

50521
26



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

"ESTUDIO DE INGENIERIA PARA LA PRODUCCION DE
AGUA POTABLE Y EL TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS
EN PLATAFORMAS MARINAS".

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
GUERRERO AVILA) ELOISA

ASESOR DE TESIS: ING. HELADIO GOMEZ MURAT



MEXICO, D. F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/054/03

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: GUERRERO AVILA ELOISA
P r e s e n t e.

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

PRESIDENTE	I.Q. Réne de la Mora Medina
VOCAL	I.Q. Heladio Gómez Murat
SECRETARIO	Biol. King Díaz Roberto
SUPLENTE	Biol. Ma. Eugenia Ibarra Hernández
SUPLENTE	I.Q. Gómez González Ángel

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A t e n t a m e n t e
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”
México, D.F., 20 de Mayo del 2003.

EL JEFE DE LA CARRERA

M. EN C. ANDRES AQUINO CANCHOLA

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

DEDICATORIAS.

Por la satisfacción de haber terminado la Licenciatura dedico esta tesis a:

A Dios.

Por que creo en él.

A Mis Padres.

Por que es un triunfo para ellos al esfuerzo que realizaron y sobre todo por su cariño.

¡Los Quiero Mucho!

A Mis Hermanos.

Por el apoyo y confianza que depositaron en mi.

¡Son lo Máximo!

A Mis Amigos.

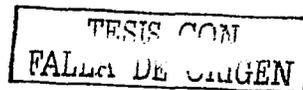
Por todos los momentos que hemos compartido juntos y la amistad que nos une.

¡Gracias por ser así!

Al Ing. Heladio Gómez Murat.

Por haber compartido sus conocimientos en la culminación de este trabajo y al apoyo brindado.

¡Muchas Gracias!



AGRADECIMIENTOS.

Al H. Jurado.

Por formar parte de este trabajo.

Al IMP y en especial al área de Ingeniería de Sistemas Hidráulicos.

Por apoyar mi desarrollo profesional.

A Mis Profesores.

Por su labor de enseñanza.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza.

Por los momentos de estudiante.

¡Gracias!

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INDICE GENERAL.

Lista de Tablas.	1
Lista de Figuras.	2
Nomenclatura.	3
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVO.	6
ANTECEDENTES.	7
DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO	8
CAPITULO I	
GENERALIDADES.	
1. Localización de la Sonda de Campeche.	9
1.1. Historia de las Plataformas Marinas.	10
1.2. Clasificación de las Plataformas Marinas.	10
❖ Clasificación de acuerdo a su Función.	11
❖ Clasificación de acuerdo a su Estructura.	13
1.3. Propiedades y Características del Agua de Mar.	16
1.4: Clasificación de los Contaminantes del Agua.	22
❖ Contaminantes Químicos.	22
❖ Contaminantes Físicos y Organolépticos.	30
❖ Contaminantes Biológicos.	32
CAPITULO II.	
POTABILIZACIÓN DE AGUA DE MAR.	
2. Potabilización de Agua de Mar.	34
2.1. Procesos de Potabilización de Agua de Mar.	35
2.1.1. Procesos Térmicos.	36
2.1.2. Procesos de Membranas.	39
2.1.3. Procesos Menores.	42
2.2. Comparación de los Procesos de Potabilización de Agua de Mar.	43
2.3. Análisis Comparativo de los Sistemas de Potabilización de Agua de Mar.	65
2.4. Criterios para la Selección del Sistema de Potabilización.	70

CAPITULO III.

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS.

3.	Plantas de Tratamiento de Aguas Negras.	71
3.1.	Procesos de Tratamiento de Aguas Negras Disponibles.	72
3.2.	Efecto de los Detergentes en el Tratamiento de Aguas Negras.	77
3.3.	Comparación de los Equipos de Tratamiento de Aguas Negras.	79
3.4.	Criterios para la Selección del Proceso.	89

CAPITULO IV

**REQUERIMIENTOS DE AGUA POTABLE Y TRATAMIENTO DE
AGUAS NEGRAS EN UNA PLATAFORMA HABITACIONAL.**

4.	Requerimientos para el equipo de Agua Potable y Tratamiento de Agua Negras en las Plataformas Marinas.	95
4.1.	Requerimiento de Agua por Habitante.	95
4.2.	Requerimiento de Agua Potable en una Plataforma Habitacional.	98
4.3.	Flujo de Entrada.	98
4.4.	Porcentaje de Distribución de Agua Potable	99
4.5.	Cálculo de la Eficiencia de Remoción de Contaminantes de la Potabilizadora.	101
4.6.	Balance de Aguas Negras	103
4.7.	Características de los Efluentes.	103
4.8.	Cálculo de la Eficiencia de Remoción de Contaminantes de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras.	105

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 107

ANEXOS. 109

GLOSARIO. 135

BIBLIOGRAFIA. 142

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Lista de Tablas.

Tabla No.	Descripción	Página
I-1	Propiedades Físicas y Químicas del Agua.	21
I-2	Concentración Típica del Agua de Mar en Instalaciones Marinas.	21
II-1	Cuadro Comparativo de las Principales Variables de Proceso y Operación de las Plantas más comunes de Potabilización de Agua de Mar.	43
II-2	Características de una Planta de Compresión Mecánica de Vapor para Distintas Capacidades.	46
II-3	Por ciento de Recuperación en función de la Presión Osmótica.	48
II-4	Condiciones de Operación para Membranas Utilizadas con Agua de Mar.	50
II-5	Características de Operación para un Sistema de Ósmosis Inversa de un paso, empleando Diferentes tipos de Membranas	51
II-6	Características de Operación para un Sistema de Ósmosis Inversa de dos pasos, empleando diferentes tipos de Membranas.	52
II-7	Características de una Planta de Ósmosis Inversa para Distintas Capacidades.	53
II-8	Ventajas y Desventajas del Proceso de Ósmosis Inversa.	59
II-9	Ventajas y Desventajas del Proceso de Compresión Mecánica de Vapor.	61
III-1	Ventajas y Desventajas del Proceso de Aireación Extendida.	86
III-2	Ventajas y Desventajas del Proceso Electrolítico.	87
III-3	Ventajas y Desventajas del Proceso Electromecánico (Oxidación Avanzada).	88
IV-1	Consumo Promedio de Agua por Habitante	95
IV-2	Coefficiente de Variación.	96
IV-3	Requerimientos de Agua Potable en la Plataforma Habitacional.	98
IV-4	Porcentaje de Distribución de Agua Potable.	99
IV-5	Niveles de Remoción de Contaminantes de la Planta Potabilizadora de Agua de Mar.	101
IV-6	Características de los Efluentes.	104
IV-7	Niveles de Remoción de Contaminantes de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras.	105

**TESIS CON
FALLA DE CALIDAD**

Lista de Figuras y Diagramas.

Figura No.	Descripción	Páginas.
I-1	Mapa de la Localización de la Sonda de Campeche.	9
I-2	Complejo de Producción y Tipos de Plataformas.	14
II-1	Dispositivo de Potabilización de Agua de Mar.	34
II-2	Capacidad de Potabilización de Agua de Mar en el Mundo por Proceso a gran escala.	35
II-3	Diagrama de funcionamiento de una Planta de Destilación por Evaporación Instantánea Multietapa MSF. (International Desalination Association, 1988).	36
II-4	Esquema de Operación de una Planta de Evaporación Multifecto MED. (International Desalination Association, 1988).	37
II-5	Esquema de Funcionamiento de una Planta de Compresión de Vapor. (International Desalination Association, 1988).	38
II-6	Principio de Operación en Procesos de Membranas. (International Desalination Association, 1988).	39
II-7	Esquema de Funcionamiento Básico de un Proceso de Electrodialisis. (International Desalination Association, 1988).	40
II-8	Arreglo de Componentes Asociados a un Proceso de Electrodialisis. (International Desalination Association, 1988).	40
II-9	Esquema de un Proceso de ósmosis Inversa. (International Desalination Association, 1988).	41
II-10	Esquema de un Proceso de Humidificación Solar. (International Desalination Association, 1988).	42
II-11	Diagrama de Flujo de un Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Termocompresión	44
II-12	Ejemplificación del Procesos de Ósmosis Inversa	47
II-13	Estructura de una Membrana de Poliamida	48
II-14	Diagrama de Flujo de Proceso del Sistema de Potabilización de Ósmosis Inversa.	52
II-15	Fotografía de un Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Ósmosis Inversa.	54
III-1	Esquema No.1 Proceso para el Tratamiento de Aguas Negras.	76
III-2	Esquema No.2 Esquema de Flujo de Proceso Tratamiento Electrolítico.	83
III-3	Esquema No. 3 Esquema de Flujo de Proceso Tratamiento Electromecánico (Oxidación Avanzada).	84
III-4	Esquema No. 4 Homogeneización de Aguas Negras y Aguas Grises.	90
III-5	Esquema No.4 Segregación de Corrientes	93
III-6	Esquema No. 5 Esquema de Flujo de Procesos del Tratamiento de Aguas Grises. (Proceso Físico-Químico).	94
IV-1	Distribución de Agua dentro de una Plataforma Marina.	100
IV-2	Diagrama de Flujo de una Planta Potabilizadora de Agua de Mar.	102
IV-3	Diagrama de Flujo de la Remoción de Contaminantes de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras.	106

Nomenclatura.

Símbolo	Descripción.
CVD	Coefficiente de Variación Diaria
CVH	Coefficiente de Variación Horario
Q_{ARP}	Flujo de Rechazo de la Potabilizadora.
Q_{AG}	Flujo de Aguas Grises.
Q_{AN}	Flujo de Aguas Negras
Q_{MD}	Gasto Máximo Diario.
Q_{MH}	Gasto Máximo Horario
Q_{EP}	Flujo Promedio de Entrada de Agua de Mar
Q_m	Gasto Medio Consumido por la Población.
Q_T	Flujo Total.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INTRODUCCIÓN.

La Explotación Petrolera Costa Fuera en México inicia en el año de 1958, con plataformas construidas e instaladas con tecnología extranjera.

Las Plataformas Marinas son un elemento importante para la Explotación Petrolera ya que cumplen con distintas funciones además de extraer y procesar mezclas Crudo-Gas para su envío a la tierra.

De acuerdo a las funciones que cada una de ellas realiza, se clasifican básicamente en cinco tipos:

- Plataforma de Producción.
- Plataforma de Compresión.
- Plataforma de Perforación.
- Plataforma de Enlace.
- Plataforma Habitacional.

Complementariamente a éstas existen de otros tipos de plataformas con funciones específicas. Estas son las de Telecomunicaciones, Inyección de Agua, de Rebombear y las que son utilizadas como Terminales para la Explotación del Crudo.

Todas estas Plataformas conforman un Complejo de Producción y Proceso en el cual labora personal de forma permanente o eventual dando como resultado la necesidad de contar con agua potable y realizar los tratamientos necesarios a las aguas negras que se generan ya pueden ser causa de daños ecológicos al ecosistema marino si no se cumple con los límites máximos permisibles de contaminantes que se encuentran establecidos dentro de las normas de control ambiental.

Para llevar a cabo estas operaciones, es necesario que las plataformas cuenten con Plantas de Potabilización de Agua y de Tratamiento de Aguas Negras para garantizar el suministro y abasto de estos servicios al personal que se encuentra laborando en las instalaciones.

De acuerdo a lo antes expuesto, el contenido de la tesis está enfocado a proporcionar la información de los procesos existentes así como los criterios para la selección (Condiciones de Operación, Cumplimiento con la Normatividad, Costo de Equipo, Facilidad para el manejo de los equipos, Dimensiones y Peso de los Equipos, Tiempo de Operación (Intermitente o Continuo), El tiempo de entrega de refacciones, Material de Construcción de los equipos y La especialización requerida por el personal operativo.) de los Procesos y Equipos que se encuentran disponibles en los mercados internacional y nacional utilizando tecnología de punta para optimizar la Potabilización y el Tratamiento de Aguas Negras dentro de estas plataformas y mejorar las condiciones en las cuales se encuentran operando en la actualidad.

Para llevar a cabo estas acciones, se debe realizar una comparación de todos los Procesos y Equipos estableciendo proponiendo sus Ventajas y Desventajas que puedan representar para las instalaciones de producción de hidrocarburos Costa fuera y garantizar un buen funcionamiento.

Asimismo se considera que las descargas deben cumplir con la Normatividad establecida por los convenios y/o tratados vigentes dentro de un marco legal de protección ambiental y así evitar un deterioro al Medio Ambiente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

OBJETIVO

El Presente trabajo tiene como Objetivo General la Evaluación de Tecnologías con la finalidad de seleccionar el mejor proceso y equipo para la Potabilización de Agua de Mar y el Tratamiento de Aguas Negras.

Para el cumplimiento de tal objetivo, se realizó un estudio de Tecnologías actuales de Potabilización de Agua y de Tratamiento de Aguas Negras aplicadas a las instalaciones de Producción de Hidrocarburos Costa Fuera, con base en el desarrollo de las siguientes actividades:

- Recopilación de la información sobre las tecnologías para los procesos y equipos de las Plantas Potabilizadoras y de Tratamiento de Aguas Negras disponibles en el mercado.
- Identificación, Análisis y Evaluación de Tecnologías y Procesos existentes de Plantas Potabilizadoras de Agua de Mar y Plantas de Tratamiento de Aguas Negras en Plataformas Marinas
- Proporcionar alternativas de los procesos y/o equipos adecuados para modificar las condiciones físicas, químicas y biológicas de las aguas negras de tal manera que se permita su libre disposición directa al mar.
- Identificar las ventajas y desventajas que existen dentro de los procesos para la Potabilización de Agua de Mar y el Tratamiento de Aguas Negras.
- Comparación de la Normatividad Nacional e Internacional correspondiente a las descargas de Aguas Negras al medio ambiente marino.

Lo anterior nos llevará a disponer de un documento que permita al estudiante de Ingeniería Química y al Ingeniero Químico conocer los principales procesos para Potabilización de Agua de Mar para consumo humano en instalaciones industriales costa fuera y para el Tratamiento de las aguas Negras que se generan en ellas.

ANTECEDENTES.

Con el propósito de garantizar la continuidad operativa en las Plantas Potabilizadoras de Agua de Mar y de Tratamiento de Aguas Negras localizadas en los Complejos de Producción de la Sonda de Campeche, con apego y cumplimiento a la Normatividad Nacional y Tratados Internacionales en materia de Protección e Impacto Ambiental, Petróleos Mexicanos (PEMEX) ha determinado la problemática bajo la cual se encuentran operando actualmente estos equipos.

Por consiguiente se describen los procesos que utilizan estas plantas y los problemas actuales en cada una de las instalaciones en particular.

La problemática en comento fue identificada a partir de la recopilación de la información disponible y las experiencias operativas, de Petróleos Mexicanos en este tipo de instalaciones.

Una vez acotada la problemática, se procede a su solución, para lo cual es necesario realizar una evaluación que proporcione información de los adelantos tecnológicos disponibles en el mercado, para cada uno de los procesos mencionados, adecuándolos a las instalaciones de Petróleos Mexicanos (PEMEX) y definir la necesidad de reemplazar o modernizar estos procesos, plantas y equipos según sea el caso, para lo cual se desarrolla el siguiente trabajo que tiene por título. **“Estudio de Ingeniería para la Producción de Agua Potable y el Tratamiento de Aguas Negras en Plataformas Marinas”** para la selección del mejor proceso.

Este estudio permite recomendar los Procesos y Equipos apropiados para los requerimientos de servicios (Potabilización de Agua de Mar y El Tratamiento de Aguas Negras) en las Plataformas Marinas, los cuales están aplicados a una Plataforma Habitacional tomando como base el número de habitantes, La cantidad de Agua Potable que se requiere así como la cantidad de Aguas Negras que se generan en la plataforma, y que en ambos casos se cumpla con lo estipulado por las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes.

Descripción del Trabajo.

Capítulo I.-

Generalidades.-

Se resumen los conceptos y definiciones para la Potabilización de Agua de Mar y el Tratamiento de Aguas Negras así como sus propiedades, características y contaminantes para que pueda considerarse potable al agua de mar o que después de un tratamiento el agua negra pueda ser dispuesta al mar.

Capítulo II.-

Potabilización de Agua de Mar. Revisión del Estado del Arte (State of the Art) de la Potabilización de Agua de Mar a nivel mundial. Se analizan los diferentes procesos y equipos disponibles en el mercado con tecnología de punta que se recomiendan para producir agua potable para consumo humano en una plataforma marina.

Capítulo III.-

Tratamiento de Aguas Negras Revisión del Estado del Arte (State of the Art) del Tratamiento de Aguas Negras que se generan en una plataforma marina y análisis de los diferentes procesos y equipos que son utilizados para cumplir con los límites permisibles establecidos por la normatividad oficial para su disposición al mar. Se plantean las recomendaciones de los procesos mas adecuados para realizar dichas operaciones.

Capítulo IV.-

Requerimientos de Agua Potable y Tratamiento de Aguas Negras en una Plataforma Habitacional.

En este capítulo se definen los requerimientos de agua potable en una instalación costa fuera para alojamiento humano. De los resultados obtenidos se procedió al establecimiento del proceso más adecuado considerando tanto el espacio como los servicios auxiliares disponibles en la Plataforma. Por otro lado se procedió a determinar los requerimientos de tratamiento de las aguas negras generadas en la Instalación, así como el proceso más adecuado para su tratamiento a fin de cumplir con los límites máximos permisibles que se establecen dentro de las Normas de Control Ambiental Nacionales e Internacionales.

Conclusiones y Recomendaciones.

Contiene las conclusiones y recomendaciones generales para la Identificación, Análisis y Evaluación de Tecnologías y Procesos apropiados para la Potabilización de Agua de Mar, así como para el Tratamiento de Aguas Negras en una Plataforma Marina.

CAPITULO I
GENERALIDADES.

- 1. Localización de la Sonda de Campeche.**
- 1.1. Historia de las Plataformas Marinas.**
- 1.2. Clasificación de las Plataformas Marinas.**
 - ❖ Clasificación de Acuerdo a su Función.
 - ❖ Clasificación de acuerdo a su Estructura.
- 1.3. Propiedades y Características del Agua de Mar.**
- 1.4. Clasificación de los Contaminantes del Agua.**
 - ❖ Contaminantes Químicos.
 - ❖ Contaminantes Físicos y Organolépticos
 - ❖ Contaminantes Biológicos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO I

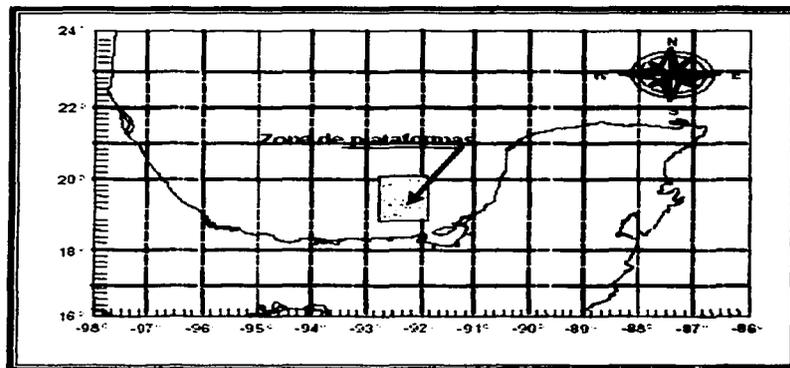
GENERALIDADES.

1. Localización de la Sonda de Campeche.

En México, la explotación de yacimientos de hidrocarburos costa fuera^{*}, inició en 1958 con la instalación de plataformas fijas de acero frente a la Barra de Santa Ana, Tabasco. En 1975 se llevó a cabo la perforación del primer pozo exploratorio denominado Chac-1 a 80 kilómetros al norte de Ciudad del Carmen, Campeche, (Fig. No. I-1). La perforación exploratoria así como los estudios geofísicos y la perforación de los pozos Akal y Nohoch, permitieron confirmar la existencia del yacimiento Cantarell. En 1977, con la perforación de los pozos Akal-1 y Bacab-1 se descubrieron 2 campos más. En 1979 se encontraba ya en explotación la Sonda de Campeche, con el pozo Cantarell-1A por medio del complejo de producción Akal-C integrado por una plataforma de perforación, una de enlace y una de producción, a las que posteriormente se le adicionaron una plataforma de compresión de gas y dos de producción.¹³

Figura No. I-1

Mapa de la localización de la Sonda de Campeche.



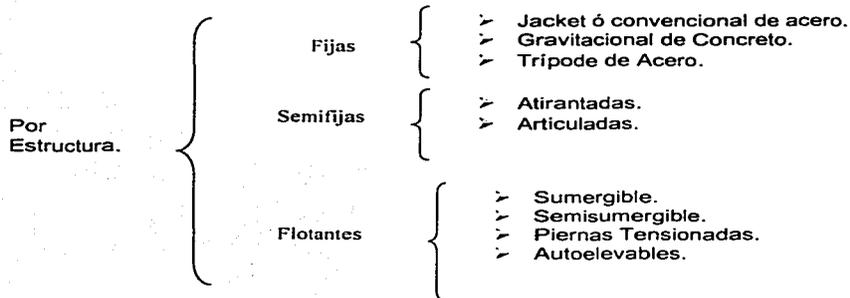
* El término Costa Fuera es un término petrolero y se refiere a la Exploración y Explotación de Hidrocarburos que se localizan en las regiones marinas.

El desarrollo Petrolero de La Sonda de Campeche ha sido un proceso dinámico que ha permitido instalar plataformas fijas de las cuales a continuación se describe la función específica y características de cada una de ellas en esta zona.

1.1. Historia de las Plataformas Marinas.¹⁸

La explotación marina en México se desarrolla con el uso de estructuras fijas, metálicas o de cemento hidráulico, denominadas Plataformas Marinas, las cuales deben de ser capaces de soportar todo el equipo necesario de perforación y producción para extraer y procesar crudo y gas del yacimiento.

1.2. Clasificación de las Plataformas.



❖ **Clasificación de acuerdo a su Función.**

➤ **Plataforma de Perforación.**

La plataforma de perforación aloja el equipo mediante el cual se perfora el pozo y tiene también como función colocar la tubería que permitirá explotarlo y el cabezal hacia donde se instalará más tarde la plataforma de producción.

Este tipo de plataforma dispone de 12 conductores de 30 pulgadas de diámetro, hincados a 60 m aproximadamente por debajo del fondo marino, así como de un equipo compuesto por varios paquetes de perforación.

La cubierta consta de dos niveles, uno de producción a 16 m sobre el nivel del mar y otro de perforación a 22 metros. Esta cubierta es soportada por 8 columnas, y se construye con traveses armados de placas, que unidas a la columna, forman marcos rígidos para disponer de mayor espacio, facilitando la instalación del equipo y el movimiento de tuberías, así como su fabricación y colocación. Aquí se localizan el equipo de perforación, los tanques de lodo, la maquinaria y el paquete habitacional.

El peso estimado de una plataforma de este tipo es de 3,000 toneladas, que incluye subestructura, pilotes y superestructura, sin el equipo de perforación.

➤ **Plataforma de Producción.**

Su función consiste en separar el gas del crudo y bombear este último a tierra. Está compuesta por:

Una subestructura metálica de 8 columnas (patas), fabricada en 4 ó 5 niveles, según la profundidad de instalación, que varía entre 40 y 60 metros.

Una superestructura que consta de dos niveles, soportada también por 8 columnas directamente acopladas a la subestructura.

Su peso estimado es de 3,600 toneladas, e incluyen además de la subestructura, pilotes y superestructura, el trípode – quemador y los puentes.

La plataforma de producción tiene acceso por puentes de enlace, tanto con la plataforma de perforación vecina, como con la plataforma de enlace.

➤ **Plataforma de Enlace.**

Para manejar la producción de las diferentes plataformas, es necesario instalar algunas de enlace, en las que se construyen los cabezales de recepción y envío de aceite crudo y gas.

A dichas plataformas llegan las líneas que recolectan el crudo con gas de las plataformas de perforación y lo distribuyen a las plataformas de producción para su procesamiento; también unen las líneas que recolectan el crudo con los oleoductos que los transportan a la tierra. A bordo de estas plataformas, se cuenta con instalaciones para lanzar y recibir tapones conocidos como "diablos", que sirven para limpiar el interior de las líneas.

➤ **Plataforma Habitacional.**

Está diseñada para otorgar la asistencia habitacional que requieren los trabajadores de los diferentes complejos de producción de crudo y gas.

Esta plataforma puede albergar de 45 a 127 personas y en la actualidad hasta 264 personas. Cuenta con helipuerto, sistemas de radiocomunicación, sistema contra incendio, sistema de potabilización de agua, planta de tratamiento de aguas negra, cocina, comedores, salas de recreación, biblioteca, plantas generadoras de energía eléctrica, clínica, gimnasio etc.

➤ **Plataforma de Comunicaciones.**

Su función es la de mantener la comunicación entre cada instalación de la Sonda, así como entre estas y la tierra.

➤ **Plataformas de Rebombéo.**

La función específica de este tipo de plataformas, colocadas en el punto medio entre las de enlace y las de tierra, es aumentar la presión y capacidad del transporte del crudo.

Se dispone en ellas de 8 turbinas de gas para accionar las bombas y 3 generadores con una capacidad de 550 KW cada uno, suficientes para satisfacer sus necesidades de energía eléctrica.

➤ **Plataforma de Compresión de Gas.**

Su función es suministrar al gas la presión necesaria para su transporte, así como su acondicionamiento, por ejemplo, el endulzamiento y deshidratación del gas amargo.

El gas comprimido es enviado a la plataforma de enlace. Para comprimir el gas dulce se cuenta en cada plataforma con 4 módulos de compresión, siendo la capacidad total de compresión de 360 millones de pies cúbicos por cada plataforma.

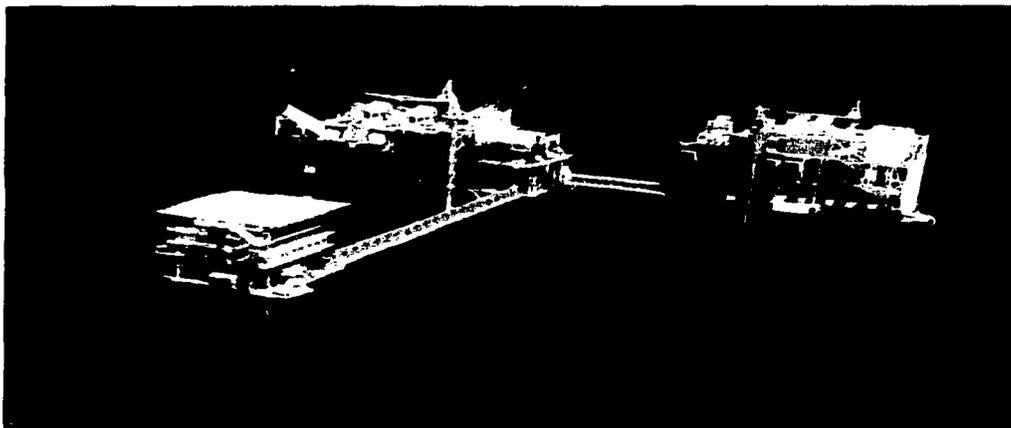
Los módulos de compresión, permiten aprovechar el 98% del gas natural, lo que evita quemarlo a la atmósfera. Los primeros módulos fueron colocados en el complejo Akal "C", en noviembre de 1981.

❖ **Clasificación de acuerdo a su Estructura.**

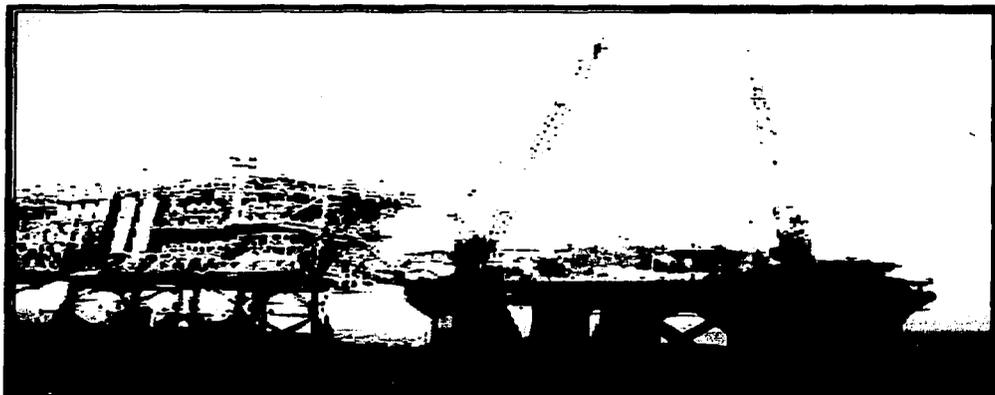
- **Fijas:** Son aquellas que operan en un solo lugar durante el transcurso de su vida útil.
- **Semifijas ó Flexibles:** Son estructuras esbeltas en las cuales su estabilidad está en función de cables anclados en el fondo marino, o mediante tanques de flotación en la parte superior.
- **Flotantes o Móviles:** Son aquellas que se pueden transportar, ya sea por medios propios o por ayuda externa (remolcadores, barcos ó cargueros) hasta el lugar donde operan y una vez finalizada su operación, se pueden llevar a otros sitios para ser reutilizadas nuevamente.

Fig. No. I-2 Complejo de Producción y Tipos de Plataformas.

Complejo de Producción.



Tipos de Plataformas Marina (Fija y Semifija).



Todas las instalaciones antes mencionadas, están "tripuladas", es decir, cuentan con una plantilla de personal que a su vez requiere de agua potable y servicios sanitarios. Estos servicios deben ser proporcionados dentro de la normatividad oficial vigente en cuanto a calidad de consumo o desecho.

Para que un agua sea considerada como potable, debe ser agradable al paladar y estar exenta de color, turbidez, sabor y olor. Debe poseer una temperatura moderada en verano e invierno, y estar suficientemente oxigenada, así mismo debe de cumplir con los límites máximos permisibles de calidad y tratamientos que se marcan dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994. (Anexo F)⁴¹

En el caso de una Plataforma Costa Fuera, lo más adecuado es que sea independiente en cuanto a la producción de agua potable, pues depender de terceros es arriesgar a los trabajadores y la operación continua de la instalación.

Es por ello que se definen y estudian los distintos procesos de desalación y potabilización existentes.

1.3. Propiedades y Características del Agua de Mar.

➤ Propiedades y Características Físicas del Agua de Mar.⁴³

Las propiedades y características físicas del agua de mar se pueden dividir en térmicas, mecánicas, eléctricas, acústicas, ópticas y radiactivas.

◆ Propiedades Térmicas

Las propiedades térmicas (Temperatura Crítica, Calor de Fusión, Calor de Vaporización, Calor Específico, Índice de Refracción) del agua de mar dependen del calor que absorbe de la radiación solar, así como de la cantidad de calor que posteriormente el mar regresa a la atmósfera. Por lo tanto el balance térmico se establece por la diferencia entre el calor ganado y el perdido, y este balance es casi estacionario en el océano en su conjunto, aunque puede variar en algunos mares en especial, según las diferentes latitudes donde se encuentran en el planeta: es mayor el calor en bajas latitudes y mayor la pérdida en altas.

Las características térmicas del agua de mar influyen sobre otras de sus propiedades, y se puede destacar que la temperatura interviene directamente en el movimiento de las masas de agua en el océano, por cambios de la densidad, disponiéndose las menos densas y calientes arriba y las más densas y frías abajo.

Otro ejemplo de la relación de la temperatura del agua de mar con sus características (sales disueltas) es el descenso de su temperatura de congelación, lo que ocasiona que en los polos se presente una temperatura inferior a los 0°C, congelándose y pasando al estado sólido, y debido a esto se van llenando poco a poco las cuencas oceánicas.

◆ Características Mecánicas.

Las propiedades mecánicas (Densidad y Presión) están determinadas por la Salinidad.

La Salinidad (g/Kg = S‰) El agua de mar es una solución compleja de gran número de iones, pero sobre todo está caracterizada por una alta presencia de cloruro sódico. En el mar encontramos como principales aniones, cloruros, carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y bromuros y como principales cationes, calcio, magnesio, potasio y sodio.

El 99% de las sales disueltas en el mar están formadas por cloro, sodio, magnesio, potasio, calcio, ion sulfato, ion bicarbonato y bromo. La salinidad influye en la densidad del agua, en la temperatura y el pH; parámetros que repercuten biológica y fisiológicamente en los seres vivos. Los cambios de salinidad tienen importancia en fenómenos de contaminación, pues al bajar la salinidad aumenta la toxicidad de determinados metales pesados como son el mercurio, el cobre, el cadmio, etc.⁸

La siguiente clasificación toma en cuenta el origen del agua y su salinidad relativa:³⁹

Aguas Salobres: Es una mezcla de aguas salinas con aguas dulces o aguas ligeramente salinas, con concentraciones de sal de 1,000 a 5,000 mg/l = ppm.

Aguas Moderadamente Salinas: Aguas de tierra interiores con concentraciones de sal de 2,000 a 10,000 mg/l = ppm de sólidos disueltos.

Aguas Fuertemente Salinas: Aguas de tierra interiores y costeras con concentraciones de sal de 10,000 a 30,000 mg/l = ppm de sólidos disueltos.

Agua Marina: Agua con concentraciones de sal de 30,000 a 36,000 mg/l = ppm de sólidos disueltos, incluyendo 19,000 ppm Cl, 10,600 ppm Na, 1,270 ppm Mg, 880 ppm S, 400 ppm Ca, 380 ppm K, 65 ppm Br, 28 ppm C, 13 ppm Sr, 4.6 ppm B y otros.

La **Densidad** del agua de mar consiste en su peso derivado de la cantidad de masa de sales por unidad de volumen de agua, por lo que es directamente proporcional a su salinidad, ya que a mayor cantidad de sales, existe una masa superior por unidad de volumen de agua; en cambio, es inversamente proporcional a la temperatura ya que a mayor temperatura, la densidad es menor. Para medir la densidad se debe utilizar un densitómetro de precisión. Las unidades de la densidad son, el kilogramo sobre metro cúbico (Kg/m^3) y se denota por Rho (ρ).

La **Presión** es producida por el peso de la columna de agua que gravita sobre una superficie situada a una determinada profundidad, más la presión atmosférica que actúa sobre la superficie del mar. La presión se puede obtener mediante la profundidad y la densidad, así como la aceleración gravitacional del lugar donde se encuentre la columna de agua, su unidad más común en el campo oceanográfico es el bar ($1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$).

