



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**ASPECTOS TECNOLÓGICOS**  
**DE LA DESALINIZACIÓN DE AGUA DE MAR**  
**VÍA OSMOSIS INVERSA**

TESIS DE LICENCIATURA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**INGENIERA QUÍMICA**

PRESENTA

MARIA ANGEL CERDIO RUIZ

MÉXICO D.F.

2008



## JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: Alejandro Anaya Durand  
VOCAL: José Agustín Texta Mena  
SECRETARIO: Humberto Rangel Dávalos  
1ER SUPLENTE: Ezequiel Millán Velasco  
2DO SUPLENTE: Manuel López Ramos

## TEMA DESARROLLADO EN

Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México

## ASESOR DEL TEMA:

M. en I. Alejandro Anaya Durand

---

Firma

## SUSTENTANTE:

María Ángel Cerdio Ruiz

---

Firma

*El ayer no es más que un sueño,  
El mañana no es más que una visión,  
Pero el presente bien vivido,  
Hace de cada ayer un sueño de felicidad y  
De cada mañana una visión de esperanza;  
Por tanto,  
Prestemos atención a este día.*

## Prefacio

Un proyecto es una actividad que surge por el deseo de lograr algo, es decir, es la transformación de esa voluntad o deseo en un plan concreto, especificando todos sus detalles. En ingeniería un proyecto es un esfuerzo determinado y temporal para crear un producto, servicio o resultado único para alcanzar un objetivo, bajo ciertas restricciones como son alcance, tiempo, costo y calidad.

La definición del proyecto empieza por la identificación de una necesidad al igual que la manera de satisfacerla. Contesta a la pregunta ¿Qué se va a hacer? Posteriormente se encuentran las etapas de fundamentación, determinación de objetivos y finalidades y metas; conceptos todavía concernientes solo a la conceptualización del proyecto.

Para el caso que se presenta fue necesario realizar el desarrollo descrito antes, de manera que la primera pregunta planteada fue ¿Qué se va a hacer y por qué?

Determinar las necesidades del país en el que vivimos es un trabajo arduo, debido a que por muchos años lo que se ha hecho es resolver problemas que se presentaron, ya fuera por una mala planeación de recursos, mal praxis de principios o de ingeniería, o bien problemas desencadenados de acciones tomadas en el pasado y que en su momento no fueron considerados como supuestos que afectarían al proyecto y su desarrollo.

Tomando esta premisa como punto de partida se buscó proponer una opción actual y diferente, que satisficiera una de las más grandes preocupaciones no sólo a nivel nacional, sino mundial, y que le abriera a nuestro país una puerta a la tecnología que otros países han probado desde hace años con resultados técnica, económica y socialmente sustentables, la desalinización como medio de abastecimiento de agua en las regiones con mayor estrés hídrico.

Conforme las necesidades de agua se incrementan, aumentan los conflictos entre los países o comunidades en donde es escasa, y debido al elevado consumo actual de los recursos existentes, tanto superficiales como subterráneos, se reducen y comprometen las reservas disponibles para generaciones futuras.

México no escapa a esta problemática. Sus recursos hidráulicos son considerables pero se encuentran distribuidos irregularmente, existiendo en las regiones sur y sureste del país importantes volúmenes de agua que no se aprovechan en su totalidad, perdiéndose

grandes cantidades de la misma en el mar. Por el contrario, en las áridas regiones norte y noroeste del territorio nacional son frecuentes las sequías prolongadas y las graves carencias del vital líquido. De ahí surge la necesidad de buscar alternativas viables para proporcionar a éstas regiones agua potable de calidad y al mismo tiempo una alternativa confiable y redituable que contribuya al desarrollo socio-económico de la región donde se implementa.

Este trabajo tiene por objeto presentar una evaluación de los diversos procesos y tecnologías de desalinización que existen actualmente, compararlas y determinar, con base en una justificación técnico-económica, la tecnología más adecuada para afrontar los problemas de abastecimiento de agua a los que se enfrenta nuestro país día con día en las regiones áridas o en las que el crecimiento demográfico ha afectado la disponibilidad del producto.

Por otra parte, se presenta el caso de aplicación, para el cual se ha desarrollado la ingeniería básica, así como algunos aspectos de ingeniería de detalle e ingeniería de procura, como son costos aproximados de los equipos de proceso más importantes así como la estimación del costo total de la planta por el método de Guthrie.

Finalmente se presentan algunas recomendaciones concernientes a la construcción de la planta, igual que para el tratamiento y disposición de los efluentes y las conclusiones generales del trabajo.

Se han hecho generalizaciones acerca de las capacidades y usos de las tecnologías de desalinización, dentro de ciertos límites, reconociendo que hay excepciones para la mayoría de las generalizaciones. La selección de la tecnología más adecuada de desalinización para un uso específico depende de muchos factores de localización que deben ser evaluados con todo detalle por ingenieros y científicos calificados. Este documento no debe ser utilizado como la única fuente de información al evaluar las diferentes tecnologías de desalinización para un propósito específico.

## Índice de contenido

	Página
<b>Prefacio</b>	<b>i</b>
<b>INGENIERÍA CONCEPTUAL</b>	<b>1</b>
<i>El problema del agua</i>	<b>2</b>
<i>La desalinización como alternativa de solución a la demanda de agua potable</i>	<b>6</b>
<i>Consideraciones y limitaciones de diseño de una planta desaladora</i>	<b>8</b>
<i>Beneficios y riesgos de la desalinización</i>	11
<i>Beneficios</i>	11
<i>Riesgos</i>	12
<b>Principales técnicas de desalación</b>	<b>13</b>
<i>Tecnologías térmicas</i>	13
• <i>Evaporación Instantánea Multi-Etápica (EIM)</i>	13
• <i>Destilación de Efectos Múltiples (DEM)</i>	15
<i>Tecnologías Mecánicas</i>	18
• <i>Compresión de Vapor (CV)</i>	18
<i>Tecnologías Potenciales</i>	19
• <i>Separación por congelación</i>	19
• <i>Intercambio de Iones</i>	19
• <i>Destilación con membranas</i>	19
• <i>Evaporación por rocío rápido</i>	20
• <i>Congelación con hidratos</i>	20
<i>Tecnologías de Membrana</i>	20
• <i>Electrodialisis (ED)</i>	20
• <i>Ósmosis Inversa (OI)</i>	22
• <i>Nano-filtración (NF), Ultra-filtración (UF) y Micro-filtración (MF)</i>	25
<b>Evaluación Tecnológica</b>	<b>26</b>
<i>Requerimientos energéticos de la desalinización</i>	26
<i>Costos de la desalinización</i>	27
• <i>Costos reportados</i>	27
• <i>Componentes de mayor costo</i>	30
• <i>Consideraciones adicionales</i>	33
<i>Conclusiones sobre la evaluación tecnológica</i>	34
<b>CASO DE APLICACIÓN</b>	<b>37</b>
<b>Localización de la planta</b>	<b>37</b>
<i>Disponibilidad de agua</i>	37
<i>Precipitación pluvial</i>	39
<i>Actividad sísmica</i>	40
<i>Actividad ciclónica</i>	42
<i>Encuadre comunitario</i>	44
<i>Emplazamiento de la planta</i>	46
<b>Estudio económico de factibilidad</b>	<b>48</b>
<i>Estimado de inversión</i>	48
<i>Costos de operación y gastos</i>	51
<i>Precio de venta</i>	52

<i>Indicadores económicos</i>	55
<i>Conclusión</i>	55
<b>INGENIERÍA BÁSICA</b>	<b>57</b>
<b><i>Bases de diseño</i></b>	<b>57</b>
<i>Generalidades</i>	57
<i>Capacidad, rendimiento y flexibilidad</i>	59
<i>Especificaciones</i>	60
<i>Eliminación de efluentes</i>	63
<i>Instalaciones requeridas de almacenamiento</i>	64
<i>Servicios auxiliares</i>	64
<i>Sistemas de seguridad</i>	65
<i>Condiciones climatológicas</i>	65
<i>Localización de la planta</i>	66
<i>Bases de diseño eléctrico</i>	66
<i>Bases de diseño para tubería</i>	66
<i>Bases de diseño civil</i>	66
<i>Bases de diseño para control e instrumentación</i>	66
<i>Bases de diseño para equipo</i>	66
<i>Normas, códigos y otras especificaciones</i>	66
<i>Agentes químicos</i>	68
<b><i>Justificación de bases de diseño</i></b>	<b>69</b>
<i>Generalidades</i>	69
<i>Capacidad, rendimiento y flexibilidad</i>	69
<i>Especificaciones</i>	70
<i>Eliminación de efluentes</i>	70
<i>Instalaciones requeridas de almacenamiento</i>	71
<i>Servicios auxiliares</i>	71
<i>Sistemas de seguridad</i>	71
<i>Condiciones climatológicas</i>	71
<i>Localización de la planta</i>	71
<i>Bases de diseño eléctrico</i>	71
<i>Bases de diseño para tubería</i>	71
<i>Bases de diseño civil</i>	71
<i>Bases de diseño para control e instrumentación</i>	71
<i>Bases de diseño para equipo</i>	72
<i>Normas, códigos y otras especificaciones</i>	72
<i>Agentes químicos</i>	72
<b><i>Criterios de diseño</i></b>	<b>73</b>
<i>Filtros de Arena</i>	73
<i>Filtros de Cartucho</i>	73
<i>Agitación y mezclado</i>	73
<i>Tuberías</i>	73
<i>Bombas</i>	74
<i>Servicios</i>	74
<i>Compresores</i>	74
<i>Recipientes a presión</i>	75
<i>Agentes químicos</i>	76
<b><i>Análisis de las diversas alternativas del proceso</i></b>	<b>77</b>
<i>Instalaciones para la toma de agua</i>	77

<u>Cuestiones de ubicación</u>	77
<u>Tomas abiertas de agua de mar</u>	78
<u>Tomas sub-superficiales</u>	79
Pre-tratamiento	81
Tipo de coagulante	83
Adición de floculante- sedimentador	84
Adición de agentes químicos	84
<b>Análisis de las principales variables de control</b>	<b>86</b>
Aparatos de medición y control	86
Protecciones y enclavamientos	88
<b>Propiedades termo-físicas del agua de mar</b>	<b>93</b>
Densidad del agua de mar a presión atmosférica	94
Densidad del agua de mar a 0°C y salinidad 35 g/Kg.	94
Propiedades térmicas y mecánicas del agua de mar a salinidad 35g/Kg. Y presión atmosférica	95
Conductividad eléctrica del agua de mar a presión atmosférica	95
<b>Balance de materia</b>	<b>96</b>
<b>Diagrama de flujo de proceso DFP</b>	<b>99</b>
<b>Descripción del proceso</b>	<b>101</b>
Tren de desalinización	101
Lavado de filtros, membranas de ósmosis inversa y disposición de efluentes	106
<u>Lavado de filtros de arena</u>	106
<u>Lavado de filtros de cartucho</u>	107
<u>Lavado de membranas de ósmosis inversa</u>	107
<b>Lista de equipo con pre-dimensionamiento (por grupos)</b>	<b>109</b>
<b>Justificación del pre-dimensionamiento</b>	<b>113</b>
<b>Hojas de datos de equipos de proceso seleccionados</b>	<b>118</b>
Agitador sumergible AG-112	118
Filtro de arena FB-101	120
Filtro de cartucho FB-103	122
Bomba de alta presión GA-103	124
Moto bomba para lavado de filtro de arena GA-117	126
Moto soplante para lavado de filtro de arena GA-118	128
Bomba centrífuga GA-119	130
Turbina Pelton GB-102	132
Bastidor de unidades de ósmosis inversa PA-101	134
Tanque homogenizador TA-102	136
Tanque homogenizador TA-114	137
<b>Memoria de cálculo de hojas de datos</b>	<b>138</b>
Ecuaciones generales y reglas heurísticas empleadas para el dimensionamiento	138
<u>Cálculo de bombas</u>	138
<u>Dimensionamiento de tanques cilíndricos</u>	139
<u>Dimensionamiento de tanques de hormigón</u>	139
<u>Dimensionamiento de filtros</u>	139
<u>Dimensionamiento de bastidor de ósmosis</u>	140
<u>Agitadores</u>	140
<b>Servicios Auxiliares</b>	<b>141</b>
Energía eléctrica	141
Agentes químicos	143



<b>Memoria de cálculo de agentes químicos</b>	<b>144</b>
<b>Diagrama de tubería e instrumentación DTI (sección)</b>	<b>146</b>
<b>Justificación de controles y accesorios en DTI</b>	<b>147</b>
<i>Descripción del diagrama de tubería e instrumentación</i>	147
<i>Especificaciones técnicas de los equipos de control</i>	150
<b>Plano de localización general de equipo PLG</b>	<b>165</b>
<b>Justificación al plano de localización general de equipo</b>	<b>166</b>
<i>Secuencia del proceso</i>	166
<i>Disposición de equipos similares en zonas designadas</i>	166
<i>Facilitación del tendido de tuberías</i>	167
<i>Aprovechamiento del espacio disponible</i>	167
<i>Consideraciones de seguridad en procesos</i>	167
<b>Sistema de desfogue</b>	<b>168</b>
<i>Implicaciones del sistema de desfogue</i>	168
<b>Diagrama de sistema de desfogue</b>	<b>174</b>
<b>INGENIERÍA DE DETALLE</b>	<b>176</b>
<i>Diagrama de diseño mecánico de un equipo de proceso</i>	177
<b>INGENIERÍA DE PROCURA</b>	<b>178</b>
<i>Clasificación de estimaciones de inversión</i>	179
<i>Método de Guthrie</i>	185
<i>Método de Lang</i>	186
<i>Lista de precios de los equipos principales de proceso de la planta</i>	187
<i>Estimación de inversión final por método de Lang</i>	190
<i>Estimación de inversión final por método de Guthrie</i>	190
<b>CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD Y DISPOSICIÓN DE EFLUENTES</b>	<b>191</b>
<i>Tratamiento de efluentes</i>	192
<i>Impacto Ambiental</i>	193
<i>Naturaleza de la salmuera</i>	193
<i>¿Qué ocurre con la salmuera vertida al mar?</i>	194
<i>Efectos negativos de la salmuera</i>	194
<i>Efectos de la salmuera sobre los humanos</i>	195
<i>Esquemas de vertido recomendables</i>	195
<i>Manejo de sustancias químicas peligrosas</i>	196
<b>CONCLUSIONES GENERALES</b>	<b>199</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>204</b>
<i>Apéndice A</i>	205
<i>Apéndice B</i>	207
<b>GLOSARIO</b>	<b>209</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>217</b>

# INGENIERÍA CONCEPTUAL

## El problema del agua

La escasez del agua es un tema que cada día ocupa más la atención de científicos, técnicos, políticos y en general de los habitantes del planeta. La cantidad de agua disponible para ser utilizada para el consumo del hombre es reducida, ya que a pesar de que la Tierra tiene aproximadamente 1,386 millones de kilómetros cúbicos de agua ( $\text{Mkm}^3$ ), el 97.5% es agua salada, y el resto es agua dulce. De los  $34.7 \text{ Mkm}^3$  de agua dulce (2.5%), el 69% está congelado en los casquetes polares y algunas regiones montañosas. El 29.9% están en acuíferos subterráneos ( $10.36 \text{ Mkm}^3$ ), el 0.9% ( $0.32 \text{ Mkm}^3$ ) se localiza en la atmósfera y sólo el 0.3% ( $0.104 \text{ Mkm}^3$ ) está distribuida en ríos, lagos, arroyos, acuíferos, embalses, etc.

Los sistemas de agua dulce proporcionan el bien más esencial de todos: agua para beber, cocinar, lavar, cultivar, procesar y cantidad de usos incontables. El crecimiento poblacional, así como la producción industrial y la demanda agrícola, han hecho que la tasa de consumo de agua haya aumentado dos veces más rápido que el crecimiento demográfico.

La creciente necesidad de lograr el equilibrio hidrológico que asegure el abasto suficiente del agua a la población, se puede lograr armonizando la disponibilidad natural con las extracciones del recurso mediante el uso eficiente del agua. La conceptualización de la conservación del recurso debe entenderse como un proceso que cruza a varios sectores, por lo que la estrategia debe considerar todo: lo económico, lo social, lo biológico, lo político, entre otros.

La cantidad y calidad del agua disponible en los sistemas de agua dulce están determinadas en gran medida por el tipo de uso de suelo dentro de la cuenca de la cual se extrae el líquido. El mosaico de ciudades, vías, agro-ecosistemas y áreas naturales afecta a su transpiración, drenaje y escorrentía; y en muchas ocasiones influye en la cantidad de contaminación que el agua carga. Las aguas naturales tienen concentraciones bajas de nitratos y fosfatos, pero estos niveles aumentan en aquellos ríos que se alimentan de la escorrentía proveniente de agro-ecosistemas, especialmente en Europa y América del Norte, donde los fertilizantes sintéticos se utilizan de forma generalizada.

Así como el agua pura es muchas veces víctima del desarrollo, éste puede también ser víctima de la falta de ella. Muchos expertos anuncian que la posibilidad de que la carencia de agua pura sea uno de los factores limitantes claves del crecimiento económico en éste

siglo es inminente y el factor poblacional juega un papel fundamental respecto a la disponibilidad de agua en el futuro.

A final del siglo XX la población fue de 6,000 millones de habitantes. De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas (ONU) la tendencia histórica de crecimiento poblacional alcanzará los 10,000 millones de habitantes para el año 2050 y 12,000 millones después del año 2100.

En 1995, más del cuarenta por cien de la población mundial vivía en condiciones de tensión hídrica (esto es, menos de 1,700 m<sup>3</sup>/año de agua por persona) o de escasez de agua (menos de 1,000 m<sup>3</sup>/año por persona). Se estima que para el 2025 éste porcentaje aumentará al cincuenta por cien de la población mundial y que para el 2050, 66 países se vean afectados; los cuales concentran las 2/3 partes de la población mundial<sup>1</sup>

Hoy, sólo 6 países abarcan el 50% del total de recursos hídricos en el mundo: Brasil, Canadá, Rusia, Estados Unidos, China e India y son 5 grandes ríos los que concentran el 27% de estos recursos: Amazonas, Ganges-Brahmaputra, Congo, Amarillo y Orinoco.

A continuación se muestra el cuadro de disponibilidad de agua en el mundo para 1995 y 2025; así como los mapas mundiales de disponibilidad de suministro anual de agua por persona en las cuencas hidrográficas para 1995 y la estimación para 2025.

**Disponibilidad de agua en el mundo, 1995 y 2025**

Estatus	Suministro (m <sup>3</sup> /persona)	1995		2025	
		Población (millones)	Porcentaje del total	Población (millones)	Porcentaje del total
<b>Escasez</b>	<500	1,077	19	1,783	25
	500 – 1,000	587	10	624	9
<b>Tensión</b>	1,000 – 1,700	669	12	1,077	15
<b>Suficiencia</b>	>1,700	3,091	55	3,494	48
<b>No asignada</b>		241	4	296	4
<b>Total</b>		5,665	100	7,274	100

<sup>1</sup> Las proyecciones sobre escasez de agua se basan en las que hace Naciones Unidas con un crecimiento demográfico bajo o con tendencia a disminuir, y no consideran los efectos de la contaminación y el cambio climático.

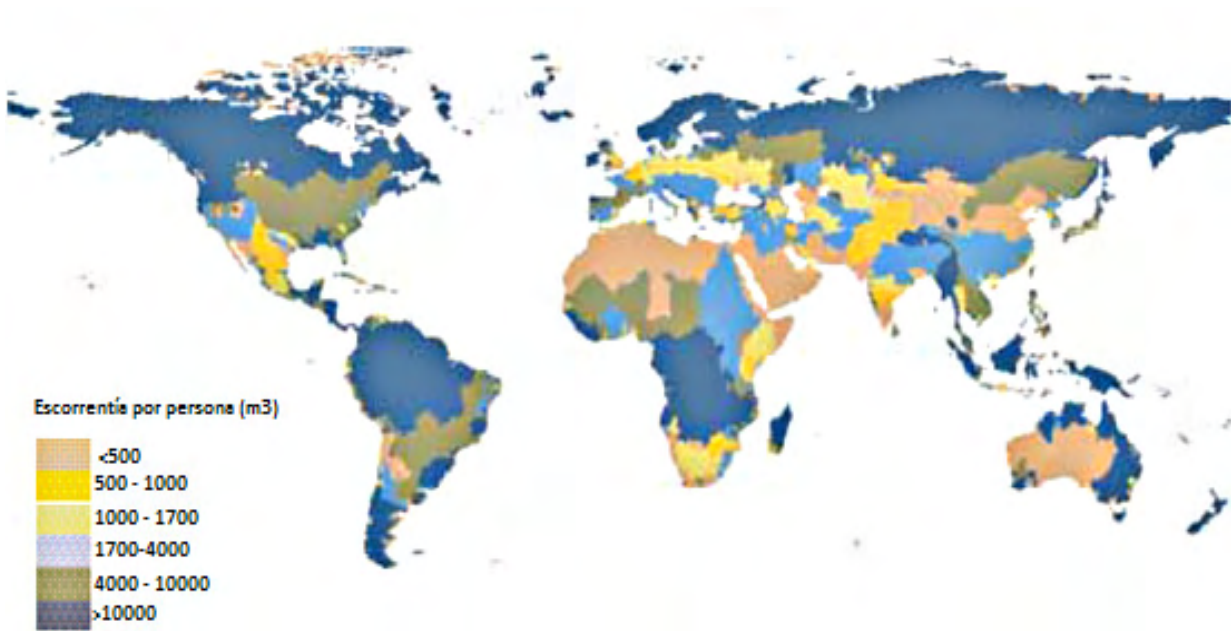


FIGURA Disponibilidad de suministro anual de agua por persona en las cuencas hidrográficas, 1995

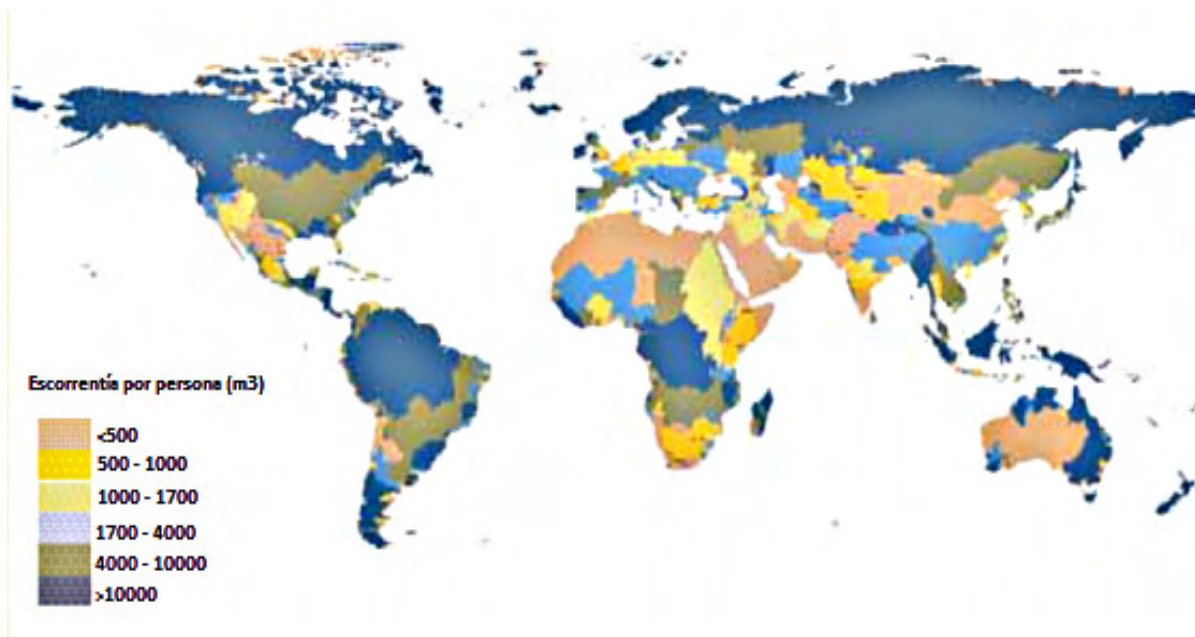


FIGURA Disponibilidad de suministro anual de agua por persona en las cuencas hidrográficas, 2025

Actualmente se retira cerca de una quinta parte del caudal normal (no de crecida) de los ríos del mundo, pero en las cuencas hidrográficas de regiones áridas o muy pobladas la proporción puede ser mayor; pero la preocupación por la escasez no sólo tiene que ver con el agua superficial, sino también con las fuentes subterráneas, de las cuales dependen

más de 1,500 millones de personas y cuyas extracciones anuales oscilan entre los 60 y 700 km<sup>3</sup>/año, es decir, el veinte por cien de los retiros mundiales. La extracción excesiva del agua subterránea también puede privar a arroyos y ríos de un porcentaje importante de su caudal, que al igual que la contaminación con nitratos, plaguicidas y químicos, esto afecta a los ecosistemas adyacentes y el abastecimiento de agua en un futuro.

## La desalinización de agua como alternativa de solución a la demanda de agua potable

La desalación es una técnica muy interesante para todas aquellas zonas donde se dan, simultáneamente, una escasez de agua de calidad y abundancia de agua de mar y/o salobre. Ésta técnica se ha practicado regularmente por más de cincuenta años y es un recurso bien establecido de suministro de agua en muchos países.

Hoy en día es posible, técnica y económicamente, la producción de grandes cantidades de agua de excelente calidad a partir de los procesos de desalinización. Sin embargo los retos aún existen en cuanto a la producción de agua desalada para abastecer grandes comunidades, su continuo crecimiento, desarrollo y salud, así como para una agricultura eficiente, a costos accesibles.

La figura a continuación muestra la evolución del mercado de plantas de desalación, donde se ve claramente el crecimiento exponencial de la capacidad instalada, pasando de cerca de 10 m<sup>3</sup>/s en el año 1960, a 40 m<sup>3</sup>/s en el año 1980, y a casi cinco veces esa cantidad para el año 2000. Así mismo se observa la evolución de las tecnologías de membrana por sobre las térmicas a partir de 1995. Aunque los orígenes de la desalación se remontan al siglo V antes de Jesucristo, no ha sido hasta las últimas décadas cuando esta tecnología ha experimentado un notable desarrollo.

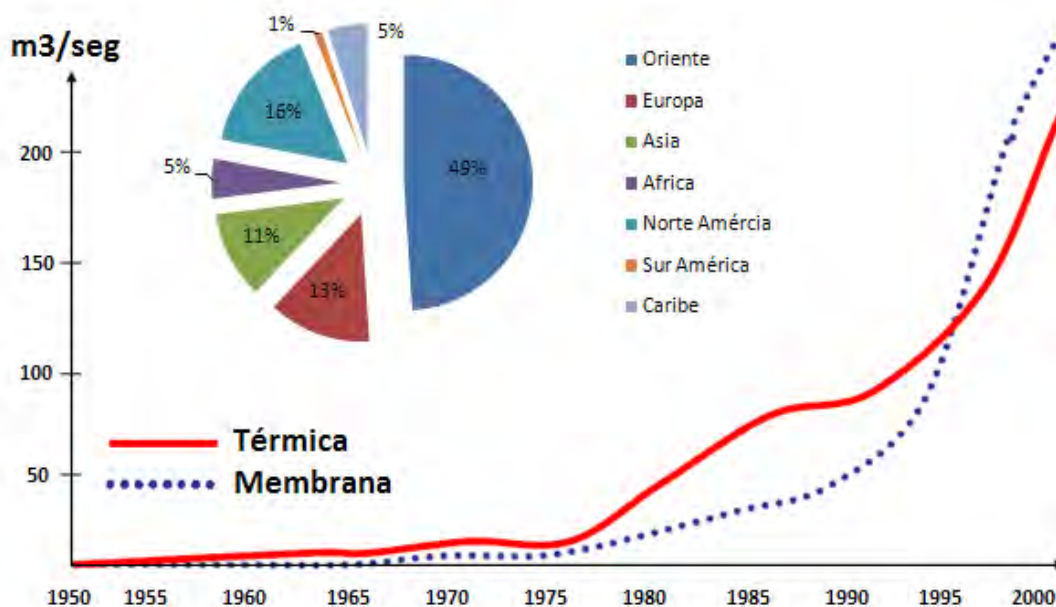


FIGURA Evolución de la capacidad instalada mundial en plantas de desalación

Las cifras reflejadas en la figura engloban tanto las plantas que desalan agua de mar, como las que desalan agua salobre de ríos y/o pozos subterráneos. Hay que decir que en torno al 60% de la capacidad total instalada corresponde a la desalación de agua de mar.

En lo que se refiere a distribución geográfica, la mayor capacidad de desalación se encuentra instalada en Oriente Medio: Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos y Kuwait disponen del 44% de la capacidad mundial total. Sin embargo, el número de plantas instaladas en estos tres países es solo el 22% del total. La explicación a este hecho reside en el gran tamaño de las plantas instaladas en esa zona. Al mismo tiempo, Estados Unidos posee el mayor número de plantas (21% del total) aunque su capacidad es de solo el 15% de la capacidad mundial total, debido al pequeño tamaño que suelen tener las plantas instaladas en ese país.

Considerando la cifra mundial total, cerca del 25% de las unidades desalinizadoras instaladas corresponde al tramo de 100-2,000 m<sup>3</sup>/día, alcanzándose el 56% para plantas menores de 10,000 m<sup>3</sup>/día. El tramo de unidades entre 22,100 y 24,100 m<sup>3</sup>/día alcanza el 14% de la capacidad total.

Las actuales tendencias en cuanto a aplicaciones de desalinización dependen de las características específicas del agua bruta, la disponibilidad de energía, la fecha en la cual la planta fue instalada y el uso final del agua producto.

Son dos las corrientes que han sobrevivido a la crucial evolución de la tecnología en desalación: las técnicas de evaporación y las técnicas de membrana.

Antes del desarrollo de los procesos de membrana, la desalinización se efectuaba principalmente por medio de diferentes variaciones de tecnologías de destilación térmica (entre las cuales se incluyen la evaporación instantánea multi-etápica y la destilación de efectos múltiples). No obstante, para el año 2000, los procesos de membrana ya se utilizaban en el 79% de las 13,600 plantas desalinizadoras que operaban en todo el mundo.

La preferencia por los sistemas de membrana, y específicamente la Ósmosis Inversa (OI), en comparación con otras técnicas se debe en parte al desarrollo de membranas con tasas más altas de recuperación y requerimientos menores de presión en las últimas décadas; aunado esto a que la barrera de los costos se ha roto en los últimos años, y para el 2000



rondaba los 50-80 centavos de dólar por metro cúbico de agua de mar desalada. Ésta tendencia decreciente en los costos continúa.

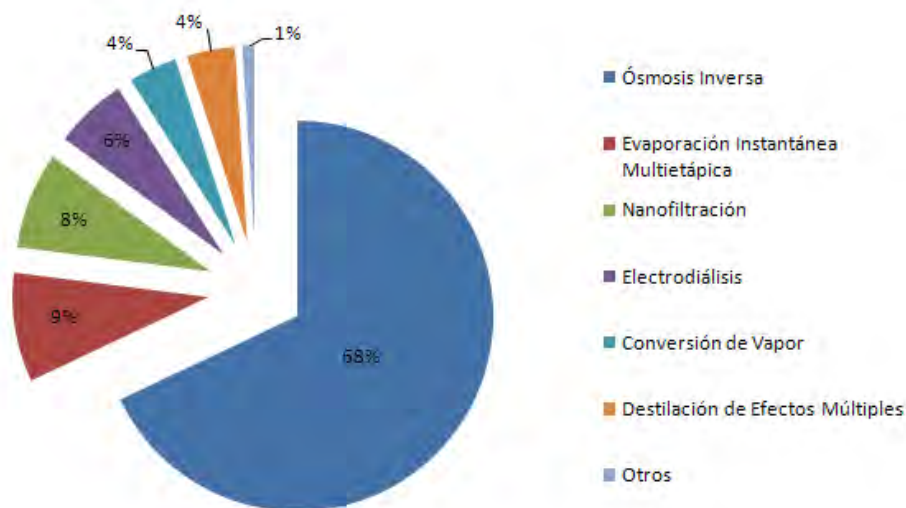


FIGURA Capacidad Tecnológica de Desalinización a Nivel Mundial (2004)<sup>2</sup>

El agua bruta para alimentar la planta desalinizadora varía de una región a otra según el acceso al mar, las reservas de agua subterránea salobre, la habilidad del proveedor de agua para producir y la tecnología disponible en la ubicación específica que se escoja. Por ejemplo, a nivel mundial, el 56% del agua bruta para los procesos de desalación es agua de mar, mientras que en el estado de California (EU) tan sólo representa el 17% del agua bruta para dichos procesos, esto por la disponibilidad de grandes cantidades de agua salobre.

### Consideraciones y limitaciones generales de diseño de una planta desalinizadora

La mínima energía teórica requerida para la desalinización de agua de mar, con una significativa recuperación de agua “fresca”, es un poco mayor a los 3 KJ/Kg. De agua.<sup>3</sup> Aunque se puede llegar a dicho valor por diversos métodos de aproximación es más sencillo pensar que el requerimiento mínimo de energía esta dado por el cambio de energía libre asociado al proceso de disolución de las sales. Este cambio de energía esta ligado a ciertos fenómenos físicos incluyendo la elevación del punto de ebullición, el

<sup>2</sup> Glueckstern 2004

<sup>3</sup> K.S. Spiegler and Y.M. El-Sayed

decremento en la temperatura del punto de congelación y el potencial (presión) osmótica. Asumiendo un proceso donde se recupera agua fresca de una solución salina, es claro que mientras aumenta la recuperación del agua fresca, la solución salina se concentra, elevándose el punto de ebullición como consecuencia. Consecuentemente, mientras la recuperación de agua aumenta, la energía requerida para llevar a cabo la operación deberá aumentar también. La relación entre la recuperación y los requerimientos mínimos teóricos de energía están representados en la figura.

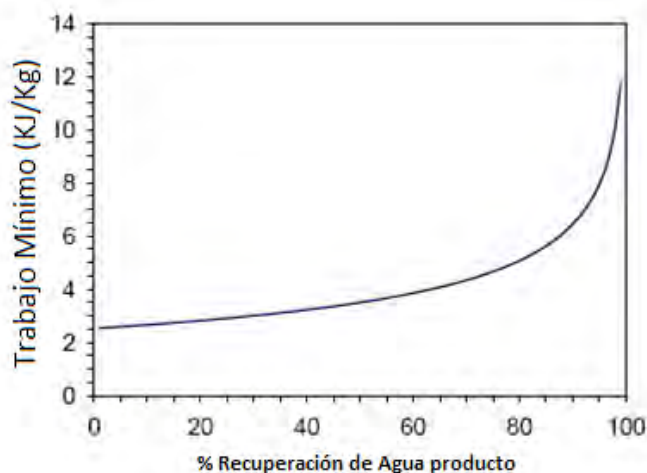


FIGURA Energía mínima teórica para la desalinización de agua de mar como función de la recuperación de agua dulce.<sup>4</sup>

Sabemos de manera práctica que los procesos de desalinización no son capaces de operar con eficiencias perfectas. Por otra parte, las consideraciones de diseño demuestran que los sistemas que operan más cerca de la eficiencia perfecta (cerca de la reversibilidad termodinámica) son grandes en escala (tamaño), y por tanto requieren de mayores costos de inversión. Por el contrario, los procesos que hacen uso de la energía de manera menos eficiente tienden a ser más pequeños y por tanto tenderán a menores costos de inversión.

Para la mayoría de las aplicaciones prácticas existe un sacrificio mutuo entre los costos de inversión y los costos energéticos, que conlleva a un diseño óptimo de la planta, minimizando así el costo del agua producida. En resumen, la mejor opción de diseño para un proceso no necesariamente será la más eficiente energéticamente.

<sup>4</sup> Los cálculos asumen solubilidad infinita de las sales en el agua. La precipitación de cloruro de sodio comienza al 90% de recuperación de agua dulce. K.S. Spiegler and Y.M. El-Sayed

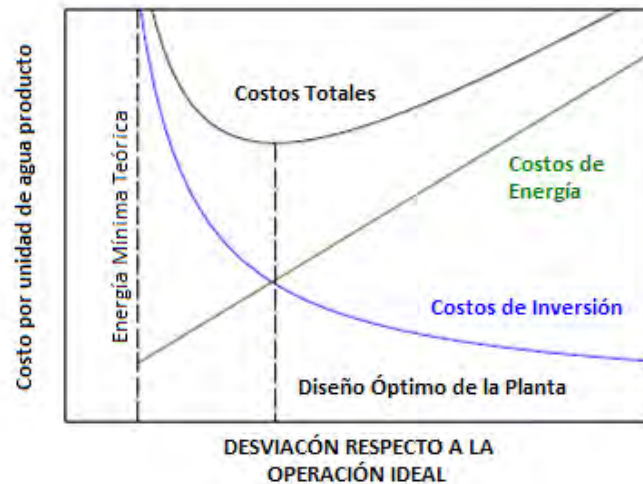


FIGURA Sacrificio mutuo entre costos de inversión y consumo energético para sistemas prácticos de desalinización.

Las tasas de recuperación son una consideración importante en el diseño por muchas razones además del impacto sobre la energía necesaria para la separación. Al incrementarse la tasa de recuperación el potencial de formación de depósitos también se incrementa. Aunado esto al incremento de los requerimientos energéticos, las tendencias se inclinan los diseños hacia los bajos porcentajes de recuperación.

Sin embargo, hay cierto número de factores que por el contrario conducen los diseños hacia la maximización de los porcentajes de recuperación. En primer lugar, dependiendo de la localización de la planta, una cantidad significativa de energía puede ser empleada en el transporte del agua de alimentación a la planta. Como punto siguiente, todo el caudal de entrada, incluyendo el que eventualmente será rechazado, necesitará ser pre-tratado. Por tanto se tiene una justificación económica recuperar tanta agua como sea posible, nacida de la necesidad de minimizar los costes de transporte y pre-tratamiento. Aunado a lo anterior, las pérdidas energéticas y las ineficiencias del proceso tienden a incrementarse con el incremento del agua de rechazo.

Otro factor importante son los costos asociados a la disposición de efluentes. Un buen diseño alcanza un balance perfecto de todos los factores.

La deposición de sales en las superficies de trabajo debida a la concentración de las mismas en el proceso es siempre un factor determinante en el diseño de las plantas desalinizadoras. El ensuciamiento de las superficies de transferencia de calor y/o masa

puede reducir la capacidad y eficiencia del proceso enormemente. Típicamente las sales de calcio, y en particular  $\text{CaSO}_4$  y  $\text{CaCO}_3$ , representan las mayores, pero no únicas, preocupaciones. Al desarrollar un diseño es importante entender la química específica del agua a tratar. Existen numerosas estrategias para evitar la formación de incrustaciones, como pueden ser la limitación de la temperatura de operación, la limitación de recuperación de agua producto para evitar la saturación de la solución original, el pretratamiento químico para alterar la solubilidad o la prevención de incrustaciones, entre otros. En suma, muchos sistemas están diseñados para evitar o en su defecto limitar los ataques por incrustaciones y permiten un mantenimiento fácil y rápido.

Finalmente un criterio de importante consideración en el diseño de un sistema de desalinización es la calidad deseada para el agua producto. Por ejemplo, el agua que será utilizada para la fabricación de un semiconductor tendrá que estar virtualmente libre de impurezas, mientras que los límites de salinidad para el agua potable están entre las 500ppm y las 1000ppm de SDT. La mayoría de los cultivos, por otro lado, requieren de agua con una salinidad menor a las 2000ppm.

Típicamente los procesos de destilación producen agua con una mayor calidad que los procesos de membrana. Los procesos químicos, como el intercambio iónico, suelen utilizarse cuando los requerimientos de pureza son extremadamente altos. Al hacer consideraciones acerca de la calidad del agua deseada, procedente de un proceso de desalinización es necesario considerar el hecho de que probablemente será mezclada con agua procedente de otras fuentes. La calidad del agua procedente de dichas fuentes puede ser tener un efecto relevante en la determinación de la calidad del agua producto de un proceso de desalinización.

## **Beneficios y Riesgos de la Desalinización**

### **Beneficios**

Con frecuencia, las poblaciones costeras ven la desalinización como la solución ideal para asegurar un abastecimiento ilimitado de agua limpia. La tecnología de la desalinización tiene la capacidad de generar un producto de alta calidad mediante la utilización de un mínimo de recursos adicionales a los que se necesitan en el tratamiento convencional para hacer agua potable. Además, la desalinización ofrece el potencial de mejorar la recarga de

las aguas subterráneas y la restauración de ecosistemas porque reduce la demanda sobre fuentes de agua subterráneas y superficiales tales como los acuíferos, ríos y arroyos.

Un beneficio de la desalinización especialmente atractivo para los proveedores de agua es su resistencia a condiciones de sequía. Un abastecimiento confiable, durante todo el año, de agua de alta calidad constituye una justificación sencilla para que las comunidades contemplen la desalinización como un recurso de agua.

La desalinización también es una alternativa poco problemática a ser considerada por comunidades costeras que actualmente no están conectadas a la infraestructura municipal existente. Un beneficio irresistible para dichas comunidades es que pueden comprarles a una gran variedad de fabricantes pequeñas “plantas paquete” para el tratamiento del agua. La desalinización puede brindarle a una comunidad aislada un mayor grado de autonomía y flexibilidad para el crecimiento cuando no dispone de otros recursos de agua.

### Riesgos

Hay muchas maneras en que una planta desalinizadora pueda tener un impacto negativo sobre el medio ambiente circundante; entonces, a fin de minimizar dichos riesgos, es necesario prestar especial atención a cada ubicación potencial antes de construir la planta.

Uno de los impactos más importantes de las actividades de desalinización de agua de mar puede ser en el hábitat marino adyacente a la planta desalinizadora. Potencialmente, la descarga de salmuera como una corriente de desechos desde la planta puede dañar a los organismos marinos al elevar la salinidad hasta niveles insalubres o incluso mortales.

Aparte de la descarga de salmuera, tanto las instalaciones para la toma de agua como la evacuación de los productos químicos usados en el pre-tratamiento y la producción de energía mediante el empleo de combustibles fósiles también representan peligros potenciales para el medio ambiente.

## Principales Técnicas de Desalación

La destilación instantánea multi-etápica es uno de los procedimientos más comunes para la desalinización, encontrándose principalmente en el Golfo pérsico. La capacidad de ésta técnica, antes del 2000, sumaba cerca del 48 % del total de plantas con una capacidad de producción mayor a 4,000 m<sup>3</sup>/día.

Entre otras técnicas de evaporación se encuentra la destilación de efectos múltiples, ya sea con tubos sencillos o dobles, verticales u horizontales. La compresión de vapor es muy popular en ubicaciones remotas, áreas de recreación y descanso, islas, etc. Aunque éstas técnicas no son muy utilizadas, son prometedoras en cuanto a la calidad del agua, la simpleza de la técnica, confiabilidad y eficiencia que ofrecen.

Los procesos de membrana, principalmente la OI, son las técnicas que se desarrollan más rápidamente en la materia de desalinización. Otras membranas, que se mencionan más adelante se utilizan mayoritariamente para el mejoramiento de la calidad del agua.

## Tecnologías Térmicas

El principio fundamental de los procesos térmicos consiste en calentar el agua más allá o cerca de su punto de ebullición, recolectar el vapor y enfriarlo para producir un recurso de agua limpia. Estas técnicas tienden a consumir energía en forma más intensiva y ser menos eficientes que los otros procesos, pero son adecuadas para aplicaciones que generalmente no incluyen al suministro de agua municipal.

Los dos tipos más importantes de tecnologías térmicas son la Evaporación Instantánea Multi-etápica (EIM) y la Destilación de Efectos Múltiples (DEM), como se mencionó anteriormente.

### *Evaporación Instantánea Multi-etápica (EIM)*

Es una de las técnicas más comunes y simples en operación. Ha operado comercialmente por más de treinta años. En la figura se muestra un esquema representativo de una planta EIM.

El agua de mar presurizada fluye a través de tuberías cerradas donde se lleva a cabo una transferencia de calor con el vapor que se condensa en las secciones más altas de las

cámaras flash. Posteriormente el agua se calienta a una alta temperatura inicial, utilizando combustible o vapor externo, lo que permite la evaporación instantánea a lo largo de la parte inferior de las cámaras a presiones reducidas.

El vapor generado fluye a través de un eliminador de rocío para poder entonces entrar en contacto con los tubos de condensación, etapa en la cual el calor del vapor es transferido a la corriente de alimentación. El condensado gotea en los colectores y se bombea fuera del sistema como agua producto. El agua salobre, con una alta concentración de sales se bombea hacia fuera de la planta y se incorpora al mar. Parte de ésta agua es recirculada con la corriente de entrada, para aumentar la eficiencia de recuperación de agua dulce.

La técnica descrita consume grandes cantidades de energía en la forma de calor sensible y energía de bombeo. El aumento de la eficiencia energética es función del número de etapas involucradas, mientras más alta sea la temperatura del agua precalentada de alimentación, mayor eficiencia se habrá tenido en la transferencia de calor con el vapor condensado, así como un mejor aprovechamiento del calor contenido en el agua de producto y el agua salobre; así como del control y prevención de la formación de incrustaciones y escalamiento, la acumulación de gases no condensables, etc.

La corrosión está asociada con las altas temperaturas y la existencia de oxígeno disuelto en el agua, al igual que de la elección de los materiales para las superficies de transferencia de calor.

El proceso no es muy sensible a la concentración inicial del agua de mar, como tampoco lo es a la cantidad de sólidos disueltos, por lo que una filtración simple es suficiente. Ácidos o anti-incrustantes pueden ser añadidos al agua para controlar la precipitación de las incrustaciones. Esta es una importante ventaja sobre otros procesos de destilación ya que las incrustaciones no se precipitan sobre superficies de transferencia de calor, sino dentro de las cámaras. También se hace uso de biocidas para evitar la actividad micro-biológica. La des-aireación es necesaria para remover el oxígeno y promover la reducción en la acumulación de gases no condensables. El pre-tratamiento descrito también es conveniente para otras técnicas de desalinización por destilación.

El producto de ésta técnica tiene la misma ventaja que la mayoría de las técnicas de evaporación: el agua se produce con alrededor de 50 ppm. de sólidos disueltos totales; y es posible obtener agua de mejor calidad, hasta con 10 ppm. de SDT. Sin embargo los

efluentes son agresivos y pueden causar corrosión, por lo que generalmente se mezclan con alguna otra fuente de agua para controlar la concentración de sales y prevenir la corrosión.

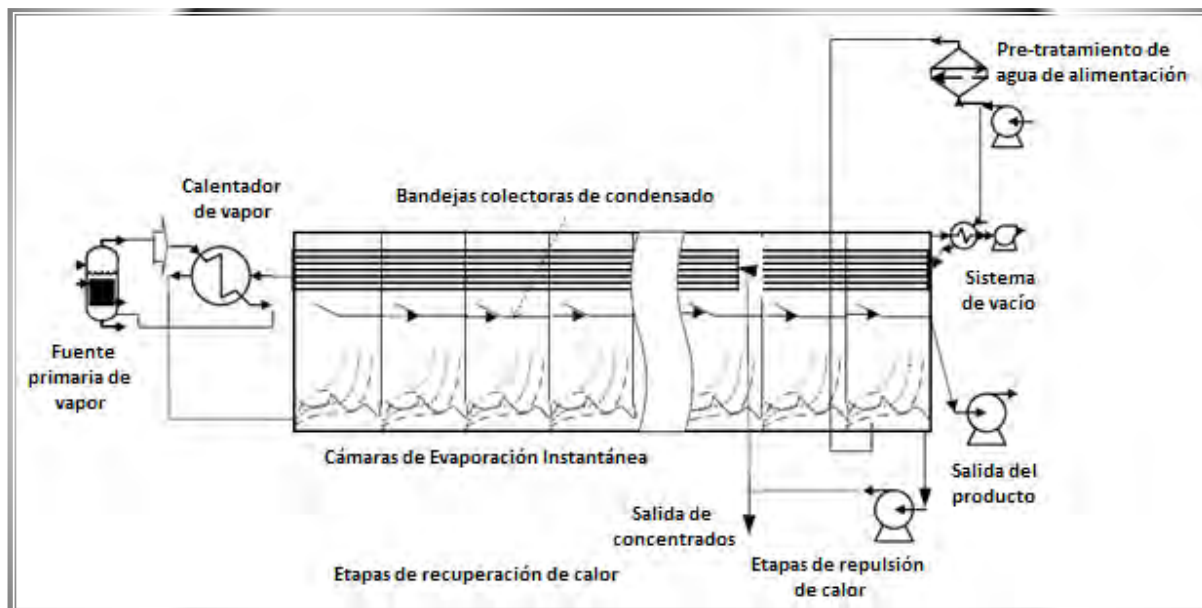


FIGURA Esquema representativo de una planta desalinizadora EIM

### ***Destilación de Efectos Múltiples (DEM)***

El concepto de DEM es común en la industria química ya que ha sido empleado por muchos años en la concentración de soluciones, cristalización, y purificación de soluciones, entre otros. Éste proceso ha sido utilizado en la desalación de agua de mar al menos por 30 años. Básicamente éste método puede utilizar vapor de baja como fuente principal de energía. Los vapores de combustión del carbón u otros combustibles, así como el vapor que emerge de la salida de una planta de energía eléctrica operada con vapor también pueden ser utilizados como fuentes de energía.

El vapor primario se emplea en la evaporación de agua de mar precalentada, así como para la generación de vapor a menor presión, mientras que el condensado se conduce a la cámara de generación, o al generador de vapor de la planta de energía eléctrica. El vapor secundario generado, se emplea en una segunda etapa, donde al ser condensado se aprovecha su calor latente para precalentar el agua de mar, goteando después sobre una película de captura. El proceso se repite tantas veces como lo permita el diseño, entre las temperaturas máxima y mínima de enfriamiento, las cuales dependen del agua de mar.



El condensado se acumula como agua producto, mientras una bomba de vacío saca el vapor remanente para mantener el gradiente de presión dentro del recipiente.

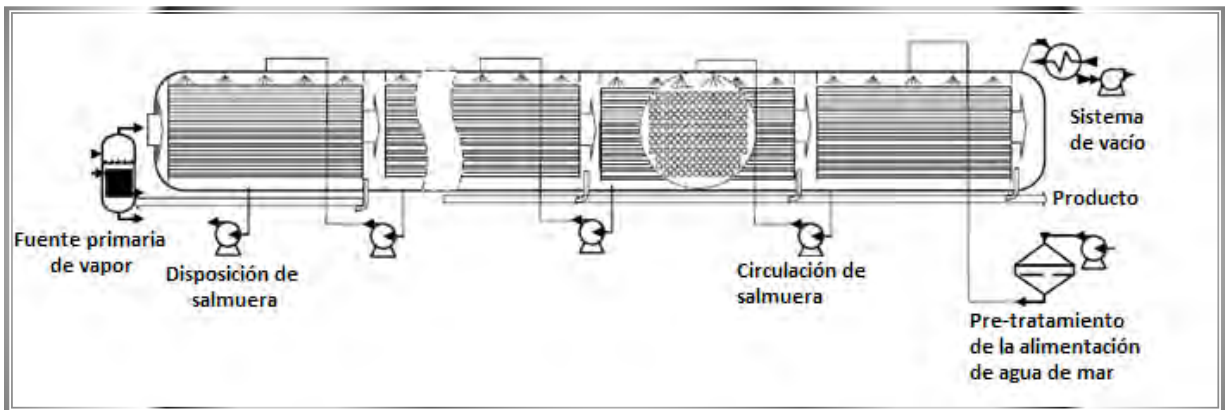
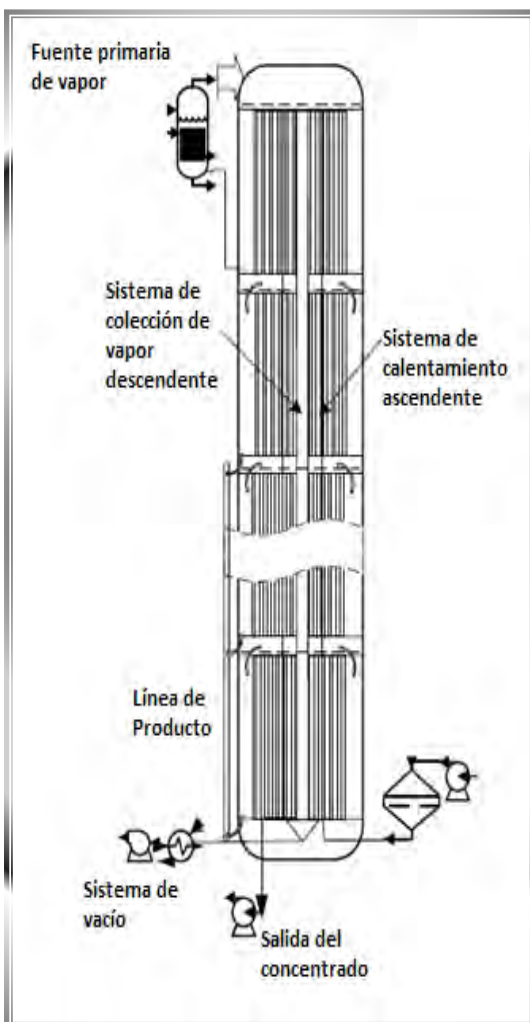


FIGURA Esquema de una planta DEM horizontal



La DEM opera tanto en tubos horizontales como en verticales, donde el vapor se condensa de un lado de la superficie de transferencia y el agua de mar se evapora del otro lado. Se utiliza un mecanismo de transferencia de calor de doble capa para evaporación-condensación que es altamente efectivo. Usualmente se manejan de 8 a 16 etapas en estas operaciones, lo cual permite un buen desempeño, siendo una relación de toneladas de agua producidas por tonelada de vapor inicial. La relación puede ser hasta de 15, mientras que la de EIM está limitada a 10.

FIGURA Esquema de una planta DEM vertical

Otro diseño está basado en 30 etapas verticales de tubos estriados, localizados en el interior de una torre de concreto. El agua de mar se evapora por dentro de los tubos; al ir descendiendo el vapor se condensa en la parte externa de los tubos. El agua de alimentación se bombea hacia arriba, usando una bomba, en una

sección diferente donde el vapor se utiliza para calentar el agua mientras asciende. La temperatura más alta se obtiene de la misma manera que en el EIM, utilizando energía externa. El uso de la mejor combinación de materiales para altas y bajas temperaturas, aunado al bajo costo de los tubos estriados de aluminio, puede reducir considerablemente el área necesaria para la transferencia de calor y los problemas de corrosión.

Los diseñadores alegan la posibilidad de producir agua potable a un costo de 0.5 dólares por metro cúbico, manteniendo la relación de desempeño tan alta como 24.

El número de etapas es esencial para la mejor utilización de la energía. En los casos donde se disponga de calor más económico a más bajas temperaturas, la optimización de las condiciones de operación puede desembocar en un número menor de etapas. La operación a bajas temperaturas provee la capacidad de utilizar materiales de menor precio, sin arriesgarse a problemas severos de corrosión, mejorando al mismo tiempo la confiabilidad de la planta.

La eficiencia del proceso se ve limitada por los altos puntos de ebullición de las soluciones concentradas. Al contrario de lo que sucedía en el EIM, ésta técnica utiliza calor latente para la producción de calor latente secundario en cada sección, por lo que la eficiencia que es posible obtener por unidad de agua de alimentación es esencialmente mayor.

Puesto que consumen una gran cantidad de energía por litro de agua producto, estas tecnologías rara vez son utilizadas para producir una oferta de agua potable a nivel municipal.

No obstante, todavía se usan procesos térmicos en industrias que requieren de un suministro de agua muy pura, pues pueden producir agua con un contenido de sal mucho menor que los sistemas de membrana, normalmente de menos de 25 ppm. en promedio.<sup>5</sup> Las concentraciones de sólidos disueltos totales (SDT) de alrededor de 500 ppm. normalmente son aceptables para el agua potable, de modo que las eficiencias adicionales de eliminación de sales ofrecidas por los procesos térmicos no justificarían los mayores costos de operación para ampliar el suministro de agua potable.

---

<sup>5</sup> U.S. Bureau of Reclamation 2003

## Tecnologías Mecánicas

Aparte de los procesos térmicos, se ha recurrido a procesos mecánicos para desalinizar el agua de mar. De éstos, el más común es la compresión de vapor (CV).

Con frecuencia, ésta tecnología se utiliza en combinación con las tecnologías térmicas para incrementar las eficiencias en el proceso térmico. Pero la CV también es empleada a menudo en áreas remotas para aplicaciones pequeñas, tales como lugares de vacaciones o procesos industriales pequeños.

### *Compresión de Vapor (CV)*

El mecanismo principal es similar al DEM, excepto que esta basado en la compresión del vapor generado por medio de la evaporación del agua a una presión mayor; lo cual permite la reutilización del vapor para fines de calentamiento en el proceso. La CV puede ser llevada a cabo mediante el uso de un compresor mecánico (método más común), o por medio del mezclado con cantidades pequeñas de vapor de alta (compresión Térmica).

El agua de alimentación se precalienta con la salmuera y el agua productos del proceso. La transferencia de calor toma lugar en la forma de una capa de doble caída, que es un método bastante efectivo. El calor latente del vapor de condensación es utilizado para producir más vapor del otro lado de la película de transferencia, de tal manera que la mayor cantidad de energía requerida sea para elevar la presión y proporcionar la fuerza impulsora por una diferencia de temperaturas.

