



UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y NEGOCIOS  
CARRERA DE INGENIERÍA EN MINAS

**Evaluación Económica Preliminar de Planta Desaladora  
para la Minería en la II Región – Chile.**

PROFESOR GUÍA:  
CARLOS ESPINOZA MORALES

INTEGRANTES:  
JONATHAN NARANJO ZAMBRANO  
EVER ESPINOLA YUPANQUI

SANTIAGO – CHILE  
2019



UDLA



## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, me gustaría agradecerte a ti Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado, porque hiciste realidad este sueño anhelado.

A mis padres Alcides y Tomasa por ayudarme en todo momento por los valores que me han inculcado y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

A la UNIVERSIDAD DE LAS AMÉRICAS por darme la oportunidad de estudiar y ser un profesional.

De igual manera agradecer a mi asesor de investigación el ingeniero Carlos Espinoza, por su visión crítica de muchos, por sus consejos, que ayudan a formarte como persona e investigador.

Con afecto

**Ever David Espínola Yupanqui**

## **AGRADECIMIENTO**

Dios tu amor y tu bondad no tienen fin, me permites sonreír ante todos mis logros que son resultado de tu ayuda, y cuando caigo y me pones a prueba aprendo de mis errores y me doy cuenta de que los pones en frente mío para que mejore como ser humano y crezca de diversas maneras.

Este trabajo de tesis ha sido una gran bendición en todo sentido y te lo agradezco padre, y no cesan mis ganas de decir que es gracias a ti que esta meta está cumplida.

Gracias a mi familia por el apoyo incondicional, gracias a mi esposa por su paciencia e infinito amor y dedicación por cada noche y madrugada al llegar a casa y salida de ella nuevamente por estar presente siempre apoyándome en cada decisión, a mi hermosa hija que tan solo con escuchar su voz y ver su sonrisa hace extinguir todo cansancio y preocupación del día a día.

Gracias por estar presente no solo en esta etapa tan importante de mi vida, sino que

en todo momento ofreciéndome lo mejor y buscando lo mejor para mí cada día.

Cada momento que he vivido durante todos estos años, son simplemente únicos, cada oportunidad de corregir mis errores, la oportunidad de que cada mañana pueda empezar de nuevo sin importar la cantidad de errores y faltas cometidas durante el día anterior.

Con afecto

**Jonathan Raúl Naranjo Zambrano**

## RESUMEN

La minería del cobre requiere de grandes cantidades de aguas para sus procesos ( $0.5 \text{ m}^3/\text{t}$  mineral para el proceso de concentración y  $0.1 \text{ m}^3/\text{t}$  mineral en el caso de lixiviación). La II Región es una gran productora de cobre, donde conviven grandes y medianas empresas con una disponibilidad incierta de agua para sus procesos. En tanto las grandes empresas han construido sus propias plantas desaladoras, las medianas empresas mineras no poseen los recursos necesarios para construir una propia.

El presente estudio tiene como objetivo realizar la evaluación económica preliminar de la instalación de una planta desaladora que venda agua industrial a un grupo de empresas mineras de tamaño medio, ubicadas en la zona de la comuna de Mejillones. La realización del estudio estima la demanda potencial de un grupo de empresas ubicadas en la zona de influencia de la planta propuesta para determinar el tamaño de la planta desaladora y el nivel de inversión que sería requerido. El objetivo del negocio es vender el agua de mar en el sitio de la faena, de modo que se diseña una red de distribución de agua desalada junto con la infraestructura de soporte de esta red.

Basado en la capacidad de la planta y en la red de distribución se estima el costo de operación de la planta y el posible precio de venta del agua desalada en el punto de consumo. El flujo de caja y la rentabilidad del proyecto se estiman basada en un rango de precios de venta para así determinar la rentabilidad del proyecto y establecer si es conveniente continuar con estudios más detallados.

## **SUMMARY**

Copper mining requires large amounts of water for its processes (0.5 m<sup>3</sup> / t ore for the concentration process and 0.1 m<sup>3</sup> / t ore in the case of leaching). The II Region is a large copper producer, where large and medium-sized companies coexist with an uncertain availability of water for their processes. While large companies have built their own desalination plants, medium-sized mining companies do not have the resources to build their own.

The objective of this study is to carry out the preliminary economic evaluation of the installation of a desalination plant that sells industrial water to a group of medium-sized mining companies, located in the area of the Mejillones district. The realization of the study estimates the potential demand of a group of companies located in the area of influence of the proposed plant to determine the size of the desalination plant and the level of investment that would be required. The objective of the business is to sell the seawater on the site of the work, so that a desalinated water distribution network is designed together with the support infrastructure of this network.

Based on the capacity of the plant and the distribution network, the operating cost of the plant and the possible selling price of the desalinated water at the point of consumption are estimated. The cash flow and profitability of the project are estimated based on a range of sale prices to determine the profitability of the project and establish whether it is convenient to continue with more detailed studies.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN.....	1
SUMMARY .....	2
INTRODUCCIÓN .....	7
CAPÍTULO 1. Antecedentes del Estudio.....	8
1.2 Objetivos. ....	8
1.2.1. Objetivo General. ....	8
1.2.2. Objetivos Específicos.....	8
1.3. Hipótesis de trabajo.....	9
1.4. Justificación del estudio .....	10
1.5 Alcance y Limitaciones.....	11
CAPITULO 2. Marco Teórico .....	12
2.1 Situación Hídrica en la Minería Chilena .....	12
2.2 Panorama Actual .....	13
2.3 Permisos legales y ambientales .....	14
2.4 Concesiones marítimas.....	14
2.5. Catastro de plantas desalinizadoras Región de Antofagasta .....	15
2.5.1. Plantas desalinizadoras y sistemas de impulsión en minería: .....	15
2.6 Metodología .....	17
2.7 Proceso general desalinización.....	17
2.8 Descripción de la planta desalinizadora .....	21
CAPITULO 3. Estimación de Caudal .....	25
3.1 Demanda de agua industrial .....	25
3.2. Ubicación de la planta .....	28
CAPÍTULO 4. Desarrollo del Proyecto .....	30
4.1 Captación.....	30
4.1.1. Torre de toma .....	30
4.2. Emisario submarino.....	32
4.3. Piscina de Captación .....	36

4.4. Vertido de Salmuera.....	36
4.5. Bombas y Tuberías.....	37
4.5.1 Material .....	37
4.5.2 Explicación de los cálculos: .....	37
4.6. Descripción del Proyecto .....	41
4.6.1. Criterios de diseño.....	41
CAPÍTULO 5. Evaluación Económica .....	49
5.1 Estimación de los costos de inversión del proyecto. ....	49
CAPÍTULO 6. Conclusiones y Recomendaciones.....	55
6.1. Recomendación. ....	56
9. Referencias Bibliográficas .....	57
7. ANEXOS.....	59
8. CARTA GANTT.....	62

## Índice de figuras

Figura 2.1. Proyección de consumo de agua continental – (Fuente: Cochilco 2017) .....	12
Figura 2.2. Proceso de Osmosis Inversa (Fuente: Carbotecnia).....	18
Figura 2.3. Tipo de energía a utilizar (Fuente: Condorchem) .....	21
Figura 2.4. Método de desalinización de agua de mar – (fuente: Lanzarote-medio-sistema).....	22
Figura 3.5. Ubicación de las minas (Fuente – Mapa Minero de Chile) .....	25
Figura 3.6. Plano General de todo el proceso (Fuente: Elaboración Propia) .....	27
Figura 3.7. Método de desalinización de agua de mar – (fuente: Lanzarote-medio-sistema).....	28
Figura 3.8. Ubicación de la Planta desalinizadora (Fuente: Google Earth.....	29
Figura 4.9. Torre de Toma de Agua de mar (Fuente: Saneamientos Marítimos torres-de-toma) ....	31
Figura 4.10. Torre de Captación (Fuente: sistemas-captación-desaladoras-agua-mar) .....	32
Figura 4.11. Piscina de captación (Fuente: eficiencia-hídrica-en-la-minería) .....	35
Figura 4.12. Difusores de salmuera (Fuente: elaboración propia) .....	36
Figura 4.13. Tuberías en la cordillera (Fuente: <a href="http://www.o-tek.com/proyectos">www.o-tek.com/proyectos</a> ).....	42
Figura 4.14. Impulsión de agua de mar (Fuente: <a href="http://mch.cl">mch.cl</a> ) .....	43
Figura 4.15. Costo de uso de agua de mar (Fuente: Consejo Minero 2016) .....	44
Figura 4.16. Plano de Planta desalinizadora (Fuente: Elaboración Propia) .....	46
Figura 4.17. Plano de red de distribución (Elaboración Propia) .....	47
Figura 4.18. Piscinas de Abastecimiento (Fuente: Elaboración Propia) .....	48
Figura 4.19: Costo por kilómetro de red eléctrica (Fuente: Comisión Federal de Electricidad).....	61

## Índice de tablas

Tabla 2.1. Métodos de Desalinización (Fuente: comparacion-tecnologias-1-2).....	20
Tabla 2.2. Sustancias Permitidas en el agua potable (Fuente: blog.pucp.edu.pe).....	23
Tabla 2.3. Proyección de OI dentro de 20 años (Fuente: Asociación Internacional Del Agua).....	23
Tabla 5.4. Inversión del Proyecto (Fuente: Elaboración propia).....	49
Tabla 5.5 Costos del Personal (Elaboración: Propia).....	49
Tabla 5.6. Costos de mantenimiento (Elaboración: Propia).....	50
Tabla 5.7. Otros costos fijos (Elaboración: Propia) .....	50
Tabla 5.8. Potencia de Energía (Elaboración: Propia) .....	51
Tabla 5.9. Costo Variable Bombas (Elaboración: Propia) .....	51
Tabla 5.10. Costo Variable Planta (Elaboración: Propia) .....	51
Tabla 5.11. Costo Variable Recambio (Elaboración: Propia) .....	51
Tabla 5.12. Costos totales anuales (Elaboración: Propia) .....	52
Tabla 5.13. Costo de m <sup>3</sup> (Elaboración: Propia).....	52
Tabla 5.14. Costos variables (Fuente: Elaboración propia) .....	52
Tabla 5.15. Flujo de caja (Elaboración Propia).....	54

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo evaluar la pre-factibilidad de la instalación de una planta desalinizadora de agua de mar para abastecer a la minería de un sector de la II región en la comuna de Mejillones.

La desalación o desalinización es el proceso de eliminar la sal del agua de mar, obteniendo agua potable, por cada 2 litros de agua de mar se obtiene 1 litro de agua desalada y 1 litro de salmuera la cual retornara al mar por medio de una tubería que se instalara a mayor profundidad y a mayor distancia, esta será disuelta por medio de unos difusores, la salmuera tendrá la misma temperatura 15° que su entorno para que así no se vea afectada la flora y fauna.

El agua del mar es un ejemplo de mezcla homogénea. Es salada porque tiene sales minerales disueltas que precipitan cuando el agua se evapora. Debido a la presencia de estas sales minerales, el agua del mar no es potable para el ser humano y su ingestión en grandes cantidades puede llegar a provocar la muerte. El 97,5% del agua que existe en nuestro planeta es salada, él 2,5 no es salada y sólo una cantidad inferior al 1% es apta para el consumo humano.

Mediante la desalinización del agua del mar se obtiene agua potable apta para el abastecimiento y el regadío. Las plantas desalinizadoras de agua de mar han producido agua potable desde hace muchos años, pero el proceso era muy costoso y hasta hace relativamente poco sólo se han utilizado en condiciones extremas. Actualmente existe una producción de más de 24 millones de metros cúbicos diarios de agua desalada en todo el mundo, lo que supone el abastecimiento de más de 100 millones de personas.

Con el fin de evitar los grandes costos que conlleva la desalinización, actualmente se están realizando estudios para construir plantas desalinizadoras más competitivas, menos contaminantes y que utilicen fuentes de energía renovables.

## **CAPÍTULO 1. Antecedentes del Estudio**

### **1.2 Objetivos.**

#### **1.2.1. Objetivo General.**

Demostrar la pre-factibilidad económica de instalar una planta desaladora en la II Región, para producir agua industrial para uso en los procesos mineros que requieren las empresas mineras de la zona.

#### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- 1.- Identificar y determinar la demanda potencial de agua industrial de los consumidores mineros en la II Región.
- 2.- Establecer capacidad productiva de la planta desaladora ( $m^3/hr$ ).
- 3.- Diseñar una red de abastecimiento hasta los potenciales clientes.
- 4.- Determinar la cantidad de caudal necesario para abastecer las necesidades de los clientes.
- 5.- Evaluar el costo de distribuir el agua a los posibles clientes.
- 6.- Determinar la rentabilidad del proyecto.