- ◆ **Propiedades Eléctricas.**

Las propiedades eléctricas del agua de mar consisten en que este medio es conductor de la electricidad, debido a que las moléculas de las sales se disocian en iones positivos y negativos, que al estar sometidos a un campo eléctrico se desplazan en sentido contrario produciendo corrientes. Esta propiedad sirve para medir con mayor precisión la salinidad del agua de mar.

- ◆ **Características Acústicas.**

El estudio de las características acústicas del agua oceánica es de gran importancia, ya que las ondas sonoras y ultrasonoras penetran desde la superficie del mar hasta grandes profundidades, al contrario de la luz solar, que solo lo hace a 200 metros de profundidad, y de las ondas de radio, que también son absorbidas rápidamente; por lo tanto, la comunicación y el conocimiento submarino tienen que realizarse utilizando las propiedades acústicas del agua de mar.

Con base en estos conocimientos se han diseñado métodos y aparatos muy diversos como los hidrófonos, aparatos simples que recogen los sonidos del mar producidos por los fenómenos físicos propios del agua, otros aparatos utilizados por el hombre son las sondas acústicas o ecosondas y el sonar, que registran las ondas sonoras y ultrasonoras, permitiendo conocer la profundidad del fondo, su naturaleza y configuración.

- ◆ **Características Ópticas.**

Las características ópticas se producen debido a que el agua de mar presenta cierta transparencia, es decir, la posibilidad de dejar pasar la luz que cambia conforme aumenta la profundidad, debido a que esta luz sufre fenómenos de reflexión y refracción.

La luz que penetra en el mar es indispensable para que tengan lugar los fenómenos de fotosíntesis en el interior de las aguas marinas, es decir, la captación de la energía solar para la elaboración de la sustancia orgánica que será el alimento de los vegetales, los animales y el hombre.

El color del mar depende de la selectividad de sus aguas para absorber y dispersar la luz. Así el color azul intenso de algunas zonas marinas se debe a la ausencia de partículas en suspensión, mientras que en las aguas costeras predomina el color verde, por la abundancia de partículas nutritivas y de pequeños organismos que forman el plancton.

Clásicamente, la transparencia del mar se mide usando un disco blanco de 30 centímetros de diámetro, llamado "Disco de Secchi", y la transparencia media del agua oscila entre 1 y 66 metros de profundidad. Se ha comprobado que la transparencia es mayor para las aguas oceánicas que para las costas, en las que varía mucho con las partículas orgánicas e inorgánicas en suspensión. En algunos mares, las partículas en suspensión les pueden dar tonalidades variadas como la roja, éste es el caso del Golfo de California en México, al que se le ha llamado Mar Bermejo por la coloración que presenta.

◆ Radiactividad.

Se pueden diferenciar dos tipos de *radiactividad* en los mares, la que se produce de manera natural en ellos y la que el hombre ha introducido a los océanos al usar la energía atómica.

Las radiaciones que forman la luz son absorbidas por el agua del mar y le transmiten calor. Esta absorción es selectiva y depende de la longitud de onda de la radiación. Dentro del espectro visible, la absorción es máxima para el rojo y mínima para el azul-verde. La infrarroja transporta la mayor parte de la energía calorífica y se absorbe prácticamente en el primer metro de agua.

Una radiactividad mayor que la existente en la masa líquida se encuentra en los sedimentos marinos, sobre todo en los de las cuencas oceánicas. Se cree que estas cuencas pueden ser grandes yacimientos de materiales radiactivos, ya que uno de los elementos más abundantes en sus sedimentos es el torio.

La radiactividad producida por el hombre se deriva fundamentalmente de subproductos de explosiones atómicas, desperdicios de los reactores nucleares y por los derrames del agua de enfriamiento de estos reactores.

➤ Propiedades Químicas del Agua de Mar.

El agua de mar es una solución uniforme de composición esencialmente constante, que contiene 96.5% de agua y el 3.5% de sales ionizadas, compuestos asociados, elementos y complejos iónicos. Na^+ y Cl^- están completamente ionizados, pero MgSO_4 y AuCl permanecen en forma enlazada, también contiene gases disueltos, por ejemplo oxígeno y nitrógeno

Propiedades: Líquido incoloro, Punto de Ebullición 101°C , Punto de Congelación, -33°C , pH 7.8-8.2, Sabor amargo, olor fuerte (dependerá de las impurezas orgánicas).

El agua es un compuesto fuertemente exotérmico pues su calor de formación es de 68320 cal/mol y en consecuencia será un compuesto muy estable requiriendo de grandes cantidades de energía para descomponerse.

El agua se une a un gran número de óxidos dando lugar a los ácidos y bases y se une también a muchos otros compuestos, especialmente sales, formando hidratos, en los que el agua mantiene su individualidad molecular.

El agua da lugar también a muchas reacciones de doble descomposición que recibe el nombre de hidrólisis. Es un líquido altamente polar, con alta constante dieléctrica (81 a 17 °C),

Lo que explica su poder disolvente, es un electrolito débil. Que ioniza como H_3O^+ y OH^- tiene actividad catalítica definida, especialmente de oxidación metálica.

En las Tablas I y II se resume cada una de las propiedades Físicas y Químicas del Agua.

TABLA I-1

Propiedades Físicas y Químicas del Agua de Mar⁴³

Propiedad	Especificación.
Punto de Congelación	-33°C
Punto de Ebullición	101°C
Presión Osmótica a 25°C	15.51 bar
Densidad	1.025 g/cm ³
Índice de Refracción a 15°C	1.33

TABLA I-2

Concentración Típica del Agua de Mar en Instalaciones Marinas¹⁵

PARÁMETRO	Concentración
pH	9.55
Alcalinidad	130 mg/l
Dureza	6669.3 mg/l
Fenoles	0.034 mg/l
Cloruros	20873 mg/l
Cianuros	0.01 mg/l
Cadmio	0.001 mg/l
Cobre	0.02 mg/l
Hierro	0.05 mg/l
Mercurio	0.008 mg/l
Níquel	0.04 mg/l
Plomo	0.025 mg/l
Zinc	0.04 mg/l
Sodio	9660 mg/l
Arsénico	0.05 mg/l

¹⁵ Estos valores son puntuales (fijos) y fueron tomados de levantamientos de campo que se realizan dentro de las instalaciones marinas por parte de especialistas del Instituto Mexicano del Petróleo en el mes de Junio del 2001 en la "Terminal Marítima de dos Bocas".¹⁵

1.4 Clasificación de los Contaminantes* del Agua.⁴⁰

Antes de proceder a una descripción de los procesos disponible para mejorar la calidad de las aguas, es conveniente revisar los parámetros utilizados para definir su calidad. Algunos de estos parámetros se utilizan en el control de los procesos de tratamiento y purificación realizando medidas de forma continua o discreta, además de sus definiciones se resumen sus efectos más importantes, la forma usual de análisis o medición y el proceso adecuado.

Los contaminantes que se encuentran en las aguas negras se clasifican de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-001- ECOL-1996.⁴⁰ en cuatro clases: Químicos, Físicos y Organolépticos, y Biológicos.

❖ Contaminantes Químicos.

Compuestos tanto de productos químicos orgánicos como inorgánicos. El aspecto fundamental de la contaminación de productos orgánicos es la disminución del oxígeno como resultado del proceso de degradación biológica, llevando con ello a un desajuste y a serias perturbaciones en el medio ambiente. En el caso de compuestos inorgánicos el resultado más importante es su posible efecto tóxico, más que una disminución de oxígeno.

La concentración de estos compuestos orgánicos en el agua no es constante, sino variable por múltiples causas y obliga a ajustes permanentes en las plantas de tratamiento de aguas. El uso de los tratamientos biológicos para su eliminación implica el uso de parámetros de medida menos específicos que los que miden los radicales químicos y que sin embargo permita el control de las unidades de tratamiento.

➤ pH

El pH es una concentración de los iones de hidrógeno y se define como $\text{pH} = \text{Log} (1/\text{H}^+)$. Es una medida de la naturaleza ácida o alcalina de la solución acuosa que puede afectar a los usos específicos del agua. La mayoría de las aguas naturales tienen un pH entre 6 y 8.

* En este caso se refiere a los parámetros que pueden afectar la calidad del agua, aunque la palabra más apropiada de acuerdo a la Limnología es la **Polución** que deriva del latín "*Polluere*" que significa manchar, ensuciar, pero generalmente el término más usado en castellano sobretodo en América Latina es la **Contaminación**, que proviene del latín "*Contaminare*" cuyo significado es mezclar o también infectar, ensuciar, manchar. Sin embargo, en su sentido de "infectar por contacto" está muy consagrado en la literatura médica y microbiológica. (Limnología Sanitaria, Estudio de la Polución de Aguas Continentales Branco Samuel Polleto de la OEA 1984.)

Su medición se realiza fácilmente con un potenciómetro bien calibrado, aunque también se puede disponer de papeles especiales que por coloración indican el pH. Los valores de pH han de ser referidos a la temperatura de medición pues varían con está. El pH se corrige por medio de una reacción de neutralización.

➤ Dureza

La dureza, es debido a la presencia de sales disueltas de calcio y magnesio, mide la capacidad de un agua para producir incrustaciones. Afecta a las aguas domesticas como industriales, siendo la principal fuente de depósitos e incrustaciones en calderas, e intercambiadores de calor, tuberías etc.

Existen distintas formas de dureza.

Dureza Total o Título Hidrotimétrico, (TH). Mide el contenido en iones Ca^{++} y Mg^{++} . Se puede distinguir entre la dureza de calcio THCa y la dureza del magnesio THMg.

Dureza Permanente o no Carbonatada. Mide el contenido de iones Ca^{++} y Mg^{++} después de someter al agua a ebullición durante media hora, filtración y recuperación del volumen inicial con agua destilada. El método es de poca exactitud y depende de las condiciones de ebullición.

Dureza temporal o Carbonatada. Mide la dureza asociada a iones bicarbonato, eliminable por ebullición y es diferencia entre la dureza total y la permanente. Si la dureza es inferior a la alcalinidad toda la dureza es carbonatada, pero si la dureza es superior a la alcalinidad hay una parte de dureza no carbonatada, asociada a otros iones.

La dureza se puede expresar como miligramos por litro (mg/l), o partes por millón (ppm) de CaCO_3 , o grados hidrométricos de los cuales el más común es el francés. Las aguas con menos de 50 ppm de CaCO_3 se llaman blandas, hasta 100 ligeramente duras, hasta 200 moderadamente duras y a partir de 200 ppm muy duras. Es frecuente encontrar aguas con menos de 300 ppm como CaCO_3 , pero pueden llegar a 1000 ppm e incluso hasta 2000 ppm.

La medición puede hacerse por análisis total o por complejometría con Ácido etilendiamino-tetraacético y sales de sodio (EDTA). Existe una forma sencilla y aproximada que utiliza agua jabonosa por el gran consumo de jabón de las aguas duras. Para disminuir la dureza de las aguas pueden someterse a tratamiento de ablandamiento o desmineralización.

➤ Alcalinidad.

La alcalinidad es una medida de la capacidad para neutralizar ácidos. Contribuye a la alcalinidad principalmente los iones bicarbonato HCO_3^- , carbonato CO_3^{2-} e hidróxidos OH^- , pero también los fosfatos y ácidos silícicos u otros ácidos de carácter débil. Los bicarbonatos y los carbonatos pueden producir CO_2 en el vapor de agua, que es una fuente de corrosión en las líneas de condensado, también pueden producir espumas, provocar arrastre de sólidos con el vapor y fragilizar el acero de las calderas.

Se distingue entre la alcalinidad total o título alcalinométrico total (TAC), medidas por adición de ácido hasta el viraje del anaranjado de metilo, a pH entre 4.4, también es conocido como alcalinidad m y la alcalinidad simple o título alcalinométrico (TA), medida por el viraje de la fenolftaleína, a pH entre 9.8 y 8.3, conocido como alcalinidad P a partir de ambas mediciones se puede determinar la concentración en carbonato, bicarbonato e hidróxido, sus unidades son las mismas que la dureza, se corrige por descarbonización con cal, tratamiento de ácido, ó desmineralización por intercambio iónico.

➤ Coloides.

Es una medida del material en suspensión en el agua que, por su tamaño es alrededor de los 10-4mm, se comporta como una solución verdadera y por ejemplo, atraviesa el papel filtro. Los coloides pueden ser de origen orgánico (por ejemplo macromoléculas de origen vegetal) o inorgánicos (óxidos de hierro y manganeso). En aguas potables puede causar molestia solo de tipo estético.

La dificultad de sedimentación se salva con un proceso de coagulación-floculación previo. Si se debe a la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO_5), en aguas residuales se puede tratar biológicamente. La filtración es insuficiente y requiere un proceso de ultrafiltración.

➤ Acidez Mineral

La acidez es una capacidad para neutralizar bases. Es raro que las aguas naturales presenten acidez, sin embargo las aguas superficiales pueden estar contaminadas por ácidos de drenajes de proceso que pueden afectar las tuberías o calderas por corrosión. Se miden en las mismas unidades de la alcalinidad y se determina mediante la adición de base. Se corrige por neutralización con álcalis.

➤ **Sólidos Disueltos.**

Los sólidos disueltos. Es una medida de la cantidad de materia disuelta en el agua, determinada por la evaporación de un volumen de agua filtrada que corresponde al residuo seco con filtración previa.

El origen de los sólidos disueltos, puede ser múltiple, orgánico e inorgánico, tanto en aguas subterráneas como superficiales, aunque para las aguas potables se indica un valor permisible de 1000 ppm, el valor de los sólidos disueltos no es por si solo suficiente para determinar la bondad del agua.

Los procesos de tratamiento son múltiples en función de la composición, incluyendo la precipitación, intercambio iónico, destilación, electrodiálisis y ósmosis inversa.

➤ **Sólidos en Suspensión.**

Los Sólidos en Suspensión (SS), es una medida de los sólidos sedimentables (no disueltos) que pueden ser retenidos en un filtro, se pueden determinar pesando el residuo que queda en el filtro, después de secado.

En las aguas potables se debe de tener una ausencia total de estas partículas en suspensión mientras que para las descargas de aguas se tiene un limite permitido de 150 mg/l como promedio mensual.

➤ **Sólidos Totales**

Los sólidos totales son la suma de los sólidos disueltos y de los sólidos en suspensión. Estos se separan por medio de un intercambio iónico, aunque es menos retenido que los iones polivalentes, por lo cual las aguas de alta pureza requieren de un tratamiento final.

➤ **Sulfatos.**

El ion sulfato, SO_4^{2-} corresponde a sales de moderadamente solubles a muy solubles para las aguas potables se considera un límite de 400 mg/l.

La determinación es de forma analítica por gravimetría, con cloruro de bario es la más segura. Si se emplean métodos complejométricos hay que estar seguros de evitar las interferencias.

No afecta especialmente al agua en cantidades moderadas. Algunos centenares de ppm perjudican la resistencia del hormigón. Industrialmente es importante porque, en presencia de iones calcio, se combina para formar incrustaciones de sulfato de calcio, su eliminación es mediante un intercambio iónico.

➤ **Nitratos.**

El ion nitrato NO_3^- forma sales muy solubles y bastante estables, aunque en medio reductor puede pasar a nitrito, nitrógeno molecular o amoníaco. Las aguas para consumo humano tienen un límite permitido de 10 mg/l.

Para su determinación en el laboratorio es un poco complicado y se realiza por lo general por medio de espectrofotometría, resultante de la absorción de la radiación UV por el ion nitrato.

Se elimina por intercambio iónico pero no es un método económico en los procesos de potabilización en grandes volúmenes, su presencia en las aguas superficiales, conjuntamente con fosfatos, determina la eutrofización, que se caracteriza por un excesivo crecimiento de las algas acuáticas.

➤ **Fosfatos.**

El ion fosfato PO_4^{3-} , generalmente forma sales muy poco solubles y precipita fácilmente como fosfato de calcio. Al corresponder a un ácido débil, contribuye a la alcalinidad de las aguas.

No está permitido el contenido de fosfato para el agua potable ni para las descargas de aguas, ya que este puede ser crítico en la eutrofización de las aguas superficiales, además no suele determinarse en los análisis de rutina, pero puede hacerse colorimétricamente,

➤ **Fluoruros.**

El ion fluoruro F^- , corresponde a sales de solubilidad muy limitada, no suele hallarse en proporciones superiores a 1.50 mg/l para aguas potables ya que este tiene un efecto benéfico para la dentadura si se mantiene al rededor de 1 ppm y por este motivo se añade algunas veces al agua potable. Su análisis suele hacerse por métodos colorimétricos.

➤ Sílice.

La sílice, SiO_2 se encuentra en el agua como ácido silícico, H_4SiO_4 y como material coloidal. Contribuye ligeramente a la alcalinidad del agua, las aguas naturales contienen entre 1 y 40 ppm, especialmente si es agua bicarbonatada sódica, se determina analíticamente por colorimetría.

La sílice tiene mucha influencia en los procesos industriales porque forma incrustaciones en las calderas y sistemas de refrigeración y forma depósitos insolubles sobre los álabes de las turbinas, su eliminación se consigue parcialmente por precipitación pero fundamentalmente mediante resinas de intercambio iónico fuertemente básicas.

➤ Bicarbonatos y Carbonatos.

Existe una estrecha relación entre los iones bicarbonato HCO_3^- , carbonato, CO_3^{2-} , el CO_2 el CO_2 gas, y el CO_2 disuelto. A su vez el equilibrio está afectado por el pH. Estos iones contribuyen fundamentalmente a la alcalinidad del agua. Los carbonatos precipitan fácilmente en presencia de iones calcio.

➤ Residuos Secos.

El residuo seco es el peso de los materiales después de evaporar un litro de agua, si esta ha sido previamente filtrada, corresponderá al peso total de sustancias disueltas, sean volátiles o no. Por lo tanto conviene fijar la temperatura a la cual se ha realizado la evaporación.

➤ Cloruros.

El ion cloruro Cl^- , forma sales en general muy solubles, suele ir asociado al ion sodio, especialmente en aguas muy salinas, para el agua potable se establece un límite permisible de iones cloruro de 250 miligramos por litro (mg/l) el agua de mar contiene 18.98 gramos por litro (g/l), el cual indica su potencial de corrosión.

La determinación analítica se hace por fotometría de flama, en los análisis rutinarios el ion sodio no se determina sino se calcula como la diferencia entre los aniones y los cationes.

➤ Potasio.

El ion potasio K^+ , corresponde a sales de solubilidad muy elevada y difíciles de precipitar, para las aguas dulces se considera una concentración de potasio de 10 ppm y el agua de mar contiene alrededor de 400 ppm, por lo cual es un catión mucho menos significativo que el sodio. Su determinación se hace por fotometría de flama. En los análisis rutinarios se asimila al sodio. Se elimina por intercambio iónico.

➤ Calcio.

El ion calcio Ca^{++} , forma sales desde moderadamente solubles a muy insolubles, precipita fácilmente como $CaCO_3$. Contribuye de forma muy especial a la dureza del agua y a la formación de incrustaciones. Las aguas dulces suelen contener de 10 a 250 ppm o incluso 600 ppm, el agua de mar contiene 400 ppm.

Para su determinación se realiza por medio analítico por complejometría con ácido etilendiamino tetraacético (EDTA o NTA), su eliminación se realiza por medio de precipitaciones e intercambio iónico.

➤ Magnesio.

El ion magnesio Mg^{++} , sus sales son en general, más soluble y difícil de precipitar, por el contrario, su hidróxido $Mg(OH)_2$ es menos soluble. Las aguas potables contienen de 1 a 100 ppm, el agua de mar contiene unos 1300 ppm.

Cuando en el agua alcanza un alto contenido se tiene como resultado un sabor amargo y propiedades laxantes, que pueden afectar su potabilidad. Contribuye a la dureza del agua y al pH alcalino con el cual se pueden formar incrustaciones de hidróxido, su determinación analítica es realizada por complexometría, se puede precipitar como hidróxido pero su eliminación se realiza por intercambio iónico.

➤ Hierro

El ion hierro se puede presentar como ion ferroso, Fe^{++} , o en la forma de óxido de ion férrico, Fe^{+3} . La estabilidad de las distintas formas químicas depende del pH, condiciones oxidantes o reductoras del medio, composición de la solución, presencia de materias orgánicas complejas, etc. Su determinación es analíticamente por colorimetría y espectrofotometría de absorción atómica, dando el hierro total que incluye las formas solubles coloidales y en suspensión fina.

➤ **Manganeso.**

El ion manganeso, además de actuar con 2 y 3 cargas positivas, actúa con valencia +4 formando el MnO_2 igual que el hierro forma compuestos orgánicos estables. Se determina por oxidación a permanganato y colorimetría de la solución oxidada y espectrometría de absorción atómica.

➤ **Metales Tóxicos.**

Los más comunes son el arsénico, el cadmio, el plomo, el cromo, el bario y el selenio. Todos ellos deben de ser estrictamente controlados en el origen de la contaminación.

Las medidas analíticas se realizan en general por espectrofotometría de absorción atómica.

➤ **Gases Disueltos.**

El dióxido de carbono, (CO_2) es un gas relativamente soluble que se hidroliza formando iones bicarbonato y carbonato, en función del pH del agua, las aguas subterráneas profundas pueden contener hasta 1500 ppm, pero en las aguas superficiales se sitúa entre 1 y 30 partes por millón (ppm), un exceso de CO_2 hace que el agua sea corrosiva, un factor importante en las líneas de vapor y condensados, se elimina por aereación, desgasificación o descarbonatación.

El oxígeno, (O_2), por su carácter oxidante juega un papel importante en la solubilización ó precipitación de iones que representan una forma insoluble, su presencia es vital para todas las formas de vida superior y para la mayoría de los microorganismos, es el parámetro más importante en el control de la calidad de las aguas superficiales.

➤ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).**

Mide la cantidad de oxígeno consumido en la eliminación de la materia orgánica del agua, mediante procesos biológicos y aerobios, en general se refiere al oxígeno consumido en 5 días (DBO_5) y se mide en ppm de O_2 .

Las aguas subterráneas suelen contener menos de 1 ppm. Un contenido superior es indicativo de contaminación. En las aguas superficiales su contenido es muy variable, en las aguas residuales de un proceso su concentración es totalmente dependiente del proceso de fabricación, su eliminación se realiza por procesos fisicoquímicos y biológicos aerobios y anaerobios, para sus descargas se considera un límite máximo de 150 mg/l en promedio mensual.

➤ **Demanda Química de Oxígeno (DQO).**

Mide la capacidad de un oxidante químico, dicromato o permanganato, para oxidar a las materias sólidas contenidas en el agua y también se expresa en ppm de O_2 . Indica el contenido en materias orgánicas oxidables y otras sustancias reductoras, tales como Fe^{++} , NH_4^+ , etc.

Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm, o algo superior a las aguas con valores elevados de DQO, puede dar lugar a interferencias en ciertos procesos industriales. En las aguas de proceso depende del tipo de proceso del cual se trate, la relación entre los valores de la DBO_5 y la DQO es un indicativo de la biodegradabilidad de la materia contaminante. En las aguas residuales un valor de la relación DBO_5 / DQO menor que 0,2 se interpreta como vertido de tipo inorgánico y si es mayor que 0,6 como orgánico.

❖ **Contaminantes Físicos y Organolépticos.**

➤ **Temperatura.**

Cambios térmicos, la temperatura es un parámetro muy importante por su efecto en la vida acuática, en las reacciones químicas, velocidades de reacción y en la aplicabilidad del agua a usos útiles, como en el caso de las aguas provenientes de los procesos, relativamente después de ser usadas en intercambiadores de calor.

Para realizar una descarga se requiere que la temperatura sea menor a $40^\circ C$ de forma instantánea.

➤ **Sabor y Olor.**

El sabor y olor del agua son determinaciones organolépticas de determinación subjetiva, para las cuales no existen instrumentos de medición, ni registros, ni unidades de medida. Tienen un interés evidente en las aguas potables destinadas al consumo humano.

Las aguas adquieren un sabor salado a partir de los 300 ppm de cloruros y un gusto salado y amargo con más de 450 ppm de sulfatos. El CO_2 libre le da un gusto picante trazas de fenoles u otros compuestos orgánicos le confieren un color y sabor desagradable.

➤ Color.

El color es la capacidad de absorber ciertas radiaciones del espectro visible. No se puede atribuir a ningún contribuyente en exclusiva que ciertos colores en aguas naturales sean indicativos de la presencia de ciertos contaminantes, el agua pura es azulada en grandes espesores. En general presenta colores inducidos por materiales orgánicos de los suelos vegetales, como el color amarillento debido a los ácidos húmicos.

La presencia de hierro puede dar un color rojizo, la de magnesio un color negro, el color afecta estéticamente la potabilidad de las aguas, por lo cual se requiere que este libre de color, así mismo puede representar un potencial colorante de ciertos productos como se utiliza como material de proceso y un potencial espumante en su uso en calderas.

Las medidas de color se hacen normalmente en laboratorio, por comparación con un estándar arbitrario basándose en cloruro de cobalto, (CoCl_2) y cloro platino de potasio, (K_2PtCl_6), y se expresa en una escala de unidades Pt-Co (unidades Hazen) o simplemente Pt. Las aguas subterráneas no suelen pasar valores de 5 ppm de Pt, pero las superficiales pueden alcanzar varios centenares de ppm. Según su origen del color los principales tratamientos de eliminación pueden ser la coagulación y filtración, la cloración o la absorción en carbón activo.

➤ Turbidez.

La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales, son difíciles de decantar y filtrar y pueden dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones del agua, equipo de proceso, etc., Además interfiere con la mayoría de procesos a que se pueda destinar el agua.

La medición se hace por comparación con la turbidez inducida por diversas sustancias. La medición en ppm de dióxido de silicio (SiO_2) fue la más utilizada, pero existen diferencias en los valores obtenidos según la sílice y la técnica empleada en uno u otro laboratorio existen diversos tipos de turbidímetros modernos dando valores numéricos prácticamente idénticos.

El fundamento del turbidímetro de Jackson es la observación de una bujía, a través de una columna de agua ensayada, cuya longitud aumenta hasta que la llama desaparece. Con una célula fotoeléctrica se mejora la medida, el aparato se puede calibrar mediante suspensiones de polímero de formacina, con lo cual se deriva a una escala de unidades de formacina.

En el nefelómetro se mide la intensidad de la luz difractada, al inducir un rayo luminoso sobre las partículas de suspensión y recogida sobre una célula fotoeléctrica.

La unidad nefelométrica (NTU o UNF), la unidad Jackson (JTU), y la unidad de formacina (FTU) se puede intercambiar a efectos prácticos.

El límite máximo para el agua potable se considera de 5 unidades de turbiedad nefelométrica (UTN), así mismo la turbidez se elimina mediante procesos de coagulación, decantación y filtración.

➤ **Conductividad y Resistividad.**

La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad del agua para conducir la electricidad. Es indicativa de la materia ionizable total presente en el agua. El agua pura contribuye mínimamente a la conductividad y en casi la totalidad es el resultado del movimiento de los iones de las impurezas presentes. La resistividad es la medida recíproca de la conductividad.

El aparato usado es el conductímetro cuyo fundamento es la medida eléctrica de la resistencia del paso de la electricidad entre las dos caras opuestas de un prisma rectangular comparada con la de una solución de KCl a la misma temperatura y referida a 20 °C. La medida de la conductividad es una buena forma de control de calidad de un agua siempre que:

- No se trate de contaminación orgánica por sustancias no ionizables.
- Las mediciones se realizan a la misma temperatura.
- La composición del agua se mantenga relativamente constante.

La unidad estándar de resistencia eléctrica es el ohm y la resistividad de las aguas se expresa convenientemente en megaohms-centímetros. La conductividad se expresa en el valor recíproco, normalmente como microsiemens por centímetro. Para el agua ultrapura los valores son de 18,24 Mohms. y 0,0483 us/cm a 20°C.

❖ **Contaminantes Biológicos.**

Estos son los responsables de las transmisiones de las enfermedades como el cólera y la tifoidea.

Los contaminantes de las aguas residuales son normalmente una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos, normalmente no es ni práctico ni posible obtener un análisis completo de la mayoría de las aguas residuales

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por esto las aguas residuales dependen de la cantidad de estos componentes para poder clasificarse en fuerte, media y débil. Debido a que la concentración y la composición varían con el tiempo, con los datos siguientes solo se pretende dar una orientación para la clasificación de las aguas residuales.

➤ Coliformes.

La bacteria *Escherichia Coli* y el grupo coliforme en su conjunto son los organismos más comunes utilizados como indicadores de la contaminación fecal. Las bacterias coliformes son microorganismos de forma cilíndrica, capaces de fermentar la glucosa y la lactosa. Otros organismos usados como indicadores de contaminación fecal son los estreptococos fecales y los clostridios. Estos últimos son organismos anaerobios, formadores de esporas. Las esporas son formas resistentes de las bacterias capaces de sobrevivir largo tiempo cuya presencia en ausencia de coliformes es indicativa de una contaminación de mucho tiempo.*4

Los análisis bacteriológicos de las aguas se realiza por el método de los tubos múltiples y se expresa en términos del "Número más Probable" (índice NMP), en 100 ml de agua.

Para el agua potable los organismos coliformes totales no deben de ser detestables en ninguna muestra de 100 ml en sistemas de abastecimiento para una localidad.

El límite máximo permisible para las descargas de aguas residuales vertidas a aguas y bienes nacionales, así como las descargas vertidas a suelo (uso de riego) es de 1,000 y 2,000 como un número más probable (NMP) de coliformes fecales por cada 100 ml para el promedio mensual y diario respectivamente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

* Se recuerda al lector lo siguiente: Estas normas bacteriológicas implican, en general, que un agua aceptable no debe contener más de un organismo coliforme en 100 ml (NMP); pero las normas no implican que deba existir el mismo grado de seguridad en las distintas partes del mundo, a menos que el índice de epidemias prevalente para las infecciones de origen hídrico sean mayor al que se encuentre reportado en la Secretaría de Salud. (Gordon Maskew Fair "Purificación de Aguas y Tratamiento y Remoción de Aguas Residuales". 14/09/1989).

*4 Parámetros de los contaminantes del agua todos los límites máximos permisibles que se mencionan para su vertimiento al mar se encuentran reportados dentro de la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.

CAPITULO II

POTABILIZACIÓN DE AGUA DE MAR.

2. Potabilización de Agua de Mar.

Generalidades.

2.1. Procesos de potabilización de Agua de Mar.

2.1.1. Procesos Térmicos.

- Destilación por Vaporización Instantánea Multietapas.
- Evaporación Multiefecto.
- Compresión Mecánica de Vapor.

2.1.2. Procesos de Membranas.

- Electrodiálisis.
- Ósmosis Inversa.

2.1.3. Procesos Menores.

- Congelamiento.
- Humidificación Solar.

2.2. Comparación de los Procesos de Potabilización de Agua de Mar.

2.2.1. Compresión Mecánica de Vapor.

2.2.2. Ósmosis Inversa.

2.2.3. Consideraciones Generales en la Elección de un Sistema de Potabilización de Agua de Mar (Ósmosis Inversa o Compresión Mecánica de Calor)

2.2.3. Problemas Detectados en los Equipos de Potabilización de Agua de Mar Existentes, en las Plataformas Marinas.

2.2.4. Tablas de las Ventajas y Desventajas de los Procesos de Potabilización en Plataformas Marinas.

2.2.5. Problemas Detectados en los Equipos de Potabilización de Agua de Mar Existentes, en las Plataformas Marinas.

2.3. Análisis Comparativo de los Sistemas de Potabilización de Agua de Mar.

- Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Compresión Mecánica de Vapor Capacidad Nominal 50 m³ / día (proveedor no.1)
- Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Compresión Mecánica de Vapor Capacidad Nominal 100 m³ / día (proveedor no. 1)
- Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Osmosis Inversa de un paso Capacidad Nominal 50 m³ / día (proveedor no. 2)
- Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Osmosis Inversa de dos pasos Capacidad Nominal 50 m³ / día (proveedor no. 2)
- Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Osmosis Inversa de un paso Capacidad Nominal 50 m³ / día (proveedor no. 3)
- Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Osmosis Inversa de dos pasos Capacidad Nominal 50 m³ / día (proveedor no. 3)
- Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Osmosis Inversa de dos pasos Capacidad Nominal 100 m³ / día (proveedor no. 2)
- Tabla de Comparación Técnica Económica para los Sistemas de Potabilización de Agua de Mar para una Capacidad Nominal de 50 m³ / día.
- Tabla de Comparación Técnica Económica para los Sistemas de Potabilización de Agua de Mar para una Capacidad Nominal de 100 m³ / día.

2.4. Criterios para la Selección del Sistema de Potabilización de Agua de Mar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO II

2. Potabilización de Agua de Mar.

Generalidades

La potabilización de agua de mar también llamada desalación, se refiere a los procesos de remoción de un gran porcentaje de sales contenidas en ella. La potabilización puede ser realizada de varias formas o procesos. La tecnología de desalación puede ser utilizada en varias aplicaciones, pero el objetivo en este caso, es la producción de agua potable a partir de agua de mar para propósitos de uso y consumo humano.

La potabilización del agua es un proceso natural que ha dado lugar al desarrollo de una gran variedad de tecnologías que se dividen principalmente en procesos térmicos y procesos de membrana.

Dispositivo para la Potabilización de Agua de Mar

Un dispositivo de potabilización esencialmente separa agua salina en dos corrientes: una con baja concentración de sales disueltas (corriente de agua potable) y otra que contiene los remanentes de sales disueltas (corriente de salmuera). El dispositivo requiere energía para operar y se pueden utilizar un gran número de tecnologías diferentes para la separación (ver Figura No. II-1).