Generalmente el proceso se lleva a cabo de una a tres etapas, así la temperatura de operación puede ser escogida para la mejor optimización del proceso. No se requiere energía térmica externa para el compresor mecánico, así que básicamente la técnica depende de la fuente de energía eléctrica. Parte del agua se recircula para elevar la eficiencia de la recuperación.

La compresión de vapor está considerada como el proceso más eficiente de desalinización por destilación. La habilidad para operar a bajas temperaturas hace posible el uso de metales como aluminio, prácticamente libre de corrosión y a salvo de la formación de incrustaciones. Las unidades de CV más grandes a nivel mundial pueden producir alrededor de 5000 m<sup>3</sup>/día de agua desalada. El uso de energía eléctrica hace de ésta una técnica compatible con cualquier otro proceso de desalinización, como una operación

híbrida para el mejor aprovechamiento del consumo energético. Un compresor moderno, presenta eficiencias hasta del 80 por cien. La calidad del producto es similar a la de otras técnicas de evaporación y ésta técnica también puede ser utilizada para la remoción parcial de sales que se encuentran en el límite de saturación en caso de tener bajos incrementos en el punto de ebullición.

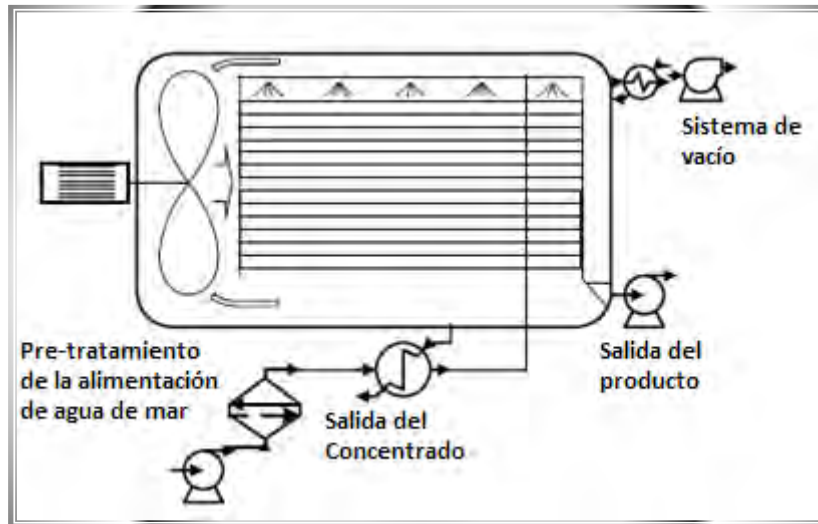


FIGURA Esquema de una unidad horizontal de desalinización por CV

### Tecnologías Potenciales

En un intento de reducir los costos de energía y de minimizar los problemas de eliminación de la salmuera, se están desarrollando varias tecnologías más para la desalinización de agua de mar y agua salobre. A continuación se enumeran tecnologías notables que son apropiadas para la desalinización de agua de mar, si bien todavía no están perfeccionadas para el uso a gran escala.

**Separación por congelación:** El agua bruta es congelada para separar los cristales de hielo de los de sal.

**Intercambio de iones:** Se pasa el agua bruta a través de columnas de resinas que quitan los iones no deseables, basado en la preferencia de la resina en cuestión por ciertos iones.

**Destilación con membranas:** Aquí se combinan los conceptos de los procesos térmicos y de membrana para eliminar las sales.

Evaporación por rocío rápido: Se rocía el agua bruta a alta velocidad a través de boquillas vaporizadoras para separar las sales del agua.

Congelación con hidratos: Una mezcla de vapor/gas de agua de mar se enfría y posteriormente los hidratos que se forman son separados de la salmuera.

### **Tecnologías de Membrana**

La Osmosis Inversa (OI) y la Nano-filtración (NF) son procesos de membrana similares, impulsados por presión, que se utilizan en la desalinización de agua. Las membranas de NF generalmente funcionan a presiones menores que las de OI y por lo regular son usadas para aplicaciones de agua salobre. Las membranas de OI son empleadas normalmente en la desalinización de agua de mar debido a su mayor capacidad para rechazar la sal en comparación con las de NF. Los principios fundamentales de ambas tecnologías consisten en separar la sal del agua cuando el agua de alimentación entra en contacto con una membrana a presiones altas.

Los procesos de membrana han ido ganando terreno en lo que concierne a calidad del agua, recuperación de aguas residuales y acondicionamiento de soluciones de desecho de limpieza industrial.

### ***Electro-diálisis (ED)***

La electro-diálisis es uno de los procesos de desalinización que no requieren de un cambio de fase. Este tipo de plantas se basan en el hecho de que si se hace circular por una solución iónica una corriente continua, los iones cargados positivamente (cationes) se desplazan en dirección al electrodo negativo o Cátodo. Del mismo modo, los iones cargados negativamente (aniones) se desplazan hacia el electrodo positivo o Ánodo.

Por lo tanto, si entre el Ánodo y el Cátodo colocamos un par de membranas semipermeables, una de las cuales es permeable a los cationes y la otra lo es a los aniones, se ira paulatinamente formando una zona de baja salinidad entre las dos membranas.

Aunque el proceso de la electro-diálisis es conocido desde comienzos del siglo pasado, las membranas primitivas solo eran parcialmente selectivas. Fue a partir de 1.940 cuando la

fabricación de nuevas membranas permitió la implantación comercial de este tipo de plantas para desalinizar aguas de baja salinidad.

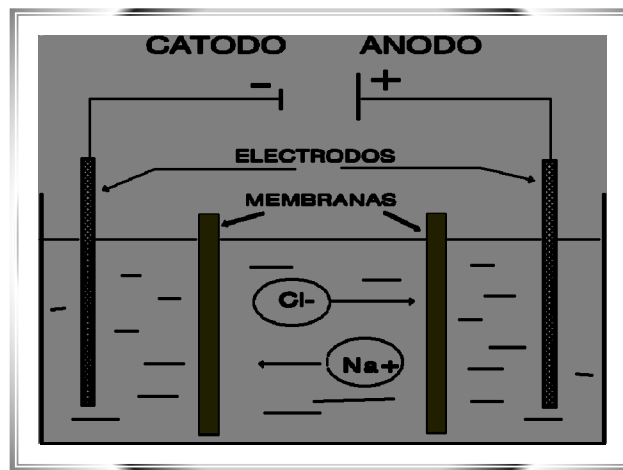
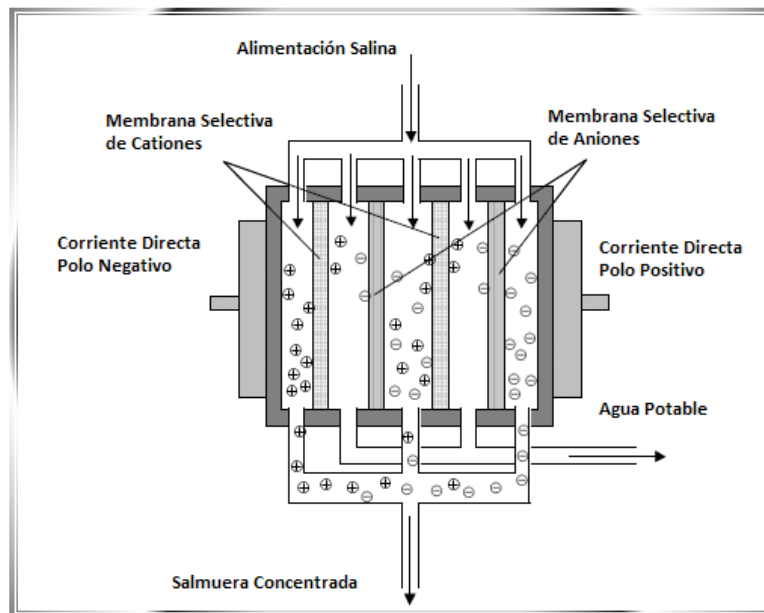


FIGURA Principio (arriba) y proceso (abajo) de electro-diálisis



Por lo regular, la ED no es costo-efectiva en cuanto a la eliminación de concentraciones salinas mayores de 4,000 mg/l; el agua de mar del Océano Pacífico tiene, en promedio, 35,000mg/l). De esta manera, a menos que se puedan encontrar fuentes de agua salobre de baja salinidad, es poco probable que sea una tecnología adecuada para una planta desalinizadora.

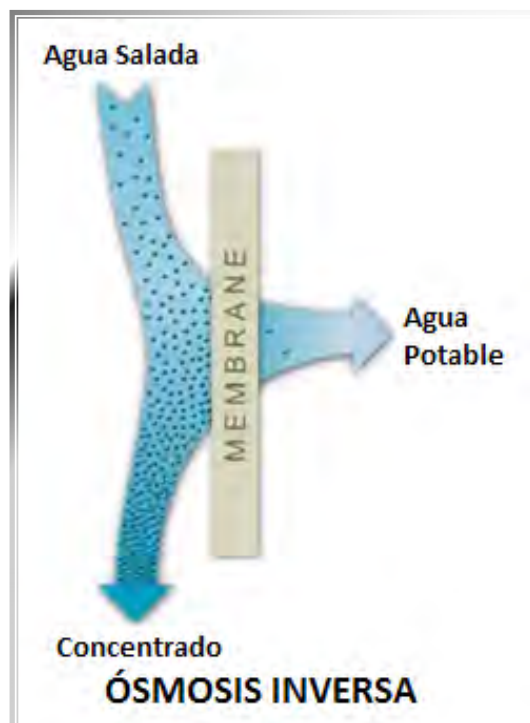
### Ósmosis Inversa (OI)

La ósmosis inversa ha sido considerada como la técnica más prometedora para la desalinización de agua salobre y de mar. Ésta técnica utiliza presión dinámica para superar la presión osmótica de una solución salina, causando de esa manera el permeado selectivo del agua, del lado salino de la membrana al lado desalado de la membrana. Las sales son rechazadas por la membrana y por tanto, la separación es posible.

Las membranas que se utilizan para la OI son láminas poliméricas semi-permeables adheridas a una gruesa capa soporte; generalmente compuestas por acetatos de celulosa, poli-amidas, TFC y polisulfonas y se dividen en simétricas, asimétricas y delgadas membranas compuestas. Las membranas son sensibles a cambios en el pH, a pequeñas cantidades de sustancias oxidadas como cloro y sus óxidos, a una gran variedad de materiales orgánicos y a la presencia de agua y bacterias; por lo que el pre-tratamiento cuidadoso del agua de alimentación es necesario para prevenir la contaminación de las mismas. El tratamiento consiste en una pre-filtración, para remover sólidos suspendidos; adición de ácido (hidroclórico o sulfúrico) para remover iones bicarbonato; aireación, para la remoción de dióxido de carbono y filtración por carbón activado para remover materiales orgánicos y compuestos clorados. Así mismo se añade una variedad de anti-incrustantes para evitar la precipitación de sales disueltas debido al aumento en la concentración de las mismas. Algunos compuestos efectivos para ésta tarea son:  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{SrSO}_4$ ,  $\text{BaCO}_3$ , pero no son tan eficientes en los casos de precipitación de sílice.

Para permitir el mejor ratio entre el área de membrana y el volumen de operación, se manejan dos diseños para los recipientes de presión: membranas en espiral y de fibra hueca.

El proceso de desalinización por ósmosis inversa se lleva a cabo a temperatura ambiente. La energía eléctrica que se requiere es para el bombeo del agua a una presión de operación relativamente alta. El uso de turbinas especiales puede recuperar parte de esa



energía. Las presiones de operación varían entre 10 y 25 bares para agua salobre y entre 50 y 80 bares para agua de mar. Ésta alta presión es necesaria para conseguir la permeabilidad suficiente a concentraciones relativamente altas de la salmuera a lo largo del eje dentro del recipiente a presión.

La eficiencia del proceso puede ser tan alta como 90 o 95 por cien, para el caso del agua salobre y más baja, del orden de 35 a 50 por cien, para el caso del agua de mar. Éste porcentaje se aminora en lugares que cuentan con mar relativamente “cerrado” como es el caso del Mar Rojo o el Golfo Pérsico.

Los incrementos en la temperatura del agua hasta el límite de la membrana, también incrementan el flux a través de ellas, por lo que se puede buscar el aumento en la eficiencia de la planta utilizando agua de mar a altas temperaturas producto del enfriamiento de alguna planta de energética grande.

La calidad del agua producto depende de las propiedades de repulsión de la membrana, el grado de recuperación del agua y del diseño apropiado del sistema. Algunas moléculas relativamente pequeñas, como son el dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, sílice y ácido bórico pueden penetrar las membranas y contaminar el agua producto. Estos problemas se pueden resolver mediante la aireación, la utilización de un intercambiador iónico y/o el mezclado del agua para diluir la concentración de contaminantes. Algunos compuestos orgánicos disueltos en el agua de alimentación también pueden hacerse camino al agua producto.

La calidad del agua producto es buena, obviamente depende de calidad del agua de alimentación, si es agua salobre o agua de mar; y el contenido de sales puede variar entre 100 y 500 ppm. de TDS, cantidad que puede ser reducida acoplando una segunda etapa de purificación, lo cual eleva los costos significativamente. Sin embargo, podría ser útil en caso de requerir agua de ultra-pureza.

La técnica de ósmosis inversa es principalmente utilizada por pequeñas y grandes plantas desalinizadoras, y puede ser fácilmente acoplada a otras tecnologías de desalinización térmica para una producción de agua más eficiente.



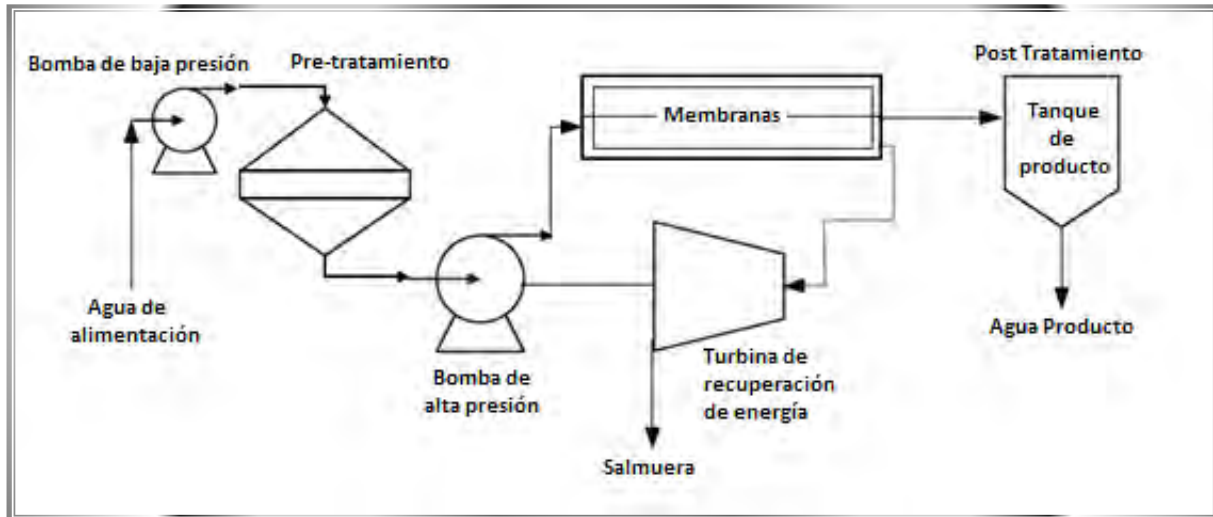
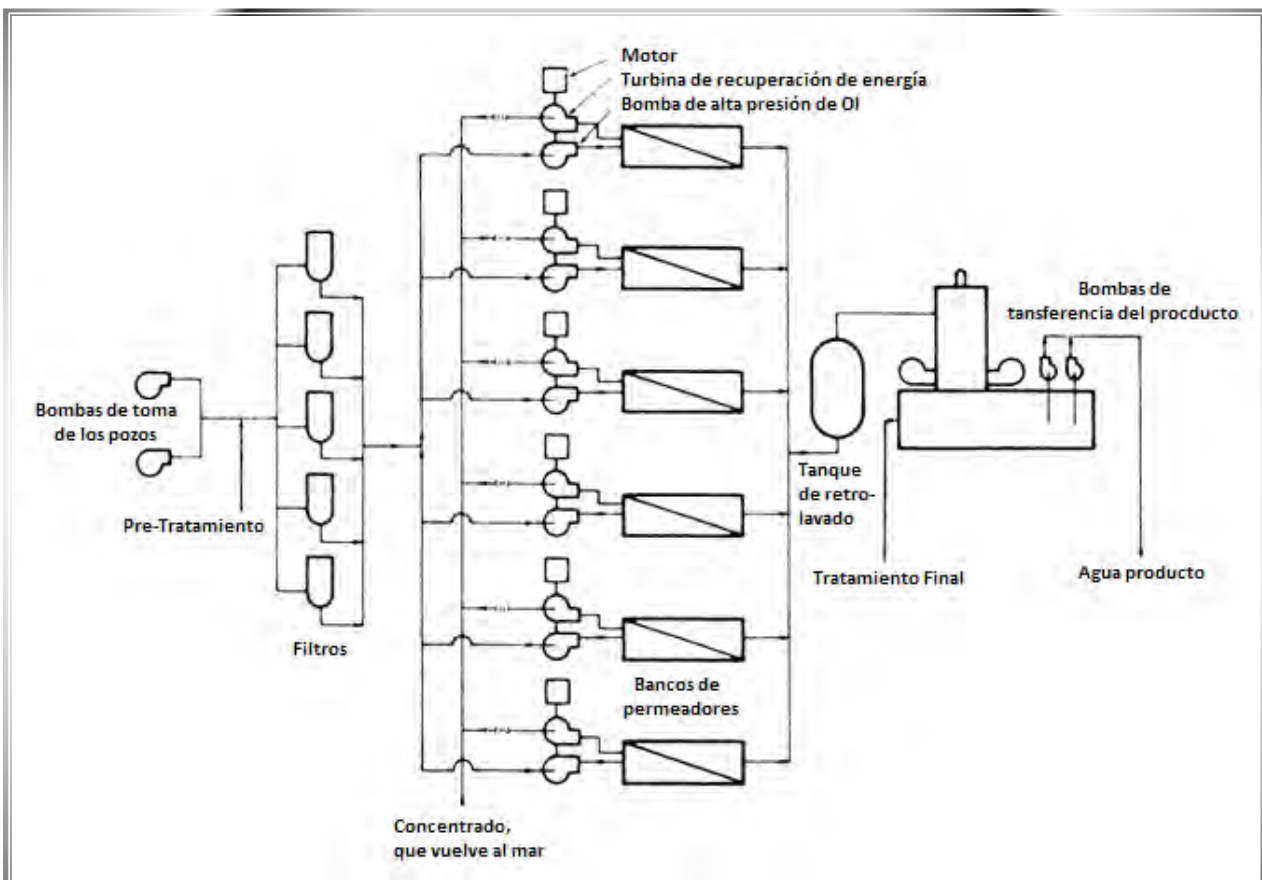


FIGURA Representación esquemática (arriba) y típica (abajo) de una planta desalinizadora por Osmosis Inversa



### *Nano-Filtración (NF), Ultra-filtración (UF), Micro-Filtración (MF)*<sup>6</sup>

Las membranas de nano-filtración se utilizan para la remoción parcial de sales pesadas en el agua. Las membranas de NF generalmente no son idóneas para la desalinización de agua de mar, pero sí pueden funcionar como una alternativa costo-efectiva para la OI si existen condiciones de agua salobre. Los principios esenciales de la NF son los mismos que en el caso de la OI. Empero, las membranas de NF tienen una menor capacidad de rechazo de sal que las de OI. Los costos de operación son menores, principalmente porque las membranas de NF requieren de presiones de operación más bajas.

La Ultra-Filtración es la solución más moderna para la remoción de los virae y bacterias del agua. Las membranas de Micro-Filtración se utilizan para remover sólidos suspendidos y pueden proporcionar protección contra Giardia y Cryptosporidium, así como la mayoría de los virae.

Algunas de las técnicas mencionadas se utilizan como pre-tratamiento de aguas contaminadas antes de la desalinización por ósmosis inversa.

---

<sup>6</sup> Gagliardo et al., 1998; Johnson et al., 1997

## Evaluación Tecnológica

### Requerimientos energéticos de la desalinización

En la tabla a continuación se presenta una compilación de datos, de diversas fuentes, sobre los consumos energéticos para cada uno de los principales procesos de desalinización. Aunque el proceso más eficiente no es siempre el mejor diseño en cuanto a costo-efectividad, los datos a continuación permiten establecer comparaciones entre las diferentes técnicas. Como punto de referencia (benchmark) hay que recordar que la energía mínima teórica requerida para desalar agua de mar varía entre 3 y 7 KJ/Kg en el rango de recuperaciones prácticas. Cabe destacar que en la tabla, los requerimientos energéticos para los procesos térmicos (EIM, DEM y CV) son virtualmente independientes de la concentración de sales, mientras que los requerimientos energéticos para los procesos de membrana son altamente dependientes de la concentración. Por ésta razón, se proporciona información tanto para tratamiento de aguas salobres y aguas de mar vía osmosis inversa. La ED es económicamente aplicable tan sólo a la desalinización de aguas salobres, como se ve reflejado en la tabla.

TABLA Requerimientos energéticos en los procesos de desalinización (KWh/m<sup>3</sup>)<sup>7</sup>

Ref.	EIM		DEM		CV		OI (Agua de Mar)		OI (Agua Salobre)	ED (Agua Salobre)
<b>A</b>	83.06						16.94			
<b>B</b>	26.39						4.17	7.78		
<b>C</b>	63.89						7.50			
<b>D</b>	80.56				27.78	33.33	6.39	8.33		1.11
<b>E</b>	60.00	80.00					5.00	6.11	3.06	
<b>F</b>					6.94	11.94	3.06			
<b>G</b>					8.06	10.83	4.17	7.78		
<b>H</b>	26.39	70.00	29.72	36.67	6.11	8.06				
<b>I</b>					3.89	8.06				
<b>J</b>					6.11	16.11				
<b>K</b>					7.22					
<b>L</b>					10.28	11.11				

<sup>7</sup> Las referencias para cada inciso están en el Apéndice A correspondiente a éste capítulo.

<b>M</b>	26.39	76.39		
<b>N</b>	42.22			
<b>O</b>			0.11	0.50
<b>P</b>		2.39		
<b>Q</b>		3.89	5.56	
<b>R</b>		3.89		2.00
<b>S</b>		5.00	6.67	

Los valores reportados en la tabla, para cualquier proceso, presentan grandes variaciones, resultado de factores como las diferencias en tamaño, configuración de las unidades, avances tecnológicos y la calidad del agua de alimentación que esta siendo tratada, así como variaciones en las consideraciones para los cálculos.

A pesar de las variaciones, la tabla revela que de los procesos térmicos la EIM es la que consume la mayor cantidad de energía, seguida por los procesos DEM o DEM híbridos, y finalmente los procesos de CV. Ninguno de estos procesos se comporta particularmente bien cuando comparados con los valores mínimos teóricos. El consumo de energía del EIM, por mucho la tecnología térmica más utilizada, es al menos 30 veces el mínimo teórico. La OI es una tecnología nueva (aproximadamente 30 años) que ha implementado notables mejoras en la recuperación de energía, consumiendo entre 1 y 6 veces el mínimo teórico. Esto es un indicador que la OI se encuentra más cerca de ser termodinámicamente reversible que los procesos de destilación. Es importante considerar que la OI consume energía en forma de electricidad, mientras que la EIM consume calor (o combustible) más directamente. La conversión de energía térmica a energía eléctrica tiene una eficiencia alrededor del 35%, por tanto, en base a combustible la ósmosis inversa consume entre 5 y 20 veces la energía mínima teórica requerida.

## Costos de la desalinización

### Costos reportados

La tabla siguiente presenta una compilación de costos, reportados en la literatura, para el agua producto de cada uno de los principales métodos de desalinización. Inherentemente, los costos son más variables e inciertos que los consumos energéticos. Una primera razón

es que los costos, energéticos particularmente, varían enormemente con el tiempo, la geografía y, para el caso de la OI y ED, la concentración. Otros factores, como la calidad del agua, determinan el grado de pre-tratamiento necesario, y por tanto su costo. Los costos de transporte, bombeo y disposición de efluentes variaran acorde a la localización de la planta. El tamaño de la planta es un factor crítico; y los costos de inversión pueden verse afectados aún por los intereses del gobierno en proporcionar financiamientos o subsidios.

Complicando más las cosas, no hay un estándar para calcular y reportar los costos del agua. Algunos autores han optado por ignorar los costos de inversión, otros incluyen todos los costos, hasta los de distribución y algunos otros reportan los costos de diseño, que no reflejan los costos de operación involucrados. Estos y otros factores nos indican que los valores reportados en la tabla deben ser considerados como rústicas aproximaciones dentro del contexto propio. Se debe considerar que estos valores serán más razonablemente aplicables en áreas pobladas o industrializadas, mientras que para áreas menos desarrolladas los costos serán más elevados.

Debido a la variación geográfica, las influencias de las políticas públicas y del gobierno, la calidad del agua y otros factores, el precio que los consumidores pagan por el agua varía de acuerdo a la ubicación, uso y cantidad. Es de considerarse que los precios que pagan los consumidores no reflejan adecuadamente el costo de producción y distribución del agua y casi nunca refleja los costos de oportunidad o inesperados. Por tanto, es difícil proveer un punto de referencia para el costo (o hasta para el precio) del agua potable proporcionada por las fuentes tradicionales de abastecimiento.

TABLA Costos de desalinización (USD/m<sup>3</sup> de agua potable)<sup>8</sup>

Ref.	EIM		DEM		CV		OI (Agua de Mar)		OI (Agua Salobre)		ED (Agua Salobre)
<b>A</b>	1.10	1.50	0.46	0.85	0.87	0.92	0.45	0.92	0.20	0.35	
<b>B</b>	0.80		0.45				0.72	0.93			
<b>C</b>	0.89		0.27	0.56			0.68				
<b>D</b>	0.70	0.75					0.45	0.85	0.25	0.60	
<b>E</b>							1.54		0.35		
<b>F</b>							1.50		0.37	0.70	0.58

<sup>8</sup> Las referencias para cada inciso están en el Apéndice B correspondiente a éste capítulo.

<b>G</b>	1.31	5.36		1.54	6.56		
<b>H</b>		1.86	1.49				
<b>I</b>			1.35		1.06		
<b>J</b>					1.25		
<b>K</b>	1.22						
<b>L</b>						0.18	0.56
<b>M</b>			0.46				
<b>N</b>					1.18		
<b>O</b>		1.17					
<b>P</b>			0.99	1.21			
<b>Q</b>					0.55	0.80	0.25 0.28
<b>R</b>					0.59	1.62	
<b>S</b>					1.38	1.51	
<b>T</b>					0.55	0.63	
<b>U</b>					0.70	0.80	
<b>V</b>							0.27
<b>W</b>					0.52		

La tabla ilustra claramente que la OI tiene una ventaja significativa cuando se trata de la desalinización de aguas salobre. Para la desalinización de agua de mar la OI presenta una ventaja significativa sobre la EIM, sin embargo la diferencia no es tan clara cuando se compara con la DEM. La amplia aceptación y aplicación de la OI le proporciona una mayor credibilidad a los estimados de los costos para este proceso y parece generalmente aceptado que la OI se puede llevar a cabo con costos cercanos a los 0.5USD/m<sup>3</sup>. En contraste, aunque su aceptación ha ido aumentando con el tiempo, las plantas DEM son poco comunes, presentan grandes variaciones en diseño y su desempeño no ha sido comprobado a grandes escalas. Es por ello que las comparaciones con la OI aún se analizan con cierto recelo, que sin duda se verá acrecentado por las mejoras en recuperación de energía que presentan los sistemas de OI actualmente.

El agua producida por desalinización, como se mencionó anteriormente, se mezcla con agua potable de otras fuentes antes de su distribución. De lo anterior se derivan dos impactos notables. En primer lugar, las especificaciones para los procesos pueden verse relajadas ya que el agua producto se diluirá con agua de otras fuentes. Una separación menos escrupulosa puede ser aceptable, viéndose favorecidos así los procesos de membrana. El segundo impacto se presenta en el costo global del agua al consumidor. Mientras el agua producto de un proceso de desalinización puede ser mas costosa que el agua proveniente de otras fuentes, el precio que deberá pagar el consumidor tan sólo se verá incrementado en la proporción en que el agua producto de la desalinización

contribuya al caudal total de abastecimiento. De ésta manera el precio total que deberá pagar el consumidor se afecta de manera más tenue.

### Componentes de mayor costo

Para poder entender como minimizar los costos de desalinización, primero se deben entender los factores que contribuyen al costo. Ya que es claro que los procesos de OI y DEM son los que cuentan con los costos más favorables y el menor consumo de energía por lo que la comparación, a partir de este momento se centralizará en éstas tecnologías.

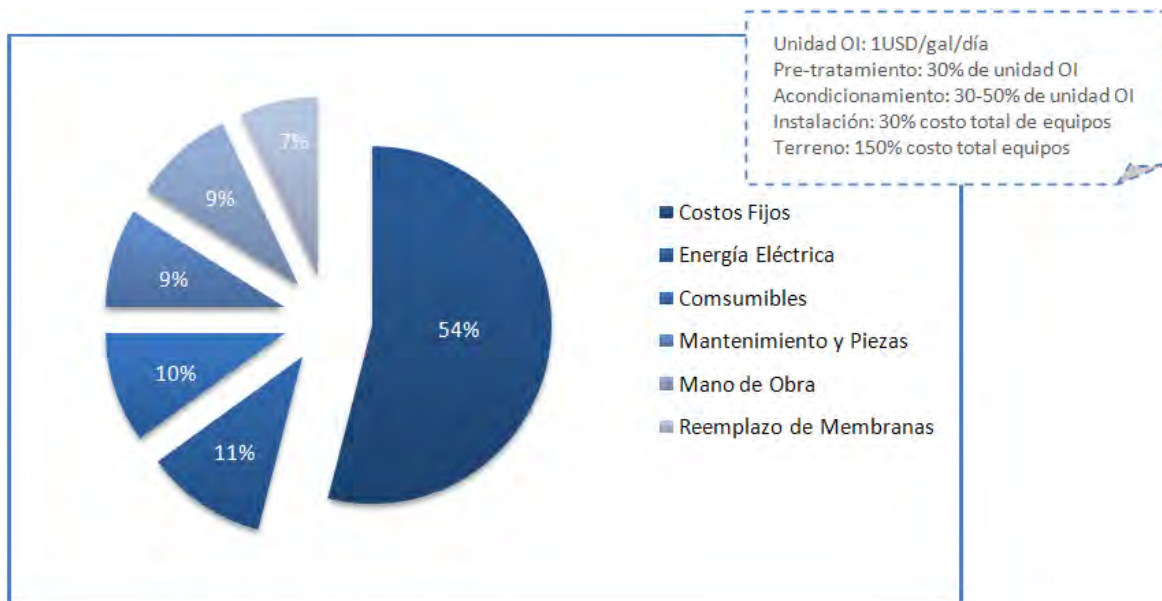


FIGURA Desglose de costos para la desalinización de agua salobre<sup>9</sup>

En la figura se cuantifica la contribución de diversos factores al costo total de la desalinización de agua salobre. Más de la mitad del costo está ligado a la inversión necesaria para la construcción de la planta. La porción restante está repartida entre diversos costos de operación. Como se indicó anteriormente los costos de desalinización de agua salobre son muy bajos, viéndose reflejado en el hecho de que tan sólo el 11% del costo total puede ser ligado al requerimiento energético. La categoría de consumibles incluye todos los químicos que se utilizan para el pre-tratamiento y post-tratamiento del agua. El mantenimiento de la planta, incluyendo el reemplazo de las membranas cada 3

<sup>9</sup> G.A. Pittner

años aproximadamente, representa el 16% del costo del agua. La mano de obra representa el 9% restante.

La conclusión de éste análisis es que, además de los costos fijos, cualquier mejora en alguno de los aspectos de operación de la planta, afectará en menos de un 10% al costo global de la desalinización de agua salobre por ósmosis inversa.

La figura muestra un desglose aproximado de los costos fijos para una planta de ósmosis inversa. Las unidades de osmosis inversa y componentes asociados pueden ser adquiridos por cerca de 1USD/gal/día. Las otras unidades de proceso suman entre 0.60 y 0.80 USD/gal/día. La compra del terreno y la instalación del equipo suman cerca de 3USD/gal/día para un total de entre 4.50 y 5.00 USD/gal/día o bien 1188-1320 USD/m<sup>3</sup>/día. Dejando de fuera la compra del terrero para la construcción de la planta, la contribución más alta a la inversión es el costo de la unidad de ósmosis, que contribuye con cerca del 20% de la inversión, pero menos del 11% del costo total.

Aunque éste análisis indica que dentro de los costos de inversión no hay algún factor que pueda ser optimizado para impactar de manera importante el costo total de la desalinización, mejoras constantes se llevan a cabo contribuyendo a mejorar la economía del proceso. Tal es el caso de las mejoras en la tecnología de las membranas, que permitieron mantener el costo de la unidad de ósmosis constante a pesar de la inflación.

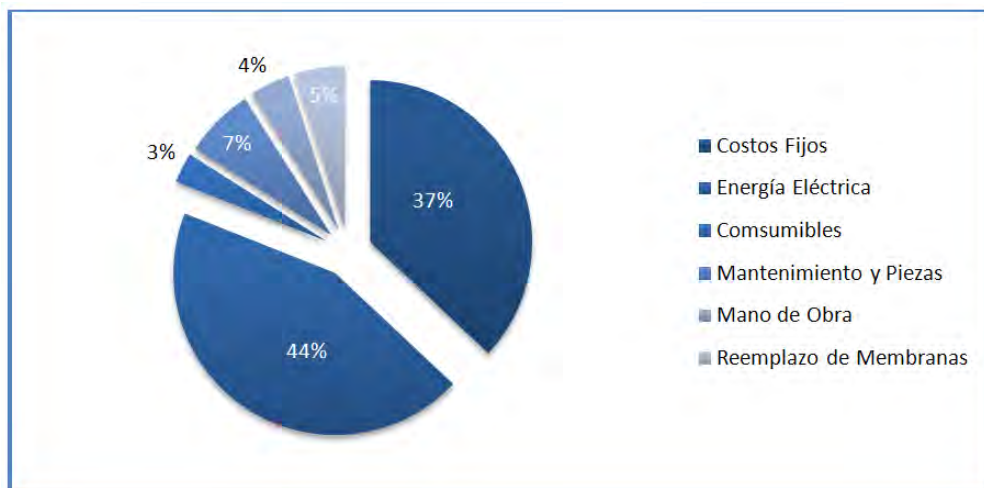


FIGURA Desglose de costos para la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

La figura ilustra el desglose de costos para la desalinización de agua de mar. Las categorías contempladas son las mismas que para el agua salobre. La mayor diferencia



entre los valores para cada tipo de agua se observa en la elevación de los costos por consumo energético, de un 11% para agua salobre hasta un 44% para agua de mar. Los demás factores son los mismos, pero proporcionalmente son menores. Por tanto, en el caso del agua de mar, los esquemas de recuperación de energía son indispensables, ya que pueden tener un fuerte impacto positivo sobre el costo total del agua.

Los factores que contribuyen al costo de la desalinización de agua de mar por DEM se muestran en la figura a continuación.

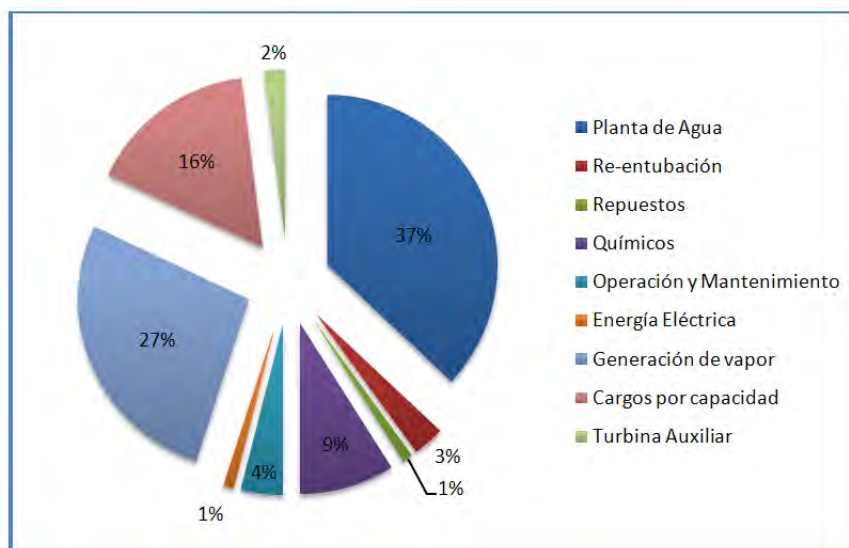


FIGURA Desglose de costos para la desalinización de agua de mar por destilación de efectos múltiples

Los datos fueron tomados de un diseño para una planta con capacidad de producción de 75 millones de galones/día, acoplada a una turbina de vapor de ciclo combinado de la planta generadora de energía del Distrito Metropolitano del Agua de California del Sur, en lugar de datos de experiencia operacional real. A pesar de que se contemplan algunas nuevas categorías el panorama general es similar al caso de desalinización de agua de mar por ósmosis inversa. Los factores mayoritarios en el costo total de desalinización por DEM están dados por la inversión (39% para la planta de tratamiento y la turbina auxiliar) y los gastos energéticos (28% para vapor y energía eléctrica). Los cargos por capacidad representan algo más de 10% del total. De manera similar al caso OI, los cargos restantes están dados por los químicos, operación y mantenimiento y repuestos asociados, sumando menos del 20% del total.

### *Consideraciones adicionales*

Existen ciertos factores adicionales, generalmente correspondientes a la localización específica de la planta, que pueden contribuir a los costos e influir en la factibilidad de un determinado proceso de desalinización. Uno de los principales factores, no tratado anteriormente, es el pre-tratamiento. El grado de contaminación del agua con partículas que pueden formar incrustaciones, coágulos y con componentes biológicos puede tener un impacto importante sobre los costos totales. En casos extremos, donde la calidad del agua de alimentación es muy pobre, el pre-tratamiento puede representar hasta el 30% de los costos totales de operación de los sistemas OI. Las posibles mejoras y optimizaciones en el pre-tratamiento tendrán un impacto importante sobre el costo del producto final.

La siguiente consideración importante involucra el costo e impacto de la disposición de la salmuera. De hecho, la disposición de los efluentes está considerado como uno de los mayores problemas concernientes a la desalinización, siendo además uno de los factores que limita el crecimiento de ésta industria. Los impactos ambientales de las descargas de grandes volúmenes de salmuera o sales sólidas solubles deben ser tomados en cuenta. Para instalaciones tierra adentro, la salmuera puede ser regresada al lugar de la toma u otra localidad específica, también se puede hacer la inyección en pozos profundos o bien, su evaporación y secado para abastecer de sal para abastecer industrias como la metalúrgica; que a su vez reduciría los costos de disposición de efluentes. Para el caso de las instalaciones costeras, el retorno de los efluentes al océano es posible, sin embargo se deben de vigilar los impactos medio-ambientales en los ecosistemas más cercanos a la playa, por lo que se requiere que la descarga se realice a una distancia considerable de la línea de costa.

## Conclusiones sobre la evaluación tecnológica

Es innegable el hecho de que a nivel mundial y particularmente en México las cuencas hidrológicas son sobre explotadas dada la demanda de agua potable para el desarrollo y sostenimiento de la economía agrícola, así como para la preservación de la vida; por lo cual se mira hacia la desalinización de agua de mar como una respuesta a la creciente demanda del vital líquido, al menos en los estados cercanos a la costa.

Existen diversas tecnologías que han sido aplicadas a través de los años para llevar a cabo la desalinización del agua. Cuando uno piensa en potabilizar agua, lo primero que llega a la mente es la destilación; y en efecto, es una técnica que proporciona agua de gran calidad, empero de los altos costes energéticos que representan los procesos como EIM y DEM.

Los avances tecnológicos y la constante preocupación de científicos e investigadores en materia de purificación y potabilización de agua de mar, nos llevo a abrir los ojos a nuevos horizontes, es ahí donde surgen las membranas permeables y con ellas la ósmosis inversa.

En éste documento se hace una extensa explicación de la ósmosis inversa y sus implicaciones, sin embargo, hoy por hoy, además de ser una tecnología estudiada y exitosamente probada, es la mejor alternativa para la obtención de agua potable a partir de agua de mar o agua salobre. La preferencia por estos procesos se debe también al desarrollo de membranas con tasas más altas de recuperación y requerimientos cada vez menores de presión.

En el análisis de la tabla de requerimientos energéticos es evidente que los procesos de membrana presentan requerimientos energéticos notablemente menores que los procesos térmicos, siendo el más competitivo de los últimos la compresión de vapor, donde hacia el año 2000 los requerimientos energéticos de éste proceso rondaban el doble de aquellos correspondientes a la ósmosis inversa.

En términos de los costos del producto potable es difícil establecer un parámetro óptimo de comparación, debido a la influencia de variables como la calidad del agua, la localización de la planta, el pre-tratamiento requerido y la concentración de sales (en el caso de los procesos de membrana) por mencionar algunos, en los costos finales.

Manteniendo en mente el punto anterior, durante el análisis de la tabla de costos que se presenta en el documento se observa lo aventajada que se encuentra la ósmosis inversa con respecto a la evaporación instantánea, y aún cuando comparada con la destilación de efectos múltiples la diferencia pudiera ser no tan clara, la amplia aplicación de la ósmosis inversa en los últimos años le confiere una mayor credibilidad, y que el desempeño de la destilación no ha sido comprobado a grandes escalas.

Otro factor es el tamaño de la planta, las consideraciones de diseño muestran que mientras más cerca de la eficiencia perfecta se opere el proceso de desalinización, mayores son las superficies requeridas, y por tanto mayores son los costos de inversión. La mejor opción de diseño para un proceso no necesariamente será la más eficiente energéticamente.

TABLA Comparación de requerimientos para la ósmosis inversa y tecnologías térmicas en tres aspectos determinantes.

<b>Agua Bruta / Tecnología</b>	<b>Volumen producido en la planta</b>	<b>Población Atendida</b>	<b>Superficie</b>
<b>Agua de Mar / OI</b>	1,100 m <sup>3</sup> /día	2,000 hab.	0.02 Ha
<b>Agua de Mar / Térmica</b>	17,000 m <sup>3</sup> /día	33,000 hab.	3.03 Ha
<b>Agua de Mar / OI</b>	272,500 m <sup>3</sup> /día	530,000 hab.	7.432 Ha
<b>Agua Salobre/ OI</b>	7,570 m <sup>3</sup> /día	15,000	0.068 Ha

Más aún, si se le presta atención al desglose de los costos para la desalinización por ósmosis inversa y por destilación de efectos múltiples, nos encontramos con un panorama esclarecedor si se interpreta de la manera correcta. La cantidad de energía que se utilice para producir agua no salada, también repercutirá en los costos de este líquido, por lo que es necesario que además de producir el agua, esto se haga de la manera más económica posible y velando por el ahorro de energía, a sabiendas de que el uso irresponsable de ésta tiene un severo impacto ambiental.

Mientras en el caso de la ósmosis inversa el principal aporte al costo del producto terminado, después de la inversión inicial, está dado por la energía eléctrica empleada en el funcionamiento del proceso, para el caso de la destilación de efectos múltiples está comprendido por factores como la generación de vapor y los cargos por capacidad; aspectos cuya capacidad de optimización es mínima comparada con la capacidad de

recuperación de energía aplicable al caso de la ósmosis inversa, además del acoplamiento de la planta a otras fuentes de producción de energía eléctrica con base en fuentes “limpias” o renovables, cuando aplicable.

Es obligación de todos y cada uno de los gobiernos del mundo el velar por la salud y el bienestar de sus gobernados, lo que en caso de no suceder obligaría a las personas a tomar medidas individuales para mejorar la calidad del agua, asunto que finalmente no es novedad, en especial en los países de tercer mundo, donde el agua potable no es consumible y a pesar de esto, es muy valorada. Por esto mismo, es necesario tener presente que al seguir en desarrollo la tecnología de OI, día a día se incrementa la calidad y durabilidad de las membranas que se emplean en las plantas, lo que reduce considerablemente el problema citado más arriba y lo más importante, la proliferación de este proceso abaratará sus costos de producción, operación y mantenimiento, reduciendo al mínimo los inconvenientes que pudieran presentarse.

Finalmente, es saludable recalcar que la calidad de respuesta a un problema, determina qué tan bien resuelto ha sido éste y qué mejor que desarrollar una planta pequeña en cuanto a tamaño, cuyas repercusiones ambientales sean mínimas, capaz de auto proporcionarse la mitad de la energía necesaria para trabajar y que al mismo tiempo produzca la cantidad necesaria de agua para satisfacer las necesidades de los grupos más vulnerables, con la única demanda de recibir el mantenimiento propicio entre largos intervalos de tiempo.

## CASO DE APLICACIÓN

### Localización de la planta

### Disponibilidad de agua

La región norte del país es la zona con menor disponibilidad de agua, razón por la cual un proyecto que seguramente será bienvenido corresponde a la potabilización de agua, y en especial del agua de mar, considerando la amplitud del litoral mexicano empero su casi nula explotación actual; sin embargo, no toda la región tienen las mismas condiciones de disponibilidad.

El valle de México y sistema Cutzamala es la zona del país con una menor disponibilidad natural de agua, seguida de cerca por la Península de Baja California, por las Cuencas Centrales del Norte y la región Noroeste.

TABLA Disponibilidad de agua natural media total<sup>10</sup>

Región Administrativa	Disponibilidad natural media total (Hectómetros cúbicos)				
	1999	2001	2002	2004	2005
<b>Estados Unidos Mexicanos</b>	483,271	469,199	476,456	474,637	472,194
<b>I Península de Baja California</b>	4,102	4,425	4,423	4,423	4,423
<b>II Noroeste</b>	8,128	7,957	8,214	8,213	8,213
<b>III Pacífico Norte</b>	25,425	24,460	24,741	24,839	25,075
<b>IV Balsas</b>	28,151	28,911	28,909	28,924	28,336
<b>V Pacífico Sur</b>	36,061	33,135	33,177	32,508	32,226
<b>VI Río Bravo</b>	12,170	14,267	13,718	14,182	12,477
<b>VII Cuencas Centrales del Norte</b>	5,557	6,823	6,836	6,841	6,846
<b>VIII Lerma-Santiago-Pacífico</b>	35,377	36,808	39,680	36,977	37,021
<b>IX Golfo Norte</b>	23,505	23,629	23,347	23,347	23,286
<b>X Golfo Centro</b>	108,638	102,545	102,546	102,544	102,551
<b>XI Frontera Sur</b>	157,484	155,938	157,999	158,260	158,160
<b>XII Península de Yucatán</b>	35,354	26,496	29,063	29,646	29,646
<b>XIII Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala</b>	3,319	3,805	3,803	3,934	3,934

El país utiliza el 15% del volumen de disponibilidad natural media de agua; sin embargo en el norte del país se utiliza más del 40% de la disponibilidad natural media, lo que se considera por la Organización de las Naciones Unidas como fuerte presión sobre el recurso hídrico.

<sup>10</sup> <http://www.cna.gob.mx>

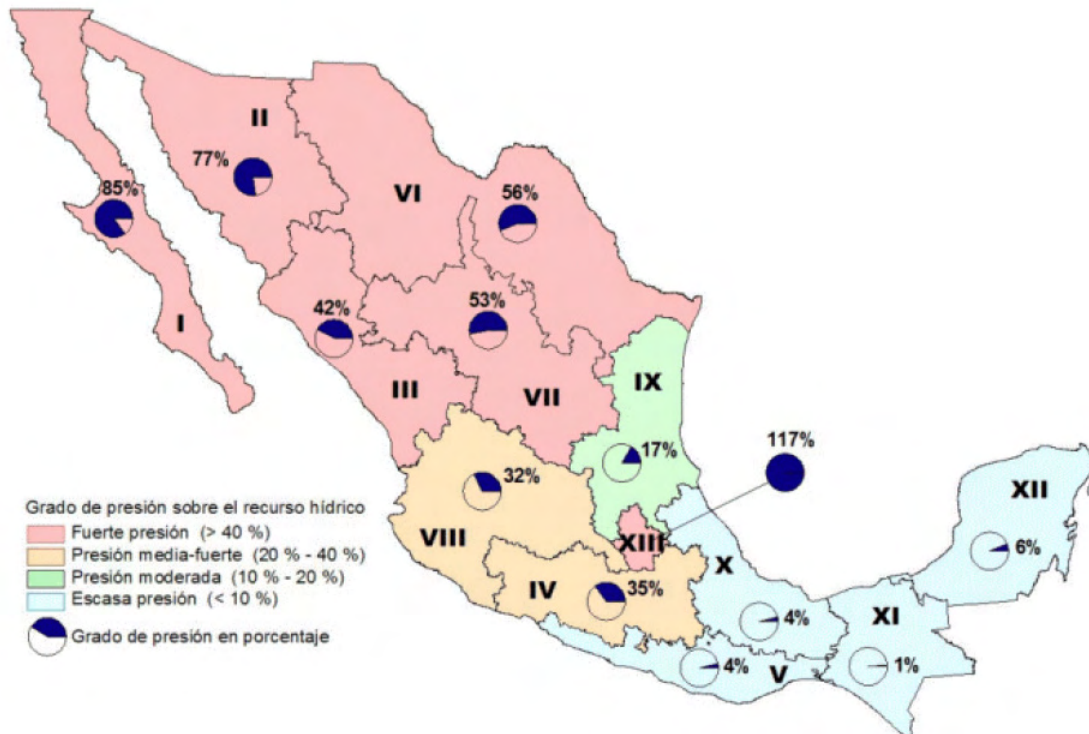


FIGURA Grado de presión sobre el recurso hídrico en México<sup>11</sup>

En la figura se observa que las tendencias de disponibilidad de Baja California y el Noroeste presentan un declive mucho mayor que las cuencas centrales del norte, lo cual hace que el problema del agua se torne crítico en un período de tiempo relativamente corto.

Por tratarse de una planta desalinizadora de agua de mar es altamente recomendable localizarse en las cercanías de la costa, lo cual excluye en primera instancia a los estados pertenecientes a la meseta central y al altiplano, dado que los costos de transporte de la materia prima a lo largo de tantos kilómetros ocasionarían que el producto final se encarezca enormemente.

Los estados de la costa noroccidental de nuestro país que cuentan con éste requisito son: Baja California Norte, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa y Nayarit.

<sup>11</sup> Estadísticas de la comisión nacional del agua, 2004



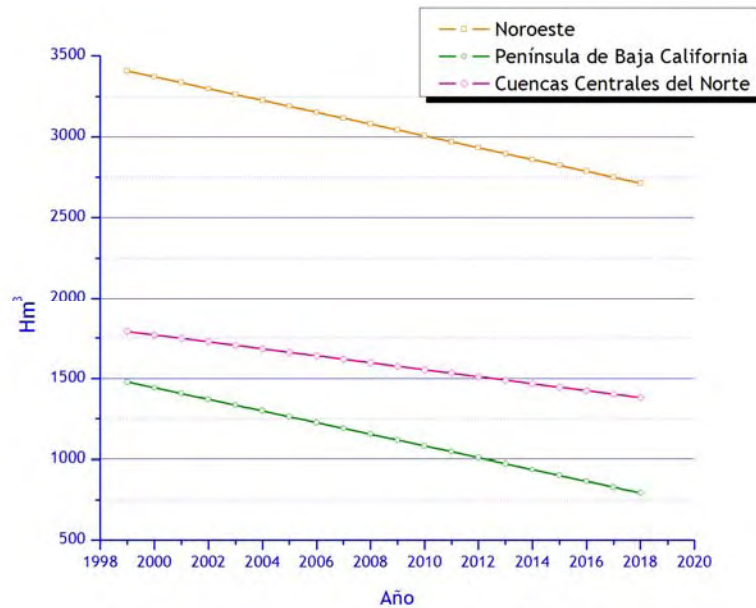
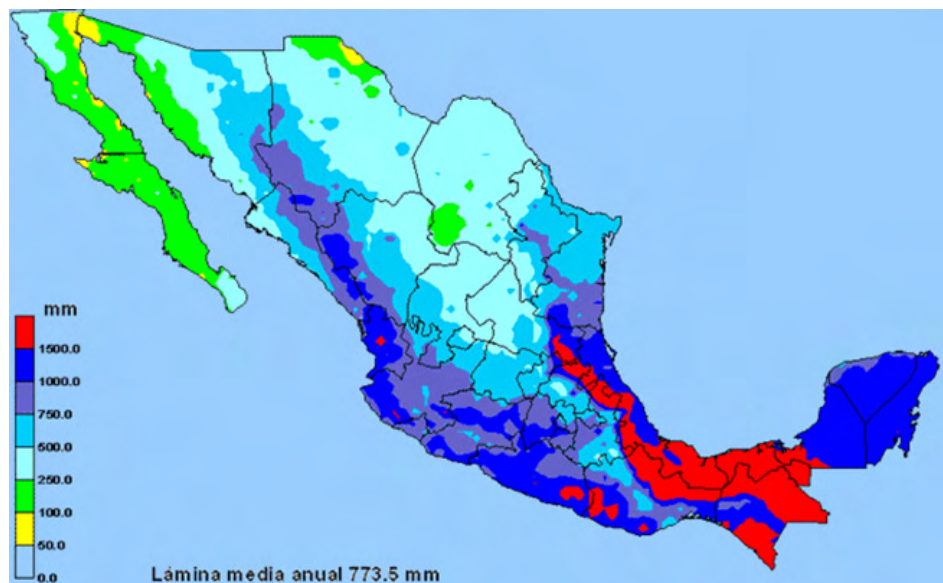


FIGURA Tendencia de Disponibilidad de Agua

### Precipitación Pluvial

Dentro de los estados occidentales que podrían verse beneficiados por la construcción de una planta desalinizadora de agua de mar, Nayarit es el estado que cuenta con mayor precipitación anual media, entre los 1,000 y 1,500 mm, lo que le confiere la posibilidad de obtener agua potable con mayor facilidad por otros métodos además de la desalinización.

FIGURA Precipitación media anual en México (1941-2005)<sup>12</sup>

<sup>12</sup> <http://www.cna.gob.mx>



En el caso de los perfiles de temperaturas máximas promedio, la región con los perfiles más altos es la península de Yucatán; sin embargo, como se observa en la tabla disponibilidad de natural media y en la figura de precipitación media anual, es de las regiones con mayor disponibilidad, por lo que el análisis se enfocará en otros estados con perfiles semejantes en la región identificada como de menor disponibilidad.

Los estados de Sonora, Sinaloa y Nayarit presentan perfiles muy cercanos, ente los 30°C y 35°C; temperaturas equiparables a las de ciertas regiones del estado de Baja California Sur, aunque en general su perfil de temperaturas es algo mas bajo.

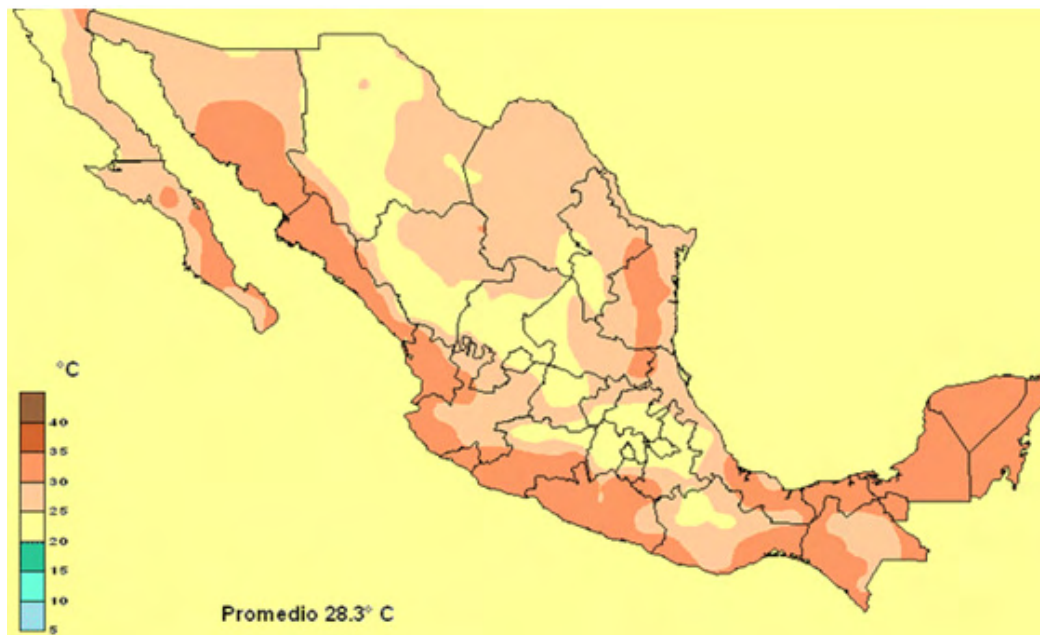


FIGURA Temperaturas máximas promedio anuales en México (1980-2004)<sup>13</sup>

### Actividad Sísmica

De los estados de la región del noroeste con costa, Baja California Norte, parte de Baja California Sur y gran parte de la costa de Sonora son regiones de alta y media peligrosidad sísmica, debido a su cercanía con la falla de San Andrés; el sur de Nayarit, por otra parte, forma parte de la región del oeste suroeste mexicano con mayor actividad sísmica junto con estados como Jalisco, Colima, Michoacán, Guerrero, Oaxaca y Chiapas.

