

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR JOSÉ MIGUEL CARRERA

EVALUACION TECNICA Y ECONOMICA DE PROYECTO DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA PLANTA DESALINIZADORA
DE AGUA DE MAR ATACAMA – ECONSSA CHILE

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero en Mantenimiento Industrial
con Licenciatura en Mantenimiento.

Alumno:

Joaquín Aníbal Aguilar Briceño

Profesor Guía:

Ing. Carlos Baldi González

2023

RESUMEN

En los últimos años las plantas desalinizadoras se han convertido en uno de los procesos no convencionales más importante para la producción de agua potable, principalmente en zonas con escasez hídrica como lo son las zonas desérticas del norte de Chile, donde también se necesita gran cantidad de agua para los procesos mineros que se desarrollan en el lugar.

A medida que se ha ido expandiendo la utilización de las plantas desalinizadoras alrededor del mundo, ha ido creciendo también la preocupación por los posibles efectos adversos que pueden provocar en el medio ambiente, debido a que como resultado del proceso, además de producir el agua para consumo, produce un desecho llamado popularmente salmuera, que contiene altas concentraciones de sal y también de elementos nocivos para la naturaleza como lo son los químicos provenientes del Pretratamiento y limpieza de las membranas como también lo son los metales provenientes de la corrosión de los sistemas.

Es desde esta problemática que nace la necesidad de hacer esta tesis, enfocada en el tratamiento de las aguas residuales de la Planta desaladora de agua de mar ECONSSA Chile, la cual se encuentra ubicada en el sector de punta zorro en la comuna de caldera de la región de Atacama.

Como trabajo de investigación, primeramente, se analizará cada uno de los métodos convencionales para la administración de salmuera, generando una tabla de comparación donde se mostrará las principales ventajas y desventajas de dichos métodos de administración de salmuera. A continuación de la misma manera se analizará los métodos emergentes para el tratamiento de salmuera, siendo en su mayoría proyectos jóvenes, que buscan generar el menor impacto ambiental posible, recuperando mayor cantidad de agua de los desechos y también alguno de ellos buscan aportar a la viabilidad económica de los tratamientos, dándole valoración a los desechos.

Con la finalidad de escoger la metodología más adecuada para la Planta desaladora de agua de mar ECONSSA Chile, se realizara un análisis de los métodos emergentes, basado en una matriz de compatibilidad semicuantitativa, la cual tiene como fin jerarquizar la

compatibilidad de los métodos, entregando valor a diferentes criterios necesarios dándoles ponderaciones las cuales finalmente mediante un cálculo simple, entregan una ponderación final, siendo el con mayor ponderación el método con mayor compatibilidad y por ende el método que se investigara a mayor profundidad.

Teniendo escogido el método, se investigará con mayor profundidad, investigando y describiendo los distintos tipos de tecnologías inmersas dentro de este método, comparando las ventajas y desventajas que existen entre ellas.

Finalmente, mediante unas tablas se analizarán los costos para cada una de las tecnologías con las que cuenta el método, con el objetivo de escoger la tecnología con menor costo energético y por ende económico para finalmente concluir si es viable o no económicamente, mediante la relación que exista entre los costos y beneficios.

ÍNDICE

Contenido

1.	ANTECEDENTES GENERALES.....	11
1.1	ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA	11
1.1.1	Descripción de la empresa.....	11
1.1.2.	Historia de la empresa.....	12
1.1.3.	Descripción de la historia.....	12
1.1.4.	Misión.....	12
1.1.5.	Visión	13
1.1.6.	Ubicación	13
1.2.	DESALINIZACIÓN	14
1.2.2.	Métodos de desalinización	14
1.2.3.	Contexto en Chile y el mundo.....	15
1.3.	PLANTA DESALADORA DE AGUA DE MAR ECONSSA.....	16
1.3.2.	Proceso de planta desaladora de agua de mar para la región de atacama, provincias de Copiapó y Chañaral.....	16
1.3.3.	Características y composición del agua de descarte (Salmuera)	18
1.4.	DESCRIPCIÓN PROBLEMÁTICA DE LA SALMUERA.....	19
2.	ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA.....	22
2.1.	MÉTODOS PARA LA ADMINISTRACION DE SALMUERA.....	22
2.1.2.	Métodos convencionales para la administración de salmuera	22
2.1.3.	Comparación métodos convencionales:	24
2.1.4.	Métodos emergentes de tratamiento de salmuera.....	26
2.1.4.	Análisis de métodos emergentes con matriz semicuantitativa	29
2.1.5.	Análisis de los métodos emergentes de tratamiento de salmuera	32

3.1	Descarga cero de líquidos ZLD	35
3.1.1	Diseño básico – Bloques ZLD.....	35
3.1.2	Preconcentración	36
3.1.3	Electrodialisis / Electrodialisis inversa.....	36
3.1.4	Electrodialisis inversa (EDR por sus siglas en ingles).....	37
3.1.5	Ósmosis Forzada (FO).....	37
3.1.6	Destilación por Membrana (MD)	38
3.1.7	Importancia de la preconcentración en el proceso de ZLD	39
3.1.8	Evaporación y cristalización.....	40
3.2	Costos de operación.....	41
3.2.1	Análisis de resultados.....	43
3.3	Sistemas de Gestión de Activos ISO 55001.....	43
3.3.1	Plan estratégico de gestión de activos	43
3.3.2	Cartera de activos	44
3.3.3	Alcance plan estratégico de gestión de activos.	45
3.4	Elaboración y objetivos de las estrategias de gestión de activos	46
	3.4.1 Organización: comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas. 46	
	3.4.2 Liderazgo.....	48
	3.4.3 Planificación.....	49
	3.4.4 Apoyo.....	49
	3.4.5 Operación.	50
	3.4.6 Evaluación de desempeño.....	51
	3.4.7 Mejora continua.....	52
3.5	CONCLUSION	53
3.6	Bibliografía.....	55

SIGLAS Y SIMBOLOGIAS

SIGLAS:

ECONSSA: Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios S.A.

S.A: Sociedad anónima.

CONAF: Corporación Nacional Forestal

CORFO: Corporación de Fomento de la Producción

ESSAN S.A.: Empresa de Servicios Sanitarios de Antofagasta

CTDECS: Contratos de Transferencia del Derecho de las Concesiones

BOT ANTOFAGASTA: Building Operate and Transfer (Operación y Transferencia de Edificios)

PDAM: Planta Desalinizadora de Agua de Mar

RAE: Real Academia Española

DAF: Flotación por Aire Disuelto

OPEX: Gasto Operativo

CAPEX: Capital Expenditure (Gastos de Capital)

WWTP: Wastewater treatment Plants Work (Obras en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales)

MIT: Instituto Tecnológico de Massachusetts

UPV: Universidad Politécnica de Valencia

ZELDA (ZLD): Zero Liquid Discharge

Eurecat-CTM: Eurocat Centro Tecnológico de Manresa

ED: Electrodialysis (Electrodiálisis)

FO: Forces Osmosis (Ósmosis Forzada)

MD: Membrane distillation (Destilación por Membrana)

ppm: Partes Por Millón

RO: Reverse Osmosis (Ósmosis Inversa)

EDR: Reverse Electrodialysis (Electrodiálisis Inversa)

SEC: Specific Energy Consumption (Consumo Específico de Energía)

INTRODUCCIÓN

Desde hace varias décadas ha existido una creciente preocupación por el impacto de la actividad humana sobre el medio ambiente, en su calidad de receptor de los residuos de las actividades humanas y de proveedor de los recursos materiales y energéticos requeridos.

En la era del desarrollo humano global, las personas se han dado cuenta de que los recursos de nuestro planeta son limitados, por lo que cuanto más rápido los consumimos, menos tiempo tenemos para desarrollar nuevas formas de asignar estos recursos.

Ahora bien, la sociedad moderna se ha concientizado sobre la degradación ambiental que vive el planeta por lo cual se busca resolver estos problemas a través de diversas formas de cuidar y reparar el medio ambiente, sin obstaculizar el desarrollo económico y social de la humanidad.

El suministro de agua potable duradero y continuo es esencial para el desarrollo de cualquier asentamiento humano, desde las grandes ciudades hasta los pequeños pueblos. Por tanto, en un país en vías de desarrollo como Chile, es necesario asegurar el suministro de agua potable en todos los centros urbanos del país.

El panorama actual de nuestro país en el contexto de la sequía no es esperanzador, puesto que, afecta el 72% del territorio del país, equivalente a 55 millones de hectáreas, y 16 millones de personas se ven afectadas en 317 de las 345 comunas del país. (CONAF, 2016)

La zona norte de nuestro país presenta condiciones áridas y semi-áridas en las cuales se desarrollan actividades económicas fundamentales, principalmente la minería y la agricultura, esta última en las regiones de Atacama y Coquimbo. Ambas requieren de agua como factor productivo esencial.

Actualmente en el mundo existen más de 16 mil plantas desalinizadoras en funcionamiento, las cuales en total producen aproximadamente 95 millones de metros cúbicos de agua purificada, sin embargo, este proceso de desalinización trae consigo una gran generación de residuos llamado salmuera (residuo resultante del proceso de desalinización) alrededor de 142 millones de metros cúbicos, los cuales terminan expulsados mediante acueductos hacia los océanos o acumulados en depósitos en tierra.

En Chile actualmente hay en funcionamiento alrededor de 24 plantas desalinizadoras y se encuentran 22 proyectos de futuras plantas para implementar, de las cuales ninguna cuenta con un plan o un proyecto para el tratamiento de sus aguas residuales por lo que la mayoría de sus desechos son vertidos en el mar, donde toda esa sal adicional puede tener como consecuencias grandes riesgos para el medioambiente y la biodiversidad de las costas chilenas, ya que al aumentar la salinidad del agua, aumenta la temperatura de esta y disminuye el nivel de oxígeno, lo que puede traer consigo la generación de “zonas muertas”.

En respuesta a la problemática descrita en el párrafo anterior es que, mediante un trabajo de investigación de los métodos emergentes alrededor del mundo y su comparación, teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, es que se buscara el método con mayor compatibilidad para la planta desalinizadora ECONSSA Chile, y posteriormente se investigara la viabilidad técnica y económica del método escogido.

Además de la posibilidad de disminuir los desechos que se vierten al océano, existe la posibilidad de mejorar la viabilidad de las plantas desalinizadoras, debido a que, mediante diferentes métodos para el tratamiento de la salmuera, se pueden obtener diferentes productos químicos como lo son el cloro, hidróxido de magnesio, sulfato de sodio, cloruro de sodio, entre otros. Esto provoca que se conviertan los desechos en una oportunidad de generar una nueva fuente de ingresos para las plantas desalinizadoras.

OBJETIVOS

Objetivo general

Proponer un proyecto de tratamiento de aguas residuales para la planta desalinizadora ECONSSA Chile, mediante el análisis de los aspectos técnicos y económicos, entregando a la municipalidad de Caldera un estudio que le permita tener un instrumento de evaluación final.

Objetivos específicos

- Reconocer la problemática de este proyecto, comprendiendo las diferentes metodologías de desalinización existentes en el mundo y el contexto en el cual se encuentra la planta desalinizadora ECONSSA Chile.
- Identificar el método de tratamiento de salmuera adecuado para la planta ECONSSA Chile, Comparando los diferentes métodos de administración de salmuera existentes, encontrando así el método de mayor compatibilidad.
- Evaluar la viabilidad económica y medioambiental del método propuesto, considerando el OPEX Y CAPEX y proponer la implementación de la ISO 55001 en la organización.