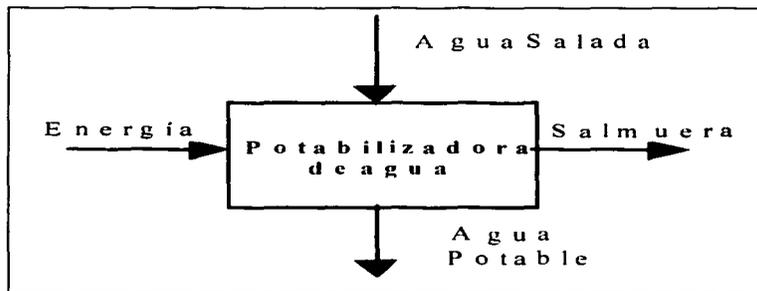


Fig. II-1 Dispositivo de Potabilización de Agua de Mar

2.1. Procesos de Potabilización de Agua de Mar.

Los procesos para potabilización de agua de mar que se utilizan con mayor frecuencia en el ámbito mundial son:³²

A. Procesos Térmicos

- ◆ Destilación por vaporización instantánea multietapas.
- ◆ Destilación por evaporación multiefecto.
- ◆ Compresión Mecánica de vapor.

B. Procesos por Medio de Membranas

- ◆ Electrodialísis.
- ◆ Ósmosis inversa.

C. Procesos Menores

- ◆ Congelamiento.
- ◆ Humidificación Solar.

A continuación se muestra en la Figura No. II-2 una gráfica que indica la capacidad de potabilización de agua en el mundo por distintos procesos (International Desalination Association, IDA, 1998).

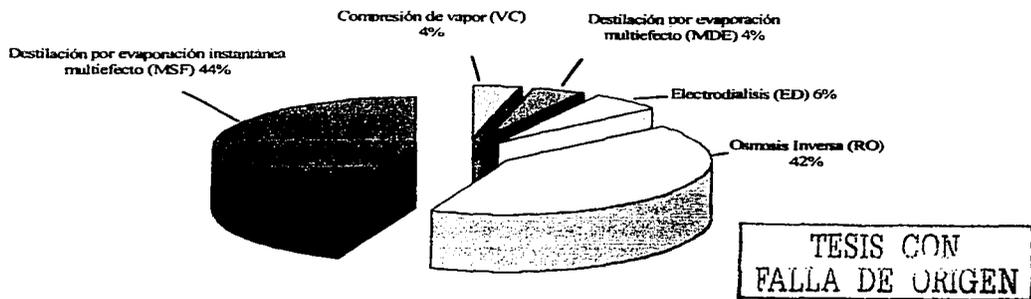


Fig. II-2 Capacidad de potabilización de agua de mar en el mundo por proceso a gran escala Fuente Inventario IDA 1998

2.1.1 Procesos Térmicos.

- Destilación por Vaporización Instantánea Multietapas

En los procesos de Destilación por Vaporización Instantánea Multietapas, el agua de mar fluye en un serpentín y es calentada en un recipiente llamado calentador de salmuera, que utiliza una fuente de calor externa. Una vez caliente el agua de mar, esta fluye a una serie de cámaras o etapas, donde la presión se mantiene levemente por debajo de la presión de vapor del agua de mar que se alimenta en cada etapa, utilizando para esto un termocompresor o eyectador de vapor, causando que el agua inmediatamente llegue a su punto de ebullición. (sabiendo que una presión de vacío provoca una reducción de la temperatura de ebullición). La ebullición del agua origina una separación de fases produciendo vapor el cual se condensa en el serpentín que lleva el agua de mar y que todavía no es calentada (el cual sirve como serpentín de enfriamiento), dicha condensación que es agua potable es recolectada para sumarse a la etapa siguiente, como lo muestra la Figura No II-3; no toda el agua de mar es evaporada, y la que no se evapora pasa a la siguiente etapa para repetir el proceso. Como se observa en cada etapa la presión va disminuyendo, para provocar una temperatura de ebullición cada vez más baja.

Así el vapor generado por evaporación instantánea es convertido en agua potable por condensación en tubos de intercambiadores de calor que corren a través de cada etapa. La ventaja de controlar la presión en cada una de las etapas es que no se tiene que adicionar más calor para mantenerse constante, debido a la baja temperatura de ebullición de cada etapa correspondiente. Por lo que el agua de mar podría pasar de una etapa a otra y estar en ebullición repetidamente sin la adición de más calor. En la Figura No II-3 se muestra un diagrama del funcionamiento de una planta de potabilización por evaporación instantánea multietapas.³²

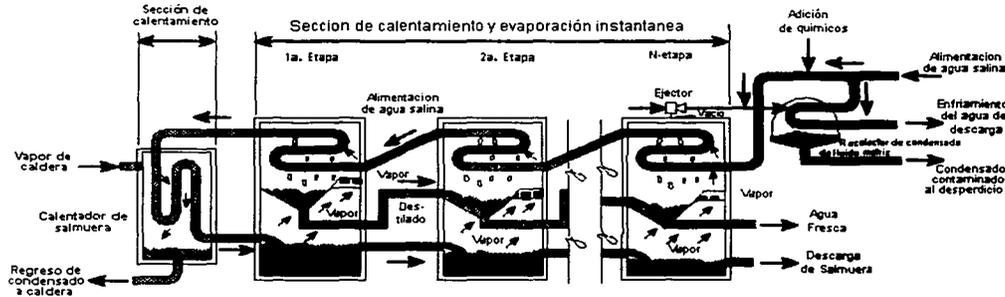


Fig. II-3 Diagrama de funcionamiento de una planta de destilación por Evaporación instantánea multietapa MSF. (International Desalination Association, 1998).

♦ Evaporación Multifecto

El proceso de destilación por evaporación multifecto, así como, el proceso de destilación por vaporización instantánea multietapas mencionado anteriormente, se desarrollan en una serie de cámaras o etapas y usan los principios de condensación y evaporación al reducir la presión en los distintos efectos.

En evaporación Multifecto solamente una porción del agua de mar se espera sobre las superficies de calentamiento y esta se evapora al contacto. La corriente de alimentación de agua de mar se suministra al primer efecto, por el cual pasa un serpentín de calentamiento que transporta vapor proveniente de una fuente externa, al rociar el agua de mar sobre el serpentín de calentamiento, una parte del agua se evapora y otra se deposita en el fondo de la cámara, ya que en la primera etapa se controla la presión (se crea un vacío), provocando una temperatura de ebullición baja. Al bullir se crea vapor de agua el cual es captado y llevado a la siguiente etapa en donde se utilizara ahora como el fluido de calentamiento a través de un serpentín. Una vez en la segunda etapa, nuevamente se reduce la presión con respecto al primer efecto o etapa para provocar una temperatura de ebullición mas baja, así el agua de mar rociada en el segundo efecto de ebullición a la nueva temperatura y presión de ebullición, dicho vapor nuevamente es captado para pasar al siguiente efecto y el proceso se repite en tantos efectos o etapas como sea conveniente. El agua de mar que queda como remanente en el fondo de las cámaras (salmuera con altas concentraciones de sales) de cada efecto es drenado y el agua potable es captada en otra línea de tubería, como lo muestra la Figura No. II-4. La presión de operación en las diferentes etapas del proceso de evaporación multifecto se mantienen por un sistema separado de vacío.³²

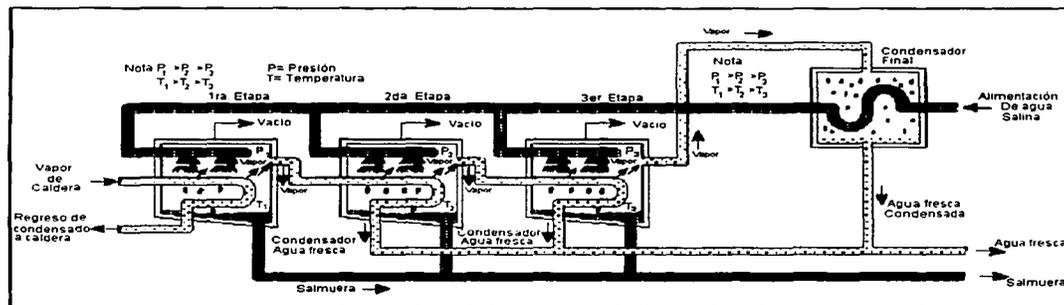


Fig. II-4 Esquema de operación de una planta de evaporación multifecto.
(International Desalination Association, 1998).

• **Compresión Mecánica de Vapor.**

El calor de evaporación del agua proviene de la compresión del vapor por medios mecánicos más que de un intercambio de calor del vapor producido en una fuente externa como en los casos anteriores. Las plantas que usan este proceso son también diseñadas para tomar ventaja de los principios de disminuir la temperatura de ebullición por medio de la reducción de presión. Esto se logra generalmente por medio de una bomba de vacío. Las unidades de compresión mecánica han sido construidas en una gran variedad de configuraciones para promover el intercambio de calor y evaporar de esta manera agua de mar. La Figura No. II-5 ilustra un método simplificado en el cual un compresor mecánico se usa para generar el calor para la evaporación. Todo el vapor es removido por este compresor e introducido como vapor de calentamiento, en un haz de tubos después de la compresión, donde éste se condensa en el lado frío de la superficie de transferencia de calor. El agua de mar es rociada ó distribuida sobre el otro lado de la superficie del haz de tubos donde una parte se evapora, otra se deposita en el fondo de la cámara, produciendo más vapor el cual vuelve a ser succionado por el compresor para repetir el ciclo. Así el vapor comprimido pasa por el serpentín de calentamiento, posteriormente se condensa en un Intercambiador de calor para producir de esta manera agua potable.

El vapor condensado (agua destilada) se extrae por medio de una bomba y se descarga a través de un intercambiador de calor que precalienta el agua de mar que entra al sistema. El agua que no se evaporó también se bombea al intercambiador para aprovechar su calor. El uso de este intercambiador minimiza el consumo de energía del sistema y elimina la necesidad de enfriamiento adicional del producto.³²

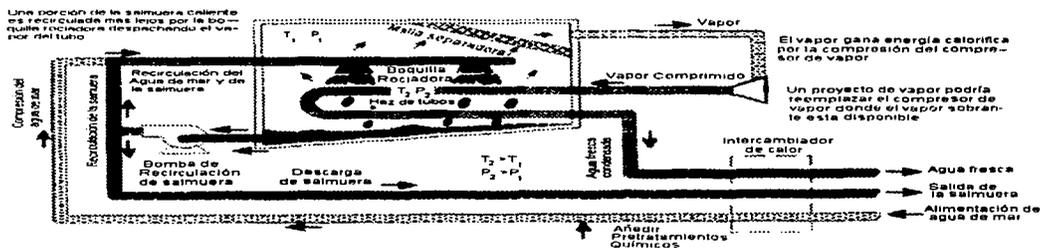


Fig. II-5 Esquema de funcionamiento de una planta de compresión de vapor. (International Desalination Association)

2.1.2. Procesos de Membranas.

Cada proceso de membrana utilizado para producir o potabilizar agua, usa la habilidad de las membranas semipermeables para diferenciar y separar selectivamente sales y agua. Sin embargo, las membranas son usadas de diferente manera en cada uno de los procesos (Ver Figura No. II-6)

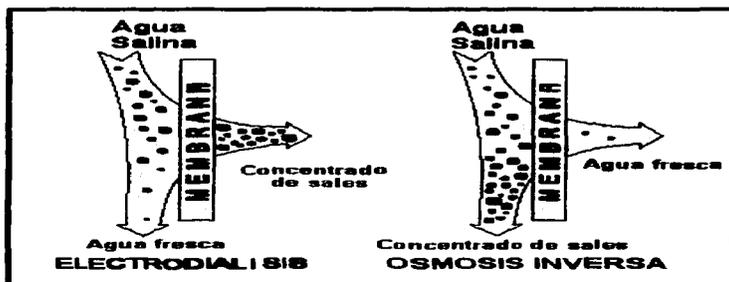


Fig II-6. Principio de operación en procesos de membrana (International Desalination Association, 1998).

♦ Electrodiálisis.

La Electrodiálisis es un proceso manejado por un voltaje, usando un potencial eléctrico para mover las sales selectivamente a través de una membrana, dejando agua potable atrás como producción de agua.

El principio se basa en que las sales del agua de mar tienen configuraciones aniónicas (-) y catiónicas (+). Cuando se hace el arreglo de membranas en el proceso de electrodiálisis, se colocan en sus extremos dos electrodos, uno con carga positiva y otro con carga negativa, como lo muestra la Figura No. II-7. Las membranas se colocan alternadamente en forma paralela a los electrodos, es decir, se coloca primero una membrana selectiva de cationes y después otra selectiva de aniones. Cuando los electrodos son conectados a una fuente exterior de corriente directa como una batería, la corriente eléctrica es llevada a través de la solución, con los iones tendiendo a migrar a los electrodos con la carga opuesta, así mismo los cationes. De esta manera las membranas selectivas de cationes solo permitirán el paso de cationes y lo mismo para los aniones, logrando así la separación de las sales del agua de mar, ya que por las membranas no se filtrará agua potable. Un espaciamiento entre hojas que permite el flujo de agua a lo largo de las caras de la membrana es establecido entre cada par de ellas.

Por este arreglo, el concentrado y las soluciones diluidas son creadas en el espacio entre las membranas alternadas. Estos espacios, delimitados por las membranas (unos aniónicos y otros catiónicos) son llamados celdas. El arreglo consiste en dos celdas, una en la cual los iones migran (la celda dilutora para el producto de agua potable) y la otra en los cuales los iones se concentran (la celda concentradora para la corriente de salmuera).³²

Una unidad básica de electrodiálisis consiste de varios cientos de pares de celdas limitadas juntas con electrodos en el exterior, y es así referido como un arreglo de membranas. El agua de alimentación (agua de mar) pasa simultáneamente en rutas paralelas a través de todas las celdas para proveer un flujo continuo de agua potable y de concentrado(o salmuera). Ver Figura No. II-7 y Figura No. II-8.

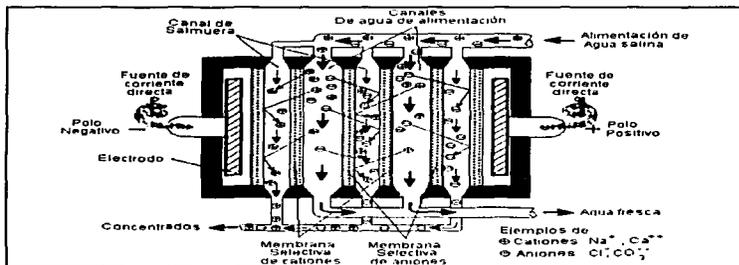


Fig. II-7 Esquema de funcionamiento básico de un proceso de electrodiálisis (International Desalination Association, 1998)

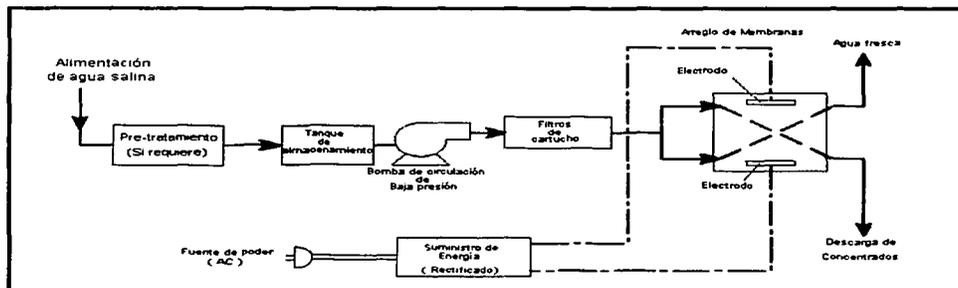


Fig. II-8 Arreglo de componentes asociados a un proceso de electrodiálisis (International Desalination Association, 1998)

- **Ósmosis Inversa.**

Cuando una solución salina y agua pura están separadas por una membrana semipermeable, el agua pura pasará a través de la membrana hacia el lado de la solución salina. La fuerza natural de conducción es llamada presión osmótica u ósmosis. Este proceso se puede invertir haciendo pasar el agua de la solución salina hacia la sección del agua pura o potable mediante la aplicación de una alta presión significativamente superior a la presión osmótica, a lo que se le llama ósmosis inversa.

La ósmosis inversa es un proceso manejado a una presión de 25.30 - 87.87 kg/cm² que es usada para la separación, permitiendo al agua potable moverse a través de una membrana semipermeable y dejar las sales atrás. La ósmosis inversa es un proceso de separación de membrana en el cual el agua salina presurizada es separada de los sólidos disueltos por el flujo a través de la membrana. Ningún calentamiento o cambio de fase es necesario para esta separación. El agua a potabilizar ya sea agua de mar o salobre, se trata previamente para evitar el ensuciamiento de las membranas. Este pretratamiento consiste básicamente en utilizar procesos de filtración y adición de agentes químicos. En la práctica, la alimentación de agua salina es bombeada de un recipiente cerrado y es presurizada contra la membrana, como lo muestra la Figura No. II-9. Una porción del agua (agua potable) pasa a través de la membrana, los remanentes del agua incrementan su contenido de sal (concentrado de sales) y no pasan a través de la membrana.

El flujo de agua producto con respecto al flujo de agua de mar de alimentación puede estar en un rango de 35 a 50 %. Para agua salobre se recupera de 65 a 85 % de la alimentación. La osmosis inversa elimina prácticamente del 90 al 99 % del total de sólidos disueltos, así como, el 99.9 % de virus, bacterias y pirógenos que pudieran encontrarse en el agua.³²

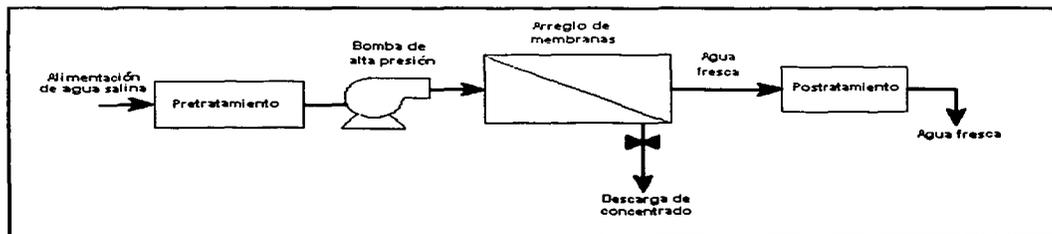


Fig. II-9 Esquema de un proceso de osmosis inversa (International Desalination Association, 1998).

2.1.3. Procesos Menores

• Congelamiento

Durante el proceso de congelamiento, las sales disueltas en el agua de mar son naturalmente excluidas durante la formación de los cristales de hielo. Así el enfriamiento de agua salina para formar cristales de hielo bajo situaciones controladas puede desalinizar agua. Por lo tanto la masa entera de agua que ha sido congelada (mezcla) es usualmente purificada y lavada para remover las sales en el agua remanente. El hielo es entonces disuelto para producir agua desalada.

• Humidificación Solar.

El proceso utiliza colectores de energía solar, los cuales tienen la función de calentar el agua salina hasta evaporarla, dicho vapor llega a un sector de enfriamiento como se muestra en la figura y entonces se condensa. El condensado por efecto de gravedad llega a colectores de agua fresca,²⁵ ver Figura II-10.

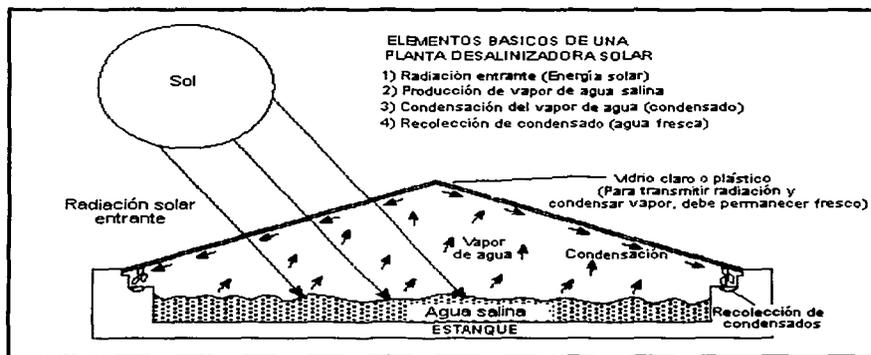


Fig. II-10 Esquema de un proceso de humidificación solar (International Desalination Association, 1998).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2. Comparación de los Procesos de Potabilización de Agua de Mar.

Con base en la revisión bibliográfica y de proveedores, se realizó una tabla comparativa de las principales variables de proceso y operación de los sistemas de potabilización de agua de mar disponibles en el mercado y que pueden ser implementados para su uso en plataformas marinas (Ver tabla No.II-1).

TABLA No. II-1. Cuadro comparativo de las principales variables de proceso y operación de las plantas más comunes de potabilización de agua de mar.

Proceso	Ósmosis Inversa	Compresión Mecánica de Vapor	Evaporación de Múltiple Efecto	Evaporación Instantánea Multietapas
Características				
Principio de Operación	Separación por membrana semipermeable usando una presión alta significativamente mayor a la presión osmótica	Evaporación por compresión de vapor saturado.	Por evaporación, opera con vapor de media presión. (Arriba de 6.33 kg/cm ²).	Por evaporación, opera con vapor de baja presión (1.55-2.10 kg/cm ²).
Capacidad	Pequeñas y Medianas 10-550 m ³ /día	Pequeñas y Medianas 30-2 000 m ³ /día	Capacidad media. 500-4 000 m ³ /día	Capacidad alta. 4 000 m ³ /día y mayores.
Características de Alimentación.	Agua de mar o Salobre.	Agua de mar o Salobre	Agua de mar o Salobre	Agua de mar o Salobre
Características de los Productos	Agua potable con calidad para consumo humano. <500 ppm de SDT (depende del tipo de membrana)	<1 ppm de SDT	<5 ppm de SDT	<5 ppm de SDT
Rendimiento	Bueno	Bueno	Regular	Regular
% de Recuperación	Un paso: 35-45 % Dos pasos: 50 %	60 %	40-65 %	25-50 %
Presión de Operación (kg/cm ²).	Un paso 56.24-70.3 Dos pasos:21.09-28.12	Menor a la presión atmosférica	Menor a la presión atmosférica	Menor a la presión atmosférica
Adición de Químicos	Sí	Sí	Sí	Sí
Consumo de Energía Térmica. (kJ/kg de producto).	No Existe consumo de energía térmica externa.	No Existe consumo de energía térmica externa.	123	294
Consumo Eléctrico. (kW-h/m ³ de producto)	7.9-12	15-19	2.2	3.7
Temperatura máxima de operación (°C)	25-40	60-70	70	110
Aplicaciones	Instalaciones en las que no se dispone de vapor u otro medio de calentamiento	Instalaciones en las que no se dispone de vapor u otro medio de calentamiento	Instalaciones donde se dispone de vapor de media a alta presión.	Instalaciones donde se dispone de abundante vapor de baja presión y espacio suficiente.

Entre los procesos de potabilización de agua de mar más importantes que existen actualmente en el mercado y que más comúnmente son empleados en plataformas marinas se tienen el de ósmosis inversa y la compresión mecánica de vapor.

2.2.1. Compresión Mecánica de Vapor.

El proceso de compresión de vapor también llamado destilación por termocompresión, es un método de evaporación en el cual un líquido (agua de mar en este caso) se hierve por un lado de una superficie de traspaso térmico, y el vapor comprimido generado se dirige al otro lado de la misma superficie del traspaso térmico en la cual se condensa. En la Figura No. II-11 se muestra un diagrama en el cual se observa la descripción del proceso (Diagrama otorgado por el Proveedor)³².

El proceso de compresión mecánica de vapor tiene como componentes importantes, un evaporador - condensador, un compresor centrífugo, un desaerador, cambiadores de calor, bombas, válvulas, instrumentos, controles, sistemas de inyección químicos y tubería asociada.

Las configuraciones físicas incluyen evaporadores con tubos verticales, tubos horizontales, placas, efectos múltiples, etc. La evaporación se intensifica con el empleo de las configuraciones de la película de levantamiento, de la película que cae y de la película del aerosol. Las variaciones operacionales son a alta o baja temperatura de evaporación (determinada por el nivel del vacío).

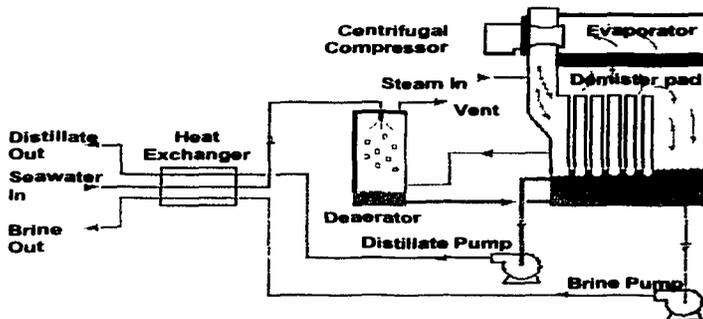


FIG. II-11 Diagrama de Flujo de un Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Termocompresión.

En el diseño específico descrito, el agua de mar se hierve dentro de un banco de tubos superficiales reforzados. El vapor generado entonces pasa a través de un separador de niebla para quitar cualquier gota que sea arrastrada del agua salada. El vapor puro entra en el compresor a una temperatura del 101.7°C y una presión de 0.069 kg/cm², donde la compresión ocurre dando por resultado un vapor comprimido a 106.1°C y una presión de 0.25 kg/cm². Este vapor comprimido con una energía más alta es descargado en el evaporador sobre el exterior de los tubos superficiales reforzados, donde condensa y eleva energía térmica latente al agua de mar que hierve dentro de los tubos.

El proceso es termodinámicamente muy eficiente, puesto que solamente con 15.82 kJ de trabajo del compresor es empleado para reciclar aproximadamente 1055.05 kJ de energía térmica latente contenida en los vapores desprendidos. El vapor adicional es generado y el proceso continúa. El vapor, que se condensa en el exterior de los tubos, es recogido, y retirado por la bomba del destilado y bombeado a través de un cambiador de calor de tres corrientes. El exceso del agua de alimentación, llamado purga, que fue concentrada, también se bombea a través del mismo cambiador de calor. El destilado y la purga se enfrían mientras que el agua de mar alimentada se precalienta. El cambiador de calor ayuda a reducir al mínimo el consumo de energía del sistema.

El agua destilada es producida condensando a una presión mayor a la atmosférica y una temperatura de 106.1°C. Con estas condiciones se resuelven los requisitos de desinfección del agua, ya que el destilado se debe químicamente desinfectar o calentar hasta 73.9°C por siete segundos o un periodo de tiempo más largo para ser considerado esterilizado. El destilado por lo tanto es esterilizado y no requiere desinfección adicional con excepción de la cloración, si se desea, con el propósito de tenerla almacenada. Una cantidad pequeña de calor se requiere para la operación continua y sustituir el calor perdido por radiación y venteo ésta porción no es recuperada en el cambiador de calor de tres corrientes.

En la tabla No. II-2, se dan algunas características de un sistema de potabilización comercial de agua de mar por compresión de vapor, para diferentes capacidades de agua tratada. En ésta se aprecia que existen equipos para este sistema con diferentes capacidades, así como los requerimientos de agua de mar potabilizar, energía eléctrica, dimensiones de la planta y conexiones.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA No. II-2. Características de una Planta de Compresión Mecánica de Vapor para distintas Capacidades.

Capacidad m ³ /día	20	30	40	60	70	115
Alimentación de agua de mar m ³ /día @ 2.04 kg/cm ² *	1.8	2.7	3.4	5.2	7.0	10.6
Dimensiones (M): (L x W x H)	2.7 x 1.5 x 1.6	2.8 x 1.5 x 1.9	2.9 x 1.7 x 1.9	3.2 x 1.9 x 2.3	3.2 x 1.9 x 2.3	3.9 x 2.5 x 2.7
Peso (vacío) kg	1 860	2 245	2 721	3 720	4 627	6 985
Conexiones ***	Alimentación 1"	Alimentación 1½"	Alimentación 1½"	Alimentación 2"	Alimentación 2"	Alimentación 2½"
	Destilado ½"	Destilado ½"	Destilado 1"	Destilado 1½"	Destilado 1½"	Destilado 1½"
Energía eléctrica (kW)**	27	37	43	57	86	117

- Considerando un contenido de 36,000 ppm SDT @ 25°C.
- ** Operación promedio.
- *** 15.54 kg/cm² Conexiones bridadas tipo ANSI.

En esta tabla podemos observar que el consumo de energía eléctrica aumenta de manera considerable al incrementarse la capacidad de agua de mar a tratar. En referencia a las dimensiones éstas se incrementan ligeramente para todos los casos.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

2.2.2. Ósmosis Inversa

La ósmosis es un proceso para desalar agua de mar al reducirle su contenido de sólidos disueltos totales (SDT) mediante la aplicación de presión al agua para forzarla a pasar por una membrana semi-permeable que retiene y concentra sales por un lado y deja pasar el agua libre de sales, virus, bacterias, pirógenos, etc. Ver figura No. II-12. (Diagrama otorgado por el Proveedor)²⁷.

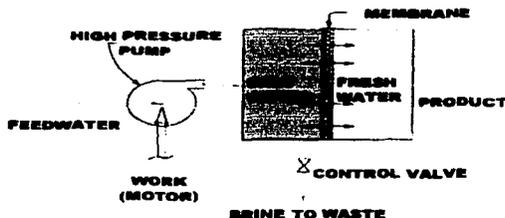


FIG. II-12 Ejemplificación Del Proceso De Ósmosis Inversa

Típicamente una membrana de ósmosis inversa procesa agua de mar con 36,000 ppm de sólidos totales disueltos y la convierte en agua dulce con una salinidad inferior a 350 ppm.

La recuperación o conversión de una planta de ósmosis inversa determina el volumen de agua de mar que hay que bombear, y por la eficiencia energética del proceso. En la ósmosis se desea obtener la recuperación más alta posible con el fin de disminuir los kW - h que consume el proceso por metro cúbico de producto, principalmente la bomba de alta presión. Sin embargo, en el proceso de ósmosis hay varias limitantes que impiden una recuperación extremadamente alta. De éstas, la limitante que más afecta al proceso de ósmosis de agua de mar es la presión osmótica de la salmuera.

Considerando un agua de mar típica con una concentración de sólidos disueltos totales de 36,000 ppm se debe tener en mente que la presión osmótica de la salmuera aumenta al aumentar la recuperación, en la Tabla No. II-3 se presentan algunos valores.

El efecto neto es que según aumenta la recuperación, las primeras membranas se sobrepasan en flujo y al mismo tiempo disminuye la producción de las últimas membranas. Aún peor, la salinidad del permeado empeora notablemente. La calidad del permeado en una planta que opera al 55% de conversión y 66.79 kg/cm² va a ser por lo menos dos veces peor que el de una planta que opere al 35% de recuperación³².

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

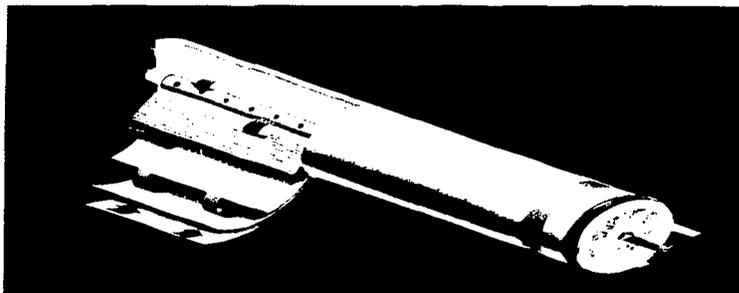
TABLA No. II-3 Porcentaje de Recuperación en Función de la Presión Osmótica

Recuperación (%)	Presión Osmótica (kg/cm ²)	Productividad del último elemento a 66.7 kg/cm ² (m ³ /día)
30	39.37	11.35
35	42.18	10.22
40	45.70	9.09
45	49.21	7.2
50	54.83	5.3
55	60.46	3.2

Dado que el límite práctico de presión de las membranas que se fabrican hoy día es de 66.79 kg/cm² (70.3 kg/cm² máximo). El punto óptimo de operación va a estar entre el 38 y el 42 % de conversión (dependiendo del costo de la energía). El límite práctico de recuperación hoy día es del 45%, aunque hay plantas que operan hasta 50% de conversión.

El corazón de un sistema de ósmosis inversa para agua de mar son las membranas; las cuales actúan como filtro molecular que remueve por encima del 99% de los minerales disueltos que contiene el agua de mar. Esta propiedad permite a la membrana de ósmosis inversa producir agua dulce de alta calidad para beber o usos industriales a partir de agua de mar. En la Figura No. II-13 se presenta una fotografía de una membrana, en ésta las flechas azules indican el flujo de agua producto, las rojas el rechazo (salmuera) y las amarillas el agua de mar a tratar.

FIG. II-13 Estructura de una Membrana de Poliamida.



La calidad del agua potable obtenida en este sistema de potabilización depende tanto del material con que se fabrican las membranas (Acetato de celulosa ó Poliamida) como de la configuración de las mismas (fibras de tipo porosas o con ranuras de tipo espiral). Las membranas anteriormente mencionadas presentan diferentes características de acuerdo a las condiciones de operación a las que trabajen, en la Tabla II-4 se presentan dichas características (tolerancia a la presencia de cloro, ataque que toleran las membranas de acuerdo al tipo de material y su configuración).³²

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA No II-4 Condiciones de Operación para Membranas Utilizadas con Agua de Mar.

Material de la Membrana	Poliamida	Poliamida	Acetato de Celulosa
Configuración de la membrana	Envoltura tipo Espiral	Fibra Hueca (porosa)	Fibra Hueca (porosa)
Tolerancia al cloro (exposición continua)	No	No	Máximo 1 mg / litro
Rango de operación del pH	4.0 - 11.0	4.0 - 11.0	4.0 - 6.5
Índice de densidad de taponamiento (*)	<5	<3	<3
Temperatura de diseño °C	25	25	25
Temperatura Máxima de operación °C	40	40	40
Presión Máxima de operación (kg/cm ² bar).	71.37	83.60	61.17

(*) cantidad de sólidos depositados con diámetros de hasta 1/20 mm.

En caso de estar limitados a operar una toma abierta de agua de mar, el material que acarrea el agua debe ser de acero inoxidable, PVC, polietileno o tubería de resina epóxica con fibra de vidrio (FRP). Se puede utilizar tubería de acero al carbón únicamente si está recubierta de hule vulcanizado debido a la corrosión del material.

Para maximizar el desempeño de potabilización de agua de mar por medio de plantas de Osmosis Inversa, ésta debe ser pretratada.

El agua cruda debe ser filtrada para prevenir el ensuciamiento de las membranas, adicionalmente es posible que se requiera de un pretratamiento químico para prevenir incrustaciones o ensuciamiento biológico de las membranas.

