



**UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA DESALADORA
DE AGUA MARINA PARA LA MINERÍA ALIMENTADA CON ENERGÍA GENERADA
POR UNA PLANTA DE CONCENTRACIÓN SOLAR**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

MARCELO LEONEL MONTES SIÑA

**PROFESORA GUÍA:
MARIA TERESA CORDOVEZ MELERO**

**MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ERIKA GUERRA ESCOBAR
JACQUES CLERC PARADA**

**SANTIAGO DE CHILE
JUNIO 2011**

**RESUMEN DE LA MEMORIA
PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL
POR: MARCELO MONTES S.
FECHA: 07/06/11
PROF. GUÍA: SRA. Ma. TERESA CORDOVEZ**

**PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UNA PLANTA DESALADORA
DE AGUA MARINA PARA LA MINERÍA ALIMENTADA CON ENERGÍA GENERADA
POR UNA PLANTA DE CONCENTRACIÓN SOLAR**

El presente trabajo tiene por objetivo principal la evaluación técnica y económica a nivel de prefactibilidad de una planta desaladora de agua marina con un sistema asociado de suministro del agua desalada para las faenas mineras del norte chileno. La planta y el sistema de abastecimiento serán además alimentados por energía generada por una planta solar térmica.

Del estudio de mercado que se efectuó, se llegó a la conclusión de que el mercado potencial serían los nuevos proyectos mineros de la tercera región del país y que los proyectos sin estudio de impacto ambiental (EIA) serían los miembros del mercado objetivo del proyecto. Por lo tanto se llega a una cartera de clientes compuesta por cinco integrantes con una demanda total peak de 1929 litros por segundo (lps) a partir del séptimo año de operación del proyecto.

Del estudio técnico realizado, se definió que la planta desaladora usaría tecnología de ósmosis inversa, con una capacidad de producción de 2000 litros por segundo de agua desalada. Después se definió el trazado del sistema de abastecimiento hídrico y la potencia que este necesitaría para impulsar el agua hacia los clientes seleccionados. Y por último, se definió que la planta solar usaría tecnología de torre de concentración con una capacidad máxima de generación eléctrica de 144 MW de potencia para el funcionamiento de la planta desaladora y su sistema de impulsión.

Del estudio ambiental se concluyó que se debe solicitar una concesión marítima y de uso oneroso para emplazar el proyecto, y que este debe someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), mediante la redacción de un Estudio de Impacto Ambiental.

De la evaluación económica se llegó al resultado de que, sin financiamiento (100% capital de inversionistas), el proyecto no es rentable debido a que se llega a un valor negativo del VAN de -808,192 millones de dólares y una TIR de 2,33%, al utilizar un precio base del agua de 2,52 US\$/m³, una tasa de descuento de un 15%, y un periodo de evaluación de 20 años. Además se concluyó que el precio es la variable más importante del proyecto ya que sólo con un precio de 4,80 US\$/m³ el VAN comienza a ser positivo, alcanzando un valor de 2,036 millones de dólares y una TIR del 15,03%.

Como el proyecto sin financiamiento externo no arrojó buenos resultados, se procedió a evaluar el proyecto financiado con préstamos bancarios (60% de la inversión financiada por estos) con lo que llegó a un resultado satisfactorio ya que el proyecto se volvió rentable con un VAN positivo de \$397,093 millones de dólares, y una TIR de 22,14%, al utilizar un WACC de 7,5% para una inversión inicial de 1.354 millones de dólares.

Por lo tanto, de los resultados obtenidos, se concluye que este proyecto es viable a nivel de prefactibilidad sólo si el proyecto tiene financiamiento externo del 60% de los costos de inversiones del año 0, por lo que se recomienda comenzar con el estudio de factibilidad si se puede negociar el financiamiento.

Agradecimientos

Doy gracias a todas aquellas personas que me brindaron su apoyo y colaboración durante estos años de formación humana y profesional.

En particular agradezco a Juan Carlos Barros por su apoyo y por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto.

Agradezco a mis profesoras María Teresa Cordovez y a Erika Guerra por sus comentarios y críticas las cuales siempre fueron fundamentales durante el desarrollo de esta memoria.

Agradezco al ingeniero Ricardo Alarcón por su invaluable ayuda para llegar al término de esta memoria.

Agradezco a mi santa madre Lily Siña que ha soportado estoicamente los más de 10 años de estudios universitarios de mi parte, sin jamás quitarme su incondicional y valorable apoyo.

Agradezco a mi querido padre (QEPD) por haber sido un buen padre y darme las fuerzas espirituales para terminar con esta memoria.

Agradezco al sicólogo Willi Schutte y al siquiatra Jorge Mahaluf por su apoyo para sobrepasar la profunda depresión que me envolvió luego de la muerte de mi padre y otro ser querido.

Por último le doy gracias a DIOS por haberme dado la existencia y permitir que pudiera haber conocido a tantas personas maravillosas a lo largo de este proceso.

Índice

| | |
|---|----|
| I. Antecedentes generales | 7 |
| 1. Introducción | 7 |
| 2. Descripción del proyecto y justificación | 8 |
| 3. Objetivos..... | 9 |
| 3.1 Objetivo General | 9 |
| 3.2 Objetivos específicos | 9 |
| 4. Metodología | 9 |
| 4.1 Estudio de industrias desaladora y minera..... | 9 |
| 4.2 Estudio técnico | 10 |
| 4.3 Estudio marco legal | 11 |
| 4.4 Evaluación económica | 11 |
| 5. Alcances..... | 11 |
| 6. Resultados esperados..... | 12 |
| II. Estudio de industrias desaladora y minera..... | 12 |
| 1. Antecedentes de la industria de la desalación..... | 12 |
| 1.1. La industria mundial de la desalación | 12 |
| 1.2. La desalación en Chile..... | 14 |
| 2. Antecedentes de la industria minera chilena | 15 |
| 2.1. Descripción de la industria minera | 15 |
| 2.2. Tamaño de la industria..... | 17 |
| 2.3. Tendencia de la industria | 19 |
| 2.4. Grupo de productores de la industria más importantes | 22 |
| 3. El mercado potencial y el objetivo | 24 |
| 3.1. Elección de la región del mercado potencial | 24 |
| 3.2. Descripción del mercado minero de la región seleccionada | 28 |
| 3.3. Tamaño actual del mercado minero regional..... | 29 |
| 3.4. Tendencias y cambios previstos en el mercado minero regional | 31 |
| 3.5. Determinación y descripción del mercado potencial..... | 33 |
| 3.6. Elección del mercado objetivo | 38 |
| 3.7. La demanda hídrica | 38 |
| III. Estudio Técnico | 39 |
| 1. Estudio técnico planta desaladora | 40 |
| 1.1. Antecedentes de la desalación..... | 40 |
| 1.2. Los métodos de desalación | 40 |
| 1.3. Problema medioambiental derivado de la desalación y su posible gestión | 43 |
| 1.4. Elección de tecnología para la desalación | 44 |
| 1.5. Origen y características de la materia prima | 45 |
| 1.6. El proceso en una planta de Ósmosis Inversa (OI) | 46 |
| 1.7. Localización de la planta | 49 |
| 1.8. La producción de la planta..... | 51 |
| 1.9. El requerimiento energético de la planta | 51 |
| 2. Estudio técnico sistema de abastecimiento hídrico..... | 52 |
| 2.1. Antecedentes del sistema de impulsión | 52 |
| 2.2. El trazado preliminar del sistema | 53 |
| 2.3. El cálculo de la potencia de elevación..... | 54 |

| | |
|--|-----|
| 2.4. La alimentación energética del sistema | 58 |
| 3. Estudio técnico planta solar | 60 |
| 3.1. Principales tecnologías de concentración solar | 60 |
| 3.2. Origen y características de la materia prima | 63 |
| 3.3. Elección de la tecnología de la planta | 63 |
| 3.4. El proceso en una planta de torre de concentración | 66 |
| 3.5. Capacidad de generación de la planta..... | 67 |
| 3.6. Localización de la planta | 69 |
| IV. Estudio Legal..... | 70 |
| 1.1. Aspectos legales del proyecto | 70 |
| 1.2. Aspectos legales de impacto ambiental | 73 |
| V. Evaluación económica..... | 74 |
| 1. Costos de inversión o de capital (CAPEX) | 74 |
| 1.1. Planta desaladora | 74 |
| 1.2. Planta solar | 75 |
| 1.3. Sistema de abastecimiento hídrico | 76 |
| 1.4. Líneas de transmisión | 79 |
| 1.3. Aguas suministradas por una sanitaria | 80 |
| 1.5. Estudio de impacto ambiental | 80 |
| 1.6. Oficinas administrativas | 80 |
| 2. Precio de venta | 80 |
| 3. Ingresos esperados | 81 |
| 4. Costos | 81 |
| 4.1. Costos de la planta desaladora | 81 |
| 4.2. Costos de la planta solar | 82 |
| 4.3. Costos del sistema de abastecimiento..... | 83 |
| 4.4. Costos de las líneas de transmisión | 84 |
| 4.5. Costos por concesión de uso oneroso | 84 |
| 4.6. Costos por concesión marítima | 84 |
| 5. Depreciación de activos fijos | 84 |
| 6. Capital de trabajo | 87 |
| 7. Valor residual..... | 87 |
| 8. Flujo de caja..... | 87 |
| 9. Análisis de sensibilidad caso sin financiamiento | 87 |
| 10. Evaluación económica con financiamiento. | 88 |
| VI. Conclusiones..... | 90 |
| VII. Bibliografía | 91 |
| VIII. Anexos | 92 |
| 1. Producción minera metálica en Chile..... | 92 |
| 1.1. Producción minera metálica anual agregada..... | 92 |
| 1.2. Producción regional minería metálica año 2008 | 93 |
| 1.3. Proyecciones Producción de cobre | 93 |
| 1.4. Proyecciones Producción cobre mina por regiones..... | 94 |
| 1.5. Proyecciones Producción por tipo de cobre..... | 95 |
| 1.6. Principales proyectos mineros a partir del 2014 | 97 |
| 2. Mapa de principales faenas mineras por regiones (I-IV regiones) | 98 |
| 3. Requerimientos de agua en procesos mineros | 102 |
| 3.1. Consumo de agua en la minería del cobre | 102 |

| | |
|--|-----|
| 3.2. Consumo de agua en la minería del oro y la plata..... | 104 |
| 4. Estimación de requerimientos hídricos para la minería del cobre | 104 |
| 4.1. Fuentes de Información | 104 |
| 4.2. Bases de Cálculo | 105 |
| 4.3. Metodología | 105 |
| 4.4. Resultados | 106 |
| 4.5. Faenas involucradas en el estudio por tipo de cobre | 107 |
| 4.6. Consideraciones de la estimación..... | 109 |
| 5. Proveedores de tecnología solar térmica | 110 |
| 6. Proveedores de tecnología de desalinización | 111 |
| 7. Términos sobre las características del agua..... | 111 |
| 8. Formación de una sociedad | 112 |
| 8.1. Creación de la personalidad jurídica | 112 |
| 8.2. Inicio de actividades ante el SII | 112 |
| 8.3. Obtención de permisos para operar | 112 |
| 8.4. Registro de marca como dominio.cl..... | 113 |
| 9. Abreviaciones comunes utilizadas en la minería | 114 |
| 10. Fotos de estructuras relevantes del proyecto | 114 |
| 10.1. Fotos de torre de toma marina..... | 114 |
| 10.2. Fotos de plantas desaladoras | 116 |
| 10.3. Fotos de un sistema de impulsión..... | 118 |
| 10.4. Foto de planta solar de cilindros parabólicos..... | 119 |
| 10.5. Fotos de plantas solares de torre de concentración | 119 |
| 11. Simbología plano de macrozonas tercera región | 120 |
| 12. Tablas de depreciación | 121 |
| 12.1. Tabla depreciación planta OI | 121 |
| 12.2. Tabla depreciación planta solar | 122 |
| 12.3. Tablas depreciación sistema de impulsión..... | 123 |
| 12.4. Tablas depreciación líneas de transmisión..... | 129 |
| 12.5. Tabla depreciación oficinas administrativas | 135 |
| 13. Flujo de caja caso sin financiamiento..... | 136 |
| 14. Flujo de caja caso con financiamiento | 137 |

I. Antecedentes generales

1. Introducción

El agua dulce es un recurso natural único y escaso, esencial para la vida y las actividades productivas, y por tanto directamente relacionado con el crecimiento económico de un país.

La disponibilidad de agua dulce en el mundo es limitada, además existe una distribución desigual del recurso en las distintas superficies continentales, dando lugar a zonas de abundancia y zonas de escasez de agua¹. Ejemplo de ello es la zona norte de Chile, que es una de las zonas más secas del planeta, con escasos recursos hídricos superficiales y en la que, además, existe una creciente demanda de agua por parte de las distintas actividades productivas y el consumo humano.

Además de la situación de escasez hídrica en el norte de Chile, se adiciona otro tema crítico a considerar como son los posibles impactos derivados del cambio climático. En particular, dentro de los potenciales impactos de este fenómeno sobre los recursos hídricos en esta zona, hay dos aspectos que destacan, uno derivado del cambio en temperaturas y otro de los cambios en precipitación. El primero dice relación con la reducción del área andina capaz de almacenar nieve entre las estaciones del año. Las crecidas invernales de los ríos con cabecera andina, se verán incrementadas con el consiguiente aumento de las cuencas portantes, y la reserva nival de agua se verá disminuida. En cuanto a las precipitaciones, éstas se incrementarían en primavera y verano en la región altiplánica pero disminuirían desde Antofagasta al sur del país (alrededor de 20-25% de variación negativa). Como consecuencia, aumentaría la aridez en el norte del país².

Para la minería, que es y seguirá siendo una de las actividades productivas de mayor importancia en Chile, la disponibilidad y gestión adecuada del agua es clave para su sustentabilidad, por lo que hay que explorar nuevas formas colaborativas para resolver el problema que la escasez hídrica significa para el sector minero. Como es sabido, la actividad minera nacional se desarrolla en condiciones particulares ya que la mayor parte de los yacimientos están emplazados en la zona norte del país, la cual es una zona que enfrenta una limitada disponibilidad del recurso hídrico, lo que ha llevado al agua a convertirse en un insumo crítico, estratégico y de alto costo.

En la actualidad, las mineras deben comprar derechos de agua para obtenerla, lo cual además afecta la disponibilidad de agua para otros sectores productivos. Además deben de bombearla hacia sus instalaciones, lo que conlleva altos costos de energía eléctrica. Por lo tanto, esta situación de disponibilidad limitada del recurso y que además presenta una demanda creciente que compite con otros sectores de la economía (sobre todo la industria agrícola en los valles aptos para el cultivo), ha motivado al sector minero a seguir aumentando los niveles de eficiencia, a partir de soluciones tecnológicas y a generar nuevos mecanismos para enfrentar los desafíos en cuanto al abastecimiento del recurso hídrico en el norte del país como, por ejemplo, el uso de nuevas fuentes de agua, como el mar.

Algunas faenas mineras ya han incorporado el agua marina directamente en sus faenas lo que no es aconsejable debido al poder corrosivo de esta, y otras empresas mineras han construido o tienen pensado construir plantas de desalinización propias (como por ejemplo en la Minera Escondida y la futura faena minera de “El Morro”)³ para satisfacer los requerimientos de aguas para sus procesos productivos.

¹ Fuente: http://epa.gov/region01/students/pdfs/ww_intro.pdf, Documento “All the Water in the World”.

² Fuente: Plan de Acción Nacional de Cambio Climático 2008-2012, CONAMA.

³ Fuente: “Proyección Consumo de Agua en la Minería del Cobre 2009-2020”, 2009, CONAMA

El problema es que la tecnología de desalación más usada es bastante intensiva en energía eléctrica, que para el caso de un suministro energético proveniente de una red eléctrica como el sistema interconectado central (SIC) o el sistema interconectado del norte grande (SING), tiene una huella de CO₂ indirecta que es 4 veces superior a la que emiten las faenas mineras en la actualidad⁴, lo que generaría un impacto ambiental negativo.

Debido a lo anterior, se ha estimado conveniente la realización de un proyecto para la creación de una planta desaladora de agua marina que no requiera estar conectada a la red eléctrica, con lo que se podría controlar de mejor manera los costos de operación de la planta desalinizadora, y no producir un impacto ambiental negativo tanto directo como indirecto significativo. La planta será proveedora de agua para los proyectos mineros actuales y futuros de la tercera región en particular, para ayudar a estos a evitar sus ineficiencias y que no dependan de la disponibilidad de agua ni del alto costo energético para obtenerla.

2. Descripción del proyecto y justificación

El profesor Juan Carlos Barros es director de la empresa consultora 2BGLOCAL que investiga oportunidades de inversión para algunas industrias, sobre todo para la industria minera. Este detectó la oportunidad de instalar una planta de desalación de agua marina en el norte chileno, y el presente informe corresponde a la confección del estudio de prefactibilidad técnica y económica de este proyecto.

La diferencia de este proyecto respecto a las demás plantas desaladoras es que se pretende construir una planta de desalinización de agua marina mediante el proceso de ósmosis inversa, pero que no requiera de conexión a la red eléctrica para obtener la energía necesaria para el funcionamiento de la planta.

La idea es que una planta con tecnología solar de concentración térmica a base de sales fundidas genere la energía eléctrica para el funcionamiento de la planta y del sistema de abastecimiento de agua al cliente.

El modelo de negocios es conseguir una cartera de clientes (mineras) en la tercera región para ofrecerles un contrato a largo plazo de abastecimiento asegurándoles un caudal (litros/segundo) de agua a un precio conveniente tanto para ellos como para la empresa, al satisfacer la demanda de estas y permitiendo una buena rentabilidad del negocio.

Este es un proyecto que independiza a las compañías mineras de la disponibilidad de agua y la energía eléctrica necesaria para obtenerla, además de generar un impacto ambiental positivo al dejarse de emitir gases de efecto invernadero.

El proyecto es una alternativa innovadora y limpia para hacerle frente al problema del abastecimiento de agua en zonas desérticas como lo es el norte de Chile. Este puede potenciar a los demás sectores económicos de la región ya que al abastecer la demanda de agua de algunas empresas mineras, estas tendrán derechos de agua sin usar que podrían ser vendidos a otros actores de la economía.

El proceso de desalinización por ósmosis inversa es el método más usado en la actualidad y el más conveniente debido al menor consumo de energía, menores costos unitarios, y menor impacto ambiental.

Por otra parte, la tecnología de concentración solar es usada en otros países (España, Australia, y los Estados Unidos), pero no está operando actualmente en nuestro país debido principalmente a que se requiere de una gran inversión.

⁴ Fuente: 2bglocal

Gracias a contactos con expertos se podrá tener acceso a la información de demandas de agua de proyectos mineros a corto y largo plazo, la tecnología requerida para el negocio, y las empresas proveedoras de la tecnología, entre otros datos relevantes.

Este proyecto es atractivo ya que permite enfrentar un problema real (abastecimiento de agua) que afecta a la minería nortina, introduciendo una tecnología amigable con el medio ambiente como lo es la tecnología solar.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

- Evaluar la prefactibilidad técnica y económica de una planta desaladora de agua marina para la minería alimentada con energía generada por una planta solar térmica.

3.2 Objetivos específicos

- Realizar un estudio de mercado para determinar el mercado total donde se encuentran insertos los clientes, escoger un mercado potencial al cual apuntar, identificar una cartera de clientes (mercado objetivo), y definir la cartera para establecer la oferta y demanda de agua que enfrentaría la planta desaladora.
- Definir los aspectos técnicos involucrados en el funcionamiento tanto de la tecnología de desalación del agua marina como también de la tecnología solar de concentración térmica.
- Analizar los aspectos regulatorios del proyecto.
- Determinar el perfil del proyecto, en cuanto a inversión necesaria y flujos de ingresos y egresos.
- Realizar una evaluación económica y calcular indicadores relevantes (VAN, TIR).
- Realizar un análisis de sensibilidad.

4. Metodología

A continuación, se presenta una descripción de las etapas que serán desarrolladas para cumplir con los objetivos planteados:

4.1 Estudio de industrias desaladora y minera

Lo primero que se debe hacer es un estudio de mercado. Este se inicia mostrando los antecedentes de la industria desaladora, donde se establece el escenario actual de la industria desaladora en el mundo, y luego se muestra el estado de la industria de la desalación en Chile, aprovechando de identificar a los principales proyectos de desalación que se encuentran en el norte del país, y que podrían ser competencia del proyecto.

Después del estudio de la industria desaladora se debe estudiar la industria minera nacional con el objetivo final de identificar a los principales clientes del proyecto y así establecer la demanda a la que se enfrentaría la planta desaladora, con lo que se podrá definir la capacidad de producción de la planta, y la producción que esta tendría en el tiempo para satisfacer la demanda (oferta).

En primer lugar se mostraran los antecedentes de la industria minera nacional donde en primer lugar se describirá la industria minera nacional. Además, se mostrará el tamaño de la industria según el nivel de las exportaciones de la industria, la producción de los principales minerales, y la oferta hídrica. Luego se mostrará la tendencia de la producción de la industria y por ende la tendencia del consumo hídrico de esta, y finalmente se identificarán los principales productores del mercado.

