flexión simple puede determinarse a partir de una serie de hipótesis simplificadoras ligadas al comportamiento básico y al mecanismo acción-respuesta. La hipótesis en que se basa nuestro análisis es la del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal.

El Reglamento recomienda una distribución rectangular de esfuerzos ligeramente diferente de la del ACI (Instituto Americano del Concreto). La reducción en el volumen del bloque de esfuerzos correspondiente a concretos de alta resistencia se hace disminuyendo el valor del esfuerzo máximo, $\beta_3 f_c^*$, y no reduciendo la profundidad del bloque, como lo hace el ACI.

Una diferencia importante con el ACI estriba en el uso de resistencias reducidas de los materiales, f_c^* y f_y^* , en vez de las resistencias nominales, f'_c y f'_y . Esto tiene por objeto tomar en cuenta, de un modo directo, las variaciones en el control de la calidad y, de un modo indirecto, el tipo de carga (accidental o permanente).

En el anexo estructural se presentan los cálculos realizados para el diseño estructural de la caja de captación, en primera instancia se presentan los cálculos realizados bajo condiciones sísmicas. De dichos cálculos se puede deducir que la condición más desfavorable es la condición de empujes bajo condiciones sísmicas. Esta condición será tomada como la alternativa de diseño.

5.9 Procedimiento Constructivo.

Para la operación de la planta desalinizadora de Punta Ballena se deberá construir obras complementarias como son: la obra de toma, estación de bombeo de agua de mar, conducción de agua de mar, tanque de almacenamiento, bodega para planta desalinizadora, tanque de regulación, línea de distribución y camino de acceso a la obra de toma, recordando que el

canal que se utilizará como rechazo de la salmuera ya existe; para el procedimiento constructivo se deberán contemplar las siguientes actividades a desarrollar.

- Camino de acceso a la obra de toma y estación de bombeo.

Previo al desarrollo de los trabajos relacionados con la construcción de los caminos de acceso, tanto a la plataforma de bombeo como a la obra de toma, el equipo de topografía debe definir en campo el trazo de dichos caminos de acceso, partiendo del conocimiento del trazo preliminar y referencias de niveles.

Con el uso de un tractor sobre orugas tipo CAT. D7H serie II, implementando una hoja recta tipo orientable. Se iniciara desde la ubicación de la plataforma de bombeo, removiendo las rocas de tamaño mayor a 1.00 m de diámetro, tratando de ubicarlas hacia la margen costera de la zona de trabajo, formando así una protección contra eventos característicos de las fuerzas de oleaje.

Conjuntamente al movimiento de las rocas de mayor tamaño, se conformara un pedraplén con el material existente en la zona de playa desde la plataforma hasta la obra de toma, el pedraplén deberá formar un talud de 1:1.5, con una corona de 5.00 m de ancho, contando con una altura promedio de 1.5 m sobre el nivel medio del mar, para ello se banca el material de tamaño aproximado a 1.00 m de diámetro, sobre el trazo del camino de acceso a la obra de toma.

El movimiento de rocas con el tractor, así como su acomodo final con el empleo de mano de obra deberá garantizar que de la corona del pedraplén será lo más uniforme posible evitando las oquedades de gran tamaño, y en el caso de presentarse oquedades que requieran de rocas de tamaño considerable, se evitara colocando a volteo o de forma manual, rocas de tamaño menor hasta 4" de diámetro.

En el caso, de que se requiera un movimiento de rocas de gran tamaño a distancias de 15.00 m, y que estas no puedan ser colocadas en la margen costera en un solo movimiento con el tractor, se empleara un cable de acero tipo boca en forma de estrobo y con el apoyo del tractor se remolcara hasta su posible ubicación.

Una vez conformado el cuerpo del pedraplén, se transitara el tractor sobre todo lo largo del cuerpo del pedraplén tratando de eliminar al máximo el movimiento de rocas. Concluida la conformación del pedraplén, se empleara material graduado de hasta 3" de diámetro (como tamaño máximo), con la finalidad de evitar las oquedades entre rocas, estabilizando la superficie de la corona de dicho pedraplén.

Con el uso de camiones de volteo se acarreará el material desde el banco de préstamo hasta la zona de obra, y será depositado sobre el pedraplén, y empleando el tractor se extenderá sobre la corona procurando tapar al máximo las oquedades entre rocas, una vez extendido el material se empleara el tránsito del tractor para tratar de confinar la superficie del pedraplén y el material graduado. Dicho procedimiento se iniciará en la parte tierra adentro y terminara en la costa cercana a la obra de toma.

Concluido el relleno de estabilización se colocara una carpeta de circulación a base de concreto simple, con la finalidad de proveer una superficie de rodamiento más uniforme y dar así acceso vehicular hasta la obra de toma.

El concreto empleado para la construcción de la carpeta de circulación deberá tener una superficie libre de 5.00 m de ancho y 0.15 m de espesor, en bloques de 5.00 m longitud, esta carpeta de circulación se colocara en toda la longitud del camino de acceso a la obra de toma. En el extremo del camino cercano a la obra de toma, este tendrá una dimensión de 7.50 m de ancho por 10.00 m de largo, con la finalidad de proporcionar área suficiente para realizar maniobras.

- **Plataforma de bombeo.**

La plataforma de bombeo será construida a base de concreto y block de concreto ligero. Conteniendo la estructura a partir de zapatas corridas, dalas y castillos de concreto, muro de block, y loza de concreto reforzado con acero.

La plataforma de bombeo contará con un sistema mecánico de izaje de los equipos de bombeo, a base de perfiles estructurales y un polipasto eléctrico con capacidad de 3 a 5 ton. Para la realización de reparaciones y mantenimiento de los equipos.

El cárcamo de bombeo primeramente será excavado en roca y posteriormente se realizará un recubrimiento perimetral de las paredes a base de concreto, eliminando las corrugaciones propias de la excavación y constituyendo la base para la estructuración. Posteriormente, se realizará el colado de las paredes del cárcamo, empleando cimbra común y técnicas de colado en presencia de agua.

Sobreyaciendo el cárcamo de bombeo, estará la otra parte de la estructura civil, consistente en una caseta de concreto reforzado, de 9.50 m x 7.00 m x 3.3 m de altura, la cual protegerá los equipos de bombeo y los tableros de control y operación eléctrica de las bombas.

Por otra parte, con la finalidad de permitir el vaciado de la conducción para una posible acción de mantenimiento, se plantea la colocación de una caja de válvulas para desagüe de ambas líneas de bombeo. Esta caja de válvulas contará con elementos de seccionamiento y descarga lateral, que permitirán la descarga del agua en la línea, en la zona de uno de los arroyos existentes en la zona, para su posterior descarga al mar.

Debido a que su ubicación implica menores problemas asociados a la cercanía del mar, se recomienda usar procedimientos usuales de construcción, con la observación de colocar una protección temporal de enrocamiento en la costa para brindar abrigo temporal durante el proceso constructivo.

Como consecuencia de los niveles de la excavación, existirá la presencia de agua en la profundidad de la zanja, por lo que se recomienda el empleo de técnicas de colado en presencia de agua.

- Colocación de tubería de polietileno (conducción de estructura de captación al cárcamo de bombeo).

Una vez terminadas las actividades de construcción de obra auxiliares a la obra de toma, se efectuara la colocación de la tubería de polietileno de alta densidad de 10" de diámetro interior.

La colocación de la tubería se realizara con el empleo de una grúa hidráulica sobre neumáticos, realizando la colocación desde el área de toma dentro del mar hacia la plataforma de bombeo. Previo a la colocación de la tubería en la zona de succión, se colocaran en los extremos y al centro del primer tramo de tubería, atraques de concreto reforzado. La colocación de la tubería se realizara izando con cables de acero y sujetándola por los atraques de concreto, que al ir bajando a la posición final el primer atraque sobre tierra firme dejara en suspensión a los atraques que se ubicaran en el interior del agua, al ir descendiendo el extremo de la boquilla los atraques tomara la posición final en el fondo marino.

Una vez colocado el primer tramo de la tubería (extremo sumergido) se continuara colocando la tubería sobre la carpeta de circulación hasta llegar a la plataforma de bombeo, continuando con la actividad de encofrado de protección de la tubería.

Este encofrado será de concreto y tendrá una dimensión de 0.25 m² de sección transversal, con 0.50 m por lado, desde la posición del primer atraque en la obra de toma hasta la plataforma de bombeo. Y desde la plataforma hasta en donde comience la tubería bajo terreno.

- Línea de conducción de estación de bombeo a tanque de almacenamiento

Terminadas las actividades de construcción de obras auxiliares a la obra de toma, se efectuará la colocación de las tuberías de polietileno de alta densidad de 10" y 4" de diámetro nominal, RD17. La colocación de esta tubería se realizará con el empleo de una grúa hidráulica sobre neumáticos, realizando la colocación desde el sitio de extracción hacia la plataforma de bombeo.

La colocación de la tubería se realizará izando tramos con cables de acero y sujetándola por los atraques temporales de concreto o lastres. Una vez colocado y presentado el primer tramo de la tubería, se unirá a la tubería saliente de la estructura de captación mediante las bridas dispuestas en ese extremo. Para el resto de la longitud de esta conducción, se continuará colocando la tubería y lastrandola en la zanja excavada en roca para alojarla, hasta llegar a la plataforma de bombeo, continuando posteriormente con la actividad de relleno de concreto y encofrado de protección de la tubería. El encofrado de la tubería será de concreto. La tubería tendrá en su extremo de unión con el cárcamo de bombeo, anillos con la finalidad de propiciar condiciones satisfactorias de unión.

Para la conducción comprendida entre la estación de bombeo, el proceso constructivo se realizará de manera similar. Se excavará la zanja para alojar la tubería, posteriormente se colará una plantilla de concreto, para posteriormente colocar las tuberías, asegurándolas para evitar movimientos indeseables en el proceso de colocación y relleno. Una vez hecho esto, se rellenará la zanja, confinada mediante el empleo de malla electrosoldada; el relleno a utilizar será básicamente enrocamiento con un rango de tamaño de 4" a 6" de diámetro, cuidando no dañar las tuberías.

Al alcanzar el relleno de la zanja los niveles adecuados, se cerrará la jaula formada por la malla electrosoldada y se colará en la superficie una losa superior de concreto, con la finalidad de proteger la zanja.

Para la colocación de las tuberías en el tramo de conducción desarrollado a lo largo de su desarrollo y hasta los puntos de entrega, se empleará el mismo procedimiento, con las siguientes particularidades. La zanja se excavará en material suave, de acuerdo con las dimensiones del proyecto; posteriormente, se colocará una plantilla de material compactado, misma que recibirá a las tuberías de polietileno de alta densidad, las cuales se colocarán de acuerdo con las secciones del proyecto. Posteriormente se realizará un relleno compactado en una altura de 40 cm, siguiendo los procedimientos especificados de relleno en zanja; encima de este relleno se colocará las capas estructurales de la vialidad, integradas por una base, sub-base y carpeta.