En el pretratamiento existe una etapa de eliminación de partículas suspendidas la cual es realizada por medio de un sistema de filtración a presión con un lecho de filtros multimedia, posteriormente existe una segunda etapa de filtración con el fin de eliminar partículas con tamaño hasta de 5 micras. Adicionalmente se tiene un paso por carbón activado para disminuir la concentración de cloro presente en el agua, así como la adición de un anti-incrustante.

Después del pretratamiento del agua, ésta pasa a un área modular, la cual consta de las membranas necesarias así como del equipo para producir agua potable con una concentración de sólidos totales disueltos menor a 500 ppm. La concentración final del agua potable depende del número de pasos por los que pase el agua, así como, de la presión de operación y el tipo de membrana empleada. Los estándares de agua potable piden una pureza < 500 ppm SDT, pero no son suficientemente puros para el uso industrial, la cual requiere una concentración de sales menor a 10 ppm. En las Tablas. II-5 y II-6 se presentan estas características.

El postratamiento normalmente requerido consiste en un ajuste del pH para neutralizar el agua ligeramente ácida que produce el equipo de ósmosis y dosificación de hipoclorito para garantizar la potabilidad microbiológica del agua. Ver Figura II-14. Diagrama de Flujo de Proceso del Sistema de Potabilización de Ósmosis Inversa.

TABLA No. II-5 Características de Operación para un Sistema de Ósmosis Inversa de Un Paso, Empleando Diferentes Tipos de Membrana.

	Plantas de un Solo Paso			
	Membrana Tubular	Membrana Tubular	Membrana HP-HFF(*)	Membrana Espiral
Presión de operación, kg/cm^2	84.36	105.45	56.24	84.36
Recuperación, %	50	50	40	50
Cambios constantes, GFD(**)	8	10	0.8	8
Rechazo, %	99.6	99.6	99.6	99.6

(*) HP-HFF: membrana con una alta porosidad empleada para altas presiones.

(**) GFD: galones por pie cuadrado por día.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

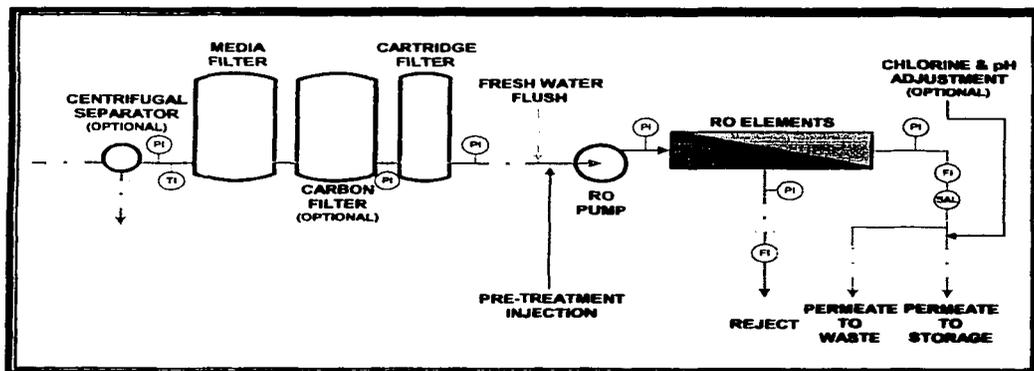
TABLA No. II-6 Características de Operación para un Sistema de Ósmosis Inversa de Dos Pasos, Empleando Diferentes Tipos de Membrana.

Presión de operación: (kg/cm ²)	Plantas de doble Paso		
	Tubular-Espiral	HP-HFF-Espiral	Espiral-Espiral
PASO 1	70.3	56.24	70.3
PASO 2	28.12	28.12	28.12
% de recuperación.			
PASO 1	55	55	55
PASO 2	80	80	80
Cambios constantes: (GFD)			
PASO 1	10	1.5	10
PASO 2	15	15	15
% de rechazos.			
PASO 1			
Sales Monovalentes	95	95	95
Sales Divalentes	98	98	98
PASO 2			
Sales Monovalentes	92	92	92
Sales Divalentes	98.5	98.5	98.5

(*) HP – HFF: Fibra de porosidad fina para alta presión.

(**) GFD: Galones por pie cuadrado de la membrana por día.

Figura No. II-14 Diagrama de Flujo de Proceso del Sistema de Potabilización de Ósmosis Inversa. (Diagrama otorgado por el Proveedor³²).



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En la Tabla No. II-7, se dan algunas características de un sistema de potabilización comercial de agua de mar por ósmosis inversa, para diferentes capacidades de agua tratada. En ésta se aprecia que existen equipos para este sistema con diferentes capacidades, así como los requerimientos de agua de mar potabilizar, energía eléctrica, dimensiones de la planta y conexiones.

TABLA NO. II-7 Características de una Planta de Ósmosis Inversa para Distintas Capacidades.

Capacidad m ³ /día	11.3	20	30	40	60	80
Alimentación de agua de mar. m ³ /día @ 2.04 kg/cm ² *	1.9	3.6	5.0	5.5	8.3	11
Energía eléctrica (kW)**	3.7	10	15	20	25	35
Dimensiones (M) (L x W x H)	1.5 x 1.2 x 1.2	1.5 x 1.2 x 1.2	3.0 x 2.1 x 2.1	3.0 x 2.1 x 2.1	3.0 x 2.1 x 2.1	3.6 x 2.4 x 2.4

TABLA NO. II-7 Características de una Planta de Ósmosis Inversa para Distintas Capacidades (Continuación).

Capacidad m ³ /día	11.3	20	30	40	60	80
Peso (vacío) kg	909	1136	1818	2275	2340	2727
Conexiones ***	Alimentación ¾"	Alimentación 1½"	Alimentación 1½"	Alimentación 1½"	Alimentación 2"	Alimentación 3"
	Permeado ½"	Permeado 1"	Permeado 1"	Permeado 1"	Permeado 1"	Permeado 1½"
	Rechazo ¾"	Rechazo 1"	Rechazo 1"	Rechazo 1"	Rechazo 1½"	Rechazo 2"

- * Considerando un contenido de 36,000 ppm TDS @ 25°C
- ** Operación promedio
- *** 15.54 kg/cm² ANSI Flange Connections (DIN Flanges are available)

En esta tabla podemos observar que el consumo de energía eléctrica aumenta ligeramente al incrementarse la capacidad de agua de mar a tratar. En referencia a las dimensiones éstas se incrementan ligeramente para todos los casos.

Una fotografía de un equipo comercial de Ósmosis inversa se presenta en la figura No. II-15.

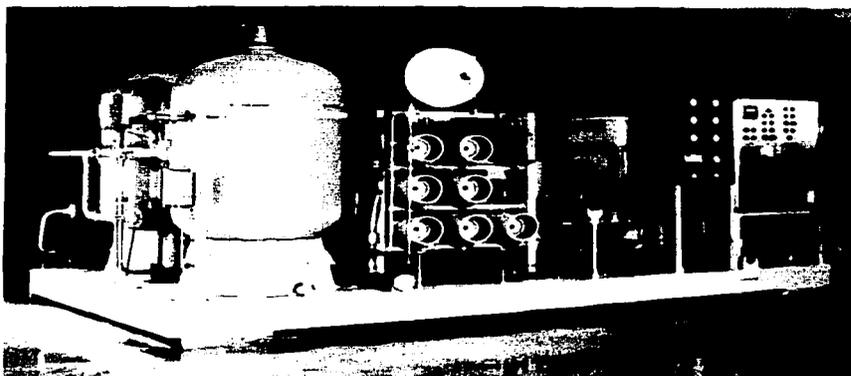


FIG. II-15. Fotografía de un Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Ósmosis Inversa.

2.2.3. Consideraciones Generales en la Elección de un Sistema de Potabilización de Agua de Mar (Ósmosis Inversa o Compresión Mecánica de Calor)

a) Salinidad y Temperatura del Agua de Mar.

El agua de mar contiene 36,000 ppm de sólidos disueltos totales, valor que se considera promedio. Para elegir una tecnología determinada para la desalación de agua de mar se debe evaluar el contenido de sales presente y determinar el equilibrio óptimo entre el funcionamiento y el costo de capital para cada tecnología. Adicionalmente debe tomarse en cuenta la temperatura del agua de mar, ya que si esta es muy baja llevaría a un consumo de energía más alto para el caso de plantas de compresión de vapor y para el caso de ósmosis inversa se requeriría de membranas con características especiales como lo es una mayor área superficial.

b) Prefiltración.

De manera general los sistemas de potabilización de agua de mar por compresión de vapor no requieren de una prefiltración extensa, se considera suficiente colocar un filtro canasta, a diferencia de los sistemas de ósmosis inversa, los cuales requieren de una prefiltración significativa en dos etapas, siendo la primera por medio de filtros multimedia y una segunda empleando filtros cartucho (5 micras), como mínimo. Esto es debido que las membranas en este sistema son muy susceptibles a ensuciarse.

c) Pretratamiento Químico.

Todos los procesos empleados en la potabilización de agua de mar requieren de un tratamiento químico para reducir al mínimo la formación de incrustaciones (depósitos minerales).

Para los sistemas de compresión mecánica de vapor se emplea un inhibidor de incrustación, el motivo de éste químico es que al trabajar a una alta temperatura la tendencia a la incrustación es mayor.

En sistemas de tratamiento por ósmosis inversa se emplea también un inhibidor de incrustación en menor dosificación que el caso anterior. Se puede requerir también un coagulante si el agua de mar es turbia. Adicionalmente se requiere quitar el cloro (Cl²) presente en el agua de alimentación antes de ingresar a las membranas debido a que se puede causar daños irreversibles a las mismas, disminuyendo su tiempo de vida útil.

Para que el cloro no pase a las membranas los sistemas tienen un dispositivo de seguridad que cierra el paso del agua cuando se detecta cualquier cantidad de cloro (Cl^-) residual en el agua de alimentación. El cloro en el agua de alimentación se puede quitar empleando filtros del carbón activado o inyectando bisulfito del sodio a la corriente. El sistema de inyección del bisulfito del sodio es menos costoso inicialmente que un filtro de carbón. El problema con un sistema de inyección es que cuando fluctúan los niveles del cloro (Cl^-) en el agua de alimentación el sistema de inyección no puede compensarlo. Los filtros del carbón pueden manejar fluctuaciones altas del cloro.

d) Postratamiento Químico.

Todos los procesos de desalación producen agua que al ponerse en contacto con oxígeno puede ser corrosiva, motivo por el cual se requiere un ajuste del pH. Lo cual se logra inyectando productos químicos o teniendo el agua producto en tanques de almacenamiento con agentes químicos para ajuste del pH.

e) Desinfección del Agua de Mar.

Para los sistemas de potabilización de agua de mar por Compresión mecánica de vapor y el de ósmosis inversa, el agua producto se encuentra dentro de los límites permisibles que pide la norma NOM-127-SSA1-1994, (Anexo F) Sin embargo, el agua producto debe ser desinfectada si se va a mantener almacenada cualquier período del tiempo. Debido a que el sistema de ósmosis hiperfiltra el agua producto, el resultado es un agua libre de dureza, así como, de bacterias, virus, pirógenos y patógenos. Esta agua producto es apta para consumo humano.

Para el caso en que se requiera desinfectar el agua ésta puede ser realizada inyectando cloro gaseoso o pasando el agua producto a través de un sistema que alimente bromo o usando sistemas de ion plata. Los esterilizadores (UV) ultra violetas también se utilizan pero desinfectan solamente en línea y no tienen ninguna capacidad de la retención.

f) Operación.

Las plantas de compresión mecánica de vapor requieren de limpieza y la frecuencia de ésta es dependiendo de sitios específicos. Algunas partes de la planta pueden limpiarse estando ésta en operación, es decir que el sistema continúe produciendo agua. En otros casos se requiere salir de operación para poder limpiarlo.

En este tipo de plantas se requiere en su limpieza de ácidos suaves (ácido cítrico), la limpieza es dada generalmente a las placas internas de la cámara de compresión y se da cada 6 meses.

Para el caso de plantas de ósmosis inversa se requiere para su limpieza de soluciones alcalinas o ácidas y en algunos casos detergentes. Las plantas para darles su limpieza tienen que salir de operación, tomando como precaución la temperatura y pH de la solución de limpieza. El reemplazo del filtro cartucho y el reemplazo de la membrana son muy importantes pues el sistema tiene que ser cerrado generalmente al sustituir dichos elementos. La frecuencia de limpieza en estos equipos es en promedio cada seis meses.

g) Energía.

El consumo de energía es considerado dentro de los costos operacionales como uno de los más altos. Para calcular el consumo de energía real, se debe de incluir la energía requerida para bombear el agua de mar.

La energía requerida para una planta de osmosis inversa depende de la energía eléctrica que maneja la bomba del proceso a alta presión. Para una planta típica desalinizadora que emplea un pretratamiento extenso y un factor de conversión del 40%, los requisitos mínimos de energía eléctrica con recuperación de energía se aproximan a los $5 \text{ kW} - \text{h} / \text{m}^3$. A diferencia del sistema de Compresión mecánica de vapor que requiere más del doble de energía que el de ósmosis inversa. El equipo que tiene el mayor consumo de energía es el compresor de vapor.

h) Materiales de construcción.

En sistemas de Compresión de mecánica de vapor los materiales que se emplean son: para la coraza se emplea acero inoxidable u otros materiales como aleaciones de cupro-níquel y acero de carbón. Sin embargo, en algunos casos se utiliza acero inoxidable de un grado más alto. Para el tubing de transferencia de calor el material más común es el bronce de aluminio, aunque el titanio también está llegando a ser común. Las bombas y la tubería son construidas generalmente de bronce de aluminio y cupro-níquel, respectivamente. En algunos casos las bombas y la tubería del acero inoxidable se utilizan en los equipos por donde pasara el destilado.

En el caso de una planta potabilizadora de ósmosis inversa no debe instalarse ningún equipo o tubería fabricados de metal ferroso antes de las membranas de ósmosis inversa (aunque estos sean recubiertos con pintura epóxica). Si no se cumple esta regla básica, a corto plazo la pintura epóxica se carcome y el material ferroso será oxidado por el agua de mar. Una vez que ocurre esto, el óxido de fierro se va a depositar sobre la superficie de las membranas y esto ocasiona daños irreversibles. Se cree que un amortiguador o un tramo corto de tubería de acero no es perjudicial para el sistema porque no puede aportar la cantidad suficiente de óxido que pueda dañarlo. Se debe tener en cuenta que si se permite la entrada de 5 a 10 gramos de óxido por membrana, este ocasiona una caída brusca en la producción de agua potable.

Todas las tuberías y equipos antes de la ósmosis deben ser vulcanizados, de plástico, cemento o de acero inoxidable 316-L pasivado, según la presión y el diámetro. En caso de que el agua tenga una temperatura superior a los 25°C debe de considerarse el uso de acero inoxidable 904-L para evitar corrosión de hendiduras o picaduras en lugares donde la circulación del agua sea pobre.

i) Mantenimiento.

Las plantas de compresión mecánica de vapor tienen de equipo mecánico: bomba de destilado, bomba de salmuera, bomba de recirculación de salmuera y una bomba de vacío. De manera obvia el tener más equipo mecánico se requiere de un sistema de mayor mantenimiento. Adicionalmente el compresor centrífugo que requiere mantenimiento periódico así como el sistema lubricante del mismo.

Para las plantas de Ósmosis inversa, los materiales de la construcción, la velocidad y tipo de la bomba determinan los requisitos de mantenimiento. Las bombas centrífugas multietapas son más confiables que las bombas reciprocantes, pero a éstas últimas es más fácil de darles mantenimiento y son energéticamente más eficientes. Las bombas centrífugas de alta velocidad requieren generalmente más mantenimiento que las centrífugas multietapas. De éstas últimas las bombas Quintuplex tienen un tiempo de vida mayor que las triplex.

Finalmente en las tablas II-8 y II-9 se indican de manera resumida las ventajas y desventajas de los sistemas de potabilización por ósmosis inversa y por compresión mecánica de vapor (descritos anteriormente).

2.2.4. Tablas de Ventajas y Desventajas de los Procesos de Potabilización de Agua de Mar.

Uno de los propósitos del presente estudio es dar las alternativas que se presentan en los procesos de potabilización de agua de mar en las plataformas marinas¹⁵.

Entre una variedad de los procesos de potabilización existentes, se proponen aquellos que son más factibles de ser utilizados de los cuales se describen a continuación sus ventajas y desventajas y así poder elegir el que se adapte a las necesidades requeridas por el sistema.

TABLA No. II-8 Ventajas y Desventajas del Proceso de Ósmosis Inversa

Proceso de Ósmosis Inversa	
Ventajas	Desventajas
1. No requiere de energía térmica para su funcionamiento.	1. Requiere de pretratamiento y postratamiento para la remoción de contaminantes o partículas suspendidas sólidas en el agua de mar y para el control del pH del agua potable.
2. Alta relación de flujo de agua potable por flujo de agua de alimentación.	2. Si la aplicación requiere una calidad de agua mayor, es necesarias instalar etapas adicionales
3. Ideal para aplicaciones pequeñas y medianas donde se requieran capacidades de producción de agua potable de 10 a 550 m ³ / día.	3. Requiere de altas presiones para el funcionamiento de la planta y lograr el filtrado de las partículas salinas a través de la membrana.
4. Trabajan a temperaturas normales de operación de 25 - 40°C	4. Las membranas son susceptibles al ensuciamiento e incrustación, por lo que es indispensable realizar un mantenimiento periódico preventivo.
5. Se obtiene agua potable con la calidad requerida para consumo humano.	5. Se requiere el cambio frecuente de membranas, cuando a éstas no se les da un mantenimiento adecuado.
6. Bajo consumo de energía eléctrica con respecto a otros procesos de potabilización.	6. Las membranas se dañan en presencia de soluciones con cloro.
7. Eliminación del 90 al 99 % de todas las sales, así como, 99.9 % de los virus, bacterias y pirógenos.	
8. Arreglo de los tubos de presión y del equipo auxiliar de acuerdo a los requerimientos del sitio de instalación.	
9. Corto tiempo de arranque y puesta en operación.	

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA No II-8 Ventajas y Desventajas del Proceso de Ósmosis Inversa.
(Continuación).

Proceso de Ósmosis Inversa	
Ventajas	Desventajas
<p>10. Cuenta con la mínima cantidad de partes mecánicas movibles (solo la bomba de presión de agua de mar).</p> <p>11. Corto tiempo de entrega de la planta.</p> <p>12. El material de construcción de estas plantas es el PVC, resina poliéster, polipropileno y poliamida para las membranas obteniendo una excelente resistencia a la corrosión.</p> <p>13. Costo relativamente bajo de la planta.</p> <p>14. Su simplicidad y confiabilidad de operación hacen de estas plantas una excelente inversión.</p> <p>15. Actualmente las membranas son de poliamida en espiral que tienen un alto flujo de separación de sales, una excelente resistencia a la alta presión, bajos precios y tiempos de vida más largos.</p> <p>16. Se puede aprovechar la energía producida por la alta presión de la salmuera, para mover cualquier otro equipo rotatorio, permitiendo reducir el consumo de energía eléctrica</p>	

TABLA No. II-9 Ventajas y Desventajas del Proceso de Compresión Mecánica de Vapor

Proceso de Compresión Mecánica de Vapor	
Ventajas	Desventajas
<ol style="list-style-type: none"> 1. El agua producida contiene <1 ppm de sólidos disueltos totales. 2. Ideal para aplicaciones pequeñas y medianas donde se requieran capacidades de producción de agua potable de 30 a 2 000 m³ / día. 3. Alta relación de flujo de agua potable por flujo de agua de alimentación. 4. Tiempo de entrega de equipo relativamente corto. 5. Materiales de construcción durables y adecuados para resistir la corrosión. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hay limitaciones con respecto al tamaño de la planta debido a las capacidades limitadas del compresor 2. Daños por corrosión en los alabes del compresor, ocasionados por la sal contenida en el vapor. 3. Requiere la instalación de compresores de alto valor económico con baja eficiencia, accesorios caros y desventajas de operación y mantenimiento 4. Requiere pretratamiento químico el agua de alimentación (dosificar un inhibidor de corrosión) del equipo. 6. Requiere de postratamiento para ajustar pH del agua producto para consumo humano. 5. Requiere mayor mantenimiento que otros procesos de potabilización debido a que cuenta con equipos con partes móviles. 6. Alto costo de la planta, así como, de las refacciones que requieren los equipos auxiliares. 7. Largos tiempos para entrega de refacciones de las partes esenciales de la planta.

2.2.5. Problemas Detectados en los Equipos de Potabilización de Agua de Mar Existentes.

De los sistemas de potabilización de agua de mar que se emplean en las plataformas marinas se pueden presentar los siguientes problemas.

• Sistema de Potabilización por Termocompresión.

- El agua de mar que se alimenta a la planta de potabilización no se pasa por los filtros multicapa.
- No se da pretratamiento químico (inyección de hipoclorito de calcio) al agua de mar que se alimenta. Por tal motivo no se está previniendo la proliferación y crecimiento de especies marinas.
- Hay inexistencia de bombas de dosificación de químicos además de que no se contaba con refacciones suficientes ni con mantenimiento a las mismas.
- La calidad de agua producto de estas plantas es desconocida debido a que el medidor de conductividad no funciona. Se supone que la calidad de agua es buena ya que no han tenido problemas en la plataforma.
- Al agua producto procedente de este sistema de potabilización no se le está dando un tratamiento químico para darle el pH requerido y el contenido de sales adecuado para el consumo humano (a base de una solución de carbonato – metafosfato).
- Las refacciones que se requieren solamente se pueden adquirir con el proveedor, el cual se encuentra en Israel por lo que es difícil obtenerlas oportunamente, pues su entrega se demora de 6 a 12 meses. Otro factor crítico, es que las refacciones dependen del número de serie del equipo y su disponibilidad.
- Siendo el compresor el componente principal en este tipo de planta, es necesario tener uno de repuesto, ya que al estar en contacto con vapor de agua de mar (46 °C) se deteriora con facilidad.
- El indicador de vibraciones no funciona, por lo cual no se tiene conocimiento de cuando se debe parar la planta por este motivo.
- Los filtros de carbón activado (pulidores) no se encuentran en operación. Por este motivo el agua potable se envía directamente a abastecimiento a las plataformas que lo requieren.
- Los tanques de almacenamiento de agua producto no se lavan de manera periódica de tal manera no se puede evitar la formación de organismos en el interior de los mismos.

- La tubería existente para el abastecimiento de agua potable para consumo humano de la Habitacional es de acero al carbón, ocasionando que el fluido se contamine por la existencia de óxido en la tubería.
- Se desconoce si el agua producto está cumpliendo con los parámetros que pide la norma NOM – 127 – SSA1 - 1994. (Anexo F)⁴¹.
- Al hacer muestreo de agua potable de esta planta, para llevar a análisis fisicoquímicos y bacteriológicos, no se toman las muestras siempre en el mismo punto.
- No se cuenta con plantas potabilizadoras de relevo, motivo por el cual al entrar en mantenimiento o tener un paro de la planta existente se queda la plataforma sin abastecimiento de agua potable.

Sistema de Potabilización por Ósmosis Inversa.

- Actualmente no se proporciona tratamiento químico (inyección de hipoclorito) al agua de mar que se alimenta a la planta potabilizadora. Ésta situación se presenta desde hace tiempo, ya que se desconoce el empleo y como realizar la inyección de químicos. (No se está evitando la proliferación y crecimiento de especies marinas en los filtros multicapa).
- El retrolavado de los filtros multicapa no se lleva a cabo de manera periódica ocasionando que se taponen los mismos.
- Los medidores de conductividad de agua potable producto no funcionan provocando el desconocimiento de la calidad de agua que se está obteniendo y la operación adecuada de la planta potabilizadora. Con esto, se disminuye el tiempo de vida útil de las membranas.
- Los filtros cartucho no se cambian con la periodicidad que se debiera (tres veces a la semana).
- En los tableros de control se encontró que los rotámetros de rechazo (salmuera) no funcionan, motivo por el cual no se conoce el flujo de la corriente que se está regresando al mar después de la potabilización.
- No existen algunos instrumentos de medición en la planta, como lo son termopares y manómetros.
- No existen puntos de toma de muestra para que al tener los resultados de análisis bacteriológicos y fisicoquímicos se pueda hacer una comparación de los mismos y tomar medidas correctivas en el funcionamiento de la planta.
- Se desconoce si el agua producto está cumpliendo con los parámetros que pide la norma NOM – 127 – SSA1 - 1994 (Anexo F)⁴¹.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Uno de los motivos por los cuales la planta potabilizadora sale de operación por un tiempo largo es la falla de la válvula restrictora. Esta situación se presenta porque no se tiene un plan de mantenimiento preventivo para la planta potabilizadora.
- No se tiene el cuidado adecuado con las membranas usadas ya que estas se pueden reutilizar. Estas se deben lavar con agentes químicos que recomienda el proveedor y almacenarse en agua potable hasta su utilización. Si se efectuara este método, la vida de tiempo útil de las membranas se incrementaría.
- El personal que actualmente opera la planta potabilizadora no tiene el conocimiento adecuado de su funcionamiento, ya que no se les ha proporcionado capacitación para operar adecuadamente dicha planta, el operador no está familiarizado con la planta y no tiene la habilidad para solucionar algún problema por mal funcionamiento que se presente
- Los tanques de almacenamiento de agua producto, no se lavan de manera periódica, de tal manera no se puede evitar la formación de organismos en el interior de los mismos.
- La tubería existente para el abastecimiento de agua potable para consumo humano de la Habitacional es de acero al carbón, ocasionando que el fluido se contamine por la existencia de óxido en la tubería.
- No se cuenta con plantas potabilizadoras de relevo, motivo por el cual al entrar en mantenimiento o tener un paro de la planta existente se queda la plataforma sin abastecimiento de agua potable.
- No se tiene una bitácora de operación (no hay registros de variables de operación de la planta).
- No se cuenta con una copia del manual de operación de la planta potabilizadora, por lo cual el operador no tiene conocimiento de algunas fallas posibles de la planta y como solucionarlas.
- No se cuenta con refacciones suficientes (rodamientos, sellos, etc.) para dar mantenimiento preventivo a la bomba.

TESIS CON
FALLA DE CARGEN

2.3. Análisis Comparativo de los Sistemas de Potabilización de Agua de Mar.

En la literatura abierta técnica y/o comercial, se cuenta con información de diferentes fabricantes de equipos que ofrecen Sistemas de Potabilización de Agua de Mar que más comúnmente se emplean en plataformas marinas. Estos sistemas son los de Compresión Mecánica de Vapor y de Ósmosis Inversa. Se buscó la información referente a capacidades de producción de agua potable a partir de agua de mar de 50 y 100 m³ /día.

Para el sistema de potabilización por Compresión Mecánica de Vapor se obtuvo información de un solo fabricante para ambas capacidades. En el caso del sistema por Ósmosis Inversa se obtuvo de dos fabricantes para las mismas capacidades. A continuación se presenta un resumen de esta información.

◆ **Sistema de potabilización de Agua de Mar por Compresión Mecánica de Vapor**
Capacidad Nominal 50 m³ / día (Proveedor No.1)

Las características que ofrece el sistema de Termocompresión mecánica de vapor para producir 50 m³/día de agua potable a partir de agua de mar son las siguientes:

Característica	Valor
Capacidad nominal	50 m ³ / día
Relación agua de potable / agua de mar	50 %
Calidad de agua producto*	salinidad máxima de 10 ppm, al pasar por el filtro remineralizador el contenido de sales se incrementa hasta 100 ppm
Dimensiones, largo x ancho x alto (m)	2.56 x 3.73 x 3.83
Peso de la unidad, vacío (Kg)	3,000
Peso de la unidad en operación (Kg)	3,300
Consumo de energía eléctrica	19 kW-h/m ³

*Calidad de Agua termino empleado por los proveedores que indica la cantidad de sales contenidas en el agua producto (Desalinizada).

TRIS CON
FALLA DE ORIGEN

♦ **Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Compresión Mecánica de Vapor**
Capacidad Nominal 100 m³ / día (Proveedor No. 1)

Las características que ofrece el sistema de Termocompresión Mecánica de Vapor para producir 100 m³/día de agua potable a partir de agua de mar son las siguientes:

Característica	Valor
Capacidad nominal	100 m ³ / día
Relación agua de potable / agua de mar	50 %
Calidad de agua producto	salinidad máxima de 10 ppm, al pasar por el filtro remineralizador el contenido de sales se incrementa hasta 100 ppm
Dimensiones, largo x ancho x alto (m)	7.4 x 4.4 x 5.5
Peso de la unidad, vacío (Kg)	11,000
Peso de la unidad en operación (Kg)	14,000
Consumo de energía eléctrica	17 kW-h/m ³
Servicios auxiliares	La planta requiere 4 m ³ /h de aire para instrumentos

♦ **Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Ósmosis Inversa de Un Paso Capacidad Nominal 50 m³ / día (Proveedor No. 2)**

Las características que ofrece el sistema de potabilización de ósmosis inversa para producir 50 m³/día de agua potable a partir de agua de mar son las siguientes:

Característica	Valor
Capacidad nominal	50 m ³ / día
No. Pasos	UNO
Relación agua de potable / agua de mar	38 %
Calidad de agua producto	salinidad < 500 ppm
Dimensiones, largo x ancho x alto (m)	
*Plataforma del sistema de ósmosis inversa	2.18 x 0.92 x 1.91
* Plataforma de la bomba	1.38 x 0.66 x 0.66
Peso de la unidad, vacío (Kg)	780
Consumo de energía eléctrica	230 V / 60Hz, 3 fases

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

♦ **Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Osmosis Inversa de Dos Pasos Capacidad Nominal 50 m³ / día (Proveedor No. 2)**

Las características que ofrece el sistema de potabilización de ósmosis inversa para producir 50 m³/día de agua potable a partir de agua de mar son las siguientes:

Característica	Valor
Capacidad nominal	50 m ³ / día
No. Pasos	DOS
Relación agua potable / agua de mar	
• Primer paso	35 %
• Segundo paso	60 %
Calidad de agua producto	
• Primer paso	<500 ppm
• Segundo paso	< 30 ppm
Dimensiones, largo x ancho x alto (m)	
*Plataforma del sistema de ósmosis inversa	4.7 x 0.80 x 1.91
Consumo de energía eléctrica	230 V / 60 Hz / 3 fases

♦ **Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Osmosis Inversa de Un Paso Capacidad Nominal 50 m³ / día (Proveedor No. 3)**

Las características que ofrece el sistema de potabilización de ósmosis inversa para producir 50 m³/día de agua potable a partir de agua de mar son las siguientes:

Característica	Valor
Capacidad nominal	50 m ³ /día
Relación agua potable / agua de mar.	25-30 %
Calidad de agua producto	Salinidad máxima 500 ppm
Dimensiones, largo x ancho x alto(m)	3 x 2.1 x 2.1
Peso estimado (Kg)	2,350
Potencia requerida	20 Kw

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

- Sistema de Potabilización de Agua de Mar por Osmosis Inversa de Dos Pasos Capacidad Nominal 100 m³ / día (Proveedor No. 2).

Las características que ofrece el sistema de potabilización de ósmosis inversa para producir 100 m³/día de agua potable a partir de agua de mar son las siguientes:

Característica	Valor
Capacidad nominal	100 m ³ / día
No. Pasos	DOS
Relación agua de potable / agua de mar	
• Primer paso	35 %
• Segundo paso	60 %
Calidad de agua producto	
• Primer paso	<500 ppm
• Segundo paso	< 30 ppm
Dimensiones, largo x ancho x alto (m) *Plataforma del sistema de ósmosis inversa	4.7 x 0.80 x 1.91
Peso de la unidad, vacío (Kg)	---
Peso de la unidad en operación (Kg)	---
Consumo de energía eléctrica	230 V / 60 Hz / 3 fases

- Tabla de Comparación Técnica para los Sistemas de Potabilización de Agua de Mar para una Capacidad Nominal de 50 m³ / día.

	Proveedor 1	Proveedor 2	Proveedor 2	Proveedor 3	Proveedor 3
Tipo de sistema	Compresión mecánica de vapor	Osmosis inversa	Osmosis inversa	Osmosis inversa	Osmosis inversa
Calidad del agua	< 10 ppm	< 500 ppm	<10 ppm	<500 ppm	< 30 ppm
Relación agua potable/agua de mar.	50 %	38 %	1° paso: 35 % 2° paso: 60%	25 – 30 %	-----
Dimensiones Largo, ancho y alto (metros)	2.56 x 3.73 x 3.83	2.18 x 0.92 x 1.91	4.70 x 0.80 x 1.91	3.0 x 2.1 x 2.1	3.0 x 2.6 x 2.1
Consumo de energía	19 kW-h/m ³			20 Kw	25 Kw
Costo (USD)	216,232.00	79,250.00	183,900.00	85,000.00	115,000.00

En la tabla anterior se aprecia que el costo de las plantas potabilizadoras por el sistema de ósmosis inversa es más bajo que el de compresión mecánica de vapor. Tomando en cuenta que las plantas de ósmosis de dos pasos dan una calidad de agua producto similar al otro proceso el costo de éstas es aproximadamente el 0.85 del costo de una planta de compresión mecánica de vapor.

- **Tabla de Comparación Técnica para los Sistemas de Potabilización de Agua de Mar para una Capacidad Nominal de 100 m³ / día.**

Característica	Proveedor No. 1	Proveedor No. 2
Tipo de sistema	Compresión mecánica de vapor	Ósmosis Inversa
Calidad del agua	< 10 ppm	< 30 ppm
Relación agua potable/agua de mar.	50 %	50 %
Dimensiones Largo, ancho y alto (metros)	7.4 x 4.4 x 5.5	4.7 x 0.80 x 1.91
Consumo de energía	17 kW-h/m ³	-----
Costos	614,060.00	249,700.00

Para la capacidad nominal de 100 m³ y una calidad de producto < 30 ppm, se observa que el costo de la planta de potabilización de compresión mecánica de vapor es aproximadamente 2.45 veces más alto que el de la planta de ósmosis inversa. Comparando dimensiones de ambos equipos aun así el sistema de ósmosis inversa es menos espacioso.

El costo de una planta de ósmosis inversa de dos pasos, con una capacidad nominal de 100 m³/día, para dar una calidad de agua producto < 30 ppm es aproximadamente el mismo que de una planta de compresión mecánica de vapor con una capacidad de 50 m³/día.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.4. Criterios para la Selección del Sistema de Potabilización de Agua de Mar.