En segundo lugar se determinará el mercado potencial al que debería apuntar el proyecto y se establecerá una cartera de clientes como mercado objetivo. Para esto se elegirá primero una región del país al cual apuntar con el objetivo de acotar el estudio a una sola región, luego se describirá el mercado minero de la región escogida, después se identificará el tamaño actual del mercado regional y las tendencias y cambios previstos en este. Además se procederá formalmente a determinar y describir el mercado potencial para luego identificar una cartera de clientes objetivos para así satisfacer sus demandas de agua, y generar ingresos para el proyecto. Por último se dejará formalmente establecidas la demanda hídrica a la que se enfrentaría el proyecto a lo largo del periodo de evaluación del proyecto (20 años), y la capacidad de producción que debiera tener la planta desaladora para satisfacer dicha demanda.

4.2 Estudio técnico

En el presente informe se deberá establecer un estudio técnico del proyecto, el cual se separará en tres partes con el objetivo de cubrir los tres grandes componentes del proyecto, como lo son la planta desaladora, el sistema de abastecimiento de agua para los clientes y la planta solar para la generación de la energía que necesitarán los dos componentes anteriores.

Primero se efectúa el estudio técnico de la planta desaladora con los antecedentes de la desalación, las principales tecnologías usadas para la desalación y el problema medioambiental que enfrenta la desalación. Después se procederá a escoger, según un criterio definido (menores costos unitarios y consumos energéticos), el método de desalación más conveniente a usar en la planta desaladora, y a describir las características y el origen de la materia prima que será usada en el proceso, para luego describir más detalladamente el proceso que se sigue en una planta genérica que usa la tecnología elegida. Después se procederá a mostrar y explicar la localización que tendría la planta desaladora en la región escogida, y luego mostrará la producción de la planta según los caudales de agua desalada que debe suministrar la planta, en litros por segundo (L/s o lps). Para terminar el estudio técnico de la desaladora se determinará la cantidad de potencia que se le debe suministrar a la planta para su correcto funcionamiento, lo que servirá a posteriori para establecer el tamaño de la planta solar (en mega watts o MW).

En segundo lugar viene el estudio técnico del sistema de abastecimiento hídrico, en el que primero se da una breve introducción a lo que es un sistema de impulsión, para luego mostrar el trazado tentativo del sistema. Después se procederá a realizar el cálculo de la potencia de elevación que necesita el sistema para impulsar el agua hacia los clientes, usando fórmulas hidráulicas. Al final se procederá a describir de manera general los componentes necesarios para la línea de transmisión que alimentará energéticamente al sistema de impulsión.

Por último se procederá a confeccionar el estudio técnico porque que ya se posee la información de las potencias que necesitan los dos primeros componentes del proyecto, las que nos servirán para determinar la potencia que deberá proporcionar. Para empezar se describirán generalmente las dos principales tecnologías de concentración solar, luego se mostrará el origen y las características de las materias primas usadas en la planta solar, y después se elegirá la tecnología que será ocupada en la planta. También se describirá el proceso que se sigue en una planta solar con la tecnología seleccionada, para luego calcular la potencia de diseño de la planta

para que esta pueda abastecer la energía suficiente para el funcionamiento de la planta desaladora y el sistema de abastecimiento de aguas.

4.3 Estudio marco legal

Para el estudio legal se definirán primeros los aspectos legales que afectan al negocio en sí, para luego establecer específicamente los aspectos legales de impacto ambiental a los que se debe enfrentar el proyecto, para saber si es necesaria la redacción de un estudio de impacto ambiental.

4.4 Evaluación económica

En la evaluación económica se empezará por detallar los costos de inversión del proyecto para adquirir e instalar los componentes del proyecto, luego se definirá un precio de venta del agua desalada para cada cliente objetivo y obtener así los ingresos que serían captados por el proyecto. Después se calcularán los costos de operación y mantenimiento de cada parte del proyecto, sumándoles además los gastos anuales que se deben incurrir para el uso de un terreno fiscal y del agua del mar chileno. Luego serán especificados los gastos por la depreciación de los activos fijos del proyecto, el capital de trabajo, y los valores residuales del proyecto.

Después se confeccionará el flujo de caja del proyecto para obtener el valor actual neto (VAN) y la Tasa interna de retorno (TIR), y poder así ver si el negocio a emprender es rentable o no en una etapa de prefactibilidad. Luego se realizará el análisis de sensibilidad para ver cómo se comporta el proyecto en distintos escenarios. Se termina la evaluación económica con un flujo de caja para el caso de que haya financiamiento bancario.

5. Alcances

- Por razones de tiempo y complejidad el mercado objetivo se centrará en una sola región del norte del país, por lo que no se consideraran clientes de otras regiones que no sean de la elegida.
- Debido a la complejidad y al poco tiempo de realización de esta memoria, se obtendrá en el informe sólo la cantidad de agua a producir en la planta desaladora y la energía necesaria para la desalinización y el suministro del agua. Por lo tanto los estudios técnicos de las 3 grandes componentes de este proyecto (planta desaladora, sistema impulsión y planta solar) no serán tan detallados y específicos.
- En el presente trabajo se consideraran procesos genéricos de producción de agua desalada y de energía eléctrica con tecnología solar. Esto quiere decir que se tendrá conocimiento tanto de la entrada y salida de un proceso, como también de lo necesario para el buen funcionamiento., como por ejemplo la utilización de la energía eléctrica.
- En la evaluación económica del proyecto no se ahondarán en mucho detalle los costos y las inversiones debido a la falta de información y de tiempo, por lo que el lector debe esperar valores monetarios del conjunto global de los componentes del proyecto.

6. Resultados esperados

- Obtener la demanda de agua del mercado potencial para el horizonte de evaluación del proyecto a 20 años a partir del 2014 para la región seleccionada, con estimaciones basadas en datos confiables.
- Definir una cartera de clientes con los cuales sea posible establecer un contrato de abastecimiento de aguas (precio y caudal en litros/segundo [L/s] asegurado).
- Obtener un flujo de caja para el proyecto y poder así estimar la viabilidad de este.
- Mostrar cómo se afecta la rentabilidad del negocio al variar los parámetros claves de este en distintos escenarios que pueden ser tanto optimistas como pesimistas.
- Mostrar a la empresa como una alternativa viable para el problema del abastecimiento de agua en el norte chileno.

II. Estudio de industrias desaladora y minera.

1. Antecedentes de la industria de la desalación.

1.1. La industria mundial de la desalación⁵

En línea con su tendencia habitual, la industria de la desalación ha continuado con su imparable crecimiento en estos últimos años. Prueba de ello es que en 2007 la capacidad mundial contratada creció un 43% en comparación en el año anterior, y a mediados de 2008 ya eran 13.869 las plantas desaladoras previstas.

De entre todos los países que emplean la desalación para hacer frente a la falta de recursos hídricos, Oriente Medio sigue liderando los primeros puestos en cuanto a la capacidad de producción, pero seguido muy de cerca por Estados Unidos y España. Éstos y otros interesantes datos sobre el mercado de desalación se encuentran en el informe “2008-2009 Desalination Yearbook”, elaborado por la Asociación Internacional de Desalación (IDA) y la publicación inglesa Global Water Intelligence (GWI).

El crecimiento mundial de las tecnologías de desalación para producir un suministro fiable de agua dulce ha sido muy notable en los últimos años, lo que indica que esas tecnologías se han empleado más que nunca para hacer frente a la gran sequía mundial y a la búsqueda de nuevas fuentes de agua dulce. Según datos de la Organización Mundial de la Salud, se estima que aproximadamente el 20% de la población del mundo vive en países donde el agua es escasa y en donde las personas no han sido capaces de acceder a los recursos disponibles.

De acuerdo a la información recogida en la edición 2008-2009 del “Desalination Yearbook”, la capacidad global contratada prevista creció un 43% en 2007, o lo que es lo mismo a 6,8 millones de metros cúbicos al día, con respecto a los 4,7 millones de m³/día del año pasado la que ha sido suficiente para abastecer de agua potable a más de 50 millones de personas.

Según el informe, esta tendencia de crecimiento ha continuado en 2008, pues sólo durante los seis primeros meses del año, la capacidad contratada aumentó en un 39% adicional.

A fecha 30 de junio de 2008, la capacidad contratada acumulada de plantas desaladoras en todo el mundo se situó en 62,8 millones de m³/día. El 62% de esta nueva capacidad contratada (39 millones de m³/día) corresponde a desalación de agua de mar, mientras que la desalación de aguas salobres representa otros 12 millones de m³/día (19%). Por otro lado, respecto a las tecnologías de desalación aplicadas a la reutilización de aguas residuales depuradas, éstas han experimentado un rápido crecimiento, representando actualmente el 5% de la capacidad total

⁵ Fuente: InfoEnviro, enero 2009

En cuanto a capacidad instalada acumulada hasta la citada fecha, es decir, la referida al total producido, la cifra se sitúa en 52 m³/día. Y analizando las tecnologías empleadas, el panorama actual es el siguiente: el 59% de la capacidad instalada corresponde ósmosis inversa, seguida por la evaporación multietapa con un 27%, la evaporación multiefecto, con un 9% y electrodiálisis con un 4%. El 1% restante corresponde a otras tecnologías.

El informe 2008-2009 Desalination Yearbook, también recoge el número de plantas de desalación contratadas a nivel mundial: un total de 13.869 hasta el 30 de junio de 2008, en comparación con las 13.080 del año anterior.

Las principales aplicaciones y usos a los que se ha destinado el agua producida por todas estas instalaciones se ha repartido en los siguientes sectores: 68% para municipios y 22% para entidades industriales. El agua desalada también se ha empleado en la industria energética (5%), agricultura (2%) y en la industria turística y militar.

El anuario también destaca que ahora las plantas también se construyen a escala masiva (sobre los 3000 litros/segundo). En la actualidad, la mayor planta de desalación en operación es la de Fujairah en los Emiratos Árabes Unidos, y con una capacidad de 456.000 m³/día (5.278 litros/segundo). Sin embargo, existen otras cinco plantas con capacidades que exceden los 500.000 m³/día y actualmente están en construcción en la región de Oriente medio. De éstas, la más grande es la planta “Shoaiba 3”, en Arabia Saudita, con 880.000 m³/día. Y a finales del 2008 estaba previsto que se pusiera en servicio la primera planta con capacidad para producir un millón de metros cúbicos al día de agua desalada en este mismo país.

Fuera de oriente Medio, y aunque no se acerquen a esta magnitud, en Estados Unidos también se están desarrollando instalaciones de desalación a gran escala. Un ejemplo es la planta “Carlsbad” en California, que se convirtió en el 2009 en la planta de mayor capacidad del hemisferio occidental, suministrando 189.000 m³/día (2.188 litros/segundo) de agua potable de calidad diariamente.

Según el informe, la industria ha logrado en los últimos años notables mejorías en lo que a consumo energético se refiere, y además ha abordado las preocupaciones ambientales sobre el impacto de la desalación (descarga de salmuera) en la vida marina. Esto ha aumentado la apertura de mercados medioambientalmente concienciados, tales como Australia, España y ahora EEUU, a la desalación a gran escala. Según los autores, China también está al borde de una gran expansión en su capacidad de desalación.

En la actualidad, más de 150 países del mundo utilizan la desalación, desde Australia hasta China y Japón, Estados Unidos, España y otros países europeos, Oriente Medio y el Norte de África.

El top 10 de los países con mayor capacidad de desalación es el siguiente:

1. Arabia Saudí: 10.759.693 m³/día.
2. Emiratos Árabes Unidos: 8.428.256 m³/día
3. Estados Unidos: 8.133.415 m³/día
4. España: 5.249.536 m³/día
5. Kuwait: 2.876.625 m³/día
6. Argelia: 2.675.985 m³/día
7. China: 2.259.741 m³/día
8. Qatar: 1.712.886 m³/día
9. Japón: 1.493.158 m³/día
10. Australia: 1.184.812 m³/día

En conjunto, estos diez países suman aproximadamente el 71% de la capacidad global contratada acumulada.

El 2008-2009 Desalination Yearbook incluye también un análisis por regiones, centrado principalmente en el número de plantas en operación.

Existen alrededor de 1.416 desaladoras funcionando en Estados Unidos, con otras 65 en fase de planeamiento o en construcción. La mayoría tienen como objetivo desalar agua salobre y la desalación de agua de mar sólo representa un 7.4% del total. Otras fuentes de agua incluyen agua pura (13.8%), agua procedente de ríos (11.9%) y aguas residuales (9%).

En la región de América Latina, el número total de plantas desaladoras se ha estimado en 204 y en Europa en 2.250.

1.2. La desalación en Chile

La industria en Chile está recién empezando y se sitúa en el norte del país (de la primera hasta la tercera región) por las características de la zona. En la actualidad hay tanto plantas ya construidas como también en etapa de proyecto. En la figura siguiente se puede observar por región las plantas de las que se tiene conocimiento ya construidas o por construir, y se puede observar que el tamaño de las plantas van desde los 120 l/s hasta los 3.200 l/s. Este último valor corresponde al proyecto de Minera Escondida que es el proyecto de desalación más ambicioso de toda América del Sur. La figura se muestra a continuación:



Fuente: Aguas de Antofagasta S.A.

En esta tesis se pretende evaluar la instalación de una planta de 2000 l/s, la que se convertiría en la mayor planta desaladora privada no exclusiva de una minera en Chile.

2. Antecedentes de la industria minera chilena

2.1. Descripción de la industria minera

Luego de un alza histórica en las cotizaciones de los metales tanto básicos como preciosos, la minería se vio afectada en el 2008 por una baja de los precios, sobre todo del cobre, generando una situación compleja ya que se frenaron proyectos de inversión, además de que pequeños y medianos productores quebraron y miles de mineros fueron despedidos. Pero aún a pesar de estos desafíos, la minería sigue siendo la actividad productiva más importante de Chile.

Respecto de la mano de obra, la industria minera da ocupación directa a 93.390 personas (periodo diciembre de 2008 a febrero de 2009), lo que representa solamente el 1,4% de la fuerza total de trabajo del país, aunque en regiones con una alta actividad minera, como Antofagasta o Atacama, esta cifra puede subir a más de 10%. Asimismo, la cifra de ocupación indirecta debería multiplicar varias veces esta cifra, y sobre todo en algunas ciudades del norte chileno, como Iquique, Calama, Antofagasta y Copiapó, deben a la minería la mayor parte de sus ingresos.

Por otro lado y debido a los altos precios de los metales y una fuerte alza en la facturación de las empresas mineras, tuvo un impacto directo en el Producto Interno Bruto (PIB). En el 2008, la participación de este sector minero ascendió a cerca del 17,5%, considerando otros impactos en sectores productivos relacionados con la minería.

La minería es intensiva en capital, y la elevada mecanización y alta productividad requiere cada vez menor cantidad de personas, las que a su vez son mejor remuneradas. Asimismo, no se encuentran incluidas en la actividad una amplia gama de actividades afines o insumos, como el transporte, generación de electricidad y comunicaciones, etc., los que son clasificados en sus respectivos rubros. Sin embargo, el impacto de la crisis del 2008 afectó a todas las compañías mineras, no importando su tamaño. Ello no se reflejó solamente en una baja de producción sino que también en una reducción de personal y quiebras sobre todo en la pequeña minería. Entre octubre de 2008 y febrero de 2009, en el sector, al menos 16.000 personas perdieron su empleo, entre ellas muchos trabajadores contratistas.

Por otro lado el principal rubro de las exportaciones del país es la minería, que aporta con la mayor cantidad de los ingresos de divisas. Dentro del total de exportaciones, que alcanzaron US\$67.789 millones en 2008, cifra muy parecida a la registrada de US\$67.644 millones en 2007, los productos mineros participaron con US\$39.456 millones, 58% del total exportado y 8% menos que el periodo anterior. Esta caída en el valor se debe fundamentalmente a los menores precios registrados en la mayoría de los metales y a una menor producción, en especial de cobre, durante el último trimestre del año. Dentro de los productos exportados, el cobre es el principal generador de divisas, ya que participa con 54% del total de los envíos y con 93% de las exportaciones mineras. Durante 2008, las exportaciones del metal rojo sumaron un total de US\$39.727 millones, levemente inferior el año anterior cuando llegó a su nivel récord histórico de US\$41.571 millones. Respecto del 2009, se previó una caída en casi 50% del valor de las exportaciones mineras debido a la menor producción y baja cotización. En este caso, los envíos totalizarían alrededor de US\$21.500 millones respecto de los casi US\$40.000 millones logrados en 2008.

Por otro lado también la minería es importante dentro de los recursos fiscales. En 2008, los excedentes generados por CODELCO fueron a las arcas fiscales alcanzando cerca de US\$4.968 millones, 40% menos que el año anterior como resultado de una producción decreciente y una

caída de la cotización del cobre durante el último trimestre de 2008. Los aportes de la minería al Estado van mucho más allá que las utilidades de Codelco. Todas las empresas privadas pagan sus impuestos, en tasas variables dependiendo de la naturaleza sus contratos de inversión. Sin embargo, en 2008 la gran minería canceló 37% menos de impuestos a la renta y royalty, llegando solamente a un total de US\$5.081,6 millones, frente a US\$8.094 millones del año previo. En impuesto a la renta, el mayor pago lo hizo Codelco con US\$2.246 millones, casi la mitad del total sectorial, con una caída de 45%, mientras que Escondida tributó US\$930 millones, 37,3% menos que en 2007.

Además de la gran importancia de la industria minera en el país, esta es también una de las más importantes en el mundo, lo cual se puede apreciar en la tabla, con el ranking de la industria minera (considerando sólo los minerales metálicos) chilena comparada con la de otros países de Latinoamérica y del mundo para los más importantes minerales metálicos, que se muestra a continuación:

Tabla 1: Participación de Chile en la industria minera mundial

| Tabla: Producción minera - Participación de Chile en América Latina y el mundo | | |
|--|----------------|-----------|
| Mineral | Posición 2008 | |
| | América Latina | Mundo |
| Cobre | 1 | 1 (34%) |
| Molibdeno | 1 | 3 (21%) |
| Plata | 2 | 6 (7%) |
| Oro | 5 | 15 (1,7%) |

Fuente: Cochilco, USGS

Los minerales que se producen en Chile son tanto metálicos como no-metálicos, pero los que mayor aportan a la economía chilena son los minerales metálicos como el cobre, el molibdeno, el oro, la plata, el plomo, el zinc, el hierro y el manganeso. En el presente informe nos centraremos en la minería metálica especialmente del cobre, el molibdeno, el oro y la plata.

La industria minera en Chile se puede dividir en 3 sub-bloques que son la gran minería estatal compuesta por las divisiones de Codelco, la gran minería privada compuesta por grandes empresas internacionales de la minería como Xtrata y BHP Billiton, y la pequeña y mediana minería chilena compuesta por productores de menor peso. Según la Sociedad Nacional de Minería (Sonami), que agrupa a los pequeños y medianos mineros, la mediana minería es el sector que explota entre 300 y 8.000 tpd de mineral. Aplicado a una faena representativa de la minería del cobre, una empresa de mediana minería produce hasta 50.000 toneladas de cobre fino por año.

En la actualidad la minería metálica en Chile se está recuperando de la crisis del 2008 y se están planeando, tanto por Codelco como por empresas privadas nacionales e internacionales de la gran y mediana minería, nuevos proyectos para aumentar la producción del cobre en el resto de la década que recién comienza.

Sin embargo existe un problema en el presente y que puede incrementar de gravedad en el futuro, el cual es la escasez de los recursos hídricos en el norte del país el cual afectaría de gran manera a la industria minera metálica por ser el agua uno de los recursos básicos para su correcto y efectivo funcionamiento. Por ello en el presente informe se presenta una alternativa innovadora y limpia para solucionar este problema de escasez del recurso hídrico.

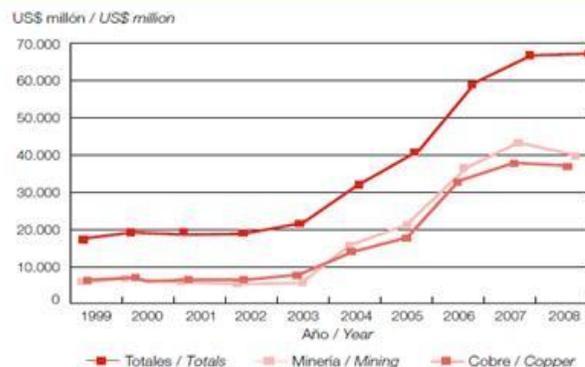
2.2. Tamaño de la industria

Para comenzar se presenta a continuación una tabla con la información sobre el tamaño de la industria minera, medido en cuanto al monto que aporta a las exportaciones nacionales (en millones de dólares), recalcando además el monto aportado por la minería del cobre al total. También se puede observar un gráfico comparativo para observar mejor las diferencias a lo largo de los años:

Tabla 2: Exportaciones mineras

| Tabla Exportaciones Mineras (US\$ millón, FOB) | | | |
|--|------------------------|------------------------|----------------------|
| Mining exports (US\$ million, FOB) | | | |
| Año/ Year | Totales/ Totals (1) | Mineras/ Mining (1) | Cobre/ Copper (2) |
| 1999 | 17.170 | 6.778 | 6.164 |
| 2000 | 19.206 | 8.021 | 7.286 |
| 2001 | 18.394 | 7.256 | 6.526 |
| 2002 | 18.436 | 7.073 | 6.279 |
| 2003 | 21.052 | 8.461 | 7.553 |
| 2004 | 32.025 | 16.634 | 14.530 |
| 2005 | 40.573 | 21.598 | 17.763 |
| 2006 | 58.996 | 36.572 | 33.351 |
| 2007 | 67.644 | 42.837 | 37.913 |
| 2008 | 67.789 | 39.456 | 36.550 |

Fuente: (1) Banco Central, (2) Cochilco / Source: (1) Central Bank, (2) Cochilco



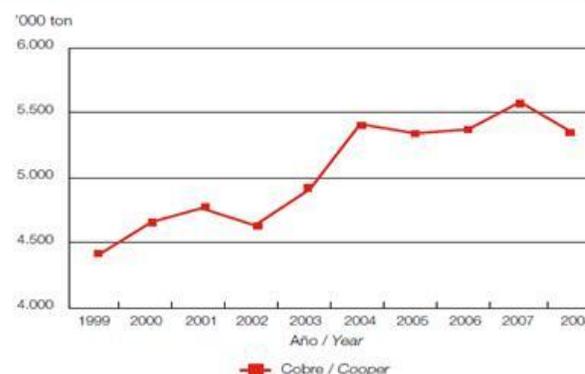
Se puede ver claramente el tamaño de la industria minera durante la pasada década, la cual ha aportado en más del 50% de las exportaciones totales nacionales, siendo la minería del cobre la más importante de la industria.