<sup>13</sup> Ibídem

La información anterior está evidenciada en la figura siguiente, donde las regiones marcadas en rojo presentan los mayores índices de peligrosidad sísmica. Las regiones marcadas de amarillo oscuro presentan peligrosidad media-alta mientras que las regiones amarillo pálido, peligrosidad media-baja. Finalmente las regiones enmarcadas en color verde no presentan riesgos sísmicos apreciables.

Se considera con ventaja en éste aspecto al estado de Sinaloa por sobre los demás; siendo que la mayor parte de los estados de Baja California Norte y Baja California Sur y cerca de la totalidad de la costa del estado de Sonora están consideradas como zonas de peligrosidad media-alta. Empero el estado de Sinaloa es casi en su totalidad una región de peligrosidad media-baja.



FIGURA Riesgo sísmico en México<sup>14</sup>

14 <http://atl.cenapred.unam.mx/website/RiesgosGeologicos/PeligroSismico/viewer.htm>



FIGURA Intensidad sísmica en México<sup>15</sup>

En la figura se resaltan los epicentros en color amarillo. Cabe mencionar que mientras más alto sea el número representado dentro de la zona colorida mayores son la intensidad y resonancia del sismo dentro de la misma. Se aprecia que Sonora tiene regiones de resonancia III y IV, mientras que Nayarit está prácticamente cubierto por la región de resonancia V. En su mayoría, Sinaloa forma parte de la zona cero.

### Actividad Ciclónica

Otro dato de significativa importancia corresponde a lo propenso a ser víctima de ciclones de los estados en cuestión.

Baja California Sur experimenta una mayor incidencia ciclónica y de tormentas tropicales que Sinaloa como se ve representado en las figuras a continuación. Lo anterior es debido en parte a que Sinaloa está protegido por Baja California Sur; muchos Ciclones que llegan a Sinaloa pasan por la otra entidad antes, pero no todos los que pasan por Baja California Sur afectan a Sinaloa.

Por otra parte, es necesario considerar la intensidad de la actividad ciclónica que afecta a la región. Mientras que para Baja California Sur se pueden esperar ciclones de cualquier

<sup>15</sup> <http://atl.cenapred.unam.mx/website/RiesgosGeologicos/Sismos/viewer.htm>

magnitud, la actividad histórica demuestra que para el estado de Sinaloa, además del contado número de incidentes, la mayoría presentan vientos de baja intensidad producto de sucesos como depresiones tropicales, tormentas tropicales y hasta huracanes tipo 1. Ciclones de mayor intensidad están prácticamente descartados, en la mitad norte del estado. Bajar imagen de ciclones (grande)

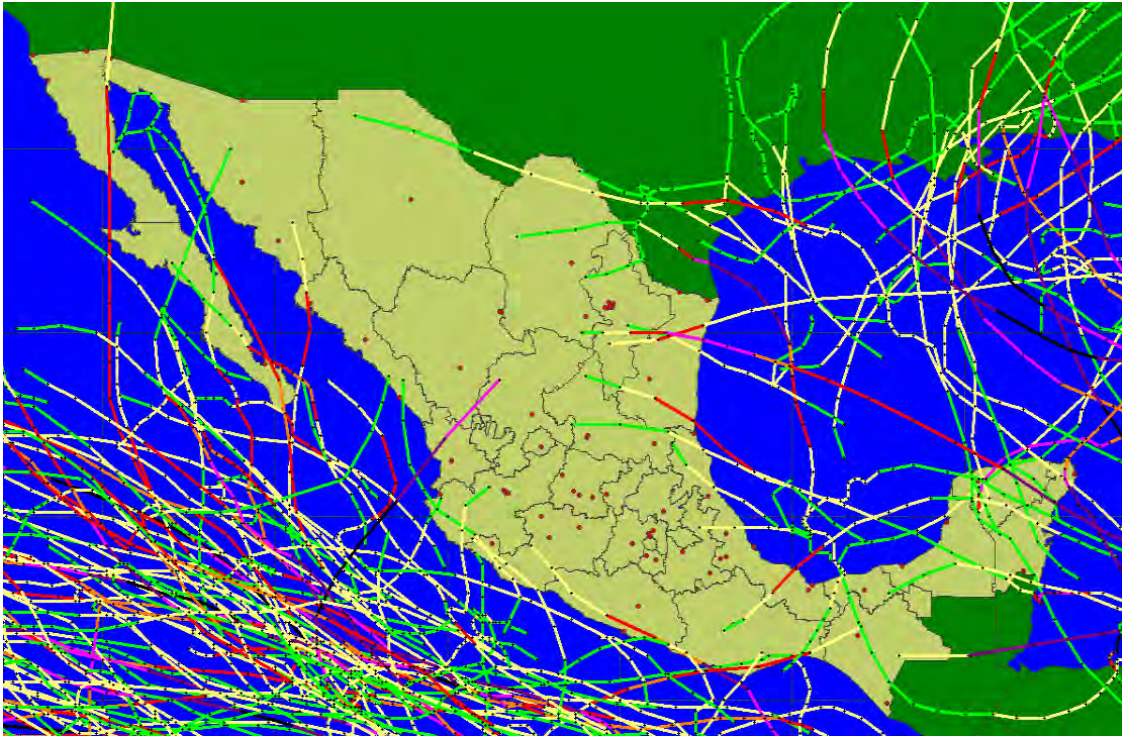


FIGURA Incidencia de ciclones a nivel nacional (período 1997-2007)<sup>16</sup>

CLASIFICACIÓN	
TIPO	VELOCIDAD(NUDOS)
Depresión Tropical	Menor 34
Tormenta Tropical	34 - 63
Huracan Tipo 1	64 - 82
Huracan Tipo 2	83 - 95
Huracan Tipo 3	96 - 112
Huracan Tipo 4	113-134
Huracan Tipo 5	Mayor 134

<sup>16</sup><http://atl.cenapred.unam.mx/website/RiesgosHidrometeorologicos/TrayectoriasOceanicasAP/viewer.htm>



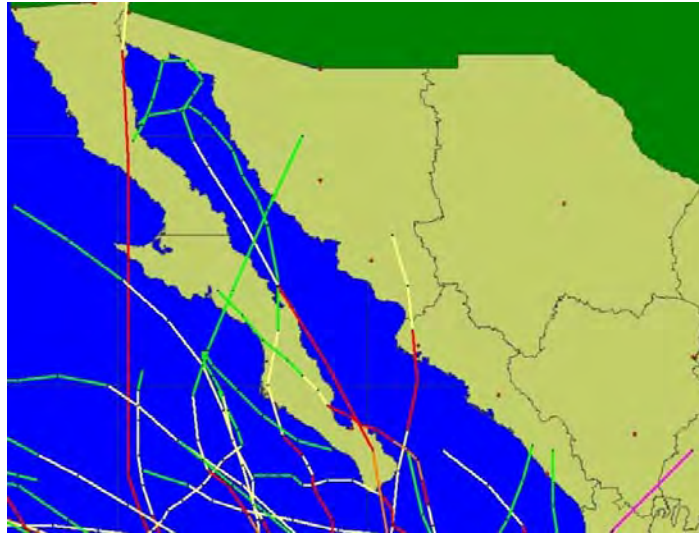


FIGURA Incidencia de ciclones en el noroeste del país (período 1997-2007)

Considerando todos los factores presentados y minimizando los efectos de fenómenos geológicos e hidro-meteorológicos que pudieran presentarse, se considera como mejor opción para el emplazamiento de la planta desalinizadora de agua de mar el estado de Sinaloa.

Si bien el estado de Sinaloa en su totalidad, comparado con otros estados presenta las mejores condiciones, es necesario determinar la localización específica de la planta. Para ello se toman en consideración factores como la satisfacción de la necesidad o encuadre comunitario, y aspectos específicos de las diferentes regiones como la profundidad del suelo y su aptitud para la construcción de la planta.

### Encuadre comunitario

El siguiente factor a considerar fue el hecho de que el proyecto tiene como objetivo ayudar al mayor número de habitantes posible sin que por ello se vea mellada la calidad del servicio.

Sinaloa cuenta con una numerosa población (2, 608,000 habitantes); por encima de Nayarit (950,000 habitantes) y Baja California Sur (512,170 habitantes). Sin embargo el crecimiento demográfico en Baja California Sur es de 3.4% al año, mientras que en Sinaloa es de 0.5% y en Nayarit de 0.6%<sup>17</sup>.

<sup>17</sup> <http://www.inegi.gob.mx/est/default.aspx?c=6789> Resultados definitivos de cada uno de los estados.

Estado/Municipio	Total	1 a 2,499 habs.	2,500 a 14,999 habs	15,000 a 99,999 habs	100,000 a 999,999 habs
<b>Baja California Sur</b>	512,170	78,053	75,334	169,607	189,176
Comondú	63,830	14,813	11,796	37,221	
La Paz	219,596	22,716	7,704		189,176
Loreto	11,839	1,556	10,283		
Los Cabos	164,162	16,961	14,815	132,386	
Mulegé	52,743	22,007	30,736		
Sinaloa	2,608,442	761,706	363,311	293,673	1,189,752
Ahome	388,344	83,705	72,662		231,977
Angostura	42,445	28,348	14,097		
Badiraguato	32,295	28,733	3,562		
Concordia	27,001	18,697	8,304		
Cosalá	17,813	10,991	6,822		
Culiacán	793,730	118,095	47,167	23,164	605,304
Choix	31,763	23,628	8,135		
El Fuerte	92,585	55,483	37,102		
Elota	46,462	33,511	12,951		
Escuinapa	49,655	9,571	11,295	28,789	
Guasave	270,260	98,438	57,576	114,246	
Mazatlán	403,888	30,896	20,521		352,471
Mocorito	44,217	32,825	11,392		
Navolato	135,681	66,898	18,481	50,302	
Rosario	47,394	28,087	3,997	15,310	
Salvador Alvarado	76,537	9,547	5,128	61,862	
San Ignacio	23,355	15,611	7,744		
Sinaloa de Leyva	85,017	68,642	16,375		

TABLA Comparación demográfica de los Estados de Baja California Sur y Sinaloa del conteo de población y vivienda 2005.<sup>18</sup>

Podría parecer contradictorio que se priorice un crecimiento anual menor al de Baja California sin embargo la cantidad de habitantes beneficiada de acuerdo a la proyección de crecimiento seguirá siendo mayor en Sinaloa dada su población actual.

Una vez seleccionado el estado de Sinaloa, según el proceso de eliminación basado en contingentes y finalmente por su demografía, se consideraron los cinco municipios más poblados del estado: Culiacán, Mazatlán, Ahome, Guasave y Navolato, todos con una

<sup>18</sup> [http://www.inegi.gob.mx/lib/olap/general\\_ver3/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=10404](http://www.inegi.gob.mx/lib/olap/general_ver3/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=10404)

población mayor a 100,000 habitantes<sup>19</sup>. Tan sólo Culiacán y Navolato se encuentran relativamente exentos de ataques ciclónicos.

También se consideró como factor determinante la disponibilidad de agua potable, que en su mayoría depende de plantas potabilizadoras de agua, ninguna desalinizadora. Mazatlán es el municipio menos independiente, al no contar con alguna potabilizadora; encontrándose en segundo lugar el municipio de Navolato, con tan sólo tres plantas que han resultado insuficientes para el abastecimiento a la población local.<sup>20</sup>

### Emplazamiento de la planta

El tipo de suelo mejor para la construcción, por su profundidad, se encuentra en la mitad norte del estado. Esta condición representa un punto en contra la ubicación en el municipio de Mazatlán, apreciable en la figura.

Navolato se encuentra situado cerca del centro del estado, posición en la cual se tienen de las condiciones más favorables para la construcción, tratándose de las inclemencias medio-ambientales, la profundidad del suelo es adecuada, mayor a 100 cm, y esto aunado a que la presencia de la planta tendrá un mínimo impacto sobre reservas y parques nacionales, indica que es el municipio ideal para la localización de la planta.

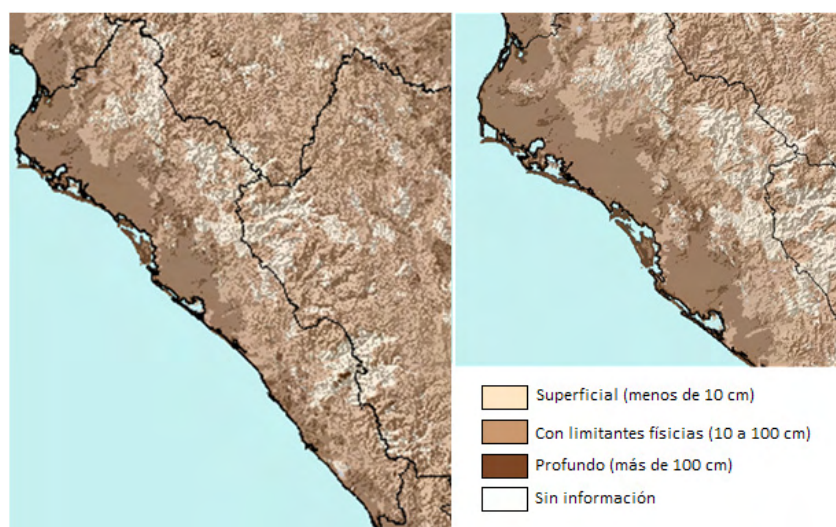


FIGURA Profundidad del Suelo en Sinaloa<sup>21</sup>

19 <http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=mpob93&c=3839&e=25>  
20 [http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espanol/Publicaciones/InventarioNacional/pp\\_general02.pdf](http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espanol/Publicaciones/InventarioNacional/pp_general02.pdf)  
21 [http://mapserver.inegi.gob.mx/map/datos\\_basicos/edafologia/?c=527](http://mapserver.inegi.gob.mx/map/datos_basicos/edafologia/?c=527)

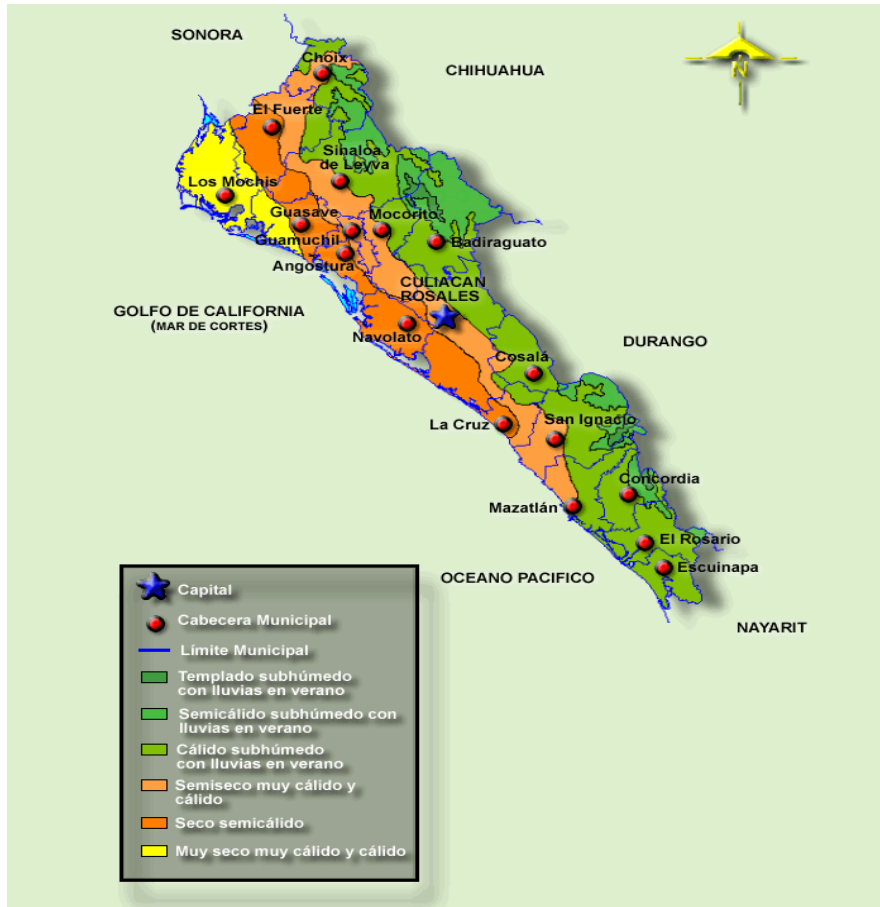


FIGURA Mapa de los municipios de Sinaloa



## Estudio Económico de Factibilidad

### Estimado de Inversión.

Para realizar el estudio económico de factibilidad de la desalinizadora en cuestión y generar los indicadores económicos pertinentes (TIR, ROI, VPN y PRC), es necesario realizar primero el estimado de inversión.

Una forma de obtener un estimado de inversión es la comparación ponderada de plantas desalinizadoras similares dentro del territorio nacional, haciendo uso de la regla heurística de los “seis décimos”. Para esto, se toma como punto de comparación la desalinizadora ubicada en Los Cabos, BCS; cuya capacidad instalada es de 17,280 m<sup>3</sup>/d y la inversión total fue de 336 mdp<sup>22</sup>. Teniendo estos datos, y utilizando la regla mencionada, se puede estimar la inversión de nuestro proyecto (cuya capacidad instalada será de 50,000 m<sup>3</sup>/d) con un margen de error estimado del 20%.

$$Inv_2 = Inv_1 \times \left( \frac{Capacidad_2}{Capacidad_1} \right)^{0.6}$$

Donde los subíndices 1 y 2 se refieren a las plantas de Los Cabos y de Navolato respectivamente. Ahora bien, la inversión para la planta de Navolato de 50,000 m<sup>3</sup>/d correspondería, según la relación anterior a lo siguiente:

$$Inv_2 = 336 \text{ mdp} \times \left( \frac{50,000 \text{ m}^3}{17,280 \text{ m}^3} \right)^{0.6}$$

$$Inv_2 = 635.6 \text{ mdp}$$

La inversión de nuestro proyecto será, mediante ésta aproximación, del orden de \$635.6 millones de pesos. El resultado es congruente ya que aunque la capacidad de la primera es aproximadamente tres veces mayor que la segunda, la inversión no se proyecta linealmente.

Una segunda manera para obtener un estimado de inversión sería revisar y comparar las inversiones hechas en diferentes plantas desalinizadoras de agua de mar por ósmosis inversa a nivel mundial y obtener una correlación que permita estimar el costo de la planta

---

<sup>22</sup> <http://www.esmas.com/noticierostelevisa/mexico/620424.html>

que se desea construir. Es necesario contar con suficiente información para que éste método arroje un resultado representativo y confiable.

A continuación se presenta la tabla de información de los costos de inversión de plantas desalinizadoras de diferentes tamaños, su capacidad y el país en donde se encuentran, así como el gráfico obtenido a partir de la misma.

TABLA Costes de inversión en relación a la capacidad de producción de plantas desalinizadoras.<sup>23</sup>

Planta	Millones USD	m <sup>3</sup> /día	Tipo	País
<b>Algeirs East</b>	\$ 140.00	100,000.00	SWRO	Argelia
<b>Algeirs West</b>	\$ 140.00	100,000.00	SWRO	Argelia
<b>Hamma</b>	\$ 225.00	200,000.00	SWRO	Argelia
<b>Oran</b>	\$ 140.00	100,000.00	SWRO	Argelia
<b>Skikida</b>	\$ 140.00	100,000.00	SWRO	Argelia
<b>Chennai Manali</b>	\$ 30.00	15,000.00	SWRO	India
<b>Chennai Minjur</b>	\$ 330.00	300,000.00	SWRO	India
<b>Haldia</b>	\$ 80.00	110,000.00	SWRO	India
<b>Ashdod</b>	\$ 90.00	123,000.00	SWRO	Israel
<b>Ashkelton</b>	\$ 225.00	281,000.00	SWRO	Israel
<b>Haifa</b>	\$ 90.00	123,000.00	SWRO	Israel
<b>Palmahim</b>	\$ 90.00	123,000.00	SWRO	Israel
<b>Shomrat</b>	\$ 90.00	123,000.00	SWRO	Israel
<b>Bari</b>	\$ 60.00	55,000.00	SWRO	Italia
<b>Brindisi</b>	\$ 60.00	55,000.00	SWRO	Italia
<b>Salalah</b>	\$ 40.00	35,000.00	SWRO	Omán
<b>Sohar Refinery</b>	\$ 6.00	12,000.00	SWRO	Omán
<b>Sur</b>	\$ 25.00	20,000.00	SWRO	Omán
<b>Karachi</b>	\$ 60.00	95,000.00	SWRO	Pakistán
<b>Gaza</b>	\$ 60.00	60,000.00	SWRO	Palestina
<b>Taweela Ro</b>	\$ 350.00	227,300.00	SWRO	Abu Dhabi
<b>Carlsbad</b>	\$ 270.00	189,000.00	SWRO	EUA
<b>Corpus Christi</b>	\$ 125.00	95,000.00	SWRO	EUA
<b>Dana Point</b>	\$ 130.00	100,000.00	SWRO	EUA
<b>Freeport</b>	\$ 125.00	95,000.00	SWRO	EUA
<b>Huntington</b>	\$ 240.00	189,000.00	SWRO	EUA
<b>Long Beach</b>	\$ 75.00	35,000.00	SWRO	EUA
<b>Moss Landing</b>	\$ 76.00	45,000.00	SWRO	EUA
<b>Playa del Rey</b>	\$ 70.00	45,000.00	SWRO	EUA
<b>Port Everglades</b>	\$ 78.60	95,000.00	SWRO	EUA

<sup>23</sup> IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua. Manuel Latorre, Tortosa 2004

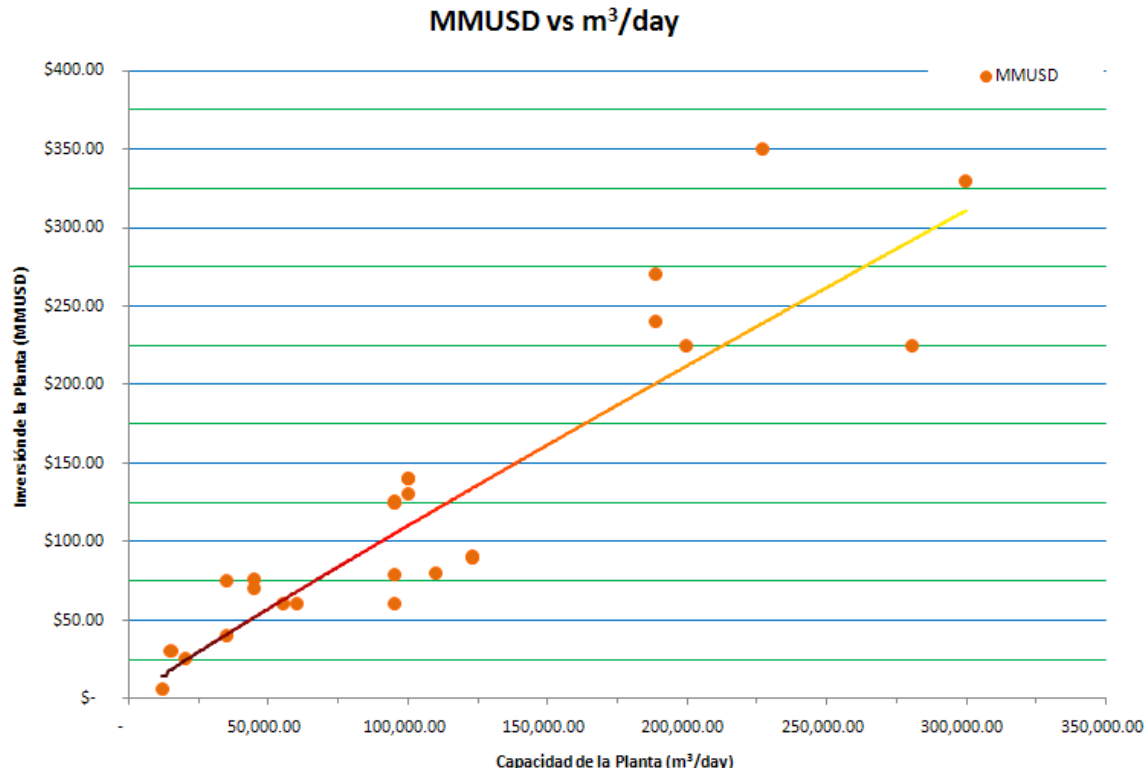


FIGURA Relación costo de inversión/capacidad para plantas desalinizadoras de agua de mar

De éste método se desprende que la mejor relación es potencial, siguiendo la siguiente expresión:

Con un coeficiente de correlación . De ahí que el costo estimado para la planta desalinizadora que se piensa construir será de 545.6 millones de pesos.

La inversión estimada por éste método es bastante menor que la primera, lo cual nos indica que el primer método considera un porcentaje de error más elevado que el que se reporta.

En última instancia, podríamos utilizar un tercer método en el cual se aplican las relaciones clásicas de costos para éste tipo de plantas, es decir, el terrero para la construcción de la planta suele ser costar 1.5 veces el costo total de los equipos; la instalación de los mismos suele ser del 30% del costo total de los equipos y así sucesivamente.

De éste último método, considerando que aún no se conocen exactamente los tamaños y, por ende, costos de los mismos se obtiene que el estimado de inversión ronda los 411 millones de pesos. Una vez más, un resultado bastante menor que en el estimado para el primer caso.

### Costos de Operación y Gastos.

Los costos de operación de la planta los podemos estimar en función de la experiencia de plantas tecnológicamente similares. Dado que la ósmosis inversa ha sido desde 1990 la técnica más empleada y la más económica, podemos basarnos en recomendaciones de operación de diversas plantas del estilo. Como ejemplos, tenemos los siguientes:

- Energía Consumida: 3.9 kWh/m<sup>3</sup> producido.
- Con Sistema de Recuperación: 1.6 kWh/m<sup>3</sup> producido.
- Costo de Operación (>50,000 m<sup>3</sup>/d): 0.5 – 0.8 USD/m<sup>3</sup>.
- Mano de Obra: 0.06 – 0.10 €/m<sup>3</sup>
- Costo de Servicios Auxiliares y Mano de Obra Indirecta: 0.15 – 0.25 USD/m<sup>3</sup>.

Haciendo uso de estas recomendaciones, generamos la información necesaria para determinar si el proyecto es económicamente factible; es decir, estimamos, basados en las recomendaciones y en el estudio de mercado, el volumen de venta, precio de venta, costo de operación (directo e indirecto), gastos financieros y administrativos, entre otros.

Con dicha información, generamos la Tabla I, donde se observa finalmente nuestros flujos de caja para un periodo de siete años a partir de la construcción de la obra.

Los criterios utilizados para generar esta información fue la siguiente:

- Se consideró que la planta trabajará al 100% de su capacidad desde un inicio.
- Costo por mano de obra: 0.18 MXN/m<sup>3</sup>.
- Costo de Servicios Auxiliares y Mano de Obra Indirecta (mantenimiento): 2.2 MXN/m<sup>3</sup>.

Se seleccionaron estos valores ya que las recomendaciones encontradas en la literatura son para plantas cuya capacidad sea mayor o igual a 50,000 m<sup>3</sup>/d, que coincide con la capacidad propuesta de nuestra planta. .

En el caso de los Gastos administrativos, financieros y de distribución, consideramos que estos representarían una porción respecto a los ingresos obtenidos en las ventas. Estos valores son los siguientes:

- Gasto de Venta y Distribución: 4.5% respecto a la utilidad bruta.
- Gastos Administrativos: 3% respecto a la utilidad bruta.
- Gastos Financieros: 3% respecto a la utilidad antes de las deducciones de impuestos.

Finalmente, el Impuesto sobre la Renta (ISR) y el Reparto de Utilidades (RU) fue fijado en base a aproximaciones reales, siendo estos valores del 34% y 10%, respectivamente, sobre la Utilidad Bruta.

### Precio de Venta.

El precio de venta fue fijado en \$9.00/m<sup>3</sup> para el primer año y con un incremento del 0.55% anual por concepto de operación creciente debido a inflación y crecimiento demográfico de la región.

Cabe mencionar que el precio del agua entubada que el municipio de Navolato maneja, es de \$5.61/m<sup>3</sup>. En primera instancia se podría pensar que no resulta conveniente al municipio adquirir agua potable mediante esta planta, sin embargo, hay que recordar que los precios de venta han sido subsidiados. Parte de la propuesta que estamos manejando es abaratar al Estado los costos de operación para potabilizar el agua, de manera que el subsidio se pueda mantener igual con la diferencia de que el ahorro generado pueda ser utilizado en beneficio del propio estado, sea como se disponga de este ahorro.

Capacidad	50000	m <sup>3</sup> /día
Factor de Servicio	0.9	
Días de Operación	329	días/año

Tabla: Proyección de ventas e ingresos a diez años para evaluación de factibilidad e indicadores económicos

Porcentaje de capacidad en operación		100%	100%	100%	100%	100%
Categoría	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Volumen de ventas	\$ -	18,250,000.00	18,250,000.00	18,250,000.00	18,250,000.00	18,250,000.00
Precio de venta	\$ -	\$ 9.00	\$ 9.05	\$ 9.10	\$ 9.15	\$ 9.20
<b>Ventas</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 164,250,000.00</b>	<b>\$ 165,153,375.00</b>	<b>\$ 166,061,718.56</b>	<b>\$ 166,975,058.01</b>	<b>\$ 167,893,420.83</b>
Mano de obra (CD)	\$ -	\$ 3,285,000.00	\$ 3,303,067.50	\$ 3,321,234.37	\$ 3,339,501.16	\$ 3,357,868.42
Consumibles	\$ -	\$ 2,463,750.00	\$ 2,477,300.63	\$ 2,490,925.78	\$ 2,504,625.87	\$ 2,518,401.31
Energía Eléctrica	\$ -	\$ 36,135,000.00	\$ 36,333,742.50	\$ 36,533,578.08	\$ 36,734,512.76	\$ 36,936,552.58
Mantenimiento	\$ -	\$ 1,314,000.00	\$ 1,321,227.00	\$ 1,328,493.75	\$ 1,335,800.46	\$ 1,343,147.37
Utilidad bruta	\$ -	\$ 121,052,250.00	\$ 121,718,037.38	\$ 122,387,486.58	\$ 123,060,617.76	\$ 123,737,451.15
Gasto de venta y distribución	\$ -	\$ 5,447,351.25	\$ 5,477,311.68	\$ 5,507,436.90	\$ 5,537,727.80	\$ 5,568,185.30
Gastos administrativos	\$ -	\$ 3,631,567.50	\$ 3,651,541.12	\$ 3,671,624.60	\$ 3,691,818.53	\$ 3,712,123.53
Depreciación	\$ -	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00
Utilidad antes de impuestos	\$ -	\$ 101,707,706.25	\$ 102,323,559.57	\$ 102,942,800.09	\$ 103,565,446.42	\$ 104,191,517.32
Gastos financieros	\$ -	\$ 3,051,231.19	\$ 3,069,706.79	\$ 3,088,284.00	\$ 3,106,963.39	\$ 3,125,745.52
ISR	\$ -	\$ 34,580,620.13	\$ 34,790,010.25	\$ 35,000,552.03	\$ 35,212,251.78	\$ 35,425,115.89
Retorno de Utilidades	\$ -	\$ 10,170,770.63	\$ 10,232,355.96	\$ 10,294,280.01	\$ 10,356,544.64	\$ 10,419,151.73
Depreciación	\$ -	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00
Inversión	\$ 410,625,000.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Utilidad neta</b>	<b>-\$ 410,625,000.00</b>	<b>\$ 64,170,709.31</b>	<b>\$ 64,497,111.57</b>	<b>\$ 64,825,309.05</b>	<b>\$ 65,155,311.61</b>	<b>\$ 65,487,129.18</b>

Porcentaje de capacidad en operación		100%	100%	100%	100%	100%
Categoría	Año 0	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Volumen de ventas	\$ -	18,250,000.00	18,250,000.00	18,250,000.00	18,250,000.00	18,250,000.00
Precio de venta	\$ -	\$ 9.25	\$ 9.30	\$ 9.35	\$ 9.40	\$ 9.46
<b>Ventas</b>	<b>\$ -</b>	<b>\$ 168,816,834.65</b>	<b>\$ 169,745,327.24</b>	<b>\$ 170,678,926.54</b>	<b>\$ 171,617,660.63</b>	<b>\$ 172,561,557.77</b>
Mano de obra (CD)	\$ -	\$ 3,376,336.69	\$ 3,394,906.54	\$ 3,413,578.53	\$ 3,432,353.21	\$ 3,451,231.16
Consumibles	\$ -	\$ 2,532,252.52	\$ 2,546,179.91	\$ 2,560,183.90	\$ 2,574,264.91	\$ 2,588,423.37
Energía Eléctrica	\$ -	\$ 37,139,703.62	\$ 37,343,971.99	\$ 37,549,363.84	\$ 37,755,885.34	\$ 37,963,542.71
Mantenimiento	\$ -	\$ 1,350,534.68	\$ 1,357,962.62	\$ 1,365,431.41	\$ 1,372,941.29	\$ 1,380,492.46
Utilidad bruta	\$ -	\$ 124,418,007.14	\$ 125,102,306.18	\$ 125,790,368.86	\$ 126,482,215.89	\$ 127,177,868.08
Gasto de venta y distribución	\$ -	\$ 5,598,810.32	\$ 5,629,603.78	\$ 5,660,566.60	\$ 5,691,699.71	\$ 5,723,004.06
Gastos administrativos	\$ -	\$ 3,732,540.21	\$ 3,753,069.19	\$ 3,773,711.07	\$ 3,794,466.48	\$ 3,815,336.04
Depreciación	\$ -	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00
Utilidad antes de impuestos	\$ -	\$ 104,821,031.60	\$ 105,454,008.21	\$ 106,090,466.19	\$ 106,730,424.70	\$ 107,373,902.97
Gastos financieros	\$ -	\$ 3,144,630.95	\$ 3,163,620.25	\$ 3,182,713.99	\$ 3,201,912.74	\$ 3,221,217.09
ISR	\$ -	\$ 35,639,150.74	\$ 35,854,362.79	\$ 36,070,758.51	\$ 36,288,344.40	\$ 36,507,127.01
Retorno de Utilidades	\$ -	\$ 10,482,103.16	\$ 10,545,400.82	\$ 10,609,046.62	\$ 10,673,042.47	\$ 10,737,390.30
Depreciación	\$ -	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00	\$ 10,265,625.00
Inversión	\$ 410,625,000.00	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
<b>Utilidad neta</b>	<b>-\$ 410,625,000.00</b>	<b>\$ 65,820,771.75</b>	<b>\$ 66,156,249.35</b>	<b>\$ 66,493,572.08</b>	<b>\$ 66,832,750.09</b>	<b>\$ 67,173,793.57</b>

Como es sabido, la ósmosis inversa ha resultado ser la opción técnica y económicamente preferida por quienes se encargan de desarrollar este tipo de plantas desalinizadoras. El

reto es abaratar el costo de operación. El costo de operación aproximado para plantas que utilizan otras tecnologías diferentes a la ósmosis inversa, resulta ser del orden de \$13.27/m<sup>3</sup>. En todo Sinaloa, no existe ni una planta desalinizadora que utilice esta tecnología. Por lo tanto, resulta muy conveniente emplear la ósmosis inversa para desalar agua de mar ya que representa una idea nueva dentro del estado, cuya vida útil es sumamente larga y además de todo, a un menor costo de operación.

Suponiendo que el estado de Sinaloa quisiera producir 50,000 m<sup>3</sup>/d de agua potable, representaría un costo de \$242 mdp al año. Con la tecnología propuesta, el costo al gobierno sería de \$173 mdp anuales, lo cual representa un ahorro del 28.5% anual. Bajo esta idea, es evidente la conveniencia de una planta desalinizadora de agua de mar de éstas características.

### **Indicadores Económicos. ROI, TIR, VPN, PRC.**

Una vez generada la tabla de estado de resultado, se obtienen los índices económicos para determinar si el proyecto es factible y rentable. Los resultados obtenidos, para un periodo de diez años, son los siguientes:

- Valor Presente Neto (VPN): \$459,879,905.35 MXN (mayor que la inversión \$410,625,000.00)
- Tasa Interna de Retorno (TIR): 9.506% (mayor que la tasa de interés que ofrece una cuenta bancaria 4.5% anual)
- Retorno a la Inversión (ROI): 15.99% (mayor que la tasa que ofrece una cuenta en CETES 7% anual)
- Período de Recuperación de la Inversión (PRC): 7 años (\$456,112,591.82)

### **Conclusión**

Como podemos observar en el apartado anterior, los cuatro indicadores base que tenemos nos arrojaron un resultado positivo. Esto indica claramente que el proyecto resulta muy atractivo para invertir en el, que se paga en siete años con el beneficio de que su vida útil es enorme; además de resultar ser un buen negocio, los beneficios sociales y económicos que genera para la entidad son inconmensurables, estamos hablando de generación de empleos, proporcionar el servicio de agua entubada a más municipios dentro del estado, con los ahorros generados invertir en educación, etc.



Éste es un gran proyecto social y económicamente hablando. Sus beneficios son gigantescos aunado al hecho de que estamos previendo una de las necesidades principales que tendrá la sociedad en un futuro, como lo es el agua, haciendo uso de un recurso natural poco aprovechado como lo es el agua de mar.

# INGENIERÍA BÁSICA

## Bases de diseño

### Generalidades

#### *Antecedentes*

La escasez de agua apta para consumo humano es un problema que se ha presentado a nivel mundial desde tiempos inmemoriales, problema que se ha ido agravando, entre otras razones por el crecimiento demográfico descontrolado, la sobre explotación de los recursos naturales, especialmente los hídricos, y el calentamiento global.

Desde hace algunos años en nuestro país, la continua y creciente demanda del vital líquido ha obligado al estado a tomar medidas de emergencia, que al no haber sido planeadas con detenimiento, han desencadenado la explotación incontrolada de los recursos hídricos; sin haber logrado solucionar los problemas que le aquejan. Hoy por hoy, es necesario plantear soluciones al problema del agua, que nos permitan conservar la riqueza de recursos naturales que nuestro país posee, sin poner en riesgo el desarrollo de nuestra economía y la calidad de vida de la población. El análisis de las nuevas opciones mostró al agua de mar como una excelente opción para el abastecimiento de agua dulce, siempre y cuando se logre la adecuación de ésta para consumo humano.

El objetivo de la desalación, en pocas palabras, es el proceso de eliminar las sales disueltas contenidas en el agua de mar para hacer de ésta agua potable. El proceso es conocido desde la antigüedad, cuando a través de rudimentarios evaporadores y utilizando la energía solar se obtenía agua potable a pequeña escala.

Los avances tecnológicos y la investigación en materia de potabilización del agua, han abierto camino a diversas técnicas, mecánicas, térmicas y de membrana, de entre las cuales la Osmosis Inversa ha demostrado ser la más eficiente en volúmenes de agua tratados, calidad del agua producto, flexibilidad y costos, tanto de inversión como de operación.

Ésta técnica utiliza presión dinámica para superar la presión osmótica de una solución salina, causando de esa manera el permeado selectivo del agua, del lado salino de la membrana al lado desalado de la membrana. Las sales son rechazadas por la membrana y por tanto, la separación es posible.

En la instalación de Ósmosis Inversa siempre hay cuatro áreas bien definidas y diferenciadas: Toma de agua de mar y pre-tratamiento; sistema de alta presión y recuperación de energía; sistema de ósmosis inversa y post-tratamiento.

La toma de agua de mar se lleva a cabo mediante pozos playeros de 50 m de profundidad; el pre-tratamiento incluye ocho etapas: Dosificación de hipoclorito de sodio, coagulación, filtración sobre arena, bombeo de agua filtrada, adición de ácido sulfúrico, adición de dispersante y bisulfito de sodio y filtros de cartuchos; el sistema de alta presión es previo a la entrada del agua a los bastidores de ósmosis para alcanzar las condiciones de operación óptimas y la recuperación de la mayor cantidad de energía posible por medio de una turbina Pelton; los bastidores de ósmosis, el corazón del proceso, y el post-tratamiento para remineralizar el agua tratada por la ósmosis y potabilizarla.

La planta será flexible y estará preparada para la ampliación de dos líneas más de producción de 7,200 m<sup>3</sup>/día cada una. Además de ser posible la implantación de una segunda etapa que recogería el agua de rechazo de la primera etapa, con la cual se podría conseguir el 60% de la conversión del agua de alimentación aproximadamente, con lo que la producción se aumentaría a 80, 000 m<sup>3</sup>/día de agua producida.

### **Objetivo**

Realizar la Ingeniería Básica del proceso reinante en una planta desalinizadora de agua de mar vía ósmosis inversa en el municipio de Navolato, Sinaloa, que produzca 50,000 m<sup>3</sup>/día de agua potable.

### **Alcance**

Realizaremos solamente los documentos de Ingeniería Básica que sean aplicables al diseño del proceso y que estén referidos a los procesos que se lleven a cabo dentro de los límites de batería.

### **Tipo de proceso**

Desalinización de agua de mar proveniente del mar de Cortés en el océano Pacífico, vía Ósmosis Inversa, para su potabilización y distribución al municipio de Navolato, Sinaloa.

### **Capacidad, rendimiento y flexibilidad.**

- a. Factor de Servicio: El factor de servicio será de 0.9 (Operación de 330 días al año).

- b. Capacidad de diseño: La capacidad de agua potable producida será de 50,000 m<sup>3</sup>/día
- c. Capacidad de Normal: La capacidad normal de agua potable producida será igual a la capacidad de diseño, siendo de 50,000 m<sup>3</sup>/día.
- d. Capacidad Mínima: Será del 50% de la capacidad normal, es decir 25,000 m<sup>3</sup>/día.
- e. Rendimiento: será del 45% respecto de la extracción de agua cruda. Por otro lado, el rendimiento por eliminación de sólidos disueltos totales (SDT) será del 99.5%.
- f. Flexibilidad:
- El proceso de filtración se llevará a cabo mediante siete unidades de ósmosis inversa que operarán todas en conjunto. Sin embargo, se pueden obtener diferentes cantidades de agua en función del número de unidades en operación.
  - El proceso de osmosis inversa produce agua purificada con una eficiencia del 45%, pudiéndose incrementar hasta un 60% si se colocara un segundo bastidor alimentado de los efluentes del primero.
  - Se podrá aumentar la capacidad de producción de agua potable, mediante dos líneas adicionales de 7,200 m<sup>3</sup>/día cada una, para un total producido de 64,400 m<sup>3</sup>/día.
  - El proceso contará con un sistema de generación de energía eléctrica haciendo uso de una Turbina Pelton, que reducirá el consumo requerido de CFE.

## Especificaciones

### 1. Alimentaciones

Agua de mar procedente del Mar de Cortés en el Océano Pacífico<sup>1</sup>

Ion en solución	Composición Típica del Agua de Mar (mg/L)
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	18,980
Sodio (Na <sup>+</sup> )	10,556
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	2,649
Magnesio (Mg <sup>2+</sup> )	1,262
Calcio (Ca <sup>2+</sup> )	400
Potasio (K <sup>+</sup> )	380
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	140
Estroncio (Sr <sup>2+</sup> )	13
Bromuro (Br <sup>-</sup> )	65

<sup>1</sup> Lenntech Water treatment & air purification Holding B.V. "Major Ion Composition of Seawater".

Borato ( $\text{BO}_3^{3-}$ )	26
Fluoruro ( $\text{F}^-$ )	1
Silicato ( $\text{SiO}_3^{2-}$ )	1
Yoduro ( $\text{I}^-$ )	<1
Otros	-
<b>Sólidos Disueltos Totales (SDT)</b>	<b>34,483</b>

Propiedad	Valor
Peso Molecular (Kg/Kg mol)	18
Densidad ( $\text{Kg/m}^3$ )	1,026.71
Flujo másico (Kg mol/h)	118,832.18
Flujo Volumétrico ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	2,083.33

## 2. Producto agua potable para distribución municipal<sup>2</sup>

Especificaciones a la salida de las membranas de ósmosis inversa: Dado que la eficiencia de las membranas es de 99.5% la cantidad de sólidos disueltos totales a la salida de dicho tratamiento será menor a 300 mg/L por lo que para su distribución y consumo será necesario adecuarla a las condiciones establecidas por la OMS para el agua potable

### a. Composición general probable del permeado ( $\text{Kg/m}^3$ )

Cationes	Aniones
Ca <sup>++</sup> 0.000753	Cl <sup>-</sup> 0.152624
Mg <sup>++</sup> 0.002259	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> 0.005078
Na <sup>+</sup> 0.094157	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> 0.001506

### b. Límites bacteriológicos

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP3/100 ml 2 UFC4/100 ml
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml Cero UFC/100 ml

### c. Límites Organolépticos

<sup>2</sup> NOM-127-SSA1-1994

<sup>3</sup> Número más Probable por 100 mL, utilizando técnica de número más probable

<sup>4</sup> Unidades formadoras de Colonias por 100 mL, utilizando técnica de filtración por membrana

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE</b>
Color	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Olor y sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en otro método.

d. Límites Químicos en (Kg/m<sup>3</sup>) salvo que se indique otra cosa

<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE</b>
Aluminio	0.0002
Arsénico	5E-05
Bario	0.0007
Cadmio	5E-06
Cianuros (como CN-)	7E-05
Cloro residual libre	3.2037-24.02775
Cloruros (como Cl-)	0.249889
Cobre	0.001999
Cromo total	5E-05
Dureza total (como CaCO <sub>3</sub> )	0.499777
Fenoles o compuestos fenólicos	1E-06
Hierro	0.0003
Fluoruros (como F <sup>-</sup> )	0.001499
Manganeso	0.00015
Mercurio	1E-06
Nitratos (como N)	0.009996
Nitritos (como N)	5E-05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.0005
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	104.1203-136.1573
Plaguicidas en microgramos/l: Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	3E-05
Clordano (total de isómeros)	0.0003
DDT (total de isómeros)	0.001
Gamma-HCH (lindano)	0.001999
Hexaclorobenceno	1E-05
Heptacloro y epóxido de heptacloro	3E-05
Metoxicloro	0.019991

2,4 – D	0.049978
Plomo	2.5E-05
Sodio	0.199911
Sólidos disueltos totales	0.999554
Sulfatos (como SO <sub>4</sub> =)	0.399822
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.0005
Trihalometanos totales	0.0002
Zinc	0.004998

e. Límites radiactivos

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Radiactividad alfa global	0.1
Radiactividad beta global	1.0

3. Condiciones de la alimentación en límites de batería.

Alimentación	Estado Físico	Presión (Kgf/cm <sup>2</sup> )			Temperatura (°C)			Forma de Recibo
		Min	Nor	Máx	Min	Nor	Máx	
Agua de mar	Líquido	2.52	3.52	5.52	15	24.0	30	Tubería

4. Condiciones del producto en límites de batería

Alimentación	Estado Físico	Presión (Kgf/cm <sup>2</sup> )			Temperatura (°C)			Forma de Recibo
		Min	Nor	Máx	Min	Nor	Máx	
Agua de mar	Líquido	1.033	1.033	9.099	19	24.0	30	Tubería

### Eliminación de Efluentes

- a. Agua de lavado de los filtros de arena: Al ser un efluente intermitente, se colecta y se le da el tratamiento adecuado en una planta de tratamiento fuera de los límites de batería, pero perteneciente al complejo. Los contaminantes del proceso de limpieza serán neutralizados adecuadamente y se dispondrá tanto de los sólidos sedimentables como de los líquidos.
- b. Agua de lavado de las membranas de ósmosis inversa: Se colecta y se recircula cada vez que el tratamiento sea necesario ya que se cuenta con un



filtro de cartucho previo a su ingreso al sistema de ósmosis inversa para eliminar las impurezas de lavados anteriores.

- c. Agua de rechazo de las membranas de ósmosis inversa: El agua de rechazo del proceso, deberá ser eliminada mediante una tubería submarina de 1200m de longitud, distancia que minimiza el impacto ambiental sobre la flora y la fauna del lugar, cercana a la línea de costa. Dicha tubería deberá contar con dispersores para favorecer la rápida dilución del vertido en el cuerpo acuático.

### Instalaciones requeridas de almacenamiento

No se encuentra dentro del alcance del proyecto.

### Servicios auxiliares

- a. Agua para servicios

Fuente de Suministro	Proceso
<b>Condiciones de suministro</b>	Dentro de límites de batería
<b>Presión</b>	1.033 (Kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>Temperatura</b>	Ambiente
<b>Disponibilidad</b>	La requerida

- b. Agua contra incendio

<b>Presión</b>	10 (Kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>Disponibilidad</b>	La requerida

- c. Válvulas y Accesorios

<b>Tipo de Válvulas</b>	Solenoide
<b>Suministro de energía</b>	Energía eléctrica
<b>Disponibilidad</b>	La requerida

- d. Energía Eléctrica

<b>Fuente de Suministro</b>	Comisión Federal de Electricidad (CFE)
<b>Disponibilidad</b>	La requerida

Además se contará con una pequeña planta generadora de energía a partir de combustibles, para satisfacer las necesidades prioritarias de la planta en caso de una falla en el suministro de electricidad por parte de CFE.

### Sistemas de seguridad

De acuerdo a lo establecido en la NOM-001-STPS y NOM-002-STPS.

- a. Sistema contra incendio: Se contará con el sistema más adecuado dependiendo del área de trabajo y la naturaleza del proceso que se desarrolla en ella y los materiales y agentes químicos involucrados.

### Condiciones climatológicas

- a. Temperatura

<b>Máxima Extrema</b>	35.4 °C
<b>Mínima Extrema</b>	10.5 °C
<b>Máxima Promedio</b>	31.9 °C
<b>Mínima Promedio</b>	16.2 °C
<b>Bulbo Húmedo</b>	28.0 °C

- b. Precipitación pluvial

<b>Horaria máxima</b>	0.008039 m
<b>Máxima en 24 h</b>	0.192999 m
<b>Promedio anual</b>	0.773999 m

- c. Vientos

#### Vientos Reinantes

<b>Septiembre – Abril</b>	N-SSO
<b>Mayo - Agosto</b>	S-SSE

#### Vientos Dominantes

<b>Velocidad media</b>	100 Km/h
<b>Velocidad nominal para diseño</b>	185 Km/h

- d. Atmósfera: Presión de 101325 pascales con atmósfera corrosiva.

## Localización de la planta

a. Coordenadas de los límites de Bateria:

24°39'27.72"N	107°59'51.25" O
24°39'25.25"N	107°59'48.92" O
24°39'25.66"N	107°59'54.00" O
24°39'23.17"N	107°59'51.70" O

b. Elevación de la planta sobre nivel del mar: 0 metros.

### *Bases de diseño eléctrico*

No se encuentra dentro del alcance del proyecto.

### *Bases de diseño para tubería*

No se encuentra dentro del alcance del proyecto.

### *Bases de diseño civil*

No se encuentra dentro del alcance del proyecto.

### *Bases de diseño para control e instrumentación*

Sistema de centralización de señales de campo a un sistema de control distribuido.

## Bases de diseño para equipo

- Recipientes: Se considera un sobre diseño de 10% en flujos y 20% respecto a la presión máxima de operación.
- Bombas: se considera un sobre diseño de 10% para flujo y presión de operación.

## Normas, códigos y otras especificaciones

a. Códigos nacionales.

### **NOM-127-SSA1-1994**

Salud Ambiental, Agua para Uso y Consumo Humano  
Límites permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe someterse el Agua para su Potabilización

### **NOM-001-ECOL-1996**

Límites Máximos Permisibles en las Descargas de  
Aguas Residuales en Aguas y Bienes Nacionales

<b>NOM-013-CNA-2000</b>	Redes de Distribución de Agua Potable – Especificaciones de Hermeticidad y Métodos de Prueba
<b>NOM-005-CNA-1996</b>	Flujómetros – Especificaciones y Métodos de Prueba
<b>NOM-007-CNA-1997</b>	Requisitos de Seguridad para la Construcción y Operación de Tanques de Agua

b. Códigos Internacionales

<b>API RP 521</b>	Guide for Pressure Relief and Depressing Systems
<b>API 5L</b>	Specification for Line Pipe
<b>API 676</b>	Positive Displacement Pumps – Rotary Type
<b>ASME SECC. II</b>	Materials
<b>ASME SECC. V</b>	Non-Destructive Examination
<b>ASME SECC. VIII</b>	Unfired Pressure Vessel, Division 1 and 2
<b>ASME</b>	Process Piping (Refinery Code for Pressure Piping)
<b>ASTM A6</b>	Standard Specification For General Requirements For Rolled Steel Plates, Shapes, Sheet Piling, And Bars For Structural Use.
<b>ASTM A20</b>	General Requirements for Steel Plates for Pressure Vessels
<b>ASTM A123</b>	Zinc (Hot-Galvanized) Coatings on Iron and Steel Products
<b>ISA S5.3</b>	Graphic Symbols For Distributed Control/Shared Display Instrumentation, Logic and Computer Systems
<b>ISA S 7.3</b>	Quality Standard for Instrument Air

## Agentes químicos.

### a. Recepción a la planta

Agente Químico	Estado Físico	Presión (Kgf/cm <sup>2</sup> )			Temperatura (°C)			Forma de Recibo
		Min	Nor	Máx	Min	Nor	Max	
Bisulfito de Sodio	Sólido	1.033	1.033	1.033	15.0	24.0	30.0	Sacos de Polvo de 50 kg
Hipoclorito de Sodio	Solución	1.033	1.033	2.066	15.0	24.0	30.0	Auto - tanque
Hexametáfosfato de Sodio	Sólido	1.033	1.033	1.033	15.0	24.0	30.0	Sacos de Polvo de 50 kg
Tricloruro de Hierro	Sólido	1.033	1.033	1.033	15.0	24.0	30.0	Sacos de Polvo de 50 kg
Ácido Sulfúrico al 98%	Líquido	1.033	1.033	2.066	15.0	24.0	30.0	Auto - tanque
Hidróxido Cálcico	Sólido	1.033	1.033	1.033	15.0	24.0	30.0	Sacos de Polvo de 50 kg
Reactivos de lavado de membranas	Líquido	1.033	1.033	2.066	15.0	24.0	30.0	Barriles

## Justificación de Bases de diseño

### Generalidades

#### *Antecedentes*

No aplica justificación.

#### **Capacidad, Rendimiento y Flexibilidad.**

- a. Factor de Servicio: El factor de servicio es de 0.9 debido a que las membranas deben ser lavadas cada seis horas, esta operación toma 15 minutos. Es decir que por cada 24 horas de operación se para una hora. Anualmente, esto representa 14.6 días de paro. El 0.1 de paro de un año equivale a 36.5 días de paro. Los otros 22 días que se parará la planta será para mantenimientos de los equipos y limpieza de los mismos, distribuidos a lo largo del año.
- b. Capacidad de diseño: La capacidad de la planta está basada en las necesidades del municipio de Navolato. Este municipio tiene un requerimiento de agua de 27,000 m<sup>3</sup>/día al día de hoy y dentro de 13 años requerirá de 30,000 m<sup>3</sup>/día. Los 20,000 m<sup>3</sup>/día extra de diseño son para poder vender el sobrante a municipios colindantes o para el crecimiento no previsto de la población municipal.
- c. Capacidad de Normal: La capacidad normal de agua potable producida será poco menor que la capacidad de diseño ya que se ha considerado un margen de sobre diseño sobre los equipos.
- d. Capacidad Mínima: La capacidad mínima de operación será la mitad de la capacidad de diseño, esto previendo imprevistos que puedan suceder en la planta como la falta de bastidores o la falla de los pozos playeros.
- e. Rendimiento: El rendimiento de producción de agua potable esta delimitado por una parte por la cantidad de sólidos disueltos en el agua, ya que a menor cantidad de éstos, mayor sera la recuperación de agua potable y por el otro lado por el rendimiento de eliminación o rechazo de sales de las membranas de ósmosis.
- f. Flexibilidad:
  1. En caso de problemas de suministro eléctrico –principal servicio auxiliar- o bien imprevistos, la planta puede seguir operando a un porcentaje de su capacidad real total.

2. Al agregar un segundo bastidor se aprovecha parte del efluente del primer bastidor produciendo así una mayor cantidad de agua desmineralizada.
3. Líneas adicionales previstas para satisfacer el aumento de la demanda.
4. Se introduce la turbina para recuperar parte de la energía requerida para el bobeo del flujo a presión reduciéndose los consumos energéticos derivados del proceso.

### Especificaciones

#### 1. Alimentaciones

Agua de mar procedente del Mar de Cortés en el Océano Pacífico: Lenntech, Water treatment & air purification, Holding B.V. "Major Ion Composition of Seawater".

#### 2. Producto agua potable para distribución municipal: NOM-127-SSA1-1994

- a. Composición general probable del permeado ( $\text{Kg/m}^3$ ): Sujeto a la eficiencia de las membranas utilizadas para la ósmosis inversa.
  - b. Estadísticas en análisis del perneado para membranas similares: Dr. Manuel Latorre, *COSTES ECONÓMICOS Y MEDIOAMBIENTALES DE LA DESALACIÓN DE AGUA DE MAR*, IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del Agua. Tortosa, 2004.
3. Condiciones de la alimentación en límites de batería: Se trabaja a condiciones de presión y temperatura atmosféricas.
  4. Condiciones del producto en límites de batería: Se trabaja a condiciones de presión y temperatura atmosféricas.