### **1.3. Hipótesis de trabajo.**

Demostrar la pre-factibilidad económica de instalar una planta desaladora que venda agua industrial a un grupo de clientes mineros en una zona de la II Región de Antofagasta.

## **1.4. Justificación del estudio**

Actualmente las empresas mineras de la II Región que no disponen de agua en la magnitud que lo requieren sus procesos de concentración o que su abastecimiento es precario y dependiente de eventos que no están bajo su control, se ven restringidas a una producción limitada dada la escasez de este recurso hídrico.

Una alternativa que se ha comenzado a implementar en la última década es utilizar agua de mar desalada mediante el proceso de osmosis inversa. Este proceso tiene un menor costo y se ha implementado en gran escala a nivel mundial.

En general, las medianas empresas mineras no poseen los recursos necesarios para construir su propia planta desaladora y que demandan de una inversión considerable para el tamaño de la empresa.

Por lo tanto, se estima que una empresa proveedora de agua de mar a varios clientes medianos, puede solucionar el problema de abastecimiento de agua de proceso la que sería vendida en la ubicación de la empresa mediante una red de distribución.

## **1.5 Alcance y Limitaciones**

Este proyecto se basará en el tratamiento del agua de mar, para convertirla en H<sub>2</sub>O industrial por medio del proceso de ósmosis inversa.

Este método basado en la transformación del agua de mar mediante varios procedimientos desalara el agua para darle uso industrial de las plantas procesadoras de la Minería.

## CAPITULO 2. Marco Teórico

### 2.1 Situación Hídrica en la Minería Chilena

La Dirección General de Aguas (DGA) ha estimado que el consumo de agua en la II Región varía entre 52 y 208 m<sup>3</sup>/habitante/año. Dada la escasez de este recurso en la II Región es que se está llevando a cabo distintos métodos para poder alcanzar la meta de producir agua industrial, la cual es requerida en grandes cantidades por la minería en dicha Región.

Según COCHILCO (ver figura 1) el consumo de agua continental (ríos, napas subterráneas) por parte de las empresas mineras productoras de cobre presenta una tendencia a disminuir en la II Región en el período entre 2017 a 2028, debido al aumento del uso de agua de mar por parte de las grandes empresas mineras (CODELCO, BHP), lo que no asegura la continuidad del abastecimiento para las empresas de la mediana minería.

La planta desaladora que se propone viene a robustecer el abastecimiento de agua para proceso y que permitiría a las medianas empresas proyectarse de manera más confiable en el futuro.

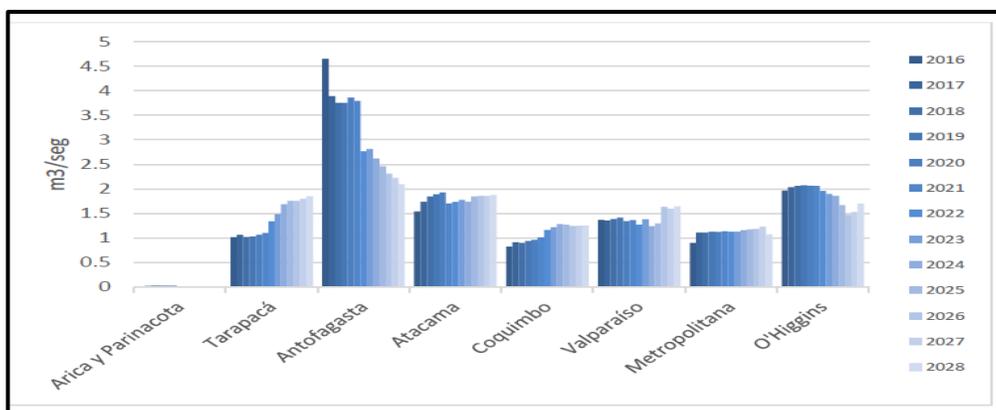


Figura 2.1. Proyección de consumo de agua continental – (Fuente: Cochilco 2017)

Es por ello que se ha determinado un grupo de clientes Mineros cercanos a la planta desaladora ubicada en las costas de esta región, a los cuales se les abastecerá esta agua industrial y así aplacar la necesidad que les aqueja por la escases de agua en este sector.

## **2.2 Panorama Actual**

Desalinización: Es el proceso de separación del agua de las sales mediante Osmosis Inversa.

Los recursos hídricos susceptibles de desalinización pueden ser:

- Agua de mar
- Agua salobre de distintos orígenes: agua subterránea salinizada, acuíferos costeros en contacto directo con el mar y de acuíferos aislados del mar.

Para abastecer de agua para los distintos usos (humano, agropecuario, industrial, minero) en las regiones con déficit estructural de recursos hídricos surge la alternativa de plantas desalinizadoras:

- Altos costos del proceso
- Residuos salinos y minerales
- Alta exigencia de energía

La planta desalinizadora se compone esencialmente de las aducciones de toma de agua de mar y de descarga que parten en el borde costero y llega a una Planta Desalinizadora que puede estar ubicada cerca del mar o más al interior.

Del agua de mar se aprovecha el 45% y el 55% es rechazo o salmuera.

En aguas salobres se aprovecha el 75% -80% y genera un 20- 25 de rechazo.

Para el Diseño de la planta se necesita:

- Caudal disponible y deseado: En función de la demanda.
- Origen del agua, temperatura, parámetros físico - químicos.

- Definición de calidad de producto deseada.

El costo de las impulsiones que depende de la distancia y altura de donde se requiere el agua desalinizada, es muy significativo en el costo final de disponer de esta agua para diferentes usos.

### **2.3 Permisos legales y ambientales**

En la actualidad los proyectos privados y públicos deben obtener los siguientes permisos:

- ❖ Concesiones marítimas.
- ❖ Concesiones de terrenos fiscales.
- ❖ Aprobación de EIA.

Los permisos y autorizaciones son otorgados por Ministerio de Defensa, Bienes Nacionales y Medio Ambiente, actúan sin coordinación en el otorgamiento de los permisos:

- ❖ Cada proyecto se revisa como una unidad independiente.
- ❖ Cada sector busca sus propias soluciones y con autofinanciamiento: Ej. Agua Potable y Minería.

### **2.4 Concesiones marítimas.**

La concesión se otorga para cañerías que comienzan y terminan en el borde costero.

En general este trámite pasa por la Comisión Regional de Uso de Borde Costero.

Vigencia es de 10 a 50 años y se encuentran afectas a un pago de tarifas, (en general la planta se ubica fuera del borde costero).

Para las aducciones y conducciones las tarifas son (0,06 UTM y 0,02 por metro lineal).

Las concesiones marítimas otorgadas a servicios fiscales, como el MOP se denomina destinaciones marítimas, la cual no se encuentra afecta a ningún pago y la vigencia es hasta que se cumpla el objeto para el cual se otorgó.

Se debe considerar que, en el borde costero, sólo se instalan las cañerías: una de aducción de agua y otra como emisario para la eliminación de la salmuera. En general, la instalación de la planta se realiza en otro sector del territorio.

Las solicitudes de concesiones marítimas para desalinizadoras se han analizado como cualquier otra solicitud, incorporando los pronunciamientos de la CRUBC (Comisión Regional de Uso del Borde Costero), que permite considerar las opiniones regionales sobre diferentes proyectos.

## **2.5. Catastro de plantas desalinizadoras Región de Antofagasta**

### **2.5.1. Plantas desalinizadoras y sistemas de impulsión en minería:**

#### **Operando:**

Planta Coloso. Cobre. Minera Escondida (BHP Billiton) 525 litros/segundo.

Minera Michila. Cobre. Antofagasta Minerales. 75 l/seg desalinización y 23 L/seg agua de mar directa en proceso.

Distrito Centinela (Ex -Esperanza). Cobre. Antofagasta Minerls (50 - 150) l/seg desalinización y (780- 1500) L/seg agua de mar directa en proceso.

Agua Antucoya. Cobre. Antofagasta Mineral. 50 l/seg desalinización y 280 l/seg agua de mar directa en proceso.

Tal Tal: SLM Las Cenizas. Cobre: 9 l/seg desalinización y 55 l/seg agua de mar directa en proceso.

Compañía Minera Mantos De Luna. Tocopilla. Cobre. 20 l/seg desalinización y 5 l/seg agua de mar directa para procesos.

Mejillones. Planta Desalinizadora Moly Cop. Acero. 4,3 l/seg. Planta Desalinizadora para proceso.

Sierra Gorda: Minera Quadra Chile. Cobre. 63 l/seg desalinización y 1315 l/seg agua de mar directo para proceso.

**Proyectadas y posibles:**

Ampliación Planta Coloso. Cobre. Minera Escondida (BHP Billiton) 3200 litros/segundo. En construcción.

BHP Billiton Spence Growth Project Escondida Water Supply (EWS). BHP Billiton. Cobre. 800-1600 l/seg.

Codelco: Cobre Planta Radomiro Tomic 1.630 l/seg. En Licitación.

Eloisa S. A. Minería Yodo. Agua de mar directo a proceso. En construcción sistema de impulsión 200 l/seg.

Ampliación Distrito Centinela. Antofagasta Minerals 178 l/seg. EIA aprobado.

El Abra Mill Project. Freeport Mc Moran. Cobre. 500 l/seg. En reestructuración e Hipotético.

Collahuasi Fase III. Cobre. 1500 l/seg. En reestructuración e Hipotético.

## **2.6 Metodología**

En la II región Antofagasta, comuna de Mejillones – Chile, se ha identificado la escases de Agua debido a las condiciones climáticas y topográficas de esta zona, es por ello que se está estudiando la Pre-factibilidad de diseñar una planta desaladora en esta área. La metodología propuesta es la siguiente:

- Evaluar la demanda de agua por parte de las empresas mineras de tamaño medio
- Establecer la capacidad de producción de la planta desaladora
- Generar un diseño conceptual de la planta desaladora
- Realizar una propuesta de red de distribución de agua a los potenciales clientes en la zona
- Identificar la infraestructura necesaria para soportar el abastecimiento de agua de mar
- Estimar la inversión requerida a nivel de evaluación económica preliminar
- Estimar el costo de operación de la planta y el precio de venta del agua de mar
- Evaluar la rentabilidad del proyecto
- Realizar un análisis de sensibilidad a variables críticas del proyecto.

## **2.7 Proceso general desalinización**

El proceso de desalinización que se utilizará será el de ósmosis inversa de amplio uso comercial. La ósmosis inversa es una tecnología de purificación del agua que utiliza una membrana semipermeable para eliminar iones, moléculas y partículas más grandes en el agua. Para lograr la ósmosis inversa se aplica una presión de hasta (70 bar sobre el líquido de mayor concentración), para vencer la presión osmótica, que es una propiedad coligativa producida por diferencias de potencial químico del solvente, un parámetro termodinámico. La ósmosis inversa puede eliminar muchos tipos de elementos suspendidos en el agua, incluyendo bacterias, arena, aceites, plancton entre otras. Y está utilizada tanto en procesos

industriales como para la producción de agua potable. El resultado es que la disolución es retenida del lado presurizado de la membrana y el solvente puro puede pasar al otro lado. Para lograr la selectividad, esta membrana no debe dejar pasar iones o moléculas grandes a través de sus poros (o agujeros), pero debe dejar pasar libremente componentes más pequeños de la solución (como las moléculas solventes).

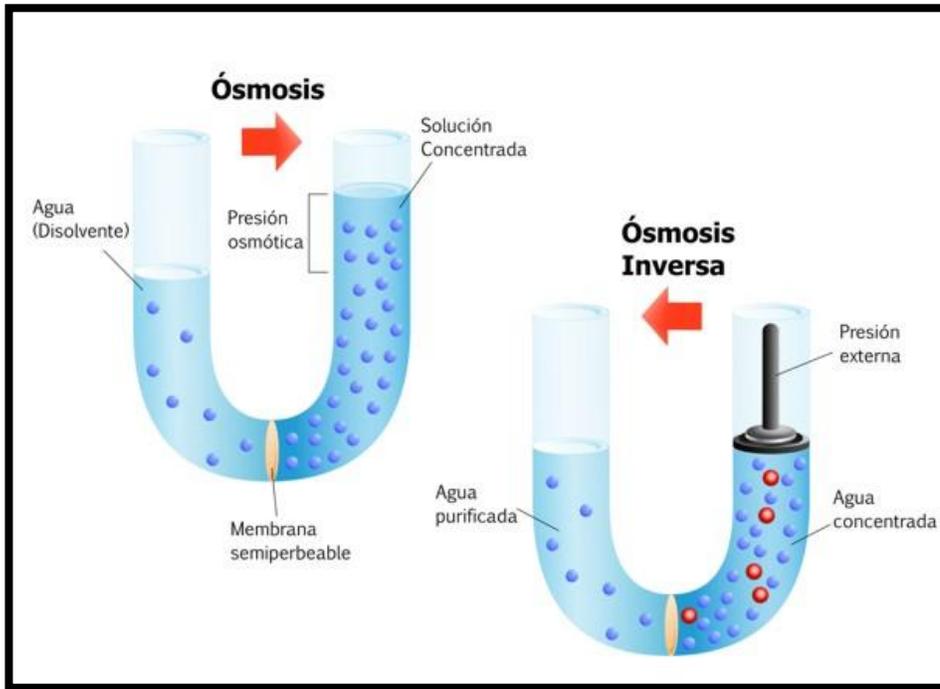


Figura 2.2. Proceso de Osmosis Inversa (Fuente: Carbotecnia)

La Osmosis Inversa posee un campo amplio de aplicaciones entre las cuales se pueden destacar:

- Abastecimiento de aguas para usos industriales y consumo de la población.
- Tratamiento de afluentes municipales e industriales para el control de la contaminación y/o recuperación de compuestos valiosos reutilizables.
- En la industria de la alimentación, para la concentración de alimentos (jugos de frutas, tomate, leche, conservas de legumbres, etc.)