La selección del proceso de potabilización de agua de mar para las plataformas costa fuera, depende principalmente de su requerimiento ($m^3/día$) y de los siguientes factores:

- 1) La efectividad del proceso con respecto a la energía consumida ($KW - h / m^3$).
- 2) Eficiencia del proceso: cantidad de agua potable obtenida por cantidad de agua de mar tratada (kg agua potable / kg de agua de mar).
- 3) Los pretratamientos y postratamientos requeridos por el agua de mar (requiere / no requiere).
- 4) El costo del equipo (\$) y costos de operación.
- 5) Dimensiones y pesos del equipo.
- 6) Materiales de construcción del equipo.
- 7) Tiempos de operación (intermitente / continuo).
- 8) Especialización requerida por el personal operativo.

El proceso para potabilizar agua de mar que se recomienda debe ofrecer como producto, agua potable que cumpla con lo especificado en la NORMA OFICIAL MEXICANA "NOM-127-SSA1-1994, (Anexo F) Salud Ambiental Agua para Uso y Consumo Humano – Límites Permisibles de Calidad y Tratamientos a que debe Someterse el Agua para su Potabilización". Que es la Norma Oficial vigente en México, estipulada por la Secretaría de Salud del Gobierno Federal Mexicano.

CAPITULO III.

PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS.

3. Plantas de Tratamiento de Aguas Negras.

Generalidades.

3.1. Procesos de Tratamiento de Aguas Negras.

1. Tratamiento Convencional.
2. Aereación Extendida.
3. Tratamiento Convencional con Remoción de Fosfatos.
4. Tratamiento Físico-Químico.
5. Tratamiento Convencional con Remoción de Amoníaco.
6. Tratamiento Completo.
7. Tratamiento Electrolítico.
8. Tratamiento Electromecánico (Oxidación Avanzada).
9. Tratamiento Anaerobio.

3.2. Efecto de los Detergentes en el Tratamiento de Aguas Negras.

3.3. Comparación de los Equipos de Tratamiento de Aguas Negras.

- 3.3.1. Aereación Extendida.
- 3.3.2. Electrolítico.
- 3.3.3. Electromecánico (Oxidación Avanzada).
- 3.3.4. Problemas Detectados en los Equipos de Tratamiento Existentes en Plataformas.
- 3.3.5. Ventajas y Desventajas de los Equipos.

3.4. Criterios para la de Selección del Proceso.

- 3.4.1. Homogeneización de Aguas Negras y Grises.
- 3.4.2. Segregación de Corrientes.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO III.**3. Plantas de Tratamiento de Aguas Negras.****Generalidades**

Durante las últimas décadas, la humanidad ha encontrado que el indiscriminado desecho de residuos tóxicos al ambiente, puede volverse en su contra. En México, los problemas se agravaron ante la falta de conciencia acerca de los problemas resultantes de la contaminación.

El problema de la contaminación ambiental ha adquirido una relevancia internacional en los últimos años, debido a que se han alcanzado valores significativos de contaminantes que constituyen un riesgo potencial para la salud humana y para los sistemas ecológicos.

Afortunadamente en nuestro país se han impuesto restricciones legales a la cantidad y tipo de compuestos químicos que pueden ser desechados al ambiente, como en el caso de los efluentes de aguas negras desechados directamente al mar. Si bien la contaminación por aguas negras en la zona marina no es significativa, es conveniente revisar y especificar el equipo adecuado de tratamiento que permita disponer al mar los efluentes con las concentraciones permitidas de contaminantes que indica la norma ecológica NOM-001-ECOL-96 (Anexo B) con el propósito de prevenir y evitar la contaminación del entorno marino.

Las aguas negras en una plataforma marina son las aguas de desecho originadas por las actividades vitales del personal que labora en la misma. La cantidad y calidad que se produce varía de acuerdo al número de personas y a la contribución de los distintos servicios proporcionados a bordo tales como cocina, lavandería, regaderas, lavabos, retretes y mingitorios.

Todas estas corrientes, al combinarse forman una mezcla que contiene desechos humanos (sustancias fecales), partículas de alimentos, grasas y jabones, lo que hace necesario el tratamiento adecuado a fin de modificar sus características físicas, químicas y tóxicas para su disposición directa al mar.

El contar con plantas de tratamiento de aguas negras que cubran adecuadamente las necesidades de las plataformas marinas contribuye a mantener un equilibrio ambiental y ecológico entre los elementos del medio con las actividades productivas de la zona, con todas las ventajas y beneficios que esto implica.¹⁷

3.1. Procesos de Tratamiento de Aguas Negras⁴.

La conservación del ambiente ha incrementado sustancialmente el estudio de tecnologías a fin de recuperar o eliminar los contaminantes desechados y es de esperarse que en el futuro este tipo de tecnologías se incrementen proporcionalmente con la actividad productiva.

Con respecto al tratamiento de las aguas negras, los métodos empleados varían dentro de una amplia gama. Existen distintos procesos que se utilizan en la industria y su aplicación depende del tipo y calidad de efluente que se va a tratar.

Las etapas del proceso son similares y fáciles de operar. En la mayoría de ellas se requiere de secciones de clarificación primaria y secundaria, de un tratamiento biológico "in situ" y de una sección de desinfección (ver esquema No. III-1).

Los procesos que se manejan son los siguientes:

1. Tratamiento Convencional.

Este proceso es uno de los más simples, donde las aguas de desecho se envían primeramente a un clarificador para retirar los sólidos sedimentables reduciendo la carga orgánica en las siguientes unidades de tratamiento. Posteriormente pasan a una sección de lodos activados. Los microorganismos localizados en esa sección consumen la materia orgánica biodegradable con la ayuda de suministro de aire (proceso aeróbico). Después de un periodo de tiempo los sólidos, microorganismos y el agua fluyen hacia otro clarificador donde se separan los sólidos finos; este efluente pasa entonces al tratamiento final para su desinfección con hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio.

2. Aereación Extendida.

Este proceso es similar al convencional, adicionando una sección de aereación en donde se lleva a cabo el tratamiento biológico con un tiempo de residencia de 24 horas o más, para posteriormente enviar el efluente a un clarificador y a desinfección.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3. Tratamiento Convencional con Remoción de Fosfatos.

Proceso muy semejante al Tratamiento Convencional con la diferencia de añadirle una etapa de remoción de fosfatos.

Se ha determinado que altas concentraciones de fósforo favorecen el crecimiento masivo de algas, que dan origen al incremento de materiales nutritivos. Si el agua de desecho dentro de sus características presenta algas o fitoplancton, provocará un crecimiento acelerado de organismos, lo cual ocasiona un aumento considerable en la materia orgánica, la que al degradarse consume grandes cantidades de oxígeno, ocasionando que la zona del fondo del recipiente presenta un bajo contenido de oxígeno, originando la muerte de un gran número de microorganismos disminuyendo así la eficiencia de degradación. Por estas razones se hace necesario retirar el fósforo (nutriente) de las aguas de desecho.

El fósforo se elimina por precipitación con calcio, sales de aluminio o hierro a pH (7 - 10) formando el fosfato de calcio o el fosfato de aluminio ó hierro.

4. Tratamiento Físico-Químico.

En este proceso los influentes se someten a un mezclado y floculado rápido. Para tal fin, se suministran grandes dosis de productos químicos que provocan coagulación y floculación. Por lo general, se utiliza cal para lograr una máxima absorción de impurezas durante el proceso de floculación.

5. Tratamiento Convencional con Remoción de Amoniaco.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las primeras etapas de este proceso son similares al Tratamiento Convencional. La última etapa consiste en la nitrificación que convierte al amoniaco y a los nitritos en nitratos. La nitrificación puede ocurrir en un tanque de lodos activados que contenga organismos específicos que utilizan amoniaco y nitritos durante su metabolismo.

Después de la nitrificación, un tanque clarificador sedimenta los sólidos finos y los regresa al tanque de lodos para mantener a los organismos nitrificadores en el nivel adecuado de actividad.

6. Tratamiento Completo.

Las aguas negras una vez desmenuzadas hidráulicamente entran a un clarificador donde se separan los sólidos sedimentables. Posteriormente pasan al tratamiento biológico con lodos activados donde se aerean durante un tiempo aproximado de 24 horas, logrando que los microorganismos consuman toda la materia orgánica biodegradable. Después los efluentes se envían a un clarificador para que los sólidos presentes se depositen rápidamente en el fondo, dando paso a un efluente limpio y claro. Este efluente se introduce en un estanque donde se nitrifica para remover el amoníaco presente. Una vez hecho esto, se desnitrifica y se vuelve a clarificar para dar paso a la desinfección.

7. Tratamiento Electrolítico.

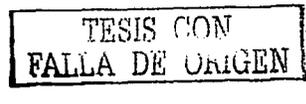
Este tratamiento oxida y desinfecta la corriente de aguas negras por medio de un proceso electroquímico. Se utiliza una celda electrolítica, la cual produce hipoclorito de sodio a partir del agua de mar, actuando directamente sobre los influentes.

Cuando se produce el hipoclorito, la corriente de aguas negras pasa a través de los ánodos de la celda eléctricamente cargada, rompiendo las moléculas orgánicas; simultáneamente ocurren múltiples reacciones que ocasionan una rápida y completa eliminación de bacterias y compuestos orgánicos. En unos cuantos minutos, se logra la degradación de materia orgánica en un 90 o 95 % y casi la muerte total de las bacterias. La unidad de proceso actúa con la sal contenida en el agua de mar y no requiere aditivos. Sin embargo, cuando opera con agua fresca se debe agregar sal para que se realice la electrólisis.

8. Tratamiento Electromecánico (Oxidación Avanzada).

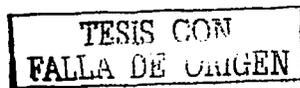
Proceso utilizado en sistemas de tratamiento de agua de desecho en zonas marinas, principalmente. Este tratamiento degrada y desinfecta los influentes usando un oxidante, producido eléctricamente mediante un generador de ozono.

Este proceso utiliza dos sistemas de tratamiento, la flotación mecánica y la oxidación avanzada. Con la flotación mecánica se remueven y se separan los sólidos suspendidos, grasas y aceites, además de realizarse una reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) mediante la oxidación de la materia orgánica. El efluente resultante es claro e inodoro.



Los componentes principales de estos sistemas de tratamiento son:

- ◆ Tamizado primario.
- ◆ Tanque primario de oxidación y separación de sólidos.
- ◆ Tanque de oxidación secundaria y desinfección.
- ◆ Equipo generador del oxidante (ozono).
- ◆ Tablero de control.



9. Tratamiento Anaerobio.

La actividad de la vida biológica en las aguas negras, produce muchos cambios en la composición química de sus sólidos. Estos cambios químicos, debido al desarrollo biológico, no solo indican las actividades de los microorganismos, sino que también miden el grado de descomposición de dichos sólidos y por lo tanto, la eficiencia de cualquier proceso de tratamiento.

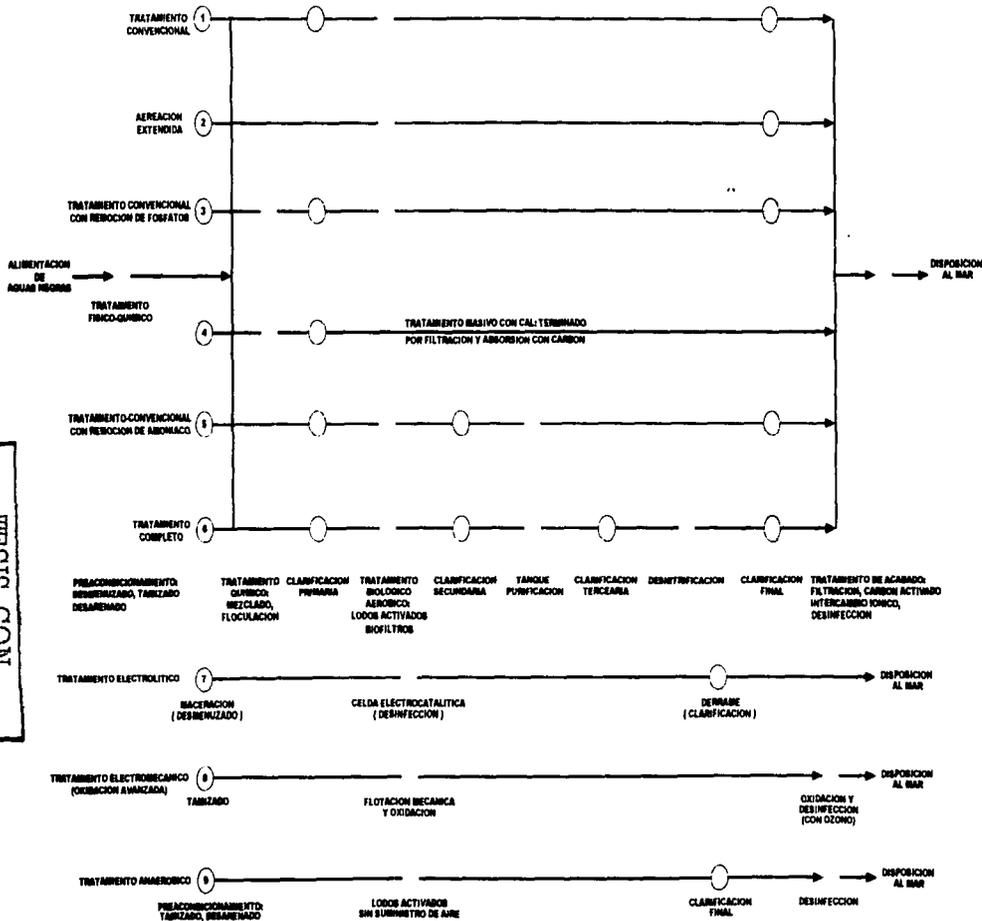
Los cambios bioquímicos producen sobre los sólidos coloidales o no sedimentables, una eliminación de moléculas de agua retenidas en ellos. Esta pérdida de agua hace que se aglomeren o floculen formando sólidos más pesados o sedimentables. Estos sedimentos, tanto orgánicos como inorgánicos que se separan, se conocen como lodos activados y arenas respectivamente.

En los casos en que el oxígeno disuelto del agua no es suficiente para mantener la descomposición anaeróbica o putrefacción, da como resultado condiciones desagradables.

Cuando se agota completamente el oxígeno disuelto, los organismos aerobios son reemplazados por variedades de microorganismos anaerobios, teniendo lugar la descomposición anaeróbica, con la correspondiente apariencia negra y desagradable de las aguas, junto con sus olores ofensivos.

El ácido sulfhídrico, que es un gas de olor desagradable, es el resultado de la descomposición anaeróbica de los compuestos que contienen azufre y da origen a un estado de acidez que puede afectar posteriores reacciones bioquímicas y ejercer acción corrosiva sobre los equipos.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



Esquema III-1 Proceso para el Tratamiento de Aguas Negras.

3.2. Efecto de los Detergentes en el Tratamiento de Aguas Negras.

Las formulaciones en la mayoría de los detergentes en México, tienen como principal constituyente el dodecil bencen sulfonato de sodio (DBS) que posee una cadena de hidrocarburos lateral ramificada, la cual es poco biodegradable.

En Estados Unidos de América se logró obtener un producto con características de limpieza similares al DBS pero más biodegradable, llamado Alkil bencen lineal sulfonato de sodio (ABL.); el cual se diferencia del DBS en que su estructura contiene una cadena de hidrocarburos lateral lineal. Este producto ha pasado a formar parte de las formulaciones de detergentes en ese país desde hace más de 30 años.

En comparación con los jabones, los detergentes (productos sintéticos) son agentes limpiadores más efectivos. Sin embargo, algunas propiedades de estos detergentes, afectan severamente a los procesos de tratamiento de aguas de desecho debido a lo siguiente:

- Disminuyen la tensión superficial del agua, evitando la floculación de coloides para su fácil degradación.
- Humedecen las sustancias con las que entran en contacto los microorganismos, ocasionando una degradación lenta de la materia orgánica.
- Emulsifican a las grasas y ácidos, haciendo más difícil su descomposición.
- Provocan la flotación de sólidos y permiten la formación de espuma, esto ocasiona que no exista una transferencia adecuada de oxígeno al agua.
- Destruyen bacterias y algunos otros organismos vivos, útiles en el proceso.

Se ha establecido por diversas investigaciones, que la mayoría de los detergentes, reducen la razón de transferencia de oxígeno en la aereación, por lo que se requiere de un mayor volumen de oxígeno en el proceso de lodos activados.

Este proceso biológico para el tratamiento de aguas residuales con presencia de detergentes, puede reducir su eficiencia en un 20 %.

Además, los detergentes que generalmente presentan altos contenidos de fosfatos, pueden contribuir a originar otra contaminación, llamada eutroficación.

Por otro lado, en el mercado se encuentra tres tipos de detergentes sintéticos:

Aniónicos. Contienen como grupos solubles, sulfatos y sulfonatos de sodio.

Catiónicos. Son compuestos cuaternarios de amonio.

No aniónicos. Son productos derivados de la condensación del óxido de etileno, con materiales fenólicos o ácidos grasos.

Los detergentes aniónicos y especialmente los sulfonatos, son los que se utilizan más, ya que cuestan poco y son estables en agua dura. Los detergentes catiónicos poseen las mejores propiedades, pero son bastante caros y los detergentes no aniónicos, encuentran una utilidad industrial algo mayor que la doméstica.

Los detergentes pueden ser degradados por distintas vías metabólicas, pero principalmente dependen de la estructura hidrocarbonada que posean. Con base en la estructura química de sus componentes activos, se encuentran diferencias significativas con relación a su biodegradabilidad.

La biodegradación de los detergentes, aumenta al aumentar la longitud de átomos de carbono (C_{12}) y que sean cadenas lineales. Los compuestos con longitud de átomos menores de carbono y que sean ramificados, es muy difícil o casi imposible su degradación.

En México generalmente se fabrican detergentes no biodegradables; por tal motivo se requieren estudios para determinar el impacto que puede causar el uso desmedido de estas sustancias al ambiente marino, dado sus características contaminantes y así ayudar a establecer reglamentaciones que ayuden a preservar el ambiente.

Las plantas de tratamiento de aguas negras que operan generalmente tratan influentes provenientes de retretes, mingitorios, lavabos, y en las plataformas habitacionales se incluyen aguas provenientes de cocina, lavandería y regaderas. Por tanto, es conveniente considerar la presencia de detergentes en el tratamiento.

3.3. Comparación de los Equipos de Tratamiento de Aguas Negras.

Con base a una revisión bibliográfica, se realizó una evaluación de los sistemas de tratamiento disponibles en el mercado y que pueden ser implementados para su uso en plataforma (tomando en cuenta espacio disponible, mantenimiento, condiciones ambientales y servicios requeridos).

Los dos métodos básicos que se encuentran existentes son el tratamiento electroquímico (usando hipoclorito de sodio u ozono como agente oxidante) y el tratamiento biológico (aerobio y anaerobio). Para cumplir con los requerimientos de operación, se tiene que tomar en cuenta el flujo, el límite de (Demanda Bioquímica de Oxígeno) DBO_5 , sólidos suspendidos, grasas y aceites, así como los programas de mantenimiento, costos de operación y de mantenimiento, etc.

Entre los procesos más importantes que existen actualmente en el mercado y que más comúnmente son usados en las plataformas petroleras, se tienen el de aereación extendida (tratamiento biológico con lodos activados en presencia de aire), el electrolítico (con generación de hipoclorito de sodio) y el electromecánico u oxidación avanzada (con generación de ozono).

3.3.1. Aereación extendida.

Este sistema de tratamiento cuenta con varios compartimentos: aereación, sedimentación-clarificación y desinfección. Los influentes entran primeramente al compartimiento de aereación, donde se suministra aire, el cual contribuye a la degradación de la materia orgánica presente, por la formación de lodos activados ricos en microorganismos. Esta agua fluye posteriormente al compartimiento de sedimentación y clarificación, donde los lodos activados se asientan y el agua limpia y clara separada, se desinfecta en el compartimiento de cloración para después descargarse al mar.

3.3.2. Electrolítico

Este proceso degrada y desinfecta los influentes por medio de una celda electroquímica, la cual produce hipoclorito de sodio a partir del agua de mar. Es importante resaltar que el fabricante ha realizado modificaciones importantes a sus equipos involucrados en este proceso. La automatización es una característica que ha implementado, y que origina el retrolavado diario en forma automática.

En caso de ser necesario, el fabricante puede vender sus equipos en forma modular, es decir proporciona únicamente una porción de procesamiento del sistema de tratamiento y es diseñado para ser utilizado con colectores, tanques y tubería existentes.

Algunos sistemas de tratamiento de aguas negras proporcionan un tratamiento efectivo de las aguas negras (aguas de desecho de retretes, mingitorios, lavabos) y aguas grises (aguas de desecho de diversas fuentes como lavandería, regaderas y lavaplatos). Estos sistemas eliminan problemas de peso y tamaño asociados con otros tipos de métodos de tratamiento, particularmente los sistemas biológicos. Los sistemas son compactos y ligeros sin periodos largos de retención o la adición de aditivos químicos.

Las unidades que se encuentran disponibles manejan un amplio rango de capacidades de tratamiento. La configuración estándar esta contenida por una planta de tratamiento de aguas negras completamente integrada con sus propios tanques. Existen en el mercado siete unidades estándar con un amplio rango de capacidades de tratamiento, los cuales son los siguientes:

- Modelo 6MS para 20 personas.
- Modelo 6MC para 25 personas.
- Modelo 7ME para 40 personas.
- Modelo 8MC para 60 personas.
- Modelo 12MC para 120 personas.
- Modelo 12MX para 250 personas.
- Modelo 12MX para 500 personas.

Para mayor especificación de los equipos ver el Anexo G.

Las plantas reúnen los estándares ambientales que gobiernan la descarga de aguas negras en aguas territoriales. Algunas compañías han desarrollado una nueva función denominada Mantenimiento Automático para sus sistemas de tratamiento marino. Esta nueva característica elimina las rutinas de mantenimiento diario y extiende los intervalos entre la limpieza mecánica de la celda electrolítica por un retrolavado automático de la celda y los procedimientos de limpieza del tanque.

Las celdas electrolíticas en las unidades requieren retrolavado regular para prevenir la incrustación de depósitos de agua de mar en los electrodos de la celda. En lugar de la rutina de retrolavado regular, el Mantenimiento Automático hace que el retrolavado de la celda sea un procedimiento continuo por medio del flujo inverso a la celda y el lavado de los electrodos cada vez que la unidad inicie su operación. Este proceso continuo incrementa significativamente el intervalo de cada limpieza mecánica de la celda.

La limpieza del tanque de descarga ocurrirá automáticamente una vez al día cuando el nivel del tanque de recibo se encuentre con bajo nivel. Al mismo tiempo las válvulas automatizadas abrirán y la bomba maceradora transferirá cualquier sólido que se haya depositado en el fondo del recipiente de descarga al de recibo, para su recirculación a través del proceso de tratamiento.

Estas unidades se encuentran disponibles en el mercado desde Julio de 1999.

La descripción de este sistema se muestra en el esquema de flujo de proceso No. III-2.

3.3.3. Electromecánico (Oxidación Avanzada).

La tecnología de oxidación avanzada es capaz de convertir contaminantes orgánicos a ácidos orgánicos de bajo peso molecular y a productos inocuos, tales como bióxido de carbono, agua y una pequeña cantidad de ácido mineral (componentes que contienen cloro, azufre, etc.).

Este sistema de tratamiento de aguas negras fue específicamente desarrollado para las demandas rigurosas en la operación de embarcaciones, el cual puede ser implementado para su uso en plataformas marinas. Su diseño cumple o excede los estándares internacionales incluidas la International Maritime Organization (IMO) MARPOL 73/78 y regulaciones de la EPA, para su envío al mar (Anexos C y D).

Este proceso no biológico, degrada y desinfecta los influentes mediante la generación de ozono producido eléctricamente, el cual actúa como agente oxidante. El diseño de este sistema de tratamiento es modular y compacto.

Algunos utilizan dos pasos para el tratamiento, el mecanismo de flotación positiva y el proceso de oxidación avanzada. Con la flotación mecánica se remueven y se separan los sólidos suspendidos, grasas y aceites, además de realizarse una reducción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) mediante la oxidación de la materia orgánica.

El efluente resultante es claro e inodoro con concentraciones de sólidos suspendidos, DBO_5 y coliformes fecales menores a 50 mg/l, 50 mg/l y 250 MPN/100 ml. Respectivamente, de acuerdo a lo solicitado por las normas internacionales. Las grasas y aceites son oxidados eficientemente.

Los componentes principales de estos sistemas de tratamiento son:

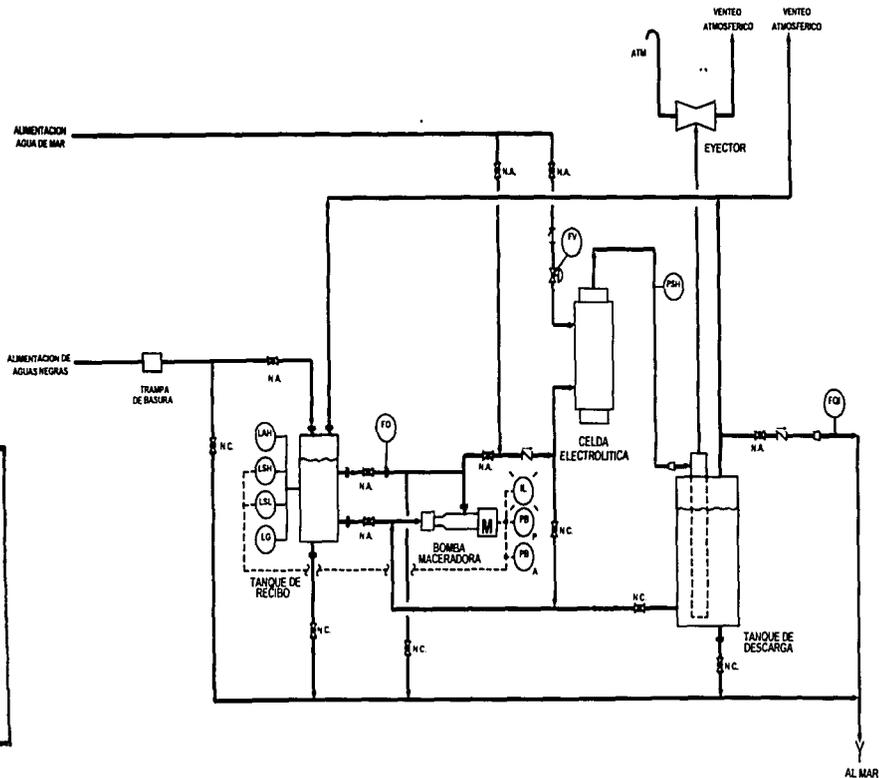
- Tamizado primario.
- Tanque primario de oxidación y separación de sólidos.
- Tanque de oxidación secundaria y desinfección.
- Equipo generador del oxidante (ozono).
- Tablero de control.

Todos estos componentes modulares son ensamblados en un patín estructural o pueden ser vendidos por separado, de acuerdo a los requerimientos del cliente.

Algunos sistemas funcionan automáticamente sin requerir la intervención continua del operador y pueden ser monitoreados remotamente, incluyendo sistemas de arranque y paro automático.

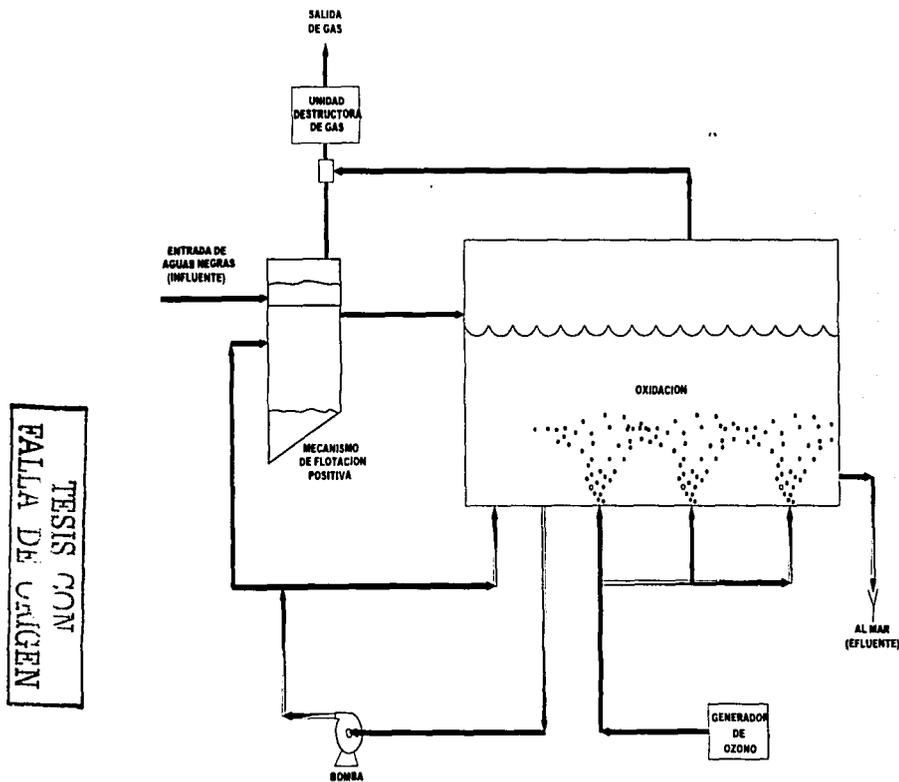
La descripción del sistema de tratamiento utilizando la oxidación avanzada, se muestra en el esquema de flujo de proceso No. III-3.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



ESQUEMA No. III-2

ESQUEMA DE FLUJO DE PROCESO
 TRATAMIENTO ELECTROLITICO



**ESQUEMA NMI-3
ESQUEMA DE FLUJO DE PROCESO
TRATAMIENTO ELECTROMECANICO
(OXIDACION AVANZADA)**

3.3.4. Problemas Detectados en los Equipos de Tratamiento Existentes en Plataforma.

De los problemas más comunes para el tratamiento de aguas negras en las plataformas marinas se encuentran los siguientes:¹⁵

- Aproximadamente el 50% de las descargas se encuentran por arriba de los límites establecidos por la normatividad con respecto a las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas de los efluentes que son descargados directamente al mar.
- Las aguas grises, generadas en las plataformas habitacionales principalmente, son descargadas a las plantas de tratamiento de aguas residuales, ocasionando que el DBO₅, los sólidos suspendidos y las grasas y aceites se incrementen por arriba de los límites permitidos.
- En las horas pico (horas de trabajo en comedores y lavanderías), se presentan flujos de aguas negras arriba de los flujos recomendados por los fabricantes de los equipos, para mantener un buen funcionamiento de las plantas de tratamiento.
- Las plantas que utilizan el proceso de aereación extendida tienen más de 12 años en operación sin que se les haya proporcionado adecuadamente el mantenimiento preventivo y correctivo, interno y externo, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante.
- Las plantas que utilizan el proceso electrolítico presentan la problemática del mantenimiento operativo frecuente, con altos costos de operación.
- El sistema de tuberías de acero al carbón que alimenta a las plantas, se encuentra con alto grado de corrosión y en algunos casos presenta fugas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3.5. Ventajas y Desventajas de los Procesos Existentes.

El propósito del presente trabajo es dar alternativas para el tratamiento de las aguas negras. Para los sistemas propuestos se plantean sus principales ventajas y desventajas con el propósito de apoyar el proceso de selección de acuerdo con los requerimientos.

Tabla No.III-1 Ventajas y Desventajas del Proceso de Aereación Extendida.

Lodos Activados en su modalidad de Aereación Extendida.

Ventajas	Desventajas
<ol style="list-style-type: none"> 1. Mayor eficiencia en la degradación de desechos orgánicos. 2. Máxima remoción de contaminantes solubles que contribuyen a la demanda biológica de oxígeno. 3. Remoción eficiente de grandes cantidades de sólidos. 4. Mínima generación de lodos residuales. 5. Gran claridad del efluente y olor adecuado. 6. Sencillez en la operación y el mantenimiento. 7. Los requerimientos químicos no son muy costosos. 8. Se puede llevar un control adecuado del proceso. 9. No requiere mantenimiento frecuente. 10. Son procesos muy dóciles y fáciles de manejar. 11. Controla la mayoría de los parámetros de la norma NOM-001-ECOL-96.(Anexo B). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se debe tener cuidado para que no falte aire, de lo contrario, no se satisface la demanda bioquímica de oxígeno, lo que ocasiona malos olores. 2. Si no se cuenta con un control adecuado de aire, se forman compuestos que originan problemas de corrosión interna. 3. Debido al uso de agua de mar en retretes y mingitorios, es difícil la reproducción de microorganismos en los lodos activados, los cuales degradan la materia orgánica. 4. Se requiere desalojo de lodos en forma periódica, para no disminuir la eficiencia, además de evitar taponamientos en los orificios distribuidores de aire. 5. Se requiere desalojo de lodos en forma periódica, para evitar la corrosión interna de paredes y piso del equipo. 6. Se requiere tener un control adecuado en la dosificación de biocida (hipoclorito de sodio o hipoclorito de calcio) debido a que si falta este, se descarga un efluente de mala calidad y si se tiene en exceso, se incrementan los costos de operación. 7. La bacteria muere en paros prolongados del proceso. 8. Requiere grandes tiempos de residencia. 9. Es tardado cultivar colonias nuevas de bacterias.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla No.III-2 Ventajas y Desventajas del Proceso Electrolítico.

Proceso Electrolítico.