### Eliminación de Efluentes:

- a. El ciclo de servicio de los filtros (horas de operación entre lavados) dependerá de la calidad del agua bruta, pero a priori no será inferior a 24 horas. La elección del filtro a lavar se determinará en función del caudal filtrado, lavando cada filtro selectivamente o en cadena en un orden preestablecido.
- b. La secuencia de lavado se efectuará de forma automática. Para ello se incorporan válvulas con accionamiento neumático. La decisión de lavado se determinará por la pérdida de carga de la filtración.
- c. El agua de rechazo del proceso, deberá ser eliminada mediante una tubería submarina de 1200m de longitud, distancia que minimiza el impacto

ambiental sobre la flora y la fauna del lugar, cercana a la línea de costa. Dicha tubería deberá contar con dispersores para favorecer la rápida dilución del vertido en el cuerpo acuático.

#### **Instalaciones requeridas de almacenamiento:**

No se encuentra dentro del alcance del proyecto.

#### **Servicios auxiliares:**

No aplica justificación

#### **Sistemas de seguridad:**

De acuerdo a lo establecido en la NOM-001-STPS y NOM-002-STPS.

- d. Sistema contra incendio: Se contará con el sistema más adecuado dependiendo del área de trabajo y la naturaleza del proceso que se desarrolla en ella y los materiales y agentes químicos involucrados.

#### **Condiciones climatológicas:**

No aplica justificación

#### **Localización de la planta**

- e. Coordenadas de los límites de Batería: Se consideró un terreno localizado cerca de la costa –cerca de materia prima- de un área superficial total de 1.5 hectáreas área suficiente para la construcción de la nave y para la inclusión de los diferentes equipos de proceso necesarios

#### **Bases de diseño eléctrico:**

No se encuentra dentro del alcance del proyecto.

#### **Bases de diseño para tubería:**

No se encuentra dentro del alcance del proyecto.

#### **Bases de diseño civil:**

No se encuentra dentro del alcance del proyecto.

#### **Bases de diseño para control e instrumentación:**

Sistema de control más adecuado.



**Bases de diseño para equipo**

Se consideraron reglas heurísticas.

**Normas, códigos y otras especificaciones**

No aplica justificación

**Agentes químicos**

Se opera en condiciones de presión y temperatura atmosféricas.

## Criterios de diseño

### Filtros de arena.

1. Los filtros de arena operarán a presión atmosférica.
2. Su dimensionamiento esta basado en la altura del lecho filtrante y la velocidad de filtración
3. El lecho estará compuesto de arena silícea

### Filtros de cartuchos.

1. Están seleccionados en base a un grado de filtración determinado

### Agitación y mezclado.

1. La intensidad de agitación con impulsores en tanques desconectados es medida por el poder de entrada, HP / 1000 gal, y la velocidad de la punta del impulsor:

Operación	HP / 1000 gal	Velocidad de punta de flecha (ft/min)
Mezclado	0.2 – 0.5	< 7.5
Reacción Homogénea	0.5 – 1.5	7.5 – 10
Reacción con transferencia de energía	1.5 – 5.0	10 – 15
Mezclas líquido – líquido	5	15 – 20
Mezclas líquido – gas	5- 10	15 – 20
Mezclas	10	> 20

2. Relaciones de un tanque agitado relativo a su diámetro D: altura al espejo de agua = D; diámetro del impulsor de la turbina = D/3; nivel del impulsor por encima del fondo = D/3; ancho del impulsor = D/15; cuatro deflectores verticales con espesor = D/10.
3. Los propulsores serán máximo de 18 pulgadas, impulsor de turbinas de hasta 9 ft.

### Tuberías.

1. Velocidades en tuberías y caídas de presión, con diámetro de tubería D en pulgadas: descarga de líquido de la bomba,  $(5 + D / 3)$  ft/s, 2.0 psi / 100 ft; succión de líquido de la bomba,  $(1.3 + D/6)$  ft/s, 0.4 psi / 100 ft; vapor o gas, 20D ft/s, 0.5 psi/100 ft.
2. Las válvulas de control requieren de al menos una caída de presión de 10 psi para un buen control.
3. Las válvulas de globo son utilizadas para gases, donde se requiere control muy fino. Las válvulas de compuerta son utilizadas para muchos otros servicios.

- El número de cédula de las tuberías es aproximadamente =  $1000P/S$ , donde P es la presión interna Puig y S es el estrés de trabajo permisible (alrededor de 10,000 psi para acero al carbón A120 a 500° F). La cédula 40 es la más común.

### Bombas.

- Potencia para bombear líquidos:  $HP = (\text{gpm}) (\text{diferencia de presión psi}) / (1715)$  (eficiencia fraccional).
- El NPSH de la bomba deberá exceder una cierta cantidad, dependiendo del tipo de bomba y de las condiciones, para evitar que se averíe.  $NPSH = (\text{presión en el ojo del impulsor} - \text{presión de vapor}) / (\text{densidad})$ . El margen común es de 4 – 20 ft.
- La velocidad específica  $N_s = (\text{rpm})(\text{gpm})^{0.5} / (\text{cabeza en ft})^{0.75}$ . Se puede dañar la bomba si se exceden ciertos límites de  $N_s$ , y la eficiencia es mejor en ciertos intervalos.
- Bombas centrífugas: Etapa sencilla para 15 – 5000 gpm, cabeza máxima de 500 ft; multietapas para 20 – 11,000 gpm, cabeza máxima 5500 ft. Eficiencia del 45% a 100 gpm, 70% a 500 gpm, 80% a 10,000 gpm.
- Bombas axiales para 20 – 100,000 gpm, 40 ft de cabeza, eficiencia del 65 – 85%.
- Bombas rotatorias para 1 – 5000 gpm, 50,000 ft de cabeza, eficiencia del 50 – 80%.
- Bombas reciprocantes para 10 – 10,000 gpm, 1'000,000 ft de cabeza máxima. Eficiencia del 70% a 10 HP, 85% a 50 HP, 90% a 500 HP.
- Las bombas operarán con motores eléctricos de alta eficiencia.

### Servicios.

- Aire comprimido niveles de presión de 45, 150, 300 o 450 psig.
- Aire de instrumentos a 45 psig, 0° F de punto de rocío.
- Electricidad: 1 – 100 HP, 220 – 550 V; 200 – 2500 HP, 2300 – 4000 V.

### Compresores.

- Potencia Adiabática Teórica (PAT)

$$P_{HP,t} = \left( \frac{FT_1}{8.130a} \right) \left( \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^a - 1 \right)$$

Donde  $P_{hp,t}$  = potencia, hp; F = flujo  $\text{ft}^3_{\text{std}} / \text{min}$ ;  $T_1$  = temperatura interna, °R;  $P_2$  y  $P_1$  = presión a la salida y a la entrada, psia;  $a = (k - 1) / k$ , donde  $k = C_p / C_v$ .

- Temperatura de descarga  $T_2 = T_1 (P_2/P_1)^a$ .

3. Para comprimir aire a 100° F:  $k = 1.4$ , relación de compresión = 3, Potencia Teórica requerida = 62 HP / MMft<sup>3</sup>/d, temperatura de salida 306° F.
4. La temperatura de descarga no deberá exceder de 350 – 400° F; para gases diatómicos ( $C_p/C_v = 1.4$ ) esto corresponde a una relación de compresión de alrededor de 4.
5. La eficiencia de compresores reciprocantes: 65% para una relación de compresión de 1.5; 75% para 2.0; 80 – 85% para 3 – 6.
6. La eficiencia para compresores reciprocantes largos, 6000 – 100,000 ACFM a la succión, es de 76-78%.

### Recipientes a presión.

1. La temperatura de diseño debe estar entre - 20° F y 50° F por encima de la temperatura de operación; se usan márgenes mayores de seguridad fuera del intervalo de temperatura dado.
2. La presión de diseño es 10% o 10 – 25 psig por encima de la máxima presión de operación, donde esta sea mayor. La máxima presión de operación, en cuestión, se considera de 25 psi por encima de la presión de operación normal.
3. La presión de diseño de recipientes operando de 0 – 10 psig y 600 – 1000° F es de 40 psig.
4. Para operación al vacío, la presión de diseño es de 15 psig y vacío total.
5. El espesor mínimo de la pared para rigidez: 0.25 in para 42 in de diámetro, 0.32 in para 42 – 60 in de diámetro, y 0.38 in para diámetros mayores a 60 in.
6. Corrosión permisible de 0.35 in, para condiciones conocidas de corrosión, 0.15 in para corrientes no corrosivas, y 0.06 in para tambores de vapor y receptores de aire.
7. Estrés de trabajo permisible es de un cuarto del esfuerzo último del material.
8. El estrés máximo permisible depende sensiblemente de la temperatura:

Temperatura (° F)	- 20 – 650	750	850	1000
Aleaciones bajas de acero SA203 (psi)	18,750	15,650	9550	2500
Inoxidable Tipo 302 (psi)	18,750	18,750	15,900	6250

9. Todos los recipientes considerados a presión deberán contar con un sistema de seguridad para aliviar el exceso de presión.

### Agentes Químicos.

1. Dosificación del Hipoclorito de Sodio. Se deberá alimentar a una dosis máxima de diseño de 2 mg/ l de agua de tratada como cloro activo.
2. Dosificación de Coagulante. Se utilizará  $\text{FeCl}_3$  asumiendo una dosis de diseño de 5 mg/l de agua tratada.
3. Dosificación de ácido sulfúrico. Se dosificará, en caso de ser necesario, ácido sulfúrico al 98% utilizando dos bombas dosificadoras (una de reserva) para mantener el pH entre 6.8 y 6.9.
4. Adición de dispersante o anti incrustante. Se utilizará Hexametáfosfato de sodio con una dosificación de 1 mg/ l de agua tratada.
5. Dosificación de bisulfito sódico. Se utilizará una solución al 20%, dos bombas dosificadoras (una de reserva) a una concentración de 5 mg/ l de agua tratada.
6. Hidróxido de Calcio. Se alimentará para garantizar que el agua potable contenga 60 mg de Calcio / l de agua tratada. Solución al 25%,

## **Análisis de las diversas alternativas del proceso**

Para efectos del proceso, se analizaron las siguientes alternativas:

### **Instalaciones para la toma de agua**

Se puede adquirir agua para utilizar como insumo en la desalinización de muchas maneras. El agua insumo generalmente es agua de mar, o bien, agua subterránea salobre. A continuación se describen los métodos usados actualmente para obtener y transportar el agua insumo.

### ***Cuestiones de ubicación***

Las instalaciones para la desalinización de agua de mar requieren de un sistema de toma capaz de proporcionar una cantidad accesible y confiable de agua de mar limpia con un mínimo impacto ecológico. A fin de alcanzar esos objetivos, es esencial realizar una evaluación exhaustiva de las condiciones en el sitio escogido. Es necesario valorar las características físicas, las condiciones oceanográficas, la biología marina y los efectos potenciales del ensuciamiento, la contaminación y la navegación. Los diseños para la toma de agua dependen enormemente de las características del sitio en cuestión, potencialmente más que cualquier otro elemento de la planta desalinizadora. Pueden representar hasta 20% del costo de capital de toda la planta.<sup>5</sup>

Es importante considerar el atrapamiento accidental de la vida marina por las obras para la toma de agua de mar y el arrastre de la misma por el agua, incluyendo limitaciones difíciles de cuantificar que puedan representar el impacto adverso directo más significativo sobre el medio ambiente atribuible a la desalinización de agua de mar. Las tecnologías para las obras de toma de agua de mar van desde tomas superficiales de gran tamaño a lo largo de la costa, hasta estructuras para la toma cercanas a la misma y pozos con filtros de rejilla en tierra firme. Cada tecnología plantea retos distintos por su forma de diseño, consumo de energía y consideraciones ambientales. No obstante, en el diseño de toma abierta de agua de mar, la mayor preocupación ambiental consiste en el impacto sobre la vida marina en cuanto al atrapamiento y arrastre.

---

<sup>5</sup> Pankratz 2004

El atrapamiento de la vida marina, que se da cuando formas más grandes de ésta quedan atrapadas en las rejillas o se lanzan accidentalmente contra ellas, es un fenómeno relativamente fácil de mitigar mediante la utilización de las tecnologías disponibles. Sin embargo, es mucho más difícil controlar el arrastre de la vida marina por el agua, puesto que se trata de organismos muy pequeños e incluso microscópicos (tales como el fitoplancton, zooplancton, huevecillos y larvas) que son jalados a través de la rejilla y entran a la toma. Eso puede dar lugar a una disminución en el reclutamiento de esas especies en el hábitat local, así como a una reducción de la productividad global del ecosistema, afectando de manera adversa las oportunidades para la pesca comercial y deportiva en la región.<sup>6</sup>

### *Tomas abiertas de agua de mar*

Las tomas abiertas extraen el agua del océano o del mar y pueden diseñarse en diferentes tamaños, lo cual da lugar a capacidades ilimitadas. Cuando se diseña una toma de ese tipo, la mayor preocupación consta de evitar que la vida marina y los residuos entren al sistema de desalinización, no solamente por el impacto sobre la vida marina, sino también porque eso puede ensuciar las membranas de desalinización. A continuación se enumeran las tres principales tecnologías empleadas en la actualidad para hacer frente a esos problemas asociados con la extracción directa.

*Filtros de agua móviles:* Consisten en paneles grandes de malla de alambre que se emplean para evitar la entrada de residuos u organismos marinos. Dichos paneles son rotatorios, lo cual permite su lavado; pueden colocarse directamente en la costa al final de un canal largo, tubería de toma o depósito regulador que se extiende más allá de la zona de olas.

*Tapas reductoras de velocidad:* Consisten en una toma fuera de la costa, en forma de “T”, que convierte el flujo vertical en uno horizontal, a fin de reducir el atrapamiento accidental de los peces y el arrastre de los mismos por el sistema.

*Tomas con filtros de rejilla sin lavado mecánico:* Utilizan rejillas ranuradas alineadas sobre un eje horizontal, donde con la toma final se extrae el agua en un eje vertical, tal como se

---

<sup>6</sup> López et al. 2006

muestra en la figura. A menudo las tomas con filtros de rejilla son construidas con tuberías mucho más grandes que las de la toma final, a fin de reducir las velocidades de flujo.



FIGURA Toma de filtros de rejilla sin lavado mecánico

### *Tomas sub-superficiales*

Las tomas sub-superficiales emplean los conceptos de la extracción de aguas subterráneas en un ambiente costero. Ya que atraen el agua a través de lechos de arena saturada u otros estratos subterráneos permeables, por lo general tienen un impacto nulo o insignificante sobre la vida marina local y pueden proporcionar una fuente de agua pre-filtrada para el proceso de desalinización. Por esa razón, especialmente en ambientes marinos sensibles, se utilizan pozos poco profundos en lugares en que las consideraciones de costos y las condiciones geológicas los permitan. Dado que dichos pozos dependen de la permeabilidad y estabilidad de los materiales sub -superficiales, así como de la confiabilidad de la fuente de agua subterránea subyacente, todos requieren de una minuciosa evaluación geotécnica antes de su construcción. A continuación se describen los tres principales tipos de tomas sub -superficiales.

*Pozos playeros de agua de mar:* Un pozo playero típico consiste en un tubo perforado para la captación que se extiende costa afuera abajo del fondo marino, tal como se puede apreciar en la figura. Estos sistemas normalmente pueden abastecer a las plantas desalinizadoras con una capacidad de aproximadamente 19,000 m<sup>3</sup>/día o menos.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Pankratz 2004



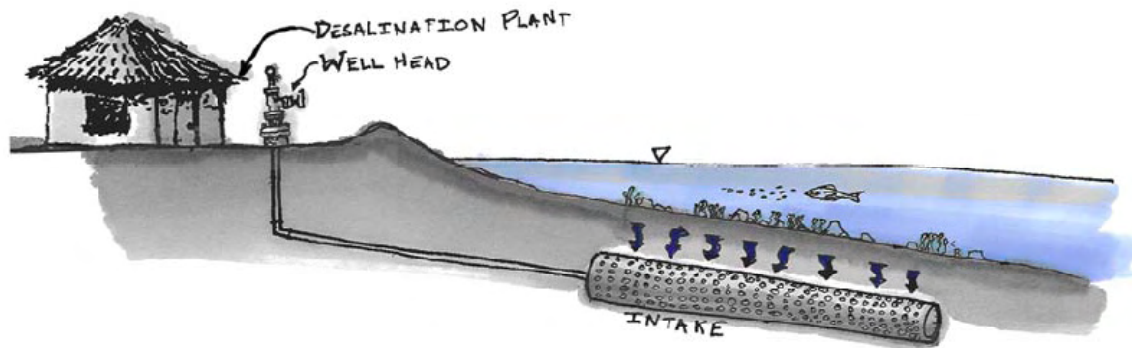


Diagrama de pozo playero de agua de mar

Pozos radiales poco profundos: Este diseño incluye un depósito colector o cajón hidráulico del pozo de gran capacidad conectado a una serie de pozos horizontales ubicados a lo largo del fondo marino. Por lo general, las capacidades de toma de este tipo de pozo poco profundo son altas. Es probable que un solo cajón hidráulico pueda atender la demanda de agua de la actual población de Loreto. Las tasas de producción reales dependen del número de tomas y de las condiciones geológicas subyacentes. Pozos de este tipo también se benefician de la filtración natural de materiales en el fondo marino. Si la instalación de pozos horizontales no es costo-efectiva o si los materiales del fondo marino no se prestan para esta aplicación, en su lugar se pueden construir galerías filtrantes.

Tales galerías funcionan de acuerdo con el mismo concepto usado en los pozos radiales poco profundos, pero en vez de pozos horizontales se utilizan zanjas excavadas rellenas con grava o algún otro material filtrante. La construcción de galerías filtrantes puede tener efectos perjudiciales para los sistemas marinos y puede afectar el ambiente marino de manera importante en áreas sensibles tales como los arrecifes productivos.

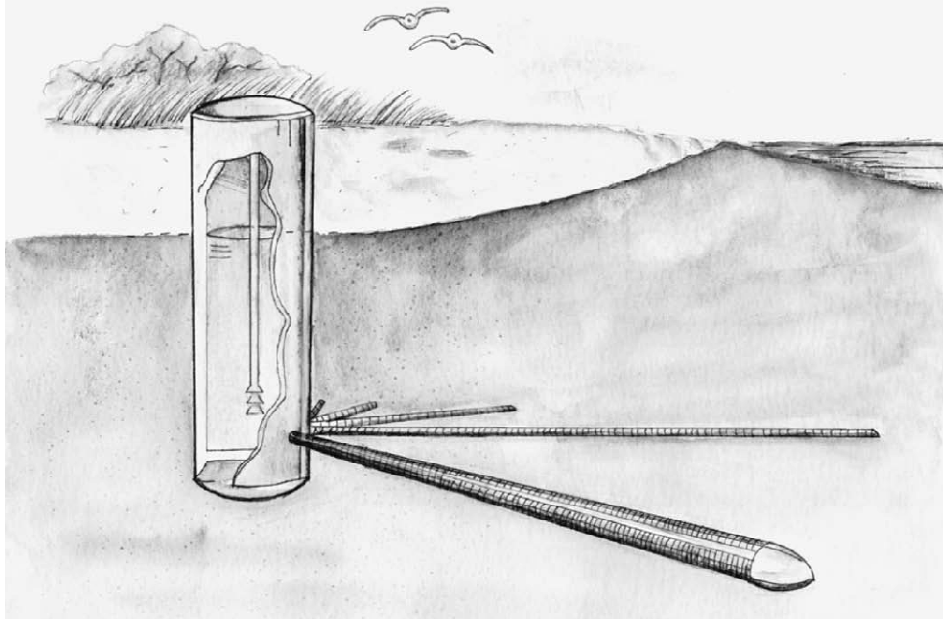


FIGURA Ilustración de pozo horizontal radial

*Pozos playeros de agua salobre:* Esta tecnología es similar a la empleada en la extracción de agua de mar con pozos playeros. La principal diferencia estriba en que la instalación para la toma generalmente se coloca más tierra adentro que el pozo playero de agua de mar. Los pozos playeros de este tipo captan agua salobre con un contenido de sal muy reducido, por lo general de menos de 5,500 partes por millón (ppm), en comparación con el agua de mar, que normalmente tiene 45,000 ppm. Debido a que, en esencia, el agua salobre es más “limpia”, es más fácil y mucho menos costoso eliminar las sales de ella, por lo que constituye una fuente preferida cuando es abundante.

### *Conclusión.*

Se decidió que la toma se realizará mediante pozos playeros, ya que estos ayudan a pre-filtrar el agua de manera que el tratamiento dentro de límites de batería sea menor y por lo tanto disminuir los costos fijos y de operación.

### **Pre-tratamiento**

El pre-tratamiento constituye un componente importante de los sistemas de desalinización, especialmente en cuanto a la aplicación de procesos de membrana.

Durante el pre-tratamiento, se prepara el agua bruta para el proceso de desalinización. Los procesos térmicos de desalinización requieren de la filtración, y ocasionalmente, de tratamientos químicos, pero no necesitan el mismo nivel de pre-tratamiento que las

membranas de ósmosis inversa. Con la incorporación de tomas sub-superficiales y de la tecnología más apropiada para hacerle frente a las condiciones del agua bruta en términos de su calidad antes del proceso, se pueden reducir los costos enormemente.

Todas las plantas desalinizadoras requieren de mantenimiento preventivo, incluyendo lo siguiente: calibración de instrumentos, ajustes de las bombas, inspección y ajuste de la alimentación de sustancias químicas, detección y reparación de fugas y reparación estructural del sistema según un calendario programado.

Se analizó la conveniencia de realizar el tratamiento del agua de mar previo a la ósmosis inversa utilizando procesos de membrana, como micro-filtración y ultrafiltración. A continuación mencionamos las principales características de dichas técnicas:

Micro-filtración. Generalmente elimina partículas de mayores a 10 micrones. Este mecanismo es impulsado por la presión, por lo que se requerirían bombas adicionales para llevar a cabo el proceso de manera óptima.

Ultrafiltración. Elimina partículas mayores a 0.1 micrones. Este mecanismo también es impulsado por la presión. Esta técnica evita el crecimiento biológico y la formación de incrustaciones, por lo que podemos evitar el uso de sustancias químicas.

La segunda opción es la utilización de agentes químicos, que son los siguientes:

Desinfectante. Sirve para eliminar la contaminación biológica del agua de mar, ya que de otra manera resultaría en crecimiento biológico en las membranas lo cual implicaría menor eficiencia y vida útil de las mismas y mayores costos por mantenimiento. Se utilizará hipoclorito de sodio.

Reductor. Debido a la posible cloración del agua de mar, el agua filtrada contendrá cloro libre residual a unos niveles de aproximadamente 0,5 mg/l, siendo precisa su reducción total ya que dicho oxidante degrada irreversiblemente las membranas de poliamida. Para conseguir dicha reducción se dosifica bisulfito de sodio.

Anti-incrustante. La función de los anti-incrustantes es la de mejorar la solubilidad de algunas sales y prevenir su precipitación (uno de los factores limitantes de la conversión de las desalinizadoras). Para nuestras condiciones de operación se ha adoptado un polímero

orgánico como dispersante: hexametáfosfato de sodio, siendo la dosificación de 1 mg/l suficiente para conseguir la conversión del 45%.

Coagulante. El agua bruta tomada de los pozos playeros tiene un bajo índice de colmatación (SDI de 0.5 a los 60 minutos) y por tanto no precisa de coagulación. Aún así, por razones de seguridad y debido a la capacidad de la planta se consideró conveniente la instalación de un equipo dosificador de coagulante inorgánico asumiendo una dosis de diseño de 5 mg/l de  $\text{FeCl}_3$ .

Dosificación de ácido. Se adiciona ácido sulfúrico al 98% para controlar el pH del agua ligeramente debajo de neutro (6.6 – 6.9). Esto para desfavorecer, a pesar de la desinfección, posibles crecimientos biológicos en el agua de mar.

### Conclusión.

Se optó por el pre-tratamiento usando agentes químicos, ya que los costos de operación por bombeo, en el caso de micro y ultrafiltración, resultarían sumamente elevados. Por otro lado, gracias a que el agua de mar es tomada mediante pozos playeros, las cantidades requeridas de los agentes químicos se reduce enormemente además de que estos se controlan mediante bombas dosificadoras.

### **Tipo de coagulante**

En el mercado se encuentra diferentes coagulantes tales como:

- Sulfato de sodio.
- Sulfato de magnesio.
- Cloruro férrico.

En México, el coagulante más empleado es el sulfato de sodio ya que resulta ser el de menor precio. Sin embargo, estudios internacionales han demostrado que este compuesto puede ocasionar enfermedades como el Alz-Heimer. Debido a que en nuestro proceso se adiciona coagulante solamente como medida de seguridad, podríamos obtener agua potable con residuos de esta sustancia.

Por otro lado, el sulfato de magnesio y el cloruro férrico son coagulantes utilizados en Estados Unidos así como en la Unión Europea, lo cual significa que son sustancias adecuadas para el tratamiento de agua de mar. Ciertamente sus costos son más elevados

en comparación con el sulfato de sodio, sin embargo el costo de oportunidad de usar este coagulante se traduciría en sus efectos en la población.

### *Conclusión.*

Se utilizará cloruro férrico, ya que es de los coagulantes más eficientes en el mercado.

### **Adición de floculante – sedimentador**

Normalmente, el proceso de coagulación viene acompañado de un segundo proceso: la floculación y sedimentación. Esto ya que, una vez formados los coágulos, deben ser sedimentados y removerlos del agua producto.

Por esta razón, se utilizan los floculadores que, como su nombre sugiere, inducen la sedimentación de los coágulos mediante la formación de flóculos (conjuntos de coágulos de mayor tamaño y peso). Una vez agregados, se debe introducir el agua producto a un equipo de sedimentación para remover los flóculos y así concluir este proceso. Las sustancias más utilizadas como floculantes son polímeros con actividad eléctrica.

Sin embargo, como se mencionó en el apartado anterior, nuestro proceso utiliza la técnica de coagulación solamente como medida de seguridad. Esto se traduce en que la cantidad de coágulos formados será muy pequeña, si es que se llegan a formar, y estos podemos eliminarlos en la siguiente operación dentro del proceso, siendo esta la filtración sobre arena.

### *Conclusión.*

No se utilizará floculante y por lo tanto no se requiere de un sedimentador.

### **Adición de agentes químicos**

Dado que la filtración con cartuchos se realiza mediante cinco líneas independientes, se consideran las siguientes opciones para adicionar el ácido sulfúrico, bisulfito de sodio y el dispersante:

1. Adición independiente a cada una de las líneas. Se requiere bifurcar la corriente proveniente de los filtros de arena en las cinco líneas de entrada a los filtros de cartucho. En el transcurso, se requiere adicionar los agentes químicos arriba mencionados. Para esto se requiere de cinco líneas independientes provenientes

de los tanques que contienen estos agentes; esto implicaría contar con cinco bombas dosificadoras así como sus sistemas de control respectivos.

2. Adición de los agentes químicos en un recipiente a presión. La segunda opción consiste en descargar las siete corrientes provenientes de los filtros de arena en un tanque intermedio. En este tanque se pueden adicionar simultáneamente los tres agentes requeridos para la operación del proceso. A la salida del tanque, se bifurca la corriente de agua producto en las cinco corrientes para los filtros de cartuchos.

### *Conclusión.*

Se empleará un tanque intermedio donde se adicionen los agentes químicos, ya que nos reduce enormemente los costos de operación en comparación con la utilización de cinco bombas dosificadoras con sus respectivos controles para cada agente que se requieren en la primera alternativa, sin mencionar que la instalación de tuberías se complicaría mucho. Estamos hablando que en la adición independiente a cada línea, se utilizarían en total quince bombas dosificadoras cada una con su respectivo sistema de control.

## Análisis de las principales variables de control

### Aparatos de medición y control

El funcionamiento de la instalación precisa de unos elementos de medida para comprobar que la misma cumple con las prescripciones que ha sido diseñada. Es decir las especificaciones relativas al caudal y calidad del agua producida y al consumo energético y de reactivos de la instalación.

Pero también, teniendo en cuenta que las características del agua a tratar tienen una incidencia muy importante en el proceso, es muy importante controlar la misma a lo largo de las distintas fases del pre tratamiento previas a su entrada a las membranas.

También una instalación de estas características cuenta con instrumentos que permiten comprobar si el funcionamiento de los distintos equipos instalados es correcto con el fin de prevenir fallos en las instalaciones y avisar sobre posibles averías que pueden ocasionar daños de importante repercusión económica.

Para el control y automatización de las diferentes fases del tratamiento se han incluido los siguientes instrumentos de medición y control:

#### *Caudal Medidor – Totalizador*

- Bombeo de agua de mar.
- Alimentación agua de mar a pre tratamiento y a lavado de filtros.
- Entrada de agua de mar a Osmosis inversa.
- Agua permeada de Osmosis Inversa

#### *Indicador*

- Caudal de aire a filtros.
- Caudal de agua de lavado de membranas.
- Caudal de distribución a filtros.

#### *Presión*

- Transmisor de presión en alimentación a Osmosis Inversa.
- Indicadores de presión en bombas y en filtros.

- Presión diferencial
  - Transmisión presión diferencial entre alimentación y rechazo salino de la línea de Osmosis Inversa.
  - Transmisor de presión diferencial en filtros de arena y de cartucho.

### *Presostatos*

- Impulsión bombeo agua de mar.
- Alimentación bomba alta presión.

### *Temperatura*

- Agua pre-tratada.
- Alimentación a la línea de Osmosis Inversa.

### *Conductividad*

- Agua de mar en la entrada al tratamiento de osmosis inversa.
- Agua permeada en las líneas de Osmosis Inversa.

### *pH*

- Agua alimentación a osmosis inversa con regulación de la dosificación automática de ácido sulfúrico.
- Agua permeada en las líneas de Osmosis Inversa.

### *Redox*

- Agua alimentación a Osmosis Inversa con regulación para dosificación automática de bisulfito sódico.

### *Niveles*

- Interruptor de mínimo en depósitos de reactivos.
- Medidor de nivel en depósito regulador del bombeo intermedio.
- Medidor de nivel en depósitos de agua tratada.

### *Alarmas*

- Máximo y mínimo nivel en depósitos intermedios.
- Máximo y mínimo nivel en depósito de agua tratada.
- Mínimo nivel en depósitos de reactivos.



- Alta temperatura bobinados bombas agua de mar y alta presión.
- Alta temperatura cojinetes bombas agua de mar y alta presión.
- Alta pérdida de carga en filtros de arena y cartuchos.
- Alto y bajo potencial redox agua pre-tratada.
- Baja presión aspiración bombas alta presión.
- Alta presión impulsión bombas alta presión.
- Alta temperatura alimentación a osmosis.
- Bajo caudal alimentación a osmosis.
- Alta y baja presión alimentación a osmosis inversa.
- Alta presión diferencial entre entrada y rechazo de osmosis.
- Alta conductividad agua permeada.
- Alto y bajo pH de alimentación a osmosis inversa

### Protecciones y enclavamientos

CAUSA	ACCIÓN
<b>CAPTACIÓN</b>	
<b>Presión</b>	
Baja presión de la impulsión de las bombas	- Alarma en panel central
<b>Nivel</b>	
Bajo nivel en los pozos	- Alarma en panel central - Parada de las bombas de captación de agua de mar - Alarma parada de las bombas de captación en el panel central
<b>Caudal</b>	
Bajo caudal bombeado de los pozos	- Alarma en panel central
<b>Temperatura</b>	
Alta temperatura en los arrollamientos de los motores	- Alarma en panel central - Parada de las bombas de agua bruta - Alarma parada de las bombas de captación en el panel central
<b>BOMBEO INTERMEDIO</b>	
<b>Presión</b>	
Baja presión de la impulsión de las bombas	- Alarma en panel central
<b>Nivel</b>	
Bajo nivel en el depósito	- Alarma en panel central - Parada de las bombas de bombeo intermedio de agua

	de mar - Alarma parada de las bombas en el panel central
<b>Caudal</b>	
Bajo caudal bombeado	- Alarma en panel central
<b>Temperatura</b>	
Alta temperatura en los arrollamientos de los motores	- Alarma en panel central - Parada de las bombas de agua bruta - Alarma parada de las bombas de bombeo intermedio en el panel central
<b>PH</b>	
Alto-bajo pH del agua bruta	- Alarma en panel central
<b>FILTROS DE ARENA</b>	
<b>Presión</b>	
Alta pérdida de carga en filtros de arena	- Alarma en panel central
<b>Nivel</b>	
Bajo nivel en el depósito de salmuera	- Alarma en panel central - Parada de las bombas de lavado de filtros de arena - Alarma parada de las bombas de lavado de filtros en panel central
<b>DOSIFICACIONES</b>	
<b>Nivel</b>	
Bajo nivel en depósito de coagulante, hipoclorito, bisulfito, dispersante y ácido	- Alarma en panel central
Bajo-bajo nivel en depósito de coagulante, hipoclorito, bisulfito, dispersante y ácido	- Parada bomba dosificadora correspondiente - Parada de los agitadores - Alarma para sistema dosificación en panel central
<b>FILTROS DE CARTUCHOS</b>	
<b>Presión</b>	
Alta presión diferencial filtros de cartuchos	- Alarma en panel central
<b>OSMOSIS</b>	
<b>Presión</b>	
Baja presión en cada una de las aspiraciones de las bombas centrífugas	- Alarma en panel central - Parada línea O.I. - Alarma parada sistema O.I. en panel central - Apertura válvula de by-pass de la O.I.
Alta presión en cada una de las impulsiones de las bombas centrífugas de alta presión	- Alarma en panel central
Alta-baja presión en el agua de alimentación de entrada a	- Alarma alta - baja en panel central - Parada línea O.I.

cada uno de los bastidores	- Alarma parada sistema O.I. en panel central - Apertura válvula de by-pass de la O.I.
Alta pérdida de carga en el bastidor	- Alarma en panel central
<b>Caudal</b>	
Bajo caudal en las aspiraciones de las bombas centrífugas de alta presión	- Alarma en panel central - Parada línea O.I. - Alarma parada sistema O.I. en panel central - Apertura válvula de by-pass de la O.I.
Alto-bajo caudal de permeado	- Alarma en panel central
<b>Nivel</b>	
Bajo nivel en el depósito de limpieza química	- Parada bombas limpieza química - Alarma parada bombas en panel central - Parada del agitador. - Alarma parada del agitador en panel central
<b>Temperatura</b>	
Alta temperatura en el agua de alimentación de entrada a cada uno de los bastidores de O.I.	- Alarma en panel central
Alta temperatura en cojinetes de turbo bombas	- Alarma en panel central - Parada de la línea de O.I. correspondiente - Alarma parada de la O.I. en panel central - Apertura válvula de by-pass de la O.I.
Alta temperatura de la solución de limpieza química	- Alarma en panel central - Parada del calentador - Alarma parada del calentador en panel central
Alta temperatura en bobinados de motores de turbo bombas	- Parada de la línea de O.I. correspondiente - Alarma de parada de la O.I. en panel central - Apertura válvula de by-pass de la O.I.
Apertura válvulas de entrada y salida de limpieza química	- Alarma en panel central - Parada de la O.I. - Alarma parada O.I. en panel central - Apertura válvula de by-pass de la O.I.
<b>Conductividad</b>	
Alta conductividad alimentación	- Alarma en panel central - Parada de la bomba de la O.I. - Alarma parada de la O.I. en panel central - Apertura válvula de by-pass de la O.I.
Alta conductividad producto	- Alarma en panel central

**PH**

Alto pH en la alimentación a O.I.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> <li>- Parada de la bomba de la O.I.</li> <li>- Alarma parada de la O.I. en panel central</li> <li>- Apertura válvula de by-pass de la O.I.</li> </ul>
Bajo pH en la alimentación a los módulos de O.I.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> <li>- Parada de la O.I.</li> <li>- Alarma parada de la O.I. en panel central</li> <li>- Apertura válvula de by-pass de la O.I.</li> </ul>

**Redox**

Potencia Red-Ox negativo (alto valor)	- Alarma en panel central
Potencia Red-Ox positivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> <li>- Parada de la O.I.</li> <li>- Alarma parada de la O.I. en panel central</li> <li>- Apertura válvula de by-pass de la O.I.</li> </ul>

**REMINERALIZACIÓN****Presión**

Alta presión en el tornillo dosificador de cal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parada del tornillo dosificador</li> <li>- Alarma parada tornillo en panel central</li> </ul>
--	--

**Nivel**

Bajo nivel en depósito de cal	- Alarma en panel central
Bajo nivel en depósito de lechada de cal	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> <li>- Parada de las bombas</li> <li>- Alarma parada de las bombas en panel central</li> </ul>

**AGUA PRODUCTO****Presión**

Alta presión en la impulsión de las bombas	- Alarma en el panel central
--	------------------------------

**Nivel**

Alto nivel depósito almacenamiento agua producto	- Alarma en panel central
Bajo nivel depósito de almacenamiento agua producto	- Alarma en panel central
Bajo-bajo nivel depósito almacenamiento agua producto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> <li>- Parada bombas impulsión agua tratada al exterior</li> <li>- Alarma parada de las bombas en panel central</li> </ul>

**Temperatura**

Alta temperatura en bobinados de motores de bombas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma alta temperatura en panel central</li> <li>- Parada de la bomba correspondiente</li> <li>- Alarma de parada de la bomba en panel central</li> </ul>
--	---

---

Alta temperatura en cojinetes de las bombas	- Alarma alta temperatura en panel central - Parada de la bomba correspondiente - Alarma de parada de la bomba en panel central
---	---

**PH**

Alto pH del agua tratada	- Alarma en panel central
Bajo pH del agua	- Alarma en panel central

**Conductividad**

Alta conductividad del agua tratada	- Alarma en panel central
-------------------------------------	---------------------------

**Cloro**

Alto nivel de cloro en el agua tratada	- Alarma en panel central.
--	----------------------------

**Turbiedad**

Alta turbiedad del agua tratada	- Alarma en panel central.
---------------------------------	----------------------------

---

### Propiedades termo-físicas del agua de mar

Las propiedades del agua de mar son función de la temperatura, salinidad (sólidos totales disueltos en g / Kg.) y la presión.

El agua pura (destilada) alcanza un máximo de densidad a 4°C y es igual a 1. Por otra parte, cuando se agregan iones a un volumen fijo de agua su masa aumenta. Así, un aumento de salinidad produce un aumento en la densidad del agua, por lo tanto, como el agua de mar es una solución (contiene sales en disolución) es más densa.

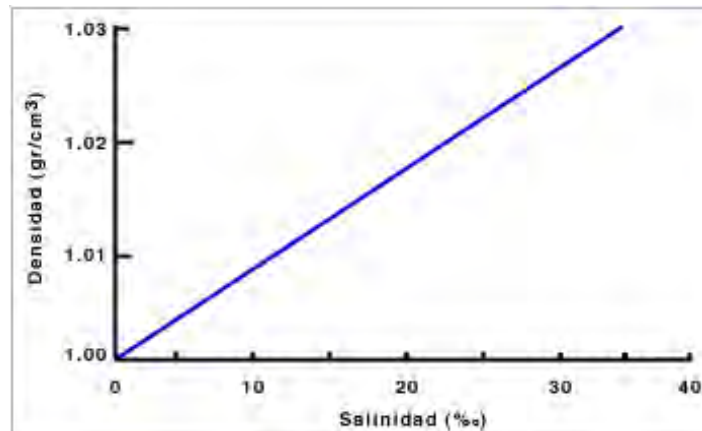


FIGURA Variación de la densidad con la salinidad

La salinidad también afecta la temperatura a la cual el agua de mar se congela; así, a medida que la salinidad aumenta se requiere una temperatura de congelación más baja. El punto de congelación disminuye regularmente de 0°C en el agua pura a -1.9°C en el agua salada a 35‰.

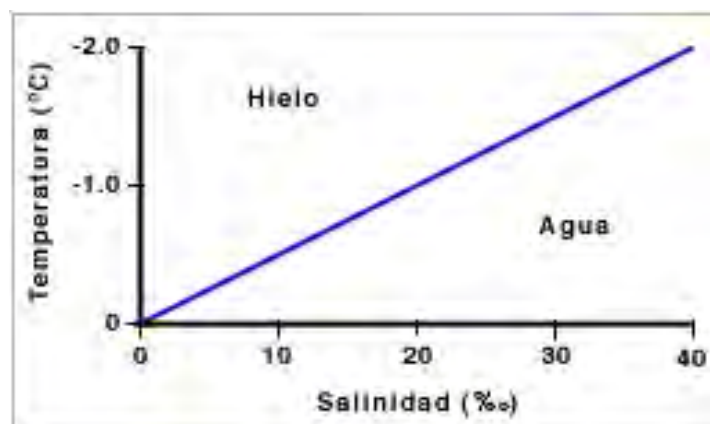


FIGURA Variación del punto de congelación con la salinidad

La temperatura también afecta la densidad del agua de mar. Así, la densidad disminuye con el aumento de la temperatura y mientras más fría sea, el agua será más densa.

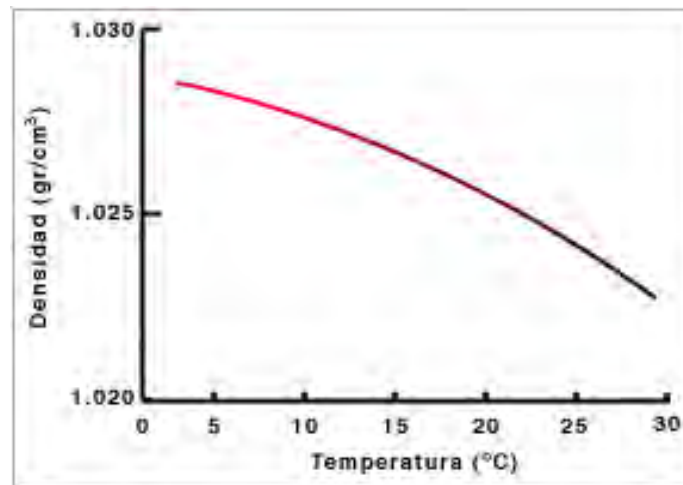


FIGURA Variación de la densidad con la temperatura

La densidad del agua de mar de 35o/oo de salinidad es de 1.0267.

#### *Densidad del agua de mar a presión atmosférica.<sup>8</sup>*

Temperatura (°C)	Salinidad (g /Kg.)				
	20	25	30	35	40
0	16.04	20.06	24.08	28.10	32.14
5	15.84	19.78	23.73	27.68	31.64
10	15.31	19.18	23.07	26.96	30.86
15	14.48	18.30	22.13	25.97	29.82
20	13.39	17.17	20.96	24.75	28.56
25	12.07	15.82	19.57	23.34	27.12

#### *Densidad del agua de mar a 0°C y salinidad 35 g / Kg.*

Presión / MPa	0	20	40	60	80	100
( $\rho/\text{Kg. m}^{-3} - 1000$ )	28.10	37.44	46.37	54.92	63.12	71.02

<sup>8</sup> M. Hill (ed.), *The Sea*, vol. 1, chap. 1 and vol. 4, pt. 1, chap. 18 (Wiley) and Cox *et al.*, *Deep Sea Res.*, 1970, 17, 679.

*Propiedades térmicas y mecánicas del agua de mar a salinidad 35 g / Kg. y presión atmosférica (a menos que se especifique lo contrario).*

<b><u>Propiedad</u></b>	<b>0°C</b>	<b>20°C</b>
<b>Viscosidad dinámica</b>	$1.88 \times 10^{-3}$ Pa s	$1.08 \times 10^{-3}$ Pa s
<b>Viscosidad Cinemática</b>	$1.83 \times 10^{-6}$ m <sup>2</sup> / s	$1.05 \times 10^{-6}$ m <sup>2</sup> / s
<b>Conductividad Térmica</b>	0.563 W / m K	0.596 W / m K
<b>Difusividad Térmica</b>	$1.37 \times 10^{-7}$ m <sup>2</sup> / s	$1.46 \times 10^{-7}$ m <sup>2</sup> / s
<b>Número de Prandtl</b>	13.4	7.2
<b>Capacidad Calorífica Específica (Cp)</b>	3985 J/ Kg. K	3993 J/ Kg. K
<b>Coefficiente de Expansión térmica</b>		
<b>Presión = 0.1 MN/m<sup>2</sup></b>	$52 \times 10^{-6}$ /K	$250 \times 10^{-6}$ /K
<b>Presión = 100 MN/m<sup>2</sup></b>	$244 \times 10^{-6}$ /K	$325 \times 10^{-6}$ /K
<b>Relación de capacidades caloríficas específicas Cp/Cv</b>	1.000 4	1.010 6
<b>Velocidad del Sonido</b>	1449 m / s	1522 m / s
<b>Compresibilidad</b>	$4.65 \times 10^{-10}$ /Pa	$4.28 \times 10^{-10}$ /Pa
<b>Punto de fusión</b>	-	- 1.910 °C
<b>Punto de Ebullición</b>	-	100.56 °C

*Conductividad eléctrica del agua de mar a presión atmosférica [ $\gamma$  (S / m)]*

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Salinidad (g / Kg.)</b>				
	20	25	30	35	40
<b>0</b>	1.745	2.137	2.523	2.906	3.285
<b>5</b>	2.015	2.466	2.909	3.346	3.778
<b>10</b>	2.300	2.811	3.313	3.808	4.297
<b>15</b>	2.595	3.170	3.735	4.290	4.837
<b>20</b>	2.901	3.542	4.171	4.788	5.397
<b>25</b>	3.217	3.926	4.621	5.302	5.974

A una profundidad de 4000m el agua del fondo (cerca de los 0°C y salinidad 35 g / Kg.) tiene una conductividad 6% mayor que el agua superficial. La conductividad media de los océanos (excluyendo las aguas poco profundas) es de 3.27 S/m.



## Balance de materia

NOTA: Todos los valores reportados en el balance de material se encuentran en unidades de kg/hr

		Hipoclorito de Sodio		Cloruro Férrico			Ácido Sulfúrico
Composición	P-01	A-06	P-02	B-04	P-03	P-04	C-04
H2O	5158991.49	72.37	5159067.47	175.44	515906.75	515906.75	3.19
Cloruro (Cl-)	98854.10	0.00	98854.10	0.00	9885.41	8402.60	0.00
Sodio (Na+)	54979.13	0.00	54979.13	0.00	5497.91	4673.23	0.00
Sulfato (SO42-)	13796.87	0.00	13796.87	0.00	1379.69	1172.73	0.00
Magnesio (Mg2+)	6572.91	0.00	6572.91	0.00	657.29	558.70	0.00
Calcio (Ca2+)	2083.33	0.00	2083.33	0.00	208.33	177.08	0.00
Potasio (K+)	1979.17	0.00	1979.17	0.00	197.92	168.23	0.00
Bicarbonato (HCO3-)	729.17	0.00	729.17	0.00	72.92	61.98	0.00
Estroncio (Sr2+)	67.71	0.00	67.71	0.00	6.77	5.76	0.00
Bromuro (Br-)	338.54	0.00	338.54	0.00	33.85	28.78	0.00
Borato (BO33-)	135.42	0.00	135.42	0.00	13.54	11.51	0.00
Fluoruro (F-)	5.21	0.00	5.21	0.00	0.52	0.44	0.00
Silicato (SiO32-)	5.21	0.00	5.21	0.00	0.52	0.44	0.00
Agentes Químicos							
NaOCl	0.00	14.82	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NaOH	0.00	0.00	8.01	0.00	0.80	0.68	0.00
HClO	0.00	0.00	10.42	0.00	1.04	0.89	0.00
FeCl3	0.00	0.00	0.00	41.67	4.17	3.54	0.00
H2SO4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	156.25
Hexametafosfato	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NaHSO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca(OH)2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Totales	5338538.25	87.20	5338632.66	217.11	533867.43	531173.33	159.44
Presión (kgf/cm2)	3.52	4.22		4.22			1.41
Temperatura (°C)	22.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00

	Hexametafosfato de Sodio	Bisulfito de Sodio					
Composición	D-06	E-06	P-05	P-06	P-07	P-08	P-09
H2O	104.17	85.03	1031851.97	1031851.97	1031851.97	737037.12	737037.12
Cloruro (Cl-)	0.00	0.00	16806.25	16806.25	11764.37	8403.12	8403.12
Sodio (Na+)	0.00	0.00	9347.14	9347.14	6543.00	4673.57	4673.57
Sulfato (SO42-)	0.00	0.00	2345.47	2345.47	1641.83	1172.73	1172.73
Magnesio (Mg2+)	0.00	0.00	1117.40	1117.40	782.18	558.70	558.70
Calcio (Ca2+)	0.00	0.00	354.17	354.17	247.92	177.08	177.08
Potasio (K+)	0.00	0.00	336.46	336.46	235.52	168.23	168.23
Bicarbonato (HCO3-)	0.00	0.00	123.96	123.96	86.77	61.98	61.98
Estroncio (Sr2+)	0.00	0.00	11.51	11.51	8.06	5.76	5.76
Bromuro (Br-)	0.00	0.00	57.55	57.55	40.29	28.78	28.78
Borato (BO33-)	0.00	0.00	23.02	23.02	16.11	11.51	11.51
Fluoruro (F-)	0.00	0.00	0.89	0.89	0.62	0.44	0.44
Silicato (SiO32-)	0.00	0.00	0.89	0.89	0.62	0.44	0.44

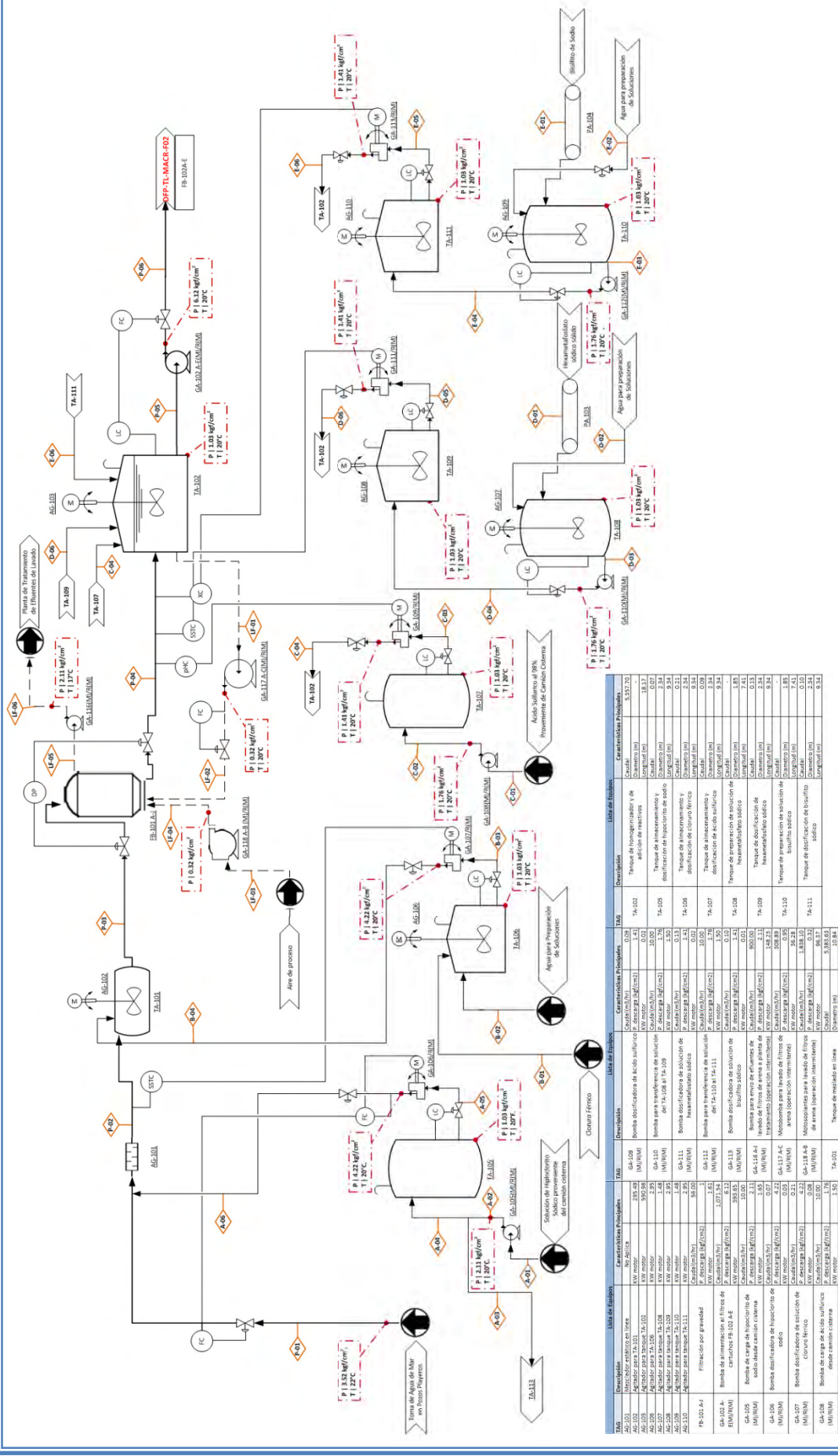
<b>Agentes Químicos</b>							
NaOCl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NaOH	0.00	0.00	1.36	1.36	0.95	0.68	0.68
HClO	0.00	0.00	1.04	1.04	0.73	0.58	0.58
FeCl3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2SO4	0.00	0.00	34.19	34.19	23.94	17.10	17.10
Hexametáfosfato	26.04	0.00	5.21	5.21	3.65	2.60	2.60
NaHSO3	0.00	20.83	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca(OH)2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Totales</b>	130.21	105.87	1062418.47	1062418.47	1053248.52	752320.43	752320.43
<b>Presión (kgf/cm2)</b>	1.41	1.41	1.03	6.12			67.64
<b>Temperatura (°C)</b>	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00

<b>Composición</b>	P-10	P-11	P-12	P-13	P-07	P-08	P-09
H2O	405370.42	2837592.92	2321666.94	2321666.94	1031851.97	737037.12	737037.12
Cloruro (Cl-)	8382.12	58674.82	147.05	147.05	11764.37	8403.12	8403.12
Sodio (Na+)	4661.89	32633.21	81.79	81.79	6543.00	4673.57	4673.57
Sulfato (SO42-)	1169.80	8188.61	20.52	20.52	1641.83	1172.73	1172.73
Magnesio (Mg2+)	557.30	3901.11	9.78	9.78	782.18	558.70	558.70
Calcio (Ca2+)	176.64	1236.48	3.10	3.10	247.92	177.08	177.08
Potasio (K+)	167.81	1174.66	2.94	2.94	235.52	168.23	168.23
Bicarbonato (HCO3-)	61.82	432.77	1.08	1.08	86.77	61.98	61.98
Estroncio (Sr2+)	5.74	40.19	0.10	0.10	8.06	5.76	5.76
Bromuro (Br-)	28.70	200.93	0.50	0.50	40.29	28.78	28.78
Borato (BO33-)	11.48	80.37	0.20	0.20	16.11	11.51	11.51
Fluoruro (F-)	0.44	3.09	0.01	0.01	0.62	0.44	0.44
Silicato (SiO32-)	0.44	3.09	0.01	0.01	0.62	0.44	0.44
<b>Agentes Químicos</b>							
NaOCl	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NaOH	0.68	4.76	0.01	0.01	0.95	0.68	0.68
HClO	0.58	4.07	0.01	0.01	0.73	0.58	0.58
FeCl3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H2SO4	17.05	119.38	0.30	0.30	23.94	17.10	17.10
Hexametáfosfato	2.60	18.18	0.05	0.05	3.65	2.60	2.60
NaHSO3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca(OH)2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<b>Totales</b>	420615.52	2944308.65	2321934.39	2321934.39	1053248.52	752320.43	752320.43
<b>Presión (kgf/cm2)</b>	66.02	1.03					67.64
<b>Temperatura (°C)</b>	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00

					Hipoclorito de Sodio		Hidróxido de Calcio
<b>Composición</b>	P-10	P-11	P-12	P-13	A-08	P-14	F-04
H2O	405370.42	2837592.92	2321666.94	2321666.94	8.14	2321675.49	3340.02
Cloruro (Cl-)	8382.12	58674.82	147.05	147.05	0.00	147.05	0.00
Sodio (Na+)	4661.89	32633.21	81.79	81.79	0.00	81.79	0.00
Sulfato (SO42-)	1169.80	8188.61	20.52	20.52	0.00	20.52	0.00
Magnesio	557.30	3901.11	9.78	9.78	0.00	9.78	0.00

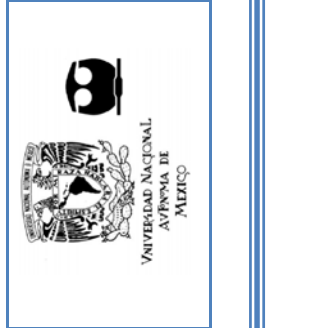
(Mg <sup>2+</sup> )							
Calcio (Ca <sup>2+</sup> )	176.64	1236.48	3.10	3.10	0.00	3.10	0.00
Potasio (K <sup>+</sup> )	167.81	1174.66	2.94	2.94	0.00	2.94	0.00
Bicarbonato (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	61.82	432.77	1.08	1.08	0.00	1.08	0.00
Estroncio (Sr <sup>2+</sup> )	5.74	40.19	0.10	0.10	0.00	0.10	0.00
Bromuro (Br <sup>-</sup> )	28.70	200.93	0.50	0.50	0.00	0.50	0.00
Borato (BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> )	11.48	80.37	0.20	0.20	0.00	0.20	0.00
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	0.44	3.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
Silicato (SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	0.44	3.09	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
<b>Agentes Químicos</b>							
NaOCl	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67	0.00	0.00
NaOH	0.68	4.76	0.01	0.01	0.00	0.91	0.00
HClO	0.58	4.07	0.01	0.01	0.00	1.18	0.00
FeCl <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	17.05	119.38	0.30	0.30	0.00	0.30	0.00
Hexametáfosfato	2.60	18.18	0.05	0.05	0.00	0.05	0.00
NaHSO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca(OH) <sub>2</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	351.58
<b>Totales</b>	420615.52	2944308.65	2321934.39	2321934.39	9.81	2321945.02	3691.60
<b>Presión (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>	66.02	1.03			66.79		1.41
<b>Temperatura (°C)</b>	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00