También podemos observar dentro de la industria el tamaño de la producción del cobre en la última década, comparada con el tamaño de la producción de otros minerales metálicos importantes en la minería chilena entre 1999 y el 2008.

Tabla 3: Producción de cobre y oro

| Tabla Producción de cobre y oro | | | |
|---------------------------------|---|---------------------------------------|------------------------|
| Copper and gold production | | | |
| Año/ Year | Cobre (miles de ton)/ Copper (thousand tons) | Molibdeno (ton) / Molybdenum (ton) | Oro (Kg)/ Gold (kg) |
| 1999 | 4.422 | 27.309 | 48.069 |
| 2000 | 4.646 | 33.187 | 54.143 |
| 2001 | 4.766 | 33.492 | 42.673 |
| 2002 | 4.617 | 29.466 | 38.688 |
| 2003 | 4.909 | 33.374 | 38.954 |
| 2004 | 5.413 | 41.883 | 39.986 |
| 2005 | 5.321 | 48.041 | 40.447 |
| 2006 | 5.360 | 43.277 | 40.753 |
| 2007 | 5.557 | 44.912 | 41.527 |
| 2008 | 5.330 | 33.668 | 39.162 |

Fuente / Source: Cochilco, Semageomin



Es interesante decir que en el caso de la industria aurífera, la producción chilena de oro proviene en 56% de la mediana y pequeña minería, principalmente de minas de oro y plata, mientras que el 35% restante proviene de la gran minería del cobre.

Es posible ampliar la información obtenida de la década pasada de la industria minera para todos los minerales metálicos que se producen en Chile, y además obtener la información

desagregada en regiones para poder observar el tamaño de la producción de la industria en el año 2008 (datos detallados del 2009 no fueron posibles de obtener) de una manera más detallada, todo esto gracias a la información proporcionada por la revista de la minería chilena MCH⁶. Además se puede expresar tanto de manera nacional como por regiones el tamaño de la industria en el futuro según la proyección de la producción de cobre que se espera hasta el año 2020⁷.

Por último se mencionará el tamaño de la oferta de agua de la minería chilena con datos del 2008 de la dirección general de aguas en cuanto a los derechos de agua otorgados por esta institución a las principales mineras metálicas que representan el 96%, 95%, y el 97% de la producción anual del 2008 del cobre, oro y plata respectivamente. Los resultados recopilados se pueden observar en la siguiente tabla:

Tabla 4: Derechos y extracciones de la industria minera por regiones

| Región | Empresa minera | Catastro Público de Aguas (DGA) | | | | | | | Empresas Mineras | | |
|--------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------|--------------|-----------------------------------|---------------|--------------|--------------------------------|-------------------------------|--|----------------------------|
| | | Derechos Consuntivos Superficiales | | | Derechos Consuntivos Subterráneos | | | Total Derecho Consuntivo (L/s) | Derechos No Consuntivos (L/s) | Total Derecho Consuntivo Informado (L/s) | Extracción Informada (L/s) |
| | | Permanentes | Eventuales | Total | Permanentes | Provisionales | Total | | | | |
| | | (L/s) | (L/s) | (L/s) | (L/s) | (L/s) | (L/s) | | | | |
| I | Cia Minera Doña Ines de Collahuasi | 9 | 1 | 10 | 1028 | 0 | 1028 | 1038 | 20 | 1398 | 950 |
| | Cia Minera Cerro Colorado | 0 | 0 | 0 | 300 | 0 | 300 | 300 | 0 | 300 | 111 |
| | Cia Minera Quebrada blanca | 0 | 0 | 0 | 436 | 0 | 436 | 436 | 0 | 436 | 129 |
| | Subtotal I | 9 | 1 | 10 | 1764 | 0 | 1764 | 1774 | 20 | 2134 | 1190 |
| II | Cia Minera Zaldivar | 0 | 0 | 0 | 1256 | 0 | 1256 | 1256 | 0 | 1256 | 174 |
| | Spence | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | nn |
| | Minera Escondida | 134 | 0 | 134 | 3263 | 0 | 3263 | 3397 | 0 | 3195 | 2100 |
| | Codelco División Codelco Norte | 41 | 0 | 41 | 3687 | 0 | 3687 | 3728 | 0 | 3728 | 1786 |
| | Cia Minera Meridian | 0 | 0 | 0 | 52 | 0 | 52 | 52 | 0 | 52 | 8 |
| | Cia Minera Lomas Bayas | 0 | 0 | 0 | 35 | 0 | 35 | 35 | 0 | 218 | 131 |
| | Altonorte | 0 | 0 | 0 | 70 | 0 | 70 | 70 | 0 | 70 | 39 |
| | Minera El Abra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 365 | 226 |
| | Minera El Tesoro | 0 | 0 | 0 | 45 | 0 | 45 | 45 | 0 | 142 | 48 |
| | Minera Michilla | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | nn |
| Subtotal II | 175 | 0 | 175 | 8408 | 0 | 8408 | 8583 | 0 | 0 | 4512 | |
| III | Empresa Minera Mantos Blancos | 556 | 200 | 756 | 129 | 0 | 129 | 885 | 0 | 885 | 116 |
| | MantoVerde | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 | 200 | 200 | 0 | 200 | 91 |
| | Cia Minera Nevada | 0 | 150 | 150 | 0 | 0 | 0 | 150 | 0 | 410 | nn |
| | Cia Minera Mantos de oro | 0 | 3 | 3 | 474 | 0 | 474 | 477 | 0 | 477 | nn |
| | Codelco División Salvador | 3 | 0 | 3 | 490 | 0 | 490 | 493 | 0 | 493 | 798 |
| | Cia Minera Candelaria | 0 | 0 | 0 | 40 | 0 | 40 | 40 | 0 | 1007 | 239 |
| | Cia Minera Ojos del Salado | 0 | 0 | 0 | 905 | 0 | 905 | 905 | 0 | 70 | 89 |
| | Cia Minera del Pacífico | 0 | 140 | 140 | 61 | 0 | 61 | 201 | 0 | 201 | 107 |
| | Sociedad Punta del Cobre S.A. | 0 | 0 | 0 | 155 | 0 | 155 | 155 | 0 | 155 | nn |
| | Subtotal III | 559 | 493 | 1052 | 2454 | 0 | 2454 | 3506 | 0 | 3898 | 1440 |
| IV | Cia Minera El Indio | 105 | 125 | 230 | 20 | 0 | 20 | 250 | 0 | 250 | nn |
| | Cia Minera Carmen de Andacollo | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 768 | 58 |
| | Cia Minera Los Pelambres | 0 | 456 | 456 | 133 | 0 | 133 | 589 | 0 | 4216 | 381 |
| | Cia Minera del Pacífico | 0 | 0 | 0 | 88 | 0 | 88 | 88 | 0 | 88 | nn |
| Subtotal IV | 105 | 581 | 686 | 241 | 0 | 241 | 927 | 0 | 5322 | 439 | |
| V | El Soldado | 0 | 0 | 0 | 445 | 0 | 445 | 445 | 0 | 445 | 101 |
| | Codelco División Andina | 305 | 579 | 884 | 200 | 0 | 200 | 1084 | 6750 | 1084 | 790 |
| | Minera Las Cenizas (Cabildo) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 82 | 35 |
| Subtotal V | 305 | 579 | 884 | 645 | 0 | 645 | 1529 | 6750 | 1611 | 926 | |
| VI | Codelco División El Teniente | 1200 | 3461 | 4661 | 305 | 0 | 305 | 4966 | 70036 | 4966 | 2100 |
| | Subtotal VI | 1200 | 3461 | 4661 | 305 | 0 | 305 | 4966 | 70036 | 4966 | 2100 |
| RM | División Los Bronces | 600 | 593 | 1193 | 269 | 0 | 269 | 1462 | 0 | 1675 | 718 |
| Subtotal RM | 600 | 593 | 1193 | 269 | 0 | 269 | 1462 | 0 | 1675 | 718 | |
| TOTAL | 2953 | 5708 | 8661 | 14086 | 0 | 14086 | 22747 | 76806 | 19606 | 11325 | |

Fuente: Dirección general de aguas (DGA)

⁶ Ver anexo 1.1 para la información de los minerales metálicos, y el 1.2 para la producción de estos en el 2008 por regiones.

⁷ Ver anexo 1.3 para la proyección de la producción de cobre en el país, y el 1.4 por regiones.

Los derechos consuntivos (con los que se usa el agua pero no se la devuelve a su fuente) totales de la minería metálica Chilena ascienden a 22.747 litros/segundo de agua tanto subterránea como superficial, pero de los cuales aproximadamente el 50% (11.325 L/s) son extraídos realmente por las faenas mineras.

2.3. Tendencia de la industria

Como resultado de las ventajas naturales del país y de una legislación favorable, el sector minero chileno se ha mostrado particularmente atractivo en la historia reciente para los inversionistas, logrando un gran auge en el desarrollo de la exploración minera a mediados de la década de los ochenta.

Las inversiones realizadas hasta el momento han permitido que la producción de cobre haya crecido casi 40% en los últimos once años, desde 3,69 millones de toneladas producidas en 1998 a 5,33 millones de toneladas registradas en el 2008.

La minería en Chile, especialmente la del cobre y del oro, ha experimentado un crecimiento acelerado, fundado en las siguientes ventajas naturales, tecnológicas y medidas administrativas:

- a) Actualmente, Chile posee las mayores reservas de cobre con un tercio del total mundial.
- b) Las reservas de molibdeno representan 12,8% del total mundial, y en oro y plata, alrededor del 1% y el 0,5%, respectivamente.
- c) Ventajas de transporte por la cercanía de los grandes depósitos a los puertos.
- d) Facilidad de reclamación de terrenos para explorar y explotar gracias a la situación desértica de los grandes depósitos.
- e) Enormes yacimientos permiten la incorporación de tecnología moderna, es decir, técnicas de minería masiva y de bajos costos: rajos abiertos, grandes camiones, palas y correas transportadoras, tecnologías de lixiviación, etc.
- f) Buena infraestructura de caminos.
- g) Disponibilidad de recursos humanos capacitados y de primer nivel.
- h) Facilidades para la inversión extranjera, con reglamentación clara, y garantías contractuales a través del Decreto Ley 600.
- i) Estabilidad económica y política del país.
- j) Confiabilidad en el cumplimiento de los contratos. Trámites aduaneros expeditos.

Cabe destacar, además, que gracias a los altos contenidos de molibdeno en el mineral de cobre y al alto nivel de los precios del molibdeno durante los últimos años, en especial en 2005, Chile se ha visto muy favorecido por convertirse en uno de los productores más grandes en el mundo de este metal, como subproducto de la extracción del cobre. La mayor cotización se debió a una fuerte expansión del mercado del acero, como consecuencia de un ciclo de crecimiento que ha experimentado la economía, especialmente la de los países del sudeste asiático más China e India.

Sin embargo, debido a la crisis económica global, el molibdeno sufrió una caída en su valor de más de 30 US\$/lb en octubre de 2008 a menos de 8 US\$/lb en abril de 2009. Ello, a su vez, ha tenido un efecto negativo en la extracción y la venta de este metal, y como es un subproducto de la minería cuprífera, también en los costos de producción de esta industria. Aun así, en 2008 alcanzó una producción de 33.668 toneladas, que corresponde a una participación del 23% a nivel mundial.

En el caso del oro, la producción ha sido cíclica durante las últimas décadas. En 1994 comenzó un periodo de crecimiento hasta llegar a 54.143 kilogramos en 2000, cifra histórica que

no ha sido repetida posteriormente. A continuación, la producción del metal ha decrecido paulatinamente hasta llegar a 38.688 kg en 2003. No obstante, en 2005 la producción nacional volvió a superar los 40.000 kg, debido a los precios favorables del metal amarillo. Con la fuerte alza de los precios del oro durante 2007, también subió el nivel de extracción hasta llegar a 41.527 kg.

Sin embargo, en 2008 la minería aurífera siguió la tendencia general del sector a la baja y registró una caída de 6%, totalizando una producción de 39.000 kg. Durante la primera mitad de esta década, está proyectado que entre en operaciones el proyecto aurífero Pascua-Lama (25.000 kg al año) y posteriormente la futura mina Cerro Casale (30.000 kg al año), que permitirían incrementar considerablemente la producción, la que luego podría llegar a los 90.000 kg.

La minería local y mundial manifiesta una fuerte tendencia hacia la concentración de propiedades y al gigantismo de las explotaciones. Ello se manifiesta en fusiones de compañías y la adquisición de empresas y propiedades por parte de las grandes corporaciones mineras mundiales. Tales mega fusiones mineras comenzaron en 1994 con la adquisición de Magma Copper por parte de BHP. Solamente en 14 años desaparecieron al menos 18 compañías grandes.

Después que 2007 fuera un año récord en la historia de fusiones y compras mineras, en 2008 parece haber cesado el hambre insaciable de las mineras por comprar a sus rivales. Hubo varias especulaciones de que la brasileña Vale iba a comprar a Xstrata, o que BHP Billiton y Río Tinto se iban a fusionar. Sin embargo, estos procesos se diluyeron finalmente tras fracasos de acuerdos y por falta de liquidez.

Producto de la calidad y tamaño de los yacimientos mineros, la mayoría de las empresas mineras productoras de cobre a nivel mundial posee activos mineros en Chile. Más aún, algunas de estas empresas han instalado importantes oficinas en Santiago para manejar sus negocios en Sudamérica, como por ejemplo BHP Billiton con su unidad de Base Metals.

Con respecto a las PYMES mineras del norte, estas han enfrentando en los últimos años una compleja situación debido al cierre de faenas, la falta de crédito por parte del Gobierno, la paralización de nuevos proyectos -por la inyección económica que requieren- y lo más importante, la caída en el valor del metal rojo en octubre de 2008. Dado este difícil escenario, una multitud de pequeños productores tuvieron que cerrar sus operaciones. Según Sonami, el número de productores bajó de forma drástica de 2.065 mineros registrados en octubre de 2008 a menos de 1.500 a comienzos de 2009. Sin embargo, se debe recalcar que aproximadamente la mitad de estas faenas que cerraron corresponden a mineros que entraron a trabajar cuando el precio del cobre estaba por los 300 cUS\$/lb y empezaron a explotar minas de muy baja ley aprovechando la bonanza.

En el futuro se prevé un aumento de la producción de los minerales metálicos más importantes del país debido a los nuevos proyectos de inversión minera provenientes tanto de la gran minería estatal como de la gran y mediana minería de productores nacionales e internacionales que entrarían a operar en la primera mitad de esta década. Gracias a la siguiente tabla, podemos ver una proyección de los próximos años de de la magnitud de las inversiones, que ejemplifica la tendencia del aumento del interés de aumentar la producción del cobre, el oro y la plata por parte de las empresas mineras en Chile:

Tabla 5: Inversión proyectada en la minería

**Tabla N° 1: Inversión proyectada en Minería del Cobre y del Oro - Plata
(Millones de US\$)**

| | Anterior | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | Posterior | Total Inversión |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------------|
| CODELCO | 1225 | 2193 | 2051 | 3167 | 3084 | 2571 | 2293 | 3630 | 20214 |
| Gran Minería Privada | 3035 | 2737 | 2515 | 1690 | 2160 | 2710 | 2815 | 2350 | 20012 |
| Mediana Minería | 22 | 85 | 105 | 295 | 555 | 150 | 0 | 0 | 1212 |
| 1) Minería del Cobre | 4282 | 5015 | 4671 | 5152 | 5799 | 5431 | 5108 | 5980 | 41438 |
| 2) Minería del Oro y de la Plata | 470 | 245 | 975 | 1675 | 3210 | 1650 | 400 | 0 | 8625 |
| Inversión Total (1 + 2) | 4752 | 5260 | 5646 | 6827 | 9009 | 7081 | 5508 | 5980 | 50063 |

Fuente: Elaborado en COCHILCO, con antecedentes de cada proyecto disponibles en fuentes públicas

Podemos ver con claridad los montos proyectados de las inversiones para la minería del cobre (Codelco más la gran y mediana minería privada), y de la minería del oro y plata. Con estas inversiones se podrá aumentar la producción de minerales metálicos y hacer olvidar a la industria la crisis acaecida en el 2008.

Con respecto a la tendencia en la demanda de agua del sector minero, se puede decir que está va aumentar en el tiempo. Esta conclusión se llegó gracias a que COCHILCO desarrolló una estimación⁸ del agua que sería requerida por las faenas tanto actuales como futuras hasta el año 2020, cuyos resultados fueron resumidos en la tabla siguiente:

Tabla 6: Proyección regional del consumo hídrico para la producción de cobre

Tabla 4. Proyección por Región del Consumo de Agua para la Producción Total de Cobre en Chile. Período 2009- 2020

| REGIÓN | PROYECCIÓN DEMANDA AGUA PARA LA PRODUCCION TOTAL DE COBRE EN CHILE (millones de m ³) | | | | | | | | | | | |
|---------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| I | 44,1 | 47,4 | 48,3 | 43,0 | 50,2 | 52,0 | 55,1 | 69,4 | 78,4 | 84,6 | 86,9 | 83,7 |
| II | 138,4 | 149,1 | 143,9 | 142,0 | 136,1 | 129,9 | 168,0 | 166,6 | 154,8 | 110,7 | 108,5 | 105,6 |
| III | 41,8 | 39,3 | 34,9 | 47,4 | 22,9 | 48,9 | 65,8 | 89,5 | 89,5 | 88,2 | 85,3 | 84,5 |
| IV | 18,6 | 33,8 | 41,9 | 44,1 | 43,9 | 43,3 | 42,5 | 42,5 | 42,5 | 42,5 | 41,8 | 41,8 |
| V | 28,2 | 30,8 | 35,8 | 38,2 | 37,6 | 34,4 | 55,5 | 84,3 | 87,8 | 100,7 | 110,5 | 104,6 |
| VI | 65,0 | 67,0 | 67,9 | 73,6 | 74,6 | 73,8 | 71,4 | 67,1 | 62,5 | 63,8 | 64,2 | 65,7 |
| Metropolitana | 24,3 | 22,0 | 22,0 | 23,5 | 37,7 | 40,6 | 43,5 | 43,2 | 43,2 | 41,0 | 41,0 | 41,0 |
| Varios | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,6 | 13,6 | 13,6 | 13,6 | 13,6 |
| TOTAL | 373,7 | 402,7 | 408,0 | 425,1 | 416,3 | 436,2 | 515,1 | 576,2 | 572,3 | 545,1 | 551,8 | 540,5 |

Fuente: Elaboración COCHILCO

⁸ Para mayor detalle de los pormenores de la estimación dirigirse al anexo 4

Es posible ver claramente un claro aumento de la demanda por agua para la minería chilena en todas las regiones, sobretodo en el norte del país.

2.4. Grupo de productores de la industria más importantes

El grupo de consumidores más importantes son las mineras con mayores producciones de la industria del mineral metálico chileno. En el caso de las empresas cupríferas las más importantes se pueden entrever desde la siguiente tabla-gráfico, ordenadas según la participación que tienen en la producción de cobre en miles de toneladas:

Tabla 7: Producción de cobre en el 2008 por empresa



También en la minería cuprífera tenemos otro consumidor importante que es la ENAMI que es la Empresa Nacional de minería, segunda minera estatal, cuyo objeto principal es fomentar el desarrollo de la minería de pequeña y mediana escala. Ello contempla el financiamiento del reconocimiento de reservas, la asesoría en la preparación y evaluación de proyectos, la capacitación y la asignación de recursos crediticios para apoyar la puesta en operación de proyectos viables, incluyendo apoyo al equipamiento, desarrollo de las faenas, capital de trabajo y emergencias. Además, Enami compra minerales y concentrados a los medianos y pequeños productores, pagando un precio que debe reflejar el precio internacional, descontando los costos de proceso. Los minerales que compra son procesados en sus plantas de beneficio de minerales mediante flotación (Manuel A. Matta, José A. Moreno, El Salado, Vallenar) para obtener concentrados que a su vez son fundidos en la fundición Hernán Videla Lira.