1. CAPITULO 1: ANTECEDENTES GENERALES Y DIAGNOSTICO DE PLANTA.

1. ANTECEDENTES GENERALES

1.1 ANTECEDENTES GENERALES DE LA EMPRESA

1.1.1 Descripción de la empresa.

ECONSSA, Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios, es una empresa conformada por una sociedad anónima la cual es propiedad del Estado de Chile, que tiene como objetivo velar por la provisión de servicios de agua potable y saneamiento en condiciones adecuadas de calidad y cantidad, de acuerdo a la normativa vigente en el país, y tendiendo siempre a buscar altos niveles de satisfacción de la población, haciéndose responsables de concesiones sanitarias a lo largo del país, sea a través de empresas operadoras que se encarguen de la operación o en forma directa, promoviendo siempre el desarrollo y uso sustentable de los recursos.

El desarrollo de la actividad de la empresa busca la sostenibilidad en la provisión de servicios de agua potable y saneamiento en su área de influencia, siendo un líder en el logro de los objetivos de desarrollo sostenible y las acciones frente a la crisis hídrica que se vive alrededor del mundo y que afecta a Chile, en un marco de estricto cumplimiento de sus compromisos y valores fundamentales.

Teniendo como propósito ser un actor relevante y proactivo para enfrentar dicha crisis hídrica, aportando mejoramiento dentro del sector sanitario, planteando y desarrollando soluciones innovadoras y sustentables que favorezcan el acceso a servicios de agua potable y saneamiento de calidad a las actuales y futuras generaciones de Chile. Ilustración 1



Ilustración 1: Agua potable

Fuente: (Econssa Chile S.A, s.f.)

1.1.2. Historia de la empresa.

A fines de la década de los noventa, el gobierno chileno decidió incluir al sector privado como actores relevantes de la industria de la salud para modernizar la gestión en este campo. En este caso, define una empresa de salud que pertenece a CORFO y transfiere sus derechos de desarrollo a nueve empresas privadas operativas a través de un contrato a 30 años. Dentro de las cuales se encuentra la empresa ECONSSA. Ilustración 2



Ilustración 2: ECONSSA Chile

Fuente: (Econssa Chile S.A, s.f.)

1.1.3. Descripción de la historia.

La transferencia de los derechos de la antigua franquicia al nuevo operador se llevó a cabo entre 2001 y 2004. Fue liderada por ESSAN SA. La empresa fue constituida en abril de 1990. La empresa también cumplió con la fusión de CORFO en una. Los requisitos del Comité Nacional: Empresa Concesionaria de Servicios Sanitarios SA, ECONSSA, inició operaciones en 2008 y aseguró el cumplimiento de las obligaciones estipuladas en los diferentes contratos de cesión para que los operadores brinden servicios de calidad a la comunidad, hoy se integra como un referente del evento del sector hídrico chileno.

1.1.4. Misión

Misión: Desarrollar una gestión efectiva de control y administración de los contratos de transferencia del derecho de explotación de las concesiones sanitarias (CTDECS), building operate and transfer (BOT Antofagasta) y planta desalinizadora de agua de mar para Atacama (PDAM), asegurando su sustentabilidad presente y futura.

1.1.5. Visión

Maximizar el valor de los contratos de transferencia en el tiempo, asegurando las fuentes de agua para el consumo de la población, promoviendo la incorporación de tecnologías eficientes y sustentables, fortaleciendo sus facultades contractuales de supervisión y colaborando con las autoridades públicas del sector en el mejoramiento de la normativa.

1.1.6. Ubicación

La Planta Desalinizadora y la infraestructura asociada a la captación de agua de mar y descarga de agua salada se localizará en el área denominada Punta Zorro, aledaña a Punta Padrones, a aproximadamente 3 km al poniente de la ciudad de Caldera, Comuna de Caldera, Provincia de Copiapó. Ubicación ilustrada en la Ilustración 3.



Ilustración 3: Ubicación Planta ECONSSA

Fuente: (Google , s.f.)

1.2.DESALINIZACIÓN

La desalinización es el proceso en el cual se eliminan las sales minerales y las posibles impurezas presentes en el agua salada. En la actualidad dicho proceso, aplicado al agua de mar, es uno de los más usados para obtener agua dulce para el consumo humano, agrícola o minero alrededor del mundo y principalmente en las zonas que no cuentan con un suministro de agua dulce como lo son lagos o ríos.

La desalinización se produce de forma natural en el ciclo del agua: mediante la evaporación realizada por los rayos del sol, la cual deja detrás la sal e impurezas y forma nubes que mediante la condensación dan lugar a la lluvia. Aristóteles observó que el agua de mar evaporada y condensada se volvía dulce, y el gran polímata Leonardo Da Vinci comprendió que era fácil obtenerla usando un alambique.

Durante los siglos posteriores, la desalinización del agua de mar se fue utilizando sobre todo en barcos y submarinos para proveer de agua a la tripulación de las embarcaciones durante las largas travesías. Sin embargo, este proceso no se utilizó a gran escala hasta la revolución industrial y, sobre todo hasta el desarrollo de las plantas desalinizadoras durante el siglo XX.

RAE define la desalinización como "quitar la sal de algo (como cecina, pescado salado)", La desalinización del agua de mar se representa por "quitar la sal del agua de mar o del agua salobre para hacerla potable o para otros fines". Por lo tanto, se puede decir que existe una relación de género y especie entre los dos conceptos. Sin embargo, en el uso diario, estos dos conceptos se utilizan como sinónimos, por lo que, para el propósito de este trabajo, usaremos los dos términos indistintamente en el sentido de extraer sal del agua de mar.

1.2.2. Métodos de desalinización

Históricamente, existen varios métodos para separar sólidos del agua de mar, cada uno de los cuales tiene diferentes costos de tecnología y energía.

El método más utilizado en el mundo con una participación de más del 60% en la capacidad de producción a nivel mundial es el de utilización de membranas de osmosis inversa el cual desplaza desde una solución menos concentrada hacia otra con mayor concentración a través de una membrana semipermeable y además con uso de una diferencia de potencial. Para lograr esto último, se aplica una presión externa mayor a la osmótica.

Además de la osmosis inversa, existen al menos 5 procesos para obtener el mismo resultado siendo los más comunes los siguientes:

- Destilación: Este proceso consiste en calentar agua hasta llevarla al punto de evaporación, para posteriormente condensarla y así obtener agua dulce. Este procedimiento generalmente se realiza en varias etapas, donde la temperatura y la presión van descendiendo en cada una de ellas, hasta obtener el resultado deseado. Además, el calor obtenido de la condensación es reutilizado en el proceso.
- Electrodialisis: El proceso de desalinización consiste en el fenómeno en el cual se hace pasar corriente eléctrica a través de una solución iónica. Los iones positivos (cationes) migrarán hacia el electrodo negativo (cátodo), mientras que los iones negativos (aniones) lo harán hacia el electrodo positivo (ánodo). Entre ambos electrodos se colocan dos membranas semi-impermeables las cuales permiten selectivamente solo el paso del Na^+ o del Cl^- , el agua contenida dentro de la celda electrolítica progresivamente, obteniéndose agua dulce.
- Congelación: Este proceso consiste en pulverizar agua de mar en una cámara refrigerada y a baja presión. Esto hace que se formen cristales de hielo sobre la salmuera, los que posteriormente son separados para obtener agua dulce.
- Formación de Hidratos: Este proceso no se utiliza a gran escala ya que implica grandes dificultades tecnológicas. El método consiste en agregar hidrocarburos a la solución salina, los cuales forman hidratos complejos en forma cristalina, que luego se separan para obtener agua desalada.
- Evaporación relámpago: El agua se introduce en una cámara por debajo de la presión de saturación en forma de gotas finas. Algunas de estas gotas de agua se transforman inmediatamente en vapor, luego se condensa en agua desalinizada. El agua restante se alimenta a otra cámara a presiones más bajas que la primera y el proceso se repite hasta que se alcanza el rendimiento deseado.

1.2.3. Contexto en Chile y el mundo

Los océanos y mares con agua salada constituyen el 97% de toda el agua que existe en el planeta, mientras que solo el 3% restante es agua dulce. Este último se presenta

principalmente en estado sólido en los polos y en glaciares, lo mismo en acuíferos subterráneos y el menor porcentaje es el que fluye por cuencas hidrográficas, los cuales son utilizados para consumo humano. Sin embargo, alrededor del 70% del agua extraída de los lagos, ríos y acuíferos se utiliza para consumo agrícola.

Según Naciones Unidas, para 2050 al menos 25% de la población mundial vivirá en un país afectado por la escasez hídrica, siendo los principales factores el crecimiento acelerado de la población, el aumento de la contaminación de los ríos y el cambio climático.

Una de las posibilidades que surgen para contrarrestar los problemas hidrológicos es el uso de plantas desalinizadoras. En la actualidad, existen más de 15.000 plantas desaladoras en funcionamiento alrededor del mundo, de las cuales el 48% se encuentran en Oriente medio y en el norte de África, que producen alrededor de 95 millones [m³/día] de agua para consumo humano, por otro lado, se estima que se producen alrededor de 142 millones [m³/día] de salmuera en el mundo.

Como en los otros países del mundo, en Chile tanto en la industria como en el gobierno ven las plantas desalinizadoras como una opción para superar el problema de escasez de agua, actualmente existen 24 plantas desalinizadoras operando en Chile y hay 22 proyectos de plantas en desarrollo. Siendo la planta desalinizadora de Atacama la primera planta desaladora estatal del país, con la capacidad de abastecer a más de 200 mil personas de la localidad de Tierra Amarilla, Copiapó, Caldera y Chañaral.

1.3.PLANTA DESALADORA DE AGUA DE MAR ECONSSA.

1.3.2. Proceso de planta desaladora de agua de mar para la región de atacama, provincias de Copiapó y Chañaral

La planta desaladora de agua de mar es un proyecto realizado por la empresa ECONSSA Chile cuya finalidad es abastecer de agua potable a Copiapó, caldera, Chañaral y Tierra Amarilla.

En el sector de punta zorro en la comuna de caldera de la región de Atacama la empresa concesionaria de servicios sanitarios ECONSSA Chile realizó la construcción de una planta desalinizadora de agua de mar para abastecer a la población de Caldera, Chañaral, Copiapó y tierra amarilla.

En síntesis, una planta desalinizadora toma el agua de mar, elimina la sal, agrega minerales y deja el recurso disponible para el consumo de las personas. La planta desalinizadora de ECONSSA Chile capta el agua de mar a través de una torreta que está ubicada a 250 m de la costa y 20 m bajo el nivel del mar, la cual está construida de hormigón armado de 6 metros de diámetro y 9,2 metros de altura. Desde allí el agua que es aspirada y sube por la torreta es conducida por una tubería subterránea de 360 m de longitud hasta llegar a una planta elevadora, que a través de unas bombas impulsa el agua desde el fondo del pique hasta la superficie, en donde está ubicada la planta desalinizadora. Aquí comienza el proceso de pretratamiento de agua de mar, que pasa por un primer sistema de filtros que cuenta con 3 filtros auto limpiantes que retienen partículas de hasta 150 micras (0,15 mm). que descarta los elementos de mayor tamaño antes de avanzar hasta las membranas de ultrafiltración, los cuales son 7 módulos que retienen partículas de hasta 0,1 micra, donde quedan retenidas las partículas más pequeñas como microalgas y restos de arena. Posteriormente el agua ingresa en la tapa de ósmosis inversa que es donde ocurre efectivamente el proceso de desalinización. En esta fase el agua es sometida a una alta presión y se enfrenta a unas membranas semipermeables que retienen el 99,8% de las sales contenidas en el mar. El líquido que atraviesa la membrana está libre de sales disueltas y el que queda retenido se transforma en una salmuera que es descargada al fondo marino a 300 m del borde costero mediante un difusor de 1.200 mm de diámetro y 23,3 metros de longitud, con 8 boquillas de 250 mm de diámetro para facilitar el proceso de dilución inicial de la salmuera tal que a 40 m del punto de descarga la salmuera ha sido diluida sin afectar el entorno.