	P-15	P-16	P-17
<b>Composición</b>			
H <sub>2</sub> O	2092514.06	232501.56	232501.56
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	132.35	14.71	14.71
Sodio (Na <sup>+</sup> )	73.61	8.18	8.18
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	18.73	2.08	2.08
Magnesio (Mg <sup>2+</sup> )	8.80	0.98	0.98
Calcio (Ca <sup>2+</sup> )	2.90	0.32	0.32
Potasio (K <sup>+</sup> )	2.65	0.29	0.29
Bicarbonato(HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	0.98	0.11	0.11
Estroncio (Sr <sup>2+</sup> )	0.09	0.01	0.01
Bromuro (Br <sup>-</sup> )	0.45	0.05	0.05
Borato (BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup> )	0.18	0.02	0.02
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	0.01	0.00	0.00
Silicato (SiO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	0.01	0.00	0.00
<b>Agentes Químicos</b>			
NaOCl	0.00	0.00	0.00
NaOH	0.82	0.09	0.09
HClO	1.06	0.12	0.12
FeCl <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0.00	0.00	0.00
Hexametáfosfato	0.04	0.00	0.00
NaHSO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00
Ca(OH) <sub>2</sub>	316.22	35.14	35.14
<b>Totales</b>	2093072.96	232563.66	232563.66
<b>Presión (kgf/cm<sup>2</sup>)</b>			1.76
<b>Temperatura (°C)</b>	20.00	18.00	18.00



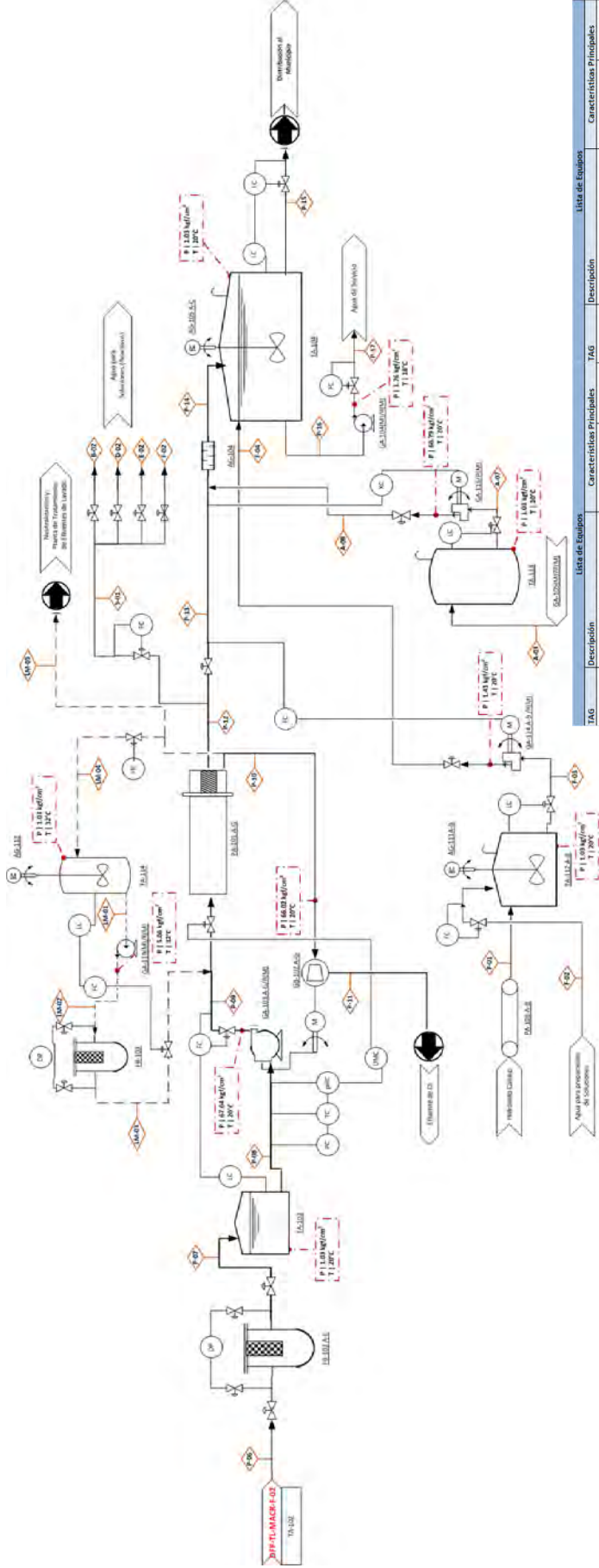
Lista de Equipos		Lista de Equipos	
Tamaño	Descripción	Tamaño	Descripción
GA-101	Bomba de impulsión de agua de mar en Post-Pretrata	GA-101	Bomba de impulsión de agua de mar en Post-Pretrata
GA-102	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata	GA-102	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata
GA-103	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata	GA-103	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata
GA-104	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata	GA-104	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata
GA-105	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata	GA-105	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata
GA-106	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata	GA-106	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata
GA-107	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata	GA-107	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata
GA-108	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata	GA-108	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata
GA-109	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata	GA-109	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata
GA-110	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata	GA-110	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata
GA-111	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata	GA-111	Bomba de impulsión de agua de mar en Pretrata
TA-101	Trayecto de filtración por gravedad	TA-101	Trayecto de filtración por gravedad
TA-102	Bomba de alimentación de filtros de carbón	TA-102	Bomba de alimentación de filtros de carbón
TA-103	Bomba de alimentación de filtros de carbón	TA-103	Bomba de alimentación de filtros de carbón
TA-104	Bomba de alimentación de filtros de carbón	TA-104	Bomba de alimentación de filtros de carbón
TA-105	Bomba de alimentación de filtros de carbón	TA-105	Bomba de alimentación de filtros de carbón
TA-106	Bomba de alimentación de filtros de carbón	TA-106	Bomba de alimentación de filtros de carbón
TA-107	Bomba de alimentación de filtros de carbón	TA-107	Bomba de alimentación de filtros de carbón
TA-108	Bomba de alimentación de filtros de carbón	TA-108	Bomba de alimentación de filtros de carbón
TA-109	Bomba de alimentación de filtros de carbón	TA-109	Bomba de alimentación de filtros de carbón
TA-110	Bomba de alimentación de filtros de carbón	TA-110	Bomba de alimentación de filtros de carbón
TA-111	Bomba de alimentación de filtros de carbón	TA-111	Bomba de alimentación de filtros de carbón

**Tesis de Licenciatura**  
 María Ángel Cerdio Ruiz  
**Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar vía ósmosis inversa**  
 Diagrama de Flujo de Proceso  
 Fecha: 28 / Mayo / 2008



Revisión	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó
Aprobación	07/04/08			
Final	28/05/08			

Revisión	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó



Lista de Equipos		Lista de Equipos	
TAG	Descripción	Características Principales	Descripción
AG-104	Mecanador estatico en línea	No aplica	Turbina pelton de recuperación de energía
AG-105 A-C	Agitador para tanque TA-104	KW motor: 2.134,08	
AG-111 A-B	Agitador para tanque TA-112 A-B	KW motor: 0,75	
AG-112	Agitador para tanque TA-114	KW motor: 0,75	
FB-102 A-E	Filtro de cartuchos	Caudal (m³/hr): 1.071,54 Material: polipropileno Grado de filtración: 5 micras	Basidor de ósmosis inversa
FR-103	Filtro de cartuchos para lavado de membranas de ósmosis inversa (operación intermitente)	Caudal (m³/hr): 400,00 Material: polipropileno Grado de filtración: 5 micras	Tanque colector a la salida de filtro de cartucho
GA-104 (M/R/M)	Bomba para transferencia de agua a presión a los bastidores de ósmosis inversa	Caudal (m³/hr): 2.209,63 KW motor: 2.209,63	Tanque de almacenamiento de agua producto
GA-104 (M/R/M)	Bomba para abastecimiento del complejo (intermitente)	Caudal (m³/hr): 234,77 P. descarga (kgf/cm²): 1,76	Preparación de solución / dosificación de hipoclorito cálcico
GA-114 A-B (M/R/M)	Bomba dosificadora de hipoclorito cálcico	Caudal (m³/hr): 35,33 KW motor: 3,60	Tanque de almacenamiento y dosificación de hipoclorito sódico
GA-115 (M/R/M)	Bomba dosificadora de hipoclorito sódico	Caudal (m³/hr): 3,41 KW motor: 0,35	Tanque de almacenamiento y dosificación de reactivos de limpieza química para membranas de ósmosis
GA-119 (M/R/M)	Bomba de lavado de membranas de ósmosis inversa (operación intermitente)	Caudal (m³/hr): 66,79 KW motor: 0,02	
		Caudal (m³/hr): 400,00	
		P. descarga (kgf/cm²): 5,06	
		KW motor: 113,91	

Referencias	Revisión	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó
	Aprobación	07/04/08			
	Final	28/05/08			



Tesis de Licenciatura

María Ángel Cerdio Ruiz

Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar via ósmosis inversa

Diagrama de Flujo de Proceso

Fecha: 28 / Mayo / 2008

DFP-TL-MACR-F02



## Descripción del Proceso

### Tren de Desalinización

En el presente documento se describe paso a paso el proceso que se llevará a cabo para la obtención del agua producto, desde la toma, fuera de los límites de batería, hasta el almacenamiento temporal del agua desalinizada y remineralizada apta para la distribución y consumo según lo decida el municipio mismo.

Después de un completo estudio de las distintas alternativas a considerar para las tomas de agua salina, primer paso del proceso, se concluyó que la óptima solución debido a los caudales que se manejarán en la planta y las características del terreno, es la toma en pozos mediante bombas sumergibles.

Entre las ventajas que ofrece este tipo de toma de agua se encuentran: La limpieza del agua, como consecuencia del filtrado en el terreno, lo que se traduce en índices de turbidez (NTU) y colmatación (SDI) bajos, ausencia de contaminación orgánica y biológica, y temperaturas bastante estables, teniendo esto efectos favorables directos sobre los costos de operación en la fase de pre-tratamiento.

Por ende se excavarán 18 pozos de 50 metros de profundidad cada uno y 20 metros de separación entre los mismos, de donde se planea obtener el caudal de entrada al sistema de 125,000 m<sup>3</sup>/día, es decir, 86.81 m<sup>3</sup>/minuto. Cada pozo presentará un diámetro de 0.5 metros y se encontrará encamisado en los primeros 4 a 5 metros por una tubería de acero para evitar que los desmoronamientos del terreno afecten la instalación provocando fugas. El resto de la tubería drenante estará fabricada en PVC, y es aquí donde se producirá la recogida del agua de mar filtrada naturalmente.

El caudal colectado por cada uno de los pozos será impulsado a la planta mediante sus respectivas 18 bombas centrífugas sumergibles. Dicho caudal se colecta en una sola tubería para el traslado de la playa a los límites de batería de la planta, donde esta única corriente recibe el nombre de P-01.

Una vez dentro de los límites de batería esta corriente se hace paso a lo largo del tren de pre-tratamiento cuya función es la de garantizar, tanto desde el punto de vista de las propiedades químicas como físicas las condiciones óptimas del agua de alimentación a los bastidores de ósmosis inversa.

En el caso de nuestra desalinizadora, debido a la buena calidad del agua de toma, el pre-tratamiento necesario es mínimo. Aun así, y por motivos de seguridad ante cualquier contingencia que se presente en el futuro y que provoque una mala calidad del agua de toma, se ha previsto un pre-tratamiento en siete etapas: desinfección, coagulación, filtración sobre arena, control de pH, prevención de precipitación de sales, eliminación de cloro activo y filtración por cartuchos.

Como se mencionó anteriormente la corriente P-01 ingresa al tren de pre-tratamiento, donde como primera medida se adopta la desinfección, proceso mediante el cual se ataca la reducida actividad biológica que pudiera haber traspasado la filtración natural del pozo. Se prevé que en condiciones normales no se precisará de una cloración en continuo.

Para este efecto se adiciona desde el TA-105 mediante la bomba dosificadora GA-106 la corriente A-06, que consiste en una solución de hipoclorito de sodio en agua, siendo esta adquirida comercialmente en la concentración de adición requerida. Con la finalidad de garantizar la correcta dilución de la corriente A-06 en P-01 la tubería está provista del mezclador estático AG-101.

Una vez llevada a cabo la cloración, procede la alimentación del coagulante B-04 a la corriente de proceso P-02, desde el tanque TA-106, mediante la bomba dosificadora GA-107. Ésta operación se lleva cabo en el tanque en línea TA-101, provisto de agitación continua a base del AG-102. La finalidad de ésta adición es facilitar la retención de la materia coloidal contenida en el agua de mar, por los filtros con lecho de arena. El coagulante a utilizar es de origen inorgánico,  $\text{FeCl}_3$ , que aunque en México no es comúnmente utilizado por su costo un tanto más elevado que el resto de los coagulantes, es el que ofrece los mejores resultados en este tipo de instalaciones.

La corriente de salida del TA-101, P-03, es ahora dividida en diez y conducida al primer bastidor de filtración, donde se espera remover los coágulos formados por efecto del  $\text{FeCl}_3$ , compuesto por diez filtros de gravedad FB-101 (A-J) cuyo lecho es de arena silícea de 1 metro de altura filtrante. Las corrientes producto de dicha operación P-04 se colectan en el TA-102, que es un tanque de tratamiento intermedio, de donde además se lleva a cabo la succión de la corriente que será alimentada al último paso del pre-tratamiento, la filtración en cartuchos.

En el TA-102 se llevan a cabo tres de los siete pasos del pre-tratamiento, siendo éstos, el control del pH, la prevención de precipitaciones y la eliminación del cloro libre proveniente de la desinfección.

De acuerdo a la experiencia, el riesgo de precipitaciones de carbonato de calcio al pH natural del agua de alimentación es reducido, aun así se ha dotado de flexibilidad al sistema con la posibilidad de reducir el pH de la corriente de alimentación al proceso de desalación e impedir de ésta manera la posible formación de incrustaciones.

La reducción del pH se lleva a cabo alimentando, mediante su bomba dosificadora correspondiente (GA-109), al TA-102 una corriente de ácido sulfúrico al 98% de pureza, almacenado en el TA-107, construido en polietileno de alta densidad.

En este momento es importante destacar que el TA-102 es un tanque construido en hormigón con un recubrimiento especial, que protege al tanque del ataque de la corriente C-04, aun en la dosis en que se adiciona al sistema y tomando en consideración la dilución de la misma (proceso altamente exotérmico). Además el TA-102 esta complementado por un sistema de agitación continua mediante el AG-103, también recubierto para evitar posibles ataques.

Al mismo tiempo que la operación de adición de la corriente C-04, se lleva a cabo el ingreso de la solución del anti-incrustante, D-06, al TA-102.

La función de los anti-incrustantes es la de mejorar la solubilidad de algunas sales para prevenir su precipitación durante el proceso, que es uno de los factores limitantes de la conversión de las desalinizadoras de agua de mar. Para las condiciones de operación de la desalinizadora de Navolato se ha adoptado por sus propiedades un polímero orgánico como dispersante, el hexametáfosfato sódico. El punto de dosificación del anti-incrustante se lleva a cabo en éste punto evitar que los filtros de arena retengan parte del producto, y antes de los filtros de cartucho para evitar que el producto no disuelto correctamente pase a las membranas.

El hexametáfosfato sódico es un sólido blanco, por lo que para garantizar su correcta dilución en la corriente de proceso es necesario preparar una solución del mismo. La misma es preparada y verificada en el TA-108, que recibe la alimentación del sólido por medio de la banda transportadora PA-103 y agua para la preparación de soluciones D-02,



obtenida de una toma en la corriente S-01, inmediatamente posterior a la verificación de la solución se traslada esta, D-03, al tanque de dosificación TA-109 por medio de la GA-110. De éste último punto es de donde la bomba dosificadora GA-111 alimenta la corriente D-06 al TA-102 para el mezclado correspondiente.

Al llevarse a cabo la cloración de la corriente de agua de mar, ésta contendrá cloro libre residual en niveles que varían en función del tipo de aplicación, dosis de choque o en continuo. Con la finalidad de evitar la posibilidad de alimentar a las membranas de osmosis inversa agua conteniendo cloro residual, oxidante que degradaría irreversiblemente las membranas de poliamida, resulta necesaria la dosificación de un reactivo reductor que lo elimine totalmente, para este caso en particular se ha seleccionado bisulfito de sodio.

Un procedimiento similar al descrito para la adición del dispersante es el que se lleva a cabo para la adición del bisulfito de sodio al sistema. El producto comercial es un polvo al 98% de pureza, por lo que es necesario preparar una solución del mismo para facilitar su alimentación a la corriente de proceso.

La banda transportadora PA-104 alimenta el sólido al TA-110, al que por otro lado se alimenta agua desalinizada proveniente de una segunda toma de la corriente S-01, la corriente E-02. El TA-110 cuenta con agitación constante, proporcionada por el AG-109. Una vez preparada y verificada la solución en forma de la corriente E-03 es trasladada al TA-111, que funge como tanque dosificador por medio de la GA-113. Finalmente, la alimentación de la corriente E-06 al TA-102 se logra haciendo uso de la bomba dosificadora GA-113.

Posterior a la adición de los tratamientos mencionados al TA-102 se lleva a cabo la succión de las cinco diferentes bombas GA-102 que conducirán el caudal de salida de dicho tanque P-05 al último paso del pre-tratamiento, los filtros de cartuchos.

El agua pre-tratada y debidamente acondicionada P-06 pasa a través de cinco filtros de cartuchos horizontales FB-102 (A-E) cada uno conteniendo 12 cartuchos de polipropileno, con la finalidad de garantizar un grado de filtración de 5 micras, nivel requerido por los fabricantes de membranas.

La corriente de salida de éste segundo bastidor de filtración P-07 se descarga al TA-103, que es tan sólo un tanque homogenizador intermedio provisto de agitación continua AG-

113, para llevar a cabo la succión de siete las bombas GA-103 de alta presión, que acondicionarán la corriente P-08 para su ingreso a los bastidores de ósmosis inversa PA-101. Cabe mencionar que la presión a la que trabajan éstos equipos es un poco mayor a los  $67 \text{ kg}_f/\text{cm}^3$ .

Las membranas de osmosis inversa se instalan en bastidores metálicos. Los bastidores están constituidos por una estructura metálica sobre la que se colocan los distintos tubos de presión con sus correspondientes membranas, debidamente sujetos para evitar posibles desplazamientos como consecuencia de los golpes de ariete que se producen en los arranques de la instalación.

El grado de conversión del proceso de osmosis inversa es del 45%, por lo que a la salida de los bastidores de tienen dos corrientes a alta presión, el agua producto P-12 y el efluente de salmuera P-10. Sin embargo la eficiencia en remoción de sales es cercana al 99.75% por lo que la composición de sales de la corriente P-12 es menor a las 300ppm.

La energía en forma de presión contenida en la corriente P-10, que es la corriente mayoritaria, es aprovechada para la generación de energía eléctrica por medio de turbinas de recuperación tipo Pelton GB-101. La energía eléctrica producida por éstas es aprovechada por los motores de impulsión de las bombas de alta presión GA-103 que alimentan al PA-101. Una vez que se aprovechó parte de la energía de ésta corriente, la corriente P-11 es colectada en una sola tubería, que será conducida a la playa para su disposición. Esta tubería submarina tendrá una longitud de 1200m distancia que minimiza el impacto ambiental sobre la flora y la fauna del lugar, cercana a la línea de costa y contará con los dispersores necesarios para favorecer la rápida dilución del vertido en el cuerpo acuático.

Por otro lado, la corriente de salida del PA-101, P-12, es colectada en una sola línea, de donde en primera instancia se hace la toma que abastecerá de agua a las cubas de preparación de soluciones, proceso intermitente. De esta toma se desprenden las corrientes B-02, D-02, E-02 y F-02.

La corriente principal de agua producto una vez que se hizo la operación anterior P-13 es entonces conducida para el tratamiento final, el cual incluye la adición de hipoclorito sódico, y la re-mineralización con base en una solución de cal.

La corriente de hipoclorito sódico A-08 alimentada a la corriente P-13, procede del tanque de dosificación TA-113 y es inyectada por medio de la bomba dosificadora GA-104. Esta dosificación será eficazmente incorporada a la corriente producto por medio del mezclador estático en línea AG-105; dando origen a la corriente P-14 que descargará en el tanque de almacenamiento final TA-104; donde a su vez se llevará a cabo la re-mineralización antes mencionada.

El permeado de la ósmosis inversa debe ser sometido a un proceso de re-mineralización con objeto de cumplir con la reglamentación técnico-sanitaria para el abastecimiento y control de la calidad de las aguas potables de consumo público. Para tal efecto se ha contemplado la alimentación de hidróxido cálcico, que en adición a la re-mineralización promoverá el desplazamiento de pH hacia la neutralidad.

Una vez más es necesario preparar la solución que se ha de adicionar al TA-104, por lo que se cuenta con un par de cubas de preparación de soluciones TA-112 (A-B) a las cuales el hidróxido cálcico es alimentado por medio de bandas transportadoras PA-105 (A-B). El agua para la preparación de las soluciones es obtenida de la misma toma S-01, dando ésta vez origen a la corriente F-02. Dichas cubas cuentan con agitación continua provista por los AG-111 (A-B).

Finalmente, una vez verificada la concentración deseada se añade la corriente F-04 al TA-104 para su correcta incorporación, con ayuda de los agitadores AG-105 (A-C), al agua producto previo a su disposición por el municipio de Navolato, que es quien se encargará de la distribución a partir de este punto. Corriente de salida P-15.

## **Lavado de filtros, membranas de ósmosis inversa y disposición de efluentes**

### ***Lavado de filtros de arena***

Conforme pasa el tiempo, los filtros de arena se van saturando, y aumentan las pérdidas de carga dentro de los mismos, hecho que hace necesario el lavado periódico del lecho filtrante. En nuestro caso el lavado se realizará mediante la técnica combinada aire-agua.

Al momento que se haga necesario el lavado de alguno de los filtros de arena FB-101 (A-J) se pondrá el mismo fuera de funcionamiento. Se accionarán as bombas GA-119 (A-C) que llevan a cabo la succión del caudal que se empleará para lavado del tanque TA-102. De igual manera se pondrán en funcionamiento las bombas motosoplantes GA-118 (A-B) que proporcionarán el flujo de aire LF-04 requerido para el lavado.

La inyección de ambas corrientes, se llevará a cabo por el fondo del filtro FB-101 con una presión tal que permitan la remoción de las partículas que ocasionan el déficit de la carga sin arrastrar consigo el lecho de arena silíceo del filtro ( $P=0.32\text{kg}/\text{cm}^2$  en cada caso).

El agua producto del lavado LF-05 se retira por medio de una bomba centrífuga que conducirá dicha corriente fuera de los límites de batería a una planta de tratamiento para efluentes de lavado, perteneciente al mismo complejo de desalinización

El ciclo de servicio de los filtros (horas de operación entre lavados) dependerá de la calidad del agua bruta, pero a priori no será inferior a 24 horas. La elección del filtro a lavar se determinará en función del caudal filtrado, lavando cada filtro selectivamente o en cadena en un orden preestablecido.

### ***Lavado Filtros de Cartuchos***

A diferencia de los filtros de arena, la limpieza a contracorriente de los filtros de cartucho no es tan eficaz debido a que las partículas retenidas son muy pequeñas y quedan fuertemente atrapadas entre los hilos o fibras del cartucho, por lo que está prevista su sustitución periódica por colmatación.

El ensuciamiento de los cartuchos se controla mediante un manómetro de presión diferencial que originará la alarma correspondiente en caso de que los filtros estén perdiendo carga.

### ***Lavado de Membranas de Ósmosis Inversa***

Las membranas serán sometidas periódicamente a una limpieza con distintos reactivos químicos, para eliminar los precipitados salinos, materia orgánica, bacterias o elementos coloidales que se depositen sobre ellas durante el funcionamiento y reduzcan su eficiencia.

La limpieza consiste en la recirculación durante cierto tiempo de una serie de reactivos disueltos en agua para eliminar la causa del ensuciamiento de las membranas. La limpieza química es una operación que se realiza para eliminar acumulaciones de suciedad en las membranas y que ocurre después de períodos relativamente largos de servicio.

La técnica a emplear consiste en circular la solución limpiadora LM-01, contenida en el tanque TA-114 a baja velocidad por medio de la bomba centrífuga GA-119 a través de las membranas habiéndose filtrado antes por medio del filtro de cartuchos FB-103 para eliminar las impurezas. El rechazo del bastidor LM-04 puede ser bien enviado a vertido o

recogido en el depósito TA-114 para su recirculación. En caso de ser enviado a vertido, la corriente LM-05 pasa a un tanque neutralizador, fuera de los límites de batería, donde se adecuarán los vertidos para posteriormente ser enviados a la misma planta de tratamiento de efluentes que la corriente de lavado de los filtros de arena EF-12.

El agua permeada durante esta operación es recogida en el depósito de preparación de la solución de limpieza química.

La frecuencia de una limpieza química dependerá de la calidad del agua de alimentación a la osmosis inversa y de la operación general de la planta y puede estar determinada por cualquiera de las siguientes circunstancias:

- Alta presión diferencial entre alimentación y concentrado.
- Pérdida de productividad (bajo caudal de agua producida).
- Deterioro de la calidad del agua producida (alta conductividad).

El tipo de solución limpiadora requerida depende de la causa del ensuciamiento. Los diferentes procedimientos de limpieza química se llevarán a cabo conforme con las guías expresas del fabricante de membranas.

## Lista de equipo con pre-dimensionamiento (por grupos)

Mezclado		Volumen de mezcla	KW Motor
<b>AG-101</b>	Mezclador estático en línea	No aplica	No Aplica
<b>AG-102</b>	Agitador de hélice para TA-101	3,000.00	295.49
<b>AG-103</b>	Agitador de hélice para tanque TA-102	6,000.00	590.98
<b>AG-104</b>	Agitador estático en línea	No aplica	No Aplica
<b>AG-105</b>	Agitador de hélice para tanque TA-104	65,000.00	6,402.27
<b>AG-106</b>	Agitador para TA-106	30.00	2.95
<b>AG-107</b>	Agitador de hélice para tanque TA-108	15.00	1.48
<b>AG-108</b>	Agitador de hélice para tanque TA-109	30.00	2.95
<b>AG-109</b>	Agitador de hélice para tanque TA-110	15.00	1.48
<b>AG-110</b>	Agitador de hélice para tanque TA-111	30.00	2.95
<b>AG-111 A-B</b>	Agitador de hélice para tanque TA-112 A-B respectivamente	25.00	2.46
<b>AG-112</b>	Agitador de hélice para tanque TA-114	8.00	0.79

Filtración		Caudal (m <sup>3</sup> /hr)	Vel. Filtración (m <sup>3</sup> /hr m <sup>2</sup> )	Área de Filtración (m <sup>2</sup> )	Altura empacada (m)	Altura Total (m)
<b>FB-101 A-J</b>	Filtración por gravedad	520.84	9.30	56.00	1.00	1.61
<b>FB-102 A-E</b>	Filtro de cartuchos	1071.54	12 Cartuchos de polipropileno Grado de Filtración de 5 micras			
<b>FB-103</b>	Filtro de cartuchos para lavado de membranas de ósmosis inversa (operación intermitente)	400.00				

Bombeo		Caudal (m <sup>3</sup> /hr)	P. Descarga (man.) Kg/cm <sup>2</sup>	KW Bomba	KW motor
<b>GA-102 A-E(M)/R(M)</b>	Bomba centrífuga de alimentación al filtros de cartuchos FB-102 A-E	1,071.54	6.12	299.18	393.65
<b>GA-103 A-G (M)/R(M)</b>	Bomba centrífuga de alimentación de alta presión a	759.00	67.64	1,679.32	2,209.63

	los bastidores de ósmosis inversa				
<b>GA-104 (M)/R(M)</b>	Bomba centrífuga traslado de agua de servicios para abastecimiento del complejo (intermitente)	234.77	1.76	26.85	35.33
<b>GA-105 (M)/R(M)</b>	Bomba centrífuga de carga de hipoclorito de sodio desde camión cisterna	10.00	2.11	1.25	1.65
<b>GA-106 (M)/R(M)</b>	Bomba desplazamiento positivo dosificadora de hipoclorito de sodio	0.07	4.22	0.02	0.03
<b>GA-107 (M)/R(M)</b>	Bomba desplazamiento positivo dosificadora de solución de cloruro férrico	0.21	4.22	0.06	0.08
<b>GA-108 (M)/R(M)</b>	Bomba centrífuga de carga de ácido sulfúrico desde camión cisterna	10.00	1.76	1.14	1.50
<b>GA-109 (M)/R(M)</b>	Bomba desplazamiento positivo dosificadora de ácido sulfúrico	0.09	1.41	0.01	0.02
<b>GA-110 (M)/R(M)</b>	Bomba centrífuga para transferencia de solución del TA-108 al TA-109	10.00	1.76	1.14	1.50
<b>GA-111 (M)/R(M)</b>	Bomba desplazamiento positivo dosificadora de solución de hexametastato sódico	0.13	1.41	0.01	0.02
<b>GA-112 (M)/R(M)</b>	Bomba centrífuga para transferencia de solución del TA-110 al TA-111	10.00	1.76	1.14	1.50
<b>GA-113 (M)/R(M)</b>	Bomba desplazamiento positivo dosificadora de solución de bisulfito sódico	0.10	1.41	0.01	0.01
<b>GA-114 A-B (M)/R(M)</b>	Bomba desplazamiento positivo dosificadora de hidróxido cálcico	3.60	1.41	0.37	0.49
<b>GA-115 (M)/R(M)</b>	Bomba desplazamiento positivo dosificadora de hipoclorito sódico	7.91E-03	66.79	0.02	0.02
<b>GA-116 A-J (M)/R(M)</b>	Bomba centrífuga para envío de efluentes de lavado de filtros de arena a planta de tratamiento (operación intermitente)	900.00	2.11	112.65	148.23
<b>GA-117 A-C (M)/R(M)</b>	Motobomba para lavado de filtros de arena (operación intermitente)	308.89	0.95	27.57	36.28

<b>GA-118 A-B (M)/R(M)</b>	Motosoplantes para lavado de filtros de arena (operación intermitente)	1,838.10	0.32	73.24	96.37
<b>GA-119 (M)/R(M)</b>	Bomba centrífuga de lavado de membranas de osmosis inversa (operación intermitente)	400.00	5.06	86.58	113.92
<b>GB-102 A-G</b>	Turbina pelton de recuperación de energía	424.12			

Ósmosis		Caudal por bastidor (m <sup>3</sup> /hr)	Dentro de Especificación	Diámetro (m)	Longitud (m)
<b>PA-101 A-G</b>	Bastidor de ósmosis inversa (100 módulos, 7 membranas por módulo) Tipo: arrollamiento en espiral Material: poliamida aromática de tejido cruzado	759.00	Sí	0.2032	1.27

Almacenamiento y Dosificación		Caudal (m <sup>3</sup> /hr)	Θ (hr)	Volumen (m <sup>3</sup> )	V. sobre diseño (m <sup>3</sup> )	φ (m)	Long. T-T (m)
<b>TA-101</b>	Tanque de mezclado en línea	5,383.63	0.50	2,691.82	3,000.0	10.8	43.35
<b>TA-102</b>	Tanque de homogenizador y de adición de reactivos	5,357.70	1.00	5,357.70	6,000.0		18.17
<b>TA-103</b>	Tanque colector a la salida de filtros de cartucho	5,312.97	0.50	2,656.48	3,000.0		14.42
<b>TA-104</b>	Tanque de almacenamiento de agua producto	2,357.85	24.00	56,588.40	65,000.0		40.21
<b>TA-105</b>	Tanque de almacenamiento y dosificación de hipoclorito de sodio	0.07	360.00	25.32	30.0	2.34	9.34
<b>TA-106</b>	Tanque de almacenamiento y dosificación de cloruro férrico	0.21	120.00	25.42	30.0	2.34	9.34
<b>TA-107</b>	Tanque de almacenamiento y dosificación de ácido sulfúrico	0.09	300.00	26.14	30.0	2.34	9.34
<b>TA-108</b>	Tanque de preparación de				15.0	1.85	7.41



	solución de hexametáfosfato sódico						
<b>TA-109</b>	Tanque de dosificación de hexametáfosfato sódico	0.13	200.00	25.40	30.0	2.34	9.34
<b>TA-110</b>	Tanque de preparación de solución de bisulfito sódico				15.0	1.85	7.41
<b>TA-111</b>	Tanque de dosificación de bisulfito sódico	0.10	250.00	25.82	30.0	2.34	9.34
<b>TA-112 A-B</b>	Preparación de solución y dosificación de Hidróxido Cálcico	3.60	6.00	21.61	25.0	2.20	8.79
<b>TA-113</b>	Tanque de almacenamiento y dosificación de hipoclorito sódico	$7.91 \times 10^{-3}$	360.00	2.85	3.0	1.08	4.34
<b>TA-114</b>	Tanque de almacenamiento y dosificación de reactivos de limpieza química para membranas de ósmosis inversa	400.00			8.0	1.50	6.01

## Justificación del pre-dimensionamiento

<b>Dosificación de Hipoclorito Sódico</b>		
<b>Consumos</b>		
<b>Caudal diario a tratar</b>	125,000.00	m <sup>3</sup> /día
<b>Caudal medio a tratar</b>	5,208.33	m <sup>3</sup> /hr
<b>Fórmula Química</b>	NaClO	
<b>Dosis máxima prevista</b>	0.002	kg Cl/m <sup>3</sup>
<b>Riqueza del producto comercial</b>	0.12	kg Cl/m <sup>3</sup>
<b>Densidad del producto comercial</b>	1,240.00	kg/m <sup>3</sup>
<b>Forma prevista de suministro</b>	Camión cisterna	
<b>Consumo del producto a dosis máxima</b>	87.20	kg/hr
<b>Almacenamiento</b>		
<b>Sistema de almacenamiento</b>	Tanque cilíndrico de polietileno de HD	
<b>Volumen de Almacenamiento</b>	30.00	m <sup>3</sup>
<b>Número de Cubas</b>		unidades
	1.00	
<b>Capacidad unitaria</b>	30.00	m <sup>3</sup>
<b>Equipos de dosificación</b>		
<b>Equipo dosificador</b>	Bombas tipo membrana de accionamiento mecánico	
<b>Tipo de dosificación</b>	Volumétrica	
<b>Número de bombas en servicio</b>	1.00	unidades
<b>Número de bombas de reserva</b>	1.00	unidades

<b>Dosificación de Cloruro Férrico</b>		
<b>Consumos</b>		
<b>Caudal diario a tratar</b>	125,002.08	m <sup>3</sup> /día
<b>Caudal medio a tratar</b>	5,208.42	m <sup>3</sup> /hr
<b>Fórmula Química</b>	FeCl <sub>3</sub>	
<b>Dosis máxima prevista</b>	0.008	kg/m <sup>3</sup>
<b>Riqueza del producto comercial</b>	95.00	%
<b>Consumo del producto a dosis máxima</b>	41.67	kg/hr
<b>Forma prevista de suministro</b>	Sacos	
<b>Peso unitario por Saco</b>	50.00	kg
<b>Almacenamiento</b>		
<b>Autonomía a dosis máxima</b>	15.00	días
<b>Cantidad de sacos</b>	300.00	unidades
<b>Dilución</b>		
<b>Concentración media de solución a dosificar</b>	20.00	%
<b>Densidad de la solución</b>	1,025.00	kg/m <sup>3</sup>

<b>Caudal máximo de la dosis a aplicar</b>	0.21	m <sup>3</sup> /hr
<b>Autonomía a dosis máxima</b>	120.00	hr
<b>Equipos de dosificación</b>		
<b>Equipo dosificador</b>	Bombas tipo membrana de accionamiento mecánico	
<b>Tipo de dosificación</b>	Volumétrica	
<b>Número de bombas en servicio</b>	1.00	unidades
<b>Número de bombas de reserva</b>	1.00	unidades

<b>Dosificación de Ácido Sulfúrico</b>		
<b>Consumos</b>		
<b>Caudal diario a tratar</b>	124,372.32	m <sup>3</sup> /día
<b>Caudal medio a tratar</b>	5,182.18	m <sup>3</sup> /hr
<b>Fórmula Química</b>	H2SO4	
<b>Dosis máxima prevista</b>	0.0019	kg/m <sup>3</sup>
<b>Riqueza del producto comercial</b>	98.00	%
<b>Densidad de la solución</b>	1,830.00	kg/m <sup>3</sup>
<b>Forma prevista de suministro</b>	Camión cisterna	
<b>Consumo del producto a dosis máxima</b>	159.44	Kg/hr
<b>Almacenamiento</b>		
<b>Sistema de almacenamiento</b>	Tanque cilíndrico de polietileno de HD	
<b>Volumen de Almacenamiento</b>	30.00	m <sup>3</sup>
<b>Número de Cubas</b>	1.00	unidades
<b>Capacidad unitaria</b>	30.00	m <sup>3</sup>
<b>Equipos de dosificación</b>		
<b>Equipo dosificador</b>	Bombas tipo membrana de accionamiento mecánico	
<b>Tipo de dosificación</b>	Volumétrica	
<b>Número de bombas en servicio</b>	1.00	unidades
<b>Número de bombas de reserva</b>	1.00	unidades

<b>Dosificación de Hexametáfosfato sódico</b>		
<b>Consumos</b>		
<b>Caudal diario a tratar</b>	124,372.32	m <sup>3</sup> /día
<b>Caudal medio a tratar</b>	5,182.18	m <sup>3</sup> /hr
<b>Fórmula química</b>	(NaPO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub>	
<b>Dosis máxima prevista</b>	0.005	kg/m <sup>3</sup>
<b>Riqueza del producto comercial</b>	100.00	%
<b>Consumo del producto a dosis máxima</b>	26.04	kg/hr
<b>Forma prevista de suministro</b>	sacos	
<b>Peso unitario por saco</b>	50.00	Kg

<b>Almacenamiento</b>		
<b>Autonomía a dosis máxima</b>	15.00	Días
<b>Cantidad de sacos</b>	188.00	unidades
<b>Dilución</b>		
<b>Concentración media de solución a dosificar</b>	20.00	%
<b>Densidad de la solución</b>	1,025.00	kg/m <sup>3</sup>
<b>Caudal máximo de la dosis a aplicar</b>	0.13	m <sup>3</sup> /hr
<b>Autonomía a dosis máxima</b>	200.00	hr
<b>Equipos de dosificación</b>		
<b>Equipo dosificador</b>	Bombas tipo membrana de accionamiento mecánico	
<b>Tipo de dosificación</b>	Volumétrica	
<b>Número de bombas en servicio</b>	1.00	unidades
<b>Número de bombas de reserva</b>	1.00	unidades

<b>Dosificación de Bisulfito sódico</b>		
<b>Consumos</b>		
<b>Caudal diario a tratar</b>	124,372.32	m <sup>3</sup> /día
<b>Caudal medio a tratar</b>	5,182.18	m <sup>3</sup> /hr
<b>Fórmula química</b>	NaHSO <sub>3</sub>	
<b>Dosis máxima prevista</b>	0.004	kg/m <sup>3</sup>
<b>Riqueza del producto comercial</b>	98.00	%
<b>Consumo del producto a dosis máxima</b>	20.83	kg/hr
<b>Forma prevista de suministro</b>	sacos	
<b>Peso unitario por saco</b>	25.00	Kg
<b>Almacenamiento</b>		
<b>Autonomía a dosis máxima</b>	15.00	Días
<b>Cantidad de sacos</b>	300.00	unidades
<b>Dilución</b>		
<b>Concentración media de solución a dosificar</b>	20.00	%
<b>Densidad de la solución</b>	1,025.00	kg/m <sup>3</sup>
<b>Caudal máximo de la dosis a aplicar</b>	0.10	m <sup>3</sup> /hr
<b>Autonomía a dosis máxima</b>	250.00	hr
<b>Dosificación</b>		
<b>Equipo dosificador</b>	Bombas de tipo membrana de accionamiento mecánico	
<b>Tipo de dosificación</b>	Volumétrica	
<b>Número de bombas en servicio</b>	1.00	unidades
<b>Número de bombas en reserva</b>	1.00	unidades

<b>Filtros de Arena por Gravedad</b>
--------------------------------------

<b>Dimensiones por unidad</b>		
<b>Caudal diario a tratar</b>	12,500.30	m <sup>3</sup> /día
<b>Caudal medio a tratar</b>	520.85	m <sup>3</sup> /hr
<b>Riqueza de sílice</b>	98.00	%
<b>Volumen por filtro</b>	361.32	m <sup>3</sup>
<b>Área filtrante</b>	56.00	m <sup>2</sup>
<b>Altura empacada</b>	1.00	m
<b>Altura total</b>	1.61	m
<b>Diámetro</b>	28.00	m
<b>Altura empacada /Altura Total</b>	0.62	
<b>Acabado interior de goma natural (espesor)</b>	0.01	m
<b>Lavado de Filtros por arrastre de agua</b>		
<b>Caudal de lavado</b>	617.77	m <sup>3</sup> /h
<b>Duración del lavado</b>	10.00	min
<b>Presión diferencial</b>	0.95	Kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Potencia de la bomba</b>	24.74	KW
<b>Lavado de Filtros por arrastre de aire</b>		
<b>Caudal de lavado</b>	3,676.20	m <sup>3</sup> /h
<b>Duración del lavado</b>	5.00	Min
<b>Presión diferencial</b>	0.32	Kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Potencia de la moto soplante</b>	5.43	KW

<b>Filtros de Cartucho</b>		
<b>Dimensiones por unidad</b>		
<b>Caudal diario a tratar</b>	24,876.24	m <sup>3</sup> /día
<b>Caudal medio a tratar</b>	1,036.51	m <sup>3</sup> /hr
<b>Número de cartuchos por unidad</b>	12.00	
<b>Volumen por filtro</b>	239.68	m <sup>3</sup>
<b>Área de filtración</b>	37.15	m <sup>2</sup>
<b>Altura empacada</b>	4.27	m
<b>Altura total</b>	6.88	m
<b>Diámetro</b>	6.88	m
<b>Altura empacada /Altura Total</b>	0.62	
<b>Presión de diseño</b>	6.30	Kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Grado de filtración</b>	5.00	Micras
<b>Presión diferencial máxima</b>	1.02	Kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Material</b>	polipropileno	

<b>Ósmosis Inversa</b>		
<b>Dimensiones por unidad</b>		
<b>Caudal diario a tratar por bastidor</b>	17,615.28	m <sup>3</sup> /día
<b>Caudal medio a tratar por bastidor</b>	733.97	m <sup>3</sup> /hr
<b>Caudal diario producido por bastidor</b>	7,766.76	m <sup>3</sup> /día
<b>Caudal medio producido por bastidor</b>	323.62	m <sup>3</sup> /hr
<p><b>Para plantas de Ósmosis Inversa con capacidad de 100,000 – 5'000,000 GPD de producto, normalmente utilizarán unidades de 8" de diámetro por 40 – 60" de longitud.</b></p> <p><b>(Referencia: Porter, Mark C., "Handbook of Industrial Membrane Technology", Noyes Publications, USA 1990, pp 275.)</b></p>		
<b>Diámetro</b>	0.203	m
<b>Longitud</b>	1.27	m



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: AG-112

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Lavado de membranas de O.I.

Cantidad: 1 (uno)

Tipo: Agitador sumergible

DOC.: HD-TL-MACR-AG-112-F01

### Hoja de Datos AGITADOR SUMERGIBLE

Fluido: Agua de mar  
 Temperatura de bombeo: 20,00 °C  
 S.G a T. de bombeo: 1,00  
 Presión de vapor: 0,008859 kgf/cm2  
 Viscosidad @T op'n: 1,00 cP  
 Causa de corrosión/erosión: Alcalinidad  
 Capacidad dinámica: 0,50 m3/s  
 Nivel máximo de agua: 0,90 m  
 Nivel mínimo de agua: 5,50 m

### Características de Construcción

Agitador tipo: Centrífuga sumergible  
 Montaje: zócalo anclaje  
 Presión de diseño: \_\_\_\_\_  
 Diámetro de propela: 0,50 m  
 Tipo de rodamientos: \_\_\_\_\_  
 Lubricación: Aceite 125 mm  
 Cople: N.A  
 Ensamblada por: Fabricante  
 Empaque (tipo y marca): Proveedor  
 Tamaño y No. de anillos: \_\_\_\_\_  
 Sello mecánico: SS-316, Doble cara carburo de silicio con cámara de separación  
 Tubería auxiliar de lubricación del sello mecánico: No

### Accionamiento

Tipo: MOTOR SUMERGIBLE SEGÚN DIN/VDE 0530 (IEC34) T17 4/12R  
 Pot. Nominal: 30,00 KW Fabricante: EMU  
 Maxima energía de entrada: 37,50 KW Velocidad: 3.480,00  
 Rapidez : 1.680,00 RPM Corriente de arranque: 45,00 A  
 Eficiencia : 78,00 % Torque al arranque (Nm): 67,00  
 cos φ: 0,86 0,86 Momento de inercia (kg/m2): 0,0108  
 Armazón: Fo.Fo. Fo. Fo. Fuente del cable de corriente directa 440 V: \_\_\_\_\_  
 Lubricación: Aceite ACEITE Balero : \_\_\_\_\_  
 Volts/Fases/Ciclos: 440 V. / 3 FASES / 60 Aislam.: IP-68  
 Amperaje a plena carga: 10,30 A Recubrimiento de motor: Ceramico  
 Construccion: Sumergible Recubrimiento propela: poliuretano

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: AG-112

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Lavado de membranas de O.I.

Cantidad: 1 (uno)

Tipo: Agitador sumergible

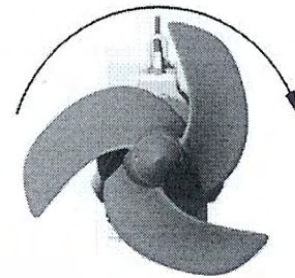
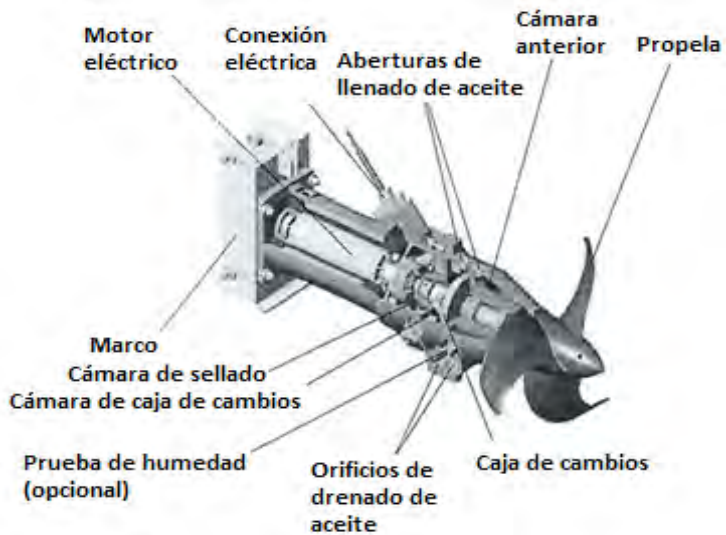
DOC.: HD-TL-MACR-AG-112-F02

### Hoja de Datos AGITADOR SUMERGIBLE

#### Materiales

Carcasa: Fo. Fo.  
 Impulsor: Fo. Fo.  
 Flecha: ----  
 Empaques: ----  
 Sello Mecánico: SS-316/Carburo de Silicio  
 Base: Fo. Fo.

#### Diagrama



Peso Total: 297,00 Kg.

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final





Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: FB-101

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Pretratamiento

Tipo: Filtro de arena

Cantidad: 10 (diez) DOC.: HD-TL-MACR-FB-101-A-J-F01

### Hoja de Datos FILTRO DE ARENA

Fluido: Agua de mar  
 Capacidad: 0,145 m3/s  
 Densidad: 1.025,00 Kg/m3  
 Presión de operación: Atmosférica  
 Temperatura de operación: Atmosférica  
 Viscosidad @T op'n: 1,00 cP

### Características de Construcción / Materiales

Tipo :	<u>Cilindro vertical</u>	Cuerpo :	<u>Placa de acero A36</u>
Diámetro:	<u>8,44 m</u>	Tapas :	<u>Ac carbon</u>
Altura empacada:	<u>1,00 m</u>	Bridas / Empaque :	<u>Ac carbon</u>
Altura total:	<u>1,61 m</u>	Tornillos / Tuercas :	<u>Ac galvanizado</u>
Cuerpo :	<u>0,64 cm</u>	Cuello de boquillas:	<u>Ac carbon</u>
Tapas :	<u>0,95 cm</u>		
Radio de abombado:	<u>11,10 cm</u>		

### Datos de diseño

Presión de diseño:	<u>1,55 Kg/cm2</u>	Pintura:	<u>Anticorrosiva</u>
Temperatura de diseño:	<u>35,00 °C</u>	Aislamiento:	<u>N/A mm</u>
Presión de prueba:	<u>5,17 Kg/cm2</u>	Relevado de esfuerzos:	<u>No</u>
Corrosión permisible:	<u>0,35 cm</u>	Eficiencia en juntas:	<u>85 %</u>
Fabricación soldada:		Radiografiado:	<u>No</u>
Peso vacío:		Código de diseño:	<u>ASME</u>
Peso de operación:		Código de fabricación:	<u>ASME</u>
Peso lleno de agua:		Área de filtrado (ft <sup>2</sup> ):	<u>37,15 m2</u>
Preparación de superficie:	<u>Limpieza mecánica</u>		

### Componentes

Tanque de filtrado: Acero al Carbón, Cubierta Epóxica  
 Filtros internos: \_\_\_\_\_  
 Válvulas de control: Fierro fundido /asientos EPDM, clase 150#  
 Válvulas solenoides: \_\_\_\_\_  
 Medio filtrante: Arena Silíceas  
 Acceso a hombre: 45,72 cm

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: FB-101

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Pretratamiento

Tipo: Filtro de arena

Cantidad: 10 (diez)

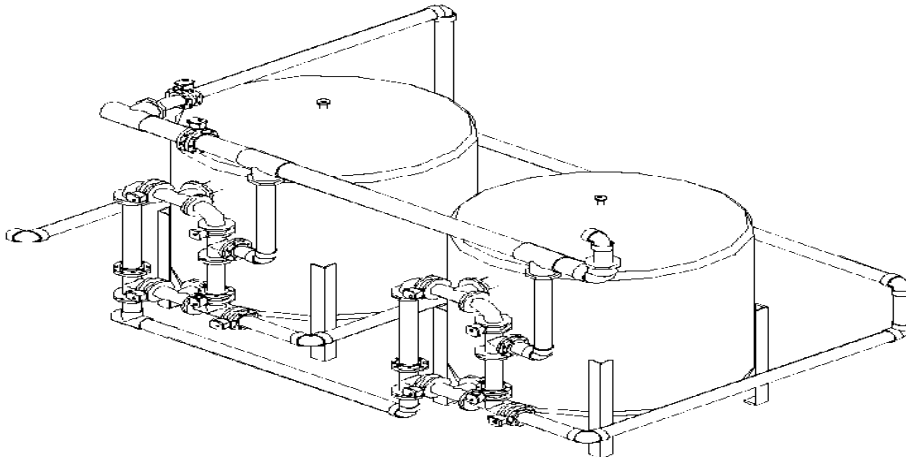
DOC.: HD-TL-MACR-FB-101-A-J-F02

Hoja de Datos  
FILTRO DE ARENA

Tabla de Boquillas

Identificador	Cantidad	Diámetro	Tipo	Proy.	Rango	Servicio

Diagrama



Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: **FB-103**

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Lavado de membranas de O.I.

Cantidad: 1 (uno)

Tipo: Filtro de cartuchos

DOC.: **HD-TL-MACR-FB-103-F01**

### Hoja de Datos FILTRO DE CARTUCHOS

Fluido: Agua de mar  
Capacidad: 0,111 m<sup>3</sup>/s  
Densidad: 1.025,00 Kg/m<sup>3</sup>  
Presión de operación: Atmosférica  
Temperatura de operación: Atmosférica  
Viscosidad @T op'n: 1,00 cP

### Características de Construcción / Materiales

Tipo :	Cilindro vertical	Cuerpo :	Placa de acero A36
Diámetro:	4,27 m	Tapas :	Ac carbon
Altura empacada:	4,27 m	Bridas / Empaque :	Ac carbon
Altura total:	6,88 m	Tornillos / Tuercas :	Ac galvanizado
Cuerpo :	0,64 cm	Cuello de boquillas:	Ac carbon
Tapas :	0,95 cm		
Radio de abombado:	11,10 cm		

### Datos de diseño

Presión de diseño:	5,06 Kg/cm <sup>2</sup>	Pintura:	Anticorrosiva
Temperatura de diseño:	45,00 °C	Aislamiento:	N/A mm
Presión de prueba:	10,33 Kg/cm <sup>2</sup>	Relevado de esfuerzos:	No
Corrosión permisible:	0,35 cm	Eficiencia en juntas:	85 %
Fabricación soldada:	Si	Radiografiado:	No
Peso vacío:		Código de diseño:	ASME
Peso de operación:		Código de fabricación:	ASME
Peso lleno de agua:		Área de filtrado (ft <sup>2</sup> ):	14,34 m <sup>2</sup>
Preparación de superficie:			

### Componentes

Tanque de filtrado: Acero al Carbón, Cubierta Epóxica  
Filtros internos: PVC, polipropileno  
Válvulas de control:  
Valvulas solenoides:  
Medio filtrante: Cartuchos de Polipropileno de 5 micras  
Acceso a hombre: 45,72 cm

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: **FB-103**

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Lavado de membranas de O.I.