En el caso de los consumidores en la minería del molibdeno, tenemos los principales que se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 8: Producción nacional de molibdeno

| Tabla | | Producción Nacional de Molibdeno | | | | | | | | |
|--------------|---------|----------------------------------|----------|--------|----------|------------|----------------|------------------|------------------|--------|
| | | National molybdenum production | | | | | | | | |
| Año/ Year | Codelco | | | | | Collahuasi | Los Bronces | Los Pelambres | Valle Central | Total |
| | Total | Norte | Salvador | Andina | Teniente | | | | | |
| 1999 | 23.787 | 14.194 | 2.059 | 3.294 | 4.240 | | 3.483 | | | 27.270 |
| 2000 | 24.944 | 13.905 | 2.259 | 3.592 | 5.188 | | 3.190 | 5.450 | | 33.584 |
| 2001 | 24.238 | 15.219 | 1.575 | 2.724 | 4.720 | | 2.322 | 6.864 | | 33.424 |
| 2002 | 19.901 | 12.878 | 1.258 | 1.864 | 3.901 | | 2.370 | 7.800 | | 30.071 |
| 2003 | 23.173 | 16.432 | 1.172 | 2.057 | 3.512 | | 2.325 | 8.725 | | 33.375 |
| 2004 | 24.271 | | 1.154 | 5.249 | 3.919 | | 1.709 | 7.850 | | 41.883 |
| 2005 | 26.826 | | 1.248 | 3.244 | 5.249 | 349 | 2.123 | 8.710 | 293 | 48.041 |
| 2006 | 27.204 | 17.781 | 1.366 | 3.308 | 4.749 | 3.362 | 2.549 | 9.847 | 316 | 43.277 |
| 2007 | 27.857 | 19.065 | 1.214 | 2.525 | 5.053 | 4.038 | 2.582 | 10.156 | 278 | 44.912 |
| 2008 | 20.520 | 12.920 | 870 | 2.130 | 4.600 | 2.470 | 2.570 | 7.750 | 356 | 33.668 |

Fuente: Compendio de la minería chilena 2009

En el caso de los consumidores en la minería del oro chilena, tenemos a los principales que son:

1) Barrick Gold Corporation: Barrick Gold es el principal productor de oro del mundo. En 2007 su producción alcanzó a 7,66 millones de onzas de oro y las reservas de oro llegan a 138,5 millones de onzas en las franjas auríferas más importantes del mundo. En Chile, Barrick está impulsando el proyecto Pascua-Lama, en la frontera de Chile con Argentina. Su construcción debía comenzar en 2007, pero debido a que aún no se aclara el panorama tributario al tratarse de un yacimiento binacional, aún está en suspenso esta etapa. Ese depósito cuenta con reservas de 17 millones de onzas de oro y contiene 689 millones de onzas de plata, más 256.000 toneladas. Su producción ascendería a 750.000-775.000 onzas de oro anuales. La inversión estimada hasta la fecha es del orden US\$ 2.400 millones, Cabe mencionar que tras adquirir Arizona Star Resource Corp a fines del año pasado, Barrick tomó control del 51% del proyecto aurífero Cerro Casale, en la Región de Atacama. El resto de la propiedad pertenece a Kinross Gold Corp.

2) Florida: Minera Florida es un mediano productor de oro que cuenta con una operación activa en el Camino El Asiento, en las proximidades del pueblo de Alhué, Comuna de Melipilla, 180 kilómetros al sureste de Santiago, Región Metropolitana. La empresa es de propiedad de Minera Meridian Chile, una subsidiaria de Yamana Gold. La principal mina, Pedro de Valencia, que tiene leyes de aproximadamente 4,5 gpt de oro y 143 gpt de plata, es explotada en forma subterránea. A continuación el mineral extraído es procesado en la adyacente planta de flotación Alhué (construida en 1987) que cuenta con una capacidad para procesar 1.200 tpd de mineral. En julio de 2001 se agregó una planta de lixiviación de concentrados, por lo que el producto final es metal doré, con un contenido de 2.000 kg de oro, 7.200 kg de plata y 8.000 toneladas de zinc por año. La producción durante 2008 alcanzó a 64.614 onzas de oro equivalente y para 2009 se espera que esta cifra suba a 110.000 onzas de oro equivalente.

3) La Coipa: La mina de La Coipa se ubica en el norte de Chile, a 140 kilómetros al noroeste de la ciudad de Copiapó, Región de Atacama. En la actualidad, el único dueño de esta operación es la canadiense Kinross Gold, que adquirió su primera participación en 2003 mediante la combinación con TVX, y en 2007 obtuvo el 50% restante a través de la adquisición de Goldcorp Inc. La planta tiene capacidad para procesar 17.000 toneladas de mineral por día. La producción de oro en La Coipa durante el 2008 fue de 226.293 onzas de oro equivalente, 40% menos que el año anterior.

4) Refugio: La mina a rajo abierto Refugio está ubicada en el distrito minero de Maricunga, a 120 kilómetros al este de Copiapó, Región de Atacama y en una altura de 4.200 y 4.500 msnm. Kinross Gold consiguió un 50% de participación en 1998, y en febrero de 2007 adquirió el 50% restante mediante la compra de Bema Gold Corporation. Minera Maricunga, que invirtió unos US\$ 110 millones en reabrir Refugio, produjo 223.341 onzas de oro durante 2008.

5) Meridian Chile (El Peñón): Minera Meridian Chile es una subsidiaria de la canadiense Yamana Gold, que es propietaria de la mina El Peñón, el mayor productor de oro de Chile, y la empresa ya anunció que aumentará en 20% la producción de ese yacimiento, al revelar que en sus exploraciones en el yacimiento -que produce oro y plata en la Región de Antofagasta- encontraron una pared donde el metal precioso tiene una alta ley, lo que les permitirá subir su producción de 420.000 onzas anuales a 500.000 onzas en 2010. Además de ese yacimiento, Yamana Gold tiene concesiones de exploración en otras tres zonas: Amancaya, La Pepa y Jerónimo. Esta última propiedad fue adquirida en septiembre de 2006 a Codelco por US\$20 millones, y se ubica 50 kilómetros al sureste de la división Salvador de la estatal.

En el caso de la minería de la plata chilena, tenemos que los principales productores locales de plata obtienen el metal como subproducto de la explotación de oro y cobre, y los mayores entre ellos son Codelco, Meridian Chile (Yamana), Escondida y La Coipa. La producción estimada de Codelco, que obtiene este metal como subproducto de la explotación del cobre, alcanzó más de 12.000 onzas (344 toneladas) durante 2008. Otro productor local es Meridian Chile (Yamana Gold), que en su faena aurífera El Peñón produce alrededor de 5 a 6 millones de onzas por año. La mina La Coipa registra una producción de entre 5 y 10 millones de onzas de plata y Escondida entre 6 y 7 millones de onzas.

Los demás consumidores importantes de las demás minerías metálicas no se mencionan ya que tienen poca relevancia con respecto al negocio de la empresa, así que no se consideran dentro del mercado total de la compañía.

3. El mercado potencial y el objetivo

3.1. Elección de la región del mercado potencial

Se estimó conveniente empezar el negocio en una región en particular del norte de Chile. Además la decisión de en cual región enfocar el proyecto debería estar basada según el tamaño de la producción minera metálica tanto actual como proyectada, la cual a su vez sirve de referencia para cuantificar la demanda de recursos hídricos por parte de las operaciones mineras, según el nivel de las nuevas inversiones mineras en las regiones, según el tamaño de la oferta de agua en la región medida en base a los derechos de aguas otorgados a las mineras por la dirección general de aguas (DGA).

Fue posible encontrar información sobre la producción minera metálica en el año 2008 (año de la crisis) desagregada por regiones y fue posible ver que durante ese año las 4 regiones más importantes para la minería metálica, ordenadas de mayor a menor producción, fueron las regiones III, II, IV, y I⁹. Sin embargo, hay que resaltar que el requerimiento de agua para la extracción y procesamiento de plomo, zinc, hierro, y manganeso es bastante menor que para los demás minerales metálicos, razón por la cual estos sectores de la minería metálica no son atractivos para el proyecto, por lo que su influencia en la decisión del mercado potencial se

⁹ Para ver detalles de esta información favor de referirse al anexo 1.2

desprecia y ya no se considerarán más en el presente análisis del mercado. Debido a esto las regiones más importantes, ordenadas de mayor a menor producción, son las regiones II, I, III, y IV siendo el cobre el mineral de mayor importancia en las regiones señaladas. Debido a esto estas 4 primeras regiones del país son candidatas a ser la región donde se ubicaría la planta desaladora.

Por otro lado fue posible encontrar información sobre las inversiones extranjeras en distintas industrias chilenas en el año 2008, lo que se recopila en la siguiente tabla donde podemos ver con claridad que la región de Atacama fue la preferida por los inversionistas mineros extranjeros, seguida de lejos por la región de Antofagasta:

Tabla 9: Distribución sectorial de la inversión extranjera en el 2008

| Distribución sectorial de la inversión extranjera en el año 2008 ('000 US\$) | | | | |
|--|------------------|---|----------------|---------------|
| Sectorial distribution of foreign investment by region 2008 ('000 US\$) | | | | |
| Región / Sector | Minería / Mining | Electricidad, gas y agua / Electricity, gas and water | Otros / Others | Total / Total |
| Arica y Parinacota | 3.561 | 0 | 0 | 3.561 |
| Tarapacá | 4.116 | 0 | 0 | 4.116 |
| Antofagasta | 702.086 | 261.245 | 42.401 | 1.005.732 |
| Atacama | 1.505.545 | 0 | 6.312 | 1.511.857 |
| Coquímbo | 9.185 | 0 | 0 | 9.185 |
| Valparaíso | 2.539 | 47.952 | 5.073 | 55.564 |
| Bernardo O'Higgins | 0 | 66.241 | 27.595 | 93.836 |
| Maule | 0 | 0 | 3.098 | 3.098 |
| Bío Bío | 0 | 0 | 23.206 | 23.206 |
| La Araucanía | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Los Ríos | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Los Lagos | 0 | 0 | 10.998 | 10.998 |
| Aysén | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Magallanes y Antártica | 0 | 0 | 0 | 0 |
| XIII Región Metropolitana | 120.000 | 73.039 | 465.488 | 658.527 |
| Multirregional (1) | 19.156 | 950.458 | 893.244 | 1.862.858 |
| Total nacional | 2.366.188 | 1.398.935 | 1.477.415 | 5.242.538 |

Fuente: Comité Inversiones Extranjeras / Source: Foreign Investment Committee

1) Incluye inversión en más de una región y la no clasificada a la fecha del informe. / Includes investment in several regions and not classified up to now.

Debido al interés de esta región por parte de inversionistas extranjeros, y a la gran cantidad de nuevos proyectos mineros que entrarían en marcha en esta década en la tercera región y que no son expansiones de minas ya existentes (lo que ocurre mucho en la región de Antofagasta) como el Morro, Caserones, Cerro Casale, entre otros; la industria minera metálica de la región de Atacama sería una buena candidata para ser la región donde emplazar el proyecto.

Por otro lado, como el cobre es el mineral más importante y que requiere de un alto requerimiento hídrico, podemos cuantificar la importancia de cada región para el negocio del abastecimiento de aguas al observar estimaciones de la producción de cobre mina (en miles de toneladas) para la década que recién comienza para las regiones importantes para el negocio, las cuales fueron obtenidas gracias a información confiable proporcionada por COCHILCO y que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 10: Proyección de la producción de cobre mina en miles de toneladas

| Región | Estado | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|-------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| TARAPACA | Base | 730 | 728 | 700 | 650 | 735 | 827 | 794 | 784 | 739 | 699 | 689 | 639 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 243 | 405 | 547 | 567 |
| | Sub total | 730 | 728 | 700 | 650 | 735 | 827 | 794 | 784 | 982 | 1104 | 1236 | 1206 |
| ANTOFAGASTA | Base | 2933 | 3116 | 3161 | 3186 | 2980 | 2900 | 2777 | 2467 | 2326 | 2200 | 1987 | 1833 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 5 | 129 | 380 | 550 | 1033 | 1356 | 1374 | 1491 | 1448 |
| | Sub total | 2933 | 3116 | 3161 | 3191 | 3109 | 3280 | 3327 | 3500 | 3682 | 3574 | 3478 | 3281 |
| ATACAMA | Base | 336 | 354 | 326 | 265 | 345 | 415 | 349 | 341 | 341 | 330 | 317 | 324 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 132 | 335 | 468 | 483 | 469 | 457 | 427 |
| | Sub total | 336 | 354 | 326 | 265 | 350 | 547 | 684 | 809 | 824 | 799 | 774 | 751 |
| COQUIMBO | Base | 342 | 449 | 542 | 567 | 549 | 536 | 522 | 521 | 521 | 517 | 506 | 506 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Sub total | 342 | 449 | 542 | 567 | 549 | 536 | 522 | 521 | 521 | 517 | 506 | 506 |

Fuente: Cifras estimadas en COCHILCO

Base: Producción de las operaciones vigentes más la de los proyectos en construcción una vez que se pongan en marcha

Proyectos: El aporte estimado para los proyectos actualmente en condición probable, posible o hipotética

Se puede notar que la segunda y la primera región serían las más importantes regiones en cuanto a producción de cobre, y le seguirían la tercera y la cuarta región. El gran monto perteneciente a la segunda región se debe principalmente a que en esta región se seguirían centrando las mayores operaciones de la gran minera estatal Codelco (Chuquicamata subterráneo por ejemplo) y los grandes volúmenes producidos por las mayores empresas mineras privadas como minera Escondida y sus distintas fases de expansión.

Se descarta la cuarta región debido a que se nota en el mapa de esta región¹⁰ que las principales faenas mineras están muy segregadas en esta zona, y por no contar con proyectos futuros mineros que aporten al total de la región. Por lo tanto, quedamos con las 3 primeras regiones como regiones posibles. La decisión final se basará en la disponibilidad del recurso hídrico para cada región y en el número de nuevos proyectos mineros en cada región.

La disponibilidad del recurso hídrico u oferta actual de agua se basará en los derechos de agua de cada región, información disponible en el documento “*Derecho, Extracciones y Tasas Unitarias de Consumo de Agua del Sector Minero Regiones Centro-Norte de Chile*” de la DGA. En este documento se concluye que el total de los derechos consuntivos del sector minero entre la primera y sexta región, alcanza a 30,7 m³/s (metros cúbicos por segundo), de los cuales 13 m³/s (42%) corresponden a derechos permanentes y eventuales de agua superficial y 17,7 m³/s (58%) a derechos permanentes y provisionales de agua subterránea. Los derechos permanentes de aguas superficiales y subterráneas alcanzan un monto estimado de 24,7 m³/s, representando un 80% de los derechos consuntivos totales. El sector minero cuenta, además, con 76,8 m³/s de derechos no consuntivos de agua, de los cuales un 91% y 8% han sido otorgados en la Regiones VI y V respectivamente.

La II Región concentra el 33% de los derechos consuntivos de agua del sector minero, seguida de las Regiones IV y VI con 17% y 16% respectivamente; luego se ubican las Regiones III y I, con 13% y 10% respectivamente, y la Región Metropolitana y V Región, con 6% y 5% respectivamente.

En las Regiones I, II y III predominan los derechos de agua subterránea por sobre los derechos de agua superficial la cual es el agua más propicia a ser afectada por el calentamiento

¹⁰ Para ver el mapa de esta y las demás regiones con las faenas mineras principales respectivas referirse al anexo 2

global, destacándose la I Región, donde más del 97% de los derechos consuntivos son de agua subterránea, seguida de la II Región con cerca del 91%. En las demás regiones predominan los derechos de agua superficial por sobre los derechos de agua subterránea, destacándose la VI Región, donde más del 93% de los derechos consuntivos son de agua superficial, seguida de la IV Región con cerca del 70%.

El total de derechos consuntivos de agua informados por las empresas mineras es mayor en un 12,5% respecto de la información disponible en el Catastro Público de Aguas de la DGA. Esta diferencia se atribuye, en parte, a que algunos derechos de agua no estarían inscritos a nombre de las empresas mineras, y también a que el catastro podría no estar completamente actualizado. En todo caso, la diferencia identificada no resulta significativa para efectos del presente estudio de mercado.

Por otro lado las extracciones de agua informadas por las empresas mineras hace cuatro años alcanzaban un promedio anual de 11,9 m³/s. Este monto no incluye agua de mar, agua adquirida a terceros o agua alumbrada en las labores mineras. El caudal total de extracción de agua representa un 39% de los derechos consuntivos totales del sector minero, y un 48% de los derechos consuntivos permanentes.

Las Regiones II y VI concentran el 41% y 17%, respectivamente, de las extracciones de agua del sector minero, seguidas de las Regiones III y I, ambas con 12%; luego se ubican las Regiones V y Metropolitana, con 8% y 6% respectivamente, y la IV Región con 4%.

El detalle de de la información recopilada desde la DGA para las tres primeras regiones se resume en la tabla siguiente:

Tabla 11: Derechos y extracciones de agua para las regiones de interés

| Región | Empresa minera | Catastro Público de Aguas (DGA) | | | | | | | Empresas Mineras | | |
|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|-------------|--------------|-----------------------------------|---------------|--------------|---------------|------------------|---------------|-------------|
| | | Derechos Consuntivos Superficiales | | | Derechos Consuntivos Subterráneos | | | Total Derecho | Derechos No | Total Derecho | Extracción |
| | | Permanentes | Eventuales | Total | Permanentes | Provisionales | Total | Consuntivo | Consuntivos | Consuntivo | Informada |
| | (L/s) | (L/s) | (L/s) | (L/s) | (L/s) | (L/s) | (L/s) | (L/s) | Informado (L/s) | (L/s) | |
| I | Cia Minera Doña Ines de Collahuasi | 9 | 1 | 10 | 1028 | 0 | 1028 | 1038 | 20 | 1398 | 950 |
| | Cia Minera Cerro Colorado | 0 | 0 | 0 | 300 | 0 | 300 | 300 | 0 | 300 | 111 |
| | Cia Minera Quebrada blanca | 0 | 0 | 0 | 436 | 0 | 436 | 436 | 0 | 436 | 129 |
| | Subtotal I | 9 | 1 | 10 | 1764 | 0 | 1764 | 1774 | 20 | 2134 | 1190 |
| II | Cia Minera Zaldivar | 0 | 0 | 0 | 1256 | 0 | 1256 | 1256 | 0 | 1256 | 174 |
| | Spence | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | nn |
| | Minera Escondida | 134 | 0 | 134 | 3263 | 0 | 3263 | 3397 | 0 | 3195 | 2100 |
| | Codelco División Codelco Norte | 41 | 0 | 41 | 3687 | 0 | 3687 | 3728 | 0 | 3728 | 1786 |
| | Cia Minera Meridian | 0 | 0 | 0 | 52 | 0 | 52 | 52 | 0 | 52 | 8 |
| | Cia Minera Lomas Bayas | 0 | 0 | 0 | 35 | 0 | 35 | 35 | 0 | 218 | 131 |
| | Altonorte | 0 | 0 | 0 | 70 | 0 | 70 | 70 | 0 | 70 | 39 |
| | Minera El Abra | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 365 | 226 |
| | Minera El Tesoro | 0 | 0 | 0 | 45 | 0 | 45 | 45 | 0 | 142 | 48 |
| | Minera Michilla | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | nn |
| Subtotal II | 175 | 0 | 175 | 8408 | 0 | 8408 | 8583 | 0 | 0 | 4512 | |
| III | Empresa Minera Mantos Blancos | 556 | 200 | 756 | 129 | 0 | 129 | 885 | 0 | 885 | 116 |
| | MantoVerde | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 | 200 | 200 | 0 | 200 | 91 |
| | Cia Minera Nevada | 0 | 150 | 150 | 0 | 0 | 0 | 150 | 0 | 410 | nn |
| | Cia Minera Mantos de oro | 0 | 3 | 3 | 474 | 0 | 474 | 477 | 0 | 477 | nn |
| | Codelco División Salvador | 3 | 0 | 3 | 490 | 0 | 490 | 493 | 0 | 493 | 798 |
| | Cia Minera Candelaria | 0 | 0 | 0 | 40 | 0 | 40 | 40 | 0 | 1007 | 239 |
| | Cia Minera Ojos del Salado | 0 | 0 | 0 | 905 | 0 | 905 | 905 | 0 | 70 | 89 |
| | Cia Minera del Pacífico | 0 | 140 | 140 | 61 | 0 | 61 | 201 | 0 | 201 | 107 |
| | Sociedad Punta del Cobre S.A. | 0 | 0 | 0 | 155 | 0 | 155 | 155 | 0 | 155 | nn |
| Subtotal III | 559 | 493 | 1052 | 2454 | 0 | 2454 | 3506 | 0 | 3898 | 1440 | |
| TOTAL | 743 | 494 | 1237 | 12626 | 0 | 12626 | 13863 | 20 | 6032 | 7142 | |

Fuente: Dirección general de aguas (DGA)

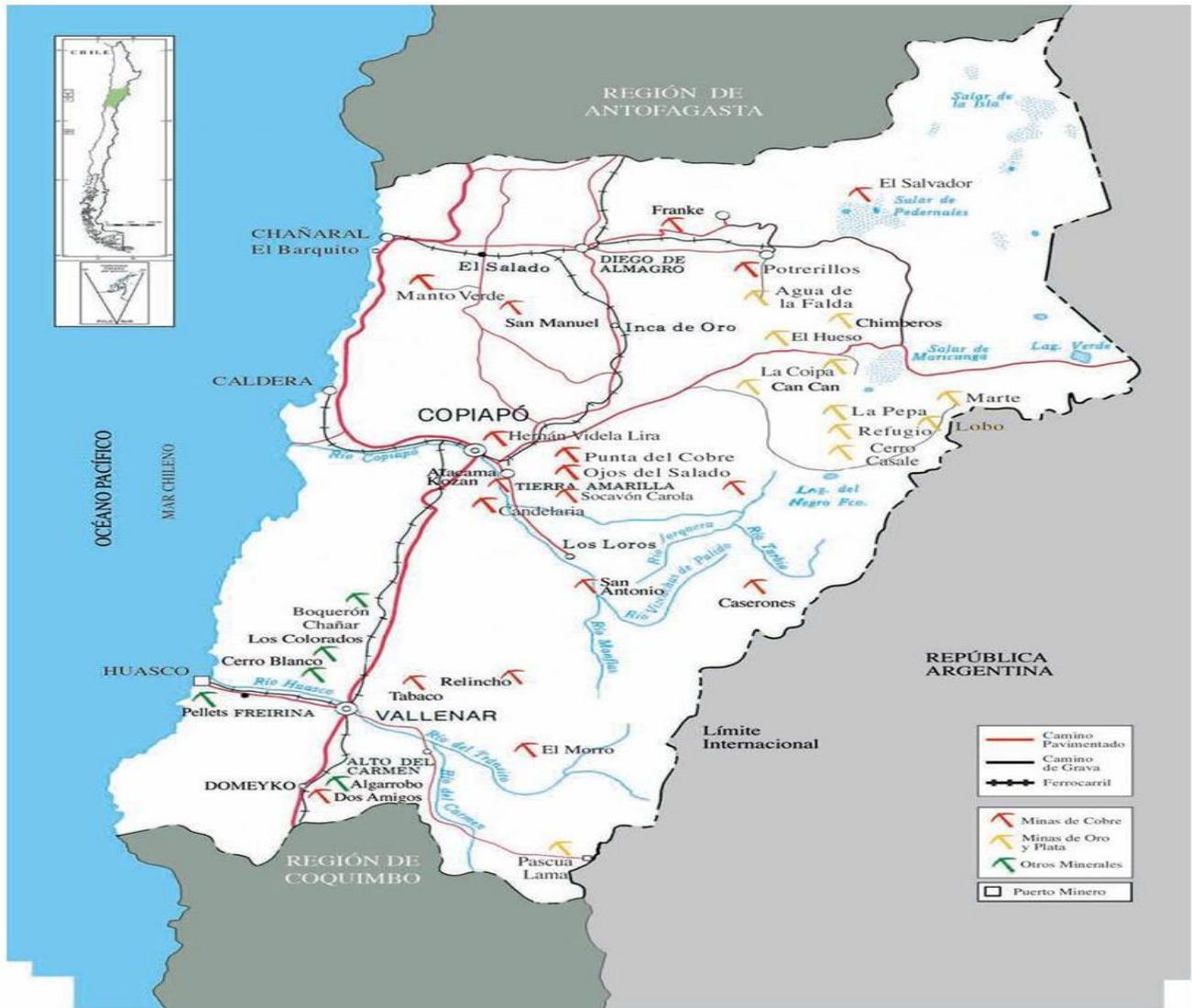
Para finalizar este punto hay que decir que se escogió a la tercera región de Atacama como la zona donde ubicar el proyecto debido a lo anteriormente expuesto, pero en particular por contar esta región con la mayor cantidad de proyectos nuevos a concretarse a partir del 2014¹¹ (año en que, en teoría, empezaría el funcionamiento de la desaladora) y que no son proyectos de expansión de una faena ya existente. Hay que recalcar que a pesar de haber realizado esta elección, las demás regiones son mercados bastante atractivos, pero por el limitado tiempo de realización de la presente memoria, es razonable centrarse en una sola región la cual será la de Atacama.