El agua que atraviesa las membranas y ya sin sal entra a una última etapa de post tratamiento donde se afina su calidad y se agregan los minerales necesarios para dejarla apta para el consumo humano. El agua osmotizada se remineraliza con CO₂ y Cal más inyección de hipoclorito y flúor, y es conducida a un depósito de agua producto de 4.000 metros cúbicos. Finalmente, el agua desalinizada y post tratada es transportada por tuberías hasta los centros de consumo en Caldera, Chañaral, Copiapó y Tierra Amarilla.

En la Ilustración 4 se muestra desde una vista aérea la planta ECONSSA Chile en su etapa final de construcción.



Ilustración 4: Planta Desalinizadora ECONSSA.

Fuente: (Econssa Chile S.A, s.f.)

1.3.3. Características y composición del agua de descarte (Salmuera)

El agua salada de descarga, obtenida como rechazo del proceso de osmosis inversa utilizado en la planta, corresponde a una corriente líquida con alta concentración de sales y de otros componentes adheridos durante el pretratamiento y a lo largo del proceso de desalación. El rendimiento establecido de la planta es del 45% por lo que considerando el caudal de producción de 1.200 L/s alcanzado en la etapa III del proyecto, se puede obtener un detallado del efluente de salmuera los cuales son mostrados en la Tabla 1.

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal	1.467	L/s
Salinidad	65,3	g/L
Temperatura	13	°C
Densidad	1.049,62	Kg/m3

Tabla 1: Parámetros efluente de salmuera.

Fuente: (Econssa Chile S.A, s.f.)

Elaboración propia

La salmuera obtenida es mezclada con los lodos provenientes del proceso DAF (proceso en el cual mediante burbujas de aire ascendentes se transfieren los sólidos a la superficie), este efluente contiene cloruro férrico, el cual aportara un aumento en la concentración de sales en un rango inferior al 1%, también se mezcla la salmuera con efluentes provenientes del proceso de limpieza de los filtros el cual está constituido de agua permeada a la cual solo se le altera el pH. Posteriormente al lavado, el agua es reconstituida a su pH original, para ser mezclada con la salmuera del proceso y posterior descarga al mar mediante el emisario de descarga.

1.4.DESCRIPCIÓN PROBLEMÁTICA DE LA SALMUERA.

Se entiende como salmuera en el campo de las plantas desalinizadoras, al rechazo o concentrado proveniente de dicho proceso que contiene las sales extraídas del sistema. Además de las sales, componentes concentrados y componentes orgánicos, las salmueras pueden contener productos químicos y residuos que provienen de los distintos procesos.

Las características de la salmuera dependen de diferentes factores:

El origen y las características físico- químicas del agua utilizada en el proceso de desalación.

La relación del sistema (alimentación / producto), que determina la concentración de las sales.

La tecnología utilizada (influye en la relación del sistema), la cantidad de sales que pasan al producto y por lo tanto también las que permanecen en la salmuera, así como en otros factores tales como la temperatura.

Los efluentes generados en otras operaciones dentro de la misma planta desaladora (agua de lavado de filtros, productos químicos de limpieza de las membranas, etc.).

En el caso de las plantas desalinizadoras de agua de mar, la salmuera es básicamente agua de mar concentrada en aproximadamente el doble de su salinidad (la conversión es aproximadamente del 45%), más pequeñas cantidades de los productos químicos que se utilizan en el pretratamiento y los caudales procedentes del tratamiento de efluentes.

Debido a su mayor contenido salino la densidad de la salmuera es más elevada que la propia agua de mar, lo que tiene como consecuencia el mantenerse en el fondo marino, por este motivo es necesario realizar las medidas necesarias que permitan y favorezcan una mejor dispersión, como lo son las mezclas previas para su dilución y posterior vertido al mar o también el uso de difusores especiales que vierten la salmuera de manera que facilita su dilución en las aguas marinas.

La producción de salmuera se asocia principalmente a los procesos de desalación de agua de mar, al comienzo de la utilización de este método no había ningún tratamiento para el rechazo de este proceso conocido como salmuera, esta simplemente se reincorporaba directamente al océano. La disposición de la salmuera puede resultar ser muy problemática ya que:

- Incrementa la salinidad de los cuerpos de agua receptores.

- Impacta en la biodiversidad de la vida marina local.

- Puede contener químicos provenientes del pretratamiento y limpieza de la membrana.

- Puede contener metales de la corrosión de los sistemas (Cu, Fe, Ni, Mo, Cr).

- Crea problemas estéticos (coloración).

- Impacta los acuíferos que estén cerca de fugas en las tuberías de salmuera.

- Crea daños permanentes debido a la descarga de trabajos de infraestructura.

2. CAPÍTULO 2: ANALISIS DE LA PROBLEMÁTICA

2. ANALISIS DE LA PROBLEMÁTICA

2.1. METODOS PARA LA ADMINISTRACION DE SALMUERA

2.1.2. Métodos convencionales para la administración de salmuera

Para valorar realmente el problema que conlleva las salmueras, se debe tener en cuenta el volumen total de salmueras que son generadas al rededor del mundo, haciendo un cálculo simplificado con los datos de la capacidad total operativa y los de distribución por origen de agua, se puede estimar, suponiendo una conversión promedio aproximada del 45% en las plantas de agua de mar y del 72% en las de agua salobre, a nivel mundial actualmente se estarían produciendo diariamente alrededor de 64 millones de metros cúbicos de salmuera de agua de mar y unos 12 millones de metros cúbicos de salmuera de agua salobre.

En el caso de las plantas desaladoras de agua de mar, aproximadamente el 90% de las plantas repartidas alrededor del mundo vierten su salmuera al mar, la mayoría utilizando un sistema de dispersión como el utilizado por la planta de ECONSSA, no obstante es sabido que este método no es totalmente amigable con el ecosistema marino que lo rodea, debido a que el aumentar de salinidad el agua trae consigo consecuencias que los estudios aun no identifican del todo pero que a medida que avanzan en esto, pueden llegar a ser una amenaza para las plantas que utilizan este método puesto que dichos estudios a largo plazo pueden demostrar una real amenaza de las plantas para el ecosistema marino.

Es por esto por lo que alrededor del mundo históricamente se han buscado alternativas diferentes para la disposición de la salmuera, buscando el menor impacto posible sobre el medio ambiente y también las alternativas más viables económicamente, a modo de referencia se mostrara a continuación los métodos más utilizados en Estados Unidos para administrar la salmuera.

- 1- Descarga de agua: superficial y sumergida (45%): La salmuera es descargada en la superficie del agua de mar. Es el método más común para todas las grandes instalaciones de desalinización alrededor del mundo.
- 2- Disposición en alcantarilla (27%): Descarga de la salmuera dentro de un sistema cercano de colección de aguas residuales existente. Bajo en costo y energía.

- 3- Inyección en pozo profundo (13%): La salmuera es inyectada dentro de los poros superficiales existentes en las formaciones rocosas.
- 4- Aplicaciones de la tierra (8%): La salmuera es utilizada para la irrigación de cosechas y pastos tolerantes a la salinidad.
- 5- Estanques de evaporación (4%): La salmuera es admitida para evaporarse en grandes estanques mientras que las sales sobrantes se acumulan en la base del estanque.

Graficados con sus respectivos porcentajes en la Ilustración 5.

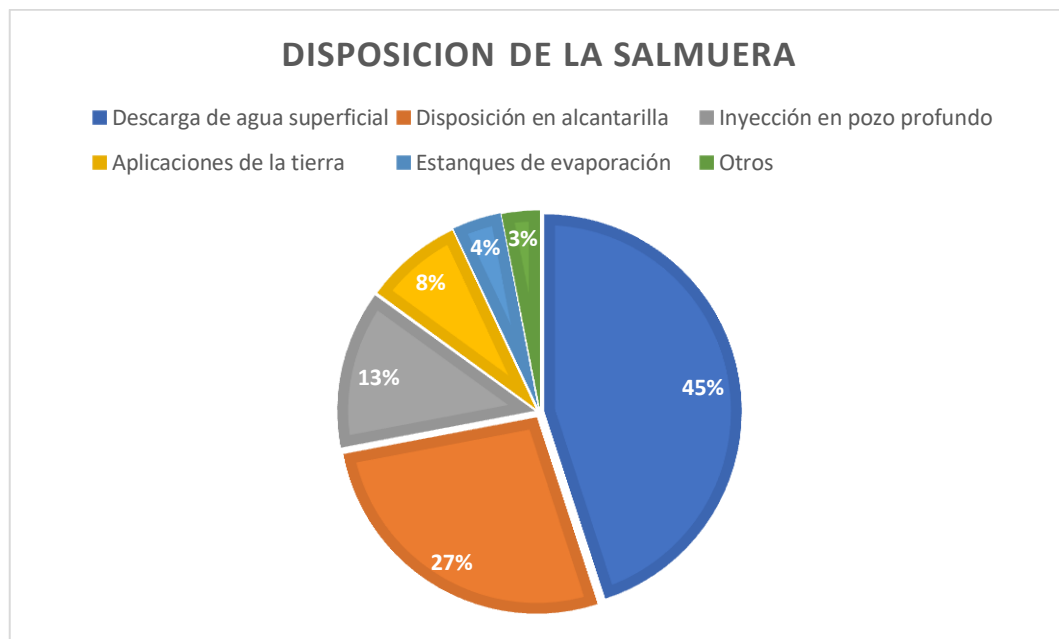


Ilustración 5: Disposición de salmuera

Fuente: (Lenntech, s.f.)

- La descarga en agua superficial y sumergida es la alternativa más común utilizada por las plantas de desalación de agua de mar, utilizada en plantas de todos los tamaños.
- La disposición en alcantarillas es el método mayormente utilizado para descarga de pequeñas plantas de desalinización.
- La inyección en pozos profundos es la aplicación más adecuada para las plantas de tratamiento de aguas salubres que se encuentran tierra adentro, ya sean medianas o grandes.

- La aplicación en la tierra y los estanques de evaporación son aplicados usualmente para plantas pequeñas y medianas donde las condiciones del suelo y el clima proporcionan altas tasas de evaporación (estanques de evaporación) y la vegetación y cosecha de halófitas crece todo el año (aplicación en tierra).

2.1.3. Comparación métodos convencionales:

Los métodos para la administración de salmuera mencionados anteriormente tienen sus ventajas y desventajas, así como también cada uno de ellos son preferentemente utilizados para diferentes tipos y tamaños de plantas desalinizadoras.