- **Caja de captación y rejillas**

La estructura de captación es la obra civil que permitirá la captación directa del agua de mar. Estará conformada por una estructura de concreto, construida en etapas, la cual contará con una entrada que comunica a una sección de rejillas, para posteriormente ligar hasta un conducto circular de 36" de diámetro (91.4 cm) y RD 26, el cual llevará agua desde este sitio hasta la estación de bombeo.

Atendiendo a las características rocosas de la zona donde se ubicará esta estructura, se planea que primeramente se realice una excavación de 3.50 m por 2.60 m y profundidad promedio de 3 m, de manera que el nivel mínimo de excavación alcance la cota -2.50 msnbmi.

Con la finalidad de facilitar la implementación de esta estructura ante la presencia de agua, se recomienda que su construcción se realice de la manera siguiente:

Primeramente será realizada la excavación, mediante medios mecánicos simples, actividad a realizarse con la presencia de agua.

Una vez hecho lo anterior, se colocarán los armados correspondientes a las paredes de la estructura, preparados para recibir un colado inferior. Posteriormente, se realizará el colado de la losa inferior de 30 cm de espesor, en la superficie de excavación. La losa estará formada por concreto simple y será colada con la presencia de agua.

Resulta necesario que el concreto y acero por utilizar deberá tener resistencia a las sales marinas. Para facilitar la labor constructiva, resulta altamente recomendable que se coloque una barrera de enrocamiento de naturaleza temporal, en el sitio de la excavación contigua al canal de alimentación, tratando de evitar la o disminuir la libre penetración de agua de mar en *condiciones de agitación* que dificulten el colado mencionado.

Simultáneamente a esto, deberá construirse un elemento prefabricado que aloje en su interior la tubería 0.91 m de diámetro, el cual contará con elementos de izaje para su posterior colocación. Las paredes laterales de esta estructura tendrán forma de llave, de manera que cuando se realice el colado de los muros laterales, estos elementos proporcionen fijación a todo el conjunto.

Una vez hecho lo anterior, se trasladará el elemento prefabricado hasta el sitio de colocación, se izará y se depositará cuidadosamente sobre la losa de fondo colada previamente, con especial cuidado en el refuerzo de los muros.

Finalmente, se realizará el colado de los muros laterales de la estructura, aprovechando la presencia del elemento prefabricado que tendrá función de cimbra, por los procedimientos usuales de colado de concreto en agua (p.e., tubo tremie).

Una vez realizado y fraguado de este colado, serán dispuestos los detalles de la estructura, tales como la colocación de escaleras marinas y rejillas para retención de elementos flotantes.

Para fines de liga de la tubería con la zanja de la conducción primaria, será realizada una sobreexcavación de 1 m de longitud en sentido longitudinal (a lo largo del eje de la tubería) para posteriormente realizar la unión por medio de bridas.

5.10 Presupuesto General de las Obras.

El presupuesto general de las obras se presenta en la siguiente tabla y sólo corresponden a los valores por construcción.

CONCEPTO	Unidad	Precio Unitario
Estudios e Ingeniería de Detalle	Lote	\$ 500,000.00
Obra de Toma	Lote	\$ 250,000.00
Casa de Bombas y válvulas de alivio	Lote	\$ 2,200,000.00
Línea de Conducción y Red de Distribución	Lote	\$ 1,105,000.00
Depósitos de Almacenaje y Regulación de Agua	Lote	\$ 150,000.00
Caminos de Acceso	Lote	\$ 100,000.00
Instalaciones Eléctricas	Lote	\$ 380,000.00

Referencias.

Abastecimiento de Agua Potable
Alba B. Vázquez, Enrique César Valdez
Facultad de Ingeniería, UNAM, 1994

Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones
para el Distrito Federal
Colegio de Ingenieros Civiles de México
1987

Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado
Oscar González Cuevas, Francisco Robles
1975

Manual Ahmsa para Construcción con Acero
Altos Hornos de México

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La escasez del agua no es sólo un fenómeno natural, sino un fenómeno socialmente producido, debido a que los principales polos de desarrollo del país han incrementado notoriamente su demanda a través de los últimos años, llevando a la pérdida de la autosuficiencia y provocando la sobreexplotación y contaminación de los recursos hidráulicos locales; por lo que han ubicado al país en un escenario de déficit y competencia en casi la mitad del territorio que comprende el noreste, norte y centro.

Esta situación obliga a buscar y explotar fuentes más lejanas o de mayor complejidad técnica para su uso. Por lo anterior tiene mucho mayor sentido poner énfasis en métodos que puedan aumentar la eficiencia en la utilización del agua con la elaboración de planes de contingencia y con la búsqueda de alternativas renovables y estrategias. Cuando todos los métodos de gestión del agua y recursos subterráneos se han consumido, la desalinización es el único método de aumentar los recursos hídricos, y es capaz de satisfacer las demandas en comunidades costeras e interiores. Además hay que tener en cuenta que a medida que los costos de otras fuentes aumentan, el de la desalinización se va haciendo progresivamente menor. Además la desalinización permite asegurar al usuario, la confiabilidad del agua entregada para su uso y consumo que prácticamente se produce ultrapura, libre de contaminantes naturales o sintéticos, como bacterias, arsénico o pesticidas.

Las principales ventajas de la desalinización aplicada a los sistemas de membranas, en específico de ósmosis inversa son: ahorro de energía, recuperación de materiales, trabajo a temperatura ambiente, reducción de costos de movimiento, espacio reducido para la planta desalinizadora, expansión, automatización, bajos costos de trabajo, protección ambiental, alta confiabilidad y rendimiento, operación inmediata. También es preciso señalar las desventajas que presenta en niveles bajos de flujo, aglutinamiento de las membranas, reducción de la vida útil y pretratamiento mayor a otros procesos desalinizadores.

La solución de potabilización del agua de mar no es fácil y para obtener una eficiencia elevada es necesario utilizar conocimientos tecnológicos actualizados y personal preparado, aplicados a producir soluciones muy simples.

Por lo que toca a la comparación de costos de suministro y valores de transacción. Se confirma la necesidad de analizar a detalle la viabilidad para cada proyecto, que puede resultar positivo según las circunstancias de la disponibilidad y del pre y post tratamiento de la desalinización en regiones con escasez y alto desarrollo.

Pero la razón por que no se ha generalizado en el país es que todavía sigue siendo cara a comparación del suministro tradicional con grandes subsidios, por ejemplo en Baja California Sur, el costo por suministro de agua por los organismos operadores es 1.50, 2.82, 3.86 pesos por m³, para los usos doméstico, comercial e industrial, respectivamente, mientras que la desalinización de agua de mar está por los 4.00 a 5.00 pesos por m³ a una escala de producción baja.

La desalinización es posible en el uso industrial y doméstico, no a sí en la agricultura por su bajo rendimiento y consumo desmedido de agua. Dependiendo de las condiciones particulares de cada caso, se deberá optar por la implementación de un proceso u otro. Existe una opinión generalizada que, para grandes consumos la opción más rentable a corto plazo es la implementación de plantas desalinizadoras por ósmosis inversa por los siguientes motivos:

- a) la tecnología se considera suficientemente probada y los costos actuales compiten con los de suministro de fuentes tradicionales
- b) la producción del agua desalada es independiente de la producción de energía eléctrica
- c) el plazo de construcción es inferior al de otras soluciones (18 meses)

Pero aunque la ósmosis inversa se presenta como una buena opción a corto plazo, a largo plazo la opción recomendada es la instalación de plantas desalinizadoras duales, acoplando plantas de destilación con plantas térmicas para generación de electricidad o plantas de ósmosis inversa con energía eléctrica acopladas a energía renovables como solar o eólica (pero no existe la garantía de un suministro continuo y constante de energía). También cabe destacar la existencia de colectores solares compactos para desalinización de agua en cantidad suficiente para abastecer pequeñas demandas domésticas.

Un objetivo de este trabajo es de dar a conocer las técnicas de potabilización del agua salada: la desalinización, que si bien es cierto en otros países con condiciones extremas de abasto de agua es muy conocida, en nuestro país sólo en algunas regiones apenas es utilizada y no siempre con los rendimientos esperados. Por lo que se recomienda:

- Difundir el conocimiento de la desalinización en el país, sobretodo para su aplicación en zonas críticas de abasto de agua potable, pero con gran riqueza costera, donde los estados del norte y en la vertiente del Pacífico son campo propicio para la aplicación de esta tecnología.
- Por lo que hay que realizar una valoración real del agua obtenida a través de estas técnicas contra las de las fuentes tradicionales, en lo económico, en lo técnico, en lo ecológico y en lo funcional.
- Y aplicar esta tecnología para agua potable a gran escala para que los costos por m³ sean menores a los de las fuentes tradicionales, sin dejar de considerar un cambio en la política de consumo, eficiencia y desperdicio en los sistemas de agricultura y en zonas urbanas e industriales.

REFERENCIAS

Comisión Nacional del Agua, Compendio Básico del Agua en México, CNA, enero de 2001.

Comisión Nacional del Agua, Compendio de Planos del Agua, CNA, enero de 2001.

Comisión Nacional del Agua, El Agua en México: retos y avances, CNA, octubre 2000.

Comisión Nacional del Agua, Programa Hidráulico 1995-2000, CNA, marzo 1995.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, Estadísticas del Medio Ambiente, INEGI, octubre 1999.

Ingeniería Hidráulica en México, Desalinización del Agua.
Felipe I. Arreguin Cortes, Alejandra Martín Domínguez
p.p. 27-48.

Principles of desalination
Spiegler, 1966

Vector de la Ingeniería Civil. Destiladores solares de agua de mar para consumo humano.
José Luis Fernández Zayas y Norberto Chargoy del Valle
p.p. 32-35.

Kronenberg G., Dvornikov V. (1999). Fuel Cost of Water (FCW) in Dual Plants. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse. San Diego, EU.

El impacto de las plantas desalinizadoras sobre el medio marino: la salmuera en comunidades bentónicas mediterráneas.
Esperanza García, Enric Ballesteros

Impacto Ambiental, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
Alba B. Vázquez. Enrique César Valdez
Facultad de Ingeniería, UNAM, 1994

Diario Oficial de la Federación del 18 de octubre de 1993

Diario Oficial de la Federación del 28 de febrero de 1988
Diario Oficial de la Federación del 1 de diciembre de 1992
Diario Oficial de la Federación del 12 de enero de 1994
Diario Oficial de la Federación del 6 de enero de 1996

Ingeniería Marítima y Portuaria
Guillermo McDonel, Héctor López.
Ed. Alfaomega, 1999.