3.2. Descripción del mercado minero de la región seleccionada

El mercado de la minería metálica en la tercera región es el más importante de la región. Las faenas mineras presentes en la región explotan y procesan principalmente minerales metálicos como el cobre, el molibdeno, la plata, el oro, y el fierro. La producción de hierro aunque es de gran magnitud no se tomará en cuenta en este estudio debido al poco requerimiento hídrico que requiere su producción. La principal faena minera del estado en esta región es El Salvador. La mayor faena minera privada de la región es Candelaria, la cual tiene una capacidad de producción de 68.000 toneladas por día de mineral y que además tiene su propio proyecto de planta desalinizadora que se instalaría cerca del puerto de Caldera, con una inversión estimada de US\$ 270 millones de dólares y con una capacidad de 300 l/s expandible hasta los 500 l/s de agua desalinizada, aunque estaría conectada a la red eléctrica nortina lo que es precisamente una de las cosas que se desean evitar en el negocio que se quiere emprender. En este proyecto tal como en el que se presenta en este informe se debe realizar un estudio de impacto ambiental para poder cumplir con las normas medioambientales necesarias para su realización.

En el mapa de la región de Atacama, que se mostrará en este apartado, se pueden ver tanto las principales faenas mineras en operación como algunas de las principales nuevas faenas mineras que entrarían en operación en la primera mitad de esta década como lo son El Morro, Caserones, y Cerro Casale, entre otras. Las faenas representadas con el equipamiento rojo son las mineras que principalmente son/serán productoras de cobre, las con amarillo son las que principalmente producen/producirán oro y plata (algunas también producen cobre mina), y las con verde son productoras de otros minerales. Además es posible observar las distintas fuentes naturales de agua en la región de donde las empresas mineras han obtenido históricamente el recurso hídrico necesario para su funcionamiento. El mapa es el siguiente:

¹¹ Ver anexo 1.6 para ver una tabla con los proyectos



3.3. Tamaño actual del mercado minero regional

A continuación se procede a mostrar la producción de cada mineral metálico que nos interesa en el año 2008 en la tercera región para ejemplificar el tamaño del mercado.

Tabla 12: Producción año 2008 de los principales metales en la tercera región

| Mineral | Unidad | Atacama |
|-----------|--------|---------|
| Cobre | Ton | 453.310 |
| Molibdeno | Ton | 872 |
| Oro | Ton | 17,91 |
| Plata | Ton | 353,03 |

Fuente: Elaboración propia

Las principales faenas que operan en la actualidad son las que se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 13: Principales faenas mineras de la tercera región

| Nombre | Operador | Minerales | Capacidad Procesamiento | Producción anual | Proceso | Ubicación | Comentarios |
|----------------------------|-------------------------|------------|---|--|-----------------|---|---|
| Atacama Kozan | Atacama Kozan | Cu | 1.825.000 tpa | 28.000 tpa concentrados | Flot | 15 km al sureste de Copiapó | s/a |
| Planta Biocobre | Pucobre | Cu | 1.000.000 tpa | 9.500 tpa cátodos | Lix-SX-EW | 13 km de Copiapó | El operador recibe el cobre de sus minas Manto Negro y |
| Candelaria | Candelaria | Cu, Au, Ag | 24.820.000 tpa | 200.000 tpa concentrados | Flot | 29 km al sureste de Copiapó | Se planea construir planta desalinizadora de capacidad de producción de 300 L/s |
| Planta Elisa de Bodos | San Andrés | Cu | 182.500 tpa | 2.800 tpa concentrados | Flot | Copayapu 80, Copiapó | Mediano Productor de cobre |
| Franke | Centenario Copper Chile | Cu | 3.532.258 tpa | 30.000 tpa cátodos | Lix-SX-EW | Límite Norte III región | Ley promedio de 0,9%, con una inversión de 250 MUS\$ |
| Manto Verde Óxidos | Anglo American Norte | Cu | 10.000.000 tpa | 62.000 tpa cátodos | Lix-SX-EW | 38 km al sureste del puerto de Chañaral, 900 msnm | Ley de cobre de 0,51%; Se pretende construir planta desalinizadora de 120 L/s para actual operación de óxidos y |
| Planta Manuel Antonio Mata | Enami | Cu | 1.320.000 tpa | 20.252 tpa concentrados | Flot | Camino Paipote | Completa como mínimo su vida útil en el 2014 |
| Planta Pedro Aguirre Cerda | Ojos del salado | Cu, Au, Ag | 1.496.500 tpa | 17.600 tpa Cu; 0,34 tpa Au; 4,85 tpa Ag | Flot | 15 km al sureste de Copiapó | Procesa minerales de minas Alcaparrosa y Santos. Recibe el agua de minera Candelaria |
| Refugio | Maricunga | Au | 27.010.000 tpa | 7,1 tpa Au | Lix | 105 km al este de Copiapó | ley promedio de 0,75 gpt |
| Planta salado | Enami | Cu | 750.000 tpa | 800 tpa cátodos | Lix-SX-EW | 36 km del puerto Chañaral | s/a |
| Planta San José | Pucobre | Cu | 3.960.000 tpa | 60.756 tpa concentrados | Flot | A 5km de la mina punta del cobre en Tierra amarilla | ley de 29% del concentrado de Cobre. Procesa minerales de la mina Punta Del Cobre |
| Planta Vallenar | Enami | Cu | 300.000 tpa (sulfuros); 146.400 tpa (óxidos) | 4.603 tpa concentrados; 2.400 tpa cátodos | Flot, Lix-SX-EW | Cercanías de Vallenar | s/a |
| Planta Dos Amigos | Cemin | Cu | 2.105.263 tpa | 20.000 tpa cátodos | Lix-SX-EW | 3 km al sur del pueblo Domeyko | s/a |

Fuente: Compendio de la minería chilena 2009; Elaboración Propia

Lix: Lixiviación

Flot: Flotación

Acá se pueden ver el operador de cada faena, los minerales que se producen allí (Cu es cobre, Au es oro, y Ag es plata), la capacidad de procesamiento de estas faenas, la producción anual de cobre, el proceso de obtención del mineral que se realiza (lixiviación o flotación), la ubicación, y algunos comentarios extra. Cabe mencionar que también hay otras faenas mineras pero no se pudieron obtener datos concretos sobre estas por lo que no se mencionaron.

Para finalizar se mostrará a continuación la oferta de agua para las principales empresas mineras actualmente en operación, expresada en el Total de los derechos consuntivos otorgados por la dirección general de agua a estas empresas (información del año 2008), lo que se puede recopilar del documento “*Derecho, Extracciones y Tasas Unitarias de Consumo de Agua del Sector Minero Regiones Centro-Norte de Chile*” de la DGA:

Tabla 14: Derechos y extracciones de agua en la tercera región (litros/segundos)

| Región | Empresa minera | Catastro Público de Aguas (DGA) | | | | | | | Empresas Mineras | | |
|--------------|-------------------------------|------------------------------------|------------|-------|-----------------------------------|---------------|-------|--------------------------------|-------------------------------|--|----------------------------|
| | | Derechos Consuntivos Superficiales | | | Derechos Consuntivos Subterráneos | | | Total Derecho Consuntivo (L/s) | Derechos No Consuntivos (L/s) | Total Derecho Consuntivo Informado (L/s) | Extracción Informada (L/s) |
| | | Permanentes | Eventuales | Total | Permanentes | Provisionales | Total | | | | |
| | | (L/s) | (L/s) | (L/s) | (L/s) | (L/s) | (L/s) | | | | |
| III | Empresa Minera Mantos Blancos | 556 | 200 | 756 | 129 | 0 | 129 | 885 | 0 | 885 | 116 |
| | MantoVerde | 0 | 0 | 0 | 200 | 0 | 200 | 200 | 0 | 200 | 91 |
| | Cia Minera Nevada | 0 | 150 | 150 | 0 | 0 | 0 | 150 | 0 | 410 | nn |
| | Cia Minera Mantos de oro | 0 | 3 | 3 | 474 | 0 | 474 | 477 | 0 | 477 | nn |
| | Codelco División Salvador | 3 | 0 | 3 | 490 | 0 | 490 | 493 | 0 | 493 | 798 |
| | Cia Minera Candelaria | 0 | 0 | 0 | 40 | 0 | 40 | 40 | 0 | 1007 | 239 |
| | Cia Minera Ojos del Salado | 0 | 0 | 0 | 905 | 0 | 905 | 905 | 0 | 70 | 89 |
| | Cia Minera del Pacífico | 0 | 140 | 140 | 61 | 0 | 61 | 201 | 0 | 201 | 107 |
| | Sociedad Punta del Cobre S.A. | 0 | 0 | 0 | 155 | 0 | 155 | 155 | 0 | 155 | nn |
| Subtotal III | | 559 | 493 | 1052 | 2454 | 0 | 2454 | 3506 | 0 | 3898 | 1440 |

Fuente: DGA

Acá se puede ver que en general el total de los derechos consuntivos informados por la mineras es mayor a la demanda real (extracción informada) ya que lamentablemente la mayoría de las empresas ocupan sólo un poco de los derechos de agua que compraron, los cuales podrían ser vendidos a productores de otras industrias intensivas en el recurso hídrico que no pueden acceder a estas.

3.4. Tendencias y cambios previstos en el mercado minero regional

Para que el lector pueda observar las tendencias y los cambios previstos en el mercado potencial se muestran 3 tablas con información de la estimación de la producción de cobre (en miles de toneladas de mineral) hasta el 2020 en la región de Atacama realizada por COCHILCO.

Tabla 15: Estimación de la producción de concentrados de cobre (miles de ton)

| Región | Estado | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|----------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ATACAMA | Base | 232 | 236 | 212 | 177 | 242 | 302 | 286 | 278 | 282 | 277 | 266 | 270 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 107 | 254 | 377 | 402 | 388 | 386 | 386 |
| | Sub total | 232 | 236 | 212 | 177 | 242 | 409 | 540 | 655 | 684 | 665 | 652 | 656 |
| TOTAL NACIONAL | Base | 3277 | 3582 | 3749 | 3783 | 3920 | 4096 | 4068 | 3902 | 3796 | 3669 | 3374 | 3245 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 94 | 382 | 656 | 1329 | 1851 | 2102 | 2491 | 2486 |
| | TOTAL | 3277 | 3582 | 3749 | 3783 | 4014 | 4478 | 4724 | 5231 | 5647 | 5771 | 5865 | 5731 |

Fuente: Elaboración Cochilco

Tabla 16: Estimación de la producción de cátodos de cobre (miles de toneladas)

| Región | Estado | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|----------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ATACAMA | Base | 104 | 118 | 114 | 88 | 103 | 113 | 63 | 63 | 59 | 53 | 51 | 54 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 25 | 81 | 91 | 81 | 81 | 71 | 41 |
| | Sub total | 104 | 118 | 114 | 88 | 108 | 138 | 144 | 154 | 140 | 134 | 122 | 95 |
| TOTAL NACIONAL | Base | 2113 | 2161 | 2119 | 2125 | 1975 | 1875 | 1677 | 1471 | 1307 | 1125 | 1080 | 989 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 5 | 40 | 130 | 356 | 493 | 573 | 569 | 553 | 523 |
| | TOTAL | 2113 | 2161 | 2119 | 2130 | 2015 | 2005 | 2033 | 1964 | 1880 | 1694 | 1633 | 1512 |

Fuente: Elaboración Cochilco

Tabla 17: Estimación de la producción total de cobre (miles de toneladas)

| Región | Estado | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|----------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ATACAMA | Base | 336 | 354 | 326 | 265 | 345 | 415 | 349 | 341 | 341 | 330 | 317 | 324 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 132 | 335 | 468 | 483 | 469 | 457 | 427 |
| | Sub total | 336 | 354 | 326 | 265 | 350 | 547 | 684 | 809 | 824 | 799 | 774 | 751 |
| TOTAL NACIONAL | Base | 5390 | 5743 | 5868 | 5908 | 5895 | 5971 | 5745 | 5373 | 5103 | 4794 | 4454 | 4234 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 5 | 134 | 512 | 1012 | 1822 | 2424 | 2671 | 3044 | 3009 |
| | TOTAL | 5390 | 5743 | 5868 | 5913 | 6029 | 6483 | 6757 | 7195 | 7527 | 7465 | 7498 | 7243 |

Fuente: Elaboración Cochilco

En la primera tabla se puede observar un considerable aumento del concentrado de cobre obtenido por flotación debido principalmente a que los nuevos proyectos mineros se centrarán principalmente en este método de procesamiento del mineral. Por el contrario la producción de cátodos de cobre no presentaría un aumento significativo en los próximos años, llegando incluso a disminuir con respecto del 2009 en los años 2012 y 2020.

En resumen se espera una tendencia al aumento de la producción de cobre total en el mercado del cobre de la tercera región, llegándose a un “peak” de 824 millones de toneladas de cobre producidas en el 2017. Para el mercado del oro y la plata también se espera un aumento de la producción que, junto a la producción del cobre, conllevaría también un aumento de la demanda agua en el mercado potencial.

Con la estimación de COCHILCO presentada en las anteriores tablas, esta institución estimó además la demanda de agua para la minería del cobre en esta década¹², cuyos resultados para la tercera región se muestran a continuación:

¹² Para observar el procedimiento seguido por esta institución referirse al anexo 4

Tabla 18: Estimación de la demanda de agua para la tercera región (millones de m³)

| REGIÓN | PROYECCIÓN DEMANDA AGUA PARA LA PRODUCCION TOTAL DE COBRE EN CHILE (millones de m ³) | | | | | | | | | | | |
|--------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| III | 41,8 | 39,3 | 34,9 | 47,4 | 22,9 | 48,9 | 65,8 | 89,5 | 89,5 | 88,2 | 85,3 | 84,5 |
| TOTAL | 373,7 | 402,7 | 408,0 | 425,1 | 416,3 | 436,2 | 515,1 | 576,2 | 572,3 | 545,1 | 551,8 | 540,5 |
| REGIÓN | PROYECCIÓN DEMANDA AGUA PARA LA PRODUCCION DE CONCENTRADOS DE COBRE EN CHILE (millones de m ³) | | | | | | | | | | | |
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| III | 37,3 | 33,6 | 29,5 | 8,4 | 17,1 | 43,3 | 60,4 | 83,9 | 84,7 | 83,5 | 81,2 | 82,1 |
| Total | 311,8 | 339,1 | 346,6 | 327,5 | 352,2 | 378,4 | 454,2 | 515,6 | 513,1 | 501,5 | 510,1 | 501,0 |
| REGIÓN | PROYECCIÓN DEMANDA AGUA PARA LA PRODUCCION DESX DE COBRE EN CHILE (millones de m ³) | | | | | | | | | | | |
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| III | 4,5 | 5,7 | 5,4 | 3,9 | 5,8 | 5,6 | 5,4 | 5,6 | 4,8 | 4,7 | 4,1 | 2,4 |
| TOTAL | 61,9 | 63,6 | 61,4 | 97,6 | 64,1 | 62,8 | 60,9 | 60,6 | 59,2 | 43,6 | 41,7 | 39,5 |

Fuente: Elaboración Cochilco

Con estas tablas se puede ver un aumento de la demanda de agua para la minería del cobre especialmente en el cobre obtenido por flotación, llegándose a un “peak” en la demanda de agua en los años 2016 y 2017 correspondiente a 89,5 millones de m³. Para el mercado del oro y la planta se supone un comportamiento similar en la década.

Un cambio que se estima posible en la minería de la región es la obtención de agua de otras maneras distintas a la extracción desde aguas superficiales o subterráneas asignadas como derechos de aguas. Estas maneras son la obtención de agua desalinizada desde plantas de desalinización de las propias empresas (aunque las plantas estarían conectadas a la red eléctrica, que es algo que se quiere evitar en este proyecto) como sería el caso de la minera “Candelaria” o de la futura minera “El Morro”, y la obtención y uso de agua marina sin desalinizar (requiere revestimientos en las cañerías y máquinas debido al poder corrosivo del agua marina) como lo que ocurre en la mina esperanza en la segunda región.

3.5. Determinación y descripción del mercado potencial

El mercado potencial al cual se apuntará son los nuevos proyectos mineros que entrarían en operación en el futuro ya que los que ya están operando tienen ya asegurado sus requerimientos hídricos por lo cual sería difícil incorporarlos como clientes, además de que muchas faenas mineras actuales tienen pocos años más de vida útil por lo que no sería conveniente entablar una relación con estas.

Para la búsqueda de la información sobre estos nuevos proyectos se recurrió al Catastro de Proyectos Mineros 2011 de EDITEC S.A. Los datos recopilados se resumen en las siguientes dos tablas (en realidad es una sola tabla pero la información se separó en 2 para la mejor comprensión del lector de este documento):

Tabla 19: Primera parte de los detalles de los clientes potenciales

| Nombre Proyecto | Etapa (AÑO 2010) | Empresa | Inversión (US\$ Millones) | Región | Mineral | Reserva (RE)/ Recursos (RU) | Ley mineral | Capacidad de procesamiento |
|--------------------------|------------------|---|---|--------|----------------|---|--|---|
| Caserones | Estudio | Minera Lumina Copper Chile (Pan Pacific Copper) | 2.000 | III | Cu | 1.300 Mt (ru) | 0,34% Cu | 41.000.000 tpa sulfuros; 15.000.000 tpa óxidos |
| Cerro Casale | Estudio | Barrick Gold 75%; Kinross 25% | 4.200 | III | Au, Cu | 606,4 Mt (re) | 0,22% Cu; 0,59 gpt Au | 54.750.000 tpa sulfuros; 27.375.000 tpa óxidos |
| Diego de Almagro | Estudio | Cerro Dominador | 120 | III | Cu, Au | 300.000 t Cu; 27.000 oz Au | s/a | 6.691.667 tpa sulfuros; 3.345.833 tpa óxidos |
| El Morro | Estudio | Goldcorp 70%; New Gold 30% | 2.350 | III | Cu, Au | 6,7 Moz Au; 2,56 Mt (re) | 0,55% Cu; 0,49 gpt Au | 32.850.000 tpa sulfuros |
| Inca de oro | Exploración | PanAust 60%; Codelco 40% | 400 | III | Cu, Au, Mo | 345 Mt (ru) | 0,47% Cu | 15.208.333 tpa sulfuros |
| Lobo-Marte | Estudio | Kinross Gold | 575 - 650 | III | Au | 141 Mt (re) | 1,22 gpt Au | 17.155.000 tpa óxidos |
| Pascua Lama (binacional) | Construcción | Barrick Gold | 2.800 - 3.000 (1.500 parte chilena) | III | Au, Ag, Cu | 18,3 Moz Au; 689 Moz Ag; 256.000 t Cu (re) | s/a | 3.289.398 tpa sulfuros; 16.060.000 tpa óxidos |
| San Antonio | Estudio | Codelco Salvador | 283 | III | Cu | 213 Mt (re) | 0,48% Cu | 9.125.000 tpa óxidos |
| Santo Domingo | Exploración | Far West Mining | 1500 | III | Cu, Au, Fe | 452 Mt (ru) | 0,37% Cu; 26,75% Fe; 0,05 gpt Au | 25.550.000 tpa sulfuros |
| MantoVerde Sulfuros | Estudio | Anglo American Norte | s/a | III | Cu | s/a | s/a | 3476.206 tpa sulfuros |
| Retaguardia | Exploración | Minera San José | 1300 | III | Cu, Au, Mo, Fe | 400 Mt (re) | 0,5% Cu 20% Fe | 21.900.000 tpa sulfuros |

Fuente: Elaboración propia con datos del *Catastro de proyectos mineros 2010-2011*, y de la *Inversión en la Minería Chile del Cobre y del Oro Proyección del período 2009-2015*.