Ventajas.	Desventajas.
<ol style="list-style-type: none"> 1. Elimina la necesidad de comprar, recibir o almacenar grandes cantidades de cloro o hipoclorito de sodio, ya que la celda electrolítica genera su propio desinfectante, esta celda genera hipoclorito de sodio a partir del agua de mar. 2. La producción de gases y olores desagradables es mínima, el hidrógeno y bióxido de carbono generados como subproductos de las múltiples reacciones, se ventean sin grandes dificultades. 3. No requiere de grandes tiempos de residencia. 4. Al pasar los influentes por la celda electrolítica, se oxida de un 90 a un 95 % la materia orgánica. 5. Seguridad y fácil operación. 6. Su mantenimiento preventivo es fácil y rápido. 7. No necesita lodos activados. 8. No produce residuos. 9. Se obtiene efluente en cumplimiento de la norma NOM-001-ECOL-96 (Anexo B) en coliformes fecales, sólidos suspendidos totales y DBO₅. 10. Compra de lo que necesite el cliente, es decir una unidad completa o únicamente un módulo de proceso. 11. No requiere de adición de productos químicos. 12. Mínimo espacio requerido para su instalación. 13. Únicamente se cuenta con una pieza de equipo rotatorio (bomba maceradora). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cuando existen grandes cantidades de flujo y una mínima concentración de hipoclorito, las reacciones se minimizan, descargando efluentes de baja calidad. 2. El proceso gira en torno a la celda electrolítica, y si esta se daña, el tratamiento es nulo. 3. No se tiene control adecuado sobre la celda electrolítica. 4. Cuando llegan grandes cantidades de flujo, (horas pico) el equipo se represiona, ocasionando un descontrol en la planta. 5. Requiere de mantenimiento frecuente para su correcta operación. 6. El refaccionamiento de la celda electrolítica es escaso y de elevado costo. 7. Controla solamente 4 parámetros de la norma NOM-001-ECOL-96 (Anexo B) en coliformes fecales, sólidos suspendidos totales, cloro residual y DBO₅. 8. La celda electrolítica es muy delicada y sensible. 9. Necesita pretratamiento para poder controlar los parámetros de la NOM-001-ECOL-96. (Anexo B). 10. Con aguas grises su eficiencia disminuye cerca del 50%.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Tabla No.III-3 Ventajas y Desventajas del Proceso Electromecánico (Oxidación Avanzada).

Proceso Electromecánico (Oxidación Avanzada).

Ventajas.	Desventajas.
<ol style="list-style-type: none"> 1. No requiere cloro o hipoclorito de sodio (efluente libre de cloro). 2. Tratamiento no biológico. 3. Trata mezcla de corrientes (aguas negras y aguas grises). 4. Trata corrientes con altos componentes tóxicos y altas cargas orgánicas. 5. Calidad del efluente dentro de los parámetros establecidos por la normatividad. 6. Opera sin problemas con agua de mar. 7. Ajusta los cambios imprevistos de temperatura, salinidad, carga orgánica y volúmenes de flujo. 8. Diseño modular compacto, montado en patín estructural. 9. Monitoreo remoto. 10. Bajo mantenimiento. 11. Se puede vender o rentar el equipo. 	<p>No existe equipo instalado en la industria mexicana.</p> <p>Equipo utilizado y probado solo en embarcaciones marinas.</p> <p>El proceso gira en torno a la generación de ozono como agente oxidante.</p>

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

3.4 Criterios para la Selección del Proceso.

El criterio para la selección del proceso de tratamiento de aguas negras en las plataformas costa fuera, depende de las características de los influentes, del volumen generado, de la calidad de los efluentes y de la disponibilidad de espacio y peso.

El proceso que se recomienda debe ser capaz de disponer los efluentes con la calidad adecuada, de acuerdo con las especificaciones indicadas en los reglamentos o normas vigentes estipulados por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (norma ecológica NOM-ECOL-001-96), (Anexo B) y por Los Reglamentos para Prevenir y Controlar la Contaminación del Mar por Vertimientos de Desechos. (Anexo A).

Independientemente del proceso seleccionado para el manejo de las aguas de desecho generadas en las plataformas habitacionales, se requieren realizar una serie de acciones con el propósito de acondicionar las corrientes antes de que lleguen a la planta de tratamiento.

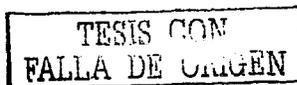
A continuación se plantean las medidas consideradas para promover el funcionamiento adecuado de las plantas.

3.4.1. Homogenización de Aguas Negras y Grises.

PRETRATAMIENTO.

Homogenizar las aguas negras y grises para tener concentraciones iguales de contaminantes y evitar que los equipos trabajen variadamente. Colocar una trampa de sólidos para reducir la concentración de contaminantes suspendidos aproximadamente en un 50% de las aguas residuales tal como se muestra en el esquema No.III-4

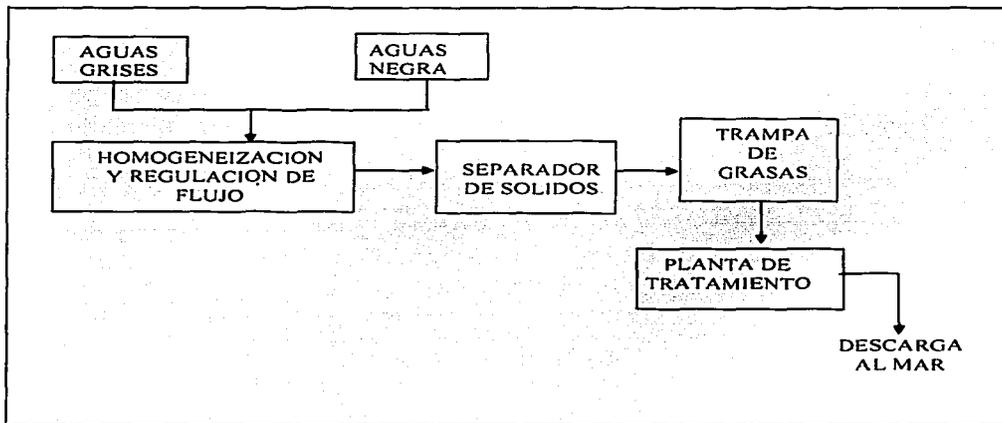
Además, colocar una trampa de grasas y aceites, la cual ayudará a reducir la concentración de grasas aproximadamente en un 50% de las aguas residuales.



TRATAMIENTO PRIMARIO.

El tratamiento primario se realizaría con la planta de tratamiento que utilice hipoclorito de sodio u otro agente oxidante, el cual controlaría cuatro parámetros (DBO₅, sólidos suspendidos, cloro residual y coliformes fecales) y con el pretratamiento funcionando, se podrá controlar los parámetros de grasas y aceites, fósforo total, nitrógeno total y sólidos sedimentables.

Esquema No.III-4
Homogeneización de Aguas Negras y Grises



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.4.2. Segregación de Corrientes.

Para la aplicación de este tratamiento, es necesario separar las aguas grises de las aguas negras, con la finalidad de tratarlas por separado, tal como se muestra en el esquema de segregación de corrientes No.III-5

Para las aguas grises el tren propuesto es:

- Colocar una trampa de sólidos, la cual ayudará a eliminar aproximadamente el 50% de la concentración de sólidos.
- Colocar un separador de grasas y aceites, el cual reducirá su concentración en las aguas provenientes de la lavandería, regaderas y cocina.
- Instalar un tanque sedimentador que ayude a eliminar los sedimentos restantes.
- Colocar un filtro que elimine los residuos de sales restantes.
- Desinfectar las aguas para eliminar posibles bacterias y parásitos de las aguas grises.

El sistema para el manejo de las aguas grises se muestra en el esquema No. III-6.

Para las aguas negras, el tratamiento propuesto sería:

PRETRATAMIENTO.

Colocar una trampa de sólidos para reducir la concentración de contaminantes suspendidos aproximadamente en un 50% de las aguas de desecho.

Colocar una trampa de grasas y aceites, la cual ayudará a reducir la concentración de grasas aproximadamente en un 50% de las aguas residuales.

TESIS CON
FALLA DE URGEN

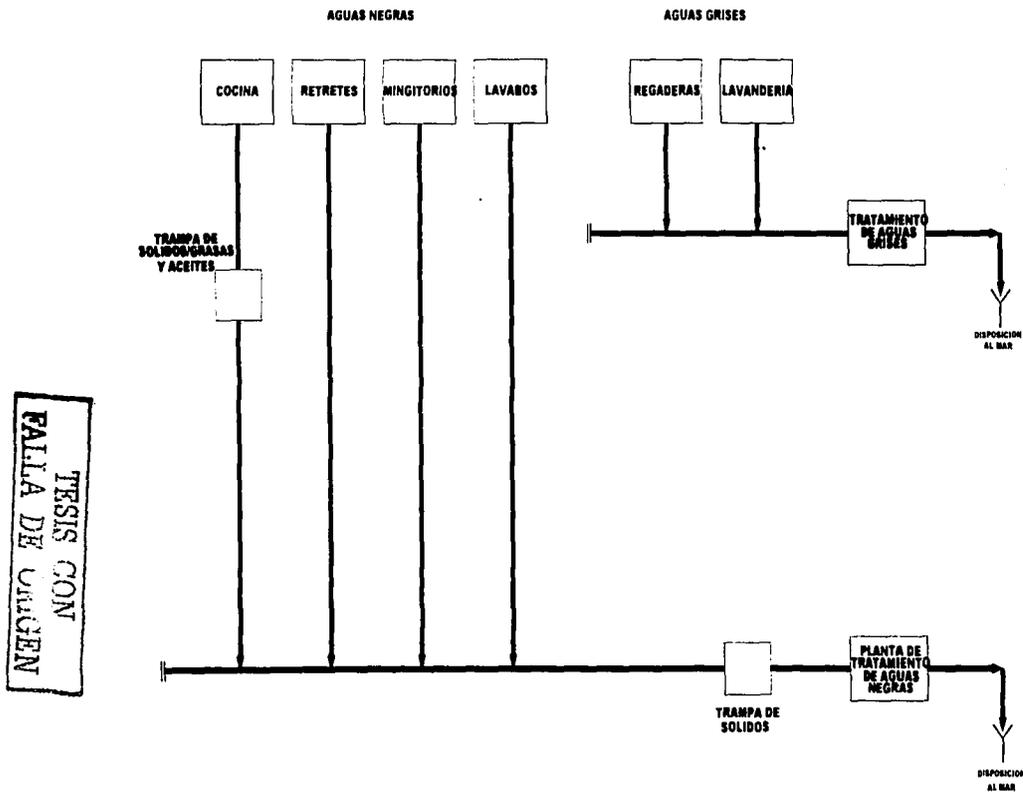
TRATAMIENTO PRIMARIO.

El tratamiento primario se realizaría con la planta de tratamiento que utilice hipoclorito de sodio u otro agente oxidante, el cual controlaría cuatro parámetros (DBO₅, sólidos suspendidos, cloro residual y coliformes fecales) y con el pretratamiento funcionando, se podrá controlar los parámetros de grasas y aceites, fósforo total, nitrógeno total y sólidos sedimentables.

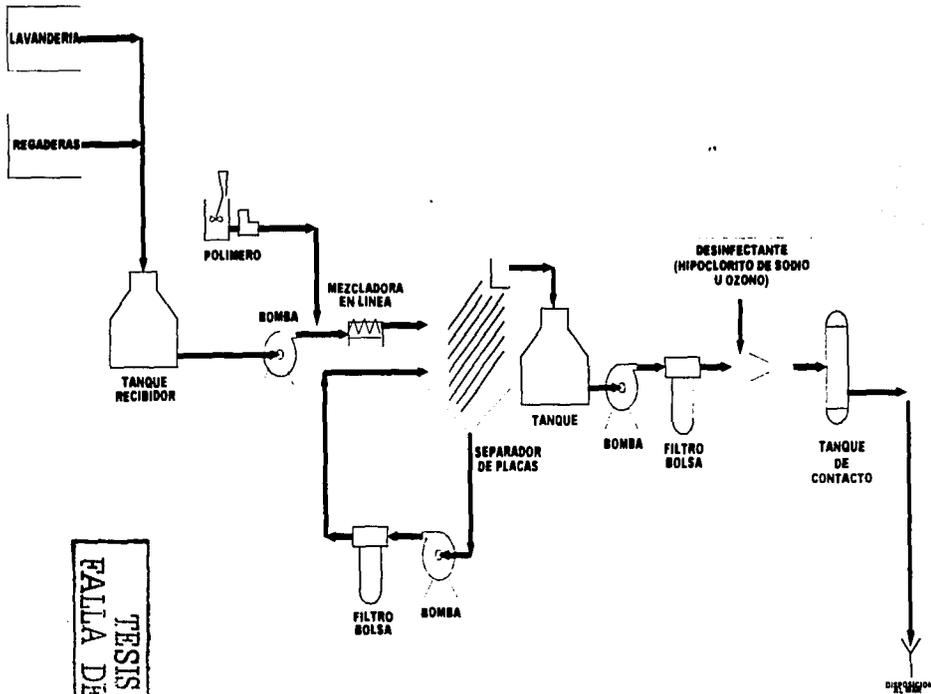
De acuerdo con la revisión bibliográfica, y al análisis de las tablas de ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de tratamiento de aguas, se observa que los procesos electroquímicos (electrolítico y electromecánico con oxidación avanzada) presentan mayores ventajas que el proceso de aereación extendida, repercutiendo en beneficios económicos, operativos, funcionales y en requerimientos de área para su instalación en plataforma.

Los procesos biológicos son muy eficientes para el tratamiento de aguas a gran escala, ya que generalmente se utilizan para tratar aguas municipales, requiriendo grandes tiempos de residencia y por lo tanto mayor área para los equipos, lo cual restringe su uso sobre las plataformas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



ESQUEMA.III-5
SEGREGACION DE CORRIENTES



TESIS CON
 FALLA DE CUBIEN

ESQUEMA No. III-6
ESQUEMA DE FLUJO DE PROCESO
TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES
(PROCESO FISICO-QUIMICO)

CAPITULO IV

**Requerimientos de Agua Potable y Tratamiento de Aguas Negras en una
Plataforma Habitacional.**

- 4. Requerimientos para el equipo de Agua Potable y Tratamiento de Agua Negras en las Plataformas Marinas.**
- 4.1. Requerimiento de Agua por Habitante.**
- 4.2. Requerimiento de Agua Potable en una Plataforma Habitacional.**
- 4.3. Flujo de Entrada.**
- 4.4. Porcentaje de Distribución de Agua Potable**
- 4.5. Cálculo de la Eficiencia de Remoción de Contaminantes de la Potabilizadora.**
- 4.6. Balance de Aguas Negras**
- 4.7. Características de los Efluentes.**
- 4.8. Cálculo de la Eficiencia de Remoción de Contaminantes de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras.**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO IV

Requerimientos de Agua Potable y Tratamiento de Aguas Negras en una Plataforma Habitacional.**4. Requerimientos para el equipo de Agua Potable y Tratamiento de Aguas Negras en las Plataformas Marinas.**

Uno de los requerimientos principales para proponer el equipo adecuado en el suministro de Agua Potable y Tratamiento de Aguas Negras que se originan en una plataforma habitacional, tiene como bases principales: El número de trabajadores que puede albergar esta plataforma, La cantidad de agua que se requiere por cada habitante, El gasto medio consumido por la población, Las características de los efluentes que se generan, La distribución de agua potable y volumen correspondiente dentro de la plataforma, La eficiencia de remoción de contaminantes de la planta potabilizadora así como el tipo de efluente que se genera para su posterior direccionamiento a los tratamientos correspondientes y se pueda hacer su disposición al mar.

Para este caso se considera un total de 264 habitantes y de acuerdo con este número se realizan los cálculos para proponer el equipo que nos proporcione la cantidad de agua potable requerida así como el tratamiento de aguas negras que se generan, cumpliendo en ambos casos con lo estipulado en las Normas Oficiales Mexicanas vigentes.

4.1. Requerimiento de Agua por Habitante.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Es la cantidad de agua necesaria que se requiere por cada habitante. (Ver tabla IV.1)

Tabla IV-1

Consumo Promedio de Agua por Habitante.

CONSUMO PROMEDIO DE AGUAS	
Limpieza General.	35 a 40 l/día x habitante
Consumo (Alimentos y bebidas)	30 a 40 l/día x habitante
Descarga de muebles sanitarios	40 a 50 l/día x habitante
Baños de ducha	70 a 80 l/día x habitante.
Total	175 a 210 l/ día x habitante

Dotación.

Es la cantidad de agua que se asigna a cada habitante y que comprende todos los consumos de los servicios que se hacen en promedio diario.

Variación

Las variaciones reflejan la actividad diaria de los habitantes. Se han determinado coeficientes de variación con respecto al gasto medio. (Tabla IV-2).

El valor de estos coeficientes varía según Fair, Geyer y Okún¹³, de la manera siguiente:

Gasto medio consumido por la población

$$Q_m = \frac{DOTACIÓN * POBLACIÓN}{86400}$$

Dotación = litros de agua por día.

Población = Número de habitantes.

Q_m = Gasto medio consumido por la población

86,400 seg. = 1 día

$$Q_m = \frac{210 \text{ l/día} \times \text{habitante} \times 264 \text{ habitantes}}{1 \text{ día}} = 55440 \text{ l/día}$$

Tabla IV-2

Coefficiente de Variación²³.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

RELACIÓN	RANGO	
	NORMAL	PROMEDIO
Máxima diaria	(1.2-2.0): 1	1.5:1
Máximo horaria	(2.0-3.0): 1	2.5:1
Coefficiente de Variación Diaria (CVD)		1.2 a 1.5
Coefficiente de Variación Horaria (CVH)		1.5 a 2.0

Los valores comúnmente usados en la República Mexicana son:

Coefficiente de Variación Diaria (CVD): 1.2

Coefficiente de Variación Horaria (CVH): 1.5

Esto significa que el día de máximo consumo la población consumirá el 20% más del gasto promedio anual y que en la hora de máximo consumo de un día, se consumirá el 50% más del gasto promedio anual, estos gastos se denominan: Gasto máximo diario y Gasto máximo horario, respectivamente, las expresiones matemáticas correspondientes son las siguientes:

Gasto Máximo Diario (Q_{MD}).

$$Q_{MD} = CVD \times Q_m$$

$$Q_{MD} = (1.2) (55440 \text{ l/día}) = 66528 \text{ l/día.}$$

Gasto Máximo Horario (Q_{MH})

$$Q_{MH} = CVD \times CVH \times Q_m$$

$$Q_{MH} = (1.5) (55440 \text{ l/día}) = 83160 \text{ l/día}$$

El gasto máximo horario será aquel que se presente el día de mayor demanda del año a la hora de mayor demanda.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2. Requerimientos de Agua Potable en una Plataforma Habitacional.

En la tabla IV-3 se describen los requerimientos de agua potable para una plataforma habitacional.

Tabla IV-3 Requerimientos de Agua Potable para una Plataforma Habitacional.

REQUERIMIENTO DE AGUA EN LA PLATAFORMA	Habitacional.
Número de trabajadores de la plataforma	264 personas
Consumo estimado de agua potable por cada trabajador	210 l/día x. habitante.
Gasto medio QM	55440 litros por día
Gasto medio diario QMD	66528 litros por día
Gasto medio horario QMH	83160 litros por día

De acuerdo a los cálculos realizados:

Gasto medio horario (QMH) = 66.528 m³/día es el gasto promedio de agua potable

4.3. Flujo de Entrada.

Es el suministro de agua de mar distribuido en la plataforma, se estima por medio de datos obtenidos del flujo de rechazo de la potabilizadora, la producción de la misma y el suministro de agua salada para baños y mingitorios.

Flujo de Rechazo de la Potabilizadora (Q_{ARP}) = 184 m³/día

Producción de la Potabilizadora = 87 m³/día

Suministro de agua salada = 20 m³/día

Q_{Ep} = Flujo promedio de entrada de agua de mar.

Q_{Ep} = 291 m³/día

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.4. Porcentaje de Distribución de Agua Potable

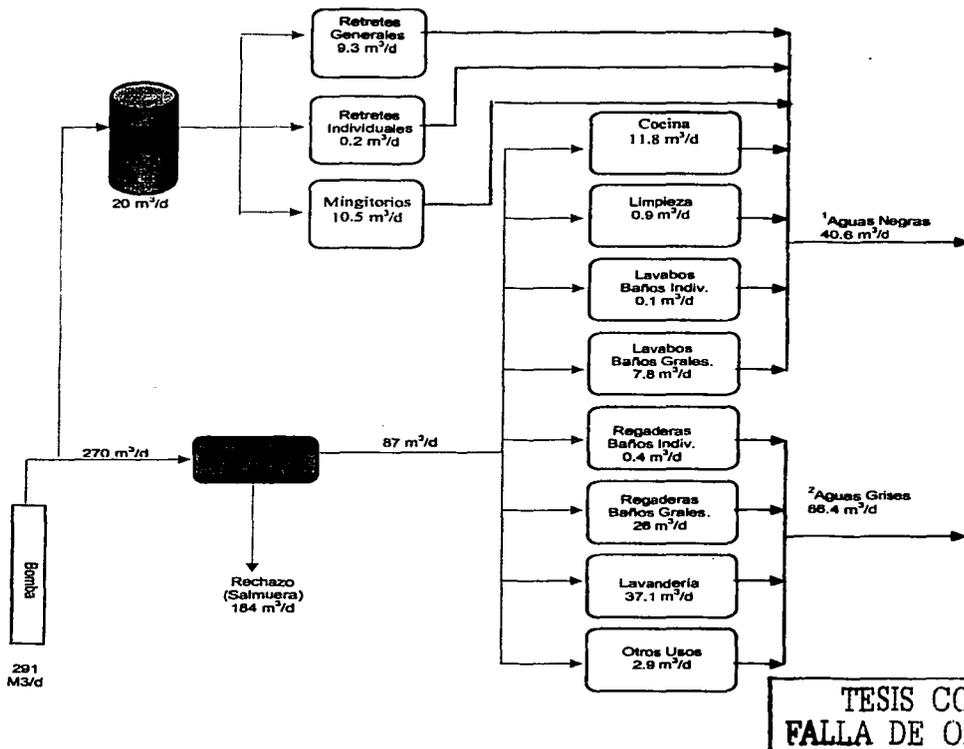
Tabla IV-4 Porcentaje de la Distribución de Agua Potable

DESTINO	VOLUMEN	PORCENTAJE
Regaderas de baños generales	26 m ³ /día	29.9
Regaderas de baños individuales	0.4 m ³ /día	0.5
Lavamanos de baños generales	7.8 m ³ /día	9.0
Lavamanos de baños individuales	0.1 m ³ /día	0.1
Lavandería	37.1 m ³ /día	42.6
Limpieza General	0.9 m ³ /día	1.0
Cocina	11.8 m ³ /día	13.6
Otros Usos	2.9 m ³ /día	3.3
Total	87 m³/día	100 %

En la siguiente figura IV-1 se muestra el diagrama de flujo que representa la distribución de agua y volumen correspondiente para cada uso dentro de la plataforma así como el direccionamiento de las descargas hacia los tratamientos.¹²

TESIS CON
FALLA DE URGEN

Figura IV-1 Distribución de Agua dentro de una Plataforma Marina



*NOTA :Para incrementar la eficiencia y adecuada operación de la planta de tratamiento se deberán segregar las corrientes de aguas negras y grises.

¹Las aguas negras se tratarán en la Planta correspondiente al Proceso seleccionado.

²Las aguas grises deben integrarse en una sola corriente y tratarlas por separado mediante un proceso fisico-químico.

4.5. Cálculo de la Eficiencia de Remoción de Contaminantes de la Potabilizadora.

Para la plataforma habitacional se considera un equipo de potabilización por ósmosis inversa con una capacidad diaria de 100 m³/día alimentada por agua de mar para la determinación de los niveles de remoción de contaminantes efectuados por la planta se realiza empleando la siguiente fórmula:

$$\% \text{Remoción} = \frac{\text{Entrada} - \text{Salida}}{\text{Entrada}} \times 100$$

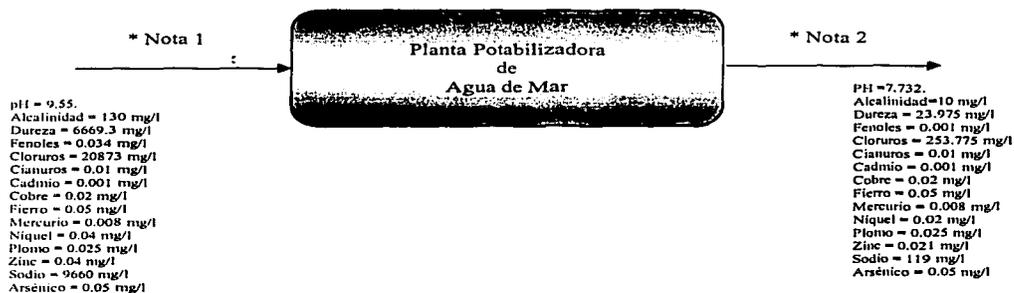
Tabla IV-5.

Niveles de Remoción de Contaminantes de la Planta Potabilizadora de Agua de Mar.

AGUA POTABLE			
PARAMETRO	ENTRADA	SALIDA	% REMOCIÓN
pH	9.55	7.732	19.036
Alcalinidad	130 mg/l	10 mg/l	92.307
Dureza	6669.3 mg/l	23.975 mg/l	99.640
Fenoles	0.034 mg/l	0.001 mg/l	97.058
Cloruros	20873 mg/l	253.775 mg/l	98.784
Cianuros	0.01 mg/l	0.01 mg/l	0
Cadmio	0.001 mg/l	0.001 mg/l	0
Cobre	0.02 mg/l	0.02 mg/l	0
Fierro	0.05 mg/l	0.05 mg/l	0
Mercurio	0.008 mg/l	0.008 mg/l	0
Níquel	0.04 mg/l	0.02 mg/l	50
Plomo	0.025 mg/l	0.025 mg/l	0
Zinc	0.04 mg/l	0.021 mg/l	47.5
Sodio	9660 mg/l	119 mg/l	98.768
Arsénico	0.05 mg/l	0.05 mg/l	0

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura IV-2 Diagrama de Flujo de una Planta Potabilizadora de Agua de Mar.



* Nota 1 Alimentación de Agua de Mar

* Nota 2 Salida de Agua Potable

Estos valores fueron tomados de una concentración típica de agua de mar ¹³.

En este proceso alimentamos agua de mar obteniendo como producto principal agua potable para consumo y como subproducto salmuera la cual es descargada nuevamente al mar.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.6. Balance de Aguas Negras

Este análisis se realizó tomando como promedio las descargas de las aguas negras y grises y el rechazo de la potabilizadora para estimación de los efluentes, obteniendo con esto datos representativos de las descargas, para las aguas negras (Migitorios y retretes) y las aguas grises (Lavanderías, Lavabos y Cocina). Se tomó en cuenta la capacidad de los equipos así como el tiempo de descarga ya que son flujos puntuales.

Flujo de Aguas Negras (Q_{AN}) = 40.6 m³/día.

Flujo de Aguas Grises (Q_{AG}) = 66.4 m³/día.

Flujo de Rechazo de la Potabilizadora (Q_{ARP}) = 184 m³/día

Flujo Total (Q_T) = 291 m³/día.

$Q_T = Q_{ANP} + Q_{AGP} + Q_{ARP} = 40.6 + 66.4 + 184 = 291 \text{ m}^3/\text{día}.$

Tomando en cuenta que en una plataforma habitacional se distribuye el agua a diferentes áreas como son baños, regaderas, lavandería y cocina, para el balance de agua se tienen que considerar las descargas de cada uno de estos, los cuáles están basados en estudios estadísticos realizados por la Comisión Nacional del Agua (1998), la cual recomienda que deben ser utilizados en situaciones en las que no se cuenta con medidores de flujo para obtener los consumos de aguas en ciertas áreas. Para este caso sólo se estima el agua que se distribuye a los baños considerando que cada persona consume 22 litros y una frecuencia de 10 personas al día.

4.7. Características de los Efluentes.

Los análisis que se realizan al agua potable y al agua de mar deben estar dentro de la norma NOM-127 – SSA1 – 1994, (Anexo F) la cual señala los límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para uso y consumo humano, la adición de contaminantes en el agua de mar se debe principalmente a su origen natural y a aportaciones originadas por el vertido de las aguas residuales cercanas al área de captación, generadas en la habitacional. (Tabla IV-6).

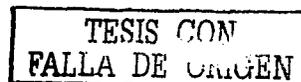


Tabla IV-6. Características de los Efluentes.

EFLUENTE	PARÁMETRO Y POSIBLE FUENTE	COMPORTAMIENTO
Efluente de aguas de los baños.	1. Grasas y aceites: -Aseo personal de los empleados de la plataforma, desechado por los lavamanos y regaderas al momento. -Limpieza del área de baños por el uso de desodorantes, detergentes líquidos y jabones.	1. En el tratamiento electrolítico disminuye su eficiencia porque se adhiere a las celdas electrolíticas impidiendo el paso de corriente eléctrica y de esta manera se disminuye la producción de hipoclorito de sodio que es el elemento primordial en el tratamiento.
Efluente de agua cocina.	1. Grasas y aceites: -Por la preparación de alimentos. -Lavado de los utensilios. -Limpieza del área. -Por mantenimiento a los equipos ahí presentes. 2. Sólidos sedimentables y Sólidos suspendidos totales: -Por los desperdicios de comida que se generan y que son descargados directamente al mar. 3. Demanda bioquímica de oxígeno: -Debido al exceso de materia orgánica vertida directa al mar.	1. La descarga directa al mar disminuye el paso de la luz en el agua lo cual impide los procesos fotosintéticos. 2. la acumulación de sólidos en la tubería de desfogue ocasiona taponamiento, incremento de contaminantes y olor desagradable. 3. Al degradarse consume el oxígeno presente en el agua.
Efluente de la planta tratadora de aguas negras	1. Grasas y aceites: -Proviene del efluente de aguas de los baños. 2. Sólidos sedimentables y sólidos suspendidos totales: - Materia orgánica presente en el influente.	1. Esto es por el proceso de la planta que es de tipo electrolítico, la cual no está diseñada para la remoción de este parámetro. 2. El contenido de materia orgánica es excesivo para la capacidad de la planta. La acumulación provoca olor desagradable así como alta concentración en el efluente y con esto incumplimiento en los límites máximos permisibles en la norma que regula la calidad de vertidos de agua.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

4.8. Cálculo de la Eficiencia de Remoción de Contaminantes de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras.

Para la plataforma se considera una planta tratadora de aguas negras de proceso electrolítico, que tiene una capacidad de 56 m³/día. Para determinar los niveles de remoción de los contaminantes se emplea la siguiente fórmula:

$$\% \text{Remoción} = \frac{\text{Entrada} - \text{Salida}}{\text{Entrada}} \times 100$$

Tabla IV-7.

Niveles de Remoción de Contaminantes de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras.

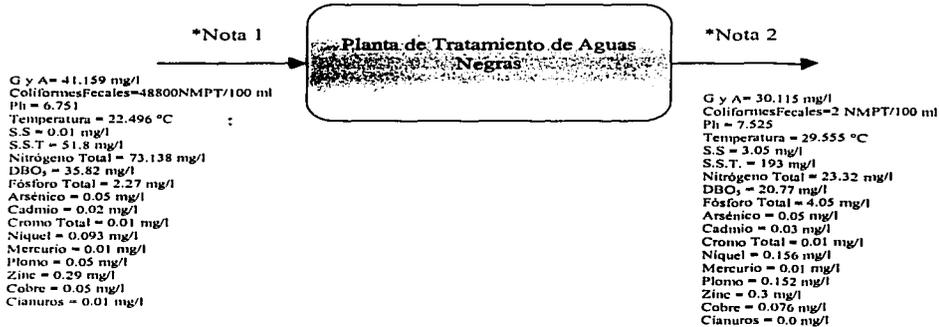
AGUAS NEGRA			
PARAMETRO	ENTRADA	SALIDA	% REMOCIÓN
Grasa y aceites	41.159 mg/l	30.115 mg/l	26.832
Coliformes fecales	48800 NMP	2 NMP	99.995
pH	6.751	7.525	-11.464*
Temperatura	22.496 °C	29.555 °C	-31.378*
SS	0.01 mg/l	3.05 mg/l	-30400*
SST	51.8 mg/l	193 mg/l	-272.586*
Nitrógeno total	73.138 mg/l	23.32 mg/l	68.115
DBO ₅	35.82 mg/l	20.77 mg/l	42.015
Fósforo total	2.27 mg/l	4.05 mg/l	-78.414*
Arsénico	0.05 mg/l	0.05 mg/l	0
Cadmio	0.02 mg/l	0.03 mg/l	-50*
Cromo total	0.01 mg/l	0.01 mg/l	0
Níquel	0.093 mg/l	0.156 mg/l	-67.741*
Mercurio	0.01 mg/l	0.01 mg/l	0
Plomo	0.05 mg/l	0.152 mg/l	-204*
Zinc	0.29 mg/l	0.3 mg/l	-3.448*
Cobre	0.05 mg/l	0.076 mg/l	-52*
Cianuros	0.01 mg/l	0	100

*El signo negativo indica el incremento del parámetro debido a la acumulación en la planta, la cual no está diseñada para la remoción de dichos parámetros.

NMP = Número Máximo Promedio.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Figura IV-3 Diagrama de Flujo de la Remoción de Contaminantes de la Planta de Tratamiento de Aguas Negras.



- **Nota 1** Alimentación a la Planta de Tratamiento de Aguas Negras (Se aplica un tratamiento previo como puede ser la segregación de corrientes).
- **Nota 2** Esta es la corriente que se descarga al mar la cual debe de cumplir con los límites máximos permisibles marcados en la Norma Oficial Mexicana.

Dentro de este proceso se deben de considerar las condiciones a las cuales trabaja el equipo y el control de flujos en las horas pico que provoca desequilibrio en la planta de tratamiento. Asimismo se deben considerar los pretratamientos para poder controlar los parámetros marcados en la Norma Oficial NOM-001-ECOL-96 (Anexo B).⁴⁰

Cabe hacer mención que las descargas que se realizan al mar están dentro de los límites que marca la Norma Oficial Mexicana y en otras Normas consultadas (Anexo C), por otra parte los lodos que se obtienen del proceso son recolectados para su tratamiento y puedan ser utilizados como fertilizantes.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Conclusiones y Recomendaciones.