Ingeniería de Costas
Armando Frias Valdés y Gonzalo Moreno
Ed. Limusa, 1988

Diseño Estructural
Roberto Mclí
Ed. Limusa, 1985

Aspectos Generales de Financiamiento de Proyectos
Carlos de María y Campos.

“Federalismo y Desarrollo” N° 61 “Proyectos de Inversión”.
Año 11. Enero-Febrero-Marzo de 1998.
Revista BANOBRAS

Proyectos Electromecánicos Tipo Para Plantas de Bombeo
De Agua Potable en Poblaciones Rurales. Libro V, 4.5
Comisión Nacional del Agua, 1994.

Manual de Selección para Tubería de Conducción
Mxalit/Versalite

Abastecimiento de Agua Potable
Alba B. Vázquez. Enrique César Valdez
Facultad de Ingeniería, UNAM, 1994

Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones
para el Distrito Federal
Colegio de Ingenieros Civiles de México, 1987

Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado
Oscar González Cuevas, Francisco Robles, 1975

<http://Libro de Oceanografia.htm>
http://IX_LAS MAREAS_ SU ENERGÍA Y SU UTILIZACIÓN.htm
http://XII_EL OCÉANO Y EL CLIMA.htm
<http://Notas de Oceanografia, Capítulo 9.htm>
<http://editorial.cda.ulpgc.es/>
<http://beta.semarnap.gob.mx/sonora/desalacion/>
<http://www.yao.lc.usbr.gov/>
<http://greenfield.forturecity.com/mcadow/82/cem/oceanog/agua.htm>

ANEXOS HIDRAULICOS

PROYECTO EJECUTIVO DE LA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR
DESARROLLO TURISTICO PUNTA BALLENA, B.C.S.

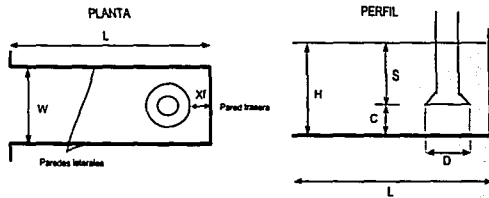
DIMENSIONAMIENTO DEL CARCAMO DE BOMBEO

Recomendaciones de las Características Hidráulicas y Geométricas

Sumergencia Permisible	$S/D > 1.5$ y $Fr < 0.05$
Longitud del Cárcamo	$L/D > 6$ y $Fr < 0.055$
Distancia Succión-Fondo	$C/D > 0.52$ y $Fr < 0.05$
Ancho del Cárcamo	$2.8 > W/D > 1.95$ y $Fr < 0.05$
Distancia Pared Trasera-Campana	$X/D > 0.4$ y $Fr < 0.05$

Donde:

S	Sumergencia de la campana del tubo de succión
C	Distancia del piso a la campana del tubo de succión
W	Ancho del cárcamo
Xf	Distancia del labio de la campana a la pared trasera
D	Díámetro de la campana
L	Longitud del cárcamo



DIMENSIONES DEL CARCAMO

BOMBA	GASTO (l/s)	DIAMETRO (m)	V (m/s)	Fr	H (m)	W (m)	L (m)	C (m)	S (m)	Xf (m)	BOMBA	GASTO (l/s)	DIAMETRO (m)	V (m/s)	Fr	H (m)	W (m)	L (m)	C (m)	S (m)	Xf (m)
B-1, B-2 y B-3	21	0.15	1.15	0.25	2.2	0.30	1	0.11	2.09	0.10	B-1, B-2 y B-3	21	0.15	1.15	0.25	2.25	1.00	2	0.15	2.10	0.15
B-4	11	0.10	1.37	0.29	2.2	0.20	1	0.08	2.12	0.10	B-4	11	0.10	1.37	0.29	2.25	1.00	2	0.15	2.10	0.15
			0.00955	0.002	2.2									0.00933333	0.002	2.25					

REVISION DE CONDICIONES

BOMBA	Fr	W/D	L/D	C/D	S/D	Xf/D	Velocidad	Area	H	B	
B-1, B-2 y B-3	0.25	2	6.56	0.75	13.6857	0.65617	0.074	0.00933333	7.92857143	2.25	3.52380952
	N.C.R.	C. R.	C. R.	C. R.	C. R.	C. R.					
B-4	0.29	2	9.84	0.75	20.9035	0.98425	0.0933	0.79285714	1.00473731		
	N.C.R.	C. R.	C. R.	C. R.	C. R.	C. R.					

PROYECTO EJECUTIVO DE LA PLANTA DESALINIZADORA DE AGUA DE MAR
DESARROLLO TURÍSTICO PUNTA BALLENA, B.C.S.

Tanque de regulación

$$Q_{\text{no}} = \frac{P_p \times D}{86400} \times \text{CVD}$$

población de proyecto 2,850 personas
dotación 400 l/habitante climas cálidos en zonas residenciales
CVD=1.4

$$Q_{\text{no}} = \frac{P_p \times D}{86,400} \quad \text{CDV} = 18.5 \text{ l/s}$$

Condominios				Hotel							
HORA	ENTRADA	factor	SALIDA	E - S	E (E-S)	HORA	ENTRADA	factor	SALIDA	E - S	E (E-S)
0	1	0.45	29.97	36.63	73.26	0	1	11.88	0.45	5.35	6.53
1	2	0.45	29.97	36.63	73.26	1	2	11.88	0.45	5.35	6.53
2	3	0.45	29.97	36.63	73.26	2	3	11.88	0.45	5.35	6.53
3	4	0.45	29.97	36.63	73.26	3	4	11.88	0.45	5.35	6.53
4	5	0.45	29.97	36.63	63.27	4	5	11.88	0.45	5.35	6.53
5	6	0.60	39.96	26.64	33.30	5	6	11.88	0.60	7.13	4.75
6	7	0.90	59.94	6.66	-16.85	6	7	11.88	0.90	10.69	1.19
7	8	1.35	89.91	-23.31	-56.61	7	8	11.88	1.35	16.04	-4.16
8	9	1.50	99.90	-33.30	-66.60	8	9	11.88	1.50	17.82	-5.94
9	10	1.50	99.90	-33.30	-66.60	9	10	11.88	1.50	17.82	-5.94
10	11	1.50	99.90	-33.30	-66.60	10	11	11.88	1.50	17.82	-5.94
11	12	1.50	99.90	-33.30	-66.60	11	12	11.88	1.50	17.82	-5.94
12	13	1.50	99.90	-33.30	-66.60	12	13	11.88	1.50	17.82	-5.94
13	14	1.50	99.90	-33.30	-66.60	13	14	11.88	1.50	17.82	-5.94
14	15	1.30	86.58	-19.98	-39.96	14	15	11.88	1.30	15.44	-3.56
15	16	1.30	86.58	-19.98	-39.96	15	16	11.88	1.30	15.44	-3.56
16	17	1.30	86.58	-19.98	-39.96	16	17	11.88	1.30	15.44	-3.56
17	18	1.30	86.58	-19.98	-39.96	17	18	11.88	1.30	15.44	-3.56
18	19	1.00	66.60	0.00	0.00	18	19	11.88	1.00	11.88	0.00
19	20	1.00	66.60	0.00	13.32	19	20	11.88	1.00	11.88	0.00
20	21	0.80	53.28	13.32	26.64	20	21	11.88	0.80	9.50	2.38
21	22	0.80	53.28	13.32	26.64	21	22	11.88	0.80	9.50	2.38
22	23	0.80	53.28	13.32	26.64	22	23	11.88	0.80	9.50	2.38
23	24	0.80	53.28	13.32	49.95	23	24	11.88	0.80	9.50	2.38
					36.53						6.53

73.26
-66.60

$$VR = \text{max-min} = 73.26 - (-66.60) = 139.86 \text{ m}^3$$

13.07
-11.88

$$VR = \text{max-min} = 13.07 - (-11.88) = 24.95 \text{ m}^3$$

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

143

PROYECTO EJECUTIVO DE LA TOMA DE AGUA PARA ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE
PARA EL DESARROLLO TURISTICO PUNTA BALLENA, EN B.C.C.

DETERMINACION DE LAS CURVAS DE CARGA DEL SISTEMA

GASTO	0.03	m ³ /s
CARGA ESTÁTICA	27.9	m

PERDIDAS DE FRICCION Y PERDIDAS LOCALES EN MULTIPLE

TUBERIA 1	0.127 m
- DIAMETRO DE TUBERIA 1	0.013 m ²
- AREA DE TUBERIA	10 m
- LONGITUD DE TUBERIA 1	237 m/s
- VELOCIDAD DEL FLUJO	0.015
- FACTOR DE FRICCION	0.34 m
- PERDIDA DE FRICCION	375.1404444

TUBERIA 2	0.1524 m
- DIAMETRO DE TUBERIA 2	0.018 m ²
- AREA DE TUBERIA 2	10 m
- LONGITUD DE TUBERIA 2	1.64 m/s
- VELOCIDAD DEL FLUJO	0.015
- FACTOR DE FRICCION	0.14 m
- PERDIDA DE FRICCION	150.7605309

TUBERIA 3	0.2032 m
- DIAMETRO DE TUBERIA 3	0.032 m ²
- AREA DE TUBERIA 3	10 m
- LONGITUD DE TUBERIA 3	0.93 m/s
- VELOCIDAD DEL FLUJO	0.015
- FACTOR DE FRICCION	0.03 m
- PERDIDA DE FRICCION	35.77618048

LINIA DE CONDUCCION	0.3048 m
- DIAMETRO DE TUBERIA	0.073 m ²
- AREA DE TUBERIA	780.23 m
- LONGITUD DE TUBERIA	0.41 m/s
- VELOCIDAD DEL FLUJO	0.015
- FACTOR DE FRICCION	0.33 m
- PERDIDA DE FRICCION	387.5871533

PERDIDAS LOCALES	0.254 m
- DIAMETRO DE TUBERIA	0.051 m ²
- AREA DE TUBERIA	0.58 m/s
- VELOCIDAD DEL FLUJO	0.02
- CARGA DE VELOCIDAD	
- CAMBIOS DE DIRECCION	