- En las industrias farmacéutica, para la separación de proteínas, eliminación de virus, etc.

### **Ventajas de la Osmosis Inversa**

- Alta eficiencia.
- Genera aguas de alta calidad, incluso aguas destiladas.
- Es capaz de remover todo tipo de contaminante.
- Puede tratar grandes volúmenes de agua.
- Bajos costos de operación.

### **Desventajas de la Osmosis Inversa**

- Requiere de pre-tratamiento, dependiendo del caso.
- Requiere gran consumo de energía.
- Genera entre un 40% y 60% de rechazo (salmuera) lavado de la membrana según el agua tratada que deben disponerse o tratarse.
- No son eficientes para el tratamiento de aguas con elevado contenido de elementos.
- A pequeñas escalas puede resultar más costoso, que a mayores escalas.

	<b>MSF</b>	<b>MED</b>	<b>CV</b>	<b>Osm. Inv.</b>
<b>Estado comercial</b>	Desarrollado	Desarrollado	En desarrollo	Desarrollado
<b>Capacidad mundial</b>	8 MM m <sup>3</sup> /d	0,8 MM m <sup>3</sup> /d	0,6 MM m <sup>3</sup> /d	5 MM m <sup>3</sup> /d
<b>Planta de mayor tamaño</b>	45.000 m <sup>3</sup> /d	18.000 m <sup>3</sup> /d	3.000 m <sup>3</sup> /d	9.000 m <sup>3</sup> /d
<b>Fabricantes</b>	muchos	pocos	pocos	muchos
<b>Consumo energía:</b>				
- Vapor	125°C	70°C	--	--
- Electricidad	3-6 kWh/m <sup>3</sup>	1.5-2.5 kWh/m <sup>3</sup>	8-12 kWh/m <sup>3</sup>	4-5 Wh/m <sup>3</sup>
<b>Temp. Máxima</b>	120°C	75°C	75°C	--
<b>Conversión (producto / agua mar bombeada)</b>	10-25%	25-40%	40-50%	35-45%
<b>Flexibilidad operación</b>	60-100%	30-100%	--	modular
<b>Mantenimiento (limpiezas / año)</b>	2-4	0,5-2	0,5-2	1-2
<b>Pretratamiento</b>	Moderado	Muy simple	Muy simple	Exigente
<b>Requerimientos de operación</b>	Medio	Bajo	Bajo	Muy alto

Tabla 2.1. Métodos de Desalinización (Fuente: comparacion-tecnologias-1-2)

- MSF: Destilación súbita por efecto flash
- MED: Destilación por múltiple efecto
- CV: Compresión térmica de vapor
- OI: Osmosis inversa

Separación	Energía	Proceso	Método
Agua de sales	Térmica	Evaporación	Destilación súbita (Flash)
			Destilación multiefecto
			Termocompresión de vapor
			Destilación solar
		Cristalización	Congelación
	Formación de hidratos		
	Mecánica	Filtración y evaporación	Destilación con membranas
Evaporación		Compresión mecánica vapor	
		Filtración	Osmosis inversa
Sales de agua	Eléctrica	Filtración selectiva	Electrodiálisis
	Química	Intercambio	Intercambio iónico

Figura 2.3. Tipo de energía a utilizar (Fuente: Condorchem)

## 2.8 Descripción de la planta desalinizadora

El proceso del tratamiento comienza desde la captación del agua de mar, la tubería de captación ira a nivel costero adentrándose al mar 200 metros de distancia desde la costa y a una profundidad de 6 metros bajo el nivel del mar donde se ubicará la cámara de captación en la cuenca marina donde hay menos vida, es así que la bomba llevara a cabo la extracción del agua hacia la planta para su posterior proceso.

El agua ya captada en la planta se procede a realizar un pre-tratamiento de separación de impurezas tales como: (bacterias, arena, lodo, aceites y plancton), para dejarla a punto para el siguiente proceso que se deriva en químico y físico donde se filtra el agua con capas de arena y antracita que retienen las partículas de menor tamaño, al realizar esta filtración él agua solo contiene sal, posteriormente se precede a ejecutar una micro filtración para dirigirse al proceso de **Osmosis Inversa**.

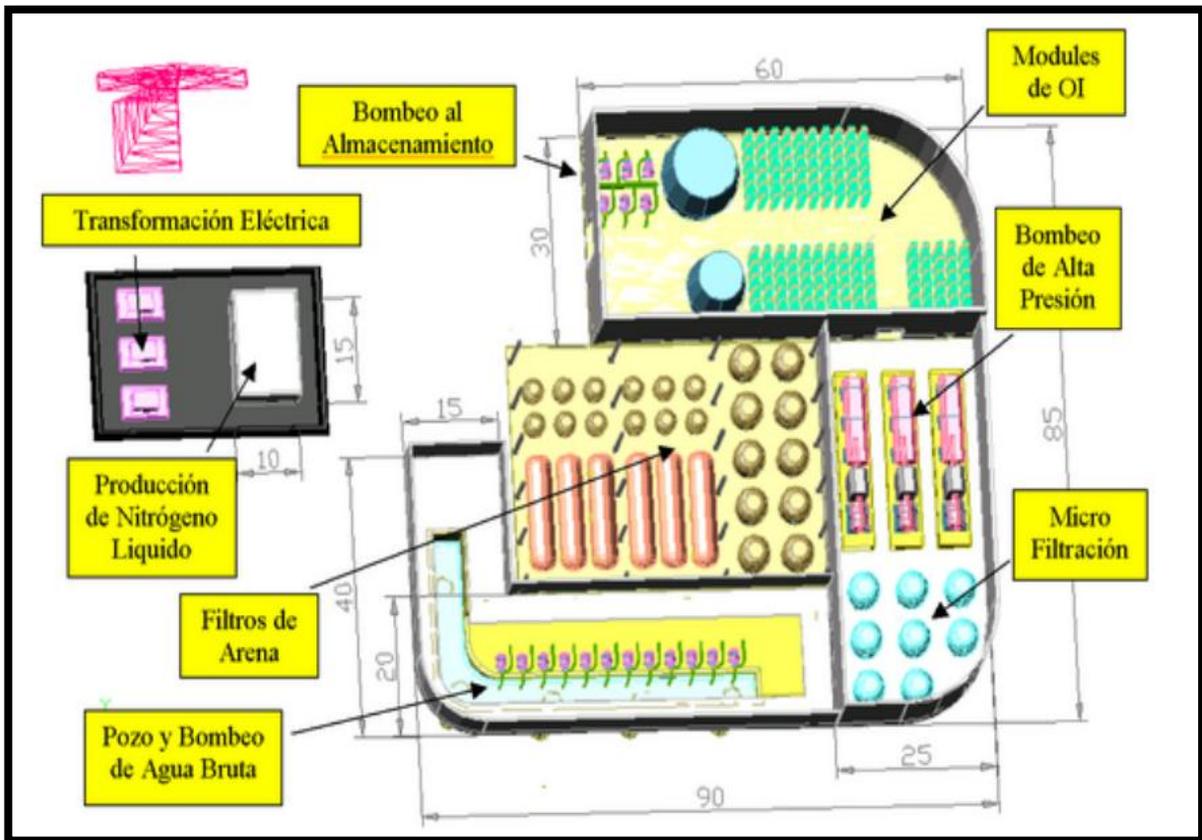


Figura 2.4. Método de desalinización de agua de mar – (fuente: Lanzarote-medio-sistema)

Ejerciendo una alta presión se impulsa el agua a las membranas semipermeable que retienen las partículas de sal del agua, una vez realizado el proceso de desalación del agua se recoge en una tubería central de la membrana.

Por cada 2 litros de agua de mar, se obtiene 1 litro de agua dulce y 1 litro con una concentración de sal dos veces mayor llamada (salmuera) esta concentración es devuelta al mar a una mayor profundidad aproximadamente 12.5m. Con una longitud de 500m del borde costero evitando así daños al entorno natural esta tubería tendrá 8 difusores para así ayudar a la dilución de la sal. Adicional a esto la temperatura de la salmuera deberá ser igual a la temperatura del mar.

Una vez realizado el proceso de desalación si se desea potabilizar el agua se remineraliza añadiendo (Tabla 2) sales minerales para que sea apta para el consumo humano.

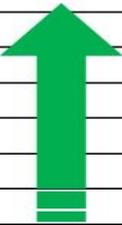
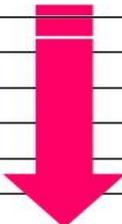
Sustancia	Concentración máxima (mg/L o ppm)	Toxicidad
sólidos totales disueltos	500	Menos tóxico
cloruro	250	
sulfato	250	
nitrato	45	
zinc	5	
fluoruro	2	
bario	1	
cobre	1	
hierro	0,3	
cianuro	0,2	
compuestos orgánicos	0,2	
arsénico	0,05	
cromo	0,05	
plomo	0,05	
manganeso	0,05	
plata	0,05	
cadmio	0,01	
selenio	0,01	

Tabla 2.2. Sustancias Permitidas en el agua potable (Fuente: blog.pucp.edu.pe)

<b>Previsión de costos de desalinización para proyectos medianos y grandes</b>			
Parámetros para las mejores plantas de desalinizadoras en su clase	<b>Dentro 2016</b>	<b>Dentro de 5 años</b>	<b>Dentro de 20 años</b>
Costo de agua (US\$/m <sup>3</sup> )	0.8 – 1.2	0.6 – 1.0	0.3 – 0.5
Costo de construcción (US\$/MLD)	1.2 – 2.2	1.0 – 1.8	0.5 – 0.9
Uso de energía eléctrica (kWh/m <sup>3</sup> )	3.5 – 4.0	2.8 – 3.2	2.1 – 2.4
Productividad de la membrana (m <sup>3</sup> /membrana)	28 - 47	35 -55	95 - 120

Tabla 2.3. Proyección de OI dentro de 20 años (Fuente: Asociación Internacional Del Agua)

Desde el punto de vista de la interdependencia, la osmosis inversa presenta una clara ventaja al fusionarse con una estación eléctrica, ya que pueden ser bastante independientes las ofertas y demandas externas de agua y electricidad, debido a que la energía eléctrica que necesita la planta de Osmosis Inversa puede ser suministrada por una fuente externa. Esta ventaja ayuda a compensar los inconvenientes derivados del consumo energético en comparación con otros métodos que no requieren tanto consumo, esto está asociado a uno de los componentes clave de la planta desaladora y su método: las membranas de osmosis inversa.

## CAPITULO 3. Estimación de Caudal

### 3.1 Demanda de agua industrial

La mina Elenita se encuentra a 47 km al noroeste de Baquedano en la Región de Antofagasta.

La mina de cobre Iván-Zar, ubicada a 40km del Norte de Antofagasta.

Sierra Miranda está ubicada en la II región Antofagasta 70 Km al Noreste.

Minera Mantos Blancos se ubica en la Región de Antofagasta a 45 kilómetros al Noreste y a 800 metros sobre el nivel del mar.



Figura 3.5. Ubicación de las minas (Fuente – Mapa Minero de Chile)

### Consumos de Agua por día – DGA (Dirección General de Agua) octubre 2018

Se eligieron estas 4 minas debido a su ubicación geográfica ya que se encuentran a una distancia muy cercana a la planta desalinizadora, en las costas de Mejillones como se indica en la (figura 3.5.)

El objetivo es obtener una producción de  $15000 \text{ m}^3$  al día de agua industrial, por ende, se va a diseñar una planta desalinizadora de agua con régimen continuo, ya que las membranas que se van a utilizar necesitan estar contantemente húmedas.