Las ventajas y desventajas de los métodos para la administración de la salmuera presentados anteriormente se presentarán a continuación:

Métodos de administración de salmuera	Ventajas	Desventajas
Descarga de agua superficial y sumergida	<ol style="list-style-type: none"> 1. Puede ser usada para todos los tamaños de planta. 2. Costos efectivos para tasas de flujo de salmuera de mediano a grande. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La salmuera puede tener impacto negativo en el ecosistema acuático. 2. Dificultad y complejidad en los procedimientos de permiso.
Descarga en alcantarilla	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bajos costos de operación y construcción. 2. Fácil implementación. 3. Bajo consumo de energía. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flujo de salmuera limitado a pequeño. 2. Potenciales efectos adversos en operaciones WWTP.
Inyección en pozo profundo	<ol style="list-style-type: none"> 1. Adecuado para plantas de desalinización en el interior. 2. Costos moderados. 3. Bajo consumo de energía. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Posible únicamente si está disponible el acuífero salino confinado profundo. 2. Peligro de contaminación de aguas subterráneas.
Estanques de evaporación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fácil de construir y operar. 2. Uso en el interior y en la costa. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Flujo de salmuera limitado a pequeño. 2. Alto costo y huella ambiental.
Aplicación en terrenos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fácil de implementar y operar. 2. Uso en el interior y en la costa. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alto costo y huella ambiental. 2. Plantas limitadas y pequeñas.

Tabla 2: Ventajas y desventajas de métodos convencionales de administración de salmuera.

Fuente: (Lenntech, s.f.)

Como análisis de las ventajas y desventajas de los métodos de administración de salmuera convencionales planteados en la tabla mostrada anteriormente, podemos concluir que, si bien cada uno de ellos plantea una alternativa viable económicamente, carecen de una responsabilidad ambiental sustentable ya que, a excepción del método de aplicación en terrenos, ninguno plantea un reaprovechamiento del agua de la salmuera.

Desglosando cada uno de los métodos de administración expuestos en la tabla, se puede analizar que:

- Descarga de agua superficial y sumergida: Este método es el más utilizado alrededor del mundo debido a no tener límite de flujo de la salmuera, siendo una opción desde las pequeñas a las grandes plantas de desalación. Este es el método que se utiliza actualmente en la planta desaladora de ECONSSA Chile, por lo que claramente no es una opción para el fin de este proyecto.

- Descarga en alcantarilla: Este método es el más utilizado en plantas de menor tamaño, si bien tiene bajos costos de operación, bajos costos de implementación y bajo consumo de energía, no es una opción viable debido a que el alcantarillado de la comuna de Caldera, donde se encuentra la planta desaladora, no cuenta con la capacidad para procesar la salmuera producida por esta, además no contempla la recuperación de agua que es parte del objetivo general de este proyecto.

- Inyección en pozo profundo: Este método es preferentemente utilizado para plantas de tratamiento de aguas salubres que se encuentran tierra adentro, por lo que no es una opción viable para la planta desaladora ECONSSA, además al igual que la de descarga en alcantarilla solo se deshace de la salmuera, no contemplando la recuperación de agua.

- Estanques de evaporación: Este método de administración, es preferentemente utilizado en plantas desaladoras de un flujo de salmuera pequeño, si bien son de fácil construcción y de fácil operación, tampoco tienen como objetivo la recuperación de agua.

- Aplicación en terreno: Este método es utilizado en plantas de pequeñas a medianas y que tiene como requisito el crecimiento de plantas resistentes a altos niveles de salinidad, es de fácil operación y de fácil implementación, si bien le da un nuevo uso al agua, no la recupera para otras funciones que no sea el alimentar a las halófitas por lo que no serviría para el fin de este proyecto.

2.1.4. Métodos emergentes de tratamiento de salmuera

El creciente aumento de las plantas desalinizadoras y a su vez la alta preocupación mundial por el cuidado del medioambiente que ha ido creciendo en el último tiempo, ha puesto la mirada de los científicos y ecologistas en el posible daño que pueden generar estas plantas con el vertido de aguas con altas concentraciones de sal al mar. Además, teniendo en cuenta que los métodos de administración convencionales no cumplen con las precauciones medio ambientales esperadas, los científicos y diferentes universidades, centrándose en como un problema se puede convertir en una nueva fuente de ingresos, en productos reutilizables y en un gran logro ecológico en tiempos que prima el bienestar del medio ambiente, a continuación se presentaran y analizaran variados proyectos, procesos, investigaciones que se realizaron en grandes universidades de prestigio a lo largo del mundo las cuales buscan seguir mejorando el proceso desalinizador y generar más beneficios.

- Procesos desarrollados por el MIT en Massachusetts E.E.U.U puede convertir la salmuera concentrada en productos químicos útiles.

En este estudio publicado en la revista Nature Catalysis, los investigadores del MIT muestran que, a través de un proceso bastante simple, los residuos pueden ser convertidos en productos químicos útiles, incluyendo aquellos que pueden lograr una mayor eficiencia en el proceso de desalinización. Aquel proceso puede ser utilizado para producir hidróxido de sodio, que también es conocido como soda caustica, la cual puede ser utilizada para tratar el agua del mar que entra en la planta de desalinización, cambiando la acidez del agua y así, ayudando a prevenir que las membranas utilizadas para filtrar el agua que se va a tratar se ensucien. Este suceso, es una de las principales causas de fallos e interrupciones en las plantas.

Otro importante producto químico es el ácido clorhídrico, utilizado en las plantas de desalinización y en otros procesos industriales. Este se puede obtener fácilmente de la salmuera utilizado métodos de procesamiento químicos. A pesar de que este químico se puede utilizar para la limpieza de la planta de desalinización, también es usado ampliamente en la producción química y como fuente de hidrogeno.

Los métodos para convertir la salmuera en productos útiles emplean procesos químicos conocidos y estándares, incluyendo la nano filtración inicial que permite eliminar compuestos indeseables, siguiendo con un o más etapas de electrodiálisis para poder originar el producto deseado. Si bien estos procesos no son nada nuevo, los investigadores se dedicaron a analizar el potencial para la producción de químicos útiles a partir de la salmuera y así proponer una combinación de productos y procesos químicos que en un futuro podrían convertirse en operaciones comerciales con la finalidad de mejorar la viabilidad económica en los procesos de desalinización, incluyendo la disminución de su impacto ambiental.

Estos investigadores consideran la posibilidad de poder extraer otros materiales que contengan menor concentración de la corriente de la salmuera, incluyendo diversos metales y otros químicos que podrían hacer que el proceso de salmuera fuera una tarea aún más viable económicamente.

- Estudio del profesor Edward Jones de la universidad Wageningen.

Uno de los aspectos más positivos de este estudio es que los autores mencionan que la salmuera puede ser aprovechada económicamente, como por ejemplo en la acuicultura, ya sea para las irrigaciones de especies tolerantes a la sal, como también para poder generar electricidad recuperando productos como yeso, potasio, magnesio, cloro, litio e incluyendo hasta el uranio.

Uno de los autores del estudio, menciona que “se necesita convertir un problema medioambiental en una oportunidad económica. Esto es particularmente importante en países que producen grandes cantidades de salmuera, como Qatar, Kuwait, EAU y Arabia Saudí”. Además de esto, destaco que, por ejemplo, ya ha sido utilizado en acuicultura para aumentar la biomasa de peses hasta un 300% y para el cultivo de suplemento dietario espirulina, la que es producida a partir de las algas azules.

Estos autores recalcaron lo esencial que es mejorar las tecnologías de desalinización para así poder reducir el impacto medioambiental, ya que las personas que actualmente viven en zona de escasez de agua podrían ser beneficiadas de la conversión de agua marina en agua potable.

- Proyecto Universidad Politécnica de Valencia

Este estudio realizado por un grupo de investigadores valencianos en el marco del proyecto europeo Bri4food, menciona que se puede aprovechar la salmuera generada por las

plantas de desalinización para poder elaborar zumos concentrados, de tal forma que se reduzca los costes energéticos y el gran impacto ambiental. El sistema que han ideado tiene la función de ayudar a reducir el consumo energético y los gastos del proceso de obtención de los zumos concentrados, basados en la aplicación de técnicas térmicas (evaporación).

Uno de los jefes de la investigación del instituto de ingeniería de alimentos de la UPV menciona que la clave de todo es la aplicación de tecnologías de membrana, las cuales se basan en la osmosis, con el uso, por un lado, de zumos diluidos y por el otro, de salmuera (con el doble de sal que el mar tiene). El proceso consiste en que se tiene una solución concentrada, la salmuera y un zumo, y con la tecnología de membrana se sacaría el agua del zumo y este se concentraría y pasaría a la salmuera, la cual se diluiría con una concentración similar a el agua de mar, lo que podría permitir ser vertido sin reintroducirla en el proceso de desalación, y lo más importante sin un impacto medioambiental.

Estos investigadores también propusieron una opción para el proceso de la pulpa de los cítricos que se generan durante todo el proceso de elaboración de zumos.

- Proyecto estudiantes Universidad de politécnica de Cartagena

Estudiantes españoles de la Universidad de politécnica de Cartagena desarrollaron una tecnología que permite reutilizar excedentes de la desalación industrial y transformar los residuos en lejía, cerrando así el ciclo de la economía circular. Por cada 100 litros de agua, 70 litros se utilizan industrialmente y los 30 litros restantes se tiran, ha explicado el cofundador de la ahora empresa “useful wasted”, explicando que 30 litros se pueden reutilizar de esta. Convirtiendo 21 litros en agua más dulce y transformando los 9 litros restantes en lejía.

El proceso más utilizado para la desalación es la osmosis o equilibrio de concentraciones de diferentes líquidos con porcentajes desiguales de solutos o sustancias disueltas, pero en esta empresa se utiliza el proceso de osmosis inversa para depositar las sales en una membrana semipermeable para separar ambos líquidos, lo que sirve para reutilizarlas mediante un proceso físico de precipitación.

A partir del segundo proceso de osmosis se obtiene una salmuera con una alta concentración de sales, la cual no se puede desechar por problemas ambientales por lo que, a través de procesos electroquímicos, se convierte en lejía que la industria puede utilizar.

- Investigación del centro tecnológico Eurecat- CTM proyecto ZELDA.

La investigación se encuentra dentro del proyecto ZELDA, el cual durante cuatro años ha estudiado un nuevo proceso para reducir la escasez hídrica y así obtener un recurso a menor costo, disminuyendo el impacto ambiental mejorando la calidad de las aguas.

Esta tecnología permite recuperar el hidróxido de magnesio de elevada calidad, así como otros compuestos como el sulfato de sodio o el cloruro de sodio, permitiendo que este nuevo proceso sea viable económicamente y permitiendo una disminución de la obtención de estos compuestos mediante minería convencional.

Finalmente, el proceso se basa en evaporación solar avanzada, una tecnología desarrollada por Eurecat - CTM que permite potenciar la evaporación natural utilizando la energía solar, convirtiéndola en un proceso industrial de tratamiento de residuos. Los resultados del proyecto muestran que la evaporación solar avanzada aumenta el potencial de evaporación en comparación a los estanques de evaporación convencionales y reduce su superficie.

2.1.4. Análisis de métodos emergentes con matriz semicuantitativa

Para la elección del método más adecuado para la planta ECONSSA se utilizará una matriz semicuantitativa, la cual tiene como finalidad jerarquizar los métodos mediante la entrega de números (cuantitativo) a características o rasgos (cualitativo). De esta manera nos entrega un criterio más confiable para la elección del método a utilizar.

El método semicuantitativo que se utilizara tiene 3 criterios de gran importancia para la viabilidad del método a utilizar, partiendo por el impacto medioambiental, valoración de los residuos y finalmente la recuperación de agua que debido a que tiene directa relación con el objetivo general del proyecto tiene mayor ponderación en la tabla.