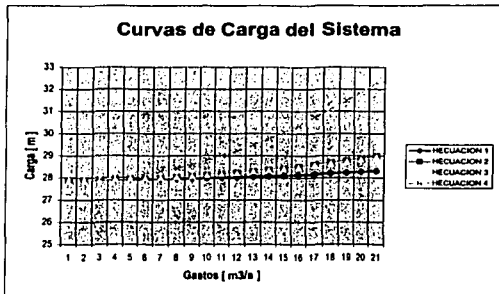
N°.	Deflexión [°]	Horizontal	Vertical	Coefficiente K	Pérdida Local
1	115.1681256			0.512	0.01
2	31.7489833			0.141	0.00
3	48.7649828			0.217	0.00
4	31.5655508			0.229	0.00
5	36.7642941			0.163	0.00
6	18.56254302			0.074	0.00
7	8.351651514			0.037	0.00
8	9.570864021			0.043	0.00
9	14.45911785			0.064	0.00
10	8.606903234			0.038	0.00
11	20.27163241			0.090	0.00
12	14.09814559			0.065	0.00
13	11.86391611			0.052	0.00
14	30.6449892			0.136	0.00
15	4.601353112			0.020	0.00
16	20.90650513			0.063	0.00
17	26.58976639			0.118	0.00
18	19.23668754			0.085	0.00
19	14.3829741			0.064	0.00
20	73.31309386			0.326	0.01
21	59.82355602			0.265	0.00
22	2.652542371			0.012	0.00
23	4.826143208			0.021	0.00
24	12.17654297			0.054	0.00
25	16.49980168			0.073	0.00
26	19.60078434			0.087	0.00
27	13.39420544			0.060	0.00
28	8.308861154			0.037	0.00
29	9.58508214			0.042	0.00
30	89.99744458			0.400	0.01
SUMA					3.620
					71.86558647

La ecuación de la curva de cargas del sistema queda

para Q < 0.03 m ³ /s	27.9	15.47820561	8.220344172	1.47611583	15.16655978	2.965156099	ECLUACION 1	41.3083337
para 0.03 m ³ /s < Q < 0.021 m ³ /s	27.9	40.38987694	16.23178568	3.851678828	38.57864419	7.737478341	ECLUACION 2	107.787864
para 0.021 m ³ /s < Q < 0.030 m ³ /s	27.9	0	0	7.860977201	80.76866181	15.79077212	ECLUACION 3	104.4204109
para Q > 0.030 m ³ /s	27.9	0	0	0	367.5871533	71.86555847	ECLUACION 4	439.4527118
Relacion cuadrática de gasto/total	375.1404444	150.7605309	35.77618068	367.5871533	15.16655978	2.965156099		

TABULACION

Q	H _{ELUACION 1}	H _{ELUACION 2}	H _{ELUACION 3}	H _{ELUACION 4}
0	27.9	27.9	27.9	27.9
0.005	27.90103266	27.90269489	27.90261051	27.91098632
0.01	27.90413064	27.91077877	27.91044004	27.94394527
0.015	27.90929034	27.92425222	27.92349459	27.99887686
0.02	27.91652255	27.94311507	27.94176816	28.07578108
0.025	27.92581649	27.96736729	27.96526276	28.17465794
0.03	27.93717575	27.99709879	27.99397837	28.29505744
0.035	27.95060032	28.03203989	28.027915	28.43832957
0.04	27.96609921	28.07246028	28.06707266	28.60312434
0.045	27.98363453	28.11827002	28.1145133	28.78990174
0.05	28.00320596	28.16949916	28.16105103	28.99863178
0.055	28.02495181	28.22605768	28.21587174	29.22934445
0.06	28.04870296	28.28803559	28.27591348	29.48202976
0.065	28.07451947	28.35640288	28.34117624	29.75666771
0.07	28.10240128	28.42819255	28.41196001	30.05331829
0.075	28.13234841	28.50630561	28.48736481	30.3718215
0.08	28.16436086	28.58984105	28.56829083	30.71249736
0.085	28.19843862	28.67876587	28.65443747	31.07504584
0.09	28.23458171	28.77308008	28.74580533	31.45965997
0.095	28.27279011	28.87278367	28.84239421	31.86606272
0.1	28.31308384	28.97787664	28.94420411	32.29452712
0.105	28.35540288	29.088359	29.05123503	32.74496615
0.11	28.39980724	29.20423073	29.16348697	33.21737781
0.115	28.44627692	29.32549186	29.28095993	33.7119211
0.12	28.49481193	29.45214236	29.40365392	34.22811905
0.125	28.54541225	29.58418225	29.53156892	34.76644862
0.13	28.59807788	29.72161152	29.66470494	35.32975083
0.135	28.65290064	29.86443018	29.80308199	35.92022567



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**PROYECTO EJECUTIVO DE LA OBRA DE TOMA DE MAR
DESARROLLO TURISTICO PUNTA BALLENA, BAJA CALIFORNIA SUR**

SELECCIÓN PRELIMINAR DE EQUIPOS DE BOMBEO

Datos:

GASTO

	11.0 l/s		
	174.361 gpm		
Carga estática en la succión	0.000 m		
Carga estática en la descarga	46.000 m		
Tuberías en la succión		Tuberías en la descarga	
Ds1	10.160 cm	Dd1	10.160 cm
Ds2	10.160 cm	Ds2	10.160 cm
Ls1	10.000 m	Ld1	778.610 m
Ls2	0.000 m	Ld2	0.000 m
As1	0.008 m ²	Ad1	0.008 m ²
As2	0.008 m ²	Ad2	0.008 m ²
Vs1	1.357 m/s	Vd1	1.357 m/s
Vs2	1.357 m/s	Vd2	1.357 m/s
Coef. Succ 1	0.01	Coef. Desc 1	0.01
Coef. Succ 2	0.01	Coef. Desc 2	0.01
Carga velocidad Succ 1	0.094 m	Carga velocidad Desc 1	0.094 m
Carga velocidad Succ 2	0.094 m	Carga velocidad Desc 2	0.094 m
hfs1	0.09 m	hfd1	7.19 m
hfs2	0.00 m	hfd2	0.00 m
Perdidas total Succ 1	0.10 m	Perdidas total Desc 1	7.55 m
Perdidas total Succ 2	0.00 m	Perdidas total Desc 2	0.00 m

CARGA DINAMICA DE BOMBEO

Carga Dinámica Bomba **53.741 m**
176.199 ft

VELOCIDAD DE GIRO

Frecuencia **60 h.z.**
Factor de resbalamiento **4 %**
No. de pares de polos **1**

La velocidad de giro es: **3,456 rpm**
La velocidad específica es: **944**

Con los datos de velocidad específica y gasto se obtiene, en forma aproximada, la eficiencia de la bomba, la cual para el presente caso resulta de:

0.66

POTENCIA

La potencia final de la bomba es: **8.79 kw**
11.78 H.P.

CARGA DE SUCCION POSITIVA NETA

Carga de succión positiva neta:

Ha **10.33 m.**
Hfs **0.10 m**
Hes **0.000 m**
Hv **0.322 m**

La carga positiva neta de succión es: **9.911 m**

PROYECTO EJECUTIVO DE LA OBRA DE TOMA DE MAR
DESARROLLO TURISTICO PUNTA BALLENA, B.C.S.

FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO PARA CONDICIONES DE FLUJO ESTABLECIDO

CONDICIONES DE ANALISIS

GASTO	0.011 m ³ /s	Carga Estática de Succión	4.30 m	NPSH	5.60 m
FACTOR DE FRICCION (DARCY-WEISBACH)	0.011	Presión Atmosférica	10.33 m		
CARGA DINAMICA DE BOMBEO	0.011 m	Longitud de Succión	10.80 m		
DATUM INICIAL	0.00 m	Velocidad de Succión	1.35 m/s		
		Pérdida de Succión	0.11 m		
		Carga de Vaporización	0.32 m		