Los datos obtenidos para los siguientes cálculos de destacan en la DGA de cada una de estas minas, la información que nos brinda está en l/s (litros por segundo) por ello se realizaron los siguientes cálculos para convertirlos en  $\text{m}^3$  y los resultados son los siguientes:

$$\text{Mina IVAN} = 23,6 \text{ l/s} \longrightarrow 23,6 \frac{\text{l}}{\text{s}} * \frac{86.400 \text{ s}}{\text{Dia}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \longrightarrow 2.039 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Mina Sierra Miranda} = 8,5 \text{ l/s} \longrightarrow 8,5 \frac{\text{l}}{\text{s}} * \frac{86.400 \text{ s}}{\text{Dia}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \longrightarrow 734,4 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Mina Mantos Blancos} = 127 \text{ l/s} \longrightarrow 127 \frac{\text{l}}{\text{s}} * \frac{86.400 \text{ s}}{\text{Dia}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \longrightarrow 10.973 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$\text{Mina Elenita} = 20 \text{ l/s} \longrightarrow 20 \frac{\text{l}}{\text{s}} * \frac{86.400 \text{ s}}{\text{Dia}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ l}} \longrightarrow 1.728 \text{ m}^3/\text{día}$$

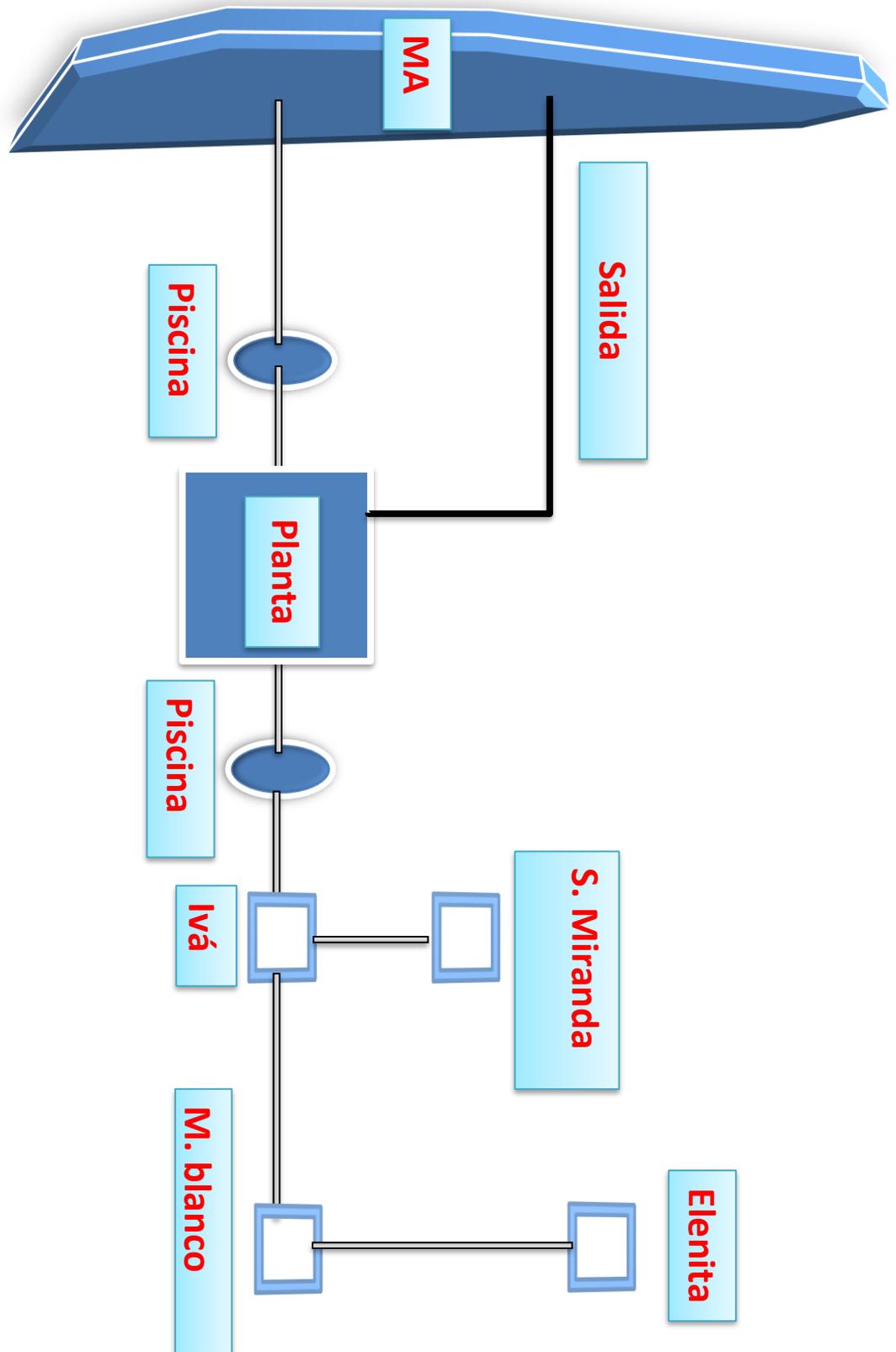


Figura 3.6. Plano General de todo el proceso (Fuente: Elaboración Propia)

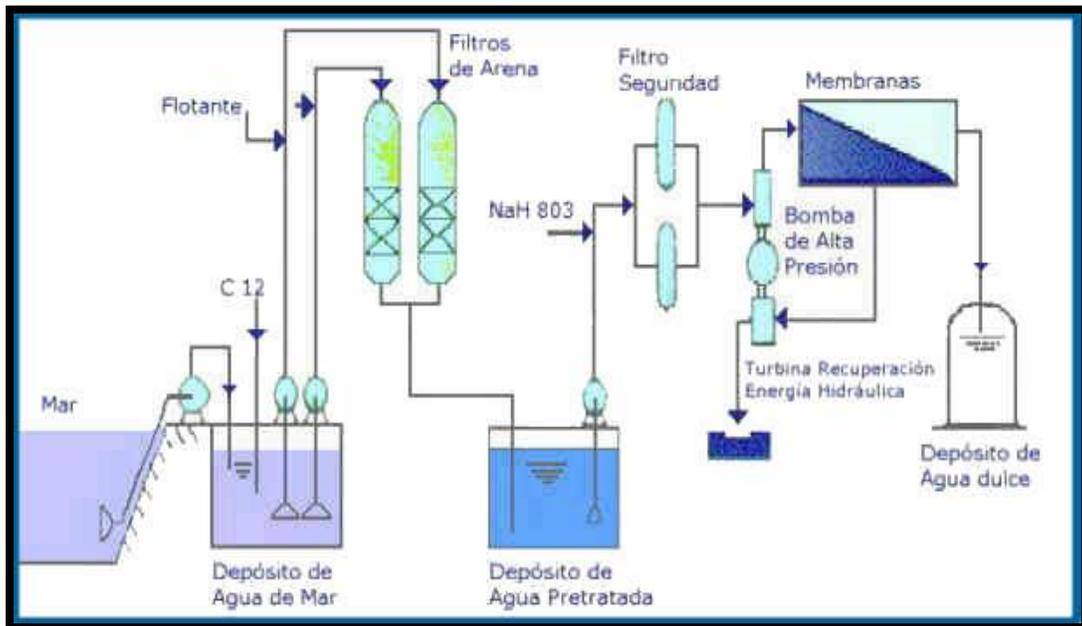


Figura 3.7. Método de desalinización de agua de mar – (fuente: Lanzarote-medio-sistema)

### 3.2. Ubicación de la planta

Esta planta desaladora estará ubicada en el II Región del Norte de Chile en la comuna de Mejillones.

Se ha estimado que la planta desaladora requiere de una superficie de 87,000 m<sup>2</sup>, y estará ubicada en las coordenadas UTM (7443752 N (y) – 348997 E(x), a 1 km de distancia de la costa en la comuna de Mejillones (Figura 3).



Figura 3.8. Ubicación de la Planta desalinizadora (Fuente: Google Earth)

## CAPÍTULO 4. Desarrollo del Proyecto

### 4.1 Captación

La planta desalinizadora que se va a diseñar para el proceso de osmosis inversa con un 45% de recuperación de agua de mar, por lo tanto, para cumplir con el objetivo requerido de  $15000m^3$  de agua industrial, se debe captar lo siguiente:

$$Q_c = \frac{Q_p}{r}$$

Siendo:

*$Q_c$ : Caudal captado,  $m^3$ /día*

*$Q_p$ : Caudal de agua industrial,  $m^3$ /día*

*$r$ : Rendimiento del proceso, %*

$$Q_c = \frac{15000m^3}{0.45} = 33333.33 m^3/día$$

#### 4.1.1. Torre de toma

Obteniendo en cuenta estos datos, se va a optar por la captación por toma abierta, la torre de toma se va a diseñar con las siguientes características:

La torre de toma es una estructura de hormigón armado instalada a 4 metros de profundidad y a 200 metros de la costa hacia el mar, en la que se colocaran rejillas para evitar el ingreso de partículas y/u objetos más grandes. La instalación de la torre se debe emplazar sobre el fondo rocoso.

La torre debe de captar agua, pero sin interferir la flora y fauna de su contexto. Para eso se sitúan las rejillas en los laterales de la torre.

La velocidad de captación del agua no debe superar a los 1.8m/s, para asegurar un flujo laminar y horizontal, a esta velocidad se minimiza el arrastre de algas que puedan taponear las rejillas, esto también ayuda a que los peces pequeños que entren en la zona de arrastre pueden escapar sin esfuerzo.



Figura 4.9. Torre de Toma de Agua de mar (Fuente: Saneamientos Marítimos torres-de-toma)

## 4.2. Emisario submarino

La conducción del agua del mar, desde la torre de toma hasta la Piscina de captación (1), se llevará a cabo mediante un emisario submarino:

El emisario se construirá en polietileno de alta densidad (HDPE), se elige este material porque es resistente a la corrosión y es poco propenso a ser colonizado por la fauna marina. Para su diseño hay que tener en cuenta que el nivel de agua en la cámara de captación debe mantenerse constante.

Para una producción de **15000 m<sup>3</sup>/día** de agua, la cámara de captación debe bombear un caudal de **33.333,33 m<sup>3</sup>/día** y con diámetro de tubería de 0,60 m  $\approx$  24”



Figura 4.10. Torre de Captación (Fuente: sistemas-captación-desaladoras-agua-mar)

Se comprobará si es factible instalar una tubería de estas características:

Desarrollando la Ecuación de Bernoulli:

$$h_1 + \left(\frac{v_1^2}{2 \cdot g}\right) + \left(\frac{P_1}{\rho \cdot g}\right) = h_2 + \left(\frac{v_2^2}{2 \cdot g}\right) + \left(\frac{P_2}{\rho \cdot g}\right) + \sum H$$

$$h_1 = h_2 + \sum H$$

$$h_2 = - \sum H$$

La cámara de captación deberá estar por debajo del nivel del mar y la altura viene dada por las pérdidas de carga que se produzcan en la tubería. Se procede entonces a calcular dichas pérdidas de carga:

Número de Reynolds:

$$R_e = \frac{V_s \cdot D}{\nu}$$

Dónde:

$R_e =$  Número de Reynolds

$\nu =$  Velocidad máxima, m/s

$\mu =$  Viscosidad, Kg/m . s

$D =$  Diametro

Sustituyendo:

$$R_e = \frac{1.8 * 1}{0.001} = 1800$$

$$D = 4 * \frac{\pi * \left(\frac{0,6}{2}\right)^2}{2\pi \left(\frac{0,6}{2}\right)} = 0,6 \text{ m}$$

$$D = 4 * \frac{\pi * \left(\frac{1}{2}\right)^2}{2\pi \left(\frac{1}{2}\right)} = 1 \text{ m}$$

$$Re = \frac{0,15 * 1}{0,001} = 0,15 * 10^3 = 150 \quad \phi = 1 \text{ m}$$

Perdida de carga (**Hazen-Williams**)

$$H = 10.643 * Q^{1,85} * C^{-1,85} * d^{-4,87} * L$$

$$H = 10.643 * \left(0,386 \frac{m^3}{s}\right)^{1,85} * 150^{-1,85} * (1)^{-4,87} * 200$$

$$H = 0,0344$$

Perdida de carga (**Colebrook**)

$$\Delta P = f * \frac{10\delta}{d2g} v^2 * L \left(\frac{kgf}{cm^2}\right)$$

Si  $Re < 2000$

$$\Delta P = f * \frac{64}{Re} = \frac{64}{1800} = 0.0356$$

Sustituyendo:

$$\sum F = \frac{0.10753 * 200 * 1.8^2}{2 * 1000 * 9.8} = 3,55m \approx 4m$$

Con el diámetro de 1m y una velocidad de 1.8 m/s la cámara se deberá situar a 4m por debajo del nivel del mar, siendo completamente viable.



Figura 4.11. Piscina de captación (Fuente: eficiencia-hídrica-en-la-minería)

### 4.3. Piscina de Captación

La piscina de captación es el lugar donde se almacenará el agua de mar para ser posteriormente bombeada a la planta.