La expresión matemática por utilizar se presenta de la siguiente manera:

$$PONDERACIÓN = I.MEDIOAMBIENTAL + V.DE RESIDUO + RECUPERACIÓN DE AGUA$$

Los factores ponderados de los criterios de evaluación establecidos se presentarán a continuación:

El Impacto medioambiental se enfoca en evaluar los posibles inconvenientes que puede causar sobre las personas o el medio ambiente. Mostrado en la siguiente Tabla 3.

Impacto medioambiental	
Provoca impacto ambiental igual o peor al ya provocado	0
Provoca impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
No provoca ningun tipo de daño al medio ambiente	2

Tabla 3: Ponderación Impacto medioambiental

Fuente: Elaboración (propia)

La valoración de los residuos que se centra en cuantificar la recuperación de dinero a través de los residuos generados. Mostrado en la siguiente Tabla 4.

Valoración de los residuos	
No rescata valor economico de los residuos	0
Le da valoración a un porcentaje de los residuos	2
Le entrega valor a la totalidad de los residuos (Economía circular)	4

Tabla 4: Ponderación Valoración de los residuos

Fuente: Elaboración (propia).

La recuperación de agua que se enfoca en describir la cantidad de agua que es recuperada en el proceso. Se muestra en la siguiente Tabla 5.

Recuperación de agua	
No recupera nada de agua	0
Recupera entre un 30% a un 60% de agua	3
Recupera mas de 70 % de agua	6

Tabla 5 : Ponderación Recuperación de agua

Fuente: Elaboración (propia).

Los métodos por analizar serán los siguientes: Procesos desarrollados por el MIT en Massachusetts E.E.U.U puede convertir la salmuera concentrada en productos químicos útiles, el Estudio del profesor Edward Jones de la universidad Wageningen, el Proyecto Universidad Politécnica de Valencia, el Proyecto estudiantes Universidad de politécnica de Cartagena y la Investigación del centro tecnológico Eurecat- CTM proyecto ZELDA.

Según las ponderaciones obtenidas de las tablas anexadas anteriormente, se realizó una nueva tabla en donde se plasman las ponderaciones obtenidas para cada método y mediante la fórmula anteriormente mostrada se calculó su compatibilidad con el proyecto. Tabla 6.

Metodos emergentes	Impacto medioambiental	Recuperacion de agua	Valoracion de los residuos	Ponderacion	Jerarquizacion
MIT Massachusetts E.E.U.U.	1	0	2	3	No Compatible
Estudio Profesor Edward Jones Universidad Wageningen	1	0	2	3	No Compatible
Proyecto Universidad Politecnica de Valencia	2	0	2	4	No Compatible
Proyecto estudiantes Universidad Politecnica de Cartagena	2	3	4	9	Compatible
Investigación centro tecnológico Eurecat-CTM proyecto Zelda	2	6	4	12	Compatible

Tabla 6: análisis de compatibilidad métodos emergentes.

Fuente: Elaboración (propia).

Como conclusión del método de compatibilidad utilizado se tiene como no compatible con el objetivo a los proyectos del MIT Massachusetts E.E.U.U, al estudio del Profesor Edward Jones de la Universidad de Wageningen y al proyecto de la Universidad Politécnica de Valencia los cuales se encuentran representados en la tabla con el color naranja, la principal razón de la no compatibilidad es la ponderación obtenida en el criterio de recuperación de agua, debido a que es el de principal importancia ya que tiene directa relación con el objetivo general del proyecto de esta tesis.

Los proyectos que mostraron mayor compatibilidad son el Proyecto de estudiantes de la Universidad Politécnica de Cartagena y la Investigación del centro tecnológico Eurecat- CTM proyecto ZELDA siendo este último el con mayor compatibilidad representado en la tabla con el color verde, marcando la diferencia en el

criterio de recuperación de agua debido a que este proyecto alcanza mayor cantidad de porcentaje de agua recuperada.

2.1.5. Análisis de los métodos emergentes de tratamiento de salmuera

Cada uno de los métodos presentados anteriormente consideran la recuperación del residuo y la reutilización de este, siendo las tecnologías que ocupan para la transformación de los residuos lo que los diferencia principalmente.

- Procesos desarrollados por el MIT en Massachusetts E.E.U.: Estos procesos desarrollados por MIT, se basan en la utilización de diversos procesos químicos para la obtención de compuestos que puedan ser utilizados dentro de la misma planta como también ser vendidos para otras industrias haciendo de estos una opción viable económicamente, la desventaja de este proceso es que no tiene en consideración la recuperación del agua contenida en la salmuera por lo que no tendría relación con el objetivo de este proyecto para la planta desaladora de ECONSSA.

- Estudio del profesor Edward Jones de la universidad Wageningen: Estos estudios plantean la posibilidad de utilizar la salmuera residual para beneficios económicos en la acuicultura, utilizándola para la irrigación de especies tolerantes a la sal. Este método aun es joven y no hay estudios concretos que lo respalden además de presentar un riesgo para la diversidad marina presente en la costa del norte de Chile.

- Proyecto Universidad Politécnica de Valencia: Este proyecto tiene como objetivo la utilización de la salmuera en la elaboración de zumos concentrados, mediante la utilización de membranas, permitiendo concentrar el zumo por un lado y por el otro diluir la salmuera con agua extraída del zumo y así devolver la salmuera con una concentración de sal similar a la marina. Este proyecto si bien es una alternativa que disminuye el daño al medio ambiente, no genera mayor rentabilidad económica ni tampoco tiene como objetivo la recuperación de agua, además de plantear una reestructuración muy compleja dentro de la elaboración de zumo en el país.

- Proyecto estudiantes Universidad de politécnica de Cartagena: Este proyecto plantea la posibilidad de que a partir de una segunda osmosis se puede obtener agua más

dulce y luego a través de procesos químicos obtener lejía, este proyecto está bajo el marco de la economía circular ya que no desaprovecha los residuos, por el contrario, los transforma en un producto que puede mejorar la viabilidad económica de las plantas desaladoras.

- Investigación del centro tecnológico Eurecat – CTM proyecto ZELDA: Este método para el tratamiento de la salmuera tiene como objetivo reducir el agua residual y recuperar agua adecuada para reutilizar, además de utilizar las sales concentradas que quedan para recuperar compuestos químicos, generando así ningún residuo este procedimiento conecta directamente con el modelo de economía circular que busca cerrar el ciclo del producto. También es el método de mayor compatibilidad con el sector en el que se encuentra la Planta desaladora de Econsa, ya que dentro del proceso se utiliza la energía solar para intensificar la evaporación natural, recurso natural del cual Chile es una de las potencias a nivel mundial.

Es por los motivos nombrados anteriormente que se concluye que este método es el más compatible con la Planta desaladora de ECONSSA además de ser vanguardia en cuanto a cuidado del medio ambiente.

3. CAPITULO 3: DESCRIPCION DEL METODO Y EVALUACIÓN
ECONOMICA.

3.1 Descarga cero de líquidos ZLD

Este proceso tiene como objetivo remover todo el líquido residual de un sistema, centrandose su foco en reducir económicamente el agua residual y producir agua para reutilizar.

Esta tecnología se compone tradicionalmente de concentradores de salmuera como lo son las tecnologías de membranas, osmosis inversa o forzada y nanofiltración para después separar de manera térmica el resto de agua de las sales cristalizadas. Estas tecnologías se pueden utilizar individualmente o de forma combinada. Siendo la opción más rentable la utilización de estas tecnologías en conjunto debido a que el proceso de evaporación sin un proceso de preconcentración previo trae consigo un alto gasto energético y por ende económico.

3.1.1 Diseño básico – Bloques ZLD

Generalmente un sistema de vertido cero está comprendido por dos pasos, los cuales están representados en la Ilustración 6.

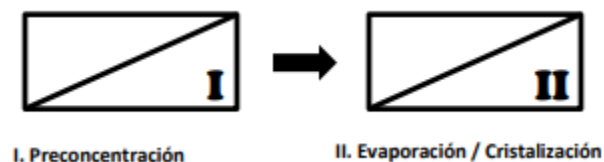


Ilustración 6: Diseño básico – Bloques ZLD

Fuente: (Lenntech, s.f.)

1. Preconcentración: Esta etapa del proceso usualmente se realiza con concentradores de salmuera con membrana o electrodiálisis (ED). Estas tecnologías se encargan de concentrar las corrientes a un alto porcentaje de salinidad y son capaces de recuperar hasta 60-80% del agua.

2. Evaporación / cristalización: En esta etapa se realiza a través de procesos térmicos o de evaporación, evaporando toda el agua sobrante, colectándola y controlándola para su posterior utilización. El residuo que es dejado atrás posteriormente

pasa a un cristizador que hierve toda el agua hasta que todas las impurezas se cristalicen para ser filtradas como un solido

3.1.2 Preconcentración

Este proceso es de alta importancia debido a que reduce el volumen de la corriente residual liquida significativamente, y además disminuye de manera significativa los altos costos de evaporación/cristalización. Las tecnologías utilizadas usualmente son la electrodiálisis (ED) o procesos con membrana como lo son la Osmosis Forzada (FO) y la destilación por Membrana (MD).

La electrodiálisis, la Osmosis Forzada y la destilación por membrana pueden funcionar eficientemente con un mayor contenido de salinidad que la Osmosis Inversa (150.0000 ppm, 200.000 ppm, 250.000 ppm y 70.000 ppm respectivamente).

3.1.3 Electrodiálisis / Electrodiálisis inversa

La electrodiálisis (ED) es un proceso en el cual se utiliza membranas donde los iones son transportados a través de una membrana de intercambio iónico utilizando la energía eléctrica como fuerza impulsadora.

Las membranas son cargadas con una elevada densidad de grupos iónicos fijados en ella, los cuales permiten un paso selectivo de iones a través de estas dependiendo de su carga. Lo que permite el paso de los contra-iones (de carga opuesta) mientras que se impide el paso de los co-iones (misma carga) debido a la repulsión de Donnan. Este proceso se lleva a cabo entre dos electrodos bajo la influencia de un campo eléctrico.

La ED es utilizada en múltiples escenarios para la concentración de salmuera a niveles de saturación. A menudo es utilizada junto con la Osmosis inversa (RO) con el objetivo de una alta recuperación de agua. La ED se diferencia de la RO porque esta remueve los iones del agua, al contrario de la RO la cual separa el agua de los iones. Debido a esto, la sílice y los orgánicos disueltos no pueden ser removidos con ED, lo cual es de importancia si el agua es para ser utilizada.

3.1.4 Electrodiálisis inversa (EDR por sus siglas en inglés)

En este tipo de electrodiálisis la polaridad de los electrodos es invertida varias veces por hora (de 3 a 4 veces) y el agua fresca y el agua residual concentrada son intercambiados mientras la membrana acumula los sedimentos y las incrustaciones para su posterior remoción.

Este proceso está ilustrado en la Ilustración 7.

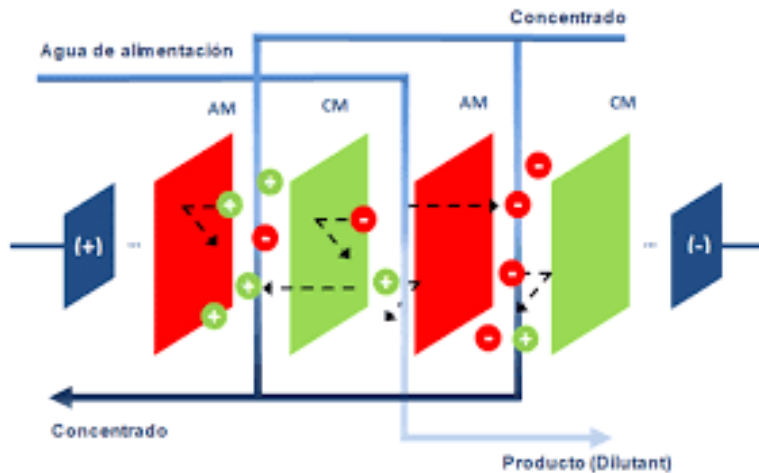


Ilustración 7: proceso de electrodiálisis inversa.