Conclusiones

De acuerdo a lo desarrollado en esta tesis referido a la Potabilización de Agua de Mar y al Tratamiento de Aguas Negras, para dar servicio a las instalaciones petroleras mexicanas costa fuera (Plataformas Marinas) se emiten las siguientes **CONCLUSIONES**:

- Se debe instalar una Planta Potabilizadora de Agua de Mar en las instalaciones petroleras costa fuera. Esta acción garantizará la operación autónoma de la plataforma en condiciones de continuidad en el suministro de agua potable a consumirse por la población. Asimismo, se deberá cumplir con los requisitos estipulados en la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994 que especifica la calidad del producto (agua potable) para que sea adecuada para el consumo humano y de servicios relacionados.
- Se debe instalar una Planta de Tratamiento de Aguas Negras en las instalaciones petroleras costa fuera. Esta acción garantizará que se proporcione el tratamiento adecuado a las aguas negras y jabonosas que se generan en las Instalaciones Marinas, y cumplir las especificaciones que se exigen a las corrientes arrojadas al mar según lo especifica la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996.
- De los procesos existentes en la actualidad adecuados para generación "in situ" de agua potable a partir de agua de mar para consumo humano y considerando los criterios para la selección, la reducida Área de Planta que ocupa y la facilidad y seguridad de su Operación y Mantenimiento, la **Ósmosis Inversa** resulta el proceso más favorable.
- De los procesos existentes en la actualidad adecuados para el Tratamiento de Aguas Negras, el **Proceso Electrolítico** resulta el más recomendable ya que cumple con los parámetros que se especifican en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 y otras Normas Internacionales que se encuentran dentro del Anexo C (Estados Unidos de América, Brasil, Chile, Venezuela, Francia y las Comunidades Europeas). En estas normas se indica el contenido máximo de contaminantes que se permiten en el agua que es enviada al mar para que resulte inócua al ecosistema marino. También se consideran los siguientes criterios de selección, las dimensiones del equipo, su facilidad y bajos costos de operación y mantenimiento.

Recomendaciones.

- Se recomienda que para optimizar el desempeño de una Planta de Potabilización de Agua de Mar por Ósmosis Inversa, se realice un pretratamiento en el cual el agua influente debe ser filtrada para prevenir el ensuciamiento o incrustamiento de la membrana osmótica.
- Se recomienda proporcionar tratamiento químico (inyección de hipoclorito de sodio) al agua de mar que se alimenta a la planta potabilizadora ya que de esta manera se evita la proliferación y crecimiento de especies marinas en los filtros multicapa de la membrana osmótica y por lo tanto se disminuirá el riesgo de taponamiento de los mismos.
- Se recomienda que la limpieza de la membrana osmótica se efectúe cada seis meses utilizando soluciones alcalinas débiles o ácidas débiles y en algunos casos detergentes, los cuales son definidas por el propio fabricante.
- Para el Tratamiento de Aguas Negras por el Proceso Electrolítico se recomienda:
 - Realizar una segregación de corrientes antes de entrar a la planta de tratamiento.
 - Colocar trampas de sólidos.
 - Instalar un separador de grasas y aceites.
 - Instalar un tanque sedimentador que ayude a eliminar los sedimentos restantes.
 - Colocar un filtro que elimine los residuos de sales restantes.
 - Efectuar la desinfección de las aguas para eliminar posibles bacterias y parásitos de las aguas grises.

ANEXOS

Legislación Ambiental en Materia de Agua.

ANEXO A

Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias

ANEXO B

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996

Límites Máximos Permisibles para Contaminantes en las Descargas de Aguas Costeras destinadas a la Explotación Pesquera, Navegación y otros usos.

ANEXO C-

Normas Oficiales que establecen los Límites Máximos Permisibles para las descargas de Aguas Residuales a Efluentes Marinos.(Estados Unidos de América, Brasil, Chile, Venezuela, Francia, y las Comunidades Europeas).

ANEXO D

Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación del Mar por Buques (Marpol 73/78).

ANEXO E

Protección de las Aguas en el Mar del Norte.

ANEXO F

NORMA Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994,

Salud ambiental, agua para uso y consumo humano- Límites Máximos Permisibles de Calidad y Tratamientos a los que se someterse el agua para su potabilización.

ANEXO G

Especificaciones de los Equipos para el Tratamiento de Aguas Negras.

ANEXOS

Legislación Ambiental en Materia de Agua.

ANEXO A

Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias

Organización y Competencia

ARTICULO 1o.- El presente reglamento se aplicará a los vertimientos deliberados de materias, sustancias o desechos en aguas marítimas jurisdiccionales mexicanas.

ARTICULO 2o.- Corresponde a la Secretaría de Marina, a través de la Armada de México y de las direcciones especializadas de la propia Secretaría la aplicación de este reglamento respecto del cumplimiento de sus disposiciones, aspectos técnicos y otorgamientos de los permisos.

ARTICULO 3o.- Actuarán como auxiliares y en coordinación con la Secretaría de Marina, para la aplicación de este reglamento:

- I. La Secretaría de Salubridad y Asistencia;
- II. La Secretaría de Hacienda y Crédito Público;
- III. La Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos;
- IV. La Secretaría de Comunicaciones y Transportes;
- V. Las demás dependencias que señala este reglamento.

ARTICULO 4o.- La Secretaría de Marina para los efectos de este reglamento ejercerá jurisdicción en:

- a) El mar territorial;
- b) La zona económica exclusiva;
- c) Las zonas marítimas de pesca señaladas por la ley respectiva.

PROCEDIMIENTO

ARTICULO 5o.- Ninguna persona física o moral podrá efectuar vertimientos deliberados sin la previa autorización expedida por la Secretaría de Marina, quien la otorgará en la forma y términos que señala este reglamento.

ARTICULO 6o.- Los interesados en realizar un vertimiento deberán solicitar por escrito ante la Secretaría de Marina, el permiso a que se refiere el artículo anterior, en el que se especificarán la materia, la forma, el envase y la fecha en que se propongan verterla.

ARTICULO 7o.- El permiso se otorgará para verter los desechos y otras materias en la zona específicamente determinada por la Secretaría de Marina, desde barcos y aeronaves; las plataformas u otras estructuras utilizarán dichos medios para trasladar sus desechos hasta el lugar indicado para su vertimiento. Lo anterior independientemente del permiso que la Secretaría de Comunicaciones y Transportes otorgue por lo que hace a su transportación.

ARTICULO 8o.- La Secretaría de Marina para otorgar un permiso de vertimiento, evaluará su justificación tomando en consideración:

I. La necesidad de efectuar el vertimiento después de que la parte interesada demuestre que no es posible otra alternativa;

II. El efecto de dicho vertimiento en la salud humana, la biología marina y los valores económicos y recreativos;

III. El efecto que produce el vertimiento en los recursos pesqueros, el plancton, la vida humana, los recursos minerales marinos y las playas;

IV. El efecto nocivo de este vertimiento en los ecosistemas marinos particularmente en relación:

- a) La transferencia, concentración y dispersión de las sustancias que pretendan ser vertidas.
- b) Los cambios sustanciales en la diversidad, productividad y estabilidad de los ecosistemas marinos;
- c) La permanencia y persistencia de las sustancias vertidas;
- d) El tipo, calidad, cantidad y concentración de los desechos al ser vertidos;
- e) Alternativas en tierra y sus impactos ambientales probables lugares y métodos para llevarlos a cabo, tomando en cuenta el interés público y la posibilidad de un impacto adverso en las aguas oceánicas;

f) El efecto que causen en los océanos y su influjo en los estudios científicos, pesca y otras exploraciones de los recursos vivos e inertes del mar.

V. Los factores enumerados en el anexo III de este reglamento;

ARTICULO 9o.- Para los efectos de este reglamento debe entenderse como vertimiento, toda evacuación deliberada en el mar por desechos u otras materias, efectuadas desde buques, aeronaves y las que realicen por estos medios las plataformas y otras estructuras.

ARTICULO 10.- No se otorgará permiso alguno para vertimiento que alteren las normas y calidad del agua o que pongan en peligro la salud humana, su bienestar o el medio marino, sistemas ecológicos o potencialidades económicas y que afecten las áreas recreativas tales como balnearios en las playas, "marinas" y zonas deportivas.

ARTICULO 13.- Para otorgar un permiso de vertimiento de algunas de las sustancias enumeradas en el anexo I de este reglamento, la autoridad competente exigirá que éstas puedan:

- a) Degradarse rápidamente en sustancias inocuas, que por los procedimientos físicos, químicos o biológicos a que hayan sido sometidas previamente, no contaminen ni alteren el sabor de los organismos marinos comestibles, para que no representen un peligro a la salud humana o a la de los animales domésticos;
- b) Si dentro del desecho o sustancias que se permita verter se encuentran vestigios de otras sustancias de las comprendidas en el anexo I, se señalará la cantidad de sustancia a verter para calcular, si por la cantidad de vertimiento, estos vestigios pueden convertirse en nocivos.

ANEXO I

1. Compuestos orgánicos halogenados.
- 2.- Mercurio y compuestos de mercurio.
- 3.- Cadmio y compuestos de cadmio.
- 4.- Plásticos persistentes y demás materiales sintéticos persistentes tales como redes y cabos, que puedan flotar o quedar en suspensión en el mar de modo que puedan obstaculizar materialmente la pesca, la navegación u otras utilidades legítimas del mar.
- 5.- Petróleo crudo, fuel-oil, aceite pesado diesel, y aceites lubricantes, fluidos hidráulicos, y mezclas que contengan esos hidrocarburos, cargados con el fin de ser vertidos.

6.- Desechos u otras materias de alto nivel radiactivo que por razones de salud pública, biológicas o de otro tipo hayan sido definidos por el órgano internacional competente en esta esfera, actualmente el Organismo Internacional de Energía Atómica, como inapropiados para ser vertidos en el mar.

7.- Materiales de cualquier forma (por ejemplo, sólidos, líquidos, semi-líquidos, gaseosos o vivientes) producidos para la guerra química y biológica.

8.- Los párrafos precedentes del presente anexo no se aplicarán a sustancias que se transformen rápidamente en el mar en sustancias inocuas mediante procesos físicos, químicos o biológicos, siempre que:

I. No den mal sabor a la carne de los organismos marinos comestibles, o

II. No pongan en peligro la salud del hombre o de los animales domésticos.

Si existe alguna duda sobre si una sustancia es inocua, la parte deberá seguir el procedimiento consultivo dispuesto en el artículo XIV.

9. El presente anexo no se aplicará a desechos u otros materiales (tales como los de aguas residuales y escombros de dragado) que contengan como vestigios de contaminantes, las materias a que hace referencia en los apartados 1-5 del presente anexo. Estos desechos estarán sujetos a las disposiciones de los anexos II y III según proceda.

ANEXO II

Las sustancias y materias que para su vertimiento requieren especial atención se enumeran a continuación:

A) Desechos que contengan cantidades considerables de las materias siguientes:

Arsénico, Plomo, Cobre y sus compuestos, Zinc, Compuestos Orgánicos de silicio, Cianuros, Fluoruros, Pesticidas y sus subproductos no incluidos en el anexo 1.

B) Al conceder permiso para el vertimiento de grandes cantidades de ácidos y álcalis, se tendrá en cuenta la posible presencia en esos desechos de las sustancias enumeradas en el apartado A y de las sustancias adicionales siguientes:

Berilio, Cromo, Níquel y sus compuestos.

C) Los contenedores, chatarra y otros desechos voluminosos que puedan hundirse hasta el fondo del mar y obstaculizar seriamente la pesca o la navegación.

D) Los desechos radiactivos u otras materias radiactivas no incluidos en el anexo I. En la expedición de permisos para el vertimiento de estas materias, las partes contratantes deberán tener debidamente en cuenta las recomendaciones del órgano internacional competente en esta esfera, en la actualidad el Organismo Internacional de Energía Atómica.

ANEXO III

Entre los factores que deberán examinarse al establecer criterios que rijan la concesión de permisos para el vertimiento de materias en el mar, están los siguientes:

A) Características y composición de la materia.

1. Cantidad total y composición media de la materia vertida (por ejemplo, por año).
2. Forma, por ejemplo, sólida, lodosa, líquida o gaseosa.
3. Propiedades: físicas (por ejemplo, solubilidad y densidad) químicas y bioquímicas (por ejemplo, demanda de oxígeno, nutrientes) y biológica (por ejemplo, presencia de virus, bacterias, levaduras, parásitos).
4. Toxicidad.
5. Persistencia: física, química y biológica,
6. Acumulación y biotransformación en materiales biológicos o sedimentos.
7. Susceptibilidad a los cambios físicos, químicos y bioquímicos e interacción en el medio acuático con otros materiales orgánicos disueltos.
8. Probabilidad de que se produzcan contaminaciones u otros cambios que reduzcan la posibilidad de comercialización de los recursos (pescados, moluscos, etcétera).

B) Características del lugar de vertimiento y método de depósito.

1. Situación (por ejemplo, coordenadas de la zona de vertimiento, profundidad y distancia de la costa), situación respecto a otras zonas (por ejemplo, zonas de esparcimiento, de desolve, de criaderos y de pesca y recursos explotables).
- 2.-Tasa de eliminación por período específico (por ejemplo, cantidad por día, por semana, por mes).
- 3.- Métodos de envasado y contención, si los hubiere.
- 4.- Dilución inicial lograda por el método de descarga propuesto.
- 5.- Características de la dispersión (por ejemplo, efectos de las corrientes, mareas y viento sobre el desplazamiento horizontal y la mezcla vertical).
- 6.- Características del agua (por ejemplo, temperatura, pH, salinidad, estratificación índices de oxígeno de la contaminación Oxígeno Disuelto (CD), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)-nitrógeno presente en forma orgánica y mineral incluyendo amoníaco, materias en suspensión, otros nutrientes y productividad).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7.- Características de los fondos (por ejemplo, topografía, características geoquímicas y geológicas y productividad biológica).

8.- Existencia y efecto de otros vertimientos que se hayan efectuado en la zona de vertimiento (por ejemplo, antecedentes sobre contenido de metales pesados y contenidos de carbono orgánico).

9.- Al expedir un permiso para efectuar una operación de vertimiento, las partes contratantes deberán considerar si existe una base científica adecuada, para determinar, como se expone en el presente anexo, las consecuencias de tal vertimiento teniendo en cuenta las variaciones estacionales.

C) Consideraciones y condiciones generales.

1.- Posibles efectos sobre los esparcimientos (por ejemplo, presencia de material flotante o varado, turbidez, malos olores, decoloración y espumas).

2.- Posibles efectos sobre la vida marina, piscicultura, reservas de especies marinas y pesquerías, y recolección y cultivo de algas marinas.

3.- Posibles efectos sobre otras utilizaciones del mar (por ejemplo menoscabo de la calidad del agua para usos industriales, corrosión submarina de las estructuras, entorpecimiento de las operaciones de buques por la presencia de materias flotantes, entorpecimiento de la pesca o de la navegación por el depósito de desechos u objetos sólidos en el fondo del mar y protección de zonas de especial importancia para fines científicos o de conservación).

4.- Disponibilidad práctica de métodos alternativos de tratamiento, evacuación o eliminación situados en tierra, o de tratamiento para convertir la materia en sustancias menos nocivas para su vertimiento en el mar

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO B

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996

Límites Máximos Permisibles para Contaminantes en las Descargas de Aguas Costeras destinadas a la Explotación Pesquera, Navegación y otros usos⁴⁰.

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESION	PROMEDIO DIARIO	PROMEDIO MENSUAL
Aceites y Grasas	mg/l	AYG	25	15
Cadmio	mg/l	Cd	0.2	0.1
Cianuro	mg/l	CN-	2.0	1.0
Cobre	mg/l	Cu	6.0	4
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	Coliformes/100	2000	1000
Cromo	mg/l	Cr	1.0	0.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mgO ₂ /l	DBO ₅	200	100
Fósforo Total	mg/l	P	NA	NA
Mercurio	mg/l	Hg	0.02	0.01
Níquel	mg/l	Ni	4	2
Nitrógeno Total	mg/l	NT	NA	NA
pH	Unidad	pH	5 -10	5 -10
Plomo	mg/l	Pb	0.4	0.2
Sólidos Sedimentables	mg/l	S.SED	2	1
Sólidos Suspendidos	mg/l	S.S	175	100
Zinc	mg/l	Zn	20	10
Temperatura	°C	°T	40	40

N.R =No Aplica.

NMP =Numero Máximo Promedio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO C

Normas Oficiales que establecen los Límites Máximos Permisibles para las descargas de Aguas Residuales a Efluentes Marinos. (Estados Unidos de América, Brasil, Chile, Venezuela, Francia, y las Comunidades Europeas).

Normatividad de las Descarga de Aguas Residuales en los Estados Unidos de América (EPA).³⁷

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESION	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasa	mg/l	A y G	15 mg/l
Total de Sólidos Suspendidos	mg/l	TSS	50 mg/l
Total de Sólidos Disueltos	mg/l	TDS	-3000 mg/l
Temperatura	°C	T	-32°C
Potencial de Hidrogeno	UNIDAD	pH	6.0-9.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	DBO ₅	45
Coliformes Fecales	mg/l	NMP/100 MI	200/100 por día.
Cloro*	mg/l	Cl	1.0 mg/l
Zinc*	mg/l	Zn	0.1 – 15.0 mg/l
Cadmio*	mg/l	Cd	0.01 – 0.2 mg/l
Cobre	mg/l	Cu	0.1 – 3.0 mg/l
Níquel	mg/l	Ni	0.3 – 5.0 mg/l
Plomo	mg/l	Pb	0.1 – 1.0 mg/l
Plata	mg/l	Ag.	0.005 – 0.2 mg/l

* Estos rangos están establecidos dentro de la propuesta publicada el día 16 de diciembre de 1996 para las descargas de desechos a las costas, Apéndice B.

En el CFR Título 40 Capítulo I Subcapítulo D sobre el Programa de Aguas, Parte 1333, se establece la regulación de los tratamientos secundarios al agua de desecho, donde en el inciso (b) se definen los límites para las descargas de aguas en la navegación, con respecto al contenido de BOD₅ y Sólidos Suspendidos; estos estarán restringidos bajo los siguientes valores:

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESION	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
Demanda Bioquímica de Oxígeno.	mg/l	DBO ₅	25
Sólidos Suspendidos	mg/l	SS	30

Normatividad para las Descarga de Aguas Residuales en Brasil (CONAMA).³⁹

CONTAMINANTES	UNIDAD	EXPRESION	LIMITE MAXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas	mg/l	A y G	20
Arsénico	mg/l	As	0.5
Bario	mg/L	Ba	5.0
Boro	mg/l	B	5.0
Cadmio	mg/l	Cd	0.2
Cianuro	mg/l	CN	0.2
Plomo	mg/l	Pb	0.5
Cobre	mg/l	Cu	1.0
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr ₆	0.5
Cromo Trivalente	mg/l	Cr ₃	2.0
Estaño	mg/l	Sn	4.0
Índice de Fenoles	mg/l	C ₆ H ₅ OH	0.5
Hierro Soluble	mg/l	Fe	15.0
Fluoruros	mg/l	F	10.0
Magnesio Soluble	mg/l	Mn	1.0
Mercurio	mg/l	Hg	0.01
Níquel	mg/l	Ni	2.0
Plata	mg/l	Ag	0.1
Selenio	mg/l	Se	0.05
Sulfatos	mg/l	S	1.0
Sulfitos	mg/l	SO ₃	1.0
Zinc	mg/l	Zn	5.0
Sulfato de carbono	mg/l		1.0
Tricloroetano	mg/l		1.0
Cloroformo	mg/l		1.0
Tetracloruro de carbono	mg/l		1.0
Dicloroetano	mg/l		1.0
pH	Unidad	pH	6.5 – 9
Temperatura*	°C	T	-40
Sólidos Sedimentables en tiempos de 1 hr.	mg/l	S.S	1
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mgO ₂ /l	DBO ₅	10
Coliformes Fecales	NMP/100ml	Coli/100	4,000

- la elevación en la temperatura de un cuerpo receptor no deberá exceder a 3°C.

NMP = Número Máximo Promedio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Normatividad para la Descarga de Aguas Residuales en la República de Chile.³⁸

CONTAMINANTE	UNIDAD	EXPRESION	LIMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y Grasas	mg/L	A y G	20
Aluminio	mg/L	Al	1
Arsénico	mg/L	As	0.2
Cadmio	mg/L	Cd	0.02
Cianuro	mg/L	CN-	0.5
Cobre	mg/L	Cu	1
Coliformes Fecales	NMP/100 ml	Coli/100 ml	1,000-70*
Índice de Fenol	mg/L	Fenoles	0.5
Cromo Hexavalente	mg/L	Cr6+	0.2
Cromo Total	mg/L	Cr Total	2.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O ₂ /L	DBO ₅	60
Estaño	mg/L	Sn	0.5
Fluoruro	mg/L	F-	1.5
Fósforo	mg/L	P	5
Hidrocarburos Totales	mg/L	HCT	10
Hidrocarburos Volátiles	mg/L	HCV	1
Hierro Disuelto	mg/L	Fe	10
Manganeso	mg/L	Mn	2
Mercurio	mg/L	Hg	0.005
Molibdeno	mg/L	Mo	0.1
Níquel	mg/L	Ni	2
Nitrógeno Total	mg/L	NT	50
pH	Unidad	pH	6.0 – 9.0
Plomo	mg/L	Pb	0.2
Selenio	mg/L	Se	0.01
Sólidos Sedimentables	mg/1/h	S SED	5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SS	100
Sulfuros	mg/L	S ⁻²	1
Zinc	mg/L	Zn	5
Temperatura	°C	T°	30

- En áreas aptas para la acuicultura y áreas de manejo y explotación de recursos bentónicos, no se deben sobrepasar los 70 NMP/100 ml.

NMP = Numero Máximo Promedio

. Normatividad para las Descargas de Aguas Residuales en Venezuela

Parámetros Físico y Químicos	Límites máximos o rangos
Aceites minerales e hidrocarburos	20 mg/l
Aceites y grasas vegetales y animales	20 mg/l
Alkil Mercurio	No detectable (*)
Aluminio total	5,0 mg/l
Arsénico total	0,5 mg/l
Bario total	5,0 mg/l
Cadmio total	0,2 mg/l
Cianuro total	0,2 mg/l
Cobalto total	0,5 mg/l
Cobre total	1,0 mg/l
Color	500 Unidades de Pt/Co

Cromo total	2,0 mg/l
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅ , 20)	60 mg/l
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	350 mg/l
Detergentes	2,0 mg/l
Dispersantes	2,0 mg/l
Espuma	Ausente
Fenoles	0,5 mg/l
Fluoruros	5,0 mg/l
Fósforo total (expresado como fósforo)	10 mg/l
Mercurio total	0,01 mg/l
Níquel total	2,0 mg/l
Nitrógeno total (expresado como nitrógeno)	40 mg/l
pH.	6 - 9
Plata total	0,1 mg/l
Plomo total	0,5 mg/l
Selenio	0,2 mg/l
Sólidos flotantes	Ausentes
Sulfuros	2,0 mg/l
Zinc	10 mg/l

*Según los métodos aprobados por el Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables.

Parámetros Biológicos

Número más probable de organismos coliformes totales no mayor de 1.000 por cada 100 ml. en el 90% de una serie de muestras consecutivas y en ningún caso será superior a 5.000 por cada 100 ml. Se prohíbe la descarga al medio marino-costero de efluentes líquidos con temperatura diferente a la del cuerpo receptor. El Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables definirá, previa justificación y conforme a las evaluaciones de las propuestas y de los estudios técnicos que presenten los administrados, las zonas de mezcla térmica, en las cuales se podrá permitir la descarga de efluentes con temperatura diferente a la del cuerpo receptor. La variación de temperatura media del cuerpo marino-costero en la zona de mezcla, comparada con la temperatura media del cuerpo receptor no debe ser mayor



TABLA I
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE CONTAMINANTES

PARÁMETROS	México		Estados Unidos de América	Brasil	República de Chile		Venezuela	Francia	Comunidades Europeas
	ECOL-001		EPA	CONAMA	Secretaría General del Medio ambiente				
	P.M.	P.D.	P.M.	P.M.	Dentro de la zona de protección litoral	Fuera de la zona de protección litoral			
Temperatura °C (1).	40°C	40°C	32°C	Inferior a 40°C	30°C	22°C	40°C	N.R	NR
Grasas y Aceites (2).	15	25	15	20	20	N.R	20 mg/l	150	NR
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	N.R	N.R	N.R	N.R	ausente	N.R	NR
Sólidos Sedimentables	1 ml/1/h	2 ml/1/h	N.R	1 ml/1/h	5 ml/1/h	N.R	N.R	20 ml/1/h	NR
Sólidos Suspendidos Totales	150 mg/L	200 mg/L	50 mg/L	N.R	100 mg/L	5200 Kg	N.R	300 mg/L	35 mg/L
Demanda Bioquímica de Oxígeno 5	150 mg/L	200 mg/L	45 mg/L	10 mg/L	60 mg/L	400 Kg Por 5 días	60 mg/l	N.R	25 mg/L
Nitrógeno Total	N.R	N.R	N.R	N.R	50 mg/L	N.R	40 mg/l	N.R	10 mg/L
Fósforo Total	N.R	N.R	1.0 mg/L	N.R	5.0 mg/L	220 mg/l	10 mg/l	N.R	1 mg/L

(1) Instantáneo.

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado.

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006.

N.R= No reportado.

P.D= Promedio Diario.

P.M= Promedio Mensual.

ECOL =Ecología / **EPA** = Agencia de Protección del Medio Ambiente / **CONAMA** = Comisión Nacional del Medio Ambiente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA II
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGAS DE CONTAMINANTES

PARÁMETROS	México		Estados Unidos de América	Brasil	República de Chile		Venezuela	Francia	Comunidades Europeas
	ECOL-001		EPA	CONAMA	Secretaría General del Medio ambiente				
	P.M.	P.D.	P.M.	P.M.	Dentro de la zona de protección litoral	Fuera de la zona de protección litoral			
Aluminio	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	1	10 mg/l	5.0 mg/l	10 mg/l	NR
Amonio	N.R.	N.R.	N.R.	5	N.R.	50	N.R.	N.R.	NR
Bario	N.R.	N.R.	N.R.	5	N.R.	N.R.	5.0 mg/l	N.R.	NR
Boro	N.R.	N.R.	N.R.	50	N.R.	5	N.R.	N.R.	NR
Coliformes Fecales ó Termotolerantes	1000 NMP/100ml	2000 NMP/100ml	200-100 NMP/100 ml por día	4000 NMP/100ml	1000-70*	1	1000 NMP/100ml	N.R.	2000 NMP/100ml
Clóricos	N.R.	N.R.	100 mg/L por día	N.R.	N.R.	50	N.R.	N.R.	N.R.
Cloro	N.R.	N.R.	1	N.R.	N.R.	5	N.R.	N.R.	N.R.
Cromo Hexavalente	N.R.	N.R.	N.R.	0.5	0.2	10	2.0 mg/l	0.5	N.R.
Estaño	N.R.	N.R.	N.R.	4	0.5	1	N.R.	1	N.R.
Hierro Soluble	N.R.	N.R.	N.R.	15	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.
Fluoruro	N.R.	N.R.	N.R.	10	1.5	N.R.	5.0 mg/l	6	N.R.
Hidrocarburos Totales	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	10	N.R.	20 mg/l	20	N.R.
Hidrocarburos Volátiles	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	1	N.R.	20 mg/l	2	N.R.
Hierro Disuelto	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	10	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.

N.R. = No Reportados.
P.M. = Promedio Mensual.
P.D. = Promedio Diario.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA III
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGAS DE CONTAMINANTES.

PARÁMETROS	México		Estados Unidos de América	Brasil	República de Chile		Venezuela	Francia	Comunidades Europeas
	ECOL-001		EPA	CONAMA	Secretaría General del Medio ambiente				
	P.M.	P.D.	P.M.	P.M.	Dentro de la zona de protección litoral	Fuera de la zona de protección litoral			
Indice de Fenol.	N.R.	N.R.	N.R.	0.5	0.5	N.R.	N.R.	1	NR
Manganeso.	N.R.	N.R.	N.R.	1 mg/L	2 mg/L	N.R.	N.R.	4	NR
pH	5.0-10.0	5.0-10.0	6.0-9.0	6.5-9.0	6.0-9.0	N.R.	6.0-9.0	5.5-9.0	6.0-9.0
Sólidos Disueltos	N.R.	N.R.	3000	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.
Sulfatos	N.R.	N.R.	N.R.	1	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.

N.R =No reportados

P.D =Promedio Diario

P.M =Promedio Mensual

NMP =Número Máximo Promedio.

*=Este parametro solo se considera para áreas aptas para la acuicultura.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TABLA IV
LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA DESCARGAS DE CONTAMINANTES

PARÁMETROS	México		Estados Unidos de América	Brasil	República de Chile		Venezuela	Francia	Comunidades Europeas
	ECOL-001		EPA	CONAMA	Secretaría General del Medio ambiente				
	P.M.	P.D.	P.M.	P.M.	Dentro de la zona de protección litoral	Fuera de la zona de protección litoral			
Arsénico	0.2 mg/L	0.2 mg/L	N.R	0.5 mg/L	0.2 mg/L	0.5 mg/l	0.5 mg/l	S.E	N.R
Cadmio	0.1 mg/L	0.2 mg/L	1.0 mg/L	0.2 mg/L	0.02 mg/L	0.5 mg/l	0.2 mg/l	S.E	N.R
Cianuros	1.0 mg/L	2.0 mg/L	N.R	0.2 mg/L	0.5 mg/L	1.0 mg/l	0.2 mg/l	S.E	N.R
Cobre	4.0 mg/L	6.0 mg/L	0.1- 3.0mg/L	1.0 mg/L	1.0 mg/L	1.0 mg/l	1.0 mg/l	S.E	N.R
Cromo Total	0.5 mg/L	1.0 mg/L	N.R	N.R	2.4 mg/L	10 mg/l	2.0 mg/l	S.E	N.R
Mercurio	0.01 mg/L	0.02 mg/L	1.0 mg/L	0.01 mg/L	0.005 mg/L	0.02 mg/l	0.01 mg/l	S.E	N.R
Níquel	2 mg/L	4 mg/L	0.3- 5.0 mg/L	2.0 mg/L	2.0 mg/L	4.0 mg/l	2.0 mg/l	S.E	N.R
Plomo	0.2 mg/L	0.4 mg/L	0.1 -1.0mg/L	0.5 mg/L	0.2 mg/L	1.0 mg/l	0.5 mg/l	S.E	N.R
Zinc	10 mg/L	20 mg/L	0.1 - 15.0mg/L	5.0 mg/L	5.0 mg/L	5.0 mg/l	10 mg/l	S.E	N.R

*S.E =Sin Exceso Estos metales deben de considerarse con un rango menor al establecido por otras Normas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO D

Convenio Internacional para Prevenir la Contaminación del Mar por Buques. (Marpol 73/78).

La preocupación por la protección del medio marino, data de tiempos anteriores a la primera guerra mundial y debido a que en principios del presente siglo se dio un gran crecimiento del comercio marítimo internacional se empezaron a celebrar las primeras reuniones y convenios con el propósito de crear una conciencia internacional de protección de los recursos vivos del mar, es así como posteriormente nace la OMI (Organización Marítima Internacional), la cual en materia de contaminación tiene las siguientes funciones:

- Promover la reducción de descargas de hidrocarburos.
- Minimizar las posibilidades de accidentes marítimos y derrames, y si llegan a ocurrir, minimizar su magnitud.
- Estimular a los países ribereños su capacidad de respuesta ante las posibles emergencias.
- Desarrollar convenios sobre el tema y promover su aplicación.

La labor de la OMI en materia de contaminación abarca los siguientes aspectos:

- Contaminación operacional.
- Exigencias para el control de descargas.
- Normas de construcción y equipos.
- Contaminación accidental.
- Medidas sobre prevención de derrames.
- Medidas para mejorar la respuesta de los estados ribereños ante los derrames.

El primer logro en la protección contra la contaminación del medio marino fue el establecimiento de las llamadas zonas prohibidas, las cuales no permiten realizar descargas en contenido de hidrocarburos de 100 o más partes por millón a menos de 50 millas de la costa más cercana, luego en 1969 se enmienda lo anterior y posteriormente con el incremento del transporte marítimo el OILPOL es reemplazado por el MARPOL por verse el primero insuficiente. Luego de accidentes de buques mayores se adoptó el protocolo de 1978 que formaría parte del MARPOL 73, posteriormente en 1984 en el MEPC (Comité de Protección del Medio Marino) se adoptaron enmiendas al Anexo I. En materia de protección ambiental, la principal normativa internacional es el Convenio para Prevenir la Contaminación por los Buques (Convenio MARPOL 73/78), realizado en Londres el 2 de noviembre de 1973.

El MARPOL está compuesto por la siguiente estructura:

- MARPOL 73
- Protocolo de 1978 del MARPOL 73.
- Enmiendas de 1984.

- Enmiendas de 1985.
- Interpretación uniforme de algunas disposiciones de los anexos.
- Total de disposiciones del MARPOL 73/78.

En sus seis anexos técnicos, el Convenio MARPOL regula la descarga al mar de los desechos generados por los buques como consecuencia de su propia actividad, de manera que todos aquellos que por su naturaleza o cantidad no pueden ser arrojados al mar, deben ser entregados a instalaciones de recepción en los puertos, con la finalidad de que reciban el tratamiento adecuado para neutralizar su poder contaminante, o de que puedan ser reciclados para su posterior recirculación.

La aplicación del Anexo I que trata sobre las reglas para prevenir la contaminación por hidrocarburos y el Anexo II que trata las reglas para prevenir la contaminación por sustancias nocivas líquidas son de obligatorio cumplimiento para las partes;

Por otra parte, la aplicación del Anexo III acerca de la prevención de la contaminación por sustancias perjudiciales transportadas, en bultos, el Anexo IV sobre la prevención de la contaminación por las aguas sucias de los buques y el Anexo V sobre la prevención de la contaminación por basuras de los buques son facultativos de los Estados partes.

La entrada en vigor de los instrumentos del MARPOL se produjo el 2 de octubre de 1983, y para el año de 1989 prácticamente todas las disposiciones habían entrado en vigor. El MARPOL será aplicado a todos los miembros interesados en adherirse y la industria marítima deberá cumplir ciertas condiciones establecidas. después de estar 17 años como observador, México ratificó su ingreso al Convenio en Abril de 1992,

Para la aplicación del MARPOL es necesaria cierta documentación, la cual incluye exigencias de diversos tipos como el diseño y construcción de instalaciones y equipos, aprobación de sistemas y procedimientos operacionales, realización de reconocimientos e inspecciones de buques, etc.