Tabla 20: Segunda parte de los detalles de los clientes potenciales

| Nombre Proyecto | Producción Anual | Vida Útil | Tipo Explotación | Proceso | Puesta en marcha | Ubicación | Requerimiento de agua (según empresa) |
|--------------------------|---|-----------|------------------|-----------------|----------------------------|---|--|
| Caserones | 30.000 tpa cátodos (año 1) 150.000 tpa Cu concentrados (año 2) (incluyen 3.000 tpa Mo); | 26 | RA | Flot, Lix-SX-EW | 2013 (Lix); 2014 (Flot) | 120 km al sureste de de Copiapó, a 15 km de la frontera con Argentina, altura media de 4.300 msnm | Aguas subterráneas en la parte superior de la cuenca de Copiapó. Los derechos son de 1095 l/seg. |
| Cerro Casale | 28,35 tpa Au; 100.000 tpa Cu en concentrados | 18 | RA | Flot, Lix-SX-EW | 2015 | 115 km al sureste de Copiapó, en el cinturón aurífero del salar de Maricunga a 3.800 msnm | Agua del depósito Piedra Pomez a 120 km al norte de la mina. Los derechos son de 1747 l/seg. |
| Diego de Almagro | 11.000 tpa cátodos (año 1); 22.000 tpa concentrados (año 2) | 8 | RA | Flot, Lix-SX-EW | 2013 (Lix); 2014 (Flot) | 10 km al sureste de la ciudad de Diego de Almagro, 1000 - 1100 msnm | s/a |
| El Morro | 165.000 tpa Cu concentrados (incluyen 10,01 tpa Au) | 14 | RA | Flot | 2015 | 77 km al este de la ciudad de Vallenar, y a 140 km al sureste de Copiapó, 4.000 msnm | Planta desalinizadora por ósmosis inversa con capacidad de producción de 740 l/s de agua, conducida por tubería de 198 km de longitud |
| Inca de oro | 50.000 tpa Cu concentrados (incluyen 1,134 tpa Au) | 15 | RA | Flot | 2014 | 80 km al noreste de Copiapó, al sureste del pueblo de Inca de oro, 1600 - 1700 msnm | s/a |
| Lobo-Marte | 9,92 tpa Au | 15 | RA | Lix | 2014 | 130 Km al nororiente de Copiapó; 4200 msnm | s/a |
| Pascua Lama (binacional) | 21,97 tpa Au; 992,23 tpa Ag | 23 | RA | Flot, Lix-SX-EW | 2013 | 50 km al sureste de Vallenar, Comuna Alto del Carmen, Chile; 300 km al noreste de la ciudad de San Juan, Provincia de San José, Argentina; 5.000 msnm | 370 l/s para el procesamiento del mineral (Río Las Taguas, Argentina); 42 l/s para las operaciones de la mina (río del Estrecho, Chile) |
| San Antonio | 30.000 tpa Cu cátodos | 17 | RA | Lix-SX-EW | 2014 | En la periferia de la antigua mina de Potrerillos (Mina Vieja) a 8km al sureste de la fundición, Comuna de Diego de Almagro, 2.800 - 3.000 msnm | s/a |
| Santo Domingo | 65.000 tpa Cu concentrados | 10 | RA | Flot | 2015 | Entre 5 y 7 km al sureste de Diego de Almagro y 107 km al noreste de Copiapó; 900-1100 msnm | s/a |
| MantoVerde Sulfuros | s/a | 20 | RA | Flot | 2018 | 38 km al sureste del puerto de Chañaral, 900 msnm | Planta desaladora por ósmosis inversa con capacidad de producción de 120 l/s de agua, conducida por tubería de 40 km de longitud (Inversión de 62 millones de dólares) |

Fuente: Elaboración propia con datos del *Catastro de proyectos mineros 2010-2011*, y de la *Inversión en la Minería Chile del Cobre y del Oro Proyección del periodo 2009-2015*.

En resumen se cuenta como clientes potenciales a once proyectos mineros futuros en la región.

Ahora, como el negocio de la empresa es el abastecimiento de agua desalada, es importante calcular los requerimientos de aguas de los clientes potenciales identificados, para poder dilucidar una cartera de clientes objetivo conveniente.

Para calcular la demanda de agua para el mercado potencial, se aplican las siguientes fórmulas a los datos obtenidos de los proyectos mineros:

a) Consumo de agua anual [m^3] = Capacidad de procesamiento [TM] * Consumo Unitario Agua [m^3 /TM]

Recordar que [$1 m^3 = 1000$ litros] [TM = toneladas métricas] [1 onza = 0,00003 toneladas]

b) Caudal requerido [m^3 /s] = Consumo de agua anual/ (365 días * 86.400 segundos)

El consumo de agua anual se obtiene al multiplicar la capacidad anual de procesamiento del mineral por el consumo unitario de agua para el procesamiento de cada una de las faenas mineras.

Se cuenta con la información de las capacidades anuales de procesamiento, pero el consumo unitario de agua en los procesos para la obtención del cobre es una incógnita. Para resolver esta duda se pudo contar con la ayuda del experto Jacques Wiertz, profesor del departamento de minas de la facultad y coordinador técnico del segundo congreso de gestión del agua en la industria minera realizado en Junio del 2010. Según su opinión experta era pertinente establecer, para las nuevas faenas, el consumo unitario de agua para el proceso de flotación como 0,35 y para el proceso de lixiviación SX-EW¹³ como 0,2 en el caso de la minería del cobre (puede contener además otros minerales), y en el caso de la minería del oro y la plata (sin cobre) unos consumos unitarios de 1,5 en la flotación y 0,3 en la lixiviación.

Se calcula después el caudal requerido en litros/segundo al multiplicar por mil el resultado del caudal obtenido en m^3 /s. El caudal resultante es el usado en el procesamiento del mineral, pero además se estima necesario sumarle el agua requerida en la explotación del mineral que es en su mayoría el agua utilizada en el riego de caminos con un consumo que suele variar entre el cero y el 15% del consumo total de agua de una faena minera.

Para la estimación final de los requerimientos hídricos para los clientes se obtiene el caudal requerido en la explotación del mineral, el que se asume como el 15% del caudal total requerido, al cual se le suma el valor del caudal requerido en el procesamiento, dando así el caudal requerido por cada faena minera¹⁴.

Los resultados obtenidos para el caudal requerido total por cada faena minera, y que equivaldrían a las demandas de agua de cada integrante del mercado potencial, son los siguientes:

¹³ Ver el anexo 3.1 para observar en detalle estos 2 tipos de procesos para la obtención del cobre

¹⁴ Para más detalles de los supuestos usados para la estimación favor de referirse al Anexo 3.

Tabla 21: Resultados de la estimación de la demanda del mercado potencial

| Nombre Proyecto | Capacidad de procesamiento | Consumo unitario de agua (m3/ton) | Consumo de agua anual (m3) | Caudal requerido (m3/s) | Caudal requerido en Procesamiento (85%) (L/s) | Caudal requerido en Explotación (15%) (L/s) | Caudal requerido Total (L/s) |
|--------------------------|---|-----------------------------------|----------------------------|-------------------------|---|---|------------------------------|
| Caserones | 41.000.000 tpa sulfuros; 15.000.000 tpa óxidos | 0,35 flot; 0,2 lix | 17.350.000 | 0,5502 | 550,16 | 97,09 | 647 |
| Cerro Casale | 54.750.000 tpa sulfuros; 27.375.000 tpa óxidos | 0,35 flot; 0,2 lix | 24.637.500 | 0,7813 | 781,25 | 137,87 | 919 |
| Diego de Almagro | 6.691.667 tpa sulfuros; 3.345.833 tpa óxidos | 0,35 flot; 0,2 lix | 3.011.250 | 0,0955 | 95,49 | 16,85 | 112 |
| El Morro | 32.850.000 tpa sulfuros | 0,35 | 11.497.500 | 0,3646 | 364,58 | 64,34 | 429 |
| Inca de oro | 15.208.333 tpa sulfuros | 0,35 | 5.322.917 | 0,1688 | 168,79 | 29,79 | 199 |
| Lobo-Marte | 17.155.000 tpa óxidos | 0,3 | 5.146.500 | 0,1632 | 163,19 | 28,80 | 192 |
| Pascua Lama (binacional) | 3.289.398 tpa sulfuros; 16.060.000 tpa óxidos | 1,5 flot; 0,3 lix | 9.752.096 | 0,3092 | 309,24 | 54,57 | 364 |
| San Antonio | 9.125.000 tpa óxidos | 0,2 | 1.825.000 | 0,0579 | 57,87 | 10,21 | 68 |
| Santo Domingo | 25.550.000 tpa sulfuros | 0,35 | 8.942.500 | 0,2836 | 283,56 | 50,04 | 334 |
| MantoVerde Sulfuros | 3.476.206 | 0,35 | 1.216.672 | 0,0386 | 38,58 | 6,81 | 45 |
| Retaguardia | 21.900.000 tpa sulfuros | 0,35 | 7.665.000 | 0,2431 | 243,06 | 42,89 | 286 |
| Total | | | 96.366.935 | 3,06 | 3055,78 | 539,25 | 3.595 |

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que según la estimación, la demanda del mercado potencial ascendería a un caudal de 3.595 litros/segundo, siendo Cerro Casale, Caserones, El Morro, y Pascua-Lama las principales faenas mineras de este mercado.

Para comprobar que la estimación se asemeje a la realidad, los valores anteriormente obtenidos para los nuevos proyectos en la región se pueden comparar con una estimación realizada por la dirección general de aguas¹⁵. La comparación entre la estimación en la tesis y la de la DGA se muestra a continuación, con el objetivo de que el lector pueda ver que no existen generalmente grandes diferencias entre estas 2 estimaciones:

¹⁵ Fuente: documentos.inoh.cl/Seminarios/Aguacom/Katherine%20Ferrada.pdf

Tabla 22: Diferencia entre la estimación realizada y la de la DGA

| Nombre Proyecto | Derechos de agua (L/s) | Consumo esperado (presentación DGA) | Consumo Esperado (memoria) | Diferencia (L/s) | Diferencia (%) | Tamaño planta desaladora (L/s) |
|--------------------------|------------------------|-------------------------------------|----------------------------|------------------|----------------|--------------------------------|
| Caserones | 1095 | 518 | 647 | 129 | 25 | |
| Cerro Casale | 1747 | 900 | 919 | 19 | 2 | |
| Diego de Almagro | | | 112 | | | |
| El Morro | | 640 | 429 | -211 | -33 | 740 |
| Inca de oro | | | 199 | | | |
| Lobo-Marte | | | 192 | | | |
| Pascua Lama (binacional) | 412 | 370 | 364 | -6 | -2 | |
| San Antonio | | 67 | 68 | 1 | 2 | |
| Santo Domingo | | | 334 | | | |
| MantoVerde Sulfuros | | | 45 | | | |
| Retaguardia | | | 286 | | | |

Fuente: Elaboración propia

3.6. Elección del mercado objetivo

Para elegir la cartera de clientes a la cual apuntar dentro del mercado potencial hay que pensar primero quienes podrían aceptar la oferta ofrecida en este documento, o sea que hay que identificar qué faenas mineras no tienen una fuente de agua asegurada para satisfacer sus requerimientos hídricos. Para la realización de esta tarea se estimó conveniente revisar en el servicio de evaluación ambiental de la CONAMA para ver en qué faena minera se tiene ya ingresado un estudio de impacto ambiental (EIA), debido a que si es así en esta se debería tener ya planeado el uso de una fuente de agua específica superficial o subterránea, el uso de agua de mar sin tratar, o incluso la construcción de su propia planta de desalación.

Los proyectos mineros con un EIA ingresado al sistema a la fecha (primero de diciembre 2010) son Caserones, El Morro, Pascua-Lama, y MantoVerde Sulfuros.

Por otro lado se eliminan otros potenciales clientes del mercado objetivo como lo son Diego de Almagro y San Antonio, el primero por ser una faena con una vida útil acotada y con un caudal demandado inferior a los demás clientes, y el segundo por ser una faena estatal con un suministro hídrico in-situ.

En resumen, la cantidad de proyectos mineros en la cartera de clientes asciende a cinco clientes objetivos los cuales son Retaguardia, Cerro Casale, Lobo-Marte, Inca de Oro, y Santo Domingo.

3.7. La demanda hídrica

A continuación se muestra una tabla con el caudal que requiere nuestra cartera de clientes a lo largo de los 20 años de vida útil del proyecto, considerando como preferible el comienzo de las operaciones en el 2014 para captar lo más pronto posible la demanda de agua de los proyectos

futuros que empiezan a requerir agua desde ese mismo año, o sea se procede a mostrar la demanda de la cartera de clientes objetivos para los 20 años de vida útil del proyecto en una tabla y después en un gráfico para su mejor visualización:

Tabla 23: La demanda del mercado objetivo en el tiempo

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|--------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Cerro Casale | | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | |
| Inca de Oro | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | | | | | | |
| Lobo-Marte | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | | | | | | |
| Santo Domingo | | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | | | | | | | | | | |
| Retaguardia | | | | | | | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 |
| Caudal Clientes Objetivo (L/s) | 391 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.929 | 1.929 | 1.929 | 1.929 | 1.929 | 1.596 | 1.596 | 1.596 | 1.596 | 1.205 | 1.205 | 1.205 | 1.205 | 286 |

Fuente: Elaboración propia



Con esta demanda observada se ha estimado necesario la construcción de una planta desaladora con capacidad para producir y suministrar un caudal de 2000 L/s de agua desalada para poder satisfacer los requerimientos del mercado objetivo del proyecto.

III. Estudio Técnico

El proyecto tiene 3 grandes componentes. El primer gran componente es la planta desaladora que tomará el agua marina y la convertirá en agua apta para su uso en la industria minera (calidad de agua de riego), le sigue el sistema de impulsión para abastecer el agua producto a los clientes mineros, y por último la planta solar que abastecerá de energía eléctrica tanto a la planta desaladora como al sistema de abastecimiento del agua.

Debido a esto se ha estimado necesario realizar un estudio técnico para estas tres componentes por separado, aunque de manera no tan específica debido al corto tiempo de realización de esta memoria y debido a la excesiva dificultad que esto conllevaría. Además hay que recalcar que el estudio técnico de las 2 primeras componentes estará enfocado a obtener la energía necesaria para que estas componentes puedan funcionar y poder así establecer el tamaño de la planta solar en MW (Mega Watts).

1. Estudio técnico planta desaladora

1.1. Antecedentes de la desalación

Entendemos la desalinización de agua marina como el proceso físico de separación de sales de una disolución acuosa para utilizar el agua del mar en zonas con escasez de agua potable. El sistema físico de eliminación de las sales por destilaciones y condensaciones sucesivas ya era conocido desde la antigüedad. Pero necesitaba un consumo grande de energía que no lo hacía relevante. Tras el transcurso de los años se mejoraron los procesos que implicaban un menor consumo de energía, Llegándose a precios inferiores de tratamiento de 0,765 \$US/m³. Así pues se puede llegar a transformar un agua salada con un contenido en sales de 35000 ppm (partes por millón o miligramos) en una agua con un contenido en sales inferior a 500 ppm que la entendemos como agua dulce.

El único efecto ambiental negativo que tienen los procedimientos de desalación más usados es la devolución al medio ambiente de una salmuera con alto contenido en sales, lo que puede afectar a la fauna marina.

La cantidad mínima de energía necesaria para desalar puede obtenerse por lo tanto siguiendo el camino inverso del proceso de desalación, midiendo la energía que se desprende en la disolución de sales en agua pura, y puede representarse por la fórmula: $W_{min} = \ln(T \cdot R \cdot aW)$ donde W_{min} es la energía desprendida en el proceso de mezcla (kWh/m³), R es la constante universal de los gases ($R=0,082 \text{ atm} \cdot \text{l} / \text{K} \cdot \text{mol}$), T es la temperatura absoluta de la mezcla ($T = \text{Temperatura}(\text{°C}) + 273,15$), y aW es la actividad de los electrolitos que componen la disolución salina, de valor cercano a la unidad para aguas marinas. Como la actividad depende fuertemente de la concentración de los electrolitos (es directamente proporcional a la molaridad de los constituyentes tanto iónicos como no iónicos), la energía mínima desprendida en el proceso y por lo tanto la necesaria para desalar depende de la concentración del agua de aporte: para un agua bruta media del mar de 35.000 ppm de total de sólidos disueltos, dicha energía a 25°C es de 0.88 kWh/m³, pero baja hasta los 0.3 kWh/m³ en el caso de una concentración de 15.000 ppm. En condiciones de equilibrio el precio llegaría a ser de 0,051 \$US/m³ pero el proceso sería extremadamente lento y debido a roces, fricciones, variaciones del flujo de calor, etc, el proceso se encarece hasta unas cinco veces más que el precio teórico.

1.2. Los métodos de desalación

a) Evaporación súbita por efecto flash (MSF):

La desalación obtenida por evaporación consiste en evaporar agua para conseguir vapor que no contiene sales (éstas son volátiles a partir de 300° C): el vapor se condensa posteriormente en el interior ó exterior de los tubos de la instalación. Los sistemas desalinizadores suelen funcionar por debajo de la presión atmosférica, por lo que necesitan un sistema de vacío (bombas o

eyectores), además de extracción del aire y gases no condensables. La utilización de una cámara flash permite una evaporación súbita (y por lo tanto de carácter irreversible) previa a su posterior condensación. Generalmente, la cámara flash se sitúa en la parte baja de un condensador de dicho vapor generado en la cámara inferior. Por lo tanto, la recuperación de calor necesario para la evaporación se obtiene gracias a la unión sucesiva de etapas en cascada a diferente presión, y es necesario el aporte mínimo de la condensación de un vapor de baja o media calidad proveniente de una planta de generación eléctrica. Este es el proceso evaporativo más ampliamente utilizado en el mundo, y de implantación masiva sobre todo en Medio Oriente. Ello se debe a varias razones:

- Es especialmente válido cuando la calidad del agua bruta no es buena (alta salinidad, temperatura y contaminación del agua aportada).
- Su acoplamiento con plantas de potencia para formar sistemas de cogeneración es muy fácil y permite una gran variabilidad de rangos de operación en ambas plantas.
- Su robustez en la operación diaria frente a otros procesos de destilación es notoria.
- La capacidad de las plantas MSF es mucho mayor que otras plantas destiladoras en virtud a la cantidad de etapas conectadas en cascada sin problemas de operación.