Fuente: (Lenntech, s.f.)

3.1.5 Ósmosis Forzada (FO)

La FO es un proceso osmótico de membrana **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en donde se utiliza una membrana semipermeable que a diferencia de la ósmosis inversa no utiliza presión aplicada con la finalidad de la separación del agua de los solutos disueltos como iones, moléculas y partículas grandes. Por lo que necesita mucha menos energía para el proceso en comparación con la ósmosis inversa. En general la energía utilizada en este proceso es energía térmica y eléctrica.

La energía térmica utilizada suele ser sustituida con calor residual de baja calidad que puede ser encontrado en varios procesos dentro de la misma planta desalinizadora.

En comparación con el sistema de osmosis inversa convencional, la osmosis forzada presenta una larga lista de ventajas:

- Se opera a bajas presiones.
- Tiene un gran ahorro energético.
- Gran resistencia de las membranas al ensuciamiento y elevada vida útil de estas.
- Costes de operación más bajos.

No obstante, este proceso por sí solo no produce agua de alta calidad en una única etapa, ya que posterior a la etapa de osmosis forzada, el agua se encuentra mezclada con el agente osmótico. Ilustración 8.

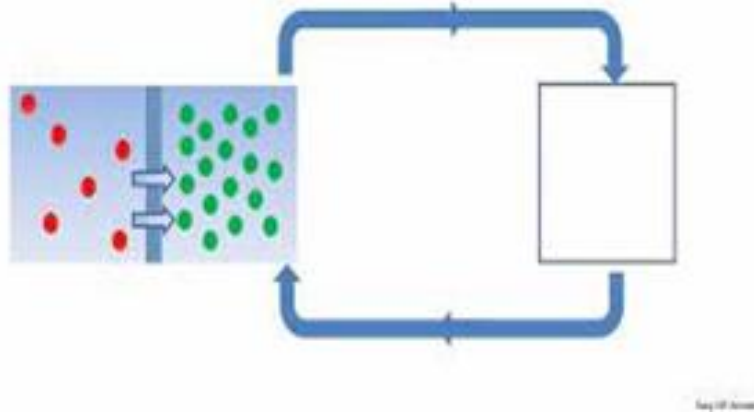


Ilustración 8: Osmosis forzada

Fuente: (Lenntech, s.f.)

3.1.6 Destilación por Membrana (MD)

La MD (Ilustración 9) consiste en un proceso térmico en el cual únicamente las moléculas de vapor logran atravesar la membrana, ya que esta es hidrofóbica. El efluente el cual se ha de tratar esta en contacto directo con una de las superficies de la membrana, pero no penetra a través de los poros de esta, debido a que la membrana es hidrofóbica. La fuerza que actúa para la separación del agua es la presión de vapor que se genera y no la presión total como ocurre en la osmosis inversa. Al aumentar la temperatura del efluente aumenta la presión de vapor y, por lo tanto, también aumenta su gradiente que es la fuerza impulsora.

La simplicidad de este proceso junto con el hecho de que se puede utilizar calor residual o fuentes de energía alternativa, como energía solar y geotérmica, hace a esta técnica una opción prometedora.

Desde el punto de vista comercial es una tecnología que no ha sido ampliamente implantada por las siguientes razones:

- Su eficiencia térmica es reducida debido a las pérdidas de calor por conductividad de las membranas que se produce.
- Se producen efectos de polarización de concentración y temperatura que disminuyen el flujo de permeado a través de la membrana.
- Se produce el efecto wetting que consiste en la penetración de impurezas presentes en el efluente en los poros de la membrana, disminuyendo así el flujo de permeado.

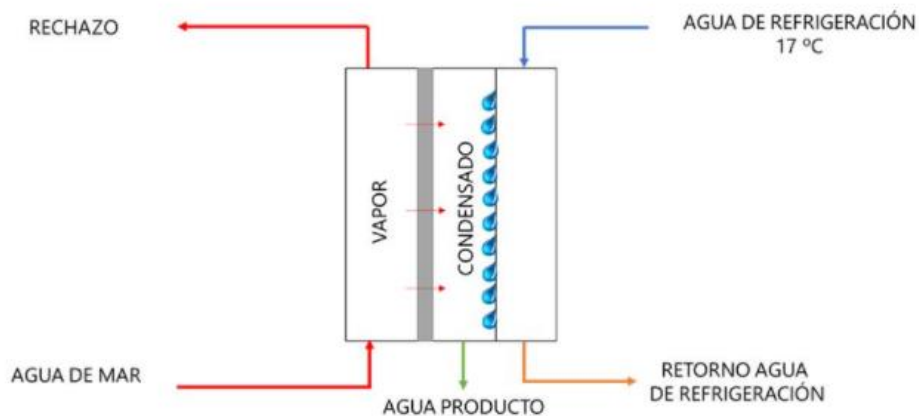


Ilustración 9: Destilación por membrana (MD)

Fuente: (KEIKEN, s.f.)

3.1.7 Importancia de la preconcentración en el proceso de ZLD

Si bien las tecnologías de preconcentración nombradas anteriormente tienen una muy alta recuperación, usualmente no son suficientes como lo son las tecnologías típicas de evaporación térmica para conducir a la salmuera en los niveles de saturación de concentración, no obstante, la preconcentración es de suma importancia debido a la relación con el CAPEX y el OPEX de los evaporadores/cristalizadores, ya que debido a la naturaleza corrosiva de la salmuera se necesitan más aleaciones metálicas resistentes a las altas

concentraciones de sal que contiene esta. Esto tiene como consecuencia que cuanto mayor sea el módulo de evaporización/cristalización, mayor será el CAPEX requerido (lo que puede alcanzar el 60-70 % de la totalidad del proceso). Además, el no contar con un proceso de preconcentración tendría como consecuencia una alta demanda de energía debido al aumento del punto de ebullición de la salmuera a medida que la concentración aumenta.

3.1.8 Evaporación y cristalización

Después de la preconcentración de la salmuera, el siguiente paso es el uso de procesos térmicos o evaporación para la separación del agua restante de los sólidos para así poder reutilizar esta. La evaporación consiste esencialmente en la transferencia de calor a un líquido hirviendo con la intención de concentrar un soluto no volátil desde un solvente, el cual para este caso es agua. El proceso de evaporación se detiene usualmente antes de que el soluto comience a precipitarse ya que de otra manera este proceso sería considerado como cristalización.

El evaporador de película descendente es un método de evaporación el cual concentra el agua hasta el punto de cristalización inicial (super saturación). Se adhiere ácido para neutralizar la solución, para así al ser calentado se evitará las incrustaciones y daños en el intercambiador de calor. La desaireación se utiliza usualmente con el fin de liberar el oxígeno disuelto, dióxido de carbono entre otros gases no condensables.

Luego de salir la salmuera del evaporador esta entra en un cristalizador de circulación forzada cuya finalidad es concentrar el agua más allá de la solubilidad de los contaminantes y cristales formados. El producto resultante es deshidratado mediante la utilización de una prensa de filtro o de una centrifuga, mientras que el concentrado se devuelve al cristalizador.

El condensado colectado (agua) retorna al proceso con el fin de eliminando la descarga de líquidos del sistema. Si hay restos orgánicos presentes, es necesario el pulido del

condensado antes de la reutilización. Finalmente, el agua es conducida al estanque de retención mientras que los residuos sólidos son llevados a un vertedero o para reutilización.

3.2 Costos de operación

Cada tecnología para la preconcentración de la salmuera tiene cierto valor de adquisición, el cual no es de conocimiento público debido al tratarse de tecnologías patentadas por lo que se deben cotizar formalmente para obtener un precio real y acorde a las dimensiones necesitadas. Pero un parámetro de igual o mayor importancia son los costos de operación conocido como el OPEX, este puede variar drásticamente basado en que proceso es seleccionado para energía eléctrica e instalaciones generadoras de corriente.

En la siguiente tabla se muestran el consumo específico de energía (SEC por sus siglas en ingles) para cada una de las tecnologías explicadas anteriormente. Tabla 7.

Tecnología de tratamiento de Salmuera	Energía Eléctrica (KWh/m3)	Energía Térmica (KWh/m3)	Total Equivalente (KWh/m3)
ED/EDR	6,73	0	6,73
FO	0,475	65,4	29,578
MD	2,03	100,85	46,908

Tabla 7 Consumo específico de energía (SEC).

Fuente: Elaboración (propia).

Siendo calculada la energía total de la tecnología de osmosis forzada y de la destilación de membrana, con un 90 por ciento de la energía tomada del uso de calor residual, además de ser utilizada la siguiente fórmula para su cálculo: Energía total equivalente = Energía eléctrica + 4,45 x Energía Térmica. Debido a la eficiencia de una planta de energía moderna de acuerdo con lo investigado.

Extrapolando los datos entregados por la planta desalinizadora ECONSSA acerca del caudal de salida de la salmuera, el cual se muestra en la Tabla 1. de 1467 litros por segundo lo que equivale a 5.281,2 m³/h y para el cálculo del precio total se tomó como referencia el valor industrial del Mega Watts en Chile como \$123,2. Mostrando el calculo total en la Tabla 8.

Tecnología de tratamiento de Salmuera	Total equivalente (KWh/m ³)	Caudal de Salmuera Econssa (m ³ /h)	Energía Total Requerida (MW/h)	Gasto en Energía Total (\$/h)
ED	6,73	5.281,2	35,542476	\$ 4.378,83
FO	29,578	5.281,2	156,207334	\$19.244,74
MC	46,908	5.281,2	247,73053	\$30.520,40

Tabla 8 Gasto total en Energía.

Fuente: Elaboración (propia).

En la tabla presentada anteriormente se puede observar los gastos totales de energía para la operación de los distintos métodos de preconcentración para el tratamiento de salmuera, pudiéndose observar que el con menor costo en energía es el método con tecnología de electrodiálisis con 4.378,83 dólares por hora.

Además de los costos de operación como la energía eléctrica graficada en la tabla anteriormente mostrada, se tienen otros factores como:

- Impuestos o tarifas de compra adicionales
- Posibles costos de utilidad en el área de instalación
- Permisos o tarifas por regulaciones medioambientales

3.2.1 Análisis de resultados

Como anteriormente fue mencionado, los costos de inversión (CAPEX) son difícil de dimensionar debido a que las tecnologías ocupadas para estos procesos son relativamente nuevas por lo que se encuentran patentadas y algunas aún en proceso de pruebas. Es por esto por lo que, para comprobar la viabilidad económica del proyecto, se basó principalmente en los costos de operación que tendría dicho proyecto, para el cual se generó las tablas presentadas anteriormente, lo que arrojó un resultado poco alentador para la viabilidad del proyecto, debido a que, calculando los costos de operación para los distintos métodos de preconcentración, se pudo observar que el con menor costo de operación es el que utiliza la tecnología de electrodiálisis con 4.378,83 dólares por hora, lo cual es aun un costo muy alto debido a que supera la capacidad de generación de beneficios económicos con los residuos.