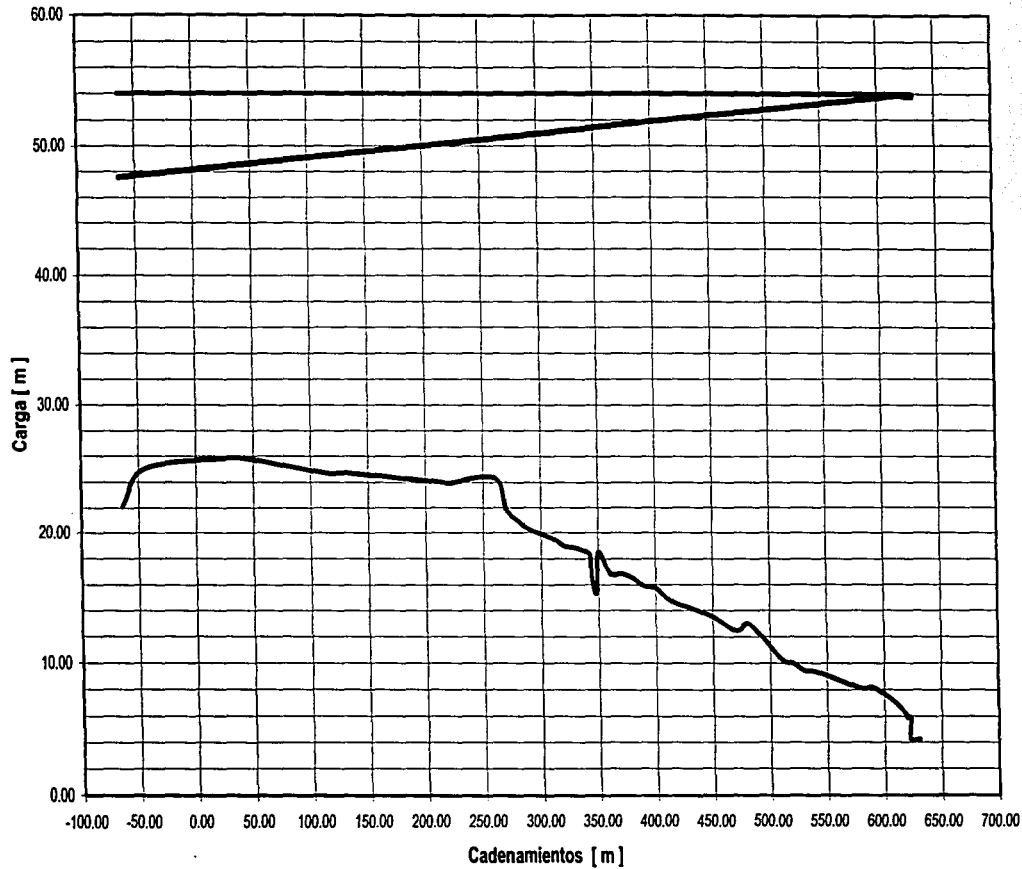
Punto	Diámetro		Área	Velocidad Inicial [m/s]	Velocidad Final [m/s]	Longitud Tramo [m]	Cadenamiento [m]	Elevación [m]		Carga de Posición [m]	Carga de Presión [m]	Carga de Velocidad [m]	Fricción [m]	Pérdidas de Energía			Horizonte de Energía [m]	Elevaciones		OBSERVACIONES
	[in]	[m]						Inicio [m]	Fin [m]					Piedra	Eje de Taberas	Locales [m]		Acumuladas [m]	Acumuladas Totales [m]	
1	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	6.23	630.85	-2.050	-2.050	-2.05	54.00					54.00	54.00	54.00	Succión	
2	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	8.27	627.58	4.180	4.231	4.23	49.57	0.09	0.058	0.047	0.104	54.00	53.80	53.90	Bomba	
3	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	8.27	627.58	4.180	4.231	4.23	49.58	0.09	0.078	0.019	0.095	54.00	53.81	53.90	Codo vertical	
4	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	1.19	622.35	5.830	5.881	5.88	48.01	0.09	0.011	0.000	0.011	54.00	53.90	53.99	Codo vertical	
5	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	3.39	619.19	5.120	5.881	5.88	47.98	0.09	0.031	0.000	0.031	54.00	53.95	53.96	Conexión con codo de bombas	
6	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	0.36	618.83	6.020	6.081	6.08	47.78	0.09	0.000	0.000	0.000	54.00	53.85	53.95	Fin de línea de conducción	
7	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	8.94	610.00	5.950	7.001	7.00	46.72	0.09	0.083	0.000	0.083	54.00	53.78	53.87		
8	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	20.03	590.00	6.130	8.181	8.18	45.41	0.09	0.185	0.000	0.185	54.00	53.59	53.69		
9	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.00	580.00	6.060	8.111	8.11	45.39	0.09	0.093	0.000	0.093	54.00	53.50	53.59		
10	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	40.02	540.00	9.780	9.331	9.33	43.80	0.09	0.370	0.000	0.370	54.00	53.13	53.22		
11	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.00	530.00	9.360	9.411	9.41	43.63	0.09	0.092	0.000	0.092	54.00	53.04	53.13		
12	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.02	520.00	9.920	9.971	9.97	42.98	0.09	0.092	0.000	0.092	54.00	52.95	53.04		
13	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.00	510.00	10.220	10.271	10.27	42.58	0.09	0.092	0.000	0.092	54.00	52.85	52.95		
14	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	20.10	490.00	12.200	12.251	12.25	40.42	0.09	0.186	0.000	0.186	54.00	52.67	52.76		
15	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.03	480.00	12.950	12.961	12.96	39.59	0.09	0.093	0.000	0.093	54.00	52.58	52.67		
16	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.10	470.00	12.400	12.451	12.45	40.03	0.09	0.093	0.000	0.093	54.00	52.48	52.58		
17	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	20.03	450.00	13.420	13.471	13.47	38.83	0.09	0.185	0.000	0.185	54.00	52.30	52.39		
18	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	20.01	430.00	14.146	14.197	14.20	37.92	0.09	0.185	0.000	0.185	54.00	52.11	52.21		
19	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.00	420.00	14.410	14.461	14.46	37.56	0.09	0.092	0.000	0.092	54.00	52.02	52.11		
20	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.01	410.00	14.890	14.941	14.94	36.99	0.09	0.092	0.000	0.092	54.00	51.93	52.02		
21	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.03	400.00	15.680	15.731	15.73	36.10	0.09	0.093	0.000	0.093	54.00	51.84	51.93		
22	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.00	390.00	15.830	15.881	15.88	35.86	0.09	0.092	0.000	0.092	54.00	51.74	51.84		
23	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.02	380.00	16.490	16.541	16.54	35.11	0.09	0.093	0.000	0.093	54.00	51.65	51.74		
24	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.01	370.00	16.820	16.871	16.87	34.69	0.09	0.092	0.000	0.092	54.00	51.56	51.65		
25	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.00	360.00	16.830	16.881	16.88	34.58	0.09	0.092	0.000	0.092	54.00	51.47	51.56		
26	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.13	350.00	16.480	16.511	16.51	32.86	0.09	0.094	0.000	0.094	54.00	51.37	51.47		
27	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	3.77	340.00	15.270	15.321	15.32	36.02	0.09	0.035	0.000	0.035	54.00	51.34	51.43		
28	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	4.17	344.00	16.460	16.511	16.51	34.79	0.09	0.039	0.000	0.039	54.00	51.30	51.39		
29	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	1.96	343.00	16.160	16.201	16.20	33.08	0.09	0.018	0.000	0.018	54.00	51.28	51.37		
30	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	3.02	340.00	16.470	16.521	16.52	32.73	0.09	0.026	0.000	0.026	54.00	51.25	51.35		
31	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.01	330.00	16.790	16.841	16.84	32.32	0.09	0.092	0.000	0.092	54.00	51.16	51.25		
32	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.00	320.00	16.930	16.981	16.98	32.09	0.09	0.092	0.000	0.092	54.00	51.07	51.16		
33	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.02	310.00	19.480	19.531	19.53	31.44	0.09	0.092	0.000	0.092	54.00	50.98	51.07		
34	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	20.01	290.00	20.200	20.251	20.25	30.54	0.09	0.185	0.000	0.185	54.00	50.79	50.88		
35	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.02	280.00	20.880	20.931	20.93	29.77	0.09	0.093	0.000	0.093	54.00	50.70	50.79		
36	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.04	270.00	21.740	21.791	21.79	28.81	0.09	0.093	0.000	0.093	54.00	50.61	50.70		
37	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	10.32	260.00	24.300	24.351	24.35	26.16	0.09	0.095	0.000	0.095	54.00	50.51	50.60		
38	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	41.24	218.75	23.640	23.691	23.69	26.24	0.09	0.081	0.000	0.081	54.00	50.13	50.22		
39	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	3.71	215.05	23.947	23.998	24.00	26.10	0.09	0.034	0.000	0.034	54.00	50.09	50.19		
40	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	83.99	129.05	24.667	24.718	24.72	24.58	0.09	0.154	0.000	0.154	4.906	54.00	49.30		
41	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	11.92	116.56	24.420	24.471	24.47	24.51	0.09	0.125	0.000	0.125	4.230	54.00	49.27		
42	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	72.52	43.95	25.750	25.811	25.81	22.70	0.09	0.670	0.000	0.670	5.400	54.00	48.51		
43	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	21.50	21.55	25.750	25.811	25.81	22.90	0.09	0.199	0.000	0.199	5.999	54.00	48.31		
42	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	66.20	-44.63	24.979	25.030	25.03	22.87	0.09	0.611	0.000	0.611	6.210	54.00	47.70		
43	4	0.102	0.008	1.3568	1.3568	19.89	-64.32	22.027	22.078	22.08	25.43	0.09	0.184	0.000	0.184	6.394	54.00	47.51		

** Cadenamientos referidos al Arco 5, conforme a los datos proporcionados por SACMAG

147

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Punta Ballena
Obra de Toma de Agua de Mar
Funcionamiento Hidráulico para el Sistema de Suministro de Agua al Hotel
 $Q = 0.011 \text{ m}^3/\text{s}$

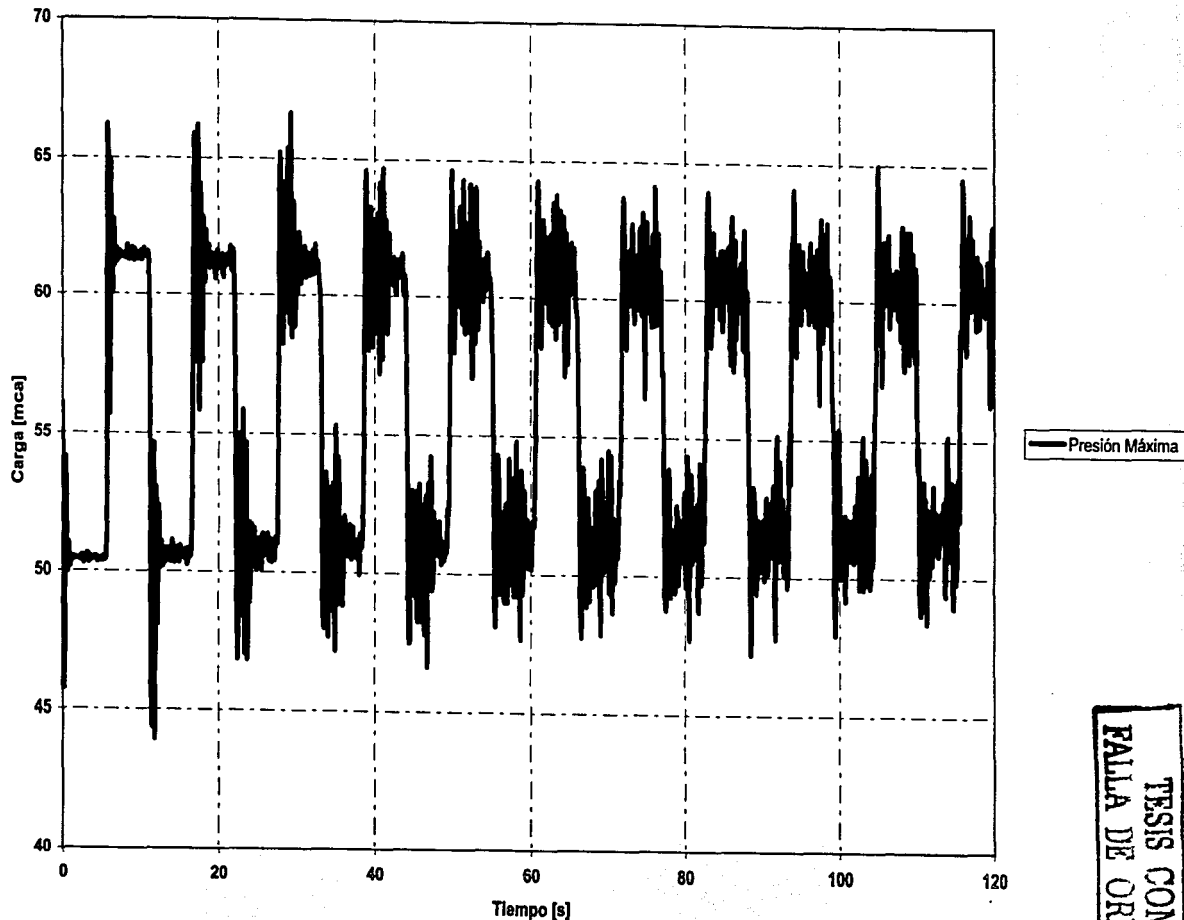


— Línea Piezométrica
— Gradiente de Energía
— Eje de Tubería
— Horizonte de Energía

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

148

**PRESION MAXIMA GENERADA EN EL TRANSITORIO HIDRAULICO
UNA BOMBA DE 11 lps - DISPARO DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO**



149

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Datos:**GASTO**

	64.0 l/s
	1014.464 gpm
Carga estática en la succión	0.000 m
Carga estática en la descarga	46.000 m
Tuberías en la succión	
Ds1	20.320 cm
Ds2	20.320 cm
Ls1	10.000 m
Ls2	0.000 m
As1	0.032 m ²
As2	0.032 m ²
Vs1	1.974 m/s
Vs2	1.974 m/s
Coef. Succ 1	0.02
Coef. Succ 2	0.02
Carga velocidad Succ 1	0.199 m
Carga velocidad Succ 2	0.199 m
hfs1	0.20 m
hfs2	0.00 m
Perdidas total Succ 1	0.21 m
Perdidas total Succ 2	0.00 m

Tuberías en la descarga

Dd1	20.320 cm
Ds2	20.320 cm
Ld1	778.610 m
Ld2	0.000 m
Ad1	0.032 m ²
Ad2	0.032 m ²
Vd1	1.974 m/s
Vd2	1.974 m/s
Coef. desc 1	0.01
Coef. desc 2	0.01
Carga velocidad Desc 1	0.199 m
Carga velocidad Desc 2	0.199 m
hfd1	7.61 m
hfd2	0.00 m
Perdidas total Desc 1	7.99 m
Perdidas total Desc 2	0.00 m

CARGA DINAMICA DE BOMBEO

Carga Dinámica Bomba	54.390 m
	178.329 ft

VELOCIDAD DE GIRO

Frecuencia	60 h.z.
Factor de resbalamiento	4 %
No. de pares de polos	1

La velocidad de giro es:	3,456 rpm
La velocidad específica es:	2,256

Con los datos de velocidad específica y gasto se obtiene, en forma aproximada, la eficiencia de la bomba, la cual para el presente caso resulta de:

0.84**POTENCIA**

La potencia final de la bomba es:	40.65 kw
	54.52 H.P.