Sin embargo, las plantas MSF tienen un grave inconveniente. Su consumo específico, definido como la cantidad de energía consumida para producir 1 m³ de agua desalada, es de los más altos de los procesos estudiados. A este consumo contribuyen el consumo térmico proveniente de la planta productora de electricidad, más alto que otros procesos de destilación debido al efecto flash; y el consumo eléctrico debido al gran número de bombas necesarias para la circulación de los flujos de planta. Además de su alto coste de operación, su coste de instalación no es más bajo que otros procesos de desalación.

b) Evaporación de múltiple efecto (MED):

Al contrario que en el proceso MSF por efecto flash, en la destilación por múltiple efecto (MED) la evaporación se produce de forma natural en una cara de los tubos de un intercambiador aprovechando el calor latente desprendido por la condensación del vapor en la otra cara del mismo. Una planta MED (Multi-Effect Distillation) tiene varias etapas conectadas en serie a diferentes presiones de operación, dichos efectos sucesivos tienen cada vez un punto de ebullición más bajo por el efectos de dicha presión. Esto permite que el agua de alimentación experimente múltiples ebulliciones, en los sucesivos efectos, sin necesidad de recurrir a calor adicional a partir del primer efecto. El agua salada se transfiere luego al efecto siguiente para sufrir una evaporación y el ciclo se repite, utilizando el vapor generado en cada efecto. Normalmente también existen cámaras flash para evaporar una porción del agua salada que pasa al siguiente efecto, gracias a su menor presión de operación. La primera etapa se nutre de vapor externo de un sistema recuperativo, una turbina de contrapresión (ó extracción de una de condensación). Un condensador final recoge el agua dulce en la última etapa precalentando el agua de aportación al sistema. Por lo tanto las plantas MED también conforman sistemas de cogeneración al igual que las MSF consumiendo una porción de energía destinada a la producción eléctrica. La destilación por múltiple efecto no es un proceso solamente utilizado para la desalación. La capacidad de este tipo de plantas suele ser más reducida que las MSF (nunca suele superar los 15.000 m³/día) aunque ello se debe más a razones de índole política que operativa: las MSF más grandes se instalan en Oriente Medio y las mayores MED están instaladas en las islas del Caribe para abastecer de agua estas zonas de gran presión turística. También es verdad que el número máximo de efectos conectados en serie raramente es mayor de

15, a excepción de las MED con múltiples efectos integrados en cada uno de ellos, llegando en este caso a un número total de más de 50. Sin embargo, tienen un mejor rendimiento global con respecto a una MSF ya que el ratio de ganancia en los destiladores de este tipo de plantas puede llegar a 15 sin ningún problema, reduciendo por lo tanto el consumo específico de este proceso respecto de una planta MSF con idénticas capacidades. Ello se debe principalmente a la irreversibilidad asociada al proceso de separación flash que aparece en los procesos MSF. Además el consumo eléctrico es menor que la MSF ya que necesita menos bombas de circulación al no existir recirculación de salmuera.

c) Compresión térmica de vapor (TVC)

La compresión térmica de vapor (TVC, Thermal Vapor Compression) obtiene el agua destilada con el mismo proceso que una destilación por múltiple efecto (MED), pero utiliza una fuente de energía térmica diferente: son los llamados compresores térmicos (o termocompresores), que consumen vapor de media presión proveniente de la planta de producción eléctrica (si tenemos una planta dual, sino sería de un vapor de proceso obtenido expresamente para ello) y que succiona parte del vapor generado en la última etapa a muy baja presión, comprimiéndose y dando lugar a un vapor de presión intermedia a las anteriores adecuado para aportarse a la 1ª etapa, que es la única que consume energía en el proceso. El rendimiento de este tipo de plantas es similar a las de las plantas MED, sin embargo su capacidad desaladora puede ser mucho mayor al permitirse una mayor adaptabilidad de toma de vapor de las plantas productoras del mismo. Muchas veces se las considera el mismo proceso, pero aquí se tratarán individualmente ya que el consumo de energía de la planta se realiza por un equipo diferente.

d) Electrodialisis (ED):

Este proceso permite la desmineralización de aguas salobres haciendo que los iones de diferente signo se muevan hacia zonas diferentes aplicando campos eléctricos con diferencias de potencial aplicados sobre electrodos, y utilizando membranas selectivas que permitan sólo el paso de los iones en una solución electrolítica como es el agua salada. Los iones van a los compartimentos atraídos por los electrodos del signo contrario, dejando en cubas paralelas el agua pura y en el resto el agua salada más concentrada. Es un proceso que sólo puede separar sustancias que están ionizadas y por lo tanto su utilidad y rentabilidad está sólo especialmente indicada en el tratamiento de aguas salobres ó reutilización de aguas residuales, con un consumo específico y de mantenimiento comparable en muchos casos a la ósmosis inversa. En algunas ocasiones, la polaridad de los ánodos y cátodos se invierte alternativamente para evitar el ensuciamiento de las membranas selectivas al paso de dichos iones. En este caso se habla de electrodialisis reversible (EDR).

e) Destilación solar:

La energía solar es el método ideal para producir agua en zonas áridas y muy aisladas del resto de poblaciones. A pesar de tener un coste energético nulo y escasa inversión necesaria, su baja rentabilidad reside en su escasa producción por metro cuadrado de colector al destilarse tan sólo unos litros al día en el caso de condiciones climatológicas favorables. Por lo tanto no se han desarrollado a gran escala en lugares con un consumo elevado de agua dulce. El principio básico es el del efecto invernadero: el sol calienta una cámara de aire a través de un cristal transparente,

en cuyo fondo tenemos agua salada en reposo. Dependiendo de la radiación solar y otros factores como la velocidad del viento (que enfría el vidrio exterior), una fracción de esta agua salada se evapora y se condensa en la cara interior del vidrio. Como dicho vidrio está colocado inclinado, las gotas caen en un canal que va recogiendo dicho condensado evitando que vuelvan a caer en el proceso de condensación a la lámina inferior de salmuera. Aunque pueden utilizarse técnicas de concentración de los rayos solares apoyándose en lentes ó espejos (parabólicos ó lisos), no suelen compensar las mayores pérdidas de calor que ello acarrea y su mayor coste económico. Pero la energía solar también puede ser la fuente de energía de un proceso de destilación, incluso de producción eléctrica para pequeñas instalaciones de ósmosis inversa. Por ejemplo, el uso de colectores de concentración parabólicos puede usarse en procesos MSF ó MED dependiendo del coste de los colectores, que son los que determinan la producción de agua por metro cuadrado (de media producen 10 m³ de agua dulce por m² de colector) y factores climáticos tales como el porcentaje del día en que la planta consume energía solar.

1.3. Problema medioambiental derivado de la desalación y su posible gestión

En todo proceso desalador, tenemos una porción del agua previamente introducida que es rechazada y devuelta normalmente al reservorio original de donde se aportó el agua bruta a desalar. Si hablamos de aguas desaladas una media de 45.000 ppm de sólidos disueltos, la salmuera rechazada devuelta al mar en plantas MSF suele tener una concentración de 60-65.000 ppm y un caudal menor de la mitad que el aportado, teniendo en cuenta que tan sólo la décima parte del agua bruta introducida se desala y que existe recirculación del agua bruta. El resto de caudal que equilibra el balance de masa de la instalación es el agua bruta precalentada en la sección de rechazo que no es concentrada respecto a la inicial.

La Inyección en Sondeos Profundos es una alternativa altamente fiable, tanto desde el punto de vista operativo como desde el punto de vista de seguridad ambiental, para la gestión de la salmuera de rechazo de las plantas desalinizadoras. La salmuera considerada como residuo a gestionar puede generarse en diversos procesos industriales, tales como la obtención de sales, la minería de disolución, la extractiva de petróleo o gas y la desalinización de aguas salobres. La cual está en amplio desarrollo dada la gran cantidad de estas operaciones que se están llevando a cabo. No obstante el método de la Inyección en Sondeos Profundos es aplicable a la salmuera, cualquiera que sea su procedencia así como una amplia gama de residuos líquidos.

Uno de los problemas más determinantes de la viabilidad de una operación de ósmosis inversa es la gestión del rechazo de salmuera. En un gran número de ocasiones el rechazo se vierte al mar, si la planta se encuentra próxima al mar, lo cual no es siempre así. Por otra parte este vertido al mar encuentra a veces la contestación de algunos sectores de la sociedad. El rechazo contiene, no solo las sales del agua bruta, ya sean naturales o generadas en algún proceso de contaminación (por ejemplo los nitratos), también todo aquel compuesto que se utilice como aditivo en el proceso de ósmosis.

El sistema ideal para la eliminación de residuos sería aquel que admitiera una cantidad ilimitada del mismo y lo mantuviera siempre fuera del campo de la actividad humana. Para que una operación de Inyección Profunda sea factible se han de dar cuatro condiciones:

- Existe una formación permeable capaz de admitir el residuo (permeable y transmisiva).
- Existe una formación impermeable que mantiene el residuo confinado el tiempo suficiente hasta su inocuidad.
- Las condiciones de ambas formaciones no cambian con el desarrollo de la operación.
- La operación de Sondeos de Inyección Profunda no interfiere a otros recursos más importantes.

La Inyección Profunda plantea problemas específicos que han de considerarse en todo momento. Para abordarlos se definen dos conceptos:

- Inyectividad, relacionada con la roca almacén, define su aptitud para recibir fluidos inyectados.
- Inyectabilidad, relacionada con el fluido a inyectar, define su comportamiento y compatibilidad con la roca y con el fluido almacén.

El fluido que rellena los huecos de la formación almacén, generalmente agua salada, está en un equilibrio físico-químico con la roca almacén casi perfecto, alcanzado a través de millones de años. Se pretende introducir un fluido extraño que deshará este equilibrio y se producirán reacciones tendentes a su restablecimiento. Ello puede tener como consecuencia resultados no queridos, tales como precipitaciones que obturen la formación pudiendo hacer irre recuperable el sondeo. El residuo ha de compatibilizarse con los materiales del sondeo, con la formación almacén y con el fluido contenido en ella. La variedad de los problemas de compatibilidad que pueden presentarse es muy amplia, especialmente los de naturaleza química. Con frecuencia son complejos y difíciles de detectar, dada la pequeña magnitud de sus efectos que pueden pasar desapercibidos, al nivel de control al que se les suele someter.

Generalmente, la inyección de residuos requiere la aplicación de una presión superior a la natural del fluido contenido en la formación. La distribución de presiones dentro del acuífero durante la operación, presenta su valor máximo en el sondeo y decrece al alejarse radialmente del mismo, de forma casi proporcional a la distancia. El exceso de presión necesario y su área de influencia dependen de las características del acuífero receptor, de los fluidos nativos, de la cantidad de residuo inyectada y del tiempo necesario para la inyección. El empleo de presiones excesivas puede conducir a la fracturación hidráulica de la formación permeable, o a la migración de residuos hacia niveles más superficiales, a través del entorno más próximo al sondeo de inyección. Para una operación de inyección segura ha de conocerse cuál es la mayor presión de inyección admisible. Un descenso progresivo de pendiente hidráulica indica una pérdida de porosidad y permeabilidad en la formación inyectada, generalmente por colmatación. Asimismo, la evolución del índice de Inyectividad puede revelar daños en el sondeo, drenaje del residuo hacia otros niveles u otras deficiencias surgidas durante la operación

1.4. Elección de tecnología para la desalación

El criterio para la elección de la tecnología a emplear se basó en una tabla que compara las distintas tecnologías según algunos indicadores relevantes. Esta tabla se puede observar a continuación:

Tabla 24: Comparación de tecnologías de desalación según algunos indicadores relevantes
 Tabla. Indicadores Relevantes en diferentes procesos para la Desalinización de agua de mar.

| INDICADORES Procesos | Consumo de Energía Fósil | Costos Unitarios | Tendencias Mundiales | Fuentes de Energía |
|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|
| Ósmosis Inversa | De 2 a 2.8 kwh/m ³ | 0.60 USD/m ³ | Crecimiento | Eléctrica |
| Electrodialisis | De 16 a 19 kwh/m ³ | 58 USD/m ³ | Estático | Eléctrica |
| Destilación Multi-efecto MED | De 3.4 a 4 kwh/m ³ | 1.5 USD/m ³ | Decreciente | Eléctrica Calorífica |
| Evaporación Multi- etapas Flash MSF | De 5 a 8 kwh/m ³ | 1.10 USD/m ³ | Decreciente | Eléctrica Calorífica |
| Destilación * por energía Solar | = | 28 USD/m ³ | Estático – Creciente | Energía solar |

* Se opera a bajas escalas de Producción y en climas favorecedores.

Fuente: Universidad de Yucatán, México, 2007

Se puede observar claramente que el método con el menor consumo de energía fósil y el menor costo unitario es claramente el de la ósmosis inversa por lo que esta tecnología es la elegida para usarse en la planta de desalación debido a que necesita de menor energía para operar, lo que requiere una planta solar de menor tamaño y por ende un menor costo asociado. Además se ha visto un incremento de este método en el mundo y sobretodo en Chile donde algunas empresas mineras tienen ya planeado contar con una planta desalinizadora con esta tecnología. Además existen varias empresas que se dedican a vender este tipo de plantas en distintos tamaños que se enumeran en una lista de proveedores.¹⁶

1.5. Origen y características de la materia prima

La materia prima principal que será usada en la planta es el agua salada proveniente del mar de las costas de la tercera región, cerca de la localidad de Puerto Viejo en la comuna de Caldera a unos treinta y cinco km de la ciudad que le da el nombre a esta comuna. Las características principales del agua de este sector es que tiene una turbidez¹⁷ menor a cinco NTU, un SDI mayor a tres, y una temperatura menor a los veinte grados Celsius¹⁸. Además de esto el agua marina está constituida por sales, minerales, metales (Fierro y aluminio), iones disueltos, microorganismos (Bacteria, algas), compuestos y químicos orgánicos, particulados (sedimentos, coloides) y gases (CO₂).

El pretratamiento de la planta desaladora estará enfocado en bajar la turbidez del agua a menos de cinco NTU para mejorar la calidad del agua y transformarla en agua de proceso (si se quiere lograr una calidad de agua apta para consumo humano hay que bajar la turbidez por lo menos a 0,5 NTU pero se necesita una mayor inversión, por lo que no se considera esta opción) y

¹⁶ Ver anexo 6 para observar dicha lista

¹⁷ Ver anexo 7 Para una explicación de los términos usados en las características del agua

¹⁸ Fuente de datos: ITT CORPORATION

dejar al SDI en tres para evitar el desgaste en las membranas que se usan en el proceso de la ósmosis inversa.

1.6. El proceso en una planta de Ósmosis Inversa (OI)

La ósmosis es un proceso natural que ocurre en plantas y animales. De forma esquemática se puede decir que cuando dos soluciones con diferentes concentraciones se unen a través de una membrana, existe una circulación natural de la solución menos concentrada para igualar las concentraciones finales, con lo que la diferencia de altura obtenida se traduce en una diferencia de presión, llamada osmótica. Sin embargo aplicando una presión externa que sea mayor a la presión osmótica de una disolución respecto de otra, el proceso se puede invertir, haciendo circular agua de la disolución más concentrada y purificando la zona con menor concentración, obteniendo finalmente un agua de pureza admisible, aunque no comparable a la de procesos de destilación. Por eso es altamente recomendable para la filtración de aguas salobres, en las que la sal a rechazar es mucho menor que en aguas marinas. La cantidad de permeado depende de la diferencia de presiones aplicada a la membrana, sus propiedades y la concentración del agua bruta, y la calidad del agua permeada suele estar en torno a los 300-500 ppm de total de sólidos disueltos, cifra un orden de magnitud mayor al agua obtenida en un proceso de evaporación.

Una membrana para realizar osmosis inversa debe resistir presiones mucho mayores a la diferencia de presiones osmóticas de ambas soluciones. Por ejemplo un agua bruta de 35.000 ppm de total de sólidos disueltos a 25°C tiene una presión osmótica de alrededor de 25 bar, pero son necesarios 70 bar para obtener permeado). Además deber ser permeable al agua para permitir el flujo y rechazar un porcentaje elevado de sales. Sin embargo no se puede considerar la OI como un proceso de filtración normal, ya que la dirección de flujo del agua bruta es paralela y no perpendicular como un caso cualquiera de filtración. Ello implica que tan sólo una parte del agua bruta de alimentación pasa realmente a través de la membrana (un proceso de filtración lo haría en su totalidad), y que no se acumulen sales en la membrana al arrastrarse por el agua bruta que no pasa por la membrana. El proceso de ósmosis inversa es tan simple que a priori solo son necesarias las membranas que filtren el contenido salino y el equipo presurizador. Pero una planta de OI es mucho más compleja que una agrupación de módulos y una o varias bombas, por ejemplo las membranas se ensucian muy fácilmente con la operación continuada y necesita un pretratamiento intensivo (mucho mayor que en los procesos de destilación), que comprende entre otros:

- Clorado para reducir la carga orgánica y bacteriológica del agua bruta.
- Filtración con arena para reducir la turbidez.
- Acidificación para reducir el pH y limitar la formación de depósitos calcáreos.
- Inhibición con polifosfatos de la formación de sulfatos de calcio y bario.
- Declorado para eliminar el cloro residual.
- Cartuchos de filtrado de partículas requeridos por los fabricantes de membranas.
- Microfiltración (MF) y ultrafiltración (UF) en el caso de aplicaciones industriales muy específicas ó en reutilización de aguas residuales.

Las etapas del pretratamiento son las siguientes:

Bombeo de agua de aporte, dosificación de ácido clorhídrico, dosificación de hipoclorito sódico, dosificación de reactivo anti-incrustante, filtración sobre lecho de sílex, filtración de

seguridad sobre cartuchos, dosificación de reactivo reductor, tratamiento por ósmosis inversa, bombeo de alta presión, módulos de ósmosis inversa, equipo de limpieza de membranas y flushing.

Las etapas del post-tratamiento son:

Dosificación de hipoclorito sódico, Reendurecimiento, Acumulación y bombeo de agua producto.

Los datos (energía, agua bruta, productos químicos, etc) variarán en función del régimen de trabajo, del mecanismo, así como de las dimensiones de la propia planta. La operación de la planta se realiza de forma automática, por medio de una computadora industrial y varios autómatas.

El proceso completo que se sigue normalmente en una planta se describe a continuación:

a) Captación del agua marina:

Lo primero es la obtención del agua bruta, en este caso agua marina, que se realiza a través de una toma submarina alejada de la costa (torre de toma¹⁹), mediante tuberías de diámetro variable fondeadas sobre lecho marino, y en zanja mediante lastres de hormigón. Estas tuberías conducen el agua, por gravedad, hasta la costa, donde es impulsada por una estación de bombeo a la planta desalinizadora.

b) Pretratamiento

Antes del tratamiento específico de las sales hay que realizar un tratamiento global en el que se incluirán distintos procesos físicos y químicos. Lo primero será añadirle al agua bruta un coagulante (cloruro férrico) para formar agregados de partículas y propiciar su precipitación en el decantador al que va a ser enviada esta agua. Tras el proceso de la decantación se procederá a la desinfección, para eliminar así la carga biológica, ésta puede realizarse de distintas formas: la cloración (mediante adición de hipoclorito de sodio), que es el método más empleado, dado que el cloro es un poderoso oxidante y desinfectante, además de que es barato y fácil de controlar, aunque aporta un sabor desagradable al agua.

Después del tratamiento de desinfección, el agua, con una baja presión, pasa a través de un conjunto de filtros de doble capa (generalmente de arena y/o carbón natural), tras los cuales la mayor parte de la materia en suspensión desaparece, obteniéndose un filtrado de aproximado de 15 micras (micrómetros). El agua obtenida pasará a un tanque regulador que dosificará el caudal para el siguiente filtrado.

Ahora comienza una segunda etapa de filtración, en la que el agua es impulsada con una presión mayor a través de filtros multicapa (también de arena y/o carbón natural), los cuales aumentan la calidad de filtrado hasta partículas inferiores a 10 micras.

Como elemento final de seguridad el agua deberá de pasar aún por filtros de cartucho, primero por unos de 15 micras y luego por otros de 10 micras. Tras este filtrado el agua, será declorada (ya que rondará el pH=8 y deberá reducirse a un pH<7) mediante la adición de ácido sulfúrico (debido a la corrosividad y peligrosidad de este ácido, tanto el depósito donde es almacenado, como las cañerías que lo conducen, están recubiertos por una película de hexametáfosfato sódico para evitar posibles escapes), pues el agua debe poseer unas condiciones

¹⁹ Ver anexo 10 para ver fotos de esta estructura y otras de la planta desaladora

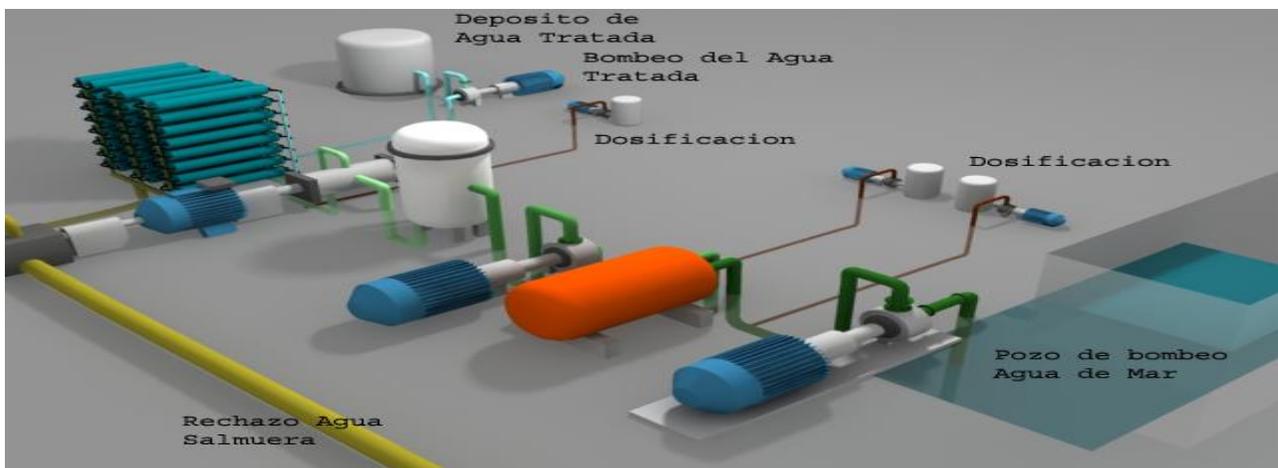
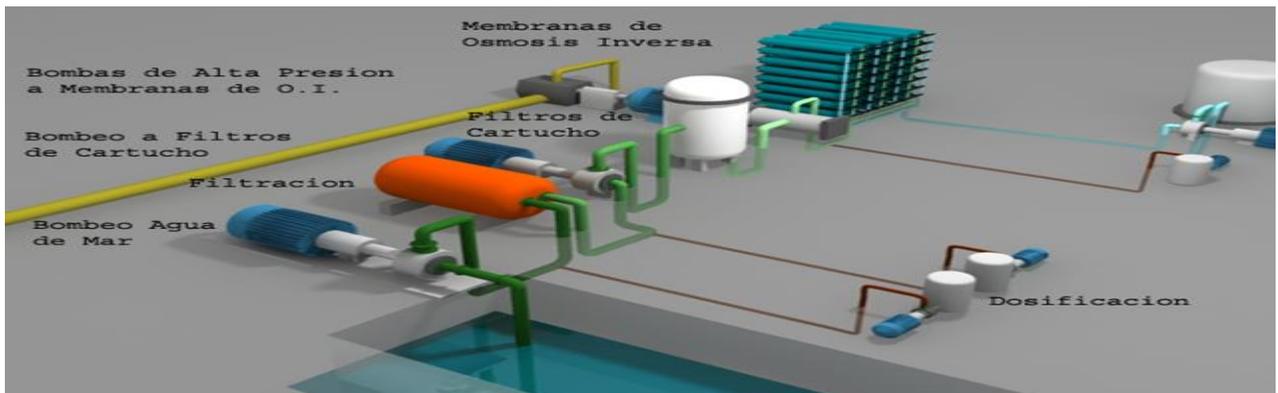
fisicoquímicas óptimas para ser introducidas en las membranas de ósmosis, ya que éstas son muy sensibles. Con este procedimiento las aguas ya tendrían que tener un SDI igual a 3 con lo que se evita que las membranas se dañen.