3.3 Sistemas de Gestión de Activos ISO 55001

En esta norma se especifican los requisitos necesarios para un sistema de gestión de activos, el cual se centra en obtener el máximo rendimiento de los bienes o recursos, a diferencia de la norma que lo antecede La PAS 55 la cual se centraba solo en los activos físicos , esta norma también coordina actividades financieras, operacionales , de riesgos y otras actividades relacionadas con los activos de una organización con la finalidad de desarrollar un sistema de gestión proactivo de ciclo de vida de activos, admitiendo la optimización de los activos y reduciendo el coste total de propiedad mientras que ayuda a cumplir con los requisitos en seguridad y rendimiento necesarios.

3.3.1 Plan estratégico de gestión de activos

Este plan estratégico tiene como finalidad coordinar el ciclo funcional o de vida útil de los equipos utilizados en la Planta desalinizadora ECONSSA, debido a que cuenta con una gran variedad de equipos tales como, bombas, motores, filtros, ductos, tanques, entre otros equipos. Es por esta variedad de equipos y de su criticidad operacional al tratarse de una planta que abastece de agua potable a la comunidad, además de su criticidad medioambiental

debido a la descarga de posibles contaminantes al océano, es que se propone realizar un plan integral y estratégico de gestión de activo, estipulando todo lo relacionado con el ciclo de vida de estos activos.

Lo antes mencionado con el afán de lograr que los activos sigan desempeñando sus labores de productividad, calidad, medioambiental y de seguridad. Todo esto relacionado con otras aristas del mantenimiento, así como también asegurar la mayor confiabilidad.

3.3.2 Cartera de activos

La cartera de activos de la planta desalinizadora se centra en 3 principales áreas, el área de la desalinizadora propiamente tal, el área de captación y elevación de agua de mar y la planta de elevación de agua tratada, En los cuales se pueden identificar los siguientes tipos de activos:

Los activos físicos en los cuales se tiene mayor cantidad de inversión, debido a las grandes obras realizadas y la cantidad de equipos necesarios para el proceso de desalinización. Tabla 9

TIPO DE ACTIVO	CATEGORIA
ACTIVO FISICO	TERRENOS
	EDIFICIOS
	OBRAS
	PLANTAS
	INSTALACIONES FIJAS Y ACCESORIOS
	EQUIPOS
	VEHICULOS DE MOTOR

Tabla 9: Activo físico

El activo financiero es muy estable debido a que cuenta con el respaldo de inversión por parte del estado, lo que le da cierta tranquilidad a los stakeholders. Tabla 10

TIPO DE ACTIVO	CATEGORIA
FINANCIERO	SALDOS EN BANCOS
	FONDOS DEL ESTADO

Tabla 10: Activo financiero

Para la compañía las personas son de gran importancia en la organización, es por esto por lo que se capacita cada año a los trabajadores, además de darles flexibilidad para la continuidad de estudios o capacitaciones. Tabla 11

TIPO DE ACTIVO	CATEGORIA
HUMANOS	PERSONAS
	HABILIDADES Y COMPETENCIAS

Tabla 11: Activo humano

Los activos informáticos cumplen un rol fundamental en el proceso productivo por lo que son considerados relevantes dentro de la organización. Tabla 12

TIPO DE ACTIVO	CATEGORIA
INFORMATICO	SOFTWARE COMPUTACIONES
	SAP (SOFTWARE DE PLANIFICACION)
	DOMINIO DE PAGINAS VIRTUALES

Tabla 12: Activo informático

3.3.3 Alcance plan estratégico de gestión de activos.

En base a las categorías de activos presentadas anteriormente, el plan estratégico debe estar orientado a los distintos activos mostrados en cada categoría, teniendo en cuenta los valores y pilares fundamentales de la organización, los tópicos a los cuales se enfocará el plan estratégico, son los siguientes:

Reducir el impacto ambiental velando por la protección de las aguas marinas y la flora y fauna presentes alrededor de la planta desalinizadora.

Aumentar la producción de energías renovables para utilizar en el proceso, con la finalidad de disminuir los costos energéticos.

Aumentar el desarrollo profesional de los activos humanos de la organización.

Mejorar de manera continua el modelo de gestión corporativo a partir de la matriz de seguridad 360°.

Aumentar la disponibilidad y confiabilidad de los equipos utilizados en el proceso.

Mediante la propuesta del plan de acción antes mencionado se establecerá que se deberá realizar evaluaciones de cumplimiento e informar las desviaciones que se pueden haber generado en un periodo de tiempo determinado, esto con la finalidad de tener una retroalimentación y difundir el cumplimiento con las distintas áreas de la organización.

Además, para la realización de el plan estratégico de gestión de activos, es necesario que la gerencia de cada área realice seguimiento de las actividades establecidas por este, como también difundir el paso a paso de las actividades a cada uno de los trabajadores, para de esta manera hacerlos participe en la búsqueda de la mejora continua del plan estratégico.

3.4 Elaboración y objetivos de las estrategias de gestión de activos

3.4.1 Organización: comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas.

Los stakeholders (partes interesadas) son una pieza fundamental para el desarrollo de una organización, ya que son las personas o grupo de interés que se ven afectados por las decisiones que toma una empresa y de igual manera, al contrario, al movilizar recursos pueden afectar de alguna manera la estabilidad de la organización.

Existen diferentes tipos de stakeholders dentro de una empresa, dependiendo del nivel de involucramiento que se tenga con esta, y también dependiendo si son parte interna de la organización o son externos. A continuación, se presentarán los stakeholders involucrados en la planta desalinizadora ECONSSA, y su nivel de incidencia dentro de la organización.

Comenzando con los stakeholders externos a la organización, los cuales, si bien no trabajan directamente con la empresa, las decisiones de estas partes interesadas pueden afectar en gran manera los resultados y objetivos de la empresa, y a su vez, la actividad de la empresa influye en ellos, es por esto por lo que también se mostrara las expectativas de estas partes interesadas con respecto a la gestión de activos.

CLIENTES: Es aquel grupo que va a consumir el producto o servicio, por lo cual son la principal fuente de ingresos de la empresa. Siendo en este caso la municipalidad de

Copiapó, municipalidad de Caldera, municipalidad de Chañaral y la municipalidad de Tierra Amarilla. Las expectativas de la empresa con estas son, priorizar la entrega continua y de calidad de agua potable y dar solución a reclamos y denuncias lo mas pronto posible. Siendo los canales de comunicación, Reuniones presenciales con las autoridades competentes, plataformas digitales con la comunidad y encuestas de satisfacción.

PROVEEDORES: Son los que proporcionan los recursos necesarios para brindar un buen producto, las ganancias dependerán en gran manera de las tarifas que ofrecen estos. Siendo los principales proveedores de la planta desalinizadora los encargados de entregar químicos para el pre y post tratamiento del agua. Las expectativas de la empresa con estos es el pago oportuno y la relación de comunicación directa y efectiva. Siendo los canales de comunicación las juntas de negocio y plataformas digitales.

COMUNIDADES: Este grupo de interés tiene gran importancia debido a que pueden ejercer gran influencia sobre la empresa, debido a que pueden verse afectadas en su calidad de vida y en el medio ambiente. En el caso de la planta desalinizadora las comunidades que pueden ser afectadas son las aledañas a donde se encuentra la planta como lo es la comuna de Caldera y sus alrededores. Las principales expectativas que se tienen con estas, es el retorno de actividades sociales a ejecutar en la comunidad y que las operaciones de la planta se realicen sin afectar a estas. Siendo los canales de comunicación las mesas de trabajo con las juntas de vecinos y una plataforma digital habilitada para presuntos reclamos.

AUTORIDADES Y ORGANISMOS REGULADORES: es un grupo de interés de importancia debido a que sus decisiones pueden repercutir significativamente el desarrollo de la empresa. Las expectativas que la organización tiene con este, es realizar siempre las operaciones bajo los lineamientos legislativos y proteger el ecosistema al realizar dichas operaciones, teniendo como canales de comunicación mesas de trabajo público y auditorias.

A continuación, se presentarán los stakeholders internos los cuales son un grupo de interés de la organización que provienen de una relación directa por lo cual son más

propensos a verse afectados por las decisiones que pueda tomar la organización y por lo cual tienen alto nivel de influencia.

GERENTE DE PLANTA: al ser los encargados de la planificación, dirección y realización de las operaciones cotidianas, deben comprometerse a dar seguimiento e ir analizando posibles mejoras en el transcurso del plan estratégico de activos.

TRABAJADORES: Uno de los stakeholders más importantes ya que desempeñan un papel fundamental en la ejecución de las estrategias y tácticas dentro de una empresa, por lo cual es una obligación que comprendan la importancia de un plan estratégico de activos y la manera de llevarlo a cabo.

SINDICATOS: Deben comprometerse a que todos los trabajadores cuenten con todas las condiciones laborales necesarias para desempeñarse en sus respectivas ocupaciones.

3.4.2 Liderazgo.

El liderazgo y compromiso debe ser demostrado por la alta dirección de la empresa la cual debe asegurar que la política de gestión de activos de la empresa, junto con el plan de gestión de activos sean compatibles con los objetivos planteados por la organización, tomando en cuenta cada uno de los requisitos mostrados en la Norma. Además, de asegurar que la organización cuente con los recursos disponibles para la implementación de la gestión de activos, dirigiendo de manera eficaz los activos y las responsabilidades de las partes interesadas para que de manera conjunta puedan contribuir a que el sistema de gestión de activos alcance los resultados previstos, promoviendo mediante la retroalimentación y supervisión una mejora continua dentro de la organización.

La alta dirección también debe velar por que la política de gestión de activos sea adecuada al propósito de la organización, siendo coherente con el plan planteado por la empresa, que siempre este documentado, actualizado y disponible para que la totalidad de la organización y partes interesadas estén en total conocimiento de esta.

3.4.3 Planificación.

La Planificación es de suma importancia en cada ámbito de la vida, debido a que, al presentarse una necesidad, esta permite desarrollar de mejor manera el cómo enfrentarse a esta, dentro de un marco estratégico permite identificar las prioridades y determinar los principios funcionales.

Cuando se aplica en el sistema de gestión de activos, la organización debe tener en consideración el contexto y la comprensión de las necesidades y expectativas de las partes interesadas, para de esta manera determinar cuáles son los riesgos y oportunidades que necesitan para ser abordadas.

Para la Planta desalinizadora ECONSSA es de vital importancia contar con una buena planificación, debido a que ayuda a determinar tiempos, herramientas, cantidad de personal, repuestos y procedimientos requeridos para mantener la disponibilidad de los activos en niveles óptimos y de esta manera permita alcanzar los objetivos propuestos por la organización.

Para cumplir con los objetivos planteados por la organización es indispensable que la planta desalinizadora ECONSSA cuente con herramientas tecnológicas, como lo es SAP, un software de planificación que permite planificar, organizar y de esta manera obtener un mejor control de los recursos, mano de obra y costos de mantenimiento. Así como también el seguimiento y la mejora de las medidas de rendimiento.

3.4.4 Apoyo.

La organización debe otorgar los recursos necesarios para cumplir con los objetivos de la gestión de activos, en cuanto a implementación, mantenimiento y mejora continua. Además de determinar las competencias necesarias para las personas que trabajan bajo su control, asegurando que sean personas competentes en cuanto a educación, capacitación y experiencia. Las cuales deben ser conscientes de la política de gestión de activos, la contribución de estas a la eficacia del sistema de gestión, sus actividades de trabajo teniendo en cuenta los riesgos y oportunidades. Es por esto por lo que es de suma importancia que la organización determine la necesidad de la comunicaciones internas y externas relacionadas a la gestión de activos, comunicando los riesgos identificados, la documentación requerida

por esta norma y asimismo mantener actualizada por cualquier cambio que se pueda generar en los riesgos o en la información documentada.