La primera sección servirá para que la entrada del agua procedente del emisario para que no se produzca una alteración en el agua ya depositada. En la siguiente sección se situarán las bombas de captación que serán las encargadas de bombear el agua hacia la planta desalinizadora, se colocarán unas rejillas para evitar el paso de partículas más grandes.

### 4.4. Vertido de Salmuera

Dada la ubicación de la planta, con una caída de 41 m sobre el nivel del mar se va a producir el traslado de salmuera, hacia el mar.

La tubería tendrá las mismas características que el inmisario de agua de mar, es decir será de polietileno de alta densidad (HDPE) y tendrá un diámetro de 0,60 m.

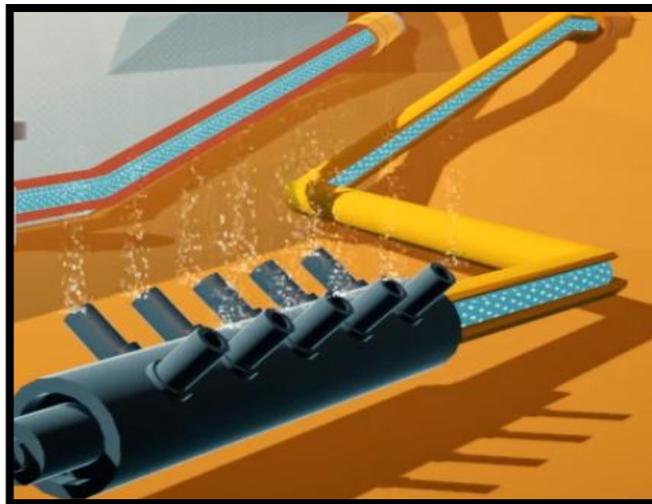


Figura 4.12. Difusores de salmuera (Fuente: elaboración propia)

## 4.5. Bombas y Tuberías

### 4.5.1 Material

El material que se va usar para todas las tuberías de la planta hacia los puntos de abastecimiento serán de plástico reforzado por fibra de vidrio, debido a su extrema resistencia a la corrosión y al desgaste.

### 4.5.2 Explicación de los cálculos:

$$Sección = \frac{Q}{v}$$

Dónde:

$$Sección, m^2$$

*Q*: Caudal a tratar, m<sup>3</sup>/h

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Sección}{\pi}}$$

*D*: Diámetro, m

$$Sección, m^2$$

Para calcular la potencia de la bomba se va a emplear la ecuación.

$$P = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{367 \cdot n_b}$$

Adicionalmente se considerará un rendimiento de los motores del 95%

$$P_R = \frac{P}{n_m}$$

Dónde:

*P: Potencia de la bomba, Kw*

*P<sub>R</sub> = Potencia a suministrar a la bomba, Kw*

*Q: caudal de agua a bombear, m<sup>3</sup>/h*

*H: Altura manométrica, m*

*ρ: Densidad,  $\frac{Kg}{l}$ ; para el agua de mar  $\rho = 1.027Kg/l$*

*n<sub>b</sub>: Rendimiento de la bomba*

*n<sub>m</sub>: Rendimiento del motor*

Des estas fórmulas falta conocer la altura manométrica, ya que la densidad del agua de mar es conocida y para las bombas se va a suponer un rendimiento del 85%. Por lo tanto, se procede a calcular la altura manométrica con la siguiente ecuación:

$$H = \Delta Z + \sum F \cdot \Delta P$$

Dónde:

*H: Altura manométrica, m*

*ΔZ: Diferencia de cotas, m*

$$\sum F : \text{Sumatorio de pérdidas de carga, } m$$

$\Delta P$ : Diferencia de presión,  $m$

El sumatorio de las pérdidas de carga se calculará sumando todas las pérdidas de carga debidas a equipos y a la circulación por las conducciones.

Para el cálculo de las pérdidas de carga debidas a la circulación por las conducciones se utilizará la conocida como la ecuación de Fanning.

Dónde:

$$\sum F = \frac{f \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot D \cdot g}$$

Dónde:

$$\sum F = \text{Pérdidas de carga por circulación, } m$$

$f$  = Coeficiente de rozamiento

$L$  = Longitud,  $m$

$v$  = Velocidad,  $m/s$

$D$  = Dámetro,  $m$

$g$  = Gravedad,  $m/s^2$

Esta ecuación tiene la peculiaridad de que incógnita, el coeficiente de rozamiento, se encuentra en ambos lados de la ecuación, se ha escrito un pequeño script para resolver la ecuación con el software Matlab que se añadirá al documento en forma de anexo.

Además, para resolver esta ecuación, se tiene que calcular el número de Reynolds, cuya fórmula es:

$$R_e = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\mu}$$

Dónde:

$R_e = \text{Número de Reynolds}$

$\rho = \text{Densidad del agua, } \frac{Kg}{m^3}, \text{ para el agua de mar } 1020 \text{ kg/m}^3$

$v = \text{Velocidad máxima, m/s}$

$D = \text{Diámetro, m}$

$\mu = \text{Viscosidad, } \frac{Kg}{m} \cdot s, \text{ para el agua de mar } 0.001 \text{ Kg/m} \cdot s$

Así pues, el camino a recorrer para calcular la potencia de la bomba es el siguiente:

- ❖ Calculo de la sección y diámetro de la tubería.
- ❖ Calculo de número de Reynolds.
- ❖ Calculo del factor de rozamiento con la ecuación de Colebrook – White.
- ❖ Calculo de las pérdidas de carga por conducción con la ecuación Hazen-Williams
- ❖ Calculo de la altura manométrica teniendo en cuenta las pérdidas de carga por conducción y equipos, así como la diferencia de cotas.
- ❖ Calculo de la potencia de la bomba.
- ❖ Calculo del consumo de la bomba.

## **4.6. Descripción del Proyecto**

### **4.6.1. Criterios de diseño**

Los criterios de un diseño proporcionan un marco para diseñar un sistema eficiente que sea capaz de trasegar el agua industrial desde la planta desalinizadora hasta las mineras, debe ser capaz este diseño de proteger el entorno social y ambiental.

La contribución de este proyecto es de darle uso a el agua industrial previamente desalinizada y disminuir en lo posible el uso de las aguas frescas (aguas de las napas subterráneas) en el sector, para no agotar las pocas reservas de los acuíferos que quedan en la actualidad.

#### **Los criterios a considerar:**

- Criterio de diseños hidráulicos.
- Criterio sobre el servicio público que se pueda proporcionar.
- Criterio de diseños ambientales.

#### **Criterio de diseños hidráulicos.**

##### **Se posen dos principios a seguir:**

- Asegurar que no se producen daños a personas ni bienes en las zonas aledañas a la tubería.
- Asegurarse que no produzcan efectos no deseados en los alrededores (especies del sector, flora, etc.)

### **Criterio de diseños ambientales.**

Maximizar el valor ecológico que pueda proporcionar una contribución importante en la mejoría de la diversidad biológica ya que pueda facilitar el movimiento de la flora y no afectar el entorno natural<sup>1</sup>.



Figura 4.13. Tuberías en la cordillera (Fuente: [www.o-tek.com/proyectos](http://www.o-tek.com/proyectos))

---

<sup>1</sup> Imagen referencial de la tubería a instalar desde la planta hacia la mina, donde se va a trasegar el agua industrial.

El sistema a utilizar será el de rebombeo como lo muestra en la (figura: 4.14)

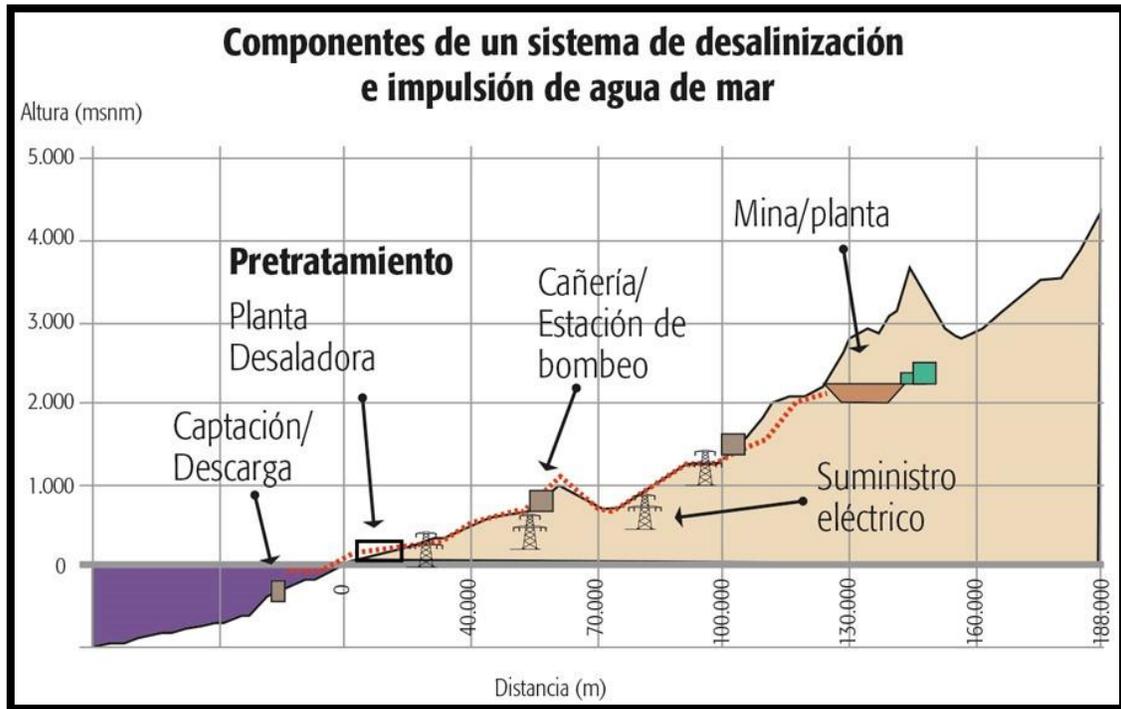


Figura 4.14. Impulsión de agua de mar (Fuente: mch.cl)

Se podrá tener una mejor comprensión del diseño que se utilizara al distribuir el agua industrial a las distintas minas anteriormente mencionadas, en la (figura 4.16 y 4.18) donde se encuentran las distancias que existen entre la planta desalinizadora y los puntos de abastecimiento en las plantas procesadoras, incluyendo sus respectivas cotas.

El consumo de energía en la desalinización de agua de mar (por ósmosis inversa) representa un tercio del costo total del proceso, lo que, dependiendo de la capacidad de tratamiento de la planta desaladora, tendría un costo total que oscila entre los 0,6 y 1,2 US\$/m<sup>3</sup> (Revista Electricidad, 2014). Ahora bien, de acuerdo a un análisis hecho por el Consejo Minero, en base a datos proporcionados por Wood Mackenzie, CRU Group y Mckinsey (2013), se indicó que en promedio las firmas pagan US\$ 5 por m<sup>3</sup> de agua de mar desalada puesta en la mina, mientras que la misma unidad de agua fresca costaba US\$ 1,6 (Nueva Minería, 2013). Por tanto, debido al alto costo energético, el costo de la desalinización en Chile es dos veces más caro que en Estados Unidos, país en donde costaba solo US\$2,3 el m<sup>3</sup>, mientras que costo ascendía a US\$2,8/ m<sup>3</sup> en México (Mining 2014).