Cantidad: 1 (uno)

Tipo: Filtro de cartuchos

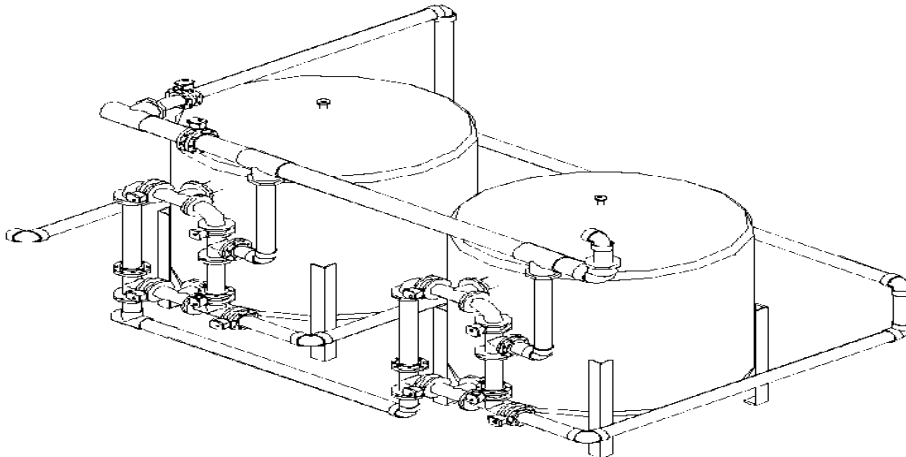
DOC.: **HD-TL-MACR-FB-103-F02**

Hoja de Datos  
FILTRO DE CARTUCHOS

Tabla de Boquillas

Identificador	Cantidad	Diámetro	Tipo	Proy.	Rango	Servicio

Diagrama



Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: GA-103 A-G/R

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Ósmosis inversa

Tipo: Alta presión

Cantidad: 14 (Catorce)

DOC.: HD-TL-MACR-GA-103-A-G-F01

### Hoja de Datos BOMBA DE ALTA PRESIÓN

Fluido de proceso : Agua de mar filtrada (corriente P-08)  
 Temp. de operación: 20,00 °C  
 Densidad: 1.025,00 Kg/m3  
 Viscosidad: 1,00 cP  
 Gasto nominal: 0,232 m3/s  
 Gasto operación: 0,204 m3/s  
 Presión descarga: 67,64 Kg/cm2  
 Presión succión: 1,03 Kg/cm2  
 Presión diferencial: 66,61 Kg/cm2  
 NPSH disponibles: 6,4 m  
 Potencia hidráulica: 1679,32 KW

### Construcción

Carcaza Montaje \_\_\_\_\_  
 Corte \_\_\_\_\_  
 Impulsor Montaje \_\_\_\_\_  
 Tipo \_\_\_\_\_  
 D. Diseño \_\_\_\_\_  
 D. Máximo \_\_\_\_\_  
 Chumaceras \_\_\_\_\_  
 Sello Mecánico \_\_\_\_\_  
 Boquillas Succión \_\_\_\_\_  
 Descarga \_\_\_\_\_

### Funcionamiento

Tamaño y tipo: \_\_\_\_\_  
 Curva propuesta: \_\_\_\_\_  
 NPSH requeridos: 5,49 m de agua  
 Tuberías y conexiones : Acero al carbón  
 Eficiencia normal: 80 %  
 Máx. BHP del impulsor : 2815,01 BHP  
 Máx Carga de impulsor: \_\_\_\_\_  
 Caudal mín. cont. estable: 0,102 m3/s

### Motor Eléctrico

Encerramiento: \_\_\_\_\_  
 HP / RPM: 2963,17 1760  
 Volts / Fases / Hertz: 13200 3 60  
 Chumaceras: \_\_\_\_\_  
 Tipo de motor: Motor de alta eficiencia eléctrica  
 Eficiencia premium: 95 %

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: **GA-103 A-G/R**

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Ósmosis inversa

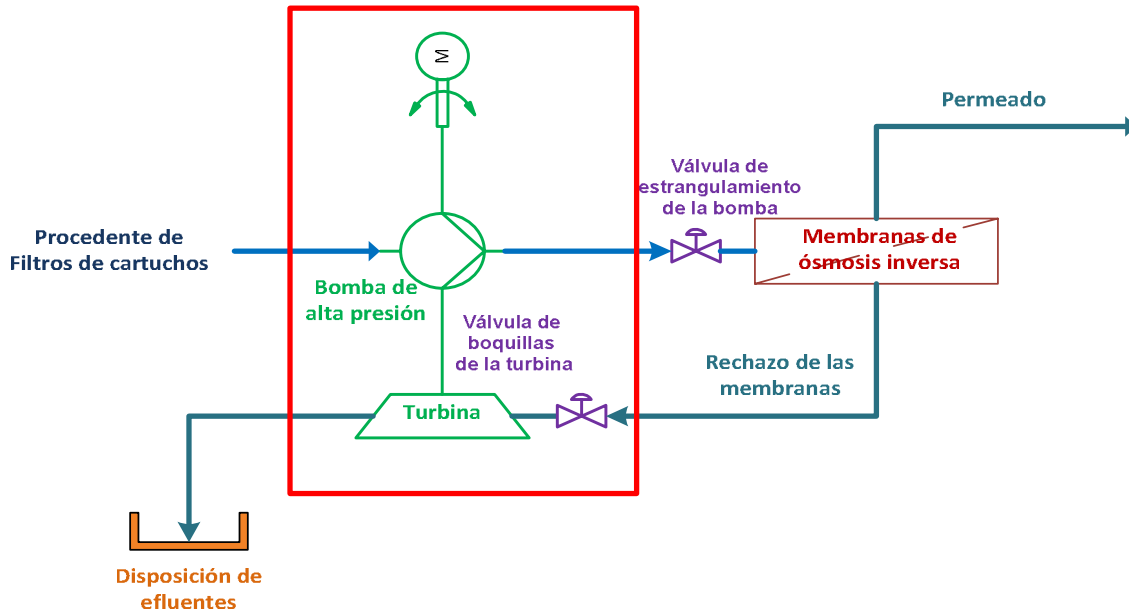
Tipo: Alta presión

Cantidad: 14 (Catorce)

DOC.: **HD-TL-MACR-GA-103-A-G-F02**

Hoja de Datos  
BOMBA DE ALTA PRESIÓN

Diagrama



Notas

Bomba centrífuga de alta presión, horizontal y multietápica, de doble voluta y partida horizontalmente. Impulsores en oposición y simple succión

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: GA-117 A-C /R

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Lavado de filtros de arena

Tipo: motobomba

Cantidad: 4 (Cuatro)

DOC.: HD-TL-MACR-GA-117-A-C-F01

Hoja de Datos  
MOTOBOMBA PARA LAVADO DE FILTROS DE ARENA

Fluido de proceso : Agua de mar filtrada (corriente LF-01)  
 Temp. de operación: 20,00 °C  
 Densidad: 1.025,00 Kg/m3  
 Viscosidad: 1,00 cP  
 Gasto nominal: 0,094 m3/s  
 Gasto operación: 0,086 m3/s  
 Presión descarga: 1,98 Kg/cm2  
 Presión succión: 1,03 Kg/cm2  
 Presión diferencial: 0,95 Kg/cm2  
 NPSH disponibles: 3,05 m  
 Potencia hidráulica: 27,57 KW

Construcción

Carcaza Montaje \_\_\_\_\_  
 Corte \_\_\_\_\_  
 Impulsor Montaje \_\_\_\_\_  
 Tipo \_\_\_\_\_  
 D. Diseño \_\_\_\_\_  
 D. Máximo \_\_\_\_\_  
 Chumaceras \_\_\_\_\_  
 Sello Mecánico \_\_\_\_\_  
 Boquillas Succión \_\_\_\_\_  
 Descarga \_\_\_\_\_

Funcionamiento

Tamaño y tipo: \_\_\_\_\_  
 Curva propuesta: \_\_\_\_\_  
 NPSH requeridos: 2,13 m de agua  
 Tuberías y conexiones : Acero al carbón  
 Eficiencia normal: 80 %  
 Máx. BHP del impulsor : 46,21 BHP  
 Máx Carga de impulsor: \_\_\_\_\_  
 Caudal mín. cont. estable: 0,064 m3/s

Motor Eléctrico

Encerramiento: \_\_\_\_\_  
 HP / RPM: 48,65 1760  
 Volts / Fases / Hertz: 460 3 60  
 Chumaceras: \_\_\_\_\_  
 Tipo de motor: Motor de alta eficiencia eléctrica  
 Eficiencia premium: 95 %

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: GA-117 A-C /R

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Lavado de filtros de arena Tipo: motobomba

Cantidad: 4 (Cuatro) DOC.: HD-TL-MACR-GA-117-A-C-F02

Hoja de Datos  
MOTOBOMBA PARA LAVADO DE FILTROS DE ARENA

Diagrama

Notas

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final





Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar pc  
 ósmosis inversa

TAG: GA-118 A-B /R

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Lavado de filtros de arena Tipo: motosoplante

Cantidad: 3 (Tres) DOC.: HD-TL-MACR-GA-118-A-B-F01

**Hoja de Datos**  
**MOTOBOMBA PARA LAVADO DE FILTROS DE ARENA**

Fluido de proceso : Aire (corriente LF-03)  
 Temp. de operación: 20,00 °C  
 Densidad: 1,23 Kg/m3  
 Viscosidad: 0,02 cP  
 Gasto nominal: 0,562 m3/s  
 Gasto operación: 0,511 m3/s  
 Presión descarga: 1,35 Kg/cm2  
 Presión succión: 1,03 Kg/cm2  
 Presión diferencial: 0,32 Kg/cm2  
 NPSH disponibles: m  
 Potencia hidráulica: 73,24 KW

**Construcción**

Carcaza Montaje \_\_\_\_\_  
 Corte \_\_\_\_\_  
 Impulsor Montaje \_\_\_\_\_  
 Tipo \_\_\_\_\_  
 D. Diseño \_\_\_\_\_  
 D. Máximo \_\_\_\_\_  
 Chumaceras \_\_\_\_\_  
 Sello Mecánico \_\_\_\_\_  
 Boquillas Succión \_\_\_\_\_  
 Descarga \_\_\_\_\_

**Funcionamiento**

Tamaño y tipo: \_\_\_\_\_  
 Curva propuesta: \_\_\_\_\_  
 NPSH requeridos: m de agua  
 Tuberías y conexiones : Acero al carbón  
 Eficiencia normal: 80 %  
 Máx. BHP del impulsor : 122,77 BHP  
 Máx Carga de impulsor: \_\_\_\_\_  
 Caudal mín. cont. estable: m3/s

**Motor Eléctrico**

Encerramiento: \_\_\_\_\_  
 HP / RPM: 129,23 1760  
 Volts / Fases / Hertz: 4000 3 60  
 Chumaceras: \_\_\_\_\_  
 Tipo de motor: Motor de alta eficiencia eléctrica  
 Eficiencia premium: 95 %

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por  
ósmosis inversa

TAG: GA-118 A-B /R

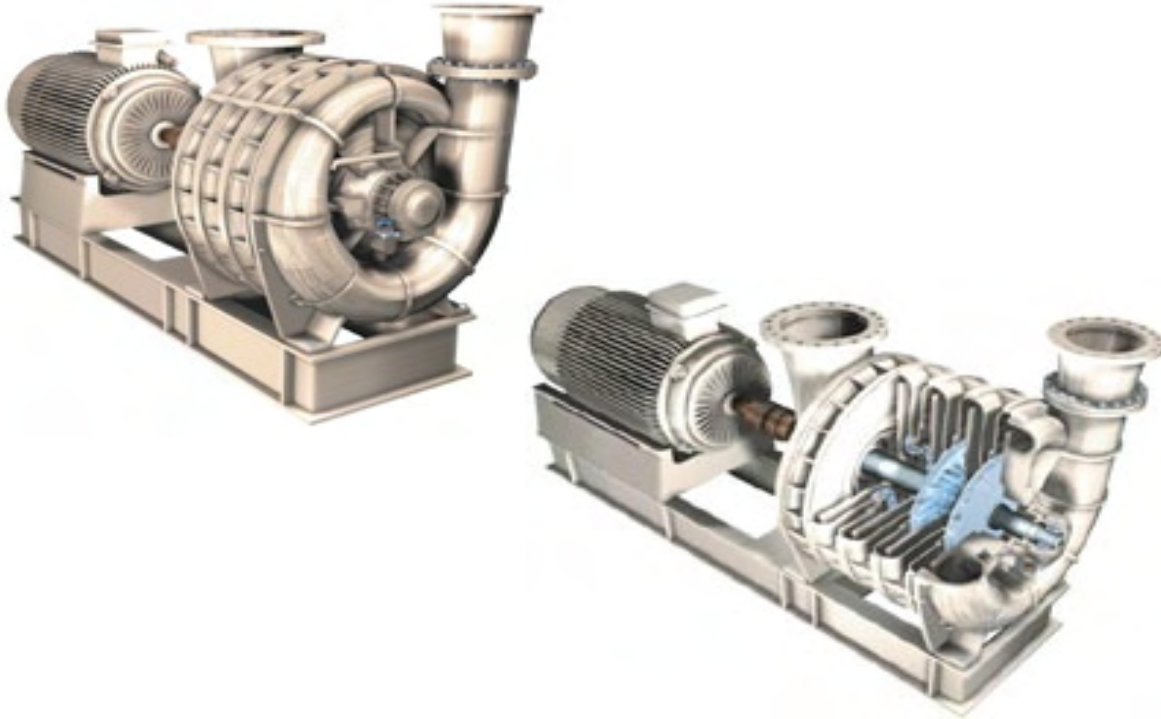
Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Lavado de filtros de arena Tipo: motosoplante

Cantidad: 3 (Tres) DOC.: HD-TL-MACR-GA-118-A-B-F02

Hoja de Datos  
MOTOBOMBA PARA LAVADO DE FILTROS DE ARENA

Diagrama



Notas

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar pc  
 ósmosis inversa

TAG: GA-119 A-B /R

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Lavado de membranas de O.I.

Tipo: Centrífuga

Cantidad: 3 (Tres)

DOC.: HD-TL-MACR-GA-119-A-B-F01

Hoja de Datos  
 BOMBA CENTRÍFUGA

Fluido de proceso : Solución química de limpieza (corriente LM-01)  
 Temp. de operación: 32,00 °C  
 Densidad: Kg/m3  
 Viscosidad: ~1.00 cP  
 Gasto nominal: 0,122 m3/s  
 Gasto operación: 0,111 m3/s  
 Presión descarga: 6,09 Kg/cm2  
 Presión succión: 1,03 Kg/cm2  
 Presión diferencial: 5,06 Kg/cm2  
 NPSH disponibles: 4,572 m  
 Potencia hidráulica: 86,58 KW

Construcción

Carcaza Montaje \_\_\_\_\_  
 Corte \_\_\_\_\_  
 Impulsor Montaje \_\_\_\_\_  
 Tipo \_\_\_\_\_  
 D. Diseño \_\_\_\_\_  
 D. Máximo \_\_\_\_\_  
 Chumaceras \_\_\_\_\_  
 Sello Mecánico \_\_\_\_\_  
 Boquillas Succión \_\_\_\_\_  
 Descarga \_\_\_\_\_

Funcionamiento

Tamaño y tipo: \_\_\_\_\_  
 Curva propuesta: \_\_\_\_\_  
 NPSH requeridos: 3,66 m de agua  
 Tuberías y conexiones : Acero al carbón  
 Eficiencia normal: 80 %  
 Máx. BHP del impulsor : 145,13 BHP  
 Máx Carga de impulsor: \_\_\_\_\_  
 Caudal mín. cont. estable: 0,05555 m3/s

Motor Eléctrico

Encerramiento: \_\_\_\_\_  
 HP / RPM: 152,77 1760  
 Volts / Fases / Hertz: 4000 3 60  
 Chumaceras: \_\_\_\_\_  
 Tipo de motor: Motor de alta eficiencia eléctrica  
 Eficiencia premium: 95 %

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: GA-119 A-B /R

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Lavado de membranas de O.I.

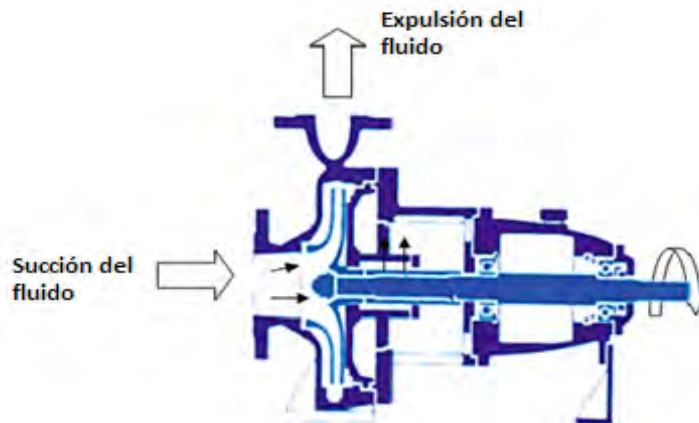
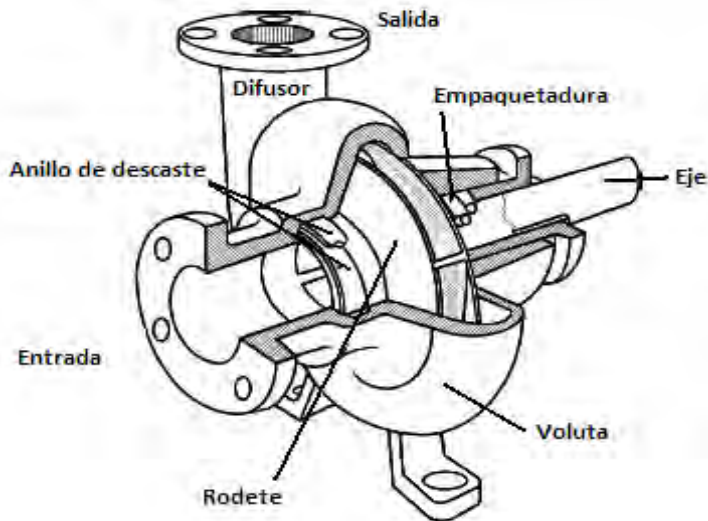
Tipo: Centrífuga

Cantidad: 3 (Tres)

DOC.: HD-TL-MACR-GA-119-A-B-F02

Hoja de Datos  
BOMBA CENTRÍFUGA

Diagrama



Notas

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: GB-102 A-G /R

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Recuperación de energía

Tipo: Pelton

Cantidad: 14 (Catorce)

DOC.: HD-TL-MACR-GB-102-A-G-F01

### Hoja de Datos TURBINA PELTON DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

Fluido de proceso : Rechazo de membranas de ósmosis inversa (corriente P-1)  
 Temp. de operación: 20,00 °C  
 Densidad: 1.025,00 Kg/m3  
 Viscosidad: ~1.00 cP  
 Gasto nominal: 0,125 m3/s  
 Gasto operación: 0,114 m3/s  
 Presión operación: 1,03 Kgf/cm2  
 Presión succión: 66,02 Kgf/cm2  
 Presión diferencial: Kgf/cm2  
 Eficiencia a cond. normales: 4,572 m  
 Potencia recuperada 86,58 KW

### Construcción

Carcaza: Duplex acero inoxidable  
 Cuerpo: Duplex acero inoxidable  
 Impulsor: Duplex acero inoxidable  
 Soportes cojinetes: Fundición  
 Lubricación: Grasa  
 Rueda: Duplex acero inoxidable  
 Tubería: Duplex acero inoxidable  
 Aguja: Duplex acero inoxidable  
 Asiento: Duplex acero inoxidable

### Funcionamiento

Tipo: eje horizontal  
 Rodete: cuchara  
 Cojinete: bolas  
 Acoplamiento: flexible  
 Lubricación: grasa  
 Refrigeración: \_\_\_\_\_

### Motor Eléctrico

Encerramiento: \_\_\_\_\_  
 HP / RPM: 1502  
 Volts / Fases / Hertz: 13200      3      60  
 Chumaceras: \_\_\_\_\_  
 Tipo de motor: Motor de alta eficiencia eléctrica  
 Eficiencia premium: 95 %

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: **GB-102 A-G /R**

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Recuperación de energía

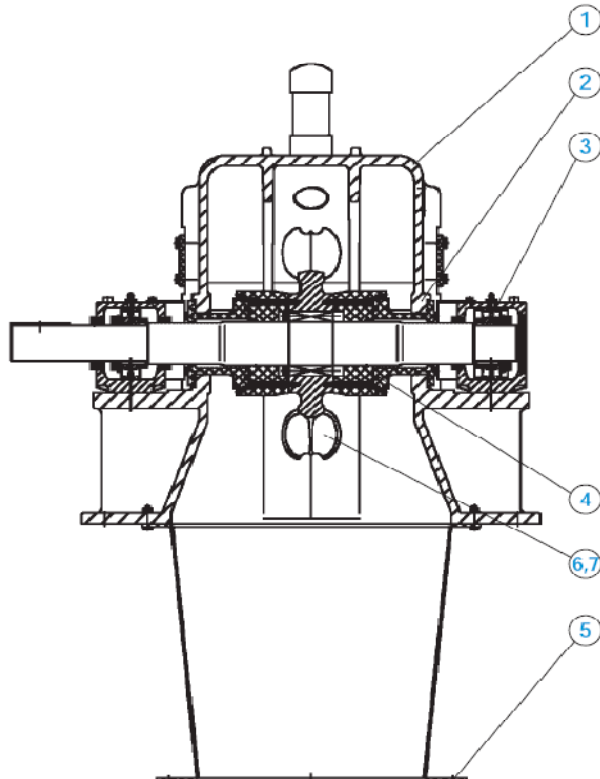
Tipo: Pelton

Cantidad: 14 (Catorce)

DOC.: **HD-TL-MACR-GB-102-A-G-F02**

Hoja de Datos  
TURBINA PELTON DE RECUPERACIÓN DE ENERGÍA

Diagrama



1. Horizontal Split Case Design
2. Super Duplex Stainless Steel Casing
3. External Taper Roller Bearing
4. Integrated Double Labyrinth Seals
5. Integrated Discharge Flange, ANSI and DIN
6. Precision cast Duplex Stainless Steel Rotor
7. New + High Efficiency + Calder Hydraulic Design

Notas

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: PA-101-A-G

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Desalinización

Tipo: Ósmosis Inversa

Cantidad: 7 (Siete)

DOC.: HD-TL-MACR-PA-101-A-G-F01

### Hoja de Datos BASTIDORES DE ÓSMOSIS INVERSA

Fluido de proceso : Agua de mar procediente de filtros de cartuchos (corriente P-09)  
 Temp. de operación: 20,00 °C  
 Densidad: 1.025,00 Kg/m3  
 Viscosidad: 1,00 cP  
 Contenido de sólidos: 21,255 Kg/m3  
 Gasto operación: 0,209 m3/s  
 Presión operación: 67,49 Kg/cm2  
 Eficiencia a cond. normales: 45,00 %

### Datos del bastidor

Volumen del bastidor: 4,12 m3  
 Área de filtrado: 3,24 m2  
 Número de unidades: 7  
 Número total de membranas: 700  
 Diámetro de la unidad: 0,20 m  
 Longitud de la unidad: 1,27 m

### Funcionamiento

Tipo: eje horizontal  
 Rodete: cuchara  
 Cojinete: bolas  
 Acoplamiento: flexible  
 Lubricación: grasa  
 Refrigeración: \_\_\_\_\_

### Materiales

Cuerpo : Acero inoxidable con recubrimiento epóxico  
 Membranas Poliamida aromática de tejido cruzado  
 Tipo: Arrollamiento en espiral

### Datos de diseño

Presión de Diseño: <u>80 Kg/cm2</u>	Código de Diseño: <u>ASME</u>
Temperatura de Diseño: <u>50 °C</u>	Código de Fabricación: <u>ASME</u>
Presión de Prueba: <u>90 Kg/cm2</u>	Eficiencia de Filtrado: <u>99,75 %</u>
Peso vacío: <u>Kg</u>	
Peso de Operación: <u>Kg</u>	
Peso lleno de Agua: <u>Kg</u>	
Preparación de Superficie: _____	
Pintura: <u>Anticorrosiva</u>	
Aislamiento: <u>N/A mm</u>	

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por  
ósmosis inversa

TAG: **PA-101-A-G**

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Desalinización

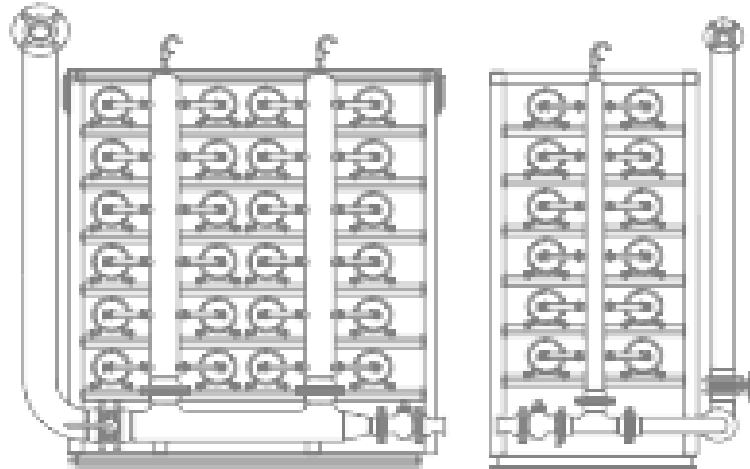
Tipo: Ósmosis Inversa

Cantidad: 7 (Siete)

DOC.: **HD-TL-MACR-PA-101-A-G-F02**

Hoja de Datos  
BASTIDORES DE ÓSMOSIS INVERSA

Diagrama



Notas

Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final





Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: TA-102

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Homoeinizador y de adición

Cantidad: 1 (Uno)

Tipo: Hormigón

DOC.: HD-TL-MACR-TA-102-F01

**Hoja de Datos**  
**TANQUE HOMOGEINIZADOR Y DE ADICIÓN DE REACTIVOS**

Fluido de proceso : Agua de mar procediente de filtros de arena (corriente P-04)  
 Temp. de operación: 20,00 °C  
 Densidad: 1.025,00 Kg/m3  
 Viscosidad: 1,00 cP  
 Capacidad normal: 5.357,000 m3  
 Capacidad de diseño: 6.000,000 m3  
 Presión operación: Atmosférica Kg/cm2  
 pH: 6.3 - 6.9

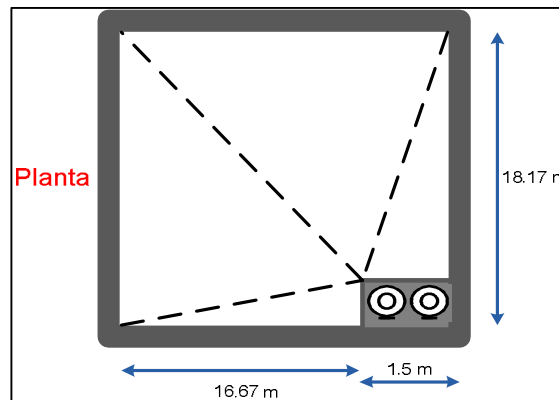
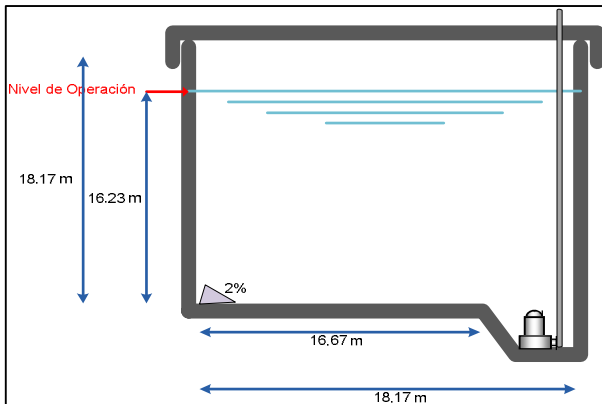
**Construcción**

Tipo: Cúbica  
 Largo: 18,17 m  
 Ancho: 18,17 m  
 Profundidad: 18,17 m  
 Pendiente de parte inferior: 2,00 %  
 Esquinas de la fosa: Con chaflanes  
 Cuerpo: Concreto con recubrimiento epóxico interno  
 Tuberías: Acero al carbon bridado  
 Conexiones: Acero al carbon bridado

**Boquillas**

Identificador	Cantidad	Diámetro	Tipo	Proy.	Rango	Servicio

**Esquema**



Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final



Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar por ósmosis inversa

TAG: TA-114

Localización: Navolato, Sinaloa

Servicio: Lavado de membranas

Cantidad: 1 (Uno)

Tipo: Almacenamiento

DOC.: HD-TL-MACR-TA-114-F01

### Hoja de Datos TANQUE HOMOGEINIZADOR Y DE ADICIÓN DE REACTIVOS

Fluido de proceso : Reactivos de lavado  
 Temp. de operación: 32,00 °C  
 Densidad: ~1000.00 Kg/m<sup>3</sup>  
 Viscosidad: ~1.00 cP  
 Capacidad normal: m<sup>3</sup>  
 Capacidad de diseño: 8,000 m<sup>3</sup>  
 Presión operación: Atmosférica Kg/cm<sup>2</sup>  
 pH: dependerá del proveedor

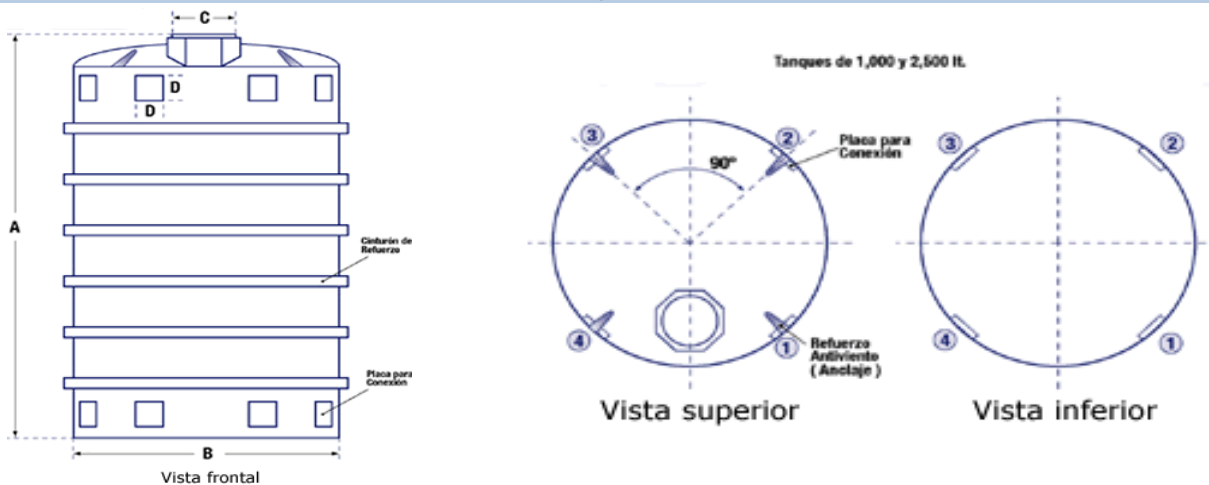
#### Construcción

Tipo: Cilíndrica  
 Diámetro: 1,50 m  
 Longitud T-T: 6,01 m  
 Peso: Kg  
 Color:  
 Cuerpo: Polietileno de alta densidad  
 Empaque: Polietileno de alta densidad  
 Tuberías: Polietileno de alta densidad / PVC  
 Conexiones: Polietileno de alta densidad / PVC

#### Boquillas

Identificador	Cantidad	Diámetro	Tipo	Proy.	Rango	Servicio
C	1		Tapa			Entrada hombre
D	1		Conexión			Entrada agua
E	1		Conexión			succión

#### Esquema



Revisión No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición de:
1	01/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final

## Memoria de cálculo de las hojas de datos

### Ecuaciones generales y reglas heurísticas empleadas para el dimensionamiento

#### Cálculo de bombas

1. Potencia de la bomba:

$$HP = \frac{GPM \times \Delta P}{1715}$$

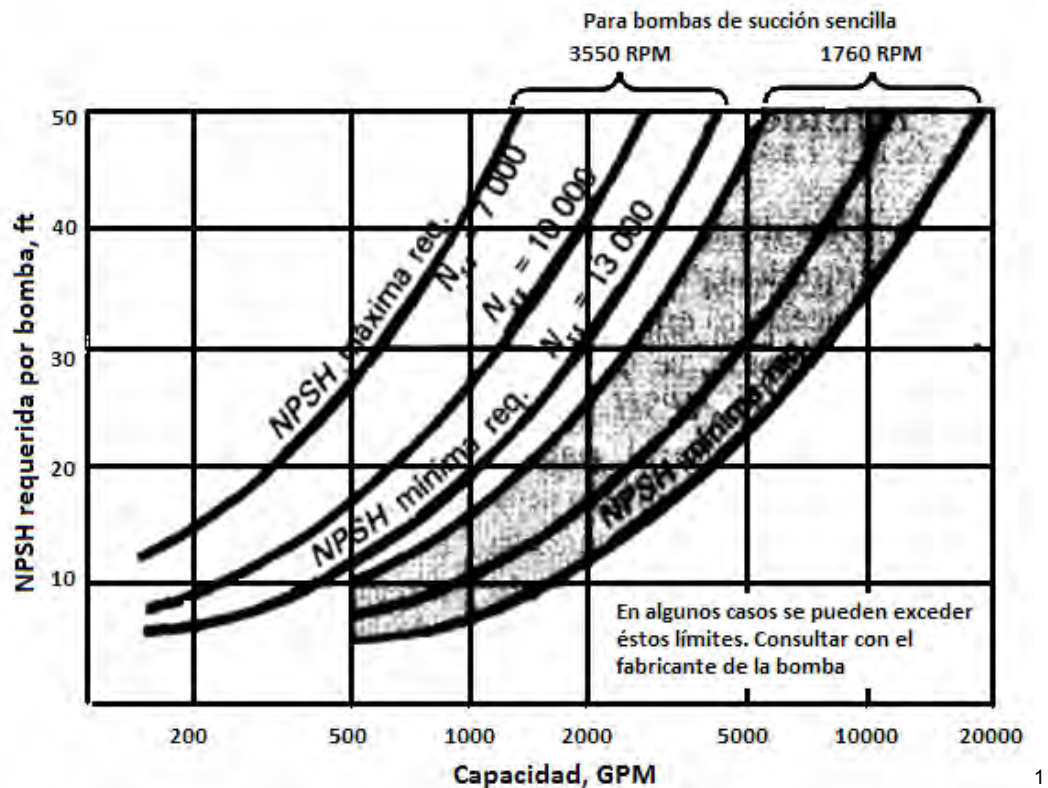
2. Potencia al freno

$$HP = \frac{GPM \times \Delta P}{1715 \times \eta_B}$$

3. Potencia del Motor

$$HP = \frac{GPM \times \Delta P}{1715 \times \eta_B \times \eta_M}$$

4. NPSH requerido



<sup>1</sup> Kenneth, J., Bombas: selección uso y mantenimiento., Mc. GrawHill., p.5.

## 5. NPSH disponible

El NPSH disponible deberá ser dos o tres pies mayor al requerido, dado por una correcta altura del recipiente o tambor de succión.<sup>2</sup>

### *Dimensionamiento de tanques cilíndricos*

$$V = \frac{\pi \times D^2 \times L_{T-T}}{4}$$

Relación heurística:  $\frac{L}{D} = 3$

Autonomía de tanques de preparación de soluciones: Dependerá de la solución de que se trate

### *Dimensionamiento de tanques de hormigón*

Volumen del tanque:

$$V = A \times L \times h$$

Pero si  $A = L = h$

$$\text{Entonces } V = L^3$$

Tiempo hidráulico de residencia ( $\theta$ ): Dependerá del tanque de que se trate

### *Dimensionamiento de filtros*

Área de filtración:

$$A_{\text{Filtración}} = \frac{Q}{V_{\text{Filtración}}} = \frac{\pi \times D^2}{4}$$

Altura empacada: 1 m (variable de diseño)

Relación heurística:

$$\frac{\text{Altura empacada}}{\text{Altura total}} = 0.62$$

---

<sup>2</sup> Idem. p6.

### *Dimensionamiento bastidor de ósmosis*

Se cuenta con la siguiente regla heurística:

*Para plantas de Ósmosis Inversa con capacidad de 100,000 – 5'000,000 GPD de producto, normalmente utilizarán unidades de 8" de diámetro por 40 – 60" de longitud.<sup>3</sup>*

### *Agitadores*



Según las reglas heurísticas, para tanques en los que se requiere un mezclado líquido-líquido por cada 1,000 Galones en el tanque, se deben de utilizar entre 5 y 10 caballos de potencia en el agitador.

Dado que nuestros mezclados son mayormente agua con agua, decidimos utilizar el valor de 5 HP por cada 1,000 Galones. Con los volúmenes de nuestros tanques, podemos calcular de la siguiente manera los agitadores:

$$HP_{Motor} = \frac{V_{tanque}(GAL) \times 5 HP}{1000 GAL}$$

---

<sup>3</sup> Porter, Mark C., "**Handbook of Industrial Membrane Technology**", Noyes Publications, USA 1990, pp 275.

		<b>Energía Eléctrica</b>	Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar vía ósmosis inversa	
			Localización: Navolato Sinaloa	DOC No. <b>DSA-TL-MACR-2008-EE</b> Folio 1 de 2

Condiciones de suministro 60 Hz (1)(2)

Clave	Servicio	Voltaje	Fases	Potencia (KW)			
				En Operación	Potencia Requerida	Totales	Potencia Instalada
AG-102	Agitador para TA-101	4000	3	1	295,49	2	590,98
AG-103	Agitador para tanque TA-102	4000	3	1	590,98	2	1.181,96
AG-105	Agitador para tanque TA-104	13200	3	1	2.134,09	2	4.268,18
AG-106	Agitador para TA-106	460	3	1	2,95	2	5,91
AG-107	Agitador para tanque TA-108	460	3	1	1,48	2	2,95
AG-108	Agitador para tanque TA-109	460	3	1	2,95	2	5,91
AG-109	Agitador para tanque TA-110	460	3	1	1,48	2	2,95
AG-110	Agitador para tanque TA-111	460	3	1	2,95	2	5,91
AG-111 A-B	Agitador para tanque TA-112 A-B respectivamente	460	3	2	2,46	4	9,85
AG-112	Agitador para tanque TA-114	460	3	1	0,79	2	1,58
GA-102 A-E / R	Alimentación al filtros de cartuchos FB-102 A-E	4000	3	5	393,65	10	3.936,54
GA-103 A-G / R	Alimentación de alta presión a los bastidores de ósmosis	13200	3	7	2.209,63	14	30.934,88
GA-104 / R(3)	Traslado de agua de servicios para	460	3	1	35,33	2	70,66
GA-105 / R (3)	Carga de hipoclorito de sodio desde camión	460	3	1	1,65	2	3,29
GA-106 / R	Dosificación de hipoclorito de sodio	220	3	1	0,03	2	0,05
GA-107 / R	Dosificación de solución de cloruro férrico	220	3	1	0,08	2	0,16
GA-108 / R(3)	Carga de ácido sulfúrico desde camión cisterna	460	3	1	1,50	2	3,01
GA-109 / R	Dosificación de ácido sulfúrico	220	3	1	0,02	2	0,03
GA-110 / R(3)	Transferencia de solución del TA-108 al TA-109	460	3	1	1,50	2	3,01
GA-111 / R	Dosificación de solución de hexametafostato sódico	220	3	1	0,02	2	0,03
<b>Subtotales</b>					<b>5.679,04</b>		<b>41.027,85</b>

Revisión	No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición
	1	04/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
	0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final
Observaciones						



**Energía Eléctrica**

Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar vía ósmosis inversa  
 Localización: Navolato Sinaloa  
 DOC No. **DSA-TL-MACR-2008-EE** Folio 2de 2



Condiciones de suministro 60 Hz (1)(2)

Clave	Servicio	Voltaje	Fases	Potencia (KW)			
				En Operación	Potencia Requerida	Totales	Potencia Instalada
GA-112 / R(3)	Transferencia de solución del TA-110 al TA-111	460	3	1	1,50	2	3,01
GA-113 / R	Dosificación de solución de bisulfito sódico	220	3	1	0,01	2	0,03
GA-114 A-B / R	Dosificación de hidróxido cálcico	220	3	2	0,49	4	1,96
GA-115 / R	Dosificación de hipoclorito sódico	220	3	1	0,02	2	0,05
GA-116 A-J / R(3)	Traslado de efluentes de lavado de filtros de arena	4000	3	10	148,23	20	2.964,57
GA-117 A-C /R(3)	Lavado de filtros de arena con agua	460	3	3	36,28	6	217,65
GA-118 A-B /R(3)	Lavado de filtros de arena con aire	460	3	2	96,37	4	385,47
GA-119 / R (3)	Lavado de membranas de osmosis inversa	460	3	1	113,92	2	227,83
<b>Subtotales</b>						<b>396,82</b>	<b>3.800,56</b>
<b>Totales</b>						<b>6.075,86</b>	<b>44.828,42</b>

Notas

1. Valores estimados, serán verificados por el contratista del acuerdo a la información del proveedor del equipo
- 2.
- 3.
- 4.

Revisión	No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición
	1	04/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
	0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final
Observaciones						

 	<b>Agentes Químicos</b>	Proyecto: Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar vía ósmosis inversa
		Localización: Navolato Sinaloa DOC No. <b>DSA-TL-MACR-2008-AQ</b> Folio 1 de 1

Condiciones de suministro Temperatura 24 °C en L.B.

Corriente	Agente Químico	Presión man. (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Consumos		
			Mínimo (Kg/hr)	Máximo (kg/hr)	
A-06	Hipoclorito de Sodio	4,22	ND	14,82	
B-04	Cloruro Férrico	4,22	ND	41,67	
C-04	Ácido Sulfúrico	1,41	ND	156,25	
D-06	Hexametafosfato de Sodio	1,41	ND	26,04	
E-06	Bisulfito de Sodio	1,41	ND	20,83	
A-08	Hipoclorito de Sodio	66,79	ND	1,67	
F-04	Hidróxido de Calcio	1,41	ND	351,58	
<b>Totales</b>				<b>612,86</b>	

**Notas**

Los valores normales dependerán del análisis de la calidad del agua presente en el momento por 1 lo que por el momento no se encuentran disponibles (ND)

2 Los consumos se encuentran reportados en base seca

Revisión	No.	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó	Edición
	1	04/03/2008	MACR	JATM	AAD	Preliminar
	0	28/05/2008	MACR	JATM	AAD	Final
Observaciones						



## Memoria de cálculo de agentes químicos

<b>Ácido Sulfúrico</b>		
Dosis Máxima	0.03	kg/m <sup>3</sup>
Riqueza del producto comercial	98.00	%
Densidad de la solución	1,830.00	kg/m <sup>3</sup>
Consumo volumétrico	0.087	m <sup>3</sup> /hr
Consumo del Agente	159.44	kg/hr

<b>Bisulfito Sódico</b>		
Dosis Máxima	0.004	kg/m <sup>3</sup>
Riqueza del producto comercial	98.00	%
Concentración de la solución	20.00	%
Densidad de la solución	1,025.00	kg/m <sup>3</sup>
Consumo volumétrico	0.103	m <sup>3</sup> /hr
Consumo del Agente	105.87	kg/hr

<b>Cloruro Férrico</b>		
Dosis Máxima	0.008	kg/m <sup>3</sup>
Riqueza del producto comercial	95.00	%
Concentración de la solución	20.00	%
Densidad de la solución	1,025.00	kg/m <sup>3</sup>
Consumo volumétrico	0.212	m <sup>3</sup> /hr
Consumo del Agente	217.11	kg/hr

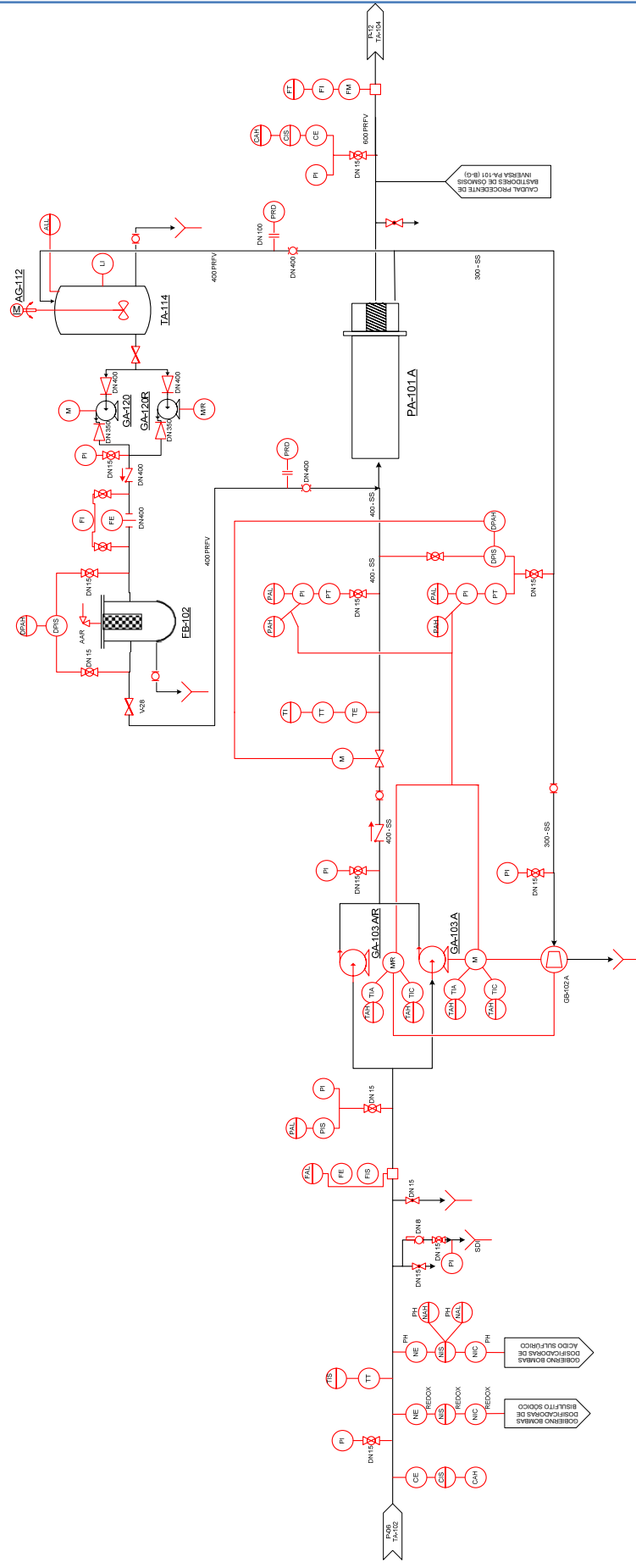
<b>Hexametafosfato Sódico</b>		
Dosis Máxima	0.005	kg/m <sup>3</sup>
Riqueza del producto comercial	100.00	%
Concentración de la solución	20.00	%
Densidad de la solución	1,025.00	kg/m <sup>3</sup>
Consumo volumétrico	0.127	m <sup>3</sup> /hr
Consumo del Agente	130.21	kg/hr

<b>Hidróxido Cálcico</b>		
Dosis Máxima	0.030	kg/m <sup>3</sup>
Riqueza del producto comercial	100.00	%
Concentración de la	5.00	%

solución		
Densidad de la solución	1,025.00	kg/m <sup>3</sup>
Consumo volumétrico	0.127	m <sup>3</sup> /hr
Consumo del Agente	130.21	kg/hr

<b>Hipoclorito Sódico</b>		
Dosis Máxima	0.002	kg Cl <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Riqueza del producto comercial	129.00	kg Cl <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Densidad de la solución	1,240.00	kg/m <sup>3</sup>
Consumo volumétrico	0.070	m <sup>3</sup> /hr
Consumo del Agente	87.20	kg/hr

<b>Hipoclorito Sódico (desinfectante final)</b>		
Dosis Máxima	0.0005	kg/m <sup>3</sup>
Riqueza del producto comercial	129.00	kg Cl <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
Densidad de la solución	1,240.00	kg/m <sup>3</sup>
Consumo volumétrico	0.008	m <sup>3</sup> /hr
Consumo del Agente	9.81	kg/hr



Referencias	Revisión	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó
	Aprobación	07/04/08			
	Final	28/05/08			

**Tesis de Licenciatura**

Maria Angel Cerdio Ruiz

Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar via ósmosis inversa

Diagrama de Tubería e Instrumentación

Fecha: 28 / Mayo / 2008



**DTI-TL-MACR-F01**

## Justificación de controles y accesorios en DTI

### Descripción de diagrama de tubería e instrumentación

Al ser las membranas de osmosis inversa el equipo más importante de nuestro proceso, es necesario protegerlas ante cualquier contingencia que pudiera presentarse, por tanto se ha planeado un sistema de control que nos permita garantizar el óptimo desempeño de las mismas.

En primera instancia, durante análisis de las principales variables de control se observó que es necesario controlar una extensa serie de variables para garantizar la vida útil de las membranas, siendo estas sensibles a factores como el pH, la temperatura y el contenido de cloro libre en el caudal de alimentación, tan solo por mencionar algunos.

Tabla: Análisis de las variables de control para la sección de Ósmosis Inversa:

<b>OSMOSIS</b>	
<b>Presión</b>	
Baja presión en cada una de las aspiraciones de las bombas centrífugas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> <li>- Parada línea O.I.</li> <li>- Alarma parada sistema O.I. en panel central</li> <li>- Apertura válvula de by-pass de la O.I.</li> </ul>
Alta presión en cada una de las impulsiones de las bombas centrífugas de alta presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> </ul>
Alta-baja presión en el agua de alimentación de entrada a cada uno de los bastidores	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma alta - baja en panel central</li> <li>- Parada línea O.I.</li> <li>- Alarma parada sistema O.I. en panel central</li> <li>- Apertura válvula de by-pass de la O.I.</li> </ul>
Alta pérdida de carga en el bastidor	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> </ul>
<b>Caudal</b>	
Bajo caudal en las aspiraciones de las bombas centrífugas de alta presión	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> <li>- Parada línea O.I.</li> <li>- Alarma parada sistema O.I. en panel</li> </ul>

	<p>central</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Apertura válvula de by-pass de la O.I.</li> </ul>
Alto-bajo caudal de permeado	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> </ul>
<b>Nivel</b>	
Bajo nivel en el depósito de limpieza química	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parada bombas limpieza química</li> <li>- Alarma parada bombas en panel central</li> <li>- Parada del agitador.</li> <li>- Alarma parada del agitador en panel central</li> </ul>
<b>Temperatura</b>	
Alta temperatura en el agua de alimentación de entrada a cada uno de los bastidores de O.I.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> </ul>
Alta temperatura en cojinetes de turbo bombas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> <li>- Parada de la línea de O.I. correspondiente</li> <li>- Alarma parada de la O.I. en panel central</li> <li>- Apertura válvula de by-pass de la O.I.</li> </ul>
Alta temperatura de la solución de limpieza química	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> <li>- Parada del calentador</li> <li>- Alarma parada del calentador en panel central</li> </ul>
Alta temperatura en bobinados de motores de turbo bombas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parada de la línea de O.I. correspondiente</li> <li>- Alarma de parada de la O.I. en panel central</li> <li>- Apertura válvula de by-pass de la O.I.</li> </ul>
Apertura válvulas de entrada y salida de limpieza química	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> <li>- Parada de la O.I.</li> <li>- Alarma parada O.I. en panel central</li> <li>- Apertura válvula de by-pass de la O.I.</li> </ul>

<b>Conductividad</b>	
Alta conductividad alimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> <li>- Parada de la bomba de la O.I.</li> <li>- Alarma parada de la O.I. en panel central</li> <li>- Apertura válvula de by-pass de la O.I.</li> </ul>
Alta conductividad producto	- Alarma en panel central
<b>PH</b>	
Alto pH en la alimentación a O.I.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> <li>- Parada de la bomba de la O.I.</li> <li>- Alarma parada de la O.I. en panel central</li> <li>- Apertura válvula de by-pass de la O.I.</li> </ul>
Bajo pH en la alimentación a los módulos de O.I.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> <li>- Parada de la O.I.</li> <li>- Alarma parada de la O.I. en panel central</li> <li>- Apertura válvula de by-pass de la O.I.</li> </ul>
<b>Redox</b>	
Potencia Red-Ox negativo (alto valor)	- Alarma en panel central
Potencia Red-Ox positivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alarma en panel central</li> <li>- Parada de la O.I.</li> <li>- Alarma parada de la O.I. en panel central</li> <li>- Apertura válvula de by-pass de la O.I.</li> </ul>

En ésta etapa se han implementado los controles y accesorios necesarios para la sección de osmosis inversa, desde las condiciones de pH, concentración de Cloro libre, presión, caudal y temperatura succión de la bomba de alta presión, hasta la concentración de sales a la salida de los bastidores; todo lo anterior acorde al análisis de las variables de control anteriormente comentado.

En el diagrama tan sólo se muestra uno de los siete bastidores de ósmosis inversa, esto debido a que todos cuentan con los mismos controles. El único tramo que da servicio a todos los bastidores es el de lavado, por lo cual fue representado en el diagrama.

### Especificaciones técnicas de los equipos de control:

#### EQUIPO: MANOMETRO

SERVICIO: VARIOS

#### Características

- Tipo: Muelle tubular, sistema Bourdon
- Modelo: Concéntrico
- Tipo de conexión: Inferior o posterior rosca macho
- Diámetro de conexión: 1/2" rosca gas
- Diámetro de esfera: 100 mm
- Fluido: Agua o aire
- Gama de medida: 0-10 Kg./cm<sup>2</sup>, según DIN 16128
- Protección: En baño de glicerina IP 45 según 40050
- Exactitud: 1
- Unidad de medida de presión: bar, Kg./cm<sup>2</sup>, m.c.a., según los casos.

#### Material:

- Aguja: Aluminio, pintada de negro
- Piezas de contacto con el fluido: Aleación de cobre
- Caja: Acero con aro bayoneta estanca a chorro de agua
- Cierre: Cristal de vidrio
- Esfera: Aluminio fondo blanco
- Grifo de purga: Latón
- Temperatura máxima de trabajo: 100 °C
- Sobre presiones máximas: 130 % de la escala máxima de graduación durante breves espacios de tiempo.
- Acabado
  - Según Standard del fabricante

## **EQUIPO: MANOMETRO CON SEPARADOR**

SERVICIO: VARIOS

### Características

- Tipo: Muelle tubular, sistema Bourdon, con membrana separadora
- Modelo: Concéntrico
- Tipo de conexión: Inferior o posterior rosca macho
- Diámetro de conexión: 1/2" rosca gas
- Diámetro de esfera: 100 mm
- Gama de medida: 0-6 Kg./cm<sup>2</sup>
- Protección: Estanca
- Exactitud: 1
- Unidad de medida de presión: bar, Kg./cm<sup>2</sup>, m.c.a., según los casos.

### Material:

- Aguja: Aluminio, pintada de negro
- Piezas de contacto con el fluido: Aleación de cobre
- Caja: Acero estanca a chorro de agua
- Cierre: Cristal de vidrio
- Esfera: Aluminio fondo blanco
- Membrana: Acero inoxidable
- Válvula de aislamiento: Latón
- Temperatura máxima de trabajo: 100 °C
- Sobre presiones máximas: 130 % de la escala máxima de graduación durante breves espacios de tiempo.
- Acabados
  - Según Standard del fabricante

## **EQUIPO: TERMOMETRO DE CONDUCCIONES**

SERVICIO: VARIOS

### Características



- Tipo: Tubo de inmersión rígido a medida directa
- Sistema de medida: Bimetólico
- Tipo de conexión: Espiga inferior
- Diámetro de la esfera: 100 mm
- Gama de medida: Hasta 360 °C
- Protección: IP 51
- Exactitud: +/- 1% del campo de escala
- Unidad de medida de temperatura: °C
- Regulación de cero: Por medio de aguja, sobre 360°

#### Materiales

- Caja: De acero inoxidable
- Aro: De acero inoxidable
- Esfera: Aluminio, fondo blanco y números negros
- Tubo de inmersión: Acero inoxidable AISI 316
- Cierre: Cristal de vidrio
- Acabado
  - Según Standard del fabricante.

#### **EQUIPO: ACERO LAMINADO PARA SOPORTES**

##### SERVICIO: VARIOS

- Kg. de acero laminado estructural, tipo A-42, para soportes de tuberías y equipos, incluso anclajes, y con pintura de protección y acabado.

#### **EQUIPO: TOMAMUESTRAS AUTOMATICO**

##### SERVICIO: TOMA DE MUESTRAS

#### Características:

- Toma de muestra: Compuerta
- Microprocesador: 3 programas de muestreo
  - Secuencial al tiempo
  - Secuencial a pulsos de caudal

- Tiempos no uniformes
- Altura máxima de succión: 7,9 m.
- Velocidad de aspiración: 0,8 m/seg.
- Volumen de muestreo independiente de lectura
- Secuencia: De 1 a 9999 min. entre dos muestras continuas, con intervalos de 1 min., ó de 1 a 9000 impulsos de caudal.
- Funcionamiento mediante bomba peristáltica
- Batería de libro (protección de la memoria al menos 5 años)
- Pantalla de lectura LCD de 40 caracteres.
- Reloj de tiempo real y programable.
- Limpieza automática de la línea antes y después de cada muestreo.
- Construcción hermética NEMA AX (IP-67)
- Alimentación: 220 V/50 Hz.
- Tubo de succión en polipropileno 1/4" y 75 m de longitud, con filtro en acero inoxidable
- (60-3704-068).
- Interfase de entrada para conexión a cuadalímetro (60-3704-037).
- Configuración de frascos en vidrio o polietileno, de 11,25 litros, 18 litros y 24,75 litros.

### **EQUIPO: TOMAMUESTRAS AUTOMATICO**

#### **SERVICIO: TOMA DE MUESTRAS**

##### **Características:**

- Toma de muestra: Compuerta
- Microprocesador: 3 programas de muestreo
  - Secuencial al tiempo
  - Secuencial a pulsos de caudal
  - Tiempos no uniformes
- Altura máxima de succión: 7,9 m.
- Velocidad de aspiración: 0,8 m/seg.
- Volumen de muestreo independiente de lectura

- Secuencia: De 1 a 9999 min. entre dos muestras continuas, con intervalos de 1 min., ó de 1 a 9000 impulsos de caudal.
- Funcionamiento mediante bomba peristáltica
- Batería de litio (protección de la memoria al menos 5 años)
- Pantalla de lectura LCD de 40 caracteres.
- Reloj de tiempo real y programable.
- Limpieza automática de la línea antes y después de cada muestreo.
- Sistema de refrigeración:
  - . Temperatura programable de 0 a 8 ° C
  - . Precisión:  $\pm 1$  ° C
  - . Velocidad de enfriamiento: 5 min., de 24 ° C a 4 ° C.
  - . Tres calentadores controlados para protección contra heladas.
  - . Medida de la temperatura del interior, del exterior y del compresor.
  - . Aislamiento de espuma de 3"
  - . Protección anticorrosión del condensador, compresor, evaporador y tubo de refrigeración.
- Construcción hermética NEMA AX (IP-67)
- Alimentación: 220 V/50 Hz.
- Tubo de succión en polipropileno 1/4" y 75 m de longitud, con filtro en acero inoxidable
- (60-3704-068).
- Interfase de entrada para conexión a cuadalímetro (60-3704-037).

### **EQUIPO: TOMAMUESTRAS AUTOMÁTICO**

Equipo para toma de muestras.

- Tipo: ASP STATION 2
- Montaje: estacionario
- Temperatura de las muestras con sistema de calefacción y refrigeración
- Protección: IP-55
- Dimensiones: 601 x 1072 x 635 mm.
- Altura máxima de aspiración: 6 m.
- Muestras: de 20-200 ml.

- Temperatura máxima:  $-20 + 50^{\circ}\text{C}$
- Controlado por microprocesador por tiempo, proporcional a la cantidad o eventos externos.
- Entradas: 0/4 - 20 mA o impulsos libres de potencial
- Alarma de fin de secuencia
- Alimentación: 230 V.a.c. 50/60 Hz.
- Consumo: 300 VA.
- N° de botellas: 24 de 1 l.