Para la planta desalinizadora, sería de gran importancia promover el apoyo entre las diferentes áreas dentro de la organización, manteniendo una comunicación fluida y actualizada entre la gerencia, el área de operación y el área de mantenimiento, para que de esta manera se tenga claridad de los objetivos propuestos por la gerencia, unificando criterios entre la operación y el mantenimiento con el objetivo de identificar los posibles riesgos que se puedan presentar, manteniendo la operación de la planta con el mayor nivel de disponibilidad posible.

3.4.5 Operación.

La organización debe planificar, implementar y controlar los procesos necesarios para cumplir con los requisitos, cumpliendo con los objetivos planteados por la misma para así cumplir con los planes de gestión de activos determinados. La manera de mantener el control operacional es estableciendo criterios para los procesos requeridos, implementando control de los procesos de acuerdo con los criterios, manteniendo información documentada para tener confianza y evidencia que los procesos se están llevando a cabo según el plan estratégico y manteniendo un monitoreo de los posibles riesgos. Y si los riesgos asociados a cualquier cambio planificado puedan tener impacto con el logro de los objetivos de la gestión de activos, se deben evaluar, antes de que se implemente el cambio. De igual manera la organización debe revisar las posibles consecuencias no esperadas de los cambios, tomando acciones para mitigar los efectos adversos.

En la planta desalinizadora se deben tener distintas estrategias de mantenimiento, como lo son la preventiva, correctiva, o predictiva. Las cuales tienen como objetivo atender las tareas ya sean programadas como las indeseables tareas no programadas. Teniendo como parte del mantenimiento preventivo diversas tareas programadas periódicamente, las cuales buscan evitar las fallas imprevistas y en consecuencia las tareas no programadas, dentro de estas tareas encontramos trabajos de inspección, limpieza de filtros, mantenciones a equipos, cambios de componentes, etc. Las fallas imprevistas conllevan a tareas que no están programadas provocando un quiebre en el programa, lo que a su vez retrasa lo planificado.

El plan estratégico de gestión de activo tiene como finalidad lograr que los activos logren su máxima vida útil, donde los distintos niveles dentro de la organización se unan, manteniendo una comunicación efectiva y actualizada entre la gerencia para tener claros los objetivos, el área de operación y el área de mantenimiento, para de esta manera cumplir con las metas de producción, disponibilidad y confiabilidad que se requiere en la planta desalinizadora para que esta sea rentable económicamente y no tenga ninguna pérdida que pueda afectar a la comunidad.

3.4.6 Evaluación de desempeño.

La organización debe mantener un monitoreo constante y medido acerca del desempeño de los activos, el desempeño de la gestión de activos incluyendo el desempeño financiero y no financiero. Para de esta manera saber la eficacia del sistema de gestión de activos implementado. Los métodos utilizados para el monitoreo pueden ser, medición, análisis y evaluación según sea aplicable, para asegurar resultados válidos.

La organización de la planta desalinizadora ECONSSA debe llevar auditorías internas en intervalos de tiempos planificados, con el objetivo de proporcionar información para la toma de decisiones acerca si el sistema de gestión de activos cumple con los requisitos de la organización para el sistema de gestión y con los requisitos de la esta norma ISO 55001. Además, para saber si el plan estratégico de gestión de activos se ha implementado de manera correcta y se mantiene eficaz.

Como propuesta para la empresa se propone instaurar evaluaciones de desempeño, en donde el principal objetivo sea promover el talento y la estandarización de los conocimientos de las personas si así lo requiere, por medio de capacitaciones o cursos. El programa propuesto sería el de una evaluación a cada uno de los trabajadores según su rol dentro de la organización y también una autoevaluación por parte de los líderes de cada área, luego para que los datos sean consistentes, una etapa de calibración, para finalmente una etapa de retroalimentación, donde se analizaran los resultados, pudiendo así llevar a cabo lo que sea necesario con el propósito siempre de una mejora continua.

3.4.7 Mejora continua.

Ante una no conformidad o incidente, en sus activos, en su gestión o en su sistema de gestión de activos, la organización según corresponda debe tomar acciones para controlar y corregir o de alguna manera hacer frente a las posibles consecuencias que puede generar. Con la finalidad de que ya no ocurra dicha no conformidad o incidente es que se deben revisar y analizar la disconformidad o incidente, determinando las causas y si existen no disconformidades similares que pudieran ocurrir potencialmente para de esta manera implementar la acción correctiva necesaria para mitigar dicha no conformidad, realizando cambios en el sistema de gestión de activos si así lo amerita. Cualquier no conformidad o incidente y su posible acción correctiva debe quedar documentada como evidencia para posteriores casos similares que puedan ser solucionados analizando dicho documento y también para identificar de manera proactiva, fallas potenciales en el desempeño de los activos y así evaluar la implementación de acciones preventivas. Todo esto con el objetivo de tener un plan estratégico de gestión de activos que este en evolución y en mejora continua.

Bajo este requerimiento es que la planta desalinizadora ECONSSA y su organización, en primer lugar, debe crear esta cultura de mejora continua en la empresa, para que de esta manera todas las áreas y diferentes jerarquías se comprometan con la misión. Para ponerla en práctica en los procesos debe entregar recursos para implementar la mejora continua, identificando las fallas y posibles causas para comprender lo que hay que mejorar, crear un plan de acción para aplicar la mejora, probar y supervisar continuamente el rendimiento, verificar los resultados para así ir identificando nuevas oportunidades de mejora y repetir el ciclo con la finalidad de ir mejorando cada vez más.

Un ejemplo de método que se puede utilizar en la planta es el PDCA, el cual es un método norteamericano que pone en práctica esta filosofía, consta de 4 pasos que deben realizarse cíclicamente, en donde es posible identificar el problema, analizarlo, crear un plan de acción, ejecutar, verificar, normalizar y actuar para mejorar.

3.5 CONCLUSION

La desalinización como método de obtención de agua potable se a convertido en uno de los recursos no convencionales mas importantes, debido a la calidad y la cantidad de agua que entrega, suministrando el recurso suficiente para el consumo de millones de personas alrededor del mundo, además de los usos en los campos industriales y agrícolas.

Si bien cuenta con amplias ventajas el proceso de desalación, hay aspectos que son mejorables como el consumo energético que utiliza y el impacto ambiental generado por el vertido de salmuera al mar, que es el que se aborda como problemática en esta tesis.

Es por lo anteriormente mencionado que en el transcurso de esta tesis se presentan los distintos proyectos de investigación para el tratamiento de salmuera, emergentes y tradicionales, como también los distintos métodos de vertido de salmuera, todo esto con la finalidad de encontrar el método que tuviera mayor compatibilidad con la planta desalinizadora ECONSSA.

Para hallar el método con mayor compatibilidad con el objetivo general de la tesis, se utilizó una matriz semicuantitativa ya que es una herramienta que permite escoger de una manera más concreta, debido a que genera una lista ponderada de los diferentes criterios, lo que facilita la toma de decisión. Al analizar la tabla generada por esta matriz semicuantitativa se determinó que el método con mayor compatibilidad es el Proyecto ZELDA, el cual obtuvo mayor ponderación en cada uno de los criterios.

Después de una investigación completa de dicho proyecto, en la cual se detalló cada una de las tecnologías que se podían utilizar en el proyecto para la preconcentración de la salmuera principalmente, mostrando las ventajas y desventajas de cada una, se realizó también una investigación para conocer la viabilidad económica de dicho proyecto, generando dos tablas en las cuales se muestra el consumo de energía específico y el gasto en energía para cada una de las tecnologías, con el fin de tener un parámetro como el OPEX ,dejando a la electrodiálisis como la tecnología con menor gasto total en energía, sin embargo

los costos asociados quedan muy por encima que la posible valorización de los residuos, por lo cual se concluye que el método de tratamiento de salmuera con mayor compatibilidad con la planta desalinizadora ECONSSA Chile, no tiene viabilidad económica.

Dado a que aun no se tiene un sistema de gestión y tratamiento de salmuera universal que sea técnica y viable económicamente, el campo de investigación sigue abierto a nuevos proyectos que puedan convertir al tratamiento de salmuera en algo viable.

Además, en específico en este caso se puede continuar investigando el complemento con energía renovable como las plantas de energía solar, para disminuir el gasto energético haciéndolas más viable económicamente y además amigables con el medio ambiente.

3.6 Bibliografía

CONAF. (16 de junio de 2016). *CONAF*. Obtenido de <https://www.conaf.cl/casi-7-millones-de-chilenos-afectados-por-la-desertificacion/>

ECONSSA . (s.f.).

ECONSSA Chile S.A. (s.f.). <https://www.ECONSSAchile.cl/>.

ECONSSA Chile S.A. (s.f.). <https://www.ECONSSAchile.cl/proyecto-pda>.

Google . (s.f.). [https://www.google.com/maps/place/Planta+Desalinizadora+Atacama+-+ECONSSA/@-27.0786297,-](https://www.google.com/maps/place/Planta+Desalinizadora+Atacama+-+ECONSSA/@-27.0786297,-70.8217882,13.25z/data=!4m9!1m2!2m1!1splanta+ECONSSA+chile!3m5!1s0x96bd69506c6aaaeb:0x20fff969aa4fb711!8m2!3d-27.0704896!4d-70.8504809!15sChRwbGFudGEgZWVbnNzYSBjaGlsZ)

[70.8217882,13.25z/data=!4m9!1m2!2m1!1splanta+ECONSSA+chile!3m5!1s0x96bd69506c](https://www.google.com/maps/place/Planta+Desalinizadora+Atacama+-+ECONSSA/@-27.0786297,-70.8217882,13.25z/data=!4m9!1m2!2m1!1splanta+ECONSSA+chile!3m5!1s0x96bd69506c6aaaeb:0x20fff969aa4fb711!8m2!3d-27.0704896!4d-70.8504809!15sChRwbGFudGEgZWVbnNzYSBjaGlsZ)

[6aaaeb:0x20fff969aa4fb711!8m2!3d-27.0704896!4d-](https://www.google.com/maps/place/Planta+Desalinizadora+Atacama+-+ECONSSA/@-27.0786297,-70.8217882,13.25z/data=!4m9!1m2!2m1!1splanta+ECONSSA+chile!3m5!1s0x96bd69506c6aaaeb:0x20fff969aa4fb711!8m2!3d-27.0704896!4d-70.8504809!15sChRwbGFudGEgZWVbnNzYSBjaGlsZ)

[70.8504809!15sChRwbGFudGEgZWVbnNzYSBjaGlsZ](https://www.google.com/maps/place/Planta+Desalinizadora+Atacama+-+ECONSSA/@-27.0786297,-70.8217882,13.25z/data=!4m9!1m2!2m1!1splanta+ECONSSA+chile!3m5!1s0x96bd69506c6aaaeb:0x20fff969aa4fb711!8m2!3d-27.0704896!4d-70.8504809!15sChRwbGFudGEgZWVbnNzYSBjaGlsZ).

KEIKEN. (s.f.). <https://www.keiken-engineering.com/keiken-y-la-destilacion-por-membrana-md/>.

Lenntech. (s.f.). <https://www.lenntech.es/processes/brine-treatment.htm>.

Lenntech. (s.f.). <https://www.lenntech.es/processes/Brine-Treatment/conventional-brine-treatment/edr.htm>.

Lenntech. (s.f.). <https://www.lenntech.es/processes/Brine-Treatment/conventional-brine-treatment/fo.htm>.

propia, E. (s.f.).