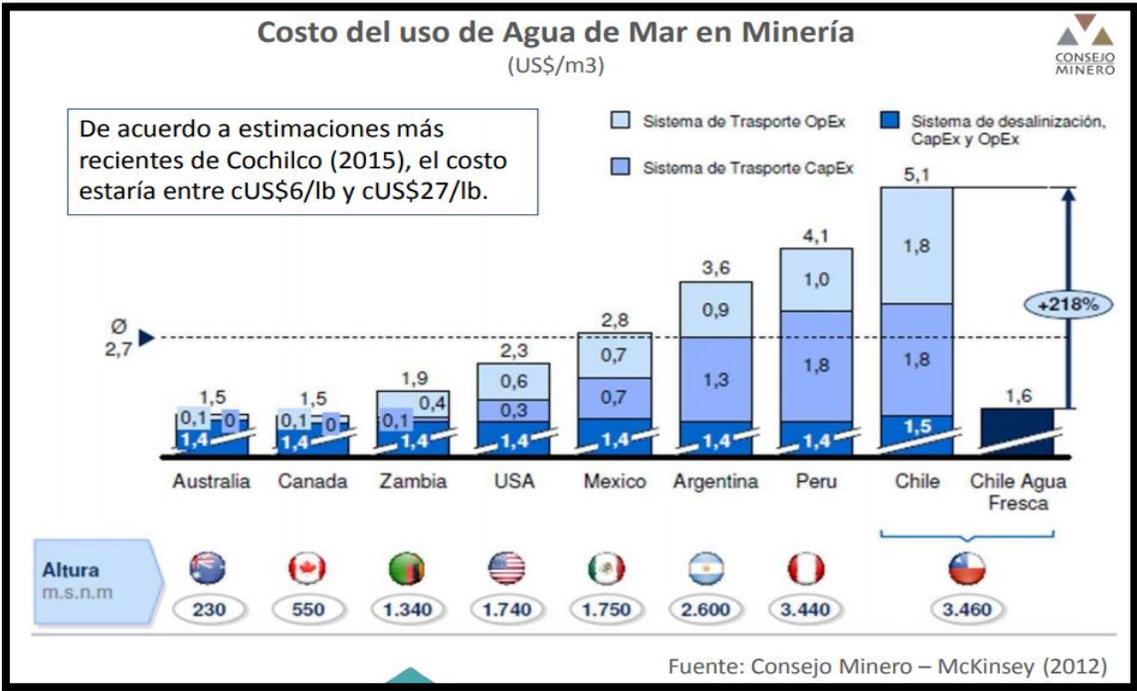


Figura 4.15. Costo de uso de agua de mar (Fuente: Consejo Minero 2016)

Como es de esperar, el metro cúbico de agua desalada tiene un costo menor si está en la costa (US\$ 1), y sube conforme se bombea hacia el interior. En zonas de altura, donde están varias mineras, puede llegar a costar entre US\$ 8 y US\$ 10 /m<sup>3</sup> (Economía y Negocios, 2015). En el 2016, el Consejo Minero indicó que estaría en torno a US\$ 5 por m<sup>3</sup>, lo que es más de tres veces el costo de fuentes continentales (Consejo Minero, 2016). A futuro se prevé que los avances tecnológicos reducirán el costo del agua desalinizada en un 20% en los próximos cinco años y en un 60% en los próximos 20 años convirtiéndolo en un competidor viable y rentable para la producción de agua (International Water Association, 2017).

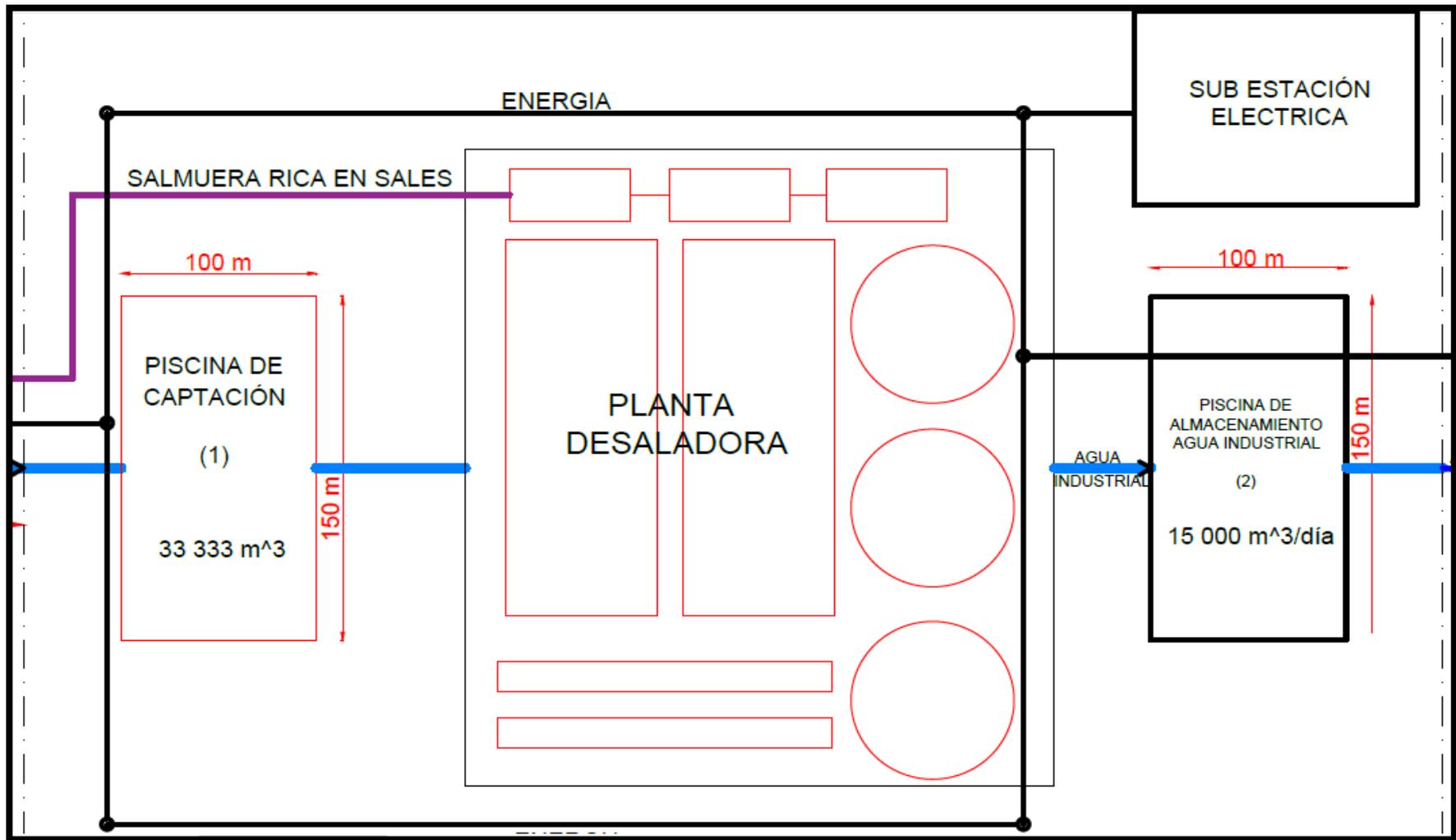


Figura 4.16. Plano de Planta desalinizadora (Fuente: Elaboración Propia)

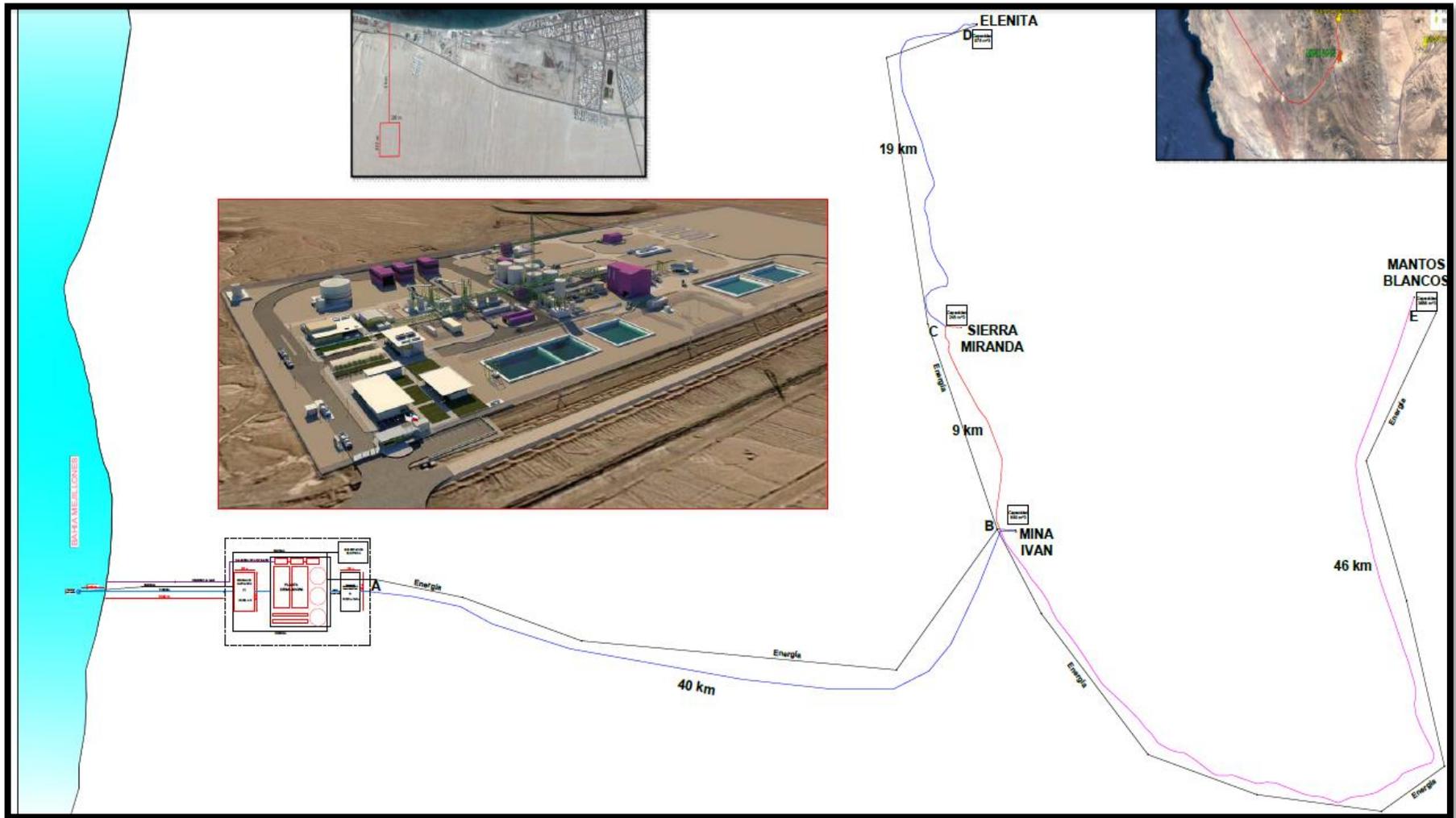


Figura 4.17. Plano de red de distribución (Elaboración Propia)

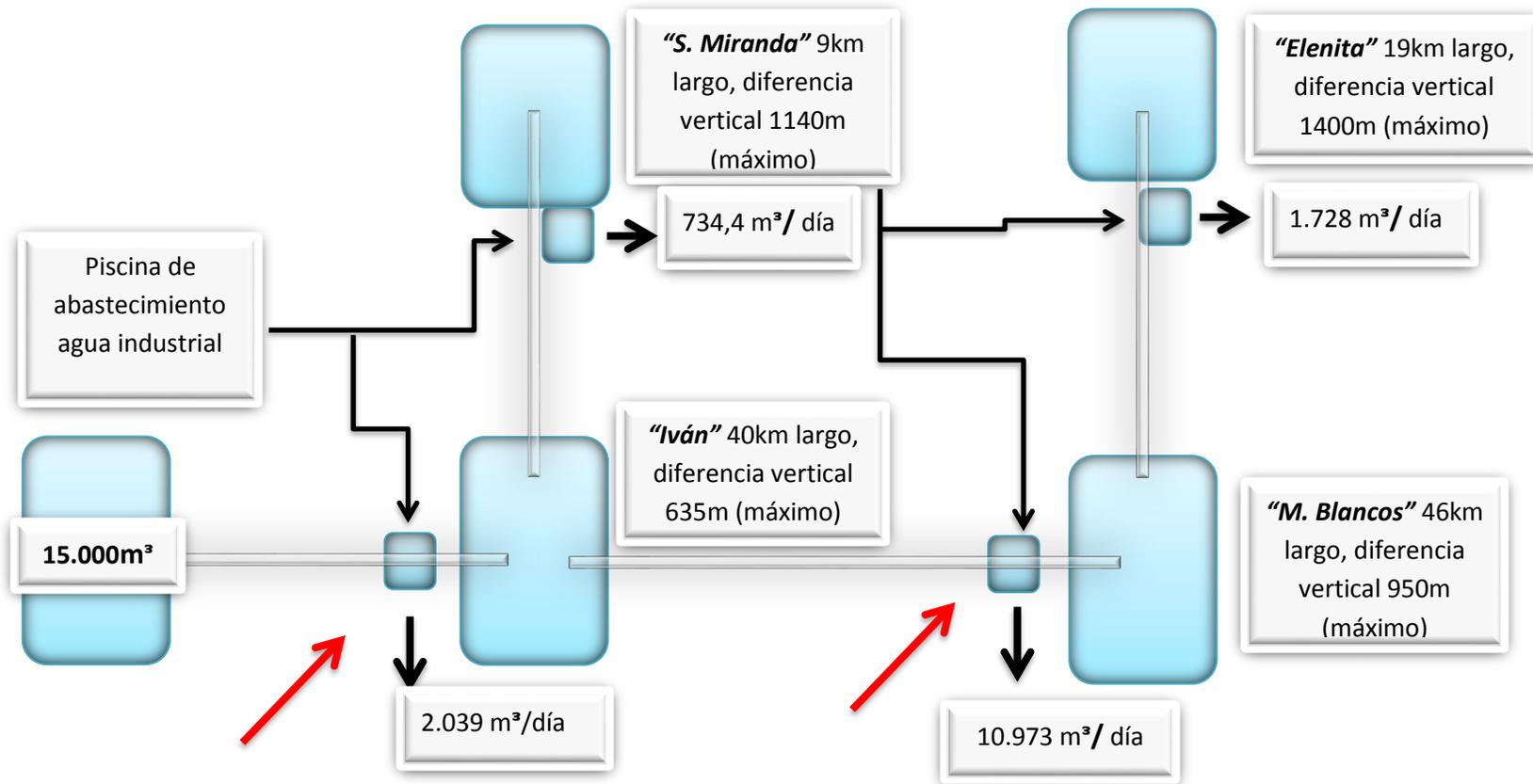


Figura 4.18. Piscinas de Abastecimiento (Fuente: Elaboración Propia)

## CAPÍTULO 5. Evaluación Económica

### 5.1 Estimación de los costos de inversión del proyecto.

La evaluación económica considera la estimación de la inversión y el costo de operación de la planta, lo que permitirá estimar el precio de venta del m<sup>3</sup> de agua.