### **EQUIPO: MEDIDOR DE CAUDAL ELECTROMAGNETICO.**

Medidor de caudal magnético-inductivo.

- Recubrimiento interior
  - Teflón: Hasta  $\varnothing$  50 mm.
  - Ebonita: Desde  $\varnothing$  65 mm.
- Presión nominal:
  - PN 40 hasta  $\varnothing$  50 mm.
  - PN 16 hasta  $\varnothing$  150 mm.
  - PN 10 desde  $\varnothing$  200 mm.
- Conexión a proceso: Bridas en acero
- Tubo de medida: Acero 1.4301
- Electrodo: Medida, referencia y detección de tubo vacío
- Material electrodo: Acero inox. 1.4435
- Temperatura proceso:
  - Hasta  $\varnothing$  50 mm.:  $-40.. + 130^{\circ}\text{C}$
  - Desde  $\varnothing$  65 mm.  $0..+80^{\circ}\text{C}$
- Conductividad mínima del fluido:  $5\ \mu\text{S/cm}$ .
- Tensión: 85..260 V.a.c. - 45/65 Hz.
- Protección: IP-67
- Entradas y salidas galvánicamente separadas de la fuente de alimentación y entre sí.
- Salida analógica: 0/4-20 mA, -  $R < 700\ \text{Ohm}$ .
- Salida de impulsos.

- Protección para interferencias: según IEC(801/VDE 0843 y recomendaciones NAMUR)
- Precisión: 0,50 % del valor medido
- Reproducibilidad: 0,10 %

### **EQUIPO: MEDIDOR DE PH EN TUBERIA**

Medida en continuo de pH en tubería.

El equipo estará integrado por los siguientes elementos:

Sensor de pH compacto tipo CPF 10.

- Electrodo combinado de pH
- Material adaptador: PP/vitón
- Conexión: ¾" NPT-M
- Rango: 1-12 pH
- Temperatura: 80° C
- Presión: 6 bar.
- Longitud de cable: 5 m.
- Provisto de Pt100

Transmisor de pH tipo LIQUISYS CPM 252

- Microprocesador
- Montaje: Pared
- Dimensiones: 247 x 170 x 115 mm.
- Protección: IP-65
- Material caja: Policarbonato
- Material frontal: Poliéster
- Indicación: pH y temperatura
- Indicador: Display LCD de 4 y 3 ½ dígitos
- Contactos de alarma: 2
- Contacto de alarma para auto chequeo: 1
- Entrada para contacto externo (HOLD), para mantener el último valor de señal de salida en caso de calibración o limpieza.

- Rango: 0..14 pH (programable)
- Resolución: 0,01 pH
- Error máximo: 0,5 % FS
- Salida: 2/4-20 mA.
- Compensación temperatura: Manual (teclado) Automática (Pt100)
- Alimentación: 230 V.a.c.
- Consumo: 7,5 VA.

Sistema de limpieza por agua del electrodo de medida

- Spray de limpieza
- Electro válvula con temporizador para programar los intervalos de limpieza.
- Conexión: ½"
- Alimentación: 220 V.a.c.

#### **EQUIPO: MEDIDOR DE PRESION**

Medida en continuo de presión.

- Caja: Material sintético (POM)
- Protección: IP-65
- Conexión: Rosca G ½ " DIN 16288 en latón.
- Temperatura máxima:
- . Cabezal -20.. + 70° C
- . Diafragma: -20...+80° C (+130° C periodos cortos)
- Tensión alimentación: 24 V.d.c.
- Junta de cierre: Vitón
- Salida: 4..20 mA. (2 hilos)
- Precisión: ± 0,5 %
- Escala de medida: 0-1 Kg./cm2.

#### **EQUIPO: MEDIDOR DE TEMPERATURA DE AGUA**

Medida en continuo de la temperatura del agua.

El equipo estará integrado por los siguientes elementos:

- Termo resistencia tipo TST 10
- Conexión: ½"
- Longitud: 120 mm.
- Cabezal: Aluminio, IP-55
- Fabricada en acero inoxidable Ø 9 mm.
- Incluye: Vaina en acero inoxidable 1.4571
- Transmisor de temperatura, tipo TMT 137-R.A.O.
- Alimentación: 220 V, 50 Hz.
- Escala de medida: 0-50° C
- Salida corriente: 4-20 mA

### **EQUIPO: MEDIDOR DE CONDUCTIVIDAD**

Medida en continuo de la conductividad del agua.

El equipo estará integrado por los siguientes elementos:

Portasondas a inmersión tipo CLA-111

- Material: PP
- Junta: EPDM
- Fijación: Brida DN 100
- Longitud: 1.000 mm.

Sensor de conductividad tipo CLS-21

- Constante de la célula: K=1/cm.
- Fijación: Rosca: 1"
- Material del sensor: Titanio
- Rango de medida: 10-20 mS/cm.
- Temperatura máx.: 150° C
- Presión máx.: 16 bares a 20° C.

Transmisor de conductividad tipo LIQUISYS CLM 252

- Microprocesador
- Montaje: Pared

- Dimensiones: 247 x 170 x 115 mm.
- Protección: IP 65
- Material caja: Policarbonato
- Material frontal: Poliéster
- Indicación: Conductividad o resistencia y temperatura
- Indicador: Display LCD de 4 y 3 ½ dígitos
- Contactos de alarma: 2
- Contacto de alarma para auto chequeo: 1
- Entrada para contacto externo (HOLD), para mantener el último valor de señal de salida en caso de calibración o limpieza.
- Rangos: 0 y S/cm. hasta 2000 mS/cm. (s/constante célula)
- Resolución: 0,001 y S/cm. ó 0,1 mS/cm. (s/rango)
- Error máximo: 0,5 % FS
- Salida: 0/4-20 mA.
- Compensación temperatura: Manual (teclado) Automática (Pt 100)
- Alimentación: 230 V.a.c.
- Consumo: 7,5 VA.

### **EQUIPO: MEDIDOR DE OXIGENO DISUELTO**

Medición de oxígeno disuelto en agua.

El equipo estará integrado por los siguientes elementos:

Convertidor de señal tipo OXY-3000

- Alimentación: 110/220/240 V.a.c., 50/60 Hz.
- Salidas analógicas: 0/4-20 mA.
- Protección: IP-67
- Alarmas:
  - 1 de máxima Pág. 164 ANEXO I
  - 1 de mínima
  - 1 de fallo del sensor
- Display alfanumérico para ajustes de parámetros y visualización de oxígeno disuelto, temperatura, humedad relativa, contenido de sal, histéresis y errores.



- Rango de medición seleccionable libremente entre 0-0,1-30 p.p.m. 0-10-200 %
- Tiempo de respuesta: 40-300 seg.
- Precisión (display)
  - $\leq 0,1$  % 0,1 p.p.m. para oxígeno disuelto
  - $\leq 1^\circ$  para temperatura
- Sensor transmisor de oxígeno disuelto OXY-2100
- Alimentación: 24 Vdc
- Salida analógica: 4-20 mA.
- Grado de protección: IP-68
- Tiempo de respuesta: 40-100 seg.
- Principio de medición: Célula de Clarkl
- Precisión:
  - $\leq 1^\circ$  FS para oxígeno disuelto.
  - $\leq 1,5$  % FS para temperatura.

#### **EQUIPO: MEDIDOR DE OXIGENO DISUELTO**

- Célula de medición (DOS)
- Caja de conexiones intermedias IP67 y 6 m. de cable.
- Abrazadera de montaje galvanizada.
- Flotador para limpieza automática del sensor.

#### **EQUIPO: INDICADOR DIGITAL**

- Dimensiones: 48 x 96 x 110 mm.
- Montaje: Panel
- Resolución: 3 ½ dígitos
- Entrada: 4-20 mA.
- Margen de indicación: 0-100 %
- Alimentación: 220 V.a.c. 50/60 Hz.

#### **EQUIPO: INDICADOR REGISTRADOR**

Indicador- registrador electrónico

- Tipo: CHROMA-LOG
- Número de curvas: 1,2,3 ó 6 (a determinar)

- Montaje: Panel
- Dimensiones: 144 x 144 mm.
- Entrada de corriente: 0/4 - 20 mA. 0-1 Vdc, 0-10 Vdc.
- Velocidad del papel: Seleccionable entre 0-1200 mm/h
- Papel en rollo
- Ancho de papel: 120 mm.
- Alimentación: 230 V.a.c. 50/60 Hz.
- Escala: 0-100 %

### **EQUIPO: MEDIDOR DE NIVEL CAPACITIVO**

Medida continua de nivel, principio capacitivo.

El equipo estará integrado por los siguientes elementos:

Sonda totalmente aislada tipo DC 21

- Conexión: 1 ½" en acero
- Aislamiento: PE
- Contrapeso: en acero recubierto (de PE)
- Longitud: 5 m.
- Preamplificador: EC 11 Z, alojado en cabezal de sonda

Transmisor de nivel

- Caja
- Montaje: Rail 35 mm.
- Protección: IP 40
- Tensión: 220 Vac 50/60 Hz.
- Consumo: 3,4 W (6,4 VA)
- Salida de corriente: 0/4 .. 20 mA. RL<500 ohm.
- Salida de tensión: 0..10 Vdc
- Temperatura máxima: -20...+50° C
- Salida: 1 relé con un contacto conmutado libre de potencial
- Carga máxima en contactos: 250 Vac. 4 A
- Función: Diferencial entre dos puntos ajustable en toda la escala de medida

- Alarmas de máximo ó mínimo nivel.

### **EQUIPO: MEDIDOR DE NIVEL POR ULTRASONIDOS.**

Medida de nivel en continuo por ultrasonidos.

- Señal de campo: Electrónica.
- Instalación: En depósito o en arqueta.
- El equipo estará integrado por los siguientes elementos:

Sensor ultrasónico tipo FDU80

- Caja: Polipropileno
- Montaje: Rosca 1" gas.
- Alcance de medida: Hasta 5 m.
- Temperatura de trabajo:  $-20^{\circ}\text{ C.} + 60^{\circ}\text{ C.}$  Compensación de temperatura incorporada
- Distancia de bloqueo: 0,30 m.
- Provisto de 5 m. de cable.
- Protección: IP-68

Transmisor de señal tipo

- Electrónica: Microprocesador
- Montaje: En pared
- Material caja: ABS
- Tensión alimentación: 230 V.a.c. + 15 %/-20% 50/60 Hz.
- Temperatura servicio:  $-20^{\circ}\text{ C} + 60^{\circ}\text{ C.}$
- Señal de salida: 4-20 m.A. galvánicamente separada.
- Protección: IP-65
- Entrada: Galvánicamente separada
- Alarmas: 3, libremente ajustables
- Carga máxima en contactos: 250 V.a.c./2,50 A.
- Programación: Mediante teclado incorporado.

### **EQUIPO: MEDIDOR DE NIVEL ELECTROMECHANICO**

Medida continua de nivel principio electromecánico

El equipo estará integrado por los siguientes elementos:

Medidor de nivel electromecánico

- Campo de medida: Hasta 8,00 m.
- Salida: 1 imp/1 dm.
- Tensión del motor: 220 Vac 50/60 Hz.
- Tensión de mando: 220 Vac 50/60 Hz.
- Precisión:  $\pm 1$  imp.
- Cable de medida: Acero inox.
- Velocidad de sondeo: Aprox. 18 cm./s
- Temperatura ambiente: -15...+50° C
- Temperatura máx. en el depósito: -15..+60° C
- Presión de servicio: 0 bar.
- Caja: Fundición de aluminio
- Protección: IP-55
- Contrapeso: PVC
- Brida de fijación: Aluminio DIN 2633, DN 100, PN-16
- Peso: 15 Kg.

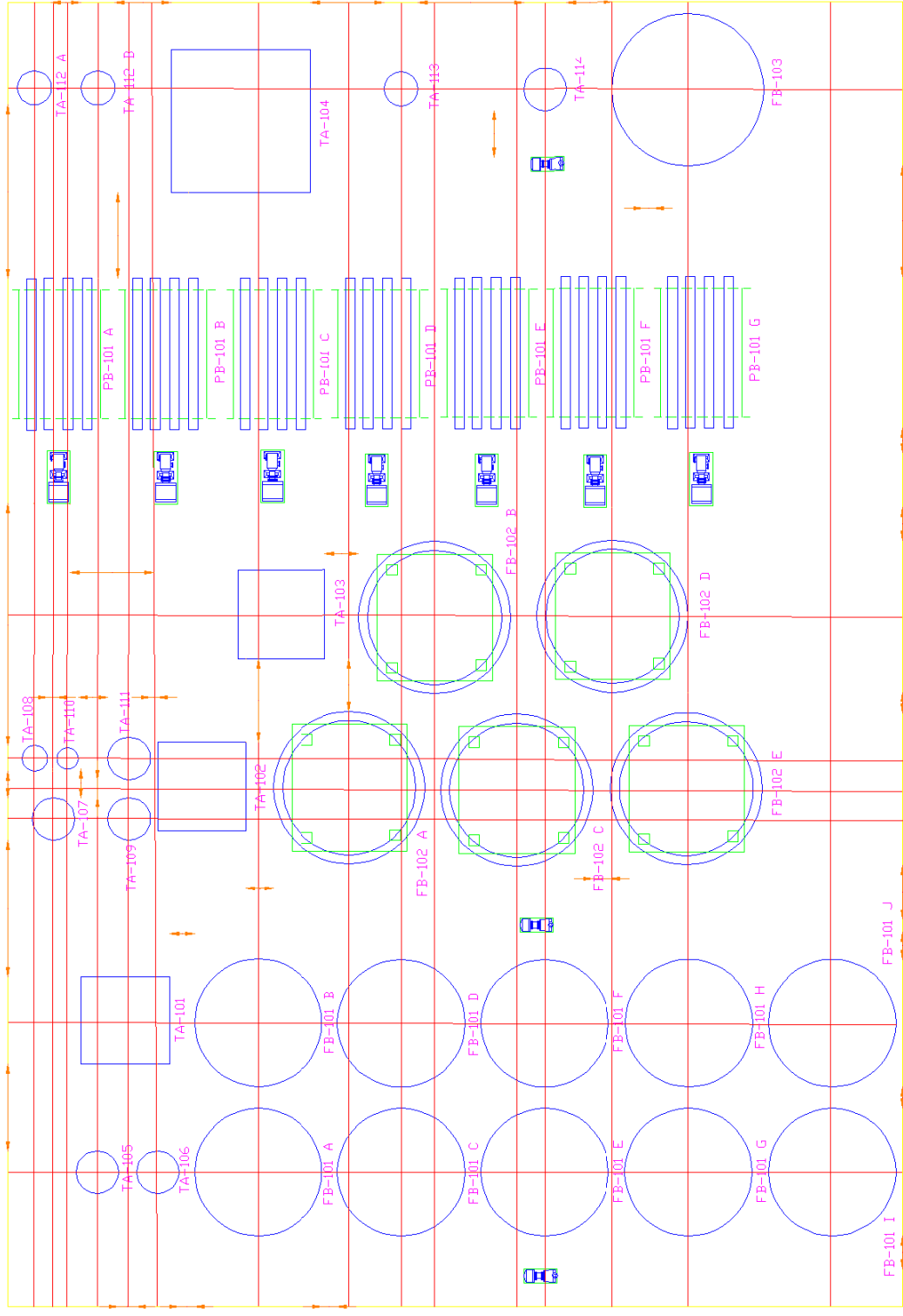
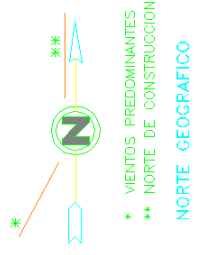
Convertidor digital/analógico ZAD 184.


- Caja
- Montaje: tras-panel
- Protección: ip-40
- Tensión: 220 Vac 50/60 Hz.
- Consumo: 3 W (3,5 VA)
- Señal de entrada: impulsos
- Salida: 4..20 mA con memoria incorporada
- Escala de ajuste: min. 64. máx. 511 impulsos

**EQUIPO: MEDIDOR DE TURBIDEZ.**

Medida de turbidez de bajo rango en continuo.

- Rango: 0 - 100 NTU
- Precisión: +/- 2% de 0 - 30 NTU; +/- 5% de 30 - 100 NTU
- Resolución: 0,001 NTU
- Margen de temperatura de la muestra: 0 - 50° C
- Salida de registrador: Seleccionable entre 0-10 mV, 0-100 mV, 0-1 V o 4-20 mA.
- Alarmas: 2
- Alimentación: 115/230 VAC, 50/60 Hz.
- Conexión de entrada de la muestra: 1/8" NPT hembra.
- Conexión de drenaje: 3/4" NPT hembra.



Referencias	Revisión	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó
	Aprobación	07/04/08			
	Final	28/05/08			
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO					
<b>Tesis de Licenciatura</b>					
Maria Angel Cerdio Ruiz					
Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar vía ósmosis inversa					
Plano de Localización General					
Fecha: 28 / Mayo / 2008					
<b>PLG-TL-MACR-F01</b>					

## Justificación al plano de localización general de equipo (PLG)

Para determinar el arreglo general de los equipos nos basamos en los siguientes criterios:

- Secuencia del proceso.
- Disposición de equipos similares en zonas designadas.
- Facilidad en el arreglo de tuberías.
- Aprovechamiento del terreno disponible.
- Consideraciones de seguridad en procesos.

### Secuencia del proceso.

El arreglo que propuesto tomó forma partiendo de la secuencia del proceso, es decir, siguiendo una línea o secuencia lógica tomando como base el diagrama de flujo del proceso. De esta manera, la distribución resulta lógica y sencilla aunado a que permite la rápida identificación de los equipos de proceso dentro de los límites de batería y además comprender el proceso globalmente sin necesidad de asesoría técnica por parte del experto de procesos.

Hay que aclarar que se procuró realizar esto acotándonos al terreno disponible o contemplado para este proyecto.

Por otro lado, se tomó en consideración la ubicación geográfica de la planta. Es decir, la secuencia de los equipos fue también basada en la posición de la nave respecto al mar, ya que este es nuestra fuente de materia prima. Se pensó de tal manera que el proceso tuviera inicialmente dirección oeste - este, dando una vuelta en U y terminando en dirección este – oeste, ya que al resultar el inicio y final de las operaciones lo más cerca posible al mar se reducen en gran medida los costos de tuberías y de bombeo.

### Disposición de equipos similares en zonas designadas.

Bajo la misma premisa de realizar el PLG de manera lógica y sencilla, lo más conveniente para el proceso resulta el acomodo de los equipos similares en áreas únicas y exclusivas para ellos.

Dado que para varias operaciones dentro del proceso como lo son la filtración por gravedad, a presión y la ósmosis inversa requerimos varios equipos simultáneamente, resulta importante y conveniente acomodar en áreas finitas los equipos similares. Esto

trae como ventaja que se tienen zonas exclusivas para un cierto tipo de operaciones y por ende el control y operación de las mismas se facilita.

### **Facilitación del tendido de tuberías**

Como ya se mencionó, hay operaciones que requieren cantidades de equipos diferentes de una a otra. Para facilitar la interconexión entre estas operaciones se incluyen tanques intermedios que recolectan los flujos parciales entrantes y posteriormente alimentan las divisiones necesarias para la siguiente operación; esto se consideró al diseñar el proceso.

Ahora, pensando en minimizar el impacto en complejidad de construcción relacionado con el arreglo de las tuberías, se buscó acomodar los equipos de manera que fuera sencilla su instalación y sobretodo evitando confusiones en lectura de líneas.

### **Aprovechamiento del espacio disponible.**

Una limitante importante en la distribución de los equipos dentro del terreno es precisamente el tamaño del mismo, ya que terrenos demasiado amplios implican un incremento considerable de la inversión inicial y, por el contrario, terrenos muy pequeños traen consigo limitaciones de acomodo y la tendencia a construir plantas en niveles. Por tanto la óptima distribución y aprovechamiento del terreno es esencial.

### **Consideraciones de seguridad en procesos.**

De semejante importancia a los puntos antes mencionados esta el guardar las distancias recomendadas entre equipos, de acuerdo a la NRF-010-PEMEX, de manera que en caso de fugas, derrames o cualquier otro accidente el impacto se vea minimizado sustancialmente por la correcta distribución de los equipos, tanto del área común, como del resto de la planta. Dado que se trabaja con volúmenes de agua muy grandes, estas consideraciones adquieren gran relevancia.

Por otro lado, en caso de contingencias ambientales o riesgos por fuego y explosiones, el arreglo de equipos puede ser la diferencia entre una evacuación rápida de la planta y rápida respuesta a las emergencias y los problemas desencadenados por la incapacidad de acción o la lenta respuesta y maniobra de contención de riesgos.



## Sistema de desfogue

### Implicaciones del sistema de desfogue

1. Equipos que se deben proteger contra incrementos de presión:

Los siguientes equipos deberán contar con su respectivo sistema de alivio de presión:

- Filtros de Cartucho FB-102 A-E
- Bombas de Alta Presión GA-103 A-G
- Turbinas Recuperadoras de Energía GB-102 A-G
- Bastidores de Ósmosis Inversa PA-101 A-G

2. Condiciones máximas de operación.

Equipo	Presión máx. Operación (kgf/cm <sup>2</sup> )	T. máx. Operación (°C)
<b>FB-102 A-E</b>	7.34	45
<b>PA-101 A-G</b>	81.17	45
<b>GA-103 A-G</b>	85.97	45
<b>GB-102 A-G</b>	79.80	45

La presión máxima de operación se determinó como un 20% excedente respecto a la presión normal de operación. En el caso de la temperatura, se tiene la limitante al establecer que las membranas no pueden operar a más de 50°C, para mantener la seguridad de las operaciones se estableció como límite a los 45° C

3. Escenarios factibles de fallas.

Para todos estos equipos, los escenarios factibles que pudieran ocasionar incrementos indeseados en la presión son los siguientes:

- Fuego externo.
- Descarga bloqueada de válvula.
- Falla de energía eléctrica.

4. Escenario crítico.

El escenario crítico para estos equipos es sin lugar a duda la descarga bloqueada de válvulas, ya que rápidamente se acumularía el líquido dentro de los recipientes y podría ocasionar severos problemas.

Se descarta como escenario crítico el fuego externo, ya que los caudales que se manejan por equipo son sumamente grandes y a temperaturas ambiente, por lo que la generación de vapores al interior de los equipos sería lo suficientemente lenta como para ocasionar problemas severos de presión.

En el caso de fallo en el suministro de energía eléctrica, el mayor riesgo sería que la presión incrementara en los equipos precedentes a la bomba de alta presión, sin embargo las dimensiones de los equipos son lo suficientemente grandes como para contener esta falla; sin mencionar que las instalaciones cuentan con una planta generadora de energía eléctrica a base de combustibles situada fuera de límites de batería, lo cual nos facilita y asegura la operación continua.

#### 5. Selección de Presión del Tanque de Desfogue.

Se utilizarán cuatro tanques de desfogue, el primero (TA-115) para asegurar la operación de los filtros de cartucho y los otros tres (TA-116 A-C) para todo el sistema de Ósmosis Inversa, el cual incluye bomba de alta presión, turbina recuperadora de energía y bastidores.

Las presiones seleccionadas son las siguientes:

Tanque de desfogue	Presión (kgf/cm <sup>2</sup> )
TA-115	0.35
TA-116 A-C	0.35

#### 6. Área de las válvulas de relevo.

Independientemente de la cantidad de tanques que se necesite, cada equipo requiere contar con su válvula de seguridad. El área mínima que se requiere se calcula a partir de la siguiente ecuación<sup>1</sup>:

$$A = \frac{Q}{38 \times K_d K_w K_v} \sqrt{\frac{G}{P_1 - P_2}}$$

A = área efectiva requerida de descarga (in<sup>2</sup>)

Q = caudal en GPM

---

<sup>1</sup> API Recommended Practice 520, *Sizing, Selection, and Installation of Pressure – Relieving Devices in Refineries*

$K_d$  = coeficiente de descarga (0.65)

$K_w$  = factor de corrección por contrapresión (0.96)

$K_v$  = corrección por viscosidad

G = gravedad específica

$P_1$  = presión máxima de operación (psig)

$P_2$  = contrapresión (psig)

Teniendo esta información y con las correspondientes conversiones de unidades después de realizados los cálculos, se genera la siguiente tabla:

Equipo	P. máx. de Operación (Kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )	T. máx. de operación (°C)	P. normal operación (Kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )	Contrapresión (Kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	Área (m <sup>2</sup> )	Diámetro (m)
<b>FB-102 A-E</b>	7.34	45	6.12	-	1,036.51	0.0133	0.130
<b>PA-101 A-G</b>	81.17	45	67.64	4.22	733.97	0.0028	0.060
<b>GA-103 A-G</b>	85.97	45	71.64	4.57	733.97	0.0028	0.059
<b>GB-102 A-G</b>	79.80	45	66.50	3.87	410.36	0.0016	0.045

Esto quiere decir que cada equipo requerirá una válvula que permita al menos un área efectiva de descarga de esa magnitud.

#### 7. Ramales afines.

Siendo la sección de Ósmosis Inversa la que presenta presiones similares tanto de operación normal como máximas, se decidió que los ramales de estos equipos (bomba de alta presión, turbina recuperadora de energía y bastidores) se conectarán a un mismo cabezal.

Sin embargo, dada la cantidad de equipos el flujo total si conectáramos todo resultaría enorme, lo cual implicaría tener una tubería gigantesca y extremadamente larga. De esta manera, decidimos realizar 3 tanques agrupados de la siguiente manera:

- dos tanques que reciban el flujo de dos juegos de equipos (bastidor, bomba y turbina)
- un tanque que reciba lo de tres juegos de equipos.

#### 8. Diámetro de tuberías.

- Primer sistema de desfogue: Filtros de cartucho.

El caudal sumado de los cinco filtros de cartucho es de: 22014 GPM. Considerando una velocidad recomendada de 2.44 m/s, se tienen los siguientes cálculos:

$$Q_1 = 5182.53 \frac{m^3}{h}$$

$$A_1 = \frac{Q_1}{V} = \frac{5182.53 \frac{m^3}{h}}{8784 \frac{m}{h}} = 0.59 m^2$$

$$\varphi_1 = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.59 m^2}{\pi}} = 0.87 m$$

Este diámetro es el de la tubería que llega finalmente al tanque de desfogue, sin embargo hay que calcular de manera similar los diámetros anteriores, es decir, conforme se van agregando los ramales al cabezal:

De esta manera obtenemos la siguiente tabla:

Sección	Caudal Individual (m <sup>3</sup> /h)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /h)	Área (m <sup>2</sup> )	Diámetro (m)
FB-102 A	1,036.51	1,036.51	0.12	0.39
FB-102 B	1,036.51	2,073.01	0.24	0.55
FB-102 C	1,036.51	3,109.52	0.35	0.67
FB-102 D	1,036.51	4,146.02	0.47	0.78
FB-102 E	1,036.51	5,182.53	0.59	0.87

- Segundo sistema de Desfogue: Sección de Ósmosis Inversa.

Siguiendo el mismo procedimiento, se calcula el diámetro para cada sección de cada uno de los tres sistemas de desfogue (los dos que alivian dos unidades de OI y el tercero que releva 3 unidades).

Sistema de Desfogue para dos juegos de equipos de OI:

Sección	Caudal Individual (m <sup>3</sup> /h)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /h)	Área (m <sup>2</sup> )	Diámetro (m)
GA-103 A-B	1,467.94	1,467.94	0.17	0.46
PA-101 A-B	1,467.94	2,935.88	0.33	0.65
GB-102 A-B	820.71	3,756.60	0.43	0.74

Sección	Caudal Individual (m <sup>3</sup> /h)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /h)	Área (m <sup>2</sup> )	Diámetro (m)
GA-103 C-D	1,467.94	1,467.94	0.17	0.46
PA-101 C-D	1,467.94	2,935.88	0.33	0.65
GB-102 C-D	820.71	3,756.60	0.43	0.74

Sistema de Desfogue para tres juegos de equipos de Ol:

Sección	Caudal Individual (m <sup>3</sup> /h)	Caudal Total (m <sup>3</sup> /h)	Área (m <sup>2</sup> )	Diámetro (m)
GA-103 E-F-G	2,201.91	2,201.91	0.25	0.56
PA-101 E-F-G	2,201.91	4,403.83	0.50	0.80
GB-102 E-F-G	1,231.07	5,634.90	0.64	0.90

#### 9. Especificación de equipos adicionales.

Tanques receptores:

Tanque	Descripción
TA - 115	Tanque de recepción del desfogue proveniente del sistema de filtros de cartucho (FB - 102 A-E)
TA - 116 A	Tanque de recepción del desfogue proveniente del sistema de ósmosis inversa (GA-103 A-B, PA-101 A-B y GB-102 A-B)
TA - 116 B	Tanque de recepción del desfogue proveniente del sistema de ósmosis inversa (GA-103 C-D, PA-101 C-D y GB-102 C-D)
TA - 166 C	Tanque de recepción del desfogue proveniente del sistema de ósmosis inversa (GA-103 E-F-G, PA-101 E-F-G y GB-102 E-F-G)

Dimensiones de los tanques de desfogue:

Tanque	Caudal de entrada (m <sup>3</sup> /h)	Tiempo de residencia (h)	Volumen del Tanque requerido (m <sup>3</sup> )	Volumen sobre diseño (m <sup>3</sup> )	Diámetro (m)	Longitud T-T (m)
TA-115	5,182.53	0.16667	863.77	950.15	8.46	16.91
TA-116A	3,756.60	0.16667	626.11	688.72	7.60	15.19
TA-116B	3,756.60	0.16667	626.11	688.72	7.60	15.19
TA-116C	5,634.90	0.16667	939.17	1,033.09	8.70	17.39

Bombas:

La potencia de la bomba se calculó a partir de la siguiente ecuación:

$$HP = \frac{Q_{GPM} \times \Delta P_{psig}}{1715}$$

La potencia al freno (BHP), se calcula con la siguiente ecuación:

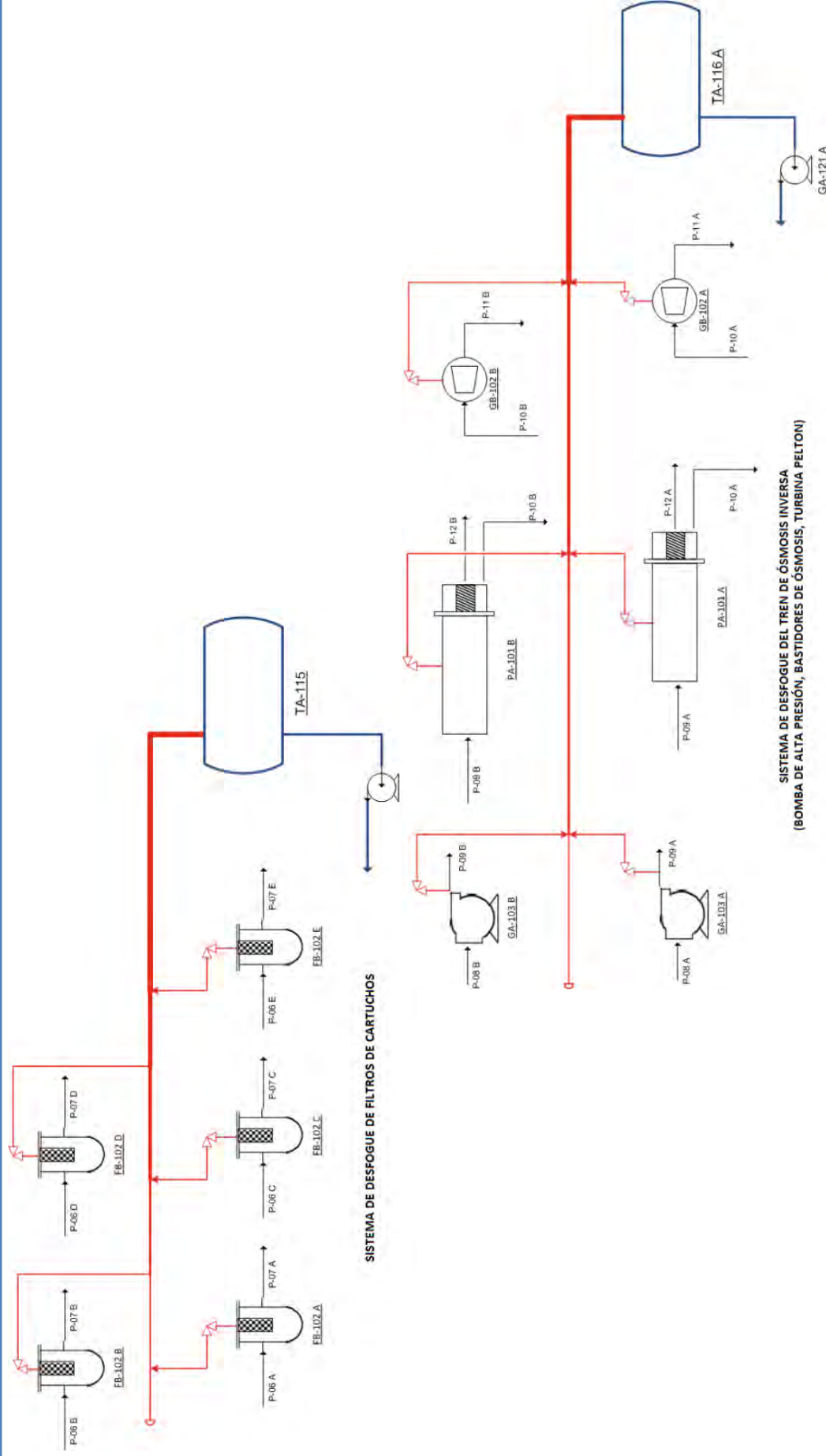
$$HP = \frac{Q_{GPM} \times \Delta P_{psig}}{1715 \times \eta_{Bomba}}$$

Donde la eficiencia  $\eta$  es del 90%.

De manera análoga a la distribución de los tanques para cada línea de desfogue, las bombas de descarga de los tanques de desfogue se reparten de la siguiente manera:

Bomba	Descarga del tanque
GA-120	TA-115
GA-121 A	TA-116 A
GA-121 B	TA-116 B
GA-121 C	TA-116 C

Bomba	Caudal (m <sup>3</sup> /h)	$\Delta P$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	HP bomba	KW bomba	BHP	HP motor	KW Motor
GA-120	518.25	1.5	28.39	21.17	31.54	33.20	24.76
GA-121 A	375.66	1.5	20.58	15.34	22.86	24.07	17.95
GA-121 B	375.66	1.5	20.58	15.34	22.86	24.07	17.95
GA-121 C	563.49	1.5	30.86	23.02	34.29	36.10	26.92



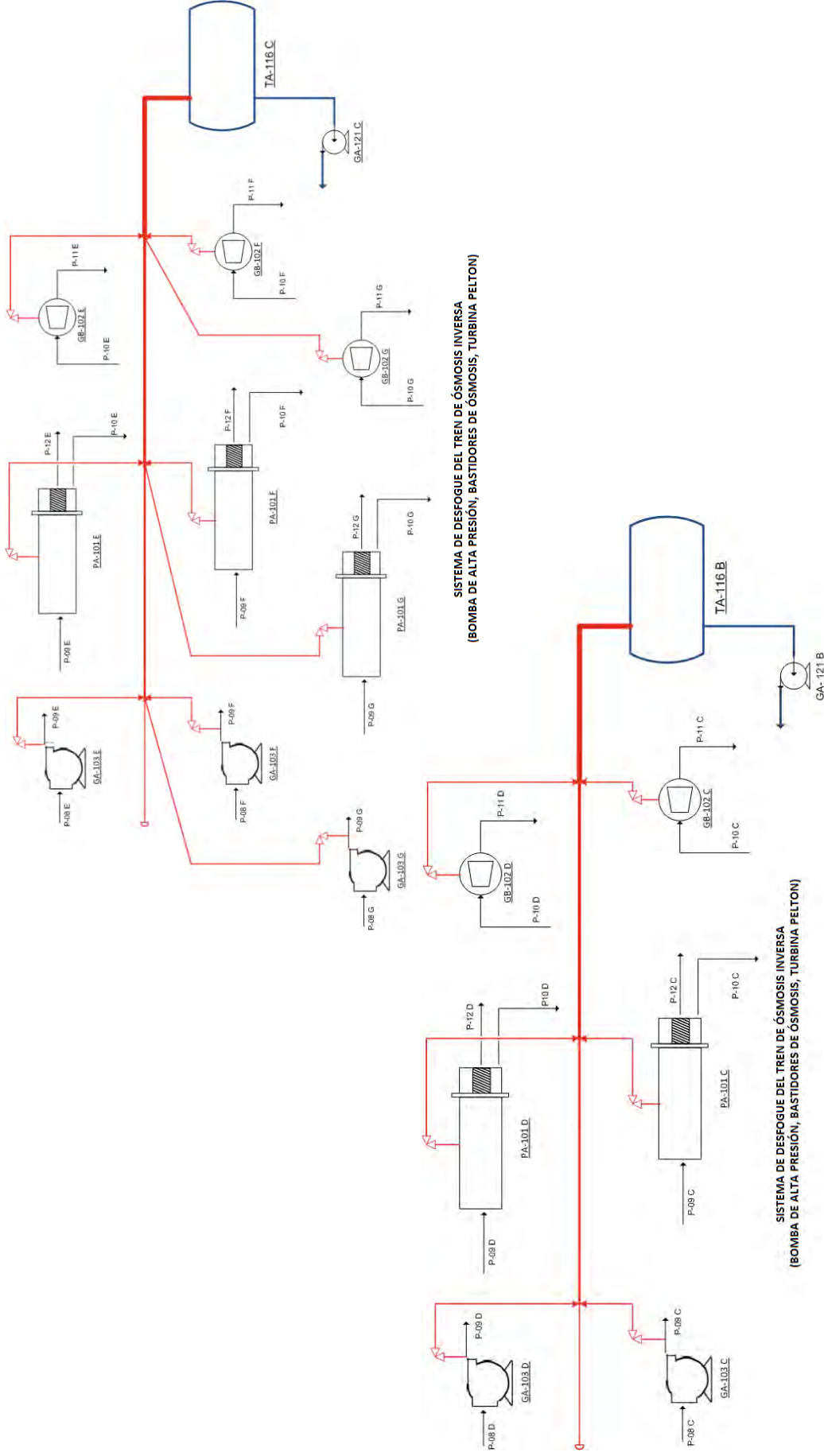
Referencias	Revisión	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó
	Aprobación	07/04/08			
	Final	28/05/08			

**Tesis de Licenciatura**  
 Maria Angel Cerdio Ruiz  
 Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar vía ósmosis inversa



Sistema de desfogue  
 Fecha: 28 / Mayo / 2008

**DSD-TL-MACR-F01**



Referencias	Revisión	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó
	Aprobación	07/04/08			
	Final	28/05/08			

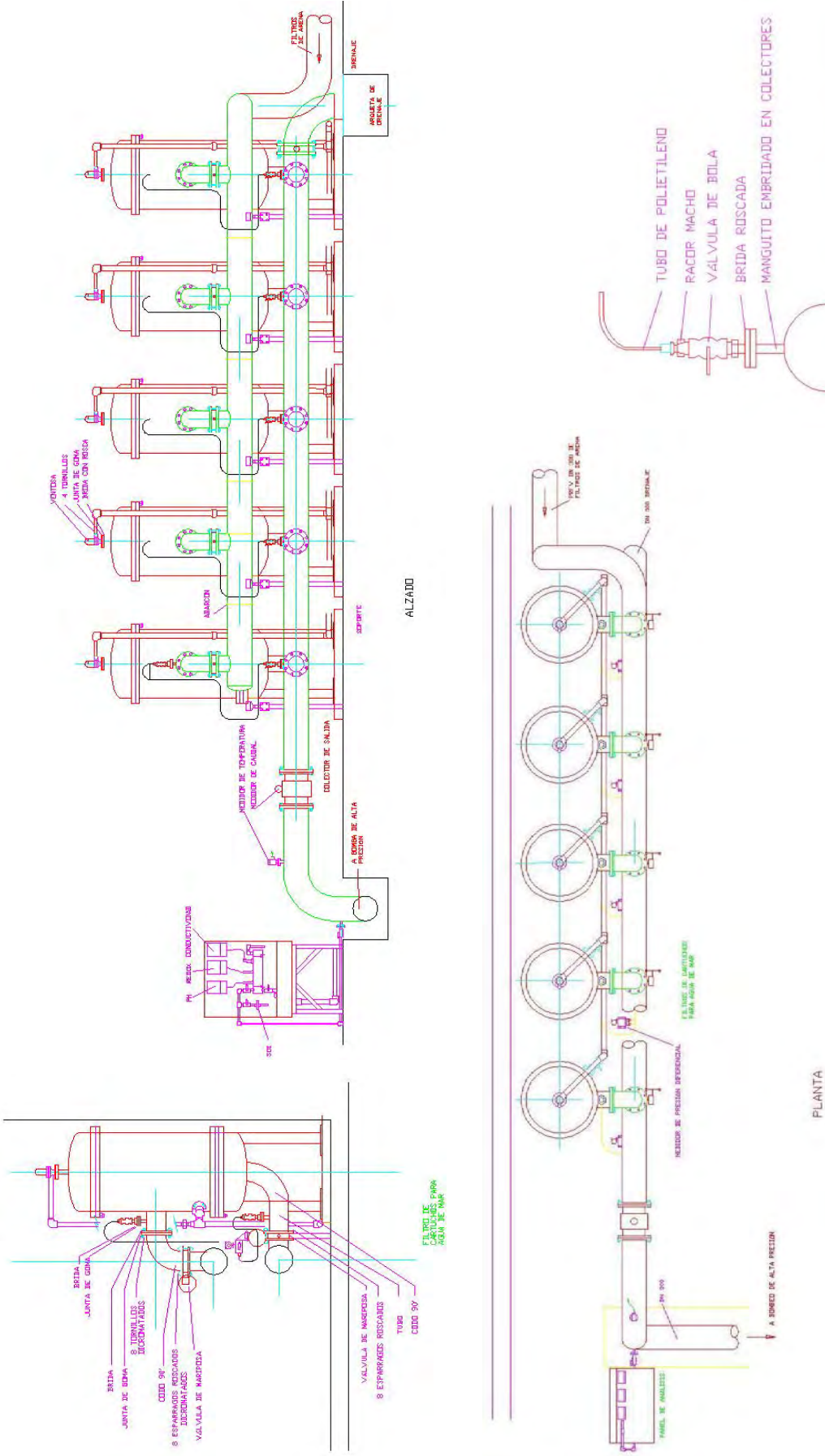
Tesis de Licenciatura
Maria Angel Cerdio Ruiz
Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar vía ósmosis inversa
Sistema de desfogue
Fecha: 28 / Mayo / 2008



**DSD-TL-MACR-F02**



# INGENIERÍA DETALLE



Referencias	Revisión	Fecha	Elaboró	Revisó	Aprobó
Estación de desalación de agua de mar en Barcelona	Aprobación	07/04/08	MACR	JATM	AAD
	Final	28/05/08	JFG	MACR	AAD

**Tesis de Licenciatura**  
 Maria Angel Cerdio Ruiz  
 Aspectos tecnológicos de la desalinización de agua de mar via ósmosis inversa  
 Diseño mecánico de un equipo de proceso  
 Fecha: 28 / Mayo / 2008



**DMFP-TI -MACR-F01**

# INGENIERÍA DE PROCURA

## Clasificación de estimaciones de inversión

A pesar de la exactitud, los estimados de inversión están conformados típicamente a partir de costos directos e indirectos. Los costos indirectos consisten en los servicios para el proyecto, como las ganancias y honorarios administrativos y de ingeniería. Los costos directos, por otra parte son artículos de construcción para el proyecto e incluyen la propiedad, el equipo y los materiales de construcción.

Las tablas que se presentan a continuación proporcionan una descripción detallada de las cinco clasificaciones para los estimados de inversión que se aplican en las industrias de proceso. Se presentan en orden, del estimado de menor definición y exactitud al de mayor definición y exactitud. En cada una de las descripciones se encuentra una breve discusión de las características que definen cada clase de estimación.

Para cada tabla se proporciona la siguiente información:

- a. Descripción: Una breve reseña del tipo de estimación, incluyendo una lista de las entradas para la estimación basadas en el nivel de definición del proyecto.
- b. Nivel de definición del proyecto requerida: expresado como un porcentaje del total de definición. Para las industrias de proceso está correlacionado al porcentaje de ingeniería y diseño completado.
- c. Uso final: Descripción breve del posible uso final que se puede dar al tipo de estimación de que se trate.
- d. Métodos de estimación empleados: Una lista de los métodos de estimación que es posible emplear para el desarrollo del estimado correspondiente a la clase.
- e. Rango de exactitud esperado: Variación típica en rangos altos y bajos posterior a la aplicación e las contingencias (determinado a un grado de confianza del 50%). Típicamente, el costo verdadero caera dentro de los límites superiores o inferiores con una confiabilidad del 90%.
- f. Esfuerzo de preparación: Esta sección proporciona el nivel típico de esfuerzo (en horas) requerido para producir un estimado completo, para una planta de veinte millones de dólares. El esfuerzo es áltamente dependiente del tamaño del proyecto, su complejidad, de las habilidades y conocimientos del estimador y de la disponibikidad de datos de costos y herramientas de cálculo.
- g. Nombres alterntivos, términos, expresiones o sinónimos: esta sección proporciona algunos nombres de uso común por los que se puede conocer la estimación. El

usuario debe tomar en cuenta que el nombre alternativo puede no siempre estar relacionado con la clase de estimación identificada en el cuadro.

<b>ESTIMACIÓN CLASE 5</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Generalmente están basados en una cantidad limitada de información, y subsecuentemente tienen rangos de exactitud muy amplios. Por esta razón algunas compañías u organizaciones han determinado que debido a las inexactitudes inherentes, este tipo de estimaciones no pueden ser clasificadas de una manera convencional y sistémica. Las estimaciones clase 5, debido a los requerimientos de uso final, pueden ser preparadas dentro de una cantidad limitada de tiempo y con cantidades mínimas de esfuerzo empleado. Con frecuencia se conoce poco más que el tipo de planta propuesta, la localización y la capacidad de la misma, al momento de la estimación.
<b>NIVEL DE DEFINICIÓN DEL PROYECTO</b>	0% a 2% de la definición total del proyecto.
<b>USO FINAL</b>	Las estimaciones clase 5 se preparan para cantidad de planeaciones estratégicas de negocios, como pueden ser aunque no limitadas a estudios de mercado, asesoramientos en la viabilidad inicial, evaluación de esquemas alternativos, examen del proyecto, estudios de localización del proyecto, evaluación de la necesidad de recursos, etc.
<b>MÉTODOS DE ESTIMACIÓN UTILIZADOS</b>	Casi siempre se utilizan métodos estocásticos de estimación como pueden ser curvas y factores de costo/capacidad, factores de escalamiento, factores de Lang, factores de Hand, factores de Chilton, factores del Peter-Timmerhaus, factores de Guthrie y otras técnicas paramétricas y de modelado.
<b>RANGO DE EXACTITUD ESPERADO</b>	Los rangos de exactitud se encuentran entre -20% y -50% en el límite inferior y de +30% a +100% en el límite superior, dependiendo de la complejidad técnica del proyecto, referencias apropiadas y la inclusión de un factor apropiado de contingencia. Los valores podrían exceder los mencionados en circunstancias inusuales.
<b>ESFUERZO EN LA PREPARACIÓN</b>	Tan poco como una hora o quizá más de 200 horas, dependiendo del proyecto y la metodología de estimación utilizada.
<b>NOMBRES ALTERNATIVOS, TÉRMINOS, EXPRESIONES O SINÓNIMOS</b>	Proporción, rango de aceptación, estimación de prospecto, estimado de licencia de concesión, regla de dedo

<b>ESTIMACIÓN CLASE 4</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Generalmente están basados en una cantidad limitada de información, y subsecuentemente tienen rangos de exactitud moderados. Típicamente utilizados en la evaluación superficial de proyectos y en determinaciones de factibilidad, en evaluación conceptual y en aprobación preliminar de propuestas. La ingeniería suele estar completa entre un 1% y un 15%, comprendiendo como mínimo lo siguiente: capacidad de la planta, diagrama de bloques, distribuciones, diagrama de flujo de proceso para los principales sistemas, ingeniería preliminar del proceso y lista de equipos de servicio.
<b>NIVEL DE DEFINICIÓN DEL PROYECTO</b>	1% a 15% de la definición del proyecto
<b>USO FINAL</b>	Se emplean para diversos propósitos como pueden ser, aunque no está limitado a, planeación estratégica detallada, desarrollo del negocio, evaluación del proyecto en etapas más desarrolladas, análisis de esquemas alternativos, confirmación de la factibilidad económica y/o técnica, aprobación para la siguiente etapa.
<b>MÉTODOS DE ESTIMACIÓN UTILIZADOS</b>	Casi siempre se utilizan métodos estocásticos de estimación como pueden ser factores de Lang, factores de Hand, factores de Chilton, factores del Peter-Timmerhaus, factores de Guthrie, el método de Miller y otras técnicas paramétricas y de modelado.
<b>RANGO DE EXACTITUD ESPERADO</b>	La exactitud típica para este tipo de estimación oscila entre el -15% y el -30% en el límite inferior y el +20% a +50% en el límite superior, dependiendo de la complejidad tecnológica del proyecto, referencias de costos apropiadas y la inclusión del factor de contingencia adecuado. Los límites pueden ser excedidos en circunstancias inusuales.
<b>ESFUERZO EN LA PREPARACIÓN</b>	Típicamente, tan poco como 20 horas o quizá tanto como 300 horas, dependiendo del proyecto y de la metodología de estimación utilizada.
<b>NOMBRES ALTERNATIVOS, TÉRMINOS, EXPRESIONES O SINÓNIMOS</b>	Factibilidad, autorización, pre-diseño, estudio.

<b>ESTIMACIÓN CLASE 3</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Generalmente se preparan para formar la base de la autorización del capital, apropiación o facilitación de fondos. Suelen formar parte del estimado inicial de control contra el que se monitorearán todos los costos y recursos de que se dispondrá. La ingeniería está completa entre un 10% y un 40%

	y cuenta con al menos lo siguiente: Diagramas de flujo de proceso, diagramas de tubería e instrumentación preliminares, plano de localización general, planos de localización de equipos y listas de equipos e ingeniería del proceso esencialmente completas.
<b>NIVEL DE DEFINICIÓN DEL PROYECTO</b>	10% a 40% de la definición del proyecto
<b>USO FINAL</b>	Típicamente se preparan para dar soporte a los requerimientos de capital del proyecto, y se convierten en la primera medida de control de las fases del proyecto con la cual se monitorearan costos y recursos estableciendo variaciones en el capital disponible. Se utilizará como base del capital disponible hasta que sea sustituida por una estimación más detallada. En muchas organizaciones personales una estimación clase 3 puede ser la última estimación requerida y bien puede formar la única base para el control costo/agenda (tiempo de ejecución).
<b>MÉTODOS DE ESTIMACIÓN UTILIZADOS</b>	Involucran métodos de estimación más determinantes que estocásticos. Usualmente involucran gran cantidad de costos por unidad, aunque esto puede ser más de un grado de detalle de acoplamiento que de componentes individuales. Factores u otros métodos estocásticos pueden ser utilizados para estimar áreas menos significativas del proyecto.
<b>RANGO DE EXACTITUD ESPERADO</b>	La exactitud típica para este tipo de estimación oscila entre el -10% y el -20% en el límite inferior y el +10% a +30% en el límite superior, dependiendo de la complejidad tecnológica del proyecto, referencias de costos apropiadas y la inclusión del factor de contingencia adecuado. Los límites pueden ser excedidos en circunstancias inusuales.
<b>ESFUERZO EN LA PREPARACIÓN</b>	Típicamente, tan poco como 150 horas o quizá más de 1500 horas, dependiendo del proyecto y el método de estimación utilizado.
<b>NOMBRES ALTERNATIVOS, TÉRMINOS, EXPRESIONES O SINÓNIMOS</b>	Semi-detallado, autorización, control preliminar, estudio conceptual, estimado de la fase de ingeniería básica, estimación objetivo.

<b>ESTIMACIÓN CLASE 2</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Generalmente se preparan para formar una línea base de control detallada contra la cual el proyecto es monitoreado en términos de costos y progreso. Para los contratistas este tipo de estimado representa la propuesta de estimación para establecer el valor contractual. La ingeniería se encuentra completa entre un 30% y 70% y comprenderá como mínimo lo siguiente: diagramas de flujo de proceso, diagrama de proceso

	de las utilidades, diagramas de tubería e instrumentación, balances de materia y energía, plano de localización general final, diagramas de localización de equipos finales, ingeniería de proceso y hojas de datos de equipos terminadas, diagramas unifilares , equipo eléctrico y agenda de motores, especificaciones de compra, programa detallado de ejecución del proyecto, recursos y mano de obra, etc.
<b>NIVEL DE DEFINICIÓN DEL PROYECTO</b>	30% a 70% de la definición del proyecto
<b>USO FINAL</b>	Típicamente se preparan como línea base de control detallado contra la cual todos los costos y recursos serán monitoreados para variaciones en el capital y forman parte del programa de control cambio/variación.
<b>MÉTODOS DE ESTIMACIÓN UTILIZADOS</b>	Involucran en gran medida métodos determinantes de estimación. Se preparan con gran detalle y usualmente involucran decenas de miles de unidades  Usualmente involucran gran cantidad de costos por unidad. Para aquellas áreas del proyecto que aun no han sido definidas, se asume un cierto grado de detalle forzado, que puede ser utilizado como base en la estimación en lugar de basarse en métodos de factor.
<b>RANGO DE EXACTITUD ESPERADO</b>	La exactitud típica para este tipo de estimación oscila entre el -5% y el -15% en el límite inferior y el +5% a +20% en el límite superior, dependiendo de la complejidad tecnológica del proyecto, referencias de costos apropiadas y la inclusión del factor de contingencia adecuado. Los límites pueden ser excedidos en circunstancias inusuales.
<b>ESFUERZO EN LA PREPARACIÓN</b>	Típicamente, tan poco como 300 horas o quizá más de 3000 horas, dependiendo del proyecto y el método de estimación utilizado.
<b>NOMBRES ALTERNATIVOS, TÉRMINOS, EXPRESIONES O SINÓNIMOS</b>	Control detallado, control forzado, fase de ejecución, control maestro.

<b>ESTIMACIÓN CLASE 1</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	Generalmente se elabora para secciones o partes discretas del proyecto global. Las partes del proyecto estimadas con este nivel de detalle se utilizaran por los subcontratistas para negociaciones, o por los propietarios para revisar los estimados. El estimado actualizado generalmente es referido como el estimado de control actual se convierte en la nueva línea base para en control costo/agenda del proyecto. Los estimados clase 1 puede ser elaborado para partes del



	proyecto con la finalidad de obtener un estimado de precios aceptable contra la cual comparar la propuesta de un contratista o bien para evaluar las demandas del proyecto. La ingeniería se encuentra completa en un 50% a 100% y comprenderá virtualmente cualquier documento de ingeniería o de diseño, además de los programas completos de ejecución del proyecto y de asignación de responsabilidades
<b>NIVEL DE DEFINICIÓN DEL PROYECTO</b>	50% a 100% de la definición del proyecto
<b>USO FINAL</b>	Se preparan como un estimado de control vigente a lo largo del proyecto y como línea base de comparación para los costos verdaderos, mientras los recursos se monitorearán en busca de variaciones del capital, formando parte del programa de control cambio/variación.
<b>MÉTODOS DE ESTIMACIÓN UTILIZADOS</b>	Las estimaciones clase 1 involucran el grado más alto de estimación determinante y requiere de un esfuerzo considerable. Se preparan en gran detalle y suelen desarrollarse sólo para las áreas más importantes o críticas de un proyecto. Todos los elementos de la estimación están basados en cantidades reales de diseño
<b>RANGO DE EXACTITUD ESPERADO</b>	La exactitud típica para este tipo de estimación oscila entre el -3% y el -10% en el límite inferior y el +3% a +15% en el límite superior, dependiendo de la complejidad tecnológica del proyecto, referencias de costos apropiadas y la inclusión del factor de contingencia adecuado. Los límites pueden ser excedidos en circunstancias inusuales.
<b>ESFUERZO EN LA PREPARACIÓN</b>	Requiere del mayor esfuerzo para ser elaborada y se desarrolla sólo para áreas específicas o para fines oferentes. Puede llevar tan poco como 600 horas o tanto como 6000 horas dependiendo del proyecto y la metodología de estimación. Los estimados para fines oferentes requieren mayor esfuerzo que aquellos utilizados para control o financiamiento.
<b>NOMBRES ALTERNATIVOS, TÉRMINOS, EXPRESIONES O SINÓNIMOS</b>	Detalle completo, lanzamiento, precio firme, control detallado, definitivo.