Toda transgresión está prohibida y será sancionada por la legislación nacional de cada Estado. El Estado en cuya jurisdicción se ha producido la transgresión puede iniciar un proceso según su legislación, o facilitar las pruebas para que el Estado de pabellón inicie el proceso. Las partes deberán cooperar en la detección de transgresiones, por esta razón todo buque al que se le aplique el MARPOL puede ser objeto de inspección por parte del gobierno del Estado del puerto o terminal, para verificar si ha efectuado alguna descarga de sustancias perjudiciales, si así fuere se informará al Estado de pabellón para que tome las medidas necesarias, así mismo se le aportarán las pruebas suficientes.

Las descargas de sustancias perjudiciales ya sean líquidas, que se transporten a granel, empacadas en bultos, en contenedores, tanques portátiles, vehículos de carretera o ferroviarios y gabarras de buque, derivadas de daños sufridos por el buque, o mientras el buque esté operando y rebasen la cantidad permitida por MARPOL. Dicho informe deberá contener la identidad de los buques involucrados, hora, tipo y situación geográfica del suceso, cantidad y tipo de sustancias perjudiciales involucradas, medidas de auxilio y salvamento. El Estado deberá proveer los servicios de recepción de lastres sucios (negros o blancos) los cuales no deben exceder de 15 ppm, mezclas y residuos aceitosos, con sistemas de monitoreo de descargas, alarmas y registro.

Los lastres sucios son aquellos que pueden ser decantados unas 24-48 horas y producir efluentes relativamente limpios. Se exige el uso de separadores API cuando se producen efluentes más sucios. Para la recepción de aguas de sanitarias se debe contar con plantas de separación, tratamiento y recuperación.

El reconocimiento a los buques que enarbolan su pabellón; es responsabilidad que los buques petroleros mayores o iguales a 150 TRB y todos los otros buques mayores o iguales a 400 TRB bajo su bandera, sean construidos, equipados y mantenidos de acuerdo a las normas del MARPOL.

El MARPOL indica los siguientes lineamientos generales que se deben sujetar los equipos, sistemas y procedimientos de los buques.

- Aprobación de sistemas de monitoreo de descargas de sentinas y de lastre de tanque de combustible líquido, con su manual abordo; este sistema debe ser aprobado por el Estado del pabellón, con previas pruebas recomendadas por la OMI.
- Aprobación de sistemas de monitoreo de descargas de lastres y aguas de lavado de tanques de carga a bordo de los petroleros; el propósito es el monitoreo y registro de descargas desde zonas de tanques de carga de los petroleros.
- Hidrocarbúrometros. Son exigidos como parte de los sistemas de monitoreo.
- Aprobación de los equipos separadores de agua e hidrocarburos (100 ppm) para descargas de sentinas y lastres de tanques de combustibles. Generalmente se exige, posteriormente un sistema de filtros que reduce de 100 ppm a 15 ppm, este equipo debe contar con un sistema de alarma cuando el límite sea sobrepasado.
- Aprobación de detectores de la interface hidrocarburos-agua. Permite determinar con rapidez y seguridad la posición de la interface hidrocarburos-agua en los tanques de decantación, donde se ha producido la separación, antes de ser descargada directamente al mar.
- Aprobación de los tanque de decantación de los petroleros. Destinados a recoger aguas del lavado de tanques y otras mezclas aceitosas.

- Aprobación de sistemas de lavado con crudo.
- Aprobación de los tanques de lastre separado (SBT) con capacidad suficiente para cumplir con las normas de asiento y calado del buque. Se trata de asegurar que el buque navegue con seguridad durante los viajes en lastre, sin tener que recurrir al lastrado de los tanques de carga.
- Aprobación de tanques dedicados a lastre limpio (CBT) y de sus procedimientos operacionales.
- Aprobación de sistemas de gas inerte. Con el propósito de reducir el contenido de oxígeno a menos del 8% en los tanques de carga.
- Verificación del equipo para la retención de hidrocarburos a bordo de un buque pequeño o para sus descargas en el mar, se debe exigir que los buques pequeños estén equipados dentro de lo posible con instalaciones que eviten las descargas de hidrocarburos.
- Libro de registro de hidrocarburos para petroleros menores. Aunque no hay recomendaciones específicas, el Estado del pabellón debe hacer estos controles.

Tipos de buque: Se establecen dos tipos, petroleros y otros buques. Dentro de los otros buques se incluyen los buques de químicos, buques de carga combinados (OBO), buques que no son petroleros pero que disponen de espacios de carga para transportar hidrocarburos a granel y plataformas petroleras o gaseras. Los petroleros se clasifican en petroleros para crudos y petroleros para productos petrolíferos, para edad del buque: basta con conocer la fecha de entrega para determinar la clasificación del buque y por lo cual se clasifican en distintas categorías.

Tamaño del buque: Según su tonelaje (mayor o igual a 20000 TPM) y eslora (mayor o igual a 150 metros), de lo anterior se desprende al rededor de 66 categorías de buques.

Los buques deberán contar con los siguientes sistemas de tratamiento de mezclas aceitosas:

- Separador de agua e hidrocarburos (100 ppm) para mezclas oleosas de sentinas y lastres sucios de tanques de combustible.
- Equipo filtrador de 15 ppm.
- Equipo filtrador de hidrocarburos (15 ppm) con alarma, para descargas de sentinas, en lugar de separador de 100 ppm combinado con un sistema de vigilancia y control de descargas de hidrocarburos.

Adicionalmente, los buques deberán contar con los siguientes sistemas de monitoreo y control de descargas.

- Sistema de vigilancia y control para las descargas de hidrocarburos desde espacios de máquinas (sentinas) y de tanques de combustible líquido.

- Sistema de vigilancia y control para descargas de lastres y lavado de tanques, y su manual de operaciones disponible a bordo.
- Hidrocarbúrometro para verificar las descargas de lastres limpios.
- Detector de interface hidrocarburos/agua.
- Medios adecuados para el lavado de tanques y la transferencia de residuos de lastres sucios y aguas de lavado de tanques de decantación.

Exigencias operacionales a los buques.

- Sé prohíbe realizar descargas de hidrocarburos o mezclas aceitosas al mar.
- Descargas permitidas: mezclas aceitosas no tratadas bajo ciertas condiciones; Dependiendo de su concentración, lugar, ruta del buque, flujo de descarga, tipo de buque, o circunstancias especiales como el caso de salvar vidas humanas.
- No se permite llevar aguas de lastre en los tanques de carga, en los tanques de combustible líquido (FUEL-OIL).
- Está prohibido llevar hidrocarburos a proa del mamparo de colisión. Solamente se permite llevar agua de lastre en un tanque de carga que haya sido lavado previamente con crudos.

ANEXO E

Protección de las Aguas en el Mar del Norte

El Mar del Norte es una porción de la plataforma continental de agua semicerrada. Su profundidad varía desde 30 m, en promedio en el Sureste hasta de 200 m. en el Noroeste. Los países que abarca el Mar del Norte son: Bélgica, Dinamarca, Francia, Alemania, Holanda, Noruega, Suecia, Suiza y el Reino Unido. Aunque el Mar del Norte es pequeño, su productividad y pesca es una de las más grandes a nivel mundial. La pesca es una de las actividades importantes en todos los países que la rodean con una producción de 2.5 millones de toneladas.

Es una de las zonas más densas con aproximadamente 35 millones de personas que viven dentro de la zona, existiendo un gran número de ciudades e industrias, vaciando sus desechos al mar. La producción de aceite y gas ha sido una de las actividades con mayor derrama económica desde los años 60's, además de ser una de las rutas más empleadas para la navegación. La zona costera es usada intensamente para la recreación como buceo, vela y pesca.

Como resultado, el Mar del Norte ha sido objeto de eutrofización, contaminación de aceite, contaminación por sustancias peligrosas, químicas y radioactivas, afectando a las diversas especies y a sus habitantes. El crecimiento de la actividad industrial en los años 80's causó daños irreversibles a los ecosistemas del Mar del Norte, debido al desecho de sustancias peligrosas y descargas directas al mar. Al ser necesario proteger el medio ambiente marino, se realizó la Primera Conferencia Internacional sobre Protección al Mar del Norte en Bremen en el año de 1984 y posteriormente se realizaron conferencias concernientes a proteger la zona.

La protección al Mar del Norte está enfocada a los siguientes conceptos:

- Protección de Especies y Hábitats.
- Pesca.
- Sustancias Peligrosas.
- Entrada de Nutrientes y Eutrofización.
- Contaminación de Barcos.
- Contaminación de Instalaciones Costafuera.
- Sustancias Radioactivas.
- Desecho de Basura al Mar.
- Incineración de Desechos Industriales al Mar.

Existen otras convenciones especializadas en abatir la contaminación del mar (Convención OSPAR, MARPOL 73/78, Convención de Desechos en Londres, la Convención en Bonn, etc.) junto con la Conferencia Internacional de Protección del Mar del Norte, la cual tiene la ventaja de proporcionar una red política para cubrir exitosamente las medidas necesarias para proteger la zona. Existían reportes donde se ha detectaba la presencia de aceite en el mar, debido a la operación de las plataformas de producción en la zona. Los ministerios del Mar del Norte acordaron en 1990 eliminar la contaminación por aceite causada por la perforación de los pozos de perforación o reducir la contaminación causada por la producción de agua. Estas metas se han seguido con la implementación de las decisiones legales de OSPAR.

En la Conferencia del Mar del Norte en 1995 se dio inicio a limitar el envío de desechos de instalaciones costafuera dentro de la zona marítima. Esta iniciativa fue seguida por medio de la adopción de la decisión de OSPAR en 1998. El Convenio relativo a la Protección del Medio Ambiente Marino del Atlántico del Nordeste (OSPAR), fue suscrito en París el 22 de septiembre de 1992. El Convenio ha refundido los anteriores Convenios de Oslo, para la Prevención de la Contaminación Marina Provocada por Vertidos desde Buques y Aeronaves y de París, para la Prevención de la Contaminación Marina de Origen Terrestre.

ANEXO F

Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-Límites Permisibles de Calidad y Tratamiento a los que se somete el agua para su potabilización.⁴¹

Límites permisibles de características bacteriológicas

El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la Tabla 1.

TABLA 1

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 ml 2 UFC/100 ml
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 ml Cero UFC/100 ml

Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 ml (número más probable por 100 ml), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 ml (unidades formadoras de colonias por 100 ml), si se utiliza la técnica de filtración por membrana.

Límites permisibles de características físicas y organolépticas

Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la Tabla 2.

TABLA 2

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE
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.

Límites permisibles de características químicas

El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 3. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

TABLA 3

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE mg/l,
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como CN ⁻)	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.50
Cloruros (como Cl ⁻)	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como CaCO ₃)	500.00
Fenoles o compuestos fenólicos	0.001
Fierro	0.30
Fluoruros (como F ⁻)	1.50
Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l:	
Benceno	10.00
Etilbenceno	300.00
Tolueno	700.00
Xileno (Tres isómeros)	500.00
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6.5-8.5
Plaguicidas en microgramos/l:	
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.00

Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4 - D	50.00
Plomo	0.025
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como SO ₄ =)	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00

Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

Límites permisibles de características radiactivas

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 4. Los límites se expresan en Bq/l (Becquerel por litro).

TABLA 4

CARACTERÍSTICA	LÍMITE PERMISIBLE Bq/l (Becquerel por litro).
Radiactividad alfa global	0.1
Radiactividad beta global	1.0

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

ANEXO G

Especificaciones de los Equipos para el Tratamiento de Aguas Negras de acuerdo al número de personas³⁴

Modelos Estándares del Proveedor.	6 MC	7 ME	8 MC*	8 M*	12 MC*	12 M	12MX	12 MX	15 MX	15 MX
Complemento de Personas (Máximo)										
Aguas Negras	25	40	60	60	120	120	250	250	500	500
Aguas Negras y Aguas Turbias	12	16	25	25	50	50	110	110	225	225
Capacidad de Tratamiento (Máximo)										
Volumen de Tratamiento (Libras/día)	3000	4500	7000	7000	14000	14000	28000	28000	56000	56000
(Galones/día)	800	1200	1800	1800	3600	3600	7500	7500	15000	15000
BOD Carga (Kilogramos/día)	1.62	2.40	3.60	3.60	7.20	7.20	15.00	15.00	30.00	30.00
Promedio del Flujo (litros/minuto)	2.08	3.13	4.86	4.86	9.72	9.72	19.44	19.44	38.89	38.89
(Galones/minuto)	0.56	0.83	1.25	1.25	2.50	2.50	5.21	5.21	10.42	10.42
Flujo del Tanque (litros/minuto) (promedio X 3)	6.25	9.40	14.60	14.60	29.20	29.20	58.30	58.30	116.70	116.70
(Galones/minuto)	1.66	2.50	3.75	3.75	7.50	7.50	15.62	15.62	31.25	31.25
Dimensiones y Pesos del Sistema										
Longitud (milímetros):	1600	1676	2210	1321	2299	1321	2616	1321	3607	2134
(Pulgadas)	63	66	87	52	91	52	103	52	142	84
Altura (milímetros)	1714	1626	1727	1499	1816	1600	2267	1518	2426	1602
(Pulgadas)	67	64	68	59	72	63	89	60	96	63
Ancho (milímetros)	711	787	711	610	711	610	1219	610	1372	610
(Pulgadas)	28	31	28	24	28	24	48	24	54	24
Peso Seco (Vacio) (Kilogramos)	584	635	784	368	735	452	1564	452	2376	639
(Libras)	1293	1400	1737	945	1621	967	3446	996	5239	1408
Peso en Operación (lleno) (kilogramo)	932	1047	1632	375	1821	473	3988	499	7595	663
(libras)	2064	2310	3615	1011	4633	1042	8833	1100	16823	1460
Volumen del V-1 (litros)	227	334	566	N/A	637	N/A	1476	N/A	2889	N/A
(galones)	60	90	150	N/A	168	N/A	390	N/A	763	N/A
Volumen del V-2 (litros)	114	229	283	N/A	446	N/A	1071	N/A	2293	N/A
(galones)	30	60	75	N/A	118	N/A	283	N/A	606	N/A
Requisitos para Servicio:										
Energía (KVA)	3.7	3.7	3.7	3.7	5.5	5.5	7.2	7.2	12.0	12.0
Agua de Mar (litros/minuto)	2	4	6	6	10	10	20	20	38	38
(Galones/minuto)	0.5	1	1.5	1.5	2.5	2.5	5	5	10	10
Aire (m ³ /minuto@ 0.4Bar)	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028
(ACFM@ 6psi)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Conexiones del Cliente:										
Tubería (milímetros)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
(Pulgadas)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Bomba de Descarga (milímetros)	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
(Pulgadas)	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
Lineas de Ventilación (milímetros)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
(Pulgadas)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Bomba/Linea de Emisión (milímetros)	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
(Pulgadas)	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Linea de Agua de Mar (milímetros)	13	13	13	13	13	13	19	19	25	25
(Pulgadas)	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.75	0.75	1.0	1.0

*Son estándares del Proveedor ejemplo 6MC el 6 representa el modelo y MC el estándar.

GLOSARIO*.

Ablandamiento	Es el proceso de remoción de los iones calcio y magnesio, principales causantes de la dureza del agua.
Adsorción	Es la remoción de iones y moléculas de una solución que presentan afinidad a un medio sólido adecuado, de forma tal que son separadas de la solución.
Agua para consumo Humano	El agua que no contiene contaminantes objetables como productos químicos o agentes infecciosos que causan efectos nocivos a la salud, es denominada agua potable.
Aguas Costeras	Son las aguas de los mares territoriales en la extensión y términos que fija el derecho internacional; así como las aguas marinas interiores, las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar.
Aguas Nacionales	Son las aguas que corresponden a la propiedad de la nación y están consideradas en su territorio.
Aguas Pluviales	Son aquellas que provienen de lluvias, incluyendo a las que provienen de nieve y granizo.
Aguas Residuales	Son las aguas de composición variada y que provienen de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícola, pecuarios, domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de éstas.
Anión	Ion negativo resultado de poseer un átomo o agrupación de átomos un exceso de electrones.
Antrópico.	Se refiere a los procesos que pueden repetirse y controlarse asegurando su funcionamiento y garantizando la regeneración de los recursos naturales.
Bienes Nacionales	Son los bienes cuya administración está a cargo de la Comisión Nacional del Agua en términos del Artículo 113 de la Ley de Aguas Nacionales.
Carga Contaminante	Cantidad de un contaminante expresado en unidades de masa por unidad de tiempo, aportada en una descarga de aguas residuales.

Carga Contaminante Media Diaria	Es el cociente entre la masa o volumen de un contaminante y el número de días en que se descarga el residuo líquido al cuerpo de agua, durante el mes del año en que se genera la máxima producción de dichos residuos. Se expresa en unidades de masa por unidad de tiempo. Para los sólidos sedimentables es expresado en unidades de volumen por unidad de tiempo y para los coliformes es expresado en unidades de tiempo. La masa o volumen de un contaminante corresponde a la suma de las masas o volúmenes diarios descargados durante dicho mes, y la masa se determina mediante el producto del volumen de las descargas por su concentración.
Catión	Ion con carga eléctrica positiva, generada por pérdidas de electrones.
Coagulación Química	Es la adición de compuestos químicos al agua, para alterar el estado físico de los sólidos disueltos, coloidales o suspendidos, a fin de facilitar su remoción por precipitación o filtración.
Coliformes Fecales o Termotolerantes	La bacteria fecal coliforme es aquella que se define como un organismo asociado al intestino de los seres de sangre caliente y se usa regularmente para indicar la presencia potencial de organismos capaces de causar la muerte del humano e indica la presencia de materia fecal. Son medidos como una cuenta de colonias microscópicas por cada mililitro.
Condiciones Particulares de Descarga	Es el conjunto de parámetros físicos, químicos y biológicos y de sus niveles máximos permitidos en las descargas de aguas residuales. Deberán estar controlados por las instituciones correspondientes con el fin de preservar y controlar la calidad.
Contaminante Básico	Son aquellos compuestos y parámetros que se presentan en las descargas de aguas residuales y que pueden ser removidos o estabilizados mediante tratamientos convencionales. Dentro de estos contaminantes se consideran a las grasas y aceites, sólidos suspendidos, hidrocarburos totales, hidrocarburos volátiles, hidrocarburos fijos, BOD ₅ , arsénico, aluminio, boro, cadmio, cianuro, cloruros, cobre, índice de fenoles, cromo hexavalente, cromo total, estaño, flúor, fósforo, hierro, manganeso, mercurio, molibdeno, níquel, nitrógeno total, nitrito y nitrato, pentaclorofenol, plomo, selenio, sulfatos, sulfuro, tetracloroetano, tolueno, triclorometano, xileno, zinc, sólidos sedimentables, temperatura y pH.
Contaminantes Patógenos y Parasitarios	Son aquellos microorganismos, quistes y huevos de parásitos que pueden estar presentes en las aguas residuales y que representan un riesgo a la salud humana, flora o fauna. Dentro de ellos se consideran los Coliformes Fecales y los Huevos de Helminto.

Contenido de Captación	Es la concentración media del contaminante presente en la captación de agua de la fuente emisora, siempre y cuando se realice en el mismo cuerpo de agua donde se produzca la descarga. El contenido será informado por la fuente emisora a la Dirección General de Aguas o a la Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante según sea el caso, debiendo cumplir con las condiciones para la extracción de muestras, volúmenes de la muestra y metodológicas de análisis, establecidos en cada norma.
Contenido Natural	Es la concentración de un contaminante en el cuerpo receptor, que corresponde a la situación original sin intervención antrópica del cuerpo de agua más las situaciones permanentes, irreversibles o inmodificables de origen antrópico .
Cuerpo de Agua Receptor o Cuerpo Receptor	Son las corrientes, depósitos naturales de agua, presas, causes, zonas marinas o bienes nacionales donde se descargan aguas residuales, así como los terrenos donde se infiltran o inyectan dichas aguas cuando puedan contaminar el suelo o los acuíferos marinos.
DBO₅	Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días y a 20 °C.
Descarga	Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la nación.
Descarga de Residuos Líquidos	Es la evacuación o vertimiento de residuos líquidos a un cuerpo de agua receptor, como resultado de un proceso, actividad o servicio de una fuente emisora.
Desinfección	Es la destrucción de organismos patógenos por medio de la aplicación de productos químicos o procesos físicos.
Electrodo	Cada uno de los extremos de un conductor que recibe o comunica una corriente eléctrica.
Embalse Artificial	Vaso de formación artificial que se origina por la construcción de un bordo o cortina y que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.
Embalse Natural	Vaso de formación natural que es alimentado por uno o varios ríos o agua subterránea o pluvial.
Estabilización	Es la obtención de determinada concentración de sales y pH del agua, para evitar la incrustación o corrosión de los materiales con que se fabrican los elementos que la conducen o contienen.

Estuario	Es el tramo del curso del agua bajo la influencia de las mareas que se extienden desde la línea de costa hasta el punto donde la concentración de cloruros en el agua es de 250 mg/l.
Evaporación	Separación del agua de los sólidos disueltos, utilizando calor como agente de separación, condensando finalmente el agua para su aprovechamiento.
Filtración	Es la remoción de partículas suspendidas en el agua, haciéndola fluir a través de un medio filtrante de porosidad adecuada.
Floculación	Es la aglomeración de partículas desestabilizadas en el proceso de coagulación química, a través de medios mecánicos o hidráulicos.
Fuente Emisora	Es el establecimiento que descarga residuos líquidos a uno o más cuerpos de aguas receptores, como resultado de su proceso, actividad o servicio, con una carga contaminante media diaria o de valor característico superior en uno o más de los parámetros indicados.
Fuente Existente	Son aquellas fuentes emisoras que a la fecha de entrada en vigencia de los decretos o normas se encuentran vertiendo sus residuos líquidos.
Fuentes Nueva	Son aquellas fuentes emisoras que a la fecha de entrada en vigencia de las normas o decretos no se encuentran vertiendo sus residuos líquidos.
Helminto	Término designado a un amplio grupo de organismos que incluye a todos los gusanos parásitos (de humanos, animales y vegetales) y de vida libre, con formas y tamaños variados.
Humedades Naturales	Las zonas de transición entre los sistemas acuáticos y terrestres que constituyen áreas de inundación temporal o permanente, sujetas o no a la influencia de mareas, como pantanos, ciénagas y marismas, cuyos límites los constituyen el tipo de vegetación hidrófila de presencia permanente o estacional, las áreas donde el suelo es predominantemente hídrico y las áreas lacustres o de suelos permanentemente húmedos originadas por la descarga natural de acuíferos.
Intercambio Iónico	Es el proceso de remoción de aniones o cationes específicos disueltos en el agua, a través de su reemplazo por aniones o cationes provenientes de un medio de intercambio, natural o sintético, con el que se pone en contacto.
Límite Máximo Permisible	Valor o rango asignado a un parámetro, el cual no debe ser excedido en la descarga de aguas residuales.

Metales Pesados y Cianuros	Son aquellos que en concentraciones por encima de determinados límites, pueden producir efectos negativos en la salud humana, flora o fauna. En lo que corresponde a la Norma Oficial Mexicana solo se contemplan los siguientes: arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo, zinc, y cianuros.
Muestra Compuesta	Es la que resulta de mezclar el número de muestras simples. Para conformar la muestra compuesta, el volumen de cada una de las muestras simples deberá ser proporcional al caudal de la descarga en el momento de su toma.
Muestra Simple	La que se toma en el punto de la descarga, de manera continua, en día normal de operación que refleje cuantitativa y cualitativamente él o los procesos más representativos de las actividades que generan la descarga, durante el tiempo necesario para completar cuando menos, un volumen suficiente para que se lleven a cabo los análisis necesarios para conocer su composición, aforando el caudal descargado en el sitio y en el momento del muestreo.
Neutralización	Es la adición de sustancias básicas o ácidas al agua para obtener un pH neutro.
Osmosis Inversa	Es el proceso esencialmente físico para remoción de iones y moléculas disueltas en el agua, en el cual por medio de altas presiones se fuerza el paso de ellas a través de una membrana semipermeable de porosidad específica, reteniéndose en dicha membrana los iones y moléculas de mayor tamaño.
Oxidación	Es la pérdida de electrones de un elemento, ion o compuesto por la acción del oxígeno u otro agente oxidante.
Parámetro	Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad física, química, y biológica del agua.
Pirógenos	Organismos que pueden causar fiebres altas al ser humano.
Potabilización	Es el conjunto de operaciones y procesos, físicos y/o químicos que se aplican al agua en los sistemas de abastecimiento públicos o privados, a fin de hacerla apta para uso y consumo humano.
Poliamida	Compuesto químico obtenido por condensación múltiple de ácidos y amidas; tiene un elevado punto de fusión y gran insolubilidad; es utilizada en la industria textil.
Presión Osmótica	Fuerza que se aplica para evitar la ósmosis de dos líquidos a través de una membrana.

Promedio Diario (P.D)	Es el valor que resulta del análisis de una muestra compuesta. En el caso del parámetro grasas y aceites, es el promedio ponderado en función del caudal y la media geométrica para los Coliformes Fecales, de los valores que resulten del análisis de cada una de las muestras simples tomadas para tomar la muestra compuesta. Las unidades de pH no deberán estar fuera del rango permisible, en ninguna de las muestras simples.
Promedio Mensual (P.M)	Es el valor que resulte de calcular el promedio ponderado en función de caudal, de los valores que resulten del análisis de al menos dos muestras compuestas (Promedio Diario).
Residuos Líquidos, Aguas Residuales o Efluentes	Son aquellas aguas que se descargan desde una fuente emisora, a un cuerpo receptor.
Riesgo No Restringido	La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas en forma ilimitada como forrajes, granos, frutas, legumbres y verduras.
Riesgo Restringido	La utilización del agua residual destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas excepto legumbres y verduras que se consumen crudas.
Río	Corriente de agua natural, intermitente que desemboca a otras corrientes, o a un embalse natural o artificial, o al mar.
Sólidos Sedimentables	Es la cantidad de impurezas materiales y sustancias que se producen con el petróleo y quedan depositados en una cuenca y con el paso del tiempo se transforman en rocas.
Sedimentación	Es el proceso físico que consiste en la separación de las partículas suspendidas en el agua, por efecto gravitacional.
Sólidos Suspendidos	Son todas las partículas que se encuentran suspendidas en el agua
Suelo	Cuerpo receptor de descargas de aguas residuales que se utilizan para actividades agrícolas.
Tasa de Dilución del Efluente Vertido	Es la razón entre el caudal disponible del cuerpo receptor y el caudal medio mensual del efluente vertido durante el mes de máxima producción de residuos líquidos, expresados en las mismas unidades.

Tratamientos Convencionales	Son los procesos de tratamiento mediante los cuales se remueve o estabilizan los contaminantes básicos presentes en las aguas residuales
Uso en Riego Agrícola	La utilización del agua destinada a la actividad de siembra, cultivo y cosecha de productos agrícolas y su preparación para la primera enajenación, siempre que los productos no hayan sido objeto de transformación industria.
Uso Público Urbano	La utilización de agua nacional para centros de población o asentamientos humanos, destinada para el uso y consumo humano, previa potabilización.
Zona de Protección Litoral	Corresponde a la franja de playa, agua y fondo de mar adyacente a las costas y se delimita por una línea superficial imaginaria dentro de cada territorio.

^ Estas definiciones fueron tomadas de las diferentes Normas Oficiales que se consultaron para entender los términos que se manejan así como de diccionarios Técnicos^{33,44}.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFÍA.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

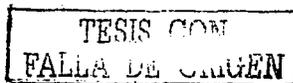
Libros

1. Abu-Hijleh, B.A.; Atallah, R. "Feasibility study of a combined electric power and water desalination plant in Jordan". *Energy Conversion and Management*, 39(11) 1998, pp:1207-1213.
2. Al-Ansari, A.D; Owen, I. "Thermal and hidrodynamic analysis of the condensation and evaporation processes in horizontal tube desalination plant". *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 42(9) 1997, pp:1633-1644.
3. Francis F. Huang "Ingeniería Termodinámica Fundamentos y Aplicaciones" Editorial Continental Cuarta Edición Pags. 734-747.
4. Gordon Maskew Fair "Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales Vol. III" Editorial Limusa. pp 245-247. 1985.
5. Kalogirou, S. "Survey of solar desalination systems and system selection". *Energy*, Oxford England, 22(1) 1997, pp: 69-81.
6. Murgel Branco Samuel. "Limnología Sanitaria, Estudio de la Polución de Aguas Continentales" Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos (OEA). 1984 pp 8-9.
7. Pica Granados Yolanda "Oceanografía de Mares Mexicanos" A.G.T Editor. S.A. México D,F 1991.pp-26-28.
8. Riley J.P. y Chester R. "Introducción a la Química Marina" Editorial Calypso S.A México D,F 1989 pp-28-35.
9. Romero Rojas Jairo Alberto "Potabilización del agua" Edición 3a Ed. Impreso en. México, D.F. Alfaomega, 1999. 327 pag.
10. Seoáñez Calvo Mariano "Manual de Contaminación Marina y Restauración del Litoral. diciones Mundi-Prensa España 2000 pp-42-43.

11. Tebbutt "Fundamentos de la Calidad del Agua" Editorial Limusa S.A de C.V México D,F2001 pp-185-188.
12. Tr. f. de lora "Manual de abastecimientos públicos de aguas". Impreso en. Madrid: Instituto de Estudios de Administración Local 734 p. American Water Works Association. 1998.

Revistas y Documentos (Proyectos de Pemex y Tesis).

13. "Plataformas Marinas en la Sonda de Campeche" 18 de Marzo de 1983 pp 7, 23-34. (PEMEX). Documentos (Proyectos de Pemex y Tesis).
14. Hamed, O.A.; Zamamiri, A.M. "Thermal Performance and exergy analysis of thermal vapor compression desalination system". Energy Conversion and Managment, 37 (1996), pp: 379-387.
15. Informe Final. "Elaboración de Procedimientos y Programas de Control de Agua de Descarga Proveniente de las Plataformas y Terminal Marítima Dos Bocas". Noviembre 2001. (PEMEX).
16. LIFESTREAM, 1998. Water Purification Equipment. (Catalogo de productos).
17. Manual de tratamiento de aguas. Impreso en. México : Limusa-Wiley, 1964 205 p. Nota Titulo original: manual of instruction for water treatment plant operators.
18. Torres Martínez Hei "Evaluación Estructural de Plataformas Marinas Fijas con un criterio propio para la Sonda de Campeche". Universidad La Salle 1998. pp 5-11. (Tesis).
19. Voivontas, D., Papafotiou, K. "A hybrid expert-procedural system for the design of reverse-osmosis desalination plants". Tha Canadian Journal of Chemical Engineering, 76(6) 1998, pp:1102-1109.
20. Wade, N.; Callister, K. "Desalination: the state of the art". Water and Environmental Management Journal. 11 (1996), pp: 87-97.



Páginas Electrónicas.

21. "ALFALAVAL.2001.WaterTechnologies"
http://www.alfalaval.com/water_technologies/vvc.htm
22. "Aqua Mex", www.aquamex.com
23. Biagua S.A de C.V. "Fabricantes de Equipo para Abastecimiento y Control de Tratamiento de Agua" <http://www.Biagua.com.mx>
24. "Bob J. Johnson & Associates, Inc. Total Water Treatment Systems. Houston TX, USA"
<http://i.ezot.com>
25. "Desalination of Water and Sea-Water, información, 2001" <http://www.world-wide-water.com/Desal.html>
26. "Environmental Process Systems Inc.", www.epsiusa.com.
27. "INFILCO Water Simplified". www.infilco.com
28. "Innovative Solutions to Water and Wastewater Treatment Problems". www.aquatecnic.com.
29. "Internacio Desalination Association, 1998" <http://www.ida.bm/PDFS/Publications/ABCs.pdf>
30. "La Electroquímica en el Tratamiento de Aguas " www.uam.com.mx.
31. "Marine Wastewater Treatment". www.hydroxyl.com
32. "MECO, Vapor Compression Desalting Equipment, 2001" <http://www.meco.com>
33. "ONDEO-Degrémont: Drinking Water, Municipal and Industrial Wastewater Treatment".
www.degremont.com
34. "Plantas de Tratamiento de Aguas Negras Ompipure". www.sanilec.com

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

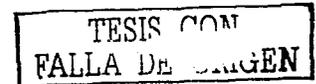
35. "Plantas de Tratamiento Ompipure Innovaciones".www.omnipure1.com
36. "Sistema de Tratamiento de Agua de Desecho por Batch".www.enervac.com

Normatividad.

37. Agencia de Protección del Medio Ambiente (EPA), Establece las Normas de Control Ambiental en su Decreto publicado el 22 de enero del 2001 dentro de sus Registro Federal Vol. – 66 número 14, Estableciendo el Permiso General para la Descarga de Desechos dentro de las Costas Territoriales en el Estado de Texas.

www.epa.gov

www.epa/fdrgrstr/epa.water/



38. Decreto de la República de Chile de Acuerdo a la Secretaria General de la República se Establece LA Norma de Emisión para la Regulación de Contaminantes Asociados a las Descargas de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales, quedando establecida dentro del Decreto 90 de la CONAMA No 2.054 del 9 de septiembre de 1996

www.conama.cl/htm/informacion-portada/d90/decreto-n90.htm

39. Norma Oficial de Brasil CONAMA–No 003, de 05 de Junio de 1984 Que Establece la Clasificación de las Aguas Dulces y Salinas del Territorio Nacional de Acuerdo a la Resolución No. 20 del 18 de Junio de 1986, también se establecen los Límites Permisibles para los Desechos a las Aguas Nacionales

www.dra-n.pt/legislacao/

40. Norma Oficial Mexicana NOM – 001 –ECOL – 1996, Que Establece los Límites Máximos Permisibles de Contaminantes en las Descargas de Aguas Residuales en Bienes Nacionales

www.ine.gob.mx/dgra/normas/agua/index.html.

41. Norma Oficial Mexicana 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.

www.economia.gob.mx/normas/agua/index.html

42. Norma de La República de Francia establece dentro del Código del Medio Ambiente en el Libro II de Sanidad Pública y para la Navegación de su Territorio los Límites Máximos de Contaminantes para sus Descargas dentro de Aguas Nacionales.
www.oieau.fr/espagnol/gest-eau/index.htm.

Diccionarios.

43. Hawley Diccionario de Conceptos Químicos. Editorial Omega 1998.
44. J.Coombs "Diccionario de Biotecnología" Editorial Labor, S.A. Ministerio de Educación Científica. España 1989.