RESUMEN PRESUPUESTO Y/O INVERSIÓN						
CAPITULO	RESUMEN					
				US\$		%
01	OBRA CIVIL.....			2.400.000		14,05%
02	EQUIPOS MECÁNICOS.....			6.103.776		35,73%
03	SISTEMAS ELÉCTRICOS.....			3.716.158		21,75%
04	INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL.....			333.801		1,95%
05	INSTALACIONES AUXILIARES.....			780.782		4,57%
06	INSTALACIÓN RED ELECTRICA.....			332.702		1,95%
07	Contingencia 25% de la Inversión Inicial .....			3.416.805		20,00%
				<b>TOTAL EJECUCIÓN</b>		<b>100%</b>
				<b>17.084.024</b>		

Tabla 5.4. Inversión del Proyecto (Fuente: Elaboración propia)

### COSTOS FIJOS

Los costos fijos asociados anualmente al proyecto se pueden considerar los siguientes: Costo de personal, costo de mantenimiento, costo de potencia eléctrica.

#### ➤ Costo de Personal:

Personal	Personal	Costo unitario (US\$/mes)	Costo total (US\$/mes)	Total (US\$/año)
Jefe planta	1	6960,00	6960,00	83.520,00
Subjefe de planta	1	3500,00	3500,00	42.000,00
Seguridad	2	1440,00	2880,00	34.560,00
Operadores	5	1850,00	9250,00	111.000,00
Administrativo	2	1630,00	3260,00	39.120,00
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>	<b>15380,00</b>	<b>25850,00</b>	<b>310.200,00</b>

Tabla 5.5 Costos del Personal (Elaboración: Propia)

➤ **Costos de mantenimiento**

Los costos de mantenimientos se lograron obtener aplicando un porcentaje del costo de inversión.

	<b>Inversión (US\$)</b>	<b>% mantenimiento</b>	<b>Costo US\$/año</b>
Obra civil	2.400.000,00	0,5%	12.000,00
Equipos Mecanicos	10.934.517,00	1,0%	109.345,17
<b>TOTAL (US\$/año)</b>			<b>121.345,17</b>

Tabla 5.6. Costos de mantenimiento (Elaboración: Propia)

➤ **Otros costos fijos**

Estos costos hacen referencia a los siguientes conceptos:

<b>Concepto</b>	<b>Costo (US\$/año)</b>
Gastos de oficina	9000,00
Sistema de Monitoreo	7500,00
Asesoría	8500,00
Seguros Multirriesgos	6000,00
Control medioambiente	25000,00
<b>Total</b>	<b>56000,00</b>

Tabla 5.7. Otros costos fijos (Elaboración: Propia)

## **COSTOS VARIABLES**

Los costos variables están asociados al consumo de energía y sus variaciones en el caudal extraído.

➤ **Energía**

El consumo de energía está en función del caudal de agua, ya que un alto porcentaje del consumo se debe a las bombas de impulsión del agua.

El costo del kW hora se estima en 0,15 US\$/KWh. Siendo el consumo para la planta y las bombas que van a trasegar el fluido

Consumidor	N° equipos operando en paralelo	Potencia unitaria (Kw)	Horas/día de funcionamiento (h/día)	(KW/día)	(KW/año)
ABS XFP 250M -CH2	1	168,1	24	4034,40	1.452.384,00
ABS XFP 200M -CH2	1	134,4	24	3225,60	1.161.216,00
MSD-RO	1	10,9	24	261,60	94.176,00
ABS XFP 150 -CH2	2	162,8	24	7814,40	2.813.184,00
ABS XFP 50 -CH2	1	48,5	24	1164,00	419.040,00
ABS XFP 100 -CH2	1	135,1	24	3242,40	1.167.264,00
MEMDOS E/DX 260	1	23,5	24	564,00	203.040,00
MENDOS E/DX 500	1	76,0	24	1824,00	656.640,00
AISI 504L	1	46,5	24	1116,00	401.760,00
IEC 60034-30	1	110,5	24	2652,00	954.720,00
VUPX080	2	80,3	24	3854,40	158.544,00
IEC 60034-30	1	110,1	4	440,40	158.544,00
VUP1201	1	150,1	4	600,40	216.144,00
VUPX0802	1	84,0	8	672,00	241.920,00
MEMDOS E/DX 260	1	20,6	8	164,96	59.385,60
MEMDOS E/DX 260	1	22,5	8	180,08	64.828,80
ABS XFP 50 -CH2	1	49,2	8	393,44	141.638,40

Tabla 5.8. Potencia de Energía (Elaboración: Propia)

Consumo de Enegia de las Bombas		
Concepto	Costo (US\$/mes)	Costo (US\$/anual)
Energia consumida bombas	140.000,00	1.700.000,00
<b>TOTAL (US\$/año)</b>		<b>1.700.000,00</b>

Tabla 5.9. Costo Variable Bombas (Elaboración: Propia)

Consumo de Enegia de Planta desalinizadora		
Concepto	Costo (US\$/mes)	Costo anual (US\$)
Energia por m3 (OI) Planta	270.000,00	3.240.000,00
<b>TOTAL (US\$/año)</b>		<b>3.240.000,00</b>

Tabla 5.10. Costo Variable Planta (Elaboración: Propia)

Costos asocialos a los Recambios del proceso de OI.				
Concepto	Numero de las unidades	Recambio	costo (US\$)	Costo total (US\$ año)
Membranas OI	1260	12%	685	103.572,00
Filtro de anillos	270	1 vez al año	11	2.970,00
Modulo UF	400	4%	1700	27.200,00
Filtros de Cartuchos	80	1 vez al año	17	1.360,00
<b>Total (US\$/año)</b>				<b>135.102,00</b>

Tabla 5.11. Costo Variable Recambio (Elaboración: Propia)

## COSTO DEL M<sup>3</sup> DE AGUA

Para poder calcular el costo del m<sup>3</sup> del agua se ha tenido en cuenta los costos totales anuales como: costo de amortización, costos fijos, costos variables.

Costo anual de Producción	
Concepto	Costo anual (US\$)
Costo de amortización	1.708.402,36
Costos fijos	487.545,17
Costos variables	5.072.326,32
<b>TOTAL</b>	<b>7.268.273,85</b>

Tabla 5.12. Costos totales anuales (Elaboración: Propia)

Considerando que la producción diaria de agua desalinizada es de 15.000 m<sup>3</sup> /día, la cantidad de agua producida anualmente sería de 5.4000.000 m<sup>3</sup>. El costo de producción es de **1,35 US\$/m<sup>3</sup>**.

Costo de Producción 1 m3		
Costo anual de producción	7.268.273,85	US\$
Producción anual de m <sup>3</sup>	5.400.000,00	m3/año
Costo por m3	<b>1,35</b>	US\$/m3

Tabla 5.13. Costo de m<sup>3</sup> (Elaboración: Propia)

## 5.2 Análisis de rentabilidad de la inversión

A continuación se realiza un estudio de la viabilidad económica de la planta, teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Precio medio venta del agua: 4,00 US\$/m<sup>3</sup>. 4 US\$/m<sup>3</sup>
- Amortización: lineal a 10 años. 10 años.
- Costo capital: 17.084.024,00

Para saber si la inversión es rentable será necesario calcular el VAN (Valor Actualizado Neto) y el TIR (Tasa Interna de Rentabilidad). Si el VAN > 0 y el TIR > k, la inversión será rentable. A continuación se muestran las fórmulas empleadas para calcular el TIR y el VAN.

$$VAN = -Inversión + \sum_{i=25}^1 \frac{Flujo\ de\ caja\ año\ i}{(1+k)^i}$$

$$VAN = 0 = -Inversión + \sum_{i=25}^1 \frac{Flujo\ de\ caja\ año\ i}{(1+TIR)^i}$$

Como se puede observar en las tablas de la página siguiente, tanto el VAN como el TIR cumplen los requisitos anteriores, por lo que la inversión es rentable.

Los beneficios totales tras los 10 años de funcionamiento de la planta, según las suposiciones realizadas, serán de 54.843.594,00 US\$, por lo que se considera que el proyecto es muy rentable.

ITEM	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
<b>Ingreso Moneda US\$</b>											
<b>INGRESOS OPERACIONALES</b>		<b>21.600.000</b>	<b>21.600.000</b>	<b>21.600.000</b>	<b>21.600.000</b>	<b>21.600.000</b>	<b>21.600.000</b>	<b>21.600.000</b>	<b>21.600.000</b>	<b>21.600.000</b>	<b>21.600.000</b>
Ventas Locales		21.600.000	21.600.000	21.600.000	21.600.000	21.600.000	21.600.000	21.600.000	21.600.000	21.600.000	21.600.000
<b>COSTOS VARIABLES</b>		<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>
<b>Costo de Producción</b>		<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>	<b>5.072.326</b>
Energía eléctrica de Producción Planta (OI)		3.240.000	3.240.000	3.240.000	3.240.000	3.240.000	3.240.000	3.240.000	3.240.000	3.240.000	3.240.000
Energía eléctrica de Bombas		1.697.224	1.697.224	1.697.224	1.697.224	1.697.224	1.697.224	1.697.224	1.697.224	1.697.224	1.697.224
Recambios del proceso de OI.		135.102	135.102	135.102	135.102	135.102	135.102	135.102	135.102	135.102	135.102
<b>MARGEN CONTRIBUCIÓN</b>		<b>16.527.674</b>	<b>16.527.674</b>	<b>16.527.674</b>	<b>16.527.674</b>	<b>16.527.674</b>	<b>16.527.674</b>	<b>16.527.674</b>	<b>16.527.674</b>	<b>16.527.674</b>	<b>16.527.674</b>
<b>MARGEN CONTRIBUCIÓN %</b>		<b>77%</b>	<b>77%</b>	<b>77%</b>	<b>77%</b>	<b>77%</b>	<b>77%</b>	<b>77%</b>	<b>77%</b>	<b>77%</b>	<b>77%</b>
<b>COSTOS FIJOS</b>		<b>487.545</b>	<b>487.545</b>	<b>487.545</b>	<b>487.545</b>	<b>487.545</b>	<b>487.545</b>	<b>487.545</b>	<b>487.545</b>	<b>487.545</b>	<b>487.545</b>
<b>Costos Producción</b>		<b>392.425</b>	<b>392.425</b>	<b>392.425</b>	<b>392.425</b>	<b>392.425</b>	<b>392.425</b>	<b>392.425</b>	<b>392.425</b>	<b>392.425</b>	<b>392.425</b>
Salarios Producción		271.080	271.080	271.080	271.080	271.080	271.080	271.080	271.080	271.080	271.080
Gastos Generales de Producción		121.345	121.345	121.345	121.345	121.345	121.345	121.345	121.345	121.345	121.345
<b>Costos Administración y Gastos Generales</b>		<b>95.120</b>	<b>95.120</b>	<b>95.120</b>	<b>95.120</b>	<b>95.120</b>	<b>95.120</b>	<b>95.120</b>	<b>95.120</b>	<b>95.120</b>	<b>95.120</b>
Salarios Administración		39.120	39.120	39.120	39.120	39.120	39.120	39.120	39.120	39.120	39.120
Gastos Generales Administración		56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000	56.000
<b>EBITDA</b>		<b>16.040.129</b>	<b>16.040.129</b>	<b>16.040.129</b>	<b>16.040.129</b>	<b>16.040.129</b>	<b>16.040.129</b>	<b>16.040.129</b>	<b>16.040.129</b>	<b>16.040.129</b>	<b>16.040.129</b>
<b>EBITDA %</b>		<b>74%</b>	<b>74%</b>	<b>74%</b>	<b>74%</b>	<b>74%</b>	<b>74%</b>	<b>74%</b>	<b>74%</b>	<b>74%</b>	<b>74%</b>
<b>Depreciación y Amortizaciones</b>		<b>1.708.402</b>	<b>1.708.402</b>	<b>1.708.402</b>	<b>1.708.402</b>	<b>1.708.402</b>	<b>1.708.402</b>	<b>1.708.402</b>	<b>1.708.402</b>	<b>1.708.402</b>	<b>1.708.402</b>
<b>UTILIDAD</b>		<b>14.331.726</b>	<b>14.331.726</b>	<b>14.331.726</b>	<b>14.331.726</b>	<b>14.331.726</b>	<b>14.331.726</b>	<b>14.331.726</b>	<b>14.331.726</b>	<b>14.331.726</b>	<b>14.331.726</b>
<b>INVERSIONES</b>		<b>17.084.024</b>	<b>0</b>								
Obra Civil		2.400.000									
Sistemas Eléctricos		3.716.158									
Inversión en Equipamiento / Maquinaria		7.218.359									
Instalación Red Eléctrica		332.702									
Inversión en Contingencia		3.416.805									
<b>FLUJO DE CAJA NETO</b>		<b>-17.084.024</b>	<b>14.331.726</b>								
<b>FLUJO DE CAJA NETO ACUMULADO</b>		<b>-17.084.024</b>	<b>-2.752.297</b>	<b>11.579.429</b>	<b>25.911.155</b>	<b>40.242.881</b>	<b>54.574.607</b>	<b>68.906.333</b>	<b>83.238.060</b>	<b>97.569.786</b>	<b>111.901.512</b>
											<b>126.233.238</b>