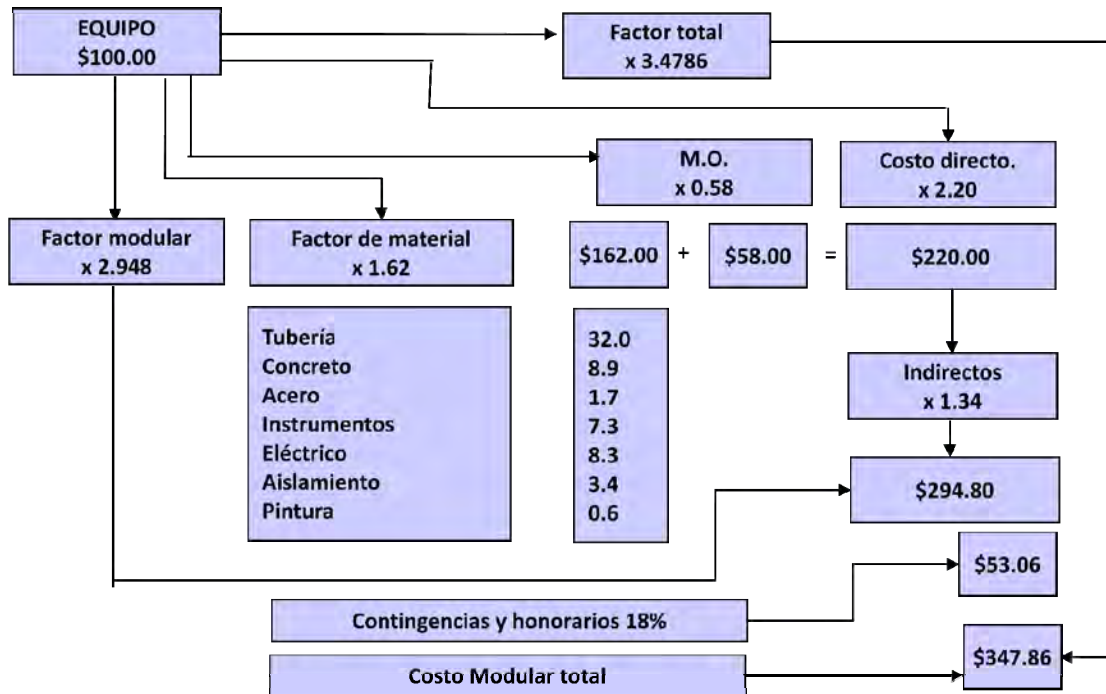
Para el caso de aplicación se realizó una estimación clase 4 de los costos totales de inversión en la planta de desalinización de agua de mar por ósmosis inversa. Los métodos de estimación serán el método de Guthrie y el método de Lang y se llevará a cabo la consecuente comparación entre los resultados obtenidos.

## Método de Guthrie

Se proponen factores para cada clase de equipo de manera que se puedan evaluar todos los elementos del costo total de instalación como una función del costo de los equipos de proceso.

- a. La capacidad de la planta se cuenta doble:
  - Para cada equipo, el costo base está relacionado directamente con su capacidad
  - Los factores de multiplicación también están relacionados con la capacidad de la planta.
- b. Los factores de corrección afectan al equipo “desnudo” contemplando:
  - Materiales de construcción diferentes
  - Tipo de equipo y geometría del mismo
  - Alta presión o temperatura
- c. Los costos indirectos se evalúan por medio de la multiplicación de los factores directos por factores apropiados:
  - Transporte, impuestos, y seguros (dependientes de la localización)
  - Costos fijos de campo =  $(\text{equipo} + \text{mano de obra}) \times (\text{factor tamaño}) \times (\text{mano de obra} / \text{factor de equipo})$
  - Cuota de ingeniería =  $(\text{equipo} + \text{mano de obra}) \times (\text{factor tipo}) \times \text{factor tamaño} \times (\text{mano de obra} / \text{factor de equipo})$

### Ejemplo de aplicación del Método de Guthrie



### Método de Lang

Proporciona una manera rápida de relacionar la inversión final de la planta a partir de la suma de los costos de todos los equipos a adquirir.

La inversión total esta dada por:

Donde K es el factor de Lang

- $K = 3.1$  para procesamiento de sólidos
- $K = 3.6$  para procesamiento de mezclas sólido-fluido
- $K = 4.7$  para procesamiento de fluidos

A continuación una lista con la cotización para los diferentes equipos de proceso y posteriormente la aplicación de los factores de contingencia de Guthrie y Lang para obtener el estimado final del capital de inversión, con la consecuente comparación entre los valores obtenidos por ambos métodos.

## Lista de precios en USD de los equipos principales de proceso de la planta

## Cotización de Equipos de Proceso

	EQUIPO	Costo unitario (USD)	No. Unidades	Costo total (USD)
<b>AG-102</b>	Agitador para TA-101	\$ 56,400.00	1	\$ 56,400.00
<b>AG-103</b>	Agitador para tanque TA-102	\$ 79,700.00	1	\$ 79,700.00
<b>AG-105 A-C</b>	Agitador para tanque TA-104	\$ 151,500.00	3	\$ 454,500.00
<b>AG-106</b>	Agitador para TA-106	\$ 5,600.00	1	\$ 5,600.00
<b>AG-107</b>	Agitador para tanque TA-108	\$ 4,000.00	1	\$ 4,000.00
<b>AG-108</b>	Agitador para tanque TA-109	\$ 5,600.00	1	\$ 5,600.00
<b>AG-109</b>	Agitador para tanque TA-110	\$ 4,000.00	1	\$ 4,000.00
<b>AG-110</b>	Agitador para tanque TA-111	\$ 5,600.00	1	\$ 5,600.00
<b>AG-111 A-B</b>	Agitador para tanque TA-112 A-B respectivamente	\$ 5,100.00	2	\$ 10,200.00
<b>AG-112</b>	Agitador para tanque TA-114	\$ 2,900.00	1	\$ 2,900.00
<b>FB-101 A-J</b>	Filtración por gravedad	\$ 178,300.00	10	\$ 1,783,000.00
<b>FB-102 A-E</b>	Filtro de cartuchos	\$ 35,500.00	5	\$ 177,500.00
<b>FB-103</b>	Filtro de cartuchos para lavado de membranas de ósmosis inversa (operación intermitente)	\$ 16,100.00	1	\$ 16,100.00
<b>GA-102 A-E(M)/R(M)</b>	Bomba de alimentación al filtros de cartuchos FB-102 A-E	\$ 14,600.00	10	\$ 146,000.00
<b>GA-103 A-G(M)/R(M)</b>	Bombeo de alimentación de alta presión a los bastidores de ósmosis inversa	\$ 13,100.00	14	\$ 183,400.00
<b>GA-104(M)/R(M)</b>	Bomba traslado de agua de servicios para abastecimiento del	\$ 9,200.00	2	\$ 18,400.00

complejo (intermitente)					
<b>GA-105 (M)/R(M)</b>	Bomba de carga de hipoclorito de sodio desde camión cisterna	\$	3,500.00	2	\$ 7,000.00
<b>GA-106 (M)/R(M)</b>	Bomba dosificadora de hipoclorito de sodio	\$	7,500.00	2	\$ 15,000.00
<b>GA-107 (M)/R(M)</b>	Bomba dosificadora de solución de cloruro férrico	\$	13,300.00	2	\$ 26,600.00
<b>GA-108 (M)/R(M)</b>	Bomba de carga de ácido sulfúrico desde camión cisterna	\$	3,500.00	2	\$ 7,000.00
<b>GA-109 (M)/R(M)</b>	Bomba dosificadora de ácido sulfúrico	\$	8,300.00	2	\$ 16,600.00
<b>GA-110 (M)/R(M)</b>	Bomba para transferencia de solución del TA-108 al TA-109	\$	3,500.00	2	\$ 7,000.00
<b>GA-111 (M)/R(M)</b>	Bomba dosificadora de solución de hexametafostato sódico	\$	10,200.00	2	\$ 20,400.00
<b>GA-112 (M)/R(M)</b>	Bomba para transferencia de solución del TA-110 al TA-111	\$	3,500.00	2	\$ 7,000.00
<b>GA-113 (M)/R(M)</b>	Bomba dosificadora de solución de bisulfito sódico	\$	9,200.00	2	\$ 18,400.00
<b>GA-114 A-B (M)/R(M)</b>	Bomba dosificadora de hidróxido cálcico	\$	11,200.00	4	\$ 44,800.00
<b>GA-115 (M)/R(M)</b>	Bomba dosificadora de hipoclorito sódico	\$	2,200.00	2	\$ 4,400.00
<b>GA-116 A-J (M)/R(M)</b>	Bomba para envío de efluentes de lavado de filtros de arena a planta de tratamiento (operación intermitente)	\$	13,800.00	20	\$ 276,000.00
<b>GA-117 A-C (M)/R(M)</b>	Motobomba para lavado de filtros de arena (operación intermitente)	\$	10,000.00	6	\$ 60,000.00
<b>GA-118 A-B (M)/R(M)</b>	Motosoplantes para lavado de filtros de arena (operación intermitente)	\$	17,200.00	4	\$ 68,800.00

<b>GA-119 (M)/R(M)</b>	Bomba de lavado de membranas de osmosis inversa (operación intermitente)	\$ 10,800.00	2	\$ 21,600.00
<b>GB-102 A-G</b>	Turbina pelton de recuperación de energía	\$ 70,700.00	7	\$ 494,900.00
<b>PA-101 A-G</b>	Bastidor de ósmosis inversa	\$ 843,200.00	7	\$ 5,902,400.00
<b>TA-101</b>	Tanque de mezclado en línea	\$ 177,200.00	1	\$ 177,200.00
<b>TA-102</b>	Tanque de homogeinizador y de adición de reactivos	\$ 517,400.00	1	\$ 517,400.00
<b>TA-103</b>	Tanque colector a la salida de filtros de cartucho	\$ 329,800.00	1	\$ 329,800.00
<b>TA-104</b>	Tanque de almacenamiento de agua producto	\$ 988,000.00	1	\$ 988,000.00
<b>TA-105</b>	Tanque de almacenamiento y dosificación de hipoclorito de sodio	\$ 31,400.00	1	\$ 31,400.00
<b>TA-106</b>	Tanque de almacenamiento y dosificación de cloruro férrico	\$ 31,400.00	1	\$ 31,400.00
<b>TA-107</b>	Tanque de almacenamiento y dosificación de ácido sulfúrico	\$ 31,400.00	1	\$ 31,400.00
<b>TA-108</b>	Tanque de preparación de solución de hexametáfosfato sódico	\$ 20,000.00	1	\$ 20,000.00
<b>TA-109</b>	Tanque de dosificación de hexametáfosfato sódico	\$ 31,400.00	1	\$ 31,400.00
<b>TA-110</b>	Tanque de preparación de solución de bisulfito sódico	\$ 20,000.00	1	\$ 20,000.00
<b>TA-111</b>	Tanque de dosificación de bisulfito sódico	\$ 31,400.00	1	\$ 31,400.00
<b>TA-112 A-B</b>	Preparación de solución y dosificación de Hidróxido Cálculo	\$ 27,900.00	2	\$ 55,800.00
<b>TA-113</b>	Tanque de almacenamiento y dosificación de hipoclorito sódico	\$ 7,000.00	1	\$ 7,000.00

<b>TA-114</b>	Tanque de almacenamiento y dosificación de reactivos de limpieza química para membranas de ósmosis inversa	\$ 13,300.00	1	\$ 13,300.00
<b>TOTALES</b>		<b>\$ 3,886,400.00</b>	<b>140</b>	<b>\$ 12,236,300.00</b>

### Estimación de inversión final por el método de Lang

Costo total de Equipos de Proceso	Factor de Lang	Inversión total
\$ 12,236,300.00	4.7	\$ 57,510,610.00

### Estimación de inversión final por método de Guthrie

#### Desglose del Método de Guthrie

Consideración	Factor de Guthrie	Costo Parcial
Factor Material	1.6200	\$ 19,822,806.00
Mano de Obra	0.5800	\$ 7,097,054.00
Costos directos	2.2000	\$ 26,919,860.00
Costos indirectos	0.3400	\$ 9,152,752.40
Factor Modular	2.9480	\$ 36,072,612.40
Contingencias y honorarios	0.1800	\$ 6,493,070.23
<b>Costo Modular Total</b>	<b>3.4786</b>	<b>\$ 42,565,682.63</b>

Considerando los factores involucrados por el método de Guthrie, así como la estimación clase 5 que se llevó a cabo en la etapa inicial del proyecto para determinar la viabilidad del mismo, es notoria holgura de la estimación de Lang por sobre las otras dos. Cabe destacar que aún cuando los factores de Guthrie pueden estar sobre estimados, consideran factores de influencia que otros métodos no racionalizan de la misma manera y por tanto a pesar de seguirse tratando de una aproximación un tanto burda (estimación clase 4) los valores reportados son más próximos a la realidad; para corroborar lo anterior, bastaría analizar los costos de plantas desalinizadoras en operación de características similares a la que se propone en éste proyecto.

# **CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD Y DISPOSICIÓN DE EFLUENTES**



## Consideraciones de seguridad y disposición de efluentes del proceso

### Tratamiento de Efluentes

Otro de los aspectos que implican un costo medioambiental importante es el de los efluentes de salmueras procedentes de las desalinizadoras. En primer lugar hay que caracterizar el vertido, señalando que en ningún momento se añade al mar más sal de la que se extrae mediante la captación del agua bruta que se precisa en el proceso de desalación. La cantidad de sal extraída es la misma que la devuelta, salvo que a una mayor concentración al retener la mitad del contenido en agua captada que queda como agua producto o desalada.

Los vertidos procedentes de la planta desalinizadora consisten fundamentalmente en un 98,5 % en rechazo de agua con alto contenido salino y en un 1.5 % en agua de lavado de filtros y productos de limpieza.

1. Salmuera o agua con alto contenido salino. Su concentración de sales depende del agua bruta a desalar. Representa el 98.5 % de los vertidos de una desalinizadora y su evacuación se realiza en continuo.
2. Agua de retrolavado de los filtros de arena. Este efluente es discontinuo con una frecuencia diaria y una duración de 15-20 minutos, siendo conducido a una estación de tratamiento que garantiza la eliminación de materia tanto orgánica como inorgánica a través de un sistema de fangos. Representa el 1.3% del volumen total de vertidos con una evacuación discontinua.
3. Productos de limpieza de membranas. Se incluyen en este tipo de vertido los productos empleados para la limpieza de las membranas de osmosis inversa. La frecuencia de los lavados depende de la calidad del agua bruta; una frecuencia de un lavado por año de servicio, representa un 0.05 % del total de los vertidos.

Los principales productos empleados en la limpieza de las membranas son detergentes con alto grado poder biodegradable, ácido cítrico, hidróxido de sodio y otros en menor proporción. Todos ellos presentan homologaciones para uso industrial y/o humano y son compatibles con el entorno.

En la planta desalinizadora se dispondrá de un depósito de neutralización de productos de limpieza de membranas, con el fin de acondicionar los parámetros físico-químicos de este efluente antes de su incorporación al vertido.

4. Reactivos químicos de acondicionamiento del agua bruta y agua producto. Necesarios para adecuar las diferentes etapas de pretratamiento y postratamiento del agua. Al incorporarse al agua bruta de alimentación a las Desaladoras, no constituyen un vertido. En aquellos casos excepcionales en los que se produzca una rotura, se tratará su neutralización previa al disponer las plantas de tratamiento y diques de contención.

## Impacto Ambiental

### *Naturaleza de la salmuera*

La salmuera de rechazo de una desalinizadora no contiene residuos, como en el caso de otros procesos industriales. La salmuera contiene los mismos iones y componentes que se extrajeron del mar, salvo la pequeña proporción que atraviesa las membranas y se incorpora al agua dulce producida (en el orden de un 1% del contenido existente en el agua de mar de alimentación). Sin embargo, esos iones están concentrados en un volumen de aproximadamente el 50% del extraído del mar.

En el proceso de desalación se usan algunos aditivos para ayudar a la filtración o a la limpieza de las membranas que pueden estar presentes en el vertido de salmuera en cantidades prácticamente imposibles de detectar. Como es evidente, todos esos productos son potables (nos bebemos el agua producida con la que esos productos están en contacto) y, además, son los mismos productos que utilizamos en el tratamiento de aguas naturales superficiales o subterráneas.

Por tanto, la salmuera es agua de mar concentrada y no tiene efectos misteriosos sobre el medio ambiente marino, salvo, evidentemente, los que se deducen de su concentración en sales que es el doble de la del agua de mar (aproximadamente).

### *¿Qué ocurre con la salmuera vertida al mar?*

Evidentemente, es imposible mantener por largo tiempo dos masas de agua con diferente contenido salino sin que las concentraciones se igualen. La salmuera introducida en el mar derivará iones hacia las aguas circundantes hasta conseguir igualar las concentraciones.

Si la alimentación de salmuera al mar es continua, como ocurre en una planta que esté en funcionamiento, la distancia al punto de vertido es la mejor variable para estimar las condiciones de dilución: por ejemplo, si tomamos una medida a 50 metros del punto de vertido, podemos encontrar una salinidad determinada (que depende de las condiciones topográficas y del estado del mar) menor que la de la salmuera y mayor que la del agua de mar. Supongamos que esta sea 1,2 veces la salinidad del agua de mar. Si las condiciones son constantes, a una distancia mayor, por ejemplo 150 metros, la salinidad será menor, digamos 1,05 veces la salinidad del agua de mar. Finalmente, a cierta distancia, será imposible distinguir la presencia de salmuera.

Como el mayor contenido de sales supone una mayor densidad, el fenómeno de la dilución actúa en tres dimensiones, pues la salmuera vertida tendrá tendencia a irse al fondo en el agua de mar a la que se vierte. Las mediciones necesarias para controlar un vertido han de hacerse, por consiguiente, en tres dimensiones, obteniéndose unas superficies curvas de isosalinidad que abarcan desde la superficie del mar hasta el fondo.

### *Efectos negativos de la salmuera*

El efecto de conjunto del vertido de salmuera sobre el mar es naturalmente nulo. La masa marina recibe unos iones que se le han extraído antes, por lo que no existe un efecto apreciable. El agua de mar que se extrae, vuelve en su gran mayoría al mar como agua dulce residual, (después de su utilización) o como agua atmosférica en la proporción que el agua dulce producida se evapora durante su recorrido terrestre. Este comentario, que puede parecer obvio, se refiere a los confusos peligros que en determinados ámbitos parecen ver en casi cualquier tipo de uso de los recursos naturales.

Sobre la vida marina, sin embargo, hay un efecto localizado obvio: en los entornos cercanos al vertido de salmuera la salinidad es mayor que la normal del mar, según un gradiente que va desde el propio punto de vertido hasta un horizonte situado a cierta distancia en el que la dilución puede considerarse completa a efectos prácticos y se encontrarán condiciones de agua de mar normal.

El efecto negativo de la salmuera, por consiguiente, se circunscribe a que, en el ámbito hipersalino que rodea el punto de vertido, determinadas especies que no soportan altas salinidades pueden desaparecer.

Conocemos este efecto nocivo de la salmuera sobre las plantas marinas habituales en nuestras costas y nuestros diseños tienen que dirigirse a evitar daños a las praderas de Posidonia y de otras fanerógamas.

### *Efectos de la salmuera sobre los humanos*

No hay ningún efecto nocivo reconocido de la salmuera por contacto con el cuerpo humano. En realidad, se atribuyen efectos beneficiosos al baño en ambientes marinos de alta salinidad (Mar Muerto, por ejemplo) y hay centros de talasoterapia instalados precisamente en ámbitos de esta naturaleza.

### *Esquemas de vertido recomendables*

Por lo que venimos señalando, la estrategia de vertido debe ser la siguiente:

- I. Favorecer medidas de dilución rápida de la salmuera.

Las tareas a efectuar son:

- a) Estimación rápida de la zona potencial de influencia a través de modelos hidrodinámicos sencillos.
- b) Elaboración de cartografía biónmica y estimación de cobertura y desarrollo de la vegetación acuática sumergida. Al mismo tiempo, se obtendrá información batimétrica y de la naturaleza de los fondos y se estimará el riesgo de aparición de especies protegidas en las unidades clasificadas, basándose en estudios y reconocimientos previos y en la opinión de expertos.
- c) Selección de emplazamientos que garanticen la mínima afección a elementos ambientales críticos o muy condicionantes. En la decisión sobre el emplazamiento se deberían estudiar las ventajas de asociar o no el vertido de la desalinizadora a otros sistemas, como puede ser el de refrigeración de una estación de generación de energía o el vertido de un sistema de depuración.

Estas dos primeras tareas constituyen el primer paso a ejecutar con urgencia para intentar disponer de los resultados en la preparación de la memoria-resumen.

- d) Simulación hidrodinámica tridimensional del comportamiento del vertido en el medio receptor, mediante modelos que permitan la inferencia estadística de líneas de iso-concentración en series temporales largas. Se debe simular al menos el exceso de salinidad, temperatura, oxígeno disuelto, y contaminantes conservativos, para las diferentes opciones de configuración de los emisarios (número y tipo de difusores, etc).
- e) A partir de los resultados de los apartados anteriores, se determinarán los ámbitos y distancias de protección para las comunidades y especies sensibles.
- f) Decisión del emplazamiento definitivo de tomas y vertido, a partir de consideraciones técnicas y ambientales.
- g) Caracterización de las unidades bionómicas en el área de influencia, que proporcionen información sobre su estado ecológico preoperacional y permitan realizar adecuadamente las distintas tareas que implica la EIA (estimación y evaluación de impactos, planteamiento de actuaciones correctoras y diseño de programas de seguimiento y vigilancia ambiental). Esto implica la ejecución de muestreos directos de las comunidades bentónicas, estratificados en función de la distribución de dichas comunidades y del grado de afección previsto. Dentro de cada unidad de muestreo se realizará una replicación al azar (3 o 4 réplicas) para las determinaciones biocenóticas.
- h) Establecimiento de bioindicadores y rangos de valores de referencia relativa para el seguimiento ambiental del proyecto, que proporcionen información sobre su estado ecológico preoperacional y permitan realizar adecuadamente las distintas tareas que implica la EIA (estimación y evaluación de impactos, planteamiento de actuaciones correctoras y diseño de programas de seguimiento y vigilancia ambiental).

### **Manejo de sustancias químicas peligrosas**

Se cuenta con un total de seis sustancias químicas las cuales son reguladas por el gobierno debido al peligro potencial que representan. Estas sustancias son:

- Hipoclorito de Sodio
- Ácido Sulfúrico
- Cloruro Férrico
- Bisulfito de Sodio
- Hexametafosfato de Sodio
- Hidróxido de Calcio

Las Norma Oficial Mexicana por la cual son reguladas es la NOM-005-STPS-1998. Esta establece las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas.

De acuerdo a esta NOM se creó el siguiente programa:

- Se tienen las hojas de seguridad de las sustancias ya mencionados.
- El área de tanques de almacenamiento y dosificación de estos deberá estar siempre limpia, las herramientas de trabajo deberán estar acomodadas en el área asignada para ello. Los operadores son responsables de la limpieza de las áreas así como del cuidado de las herramientas que les sean proporcionadas.
- Las cantidades máximas de las sustancias utilizadas se muestran en la siguiente tabla:

Sustancia	DL <sub>50</sub> (mg/kg)	CL <sub>50</sub> (mg/m <sup>3</sup> /2h)
Hipoclorito de Sodio	8200	1.34
Ácido Sulfúrico	2140	510
Cloruro Férrico	900	23
Bisulfito de Sodio	1540	240
Hexametafosfato de Sodio	5000	ND
Hidróxido de Calcio	ND	160

- El equipo de protección personal (EPP) con el que contarán los operadores será el siguiente:
  - Lentes de Seguridad
  - Tapones Auditivos
  - Zapatos de Seguridad
  - Mascarilla

- e) Se prohíbe el ingerir alimentos o fumar en las áreas operativas de la planta. Esto se podrá hacer en el comedor o en las áreas señaladas para estos fines.
- f) Plan de Emergencia
- En caso de derrame, emanaciones o incendio, la persona que detecte la anormalidad deberá accionar las alarma más cercanas y las personas deberán hacer paro de emergencia en sus respectivos equipos.
  - El personal evacuará la planta de acuerdo a como este predicho y una vez evacuadas deberán juntarse por áreas y el supervisor notificar si alguien de su área falta.
  - Será entonces cuando las brigadas comiencen su labor dependiendo del tipo de emergencia deberá acudir la brigada de Manejo de Materiales Peligrosos, Contra Incendios o de Primeros Auxilios.
  - Una vez terminada la emergencia la gente deberá regresar ordenadamente a sus áreas de trabajo.
  - En el caso de que sea necesario hacer un rescate en espacio confinado se medirá primero el nivel de oxígeno en el espacio confinado, en caso de ser insuficiente se utilizará equipo de respiración autónoma. El rescatista deberá ser anclado por la cintura para poder ser sacado una vez que llegue al lugar donde está la persona siendo rescatada.
- g) Para realizar trabajos en áreas confinadas o actividades peligrosas se debe de contar con certificados que muestren que se está capacitado para realizar estas actividades. Después se deberá realizar un Análisis de Riesgo Potencial (ARP) en el cual se detallan las actividades a realizar, así como los posibles riesgos que puedan ocurrir durante las actividades y las contramedidas, cuidados y EPP que se usará para evitar estos accidentes.

Además para el almacenamiento de estas sustancias se deben de utilizar recipientes específicos de materiales compatibles con las sustancias de que se trate.

En el transporte se debe de hacer a través de tuberías o recipientes portátiles cerrados a fin de evitar derrames o fugas.

# CONCLUSIONES GENERALES



## Conclusiones Generales

La finalidad de iniciar este proyecto con la presentación del problema del agua, tanto a nivel mundial como nacional radica en la necesidad de tomar decisiones que cambien el rumbo del futuro cercano, y por ende a largo plazo.

Las razones por las que se presenta la escasez de agua son variadas, algunas naturales, otras por causa de la actividad del hombre, en ocasiones irracional, como son: la grave explosión demográfica que experimentamos, los cambios climáticos, las variaciones a los paisajes naturales y el uso de la tierra, la contaminación de las fuentes de suministro, la mala administración de la demanda de agua, los obstáculos financieros e institucionales, entre otros. Hay que resaltar que, aunque algunos de los problemas son por definición natural inevitables, se ven seriamente agravados por las costumbres y actividades del hombre, así como por las políticas gubernamentales.

Una vez identificado el problema, la escasez de agua cada vez más acentuada, es necesario buscar y proponer alternativas de solución. En éste punto es donde resalta la desalinización como una alternativa.

Desde tiempos inmemoriales en las zonas cercanas al mar, el hombre en situaciones de escasez de agua se concentró en encontrar maneras de procurársela. La técnica más antigua de obtención de agua potable a partir del agua de mar es la destilación, proceso muy empleado por los marinos cerca de 2000 años atrás.

En la búsqueda continua de la obtención de agua de mejor calidad, se han desarrollado técnicas de mayor eficiencia y requerimientos energéticos menores, pasando de las tecnologías térmicas a las tecnologías de membrana, y más recientemente al desarrollo de lo que llamamos tecnologías potenciales, que aunque aún en su etapa de investigación se desarrollan con avidez.

Las tecnologías térmicas, como la destilación de efectos múltiples o la evaporación instantánea, tienen cerca de cinco décadas en el mercado. La calidad del producto es muy buena, pero se enfrentan a otros inconvenientes como son el abastecimiento de la energía necesaria y la eficiencia con que ésta es utilizada, o bien los volúmenes de producto cuya viabilidad compromete otros aspectos como la inversión inicial o los costos de operación.

Por otro lado, las tecnologías de membrana como la ósmosis inversa se han probado de gran utilidad. Entre sus virtudes se encuentran, la calidad del agua producto, la flexibilidad de trabajo concerniente a las concentraciones de sal del agua de alimentación y a las capacidades de producción, el tipo y cantidad de energía necesaria para la operación, la posibilidad de recuperar y reutilizar parte de dicha energía, así como la eficiencia en su utilización. La ósmosis inversa es una tecnología madura, que se ha probado confiable y que se presta para el desarrollo de complementos que la hagan más eficiente o bien la combinación con energías limpias que minimicen el impacto ambiental de su instalación.

Habiendo hecho un análisis tecnológico profundo, se concluyó que la ósmosis inversa resultaría ser la técnica de desalinización más conveniente para alcanzar los objetivos del proyecto que se propuso.

La siguiente etapa consistió en la selección de la ubicación de la planta.

México, un país rico en recursos naturales, obtiene el agua que consume la población de fuentes tales como ríos, arroyos y acuíferos del subsuelo. Estos acuíferos se recargan de forma natural en época de lluvias. Sin embargo, la época de lluvias tiene una duración promedio de cuatro meses lo que propicia una escasa captación. Aunado a esto, del total de agua captada por lluvias, aproximadamente el 70% se evapora. La desproporción que existe entre la cantidad de agua que se capta por escurrimiento y las extensiones territoriales que comprenden aunado a la corta temporada de lluvias hace que la disponibilidad del agua sea cada vez menor. En el norte del territorio nacional, el agua de lluvia que se capta por escurrimiento es únicamente el 4% mientras que en el sureste y las zonas costeras se logra captar el 50% del escurrimiento.

A raíz de lo anterior, la atención se centró en la región norte del territorio nacional. Se evaluaron los estados con una situación hídrica más desfavorable y con base en criterios como la proyección de crecimiento demográfico, vulnerabilidad sísmológica y ciclónica y la geología del estado –considerando factores de suelo para construcción- se determinó que el estado de Sinaloa sería el más beneficiado con el proyecto que se propone, en particular, el municipio de Navolato.

Navolato es un municipio cercano a la capital del estado, cuyas características lo denotan adecuado para el emplazamiento de la planta, tanto por su situación demográfica actual,

con cerca de ciento treinta y cinco mil habitantes, como por el consumo per cápita de agua potable, además del amplio desarrollo industrial del estado.

Tomando en cuenta estos y otros factores se estableció como capacidad de producción de la planta desalinizadora la cantidad de cincuenta mil metros cúbicos diarios de agua desalinizada.

En el aspecto técnico el proyecto incluye diversas etapas, la ya descrita ingeniería conceptual, la ingeniería básica, algo de ingeniería de detalle, ingeniería de procura y las consideraciones de seguridad y tratamiento de efluentes.

En el apartado de ingeniería básica se trata lo concerniente a las bases de diseño, los diagramas de flujo del proceso y de tubería e instrumentación de la sección más importante del proceso, el balance de materia, el plano de localización general de equipos dentro de los límites de batería y por supuesto la descripción del proceso. En la ingeniería de detalle se incorpora el plano de los filtros de cartuchos, parte esencial del pre-tratamiento al que es sometida el agua de alimentación. Como ingeniería de procura presento una descripción de las clases de estimaciones de inversión que se pueden hacer para un proyecto de ingeniería, la cotización de los equipos de proceso y una comparación entre dos de los métodos que pueden ser utilizados en la clase cuatro de estimaciones y finalmente presento algunas consideraciones de seguridad y el tratamiento de los efluentes del proceso, principalmente la salmuera.

La evaluación de factibilidad arrojó resultados interesantes. A pesar de que se trata de un proyecto relativamente costoso (cercano a los cuarenta y dos millones de dólares), y teniendo a bien considerar los gastos y los impuestos que se puedan generar, se trata de una propuesta sumamente redituable no sólo en el aspecto económico, sino en el encuadre comunitario en que se desarrollaría; contribuiría a la activación de la economía del municipio, así como del estado, le brindaría a su población una seguridad y abastecimiento que se reflejarían en su propio beneficio y monetariamente hablando es un proyecto cuyo valor actual a diez años sería cerca de 4 millones de dólares mayor y cuya inversión inicial se recupera en un período no superior a los siete años, considerando que la vida útil del proyecto es aproximadamente veinte años.

A lo largo de la realización de los documentos pertinentes para cada una de los apartados la reminiscencia fue la misma, aún cuando el proyecto representa un reto tecnológico para

nuestra ingeniería, ya que aunque en muchos lugares del mundo ya se aplica exitosamente, nosotros incursionaríamos en la materia, se presenta como una apuesta firme de solución a los problemas de abastecimiento que actualmente padecemos y cuya tendencia tiende al agravio, como un aporte significativo al necesario plan hidrológico nacional, como opción óptima de comunión entre la explotación de los recursos naturales existentes en nuestro país y su cuidado y conservación, y como una alternativa de impactos ambientales en la descarga que pueden ser reducidos a niveles no significativos.

Incuestionable es el hecho de que el agua es no sólo esencial para la supervivencia biológica, empero una condición necesaria para el desarrollo y la sustentabilidad de una economía y su estructura social, haciendo posible que la sociedad exista y coexista. Más aún, la dependencia en la sobre explotación de los recursos naturales y/o zonas remotas ha dejado de ser una opción a considerar, por tanto hay que promover procesos que involucren la producción y conservación de nuestros recursos naturales y cuyo impacto sobre el medio ambiente de la región sea mínimo.

Proporcionar proyectos como el que aquí se presenta contribuye con soluciones complementarias a las medidas que es imperante se pongan en práctica en un plan hidrológico nacional que requiere de nuestra completa atención y ocupación.

# ANEXOS

## Apéndice A

Lista de Referencias de requerimientos energéticos en los procesos de desalinización (KWh/m<sup>3</sup>)

- A. R.V. Wahlgren, Wat. Res. 35 (2001) 1.
- B. L. Awerbuch, Proc. IDA World Congress on Desalination and Water Reuse, Madrid, 4 (1997)181.
- C. M.A. Darwish; N.M. Al-Najem, Applied Thermal Engineering 20 (2000) 399.
- D. K.S. Spiegler and Y.M. El-Sayed, A Desalination Primer, Balaban Desalination Publications, Santa Maria Imbaro, Italy (1994).\* Energy for small portable systems.
- E. K.E. Thomas, NREL report TP-440-22083 (1997).
- F. O.K. Buros, "The ABCs of Desalting, Second ed." International Desalination Association, Topsfield, Mass, 2000.
- G. L. Awerbuch, Proc. Intl. Symposium on Desalination of Seawater with Nuclear Energy, IAEA (1997) 413.
- H. H.M. Ettouney, H.T. El-Dessouky, I. Alatiqi, Chemical Engineering Progress, September 1999, 43.
- I. F. Mandani, H. Ettouney, H. El-Dessouky, Desalination 128 (2000) 161.
- J. F. Al-Juwayhel, H. El-Dessouky, H. Ettouney, Desalination (1997) 253.
- K. S.E. Aly, Energy Conversion and Management 40 (1999) 729.
- L. J.M. Veza, Desalination 101 (1995) 1.
- M. M. Al-Shammiri, M. Safar, Desalination 126 (1999) 45.
- N. V. Dvornikov, Desalination 127 (2000) 261 – base case from Table 3.
- O. M. Memicioglu, N. Kabay, E. Ersoz, I. Kurucaovali, C. Safak, N. Gizli, Desalination 136 (2001) 317.
- P. G.G. Pique, Water Conditioning and Purification, July 2000.

- Q. M. Wilf, K. Klinko, *Desalination* 138 (2001) 299.
- R. P. Glueckstern, A. Thoma, M. Priel, *Desalination* 139 (2001) 217.
- S. R. Rautenbach, K. Vosenkaul, *Separation and Purification Technology* 22 (2001) 193.

## Apéndice B

### Lista de Referencias de costos de desalinización (USD/m<sup>3</sup> de agua potable)

- A. R. Semiat, *Water International* 25 (2000) 54.
- B. J. Bednarski, M. Minamide, O.J. Morin, Proc., IDA World Congress on Desalination and Water Science, Madrid, 1 (1997) 227.
- C. G. Kronenberg, Proc., IDA World Congress on Desalination and Water Science, Abu Dhabi, 3 (1995) 459.
- D. O.K. Buros, "The ABCs of Desalting, Second ed." International Desalination Association, Topsfield, Mass, 2000.
- E. F.I.A. Cortes and A.M. Dominguez, *Ingenieria Hidraulica En Mexico* 15 (2000) 27.
- F. K.S. Spiegler and Y.M. El-Sayed, *A Desalination Primer*, Balaban Desalination Publications, Santa Maria Imbaro, Italy (1994).
- G. R.V. Wahlgren, *Wat. Res.* 35 (2001) 1.
- H. O.J. Morin, *Desalination* 93 (1993) 343.
- I. G. Hess and O.J. Morin, *Desalination* 87 (1992) 55 – updated to 1997 \$ in Al-Juwayhel, H. El-Dessouky, H. Ettouney, *Desalination* (1997) 253.
- J. E. Drioli, F. Lagana, A. Criscuoli, G. Barbieri, *Desalination* 122 (1999) 141.
- K. T.M. Leahy, *Int. Desalination and Water Reuse* 7 (1998) 2832.
- L. J.S. Taylor and E.P. Jacobs in *Water Treatment Membrane Processes*, Mallevalle, Odendaal, Wiesner, eds. McGraw-Hill, New York (1996).
- M. Z. Zimmerman, *Desalination* 96 (1994) 51.
- N. "Survey of U.S. Costs and Water Rates for Desalination and Membrane Softening Units" U.S. Bureau of Reclamation Desalination and Water Purification Research and Development Program Report No. 24, July, 1997. 26
- O. V. Dvornikov, *Desalination* 127 (2000) 261.
- P. Y.M. El-Sayed, *Desalination* 125 (1999) 251.



- Q. J.A. Redondo, *Desalination* 138 (2001) 29.
- R. G. F. Leitner, *Desalination* 81 (1991) 39.
- S. A. Malek, M.N.A. Hawlader, J.C. Ho, *Desalination* 105 (1996) 245.
- T. P. Glueckstern, M. Priel, *Desalination* 119 (1998) 33.
- U. M. Wilf, K. Klinko, *Desalination* 138 (2001) 299.
- V. D.L. Brown, *Desalination and Water Reuse Quarterly* 6 (1996) 20. \* Capital costs not included.
- W. G. Leitner, *Desalination* 102 (1995) 199.

# GLOSARIO

## Glosario de términos

<b>Agua bruta</b>	Agua que todavía no ha sido sometida a ningún tratamiento y que se transporta a una instalación para su acondicionamiento para usos posteriores.
<b>Agua de mar</b>	Es salada por la concentración de sales minerales disueltas que contiene, un 35‰ (3,5%) como media, entre las que predomina el cloruro sódico.
<b>Agua salobre</b>	Se llama agua salobre al agua que tiene más sal disuelta que el agua dulce, pero menos que el agua de mar. Técnicamente se considera agua salobre a la que posee entre 0.5 y 30 gramos de sal por litro, expresado más frecuentemente como de 0.5 a 30 partes por mil.
<b>Ánodo</b>	Electrodo positivo de una célula electrolítica hacia el que se dirigen los iones negativos dentro del electrolito.
<b>Balance de materia</b>	La constatación de la ley de la conservación de la materia, que indica que la masa de un sistema cerrado permanece constante, sin importar los procesos que ocurran dentro del sistema.
<b>Bases de diseño</b>	El conjunto de condiciones, necesidades, y requisitos que se deben tener en cuenta al diseñar una planta, proceso o producto.
<b>Biocida</b>	Se aplica a una sustancia química que destruye algunos animales o detiene su desarrollo.
<b>Cátodo</b>	Electrodo negativo de una célula electrolítica hacia el que se dirigen los iones positivos dentro del electrolito.
<b>Compresión de vapor (CV)</b>	El mecanismo principal es similar al DEM, excepto que esta basado en la compresión del vapor generado por medio de la evaporación del agua a una presión mayor; lo cual permite la reutilización del vapor para fines de calentamiento en el proceso.
<b>Corrosión</b>	Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.
<b>Costos de inversión</b>	Son costos contraídos en la compra de tierra, los edificios, la construcción y el equipo para ser utilizados en la producción de bienes o la prestación de servicios. Es decir, el coste total necesario para traer un proyecto a un estatus comercialmente

---

	operable. Sin embargo, no están limitados a la construcción inicial de una fábrica ni otro negocio.
<b>Costos de operación</b>	Gastos periódicos relacionados a la operación de un negocio u operación de algún aparato, dispositivo, componente o planta. Caen en dos grandes categorías: costos fijos y costos variables.
<b>Criterios de diseño</b>	Los principios y prácticas a ser aplicados en el diseño de sistemas, equipos y plantas de manera que se logre el desempeño necesario o requerido, y la estandarización dentro y entre los sistemas o procesos semejantes.
<b>Cuenca hidrográfica</b>	Una cuenca hidrográfica es entonces la superficie de drenaje natural, donde convergen las aguas que fluyen a través de valles y quebradas, formando una red de drenajes o afluentes que alimentan a un desagüe principal, formando un río.
<b>Desalinización</b>	Proceso de separación de la sal del agua del mar o de las aguas salobres, para hacerlas potables o útiles para otros fines.
<b>Desfogue</b>	Sistema de seguridad y protección de los principales equipos de proceso, el cual permite la apertura de válvulas de seguridad en escenarios críticos para mantener la integridad de los equipos y evitar accidentes mayores.
<b>Destilación</b>	El agua de entrada se cambia de estado, de líquido a vapor. Es un proceso de desalinización donde el agua de alimentación es convertida a vapor, para luego ser condensado para la producción de agua producto con un bajo contenido de sales.
<b>Destilación de efectos múltiples (DEM)</b>	Una forma de la destilación. Los evaporadores están en la serie, y en el vapor de una serie es utilizado para evaporar agua en el próximo. Esta tecnología está en varias formas, uno del más común de que es el evaporador de tubo vertical (VTE).
<b>Diagrama de flujo de proceso (DFP)</b>	Es un diagrama utilizado comúnmente en ingeniería química e ingeniería de procesos para indicar el flujo general del proceso y la sucesión de equipos dentro de una planta. Representa las relaciones entre los equipos de proceso más importantes, pero no muestra detalles menores como detalles de tuberías y sus denominaciones.

---

<b>Diagrama de tubería e instrumentación (DTI)</b>	<p>Esquema que muestra la interconexión de los equipos de proceso y la instrumentación que controla el proceso. En la industria del proceso, un conjunto estándar de símbolos utilizado para preparar los diagramas de procesos. Los símbolos del instrumento utilizados en estos esquemas son basados generalmente en la Instrumentación, en los Sistemas, y en la Sociedad de la Automatización (ISA) Estándar S5.1.</p> <p>El dibujo esquemático primario utilizado para el plano una instalación del control del proceso.</p>
<b>Electrodiálisis (ED)</b>	<p>Un proceso de la desalinización por el cual una corriente eléctrica es utilizada para apartar sal e impurezas en el agua de toma. La mayor parte de las impurezas en el agua están presentes de forma ionizada (cargadas eléctricamente) que conduce la corriente eléctrica. Cuando voltaje aplicado es alto, las impurezas emigran hacia los electrodos positivos y negativos, y el área intermedia se convierte agua producto purificada. Esta tecnología es utilizada para aguas salobres, pero no está actualmente disponible para la desalinización agua de mar en una escala comercial.</p>
<b>Electrodo</b>	<p>Un electrodo es un conductor eléctrico utilizado para hacer contacto con una parte no metálica de un circuito, como un semiconductor, un electrolito o con el vacío.</p>
<b>Escalamiento</b>	<p>Depósitos salinos en el interior de las superficies de una planta desalinizadora.</p>
<b>Evaporación instantánea multi-etápica (EIM)</b>	<p>Una forma de destilación. El agua de entrada es presurizada y calentada. Posteriormente se descarga en una cámara que se mantiene ligeramente por debajo de la presión de saturación del vapor de agua, y una fracción del contenido de agua se evapora. El vapor se condensa después en una superficie exterior, se entuba y se convierte en agua producto. La salmuera que no evaporó entra a una segunda cámara donde se evapora parte de la corriente a vapor a una temperatura menor que la anterior. A cada evaporación y condensación se le da el nombre de etapa.</p>

<b>Hojas de datos (HD)</b>	Compendio de las características técnicas y de proceso de un equipo. Se reporta información de las corrientes, las temperaturas, los materiales de construcción, los códigos a seguir (ej. ASME) y notas u observaciones adicionales.
<b>Incrustaciones</b>	Formación de depósitos muy adherentes a la superficie rugosa del conducto. Los problemas asociados a estos depósitos se traducen en la pérdida de eficiencia del sistema por pérdida de la transferencia de calor, menor producción de vapor por unidad de tiempo, mayor consumo de insumos, y corrosión en los equipos. Dichas incrustaciones se sitúan en cualquier parte del sistema, de preferencia en ductos y cañerías. Dentro de las especies químicas encontramos al calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe) asociados a aniones de tipo sulfatos (SO <sub>4</sub> ), carbonatos (CO <sub>3</sub> ) y sílices amorfas. Las especies más adherentes y compactas son los Silicatos de Magnesio, los carbonatos y luego los sulfatos, en ese mismo orden.
<b>Ingeniería básica</b>	El objetivo principal de ingeniería básica es el de desarrollar e implementar herramientas que permitan operar en forma segura y consistente los equipos en planta, maximizando la capacidad y la calidad de la producción y reduciendo los costos de fabricación.
<b>Ingeniería conceptual</b>	Plan o resumen que resulta de los trabajos preliminares y selección de la mejor opción y la mejora en la precisión de los estimados de costos, que son necesarios para desarrollar la fase de planificación del proyecto de una edificación y solicitar los fondos para ejecutar las actividades que permitan obtener el estimado de costo
<b>Ingeniería de detalle</b>	Fase de la ingeniería que sucede a la ingeniería básica y que se da una vez que se ha aprobado el proyecto. Proporciona especificaciones y diagramas de construcción que detallan todos los aspectos ingenieriles para la construcción del proyecto.
<b>Ingeniería de procura</b>	Consiste en el análisis y selección de las mejores opciones de compra de entre las diversas alternativas o propuestas que se puedan tener. Incluye aspectos como la selección y compra, con base en las especificaciones de las hojas de datos, de los equipos

	de proceso y servicios auxiliares. También se encarga de manejar y coordinar la logística concerniente a los productos comprados.
<b>Membrana de semipermeable</b>	Se trata de una membrana que permite el paso preferencial de ciertas sustancias presentes en una disolución frente a otras. La parte que ha atravesado la membrana se conoce como permeado y la que no es el rechazo. Permite lograr una separación diferencial de unas sustancias frente a otras. Para que el paso de sustancias a través de la membrana se produzca, es necesario la presencia de una fuerza impulsora entre ambos lados de la membrana, la cual puede ser de diferente naturaleza: diferencia de presión, diferencia de concentración, potencial eléctrico, etc. Una vez establecido el flujo, el diferente grado de paso de unas sustancias respecto de otras se produce por criterios físicos (tales como el tamaño del poro) o químicos (como la solubilidad y difusión en la membrana, etc.).
<b>MSDS</b>	Información que obligatoriamente debe acompañar a cualquier químico en el lugar de trabajo, excepto para compuestos como enseres de limpieza. Incluye información como precauciones, riesgos, y procedimientos de primeros auxilios asociados con el químico del que se trate.
<b>Ósmosis inversa (OI)</b>	El proceso de la ósmosis inversa utiliza una membrana semipermeable para separar y para quitar los sólidos disueltos, los orgánicos, los pirogénicos, la materia coloidal submicro organismos, virus, y bacterias del agua. El proceso se llama ósmosis "reversa" puesto que requiere la presión para forzar el agua pura a través de una membrana, saliendo; las impurezas detrás. La ósmosis reversa es capaz de quitar 95%-99% de los sólidos disueltos totales (TDS) y el 99% de todas las bacterias, así proporcionando un agua segura, pura.
<b>Periodo de recuperación del capital (PRC)</b>	Es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial.

---

<b>Permeabilidad</b>	Capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Se dice que un material es permeable si deja pasar a través de él una cantidad apreciable de fluido en un tiempo dado, e impermeable si la cantidad de fluido es despreciable.
<b>Plano de localización general (PLG)</b>	Representación esquemática del arreglo de las diferentes áreas que conforman una planta, no es exclusivo de los equipos de proceso. Determina los criterios específicos que definirán los límites de batería. En éste documento generalmente se comprometen factores como: la separación de equipos para la minimización de costos y de riesgos, las limitaciones geográficas del terreno, relación lógica con el DFP, accesibilidad para servicios de emergencia y la operabilidad y mantenimiento, así como la interacción con la infraestructura existente en el lugar, carreteras, drenaje, etc.
<b>Presión osmótica</b>	Mínima presión necesaria para impedir el paso de las moléculas del disolvente puro hacia una disolución a través de una membrana semipermeable.
<b>Pre-tratamiento</b>	Acondicionamiento del agua bruta para facilitar los tratamientos propiamente dichos, y preservar la instalación de erosiones y taponamientos.
<b>Retorno de la inversión (ROI)</b>	Una medida del desempeño utilizado para evaluar la eficiencia de una inversión o para la comparación de la eficiencia de diferentes inversiones.
<b>Salmuera</b>	Agua con un alto contenido de sales. Las descargas procedentes de plantas desalinizadoras pueden contener trazas de los compuestos constituyentes del proceso de pre-tratamiento, además del alto contenido de sales de agua de mar.
<b>Servicios auxiliares</b>	Son todos aquellos insumos necesarios para correcta operación energética de una planta o proceso. Entre ellos se encuentran el vapor, agua (de enfriamiento, para caldera, de proceso, etc.), combustibles, refrigerantes, aire de instrumentos y de planta, energía eléctrica y gases inertes.

---



<b>Sólidos disueltos Totales (SDT)</b>	<p>Hace alusión a materia suspendida o disuelta en un medio acuoso.</p> <p>La determinación de éste parámetro mide específicamente el total de residuos sólidos filtrables (sales y residuos orgánicos) a través de una membrana con poros de 2.0 <math>\mu\text{m}</math> (o más pequeños).</p>
<b>Tasa interna de retorno (TIR)</b>	<p>Tasa Interna de Retorno.</p> <p>Es una herramienta de toma de decisiones de inversión utilizada para comparar la factibilidad de diferentes opciones de inversión. Generalmente, la opción de inversión con la TIR más alta es la preferida.</p>
<b>Tecnología de membrana</b>	<p>La membrana actúa como un filtro muy específico que dejará pasar el agua, mientras que retiene los sólidos suspendidos y otras sustancias. Hay varios métodos para permitir que las sustancias atraviesen una membrana.</p>
<b>Tensión hídrica</b>	<p>Se dice que un país experimenta tensión hídrica cuando el suministro anual de agua desciende a menos de 1.700 metros cúbicos por persona.</p>
<b>Valor presente neto (VPN)</b>	<p>Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros. El método descuenta además una determinada tasa o tipo de interés igual para todo el período considerado. La obtención del VPN constituye una herramienta fundamental para la evaluación y gerencia de proyectos, así como para la administración financiera.</p>

# REFERENCIAS

## Referencias

1. Medina, J.A., Desalación de Aguas Salobres y de Mar, Ósmosis Inversa, Editorial. Mundi-Prensa, 15-120, 2000.
2. Asociación Internacional de Desalación (IDA), World Wide Desalting Plants Inventory. Informes anuales correspondientes a los años 1992 y 1994.
3. Pankratz, Tom. An Overview of Seawater Intake Facilities for Seawater Desalination. Englewood, CA: CH2M Hill, Inc., 2004.
4. Lopez, Catalina, et al. Alternative Futures for the Region of Loreto, B.C.S. Mexico: Assessment of Impacts to the Marine Environment. San Diego, CA: Scripps Institution of Oceanography, 2006.
5. Glueckstern, Dr. Pinhas. Desalination: Current Situation and Future Prospects. Israel: Bar-Ilan University, 2004.
6. U.S. Bureau of Reclamation and Sandia National Laboratories. The Desalination and Water Purification Technology Roadmap – A Report of the Executive Committee. Denver, CO: Bureau of Reclamation, Denver Federal Center – Water Treatment Engineering & Research Group, 2003.
7. Energy Recovery, Inc. 1 agosto, 2006.  
[http://www.energyrecovery.com/stage/homepage/home\\_page\\_ek\\_2.php4](http://www.energyrecovery.com/stage/homepage/home_page_ek_2.php4)
8. Wangnick, Klaus. Present Status of Thermal Seawater Desalination Techniques. 2004  
[http://www.idswater.com/Common/Paper/Paper\\_51/Present%20Status%20of%20Thermal%20Seawater%20Desalination.htm](http://www.idswater.com/Common/Paper/Paper_51/Present%20Status%20of%20Thermal%20Seawater%20Desalination.htm)
9. Marin Municipal Water District. Desalination: Understanding and Managing Energy Use. Corte Madera, CA: MMWD, 2006.
10. Gagliardo, P., S. Adham, R. Trussel, and A. Olivieri. 1998. Water Purification via Reverse Osmosis... Desalination 117: 73.78.

11. K.S. Spiegler and Y.M. El-Sayed, A Desalination Primer, Balaban Desalination Publications, Santa Maria Imbaro, Italy, 1994.
12. G.A. Pittner in *Reverse Osmosis*, Z. Amjad, ed. Chapman Hall, New York (1993).
13. James E. Miller, Review of Water Resources and Desalination Technologies, SAND REPORT, SAND 2003-0800, Unlimited Release, March 2003
14. Capacidad Plantas potabilizadoras  
  
[http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Publicaciones/InventarioNacional/pp\\_general02.pdf](http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Publicaciones/InventarioNacional/pp_general02.pdf)
15. Estadísticas de Crecimiento Poblacional  
  
<http://www.inegi.gob.mx/est/default.aspx?c=6789>
16. Precios del Agua  
  
<http://www.cna.gob.mx>
17. Disponibilidad de Agua:  
  
<http://www.cna.gob.mx>
18. Riesgos Geológicos, peligro sísmico:  
  
<http://atl.cenapred.unam.mx/website/RiesgosGeologicos/PeligroSismico/viewer.htm>
19. Riesgos Geológicos, Epicentros Sísmicos  
  
<http://atl.cenapred.unam.mx/website/RiesgosGeologicos/Sismos/viewer.htm>
20. Precipitación Pluvial Media y Temperaturas Máximas y Mínimas en el País  
  
<http://www.cna.gob.mx>
21. Actividad Ciclónica  
  
<http://atl.cenapred.unam.mx/website/RiesgosHidrometeorologicos/TrayectoriasOceanicasAP/viewer.htm>
22. Datos Poblacionales

<http://www.inegi.gob.mx/est/default.aspx?c=6789> resultados definitivos de cada uno de los estados.

[http://www.inegi.gob.mx/lib/olap/general\\_ver3/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=10404](http://www.inegi.gob.mx/lib/olap/general_ver3/MDXQueryDatos.asp?#Regreso&c=10404)

<http://www.inegi.gob.mx/est/contenidos/espanol/rutinas/ept.asp?t=mpob93&c=3839&e=25>

[http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Publicaciones/InventarioNacional/pp\\_general02.pdf](http://www.cna.gob.mx/eCNA/Espaniol/Publicaciones/InventarioNacional/pp_general02.pdf)

### 23. Profundidad del Suelo

[http://mapserver.inegi.gob.mx/map/datos\\_basicos/edafologia/?c=527](http://mapserver.inegi.gob.mx/map/datos_basicos/edafologia/?c=527)

24. Design; Updated Rules for Pipe Sizing; Alejandro Anaya Durand; Chemical Engineering; May 1999; p 153-156.

25. Rules of Thumb: Selecting and designing equipment; Stanley M. Walas; University of Kansas; Chemical Engineering; March 1987; p 75-81.

26. Engineering Practice; Heuristics Rules for Process Equipment; Alejandro Anaya Durand; Chemical Engineering; October 2006; p 44-47.

27. J.T. Wimpenny; Managing water scarcity for water security; document elaborated for FAO.

28. The pros and cons of reverse osmosis desalination: <http://greennature.com/article69.html>

29. Andreas Gorenflo, Jorge Andrés Redondo, et al; Inovaciones tecnológicas en la ósmosis inversa de agua de mar; IV Congreso Nacional AEDyR; Las palmas de Gran Canaria; 2003

30. Tamim Younos, Kimberly E. Tolou; Overview of Desalination Techniques; Journal of contemporary water research and education; December 2005.

31. URS; Introduction to desalination techniques in Australia; September 2002

32. Horst Jürgen Kröber; Técnicas inovativas de desalinización de aguas de mar y salobres; Congreso ambiental 2000.
33. Olga Barron; Desalination options and their posible implementation in Western Australia; CSIRO; September 2006.
34. Juan J. Martínez de la Vallina; Impacto ambiental de la desalación; ACUAMED; octubre 2006
35. Manuel Latorre; Costes económicos y medio ambientales de la desalación de agua de mar; IV Congreso Ibérico de Gestión y Planificación del agua; Tortosa; 2004.
36. Carlos Vicente Caballero; Descripción del funcionamiento de la desaladora de agua de mar del canal de alicante; DYNA; 2005.
37. Raphael Semiat; Desalination present and future; Water Research Institute; Haifa, Israel; 2000.
38. Antonio Lamela; Desalinización o desalación de agua de mar; Junio 2004.
39. Ramiro Luján; Tecnologías Alternas De Desalación Del Acuífero De Bolsón Del Huevo Para El Abastecimiento De Agua Potable A Ciudad Juárez, Chih.; Septiembre 2005.
40. Antonio Ruiz Mateo; Los vertidos al mar de las plantas desaladoras; Centro de Estudios de puertos y costas CEDEX; Ministerio de Medio Ambiente; enero 2007.
41. Sistemas de agua dulce, inventarios de los sistemas; Julio 2002.
42. A.M. Hassan, A.T.M. Jamaluddin; Investigating intake systems effectiveness with emphasis on self-jetting well point beachwell system; SWCC; Kingdom of Arabia Saudi; 1998.
43. José Francisco Santiago Fernández; Nota Técnica: Aspectos importantes a tener en cuenta en relación con la toma para la captación de agua para plantas desaladoras; Ingeniería Hidráulica y Ambiental; 2004.
44. Alejandro Anaya Durand; Implantación de Equipos en plantas petroquímicas, recomendaciones para el diseño del Plot- Plan; Ingeniería Química; Mayo 1998.

45. Directrices de la OMS para la calidad del agua potable; Génova; 1993,

46. Cotización de Equipos:

<http://www.matche.com/EquipCost/index.htm>