CARGA DE SUCCION POSITIVA NETA

Carga de succión positiva neta:

Ha	10.33 m.
Hfs	0.21 m
Hes	0.000 m
Hv	0.322 m

La carga positiva neta de succión es : **9.803 m**

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

PROYECTO EJECUTIVO DE LA OBRA DE TOMA DE MAR
DESARROLLO TURISTICO PUNTA BALLEN, B.C.S.

FUNCIONAMIENTO HIDRAULICO PARA CONDICIONES DE FLUJO ESTABLECIDO

CONDICIONES DE ANALISIS

GASTO	0.063 m ³ /s	Carga Estática de Succión	4.30 m	NPSH	5.24 m
FACTOR DE FRICCIÓN (DARCY-WEISSBACH)	0.011	Presión Atmosférica	10.33 m		
CARGA DINAMICA DE BOMBEO	49 m	Longitud de Succión	10.00 m		
DATUM INICIAL	0.00 m	Velocidad de Succión	3.45 m/s		
		Pérdida de Succión	0.46 m		
		Carga de Vaporización	0.32 m		

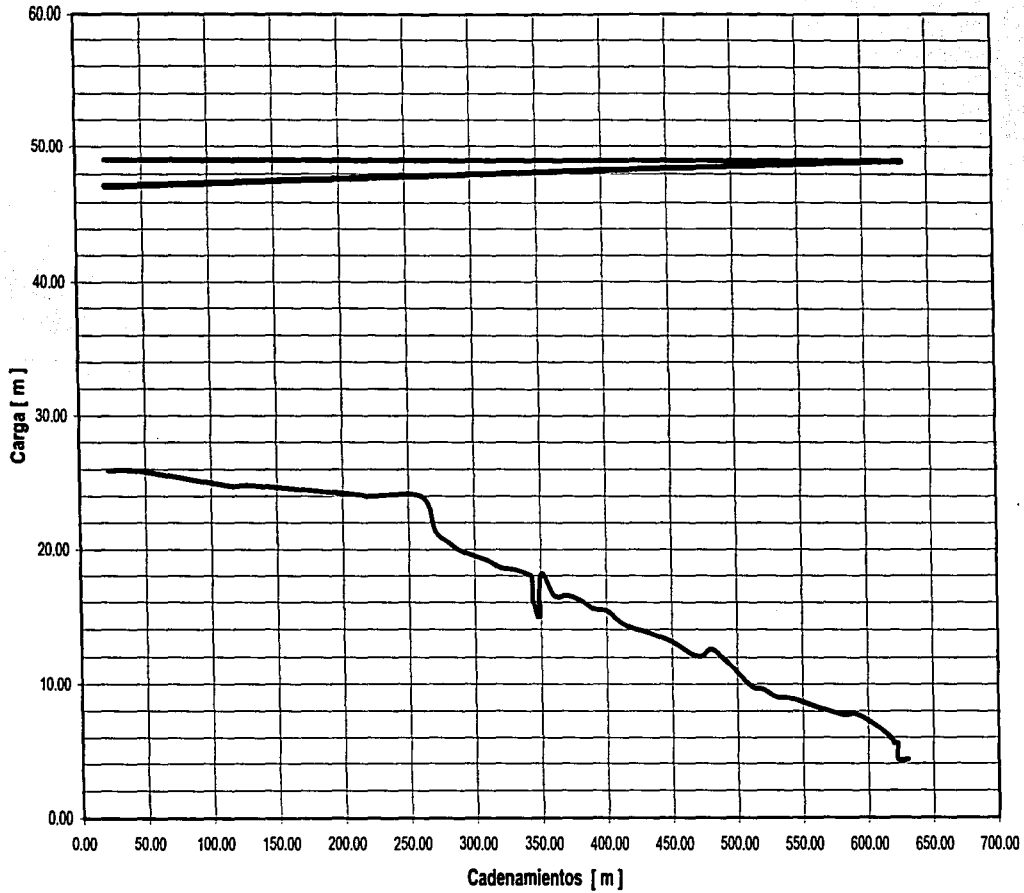
Punto	Diámetro		Área [m ²]	Velocidad		Longitud Tramo [m]	Cadenamiento	Elevación [m]		Carga de Posición [m]	Carga de Presión [m]	Carga de Velocidad [m]	Pérdidas de Energía				Horizonte de Energía [m]	Elevaciones		OBSERVACIONES
	[in]	[m]		Inicial [m/s]	Final [m/s]			Planta	Eje de Tuberia				Fricción [m]	Locales [m]	Acumuladas [m]	Totales [m]		Área Pasadizo [m]	Gradiente de Energía [m]	
1	10	0.254	0.051	1.2433			630.85	-2.050	-2.050	-2.05	49.00						49.00	49.00	49.00	Succión
2	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	6.23	630.85	4.180	4.307	4.31	44.55	0.08	0.019	0.026	0.069	0.069	49.00	49.00	49.00	Bomba
3	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	8.77	622.58	4.180	4.307	4.31	44.57	0.08	0.025	0.015	0.041	0.041	49.00	49.00	49.00	Codo vertical
4	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	11.9	622.58	5.370	5.497	5.50	43.42	0.08	0.004	0.004	0.004	0.004	49.00	49.00	49.00	Codo vertical
5	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	13.9	619.19	5.370	5.497	5.50	43.41	0.02	0.011	0.000	0.011	0.014	49.00	49.00	49.00	Continúa con casa de bombas
6	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	0.36	618.89	5.570	5.697	5.70	43.21	0.08	0.001	0.000	0.001	0.015	49.00	49.00	49.00	Fin de línea de conducción
7	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	8.94	610.00	6.490	6.617	6.62	42.25	0.08	0.028	0.000	0.028	0.043	49.00	49.00	49.00	
8	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	20.03	590.00	7.670	7.797	7.80	41.02	0.08	0.062	0.000	0.062	0.105	49.00	49.00	49.00	
9	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.00	580.00	7.600	7.727	7.73	41.06	0.08	0.031	0.000	0.031	0.136	49.00	49.00	49.00	
10	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	40.02	540.00	8.820	8.947	8.95	39.71	0.08	0.124	0.000	0.124	0.260	49.00	49.00	49.00	
11	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.00	530.00	8.900	9.027	9.03	39.60	0.08	0.031	0.000	0.031	0.291	49.00	49.00	49.00	
12	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.02	520.00	9.460	9.587	9.59	39.61	0.08	0.031	0.000	0.031	0.322	49.00	49.00	49.00	
13	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.00	510.00	9.760	9.887	9.89	38.68	0.08	0.031	0.000	0.031	0.353	49.00	49.00	49.00	
14	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	20.10	490.00	11.740	11.867	11.87	36.64	0.08	0.062	0.000	0.062	0.416	49.00	49.00	49.00	
15	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.03	480.00	12.470	12.597	12.59	35.86	0.08	0.031	0.000	0.031	0.447	49.00	49.00	49.00	
16	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.10	470.00	11.940	12.067	12.07	35.38	0.08	0.031	0.000	0.031	0.478	49.00	49.00	49.00	
17	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	20.03	450.00	12.960	13.087	13.09	35.29	0.08	0.062	0.000	0.062	0.540	49.00	49.00	49.00	
18	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	20.01	430.00	13.686	13.813	13.81	34.51	0.08	0.062	0.000	0.062	0.602	49.00	49.00	49.00	
19	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.00	420.00	13.950	14.077	14.08	34.21	0.08	0.031	0.000	0.031	0.633	49.00	49.00	49.00	
20	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.01	410.00	14.430	14.557	14.56	33.70	0.08	0.031	0.000	0.031	0.665	49.00	49.00	49.00	
21	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.03	400.00	15.220	15.347	15.35	32.88	0.08	0.031	0.000	0.031	0.696	49.00	49.00	49.00	
22	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.00	390.00	15.370	15.497	15.50	32.70	0.08	0.031	0.000	0.031	0.727	49.00	49.00	49.00	
23	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.02	380.00	15.030	15.157	15.16	32.01	0.08	0.031	0.000	0.031	0.758	49.00	49.00	49.00	
24	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.01	370.00	15.360	15.487	15.49	31.65	0.08	0.031	0.000	0.031	0.789	49.00	49.00	49.00	
25	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.00	360.00	15.370	15.497	15.50	31.60	0.08	0.031	0.000	0.031	0.820	49.00	49.00	49.00	
26	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.13	350.00	15.000	15.127	15.13	29.94	0.08	0.031	0.000	0.031	0.851	49.00	49.00	49.00	
27	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	3.77	340.00	14.810	14.937	14.94	33.12	0.08	0.012	0.000	0.012	0.863	49.00	49.00	49.00	
28	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	4.17	344.00	15.000	15.127	15.13	31.92	0.08	0.013	0.000	0.013	0.876	49.00	49.00	49.00	
29	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	1.96	343.00	17.690	17.817	17.82	30.22	0.08	0.006	0.000	0.006	0.882	49.00	49.00	49.00	
30	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	3.07	340.00	18.010	18.137	18.14	29.85	0.08	0.009	0.000	0.009	0.891	49.00	49.00	49.00	
31	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.01	330.00	18.330	18.457	18.46	29.54	0.08	0.031	0.000	0.031	0.922	49.00	49.00	49.00	
32	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.00	320.00	18.470	18.597	18.60	29.37	0.08	0.031	0.000	0.031	0.953	49.00	49.00	49.00	
33	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.02	310.00	19.020	19.147	19.15	28.79	0.08	0.031	0.000	0.031	0.964	49.00	49.00	49.00	
34	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	20.01	290.00	19.740	19.867	19.87	28.01	0.08	0.062	0.000	0.062	0.947	49.00	49.00	49.00	
35	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.02	280.00	20.420	20.547	20.55	27.30	0.08	0.031	0.000	0.031	1.078	49.00	49.00	49.00	
36	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.04	270.00	21.280	21.407	21.41	26.41	0.08	0.031	0.000	0.031	1.109	49.00	49.00	49.00	
37	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	10.32	260.00	23.640	23.967	23.97	23.81	0.08	0.032	0.000	0.032	1.141	49.00	49.00	49.00	
38	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	41.24	218.76	23.640	23.967	23.97	23.99	0.08	0.128	0.000	0.128	1.269	49.00	49.00	49.00	
39	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	3.71	215.05	23.947	24.074	24.07	23.57	0.08	0.012	0.000	0.012	1.280	49.00	49.00	49.00	
40	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	85.99	129.06	24.667	24.794	24.79	22.58	0.08	0.267	0.000	0.267	1.547	49.00	49.00	49.00	
41	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	13.50	115.06	24.620	24.747	24.75	22.59	0.08	0.042	0.000	0.042	1.589	49.00	49.00	49.00	
42	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	72.52	43.06	25.760	25.887	25.89	21.22	0.08	0.225	0.000	0.225	1.814	49.00	49.00	49.00	
43	10	0.254	0.051	1.2433	1.2433	21.50	21.55	25.760	25.887	25.89	21.15	0.08	0.067	0.000	0.067	1.880	49.00	49.00	49.00	