Tabla 5.15. Flujo de caja (Elaboración Propia)

## **CAPÍTULO 6. Conclusiones y Recomendaciones**

### **6.1. conclusiones**

El estudio y desarrollo de este proyecto de pre-factibilidad de la planta desaladora fue un gran desafío debido a la magnitud del mismo y las variables que lo conlleva, se pudo realizar debido a las estadísticas y situación actual en el planeta debido a la gran necesidad de este recurso hídrico que afecta día a día a la industria de la minería.

Una de las ventajas de desalar agua de mar es que el abastecimiento de agua no depende de las condiciones climáticas, del hecho que llueva más o menos. Los ríos no se pueden considerar fuentes inagotables de agua. Además, si se plantea sobreexplotarlos con transvases, el costo de las obras de canalización y de bombear agua hasta territorios lejanos es elevado. La sobreexplotación de los acuíferos puede tener también consecuencias graves, como la intrusión del agua de mar y la progresiva salinización de los recursos hídricos.

Por medio de la DGA se pudo determinar el volumen a considerar para poder proveer a los clientes un caudal necesario para su producción diaria.

Debido a ello se estableció la producción de la planta que serían 15000 m<sup>3</sup>/día para suplir los requerimientos de las minas en sus distintos procesos con el agua industrial.

Por medio de mapas y aplicaciones como el Google Earth se pudo proporcionar los datos necesarios y así diseñar una red de distribución a los distintos puntos donde se encuentra las faenas Mineras en la comuna (Mejillones).

Una vez obtenido estos datos se elaboró un plan para poder evaluar los costos asociados a la desalinización del agua de mar y su respectiva distribución, entendiendo todo esto se creó un flujo de caja tomando en cuenta muchas variables (costos fijos, variables y otros costos asociados), donde se pudo determinar un costo de producción de 1,35 US\$/m<sup>3</sup> debido a las

grandes distancias que recorrerá este fluido y al gran consumo de energía se determinó un costo de venta de 4 US\$/m<sup>3</sup>.

El costo de producción anual será de **7.268.273,85** US\$ con el costo de venta se obtendrá **21.600.000** US\$ generando una ganancia neta de **14.331.726** US\$ el primer año, recuperando mi inversión y obteniendo una gran utilidad.

Se puede establecer claramente que este proyecto es muy rentable, y se recomienda realizarlo ya en la actualidad provee un gran margen de ganancia, en unos años cuando valla mejorando la tecnología bajando los costos de producción será aún más rentable.

## **6.2. Recomendación.**

Como recomendación es poder determinar si hay mejores opciones como la transvases en la actualidad para poder desalinizar el agua de mar.

Como fue mencionado anteriormente la cantidad de agua de mar en el planeta es exorbitantes, las estadísticas indican que la gran demanda de agua ira en aumento con el pasar de los años, no disminuirá, sabiendo esto y la eficiencia que genera por medio de este método la cual se podrá obtener agua desalada y así disminuir el consumo de las aguas frescas que son de consumo para las poblaciones.

¿Es recomendable dejar las costas con un nivel alto de salmuera?

¿Sera que estamos afectado y trasformando nuestro ecosistema para las generaciones futuras?

¿Estamos pensando en generar un beneficio actual sin pensar en las consecuencias en 50 o 100 años más?

¿El planeta resistirá estos cambios o se defenderá?

## 9. Referencias Bibliográficas

[https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18530/TESIS\\_CABERO\\_GARCIA\\_JULEN.pdf;jsessionid=ED588DEA8E925A29A0E9BE5BCB990A03?sequence=1](https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/18530/TESIS_CABERO_GARCIA_JULEN.pdf;jsessionid=ED588DEA8E925A29A0E9BE5BCB990A03?sequence=1)

<http://catastro.sernageomin.cl>

[https://www.google.cl/maps/place/Mejillones,+Regi%C3%B3n+de+Antofagasta/@-](https://www.google.cl/maps/place/Mejillones,+Regi%C3%B3n+de+Antofagasta/@-23.1315542,-)  
[23.1315542,-](https://www.google.cl/maps/place/Mejillones,+Regi%C3%B3n+de+Antofagasta/@-23.1315542,-)

[70.5031973,13z/data=!4m5!3m4!1s0x96ae084031da81d3:0x479170445923cbad!8m2!3d-](https://www.google.cl/maps/place/Mejillones,+Regi%C3%B3n+de+Antofagasta/@-23.1315542,-70.5031973,13z/data=!4m5!3m4!1s0x96ae084031da81d3:0x479170445923cbad!8m2!3d-23.0985013!4d-70.4455041?hl=es-419&authuser=0)  
[23.0985013!4d-70.4455041?hl=es-419&authuser=0](https://www.google.cl/maps/place/Mejillones,+Regi%C3%B3n+de+Antofagasta/@-23.1315542,-70.5031973,13z/data=!4m5!3m4!1s0x96ae084031da81d3:0x479170445923cbad!8m2!3d-23.0985013!4d-70.4455041?hl=es-419&authuser=0)

<http://www.sonami.cl/site/mapaminero/#close>

<https://www.vix.com/es/btg/curiosidades/7616/que-porcentaje-del-planeta-tierra-es-agua>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%B3n\\_de\\_Antofagasta](https://es.wikipedia.org/wiki/Regi%C3%B3n_de_Antofagasta)

<http://www.tecpa.es/las-3-desaladoras-mas-grandes-del-mundo/>

<https://www.argentina-excepcion.com/es/mapas-argentina/mapas-noroeste-argentino/mapa-noroeste-y-atacama>

[https://www.google.cl/search?q=concesi%C3%B3n+minera&rlz=1C1CAFA\\_enCL604CL6](https://www.google.cl/search?q=concesi%C3%B3n+minera&rlz=1C1CAFA_enCL604CL610&oq=consecion+m&aqs=chrome.1.69i57j0i5.4609j1j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)  
[10&oq=consecion+m&aqs=chrome.1.69i57j0i5.4609j1j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.cl/search?q=concesi%C3%B3n+minera&rlz=1C1CAFA_enCL604CL610&oq=consecion+m&aqs=chrome.1.69i57j0i5.4609j1j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8)

[https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93smosis\\_inversa](https://es.wikipedia.org/wiki/%C3%93smosis_inversa)

<https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region2/clima.htm>

<https://es.wikipedia.org/wiki/Mejillones>

<https://fundajesed.wordpress.com/2016/03/25/composicion-quimica-del-agua-de-mar/>

[https://es.wikipedia.org/wiki/Sal\\_marina](https://es.wikipedia.org/wiki/Sal_marina)

<http://www.mch.cl/2007/09/21/los-extranos-nombres-de-los-yacimientos-mineros/#>

<http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=173478>

<http://www.pulso.cl/empresas-mercados/los-plazos-juan-sutil-darle-vida-la-carretera-hidrica/>

[https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/329304/INFORME\\_FINAL\\_MERCURIO.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/329304/INFORME_FINAL_MERCURIO.pdf)

<http://www.economiaynegocios.cl/noticias/noticias.asp?id=173478>

## 7. ANEXOS

### Cálculo de Bombas.

#### 1. Cálculos

##### 1.1 Bomba de Captación

Son encargadas de promover el agua de mar desde la captación hasta la primera piscina.

Para efectos del cálculo de la potencia de estas bombas se van a emplear los siguientes datos.

$$\text{Longitud} = 1200m$$

$$\text{Altura sobre el nivel del mar hacia la costa} = 41m$$

$$\text{Profundidad de la cámara} = 4m$$

$$\text{Altura total} = 4m + 4m = 8m$$

$$\text{Caudal} = 1400m^3/h$$

$$\text{Velocidad máxima} = 1.8 \frac{m}{s} = 6480m/h$$

Para calcular la potencia real de las bombas:

- i. Cálculo de la sección y diámetro de la tubería

$$\text{Sección} = \frac{1400}{6480} = 0.216m^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 0.216}{\pi}} \approx 24''$$

ii. Cálculo de número de Reynolds

$$R_e = \frac{1.8 * 1}{0.001} = 1800$$

iii. Calculo de las pérdidas de carga por conducción con la ecuación de Fanning

$$\sum F = \frac{0.0121113 * 1200 * 1.8^2}{2 * 0.593 * 9.8} = 4.05 m$$

iv. Calculo de la altura manométrica

$$H = 8 + 4.05 = 12.05m$$

La desigualdad de presión entre cotas es despreciable.

v. Calculo de la potencia de la bomba

$$P = \frac{1800 * 12.05 * 1.02}{367 * 0.85} = 70.92 Kw$$

vi. Calculo del consumo de la bomba

$$P_R = \frac{70,92}{0.95} = 74,65 Kw$$

Se optará por una bomba de estas características, además otra para la reserva para no comprometer el funcionamiento de la planta en caso que falle esta.

## 2. Costo de energía por kilómetro

COSTO POR KILÓMETRO DE LÍNEAS DE ALTA TENSIÓN ( ÁREA NORMAL ) 115 kv						
PESOS DE DICIEMBRE DE 2018						
CARACTERÍSTICAS	MATERIALES Y EQUIPO DE INSTALACIÓN PERMANENTE	MANO DE OBRA CÍVIL Y ELECTRO-MECÁNICA	DISEÑO	SUPERVISIÓN	COSTO TOTAL	RETIRO
115kv-1C-1km-477 ACSR-PT (URBANO) TERRENO NORMAL	\$3,444,885	\$1,424,093	\$76,353	\$100,986	\$5,046,318	\$559,814
115kv-1C-1km-795 ACSR-PT (URBANO) TERRENO NORMAL	\$3,622,294	\$1,424,093	\$76,353	\$100,986	\$5,223,727	\$559,814
115kv-1C-1km-1113 ACSR-PT (URBANO) TERRENO NORMAL	\$3,828,233	\$1,424,093	\$76,353	\$100,986	\$5,429,665	\$559,814
115kv-2C-1km-477 ACSR-PT (URBANO) TERRENO NORMAL	\$4,034,728	\$1,643,106	\$76,353	\$100,986	\$5,855,173	\$669,659
115kv-2C-1km-795 ACSR-PT (URBANO) TERRENO NORMAL	\$4,389,546	\$1,643,106	\$76,353	\$100,986	\$6,209,991	\$669,659
115kv-2C-1km-1113 ACSR-PT (URBANO) TERRENO NORMAL	\$4,801,423	\$1,643,106	\$76,353	\$100,986	\$6,621,868	\$669,659
115kv-1C-1km-477 ACSR-HC (RURAL) TERRENO NORMAL	\$1,047,230	\$641,360	\$95,441	\$126,233	\$1,910,263	\$502,492

Figura 4.19: Costo por kilómetro de red eléctrica (Fuente: Comisión Federal de Electricidad)

## 8. CARTA GANTT

Meses	3 Meses			6 Meses			9 Meses			12 Meses			15 Meses			18 Meses			18 Meses			24 Meses			27 Meses			30 Meses			33 Meses			36 Meses					
	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes	Mes						
ETAPI I																																							
1. Ingeniería Feasibilidad																																							
2. Estudios Ambientales																																							
2.1 Línea Base																																							
2.2 Evaluación de Impactos																																							
2.3 Tramitación permisos																																							
ETAPI II																																							
3. Contrato de ventas																																							
4. Adquisición de equipos																																							
5. Construcción																																							