** Cadenamientos referidos al Apéndice 5, conforme a los datos proporcionados por SACMAG

152

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Punta Ballena
Obra de Toma de Agua de Mar
Funcionamiento Hidráulico para $Q = 0.063 \text{ m}^3/\text{s}$

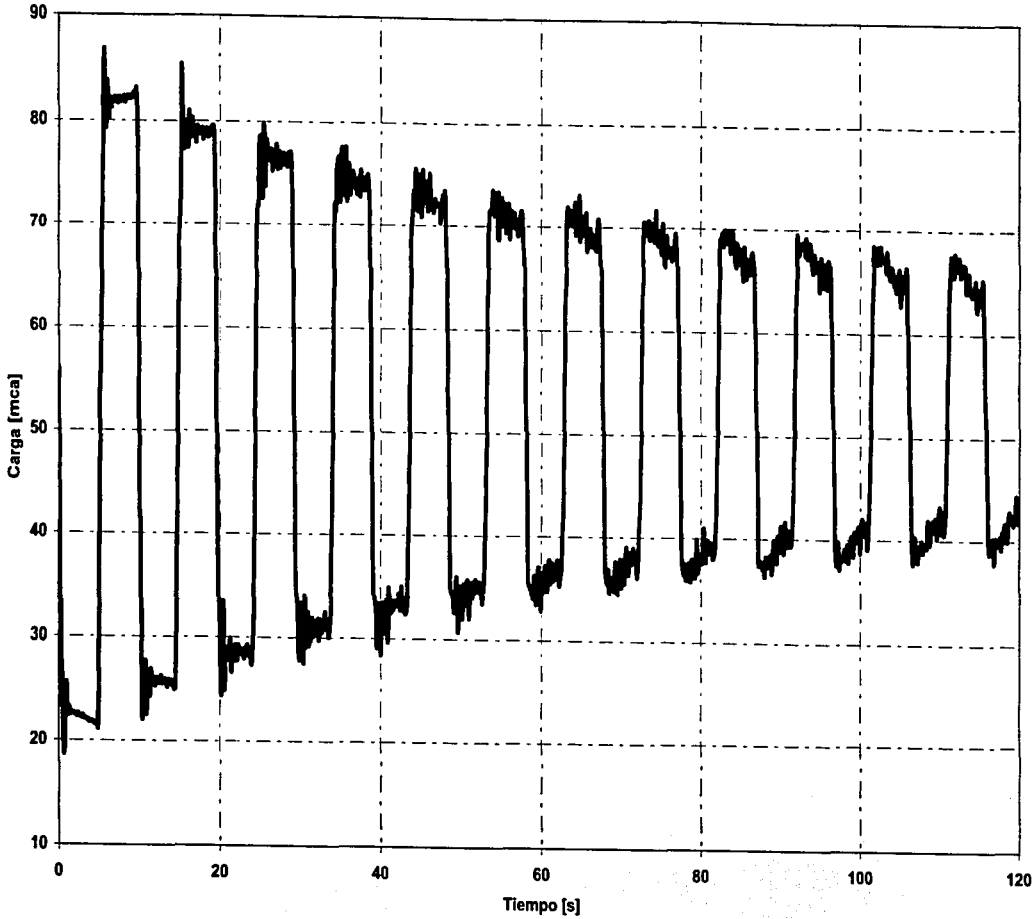


— Línea Piezométrica
— Gradiente de Energía
— Eje de Tubería
— Horizonte de Energía

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

153

PRESION MAXIMA GENERADA EN EL TRANSITORIO HIDRAULICO
TRES BOMBAS DE 63 lps c/u - DISPARO DE LOS EQUIPOS DE BOMBEO



ISA

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN

ANEXOS ESTRUCTURALES

➤ Elemento: Obra de Toma

➤ Criterios de diseño:

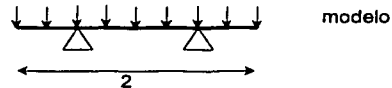
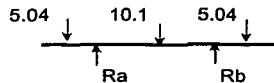
- ◆ Dado que la obra de toma se ubica en roca maciza, se considera que no existe empujes del terreno sobre la estructura.
- ◆ El acero de refuerzo será el necesario para los cambios volumétricos del concreto (acero por temperatura)

➤ Diseño:

Peso del elemento

$$\text{Vol} = 1.4 \times 2 \times 1.5 = 4.2 \text{ m}^3$$

$$\omega_{pp} = 4.2 \times 2.4 = 10.1 \text{ ton/m}$$



$$R_a = R_b = 10.1 \text{ ton}$$

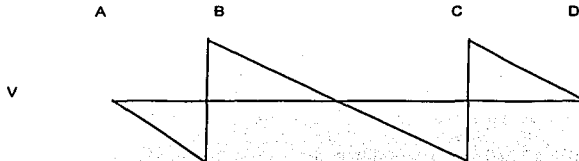
PROYECTO: Proyecto Ejecutivo de la Toma de Agua para Abastecimiento de Agua Potable en el Desarrollo Turístico Punta Ballena, Los Cabos Baja California Sur.

HOJA: 2 DE: 3

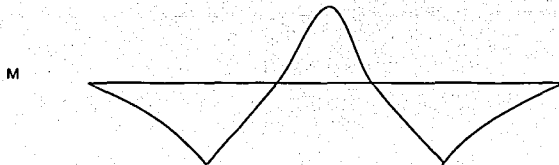
CALCULO: Obra de Toma

FECHA: 29 de Marzo de 2000

Diagramas



$$\begin{aligned} VA_1 &= 0 \\ VA_D &= VA_1 + FcA = 0.0 \text{ ton} \\ VB_1 &= VA_D + FA-B = -5.0 \text{ ton} \\ VB_D &= VB_1 + FcB = 5.0 \text{ ton} \\ VC_1 &= VB_D + FB-C = -5.0 \text{ ton} \\ VC_D &= VC_1 + FcC = 5.0 \text{ ton} \\ VD_1 &= VC_D + FC-D = 0.0 \text{ ton} \\ VD_D &= VD_1 + FcD = 0.0 \text{ ton} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} MA_1 &= 0 \\ MA_D &= MA_1 + McA = 0.0 \text{ ton m} \\ MB_1 &= MA_D + A_{1,D}B = -1.3 \text{ ton m} \\ MB_D &= MB_1 + McB = -1.3 \text{ ton m} \\ MC_1 &= MB_D + A_{1,D}C = 1.3 \text{ ton m} \\ MC_D &= MC_1 + McC = 1.3 \text{ ton m} \\ MD_1 &= MC_D + A_{1,D}D = -1.3 \text{ ton m} \\ MD_D &= MD_1 + McD = -1.3 \text{ ton m} \\ ME_1 &= MD_D + A_{1,D}E = 0.0 \text{ ton m} \\ ME_D &= ME_1 + McE = 0.0 \text{ ton m} \end{aligned}$$

Análisis por Flexión

$$M_s = 1.25 \text{ ton m}$$

$$f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_s = 1.1$$

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_u = F_s \times M_s = 1.38 \text{ ton m} = 1E+05 \text{ kg cm}$$

$$F_R = 0.9$$

$$r_c = 200 \text{ kg/cm}^2$$

$$r_c = 170 \text{ kg/cm}^2$$

$$\rho_b = [4800 / (6000 + f_y)] (r_c / f_y) = 0.019$$

$$\rho_{min} = (0.7 \sqrt{f_c}) / f_y = 0.003$$

$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b = 0.014$$

$$0.003 < \rho < 0.014$$

$$\rho = 0.009$$

$$q = \rho (f_y / r_c) = 0.22$$

PROYECTO: Proyecto Ejecutivo de la Toma de Agua para Abastecimiento de Agua Potable en el Desarrollo Turístico Punta Ballena, Los Cabos Baja California Sur.

HOJA: 3 **DE:** 3

CALCULO: Obra de Toma

FECHA: _____

$$A_{ab} = \rho_b b d = 25 \text{ cm}^2$$

$$M_b = A_{ab} (f_y) (d - (a_p/2))$$

$$a_p = A_{ab} (f_y) / b (f'c) = 3.09 \text{ cm}$$

$$M_b = 150.6 \text{ ton m}$$

$$M_u < M_b$$

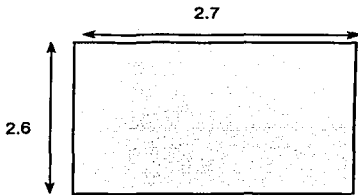
Acero de Refuerzo

Varilla No. 4 Diámetro: 1.27 cm Area: 1.27 cm²

$$V = \quad = 20 \text{ varillas}$$

$$S = \quad \text{cm}$$

DIAGRAMA DE LA LOSA



Espesor: 10 cm

Losa de concreto	0.24 T/m ²
Carga muerta adicional por losa	0.02 T/m ²
Firme de mortero de cemento de 3 cm	0.066 T/m ²
Carga muerta adicional por firme	0.02 T/m ²
Carga viva	0.5 T/m ²
Carga Total	0.846 T/m²

$f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$
 $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

$F_R = 0.9$

$f'_c = 0.8 f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$
 $f'_c = 0.85 f'_c = 170 \text{ kg/cm}^2$

$W_u = 1.4 W_s = 1.18 \text{ T/m}^2$

$d \geq (\text{perímetro efectivo}) / 270$

Perímetro efec. = 13.25 m

$d \geq 4.9 \text{ cm}$

Si $W_s < 380 \text{ kg/cm}^2$
 $f_s < 2000 \text{ kg/cm}^2$

$f_s = 0.6 f_y = 2520 \text{ kg/cm}^2$

No Cumple con la especificación
 deberá ampliarse "d"

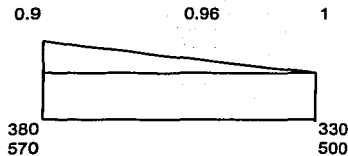
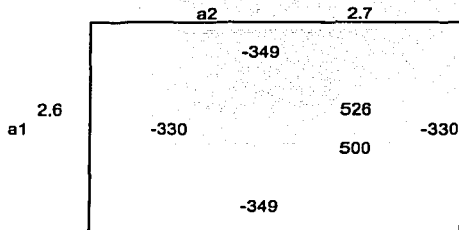
Factor = $.034 (f_s W_s)^{1/4}$

$F = 1.30$

$d = \frac{6.38}{6} \text{ cm}$

$h = d + r = 10 \text{ cm}$

$\frac{a_1}{a_2} = \frac{2.6}{2.7} = 0.96$



$$M = \text{Coef. } (10^4) (Wu) (a1^2) = 0.42 \text{ T m}$$

$$M_R / [F_R (b) (d^2) (r^2c)] = q (1 - (q/2)) = 0.07645 = q (1 - (q/2)) \longrightarrow 0.5q^2 - q + 0.07645 = 0$$

$$q = 0.08$$

$$q = 1.92$$

$$\rho = q + (r^2c / fy) = 0.003$$

$$\rho_{min} = (0.7 \sqrt{f_c}) / fy = 0.002$$

$$V = \frac{Wu ((a1/2) - d)}{1 + (a1/a2)^6} = 0.817 \longrightarrow Vu = 1.15 Vu = 0.940 \text{ T}$$

$$V_{CR} = F_R (0.5) \sqrt{f^2c} (b) (d) \longrightarrow F_R = 0.8$$

$$V_{CR} = 3.61 \text{ T} \quad \text{Se cumple que} \quad Vu < V_{CR}$$

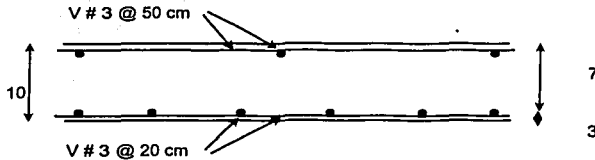
Coef.	Momento	$M_R / [F_R (b) (d^2) (r^2c)]$	q	As	As _{min}	S	Sr
-349	-0.28	0.051	0.052	1.26	1.26	56.2	50
-330	-0.26	0.048	0.049	1.19	1.19	59.7	50
526	0.42	0.076	0.079	1.92	1.92	37.0	35
500	0.40	0.073	0.076	1.85	1.85	38.5	35

Suponiendo varillas del no. 3 $as = 0.71 \text{ cm}^2$

Area de acero por cambios volumétricos

$$a_{scv} = \frac{660 XI}{fy (100+ d)} = 0.014 \text{ cm}^2 / \text{cm}$$

$$As = 1.43 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad S = \begin{matrix} 99.4 \\ 50 \end{matrix} \text{ cm}$$



Análisis por Flexión

$M_s = 30.93 \text{ ton m}$

$F_s = 1.1$

$M_u = F_s \times M_s = 34.02 \text{ ton m} = 3402300 \text{ kg cm}$

$f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$

$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$

$F_R = 0.9$

$f'_c = 0.8 f_c = 200 \text{ kg/cm}^2$

$f''_c = 0.85 f'_c = 170 \text{ kg/cm}^2$

$\rho_b = [4800 / (6000 + f_y)] (f'_c / f_y) = 0.019$

$\rho_{min} = (0.7 \sqrt{f_c}) / f_y = 0.003$

$\rho_{max} = 0.75 \rho_b = 0.014$

$0.003 < \rho < 0.014$

$\rho = 0.009$

$q = \rho (f_y / f'_c) = 0.22$

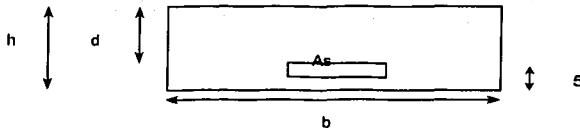
$M_R = F_R (b) (d^2) (f'_c) [q (1 - (q/2))]$

$d = \sqrt{M_R / (F_R (b) (f'_c) [q (1 - (q/2))])}$

$d = \sqrt{\frac{112518.2}{b}}$

b	d
cm	cm
70	40.09
100	33.54
150	27.39
200	23.72
250	21.21
300	19.37
350	17.93

$b = 100 \text{ cm}$
 $h = 50 \text{ cm}$
 $d = 45 \text{ cm}$



$$A_{sb} = \rho_b b d = 85.71 \text{ cm}^2$$

$$M_b = A_{sb} (f_y) (d - (a_s/2))$$

$$a_b = A_{sb} (f_y) / b (f'_c) = 21.18 \text{ cm}$$

$$M_b = 123.88 \text{ ton m} \quad 34.02$$

$$M_u < M_b$$

Análisis por Cortante

$$\rho = 0.019$$

$$V_s = 0.59 \text{ ton}$$

$$V_u = F_s \times V_s = 0.65 \text{ ton}$$

$$F_R = 0.8$$

De acuerdo con la sección propuesta se cumple que
Cumple con $h \leq 70$; $h/b < 6$; $L/h > 5$ y como $\rho > 0.01$

$$V_{CR} = F_R (0.5) \sqrt{f'_c} (b) (d)$$

$$V_{CR} = 25455.84 \text{ kg}$$

$$V_u < V_{CR}$$

No requiere acero por cortante. Sin embargo se proponen estribos para el amarre del acero a tensión

Se proponen estribos de 2 ramas del # 3

$$S_{\max} = d / 2 = 22.5 \text{ cm}$$

Se elige una separación de $S = 15 \text{ cm}$

ANEXOS ELECTROMECHANICOS

SELECCIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR DE DISTRIBUCIÓN.

- Cálculo de la carga de cada uno de los tres motores de 20 CP.

$$kVA = \frac{kW}{f.p.}$$

donde:

kW = Carga del motor equivalente asignada por la CFE
f. p. = Factor de potencia.

para éste caso:

kW = 16.953
f. p. = 0.85 (supuesto)

entonces:

$$kVA_{M2} = kVA_{M3} = kVA_{M4} = \frac{16.953}{0.85} = 19.945$$

- Cálculo de la carga del motor de 15 CP.

datos: W = 12.86
f. p. = 0.85 (supuesto)

entonces:

$$kVA_{M1} = \frac{12.86}{0.85} = 15.129$$

- Cálculo de la carga de alumbrado exterior

datos: 2 luminaria de 250 W (300 W) = 600 W / 1000 = 0.6 kW
f. p. = 0.9

entonces

$$kVA_{ALEXT.} = \frac{0.3}{0.9} = 0.333$$

- Cálculo de la carga de alumbrado interior

datos: 6 luminarias de 2x74 W (182 W) = 6x182 W / 1000 = 1.092 kW
f. p. = 0.9

entonces

$$kVA_{ALINT.} = \frac{1.092}{0.9} = 1.213$$

- **Cálculo de la carga de contactos**

datos: 4 contactos de 180 W = $4 \times 180 \text{ W} / 1000 = 0.72 \text{ kW}$
 f. p. = 1

entonces

$$\text{kVA}_{\text{ALINT.}} = \frac{0.72}{1} = 0.72$$

- **Carga total conectada:**

	Cantidad (lote)	kVA	kVA_{SUBTOTAL}
Motor de 20 CP	3	19.945	59.835
Motor de 15 CP	1	15.129	15.129
Alumbrado exterior	1	0.667	0.667
Alumbrado interior	1	1.213	1.213
Contactos	1	0.72	0.72
		kVA_{TOTAL}	77.564

Considerando un 25% extra como previsión por aumento futuro de la carga tenemos:

$$77.564 \times 1.25 = 96.955 \text{ kVA}$$

Por lo tanto, el transformador seleccionado es de 112.5 kVA, enfriamiento tipo "OA", relación de transformación 13.2/0.22-0.127 kV, 3 fases, 60 Hz, conexión delta/estrella.

SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTE DEL PRIMARIO DEL TRANSFORMADOR.

$$I_{PC} = \frac{\text{kVA}}{\sqrt{3} \times V} = \frac{112.5}{\sqrt{3} \times 13.2} = 4.921 \text{ Amp.}$$

De acuerdo a la NOM-001-SEDE-1999, 450-3 (a) (1), el fusible no deba ser mayor del 300% de la corriente a plena carga del transformador, entonces:

$$I_f \leq 3 \times 4.921 \text{ Amp.} \leq 14.762 \text{ Amp.}$$

Por lo tanto y según la excepción no. 1 del mismo artículo, se especificarán listones para cortacircuitos fusible de 15 Amperes de capacidad.

CÁLCULO DEL NÚMERO DE CIRCUITOS

a) CUARTO DE CONTROL

a.1) Circuitos de alumbrado monofásicos

Carga instalada

6 luminariaS fluorescenteS de 2x74 W (182 W), tipo industrial = 1092 W

⇒ CI = 1092 Watts

La capacidad de los circuitos a 127 V, 15 A, con factor de potencia $fp = 0.9$ cargadas al 75% como máximo:

$$\text{Cap.} = 127 \times 15 \times 0.9 \times 0.75 = 1285.88 \quad \Rightarrow \quad \text{Cap.} = 1286 \text{ W}$$

El número de circuitos mínimo es:

$$\text{N}^\circ \text{ mfn. ctos.} = 1092/1286 = 0.85 \cong 1 \quad \Rightarrow \quad \text{Se utilizará 1 circuito.}$$

a.2) Circuitos de contactos monofásicos.

Carga instalada = 4 contactos dúplex polarizados con conexión a tierra física de 180 W = 4 x 180

⇒ CI = 720 w

La capacidad de los circuitos a 127 V, 15 A, $fp = 1$, cargadas al 75% como máximo:

$$\text{Cap.} = 127 \times 15 \times 1 \times 0.75 \quad \Rightarrow \quad \text{Cap.} = 1428.75 \text{ W}$$

El número de circuitos mínimo es:

$$\text{N}^\circ \text{ mfn. ctos.} = 720/1429 = 0.5 \cong 1 \quad \Rightarrow \quad \text{Se utilizará 1 circuito.}$$