c) La ósmosis Inversa

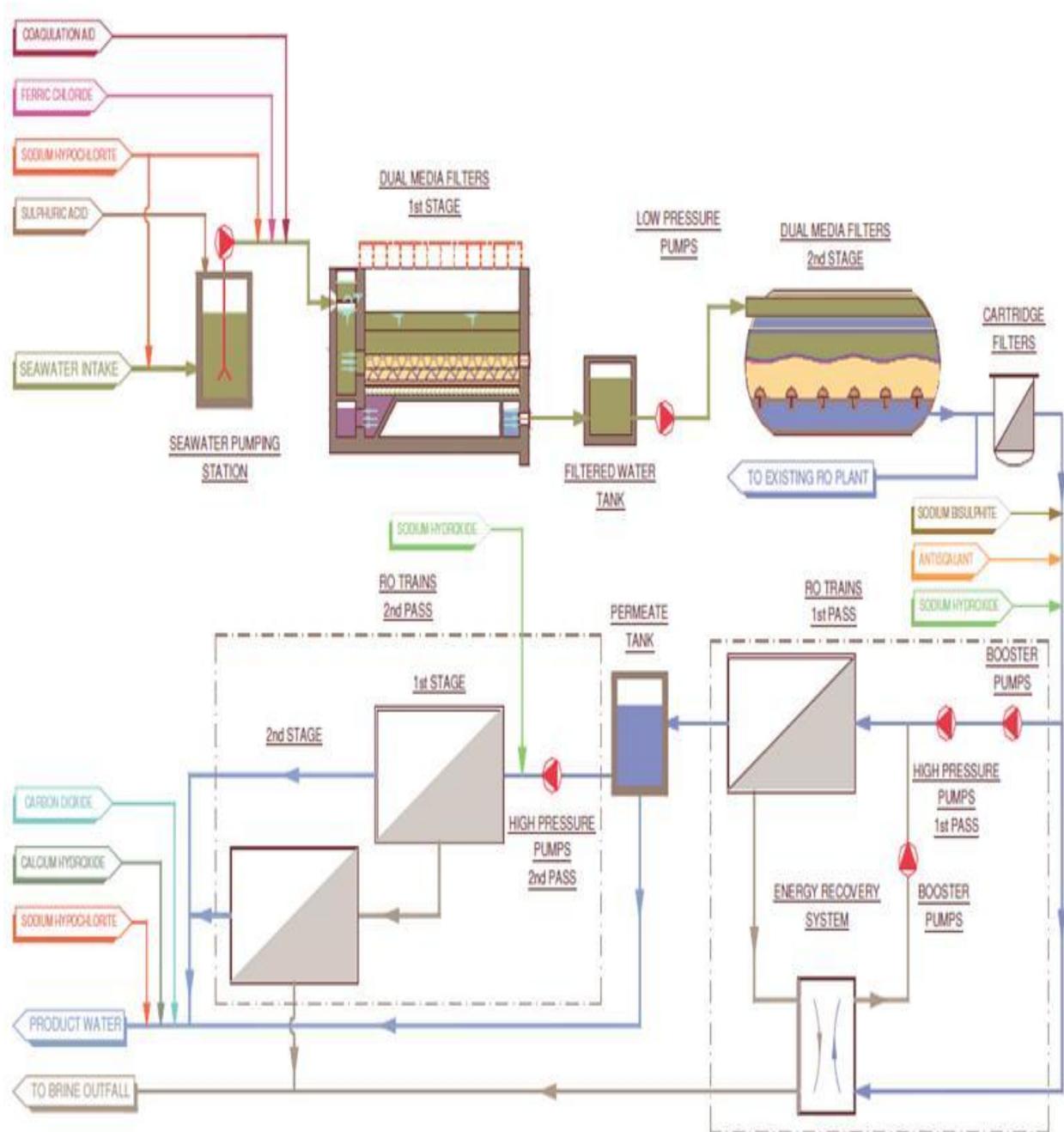
Un número (indeterminado por alcance de la memoria) de bombas de alta presión impulsan el agua hacia las membranas que producirán, por el fenómeno de ósmosis inversa (proceso inverso a la ósmosis, por el cual, mediante la acción energética, una disolución pasa a través de una membrana, dando como resultado dos de diferente concentración), las aguas resultantes de este proceso son entre un 40% y un 45% de agua producto, a la que se le añadirá una base (hipoclorito sódico) para estabilizar su pH entorno a 7 y convertirla así en agua de riego; y entre un 55% y un 60% de salmuera, que es el agua con alta concentración de sales que será nuevamente enviada al mar (a través de un emisario submarino por gravedad). Previamente se la ha hecho pasar por un sistema de turbinas donde ha sido aprovechada su energía residual, disminuyendo así el consumo energético. Hay que recalcar que el agua en las actuales plantas desaladoras puede pasar por una segunda etapa de OI

El agua resultante pasa a un depósito de almacenaje (en este proyecto se estima un depósito con una capacidad para almacenar 10.000 m³ de donde posteriormente será introducida en una red de abastecimiento.

Ahora para una mejor comprensión se muestra un diagrama bastante simple del flujo del sistema de desalinización por ósmosis inversa visto de dos formas distintas:



Por último se pretende mostrar un diagrama de flujo para una planta de ósmosis inversa con capacidad de producción sobre los 2400 L/s de agua desalada, ubicada en España. El diagrama es el siguiente:



Fuente: Cadagua

1.7. Localización de la planta

La planta estará localizada en la tercera región en la comuna de Caldera al sur de la localidad de Pueblo Viejo. La planta estará situada en un terreno fiscal costero de aproximadamente unas 24 hectáreas. La razón de este número de hectáreas es debido a que se

tiene conocimiento de un proyecto de desalación (AGBAR) con una capacidad de suministro de 1000 L/s de agua desalada para el valle de Copiapó que ocuparía unas 12 hectáreas de terreno, por lo que, para este proyecto de 2000 L/s, se asumiría el doble de terreno a ocupar.

La planta estará situada en una zona ZUC-CE²⁰ o zona de usos variables condicionada a estudios por lo que no habría, en teoría, mayor problema para instalar la desaladora en el lugar escogido. Ahora, y para finalizar, se estima conveniente mostrar 2 imágenes satelitales, la primera es un vista de la región donde se puede observar el lugar donde se localizaría la planta, además de los demás proyectos de desalación que se identificaron en la región, y en segundo lugar una vista más próxima del lugar actual donde se emplazaría este proyecto. Las imágenes se muestran a continuación:



²⁰ Para mayores detalles, referirse al estudio legal del presente informe

1.8. La producción de la planta

La decisión del tamaño de planta a construir se basó en una capacidad que pudiera satisfacer la demanda de los clientes objetivos. Como ya se conoce la demanda de los clientes en el tiempo, se decidió la construcción de una planta con capacidad de producción de un caudal de agua desalada de 2000 litros/segundo (el 40% del agua sacada del océano). Además se supuso que la planta produciría en el primer año al 20% de la capacidad total, en el segundo al 40%, en el tercero al 80%, y a partir del cuarto año produciría al 100% de su capacidad. Esta proyección de porcentaje se basa en un estudio de la DGA, recurrentemente referido a lo largo de este documento, que menciona que el proyecto de planta desaladora de Minera Escondida de 3200 L/s de caudal, seguiría el mismo ritmo de ocupación de su capacidad.

Con toda la información disponible se pudo confeccionar la tabla siguiente:

Tabla 25: La demanda de los clientes y la oferta de la planta en el tiempo

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Caudal Clientes Objetivo (L/s) | 391 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.929 | 1.929 | 1.929 | 1.929 | 1.929 | 1.596 | 1.596 | 1.596 | 1.596 | 1.205 | 1.205 | 1.205 | 1.205 | 286 |
| Producción Planta (L/s) | 400 | 800 | 1.600 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 |
| Tamaño Planta (L/s) | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 |
| Demanda Otros Clientes (L/s) | 9 | -843 | -43 | 357 | 357 | 357 | 71 | 71 | 71 | 71 | 71 | 404 | 404 | 404 | 404 | 795 | 795 | 795 | 795 | 1.714 |

Fuente: Elaboración propia

El caudal de clientes objetivo representa a la demanda que enfrentaría la planta, la producción representa a la oferta de la planta, el tamaño representa la capacidad de diseño de la planta, la cual no varía en el tiempo, y por último tenemos la demanda de otros clientes que significa cuanto caudal de agua se tiene sin destino definido y que se pudiera vender a otros clientes.

Por último cabe destacar que en el resto de la memoria se supondrá que toda la oferta sin usar se destina a otros proyectos mineros o simplemente a clientes de otras industrias de la región. Además en el segundo y en el tercero año de operación la demanda no podrá ser satisfecha por lo que se contaría con los servicios de alguna empresa sanitaria de la región para que esta suministre la cantidad necesaria de agua a la planta desaladora para poder así satisfacer la demanda suscrita.

1.9. El requerimiento energético de la planta

Este apartado es esencial para el proyecto ya que el requerimiento energético de la planta desaladora es una componente necesaria para establecer el tamaño de la planta solar. En este capítulo se establecerá el requerimiento en MW que necesitaría la planta desaladora para funcionar.

Según la información recolectada gracias al profesor Jacques Wiertz, los expertos en el tema de la desalación estiman que el consumo energético unitario de una planta desaladora en Chile de gran escala (sobre los 1000 litros/segundo) estaría entre los 4 y 5 KWh/m³

(kilowatt*hora/metro cúbico) Con esta información y considerando un escenario “medio” de consumo unitario energético de 4,5 KWh/m³, equivalente a 0,0045 KWh/litro, se procede a calcular la energía que consumiría la planta en cada año del horizonte de evaluación del proyecto (20 años), para poder así calcular la potencia requerida por la planta (en MW que significa Mega Watts, o KW/1000), la cual es uno de los dos datos necesarios para establecer el tamaño de la planta solar que se mide según su potencia de diseño (en MW).

Ya se cuenta con la producción que debería de tener la planta desaladora cada segundo de cada año. Este valor queda como Producción Planta (L/s), el cual se multiplica por todos los segundos que lleva un año (suponiendo que un año son 365 días) para obtener así la Producción anual en Litros/año. Este valor se divide en un millón para su mejor visualización en una tabla y se convierte en la Producción anual en millones de litros (ML/año). El valor de la Producción anual (L/año) se multiplica por el Consumo energético unitario (kWh/litro) lo que da el Consumo Energético anual, en KWh/año, el cual se divide por mil para obtener así el Consumo energético anual de la planta en MWh/año. Luego este último valor se multiplica por las horas que hay en un año para obtener así la potencia, en MW, que se le necesita suministrar a la planta desaladora en cada hora de cada año. Una tabla con un resumen de lo efectuado anteriormente se presenta a continuación:

Tabla 26: El cálculo de la potencia requerida en MW

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|-------------------------------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Producción Planta (L/s) | 400 | 800 | 1.600 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 | 2.000 |
| Producción anual (ML/año) | 12.614 | 25.229 | 50.458 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 |
| Consumo energético unitario (KWh/L) | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 | 0,0045 |
| Consumo energético anual (MWh/año) | 56.765 | 113.530 | 227.059 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 |
| Potencia Requerida (MW) | 6 | 13 | 26 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |

Fuente: Elaboración propia

En resumen la planta de ósmosis inversa requiere de una potencia de 6 MW el primer año, luego 13 MW en el segundo año, 26MW el tercero, y 32 MW el resto del periodo de evaluación del proyecto.

2. Estudio técnico sistema de abastecimiento hídrico

2.1. Antecedentes del sistema de impulsión

Los componentes del sistema de impulsión son el acueducto donde se llevará la el agua desalada hasta los clientes mineros, y las estaciones de bombeo donde algunas bombas de alta presión ayudan a impulsar el agua por el acueducto. Las bombas consumen una considerable

cantidad de energía eléctrica debido a las altas alturas a la que el agua desalada debe llegar, por ello se le debe proporcionar a las bombas la potencia necesaria para impulsión, la cual está por lo general dada por la energía de la red eléctrica del sector donde se quiere instalar el acueducto. En el caso de la tercera región de Chile, los sistemas de suministro que se están planeando por las mineras para el transporte del agua desalada obtienen la potencia requerida de la energía eléctrica suministrada por la red eléctrica de la región.

Para este proyecto que se pretende emprender, lo anterior se desea evitar ya que, además de la planta desaladora, la planta de concentración solar debe también suministrar la potencia requerida para el funcionamiento del sistema de impulsión, la cual será proporcionada por una línea de transmisión eléctrica²¹.

2.2. El trazado preliminar del sistema

El trazado fue creado al ver las ubicaciones de las faenas mineras, las cuales se pudieron obtener gracias información proporcionada por COCHILCO. El trazado es sólo tentativo ya que no se realizaron estudios formales geotécnicos ni hidráulicos para el diseño de este. Hay que destacar que se tenían varias configuraciones de trazado tentativas pero se escogió la que necesitaba la menor potencia en MW para su funcionamiento. Además hay que decir que se evitó pasar por ciudades y pueblos. El trazado resultante se muestra a continuación:



Fuente: Elaboración propia, Google Earth

²¹ Ver punto 2.4 de este capítulo para más detalles sobre estas líneas

Es posible ver en el mapa el lugar de emplazamiento de la desaladora y las ubicaciones de los clientes objetivos. También se pueden ver unos puntos desde la letra A hasta la G, que sirven para separar el trazado total en otros más pequeños, lo que permitirá realizar el cálculo de la potencia requerida por el sistema de mejor manera.

2.3. El cálculo de la potencia de elevación

El cálculo de esta potencia requerida no es fácil para una persona sin conocimientos en el tema por lo que se requiere, para su realización, la ayuda de un experto en el tema hidráulico. Para ello fue posible el contacto con Alberto de la Fuente, profesor de hidráulica de la facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile que proporcionó información importante para el cálculo de la potencia que la planta de concentración solar debe proporcionarle al sistema de impulsión de la empresa para elevar el agua desalada a los clientes mineros.

Se procedió entonces a calcular la potencia de elevación con la siguiente fórmula:

$$W_e = \rho * g * Q * H_e$$

Con, ρ = la densidad del agua = $1000 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right]$

g = la constante gravitatoria = $9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]$

Q = Caudal transportado en $\left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right]$

H_e = altura máxima de elevación = $(H + H_{\text{fricción}})$ en [m]

W_e = potencia de elevación en $\left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} * \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)^2 \right]$ o mejor conocido por Watts [W]

H = altura máxima sobre el nivel del mar, desde el punto de partida de la ruta del acueducto, que alcanza la tubería en metros

$H_{\text{fricción}}$ = altura perdida por la fricción del agua en la tubería del acueducto

Para calcular este último valor se debe aplicar la ecuación de Darcy-Weisbach con lo que:

$$H_{\text{fricción}} = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2g} = \frac{8 * f * L * Q^2}{D^5 * \pi^2 * g} = J * L$$

Con, L = Largo de la tubería en metros

v = la velocidad media del agua en la tubería = $\frac{4Q}{\pi * D^2}$

D = Diametro de la tubería en metros

f = factor de fricción de Darcy el que se obtiene de la siguiente fórmula:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3,7 * D} \right)$$

Para el acueducto que se construirá se usaran tubos de acero al carbono con recubrimiento interno y externo, del tipo deeping en HDPE²² debido al alto caudal que debe transportar el sistema de impulsión. Este material tiene un valor de rugosidad $\varepsilon = 0,15 \text{ mm}$. Por otro lado el valor de D se calculará como el diámetro interno óptimo (en metros) de una tubería de acero de radio interno mayor a los 2,54 cm (una pulgada), donde pasa un flujo (o caudal) de agua turbulento. La fórmula con la que se calcula este diámetro es la siguiente²³:

$$D_{i,opt} = 0,363 * m_v^{0,45} * \rho^{0,13}$$

Con m_v = máximo caudal de líquido que pasa por la tubería en $\frac{m^3}{s}$

ρ = densidad del fluido en $\frac{kg}{m^3} = 1000$

Por otro lado, el trazado del sistema de abastecimiento del agua fue separado en varias rutas para un cálculo más preciso de la potencia de impulsión. Ahora lo primero que hay que hacer es obtener los caudales que pasan por cada ruta del trazado en cada año del horizonte de evaluación del proyecto. Los caudales en litros por segundo (lps) que se necesitan se presentan a continuación:

Tabla 27: Caudales de rutas del trazado en el tiempo

| Ruta | Caudal (lps) | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|---------------|--------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
| Des-A | | 391 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.929 | 1.929 | 1.929 | 1.929 | 1.929 | 1.596 | 1.596 | 1.596 | 1.596 | 1.205 | 1.205 | 1.205 | 1.205 | 286 |
| A-Retaguardia | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 | 286 |
| A-B | | 391 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.643 | 1.310 | 1.310 | 1.310 | 1.310 | 919 | 919 | 919 | 919 | 0 |
| B-C | | 192 | 1.111 | 1.111 | 1.111 | 1.111 | 1.111 | 1.111 | 1.111 | 1.111 | 1.111 | 1.111 | 1.111 | 1.111 | 1.111 | 1.111 | 919 | 919 | 919 | 919 | 0 |
| C-D | | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| D-Lobo | | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 192 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| C-Casale | | 0 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 919 | 0 |
| B-E | | 199 | 532 | 532 | 532 | 532 | 532 | 532 | 532 | 532 | 532 | 532 | 199 | 199 | 199 | 199 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| E-F | | 199 | 532 | 532 | 532 | 532 | 532 | 532 | 532 | 532 | 532 | 532 | 199 | 199 | 199 | 199 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F-Inca | | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 199 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| F-G | | 0 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| G-SantoD | | 0 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 334 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia

²² Ver <http://redmin.cl/?a=3906> para más detalles

²³ Fuente: <http://people.clarkson.edu/~wwilcox/Design/econdia.pdf>

Ahora, para calcular el diámetro óptimo, hay que ver el máximo caudal en lps que pasa por cada ruta, después se debe traspasar eso a metro cúbico por segundo ($1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ L}$) y ponerlo en la fórmula con lo que se obtiene lo siguiente:

Tabla 28: Los diámetros internos óptimos de las tuberías en cada ruta

| | caudal peak (L/s) | diametro tubería interno (m) |
|---------------|-------------------|------------------------------|
| Des-A | 1.929 | 1,20 |
| A-Retaguardia | 286 | 0,51 |
| A-B | 1.643 | 1,11 |
| B-C | 1.111 | 0,93 |
| C-D | 192 | 0,42 |
| D-Lobo | 192 | 0,42 |
| C-Casale | 919 | 0,86 |
| B-E | 532 | 0,67 |
| E-F | 532 | 0,67 |
| F-Inca | 199 | 0,43 |
| F-G | 334 | 0,54 |
| G-SantoD | 334 | 0,54 |

Fuente: Elaboración propia

Ahora con toda la información con la que se cuenta es posible realizar el cálculo de la potencia que requiere cada ruta en cada uno de los 20 años de evaluación. En la tabla que sigue se pueden ver los resultados del cálculo de la potencia de elevación requerida en el primer año de operación:

Tabla 29: La potencia de impulsión en el primer año

| Ruta | Descripción | Longitud Tubería (km) | Longitud Tubería (m) | Altura del punto de llegada (m) | Caudal a transportar (L/s) | Caudal a transportar (m ³ /s) | Diametro interno tubería (m) | Diametro interno tubería (mm) | Factor de Darcy f | Altura perdida por fricción H _{fricción} | Potencia de impulsión (W) | Potencia impulsión (MW) |
|---------------|--|-----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------|--|------------------------------|-------------------------------|-------------------|---|---------------------------|-------------------------|
| Des-A | Ruta del acueducto desde la planta Ol hasta el punto A | 63,60 | 63.600 | 951 | 391 | 0,3906 | 1,20 | 1.198 | 0,01251 | 12,79 | 3.692.719 | 4 |
| A-Retaguardia | Desde el punto A hasta | 1,40 | 1.400 | 149 | 0 | 0,0000 | 0,51 | 507 | 0,01489 | 0,00 | 0 | 0 |
| A-B | Desde el punto A al B | 46,00 | 46.000 | 920 | 391 | 0,3906 | 1,11 | 1.114 | 0,01269 | 13,45 | 3.576.509 | 4 |
| B-C | Desde el punto B al C | 38,00 | 38.000 | 1182 | 192 | 0,1920 | 0,93 | 934 | 0,01314 | 6,71 | 2.238.879 | 2 |
| C-D | Desde el punto C al D | 49,60 | 49.600 | 1332 | 192 | 0,1920 | 0,42 | 424 | 0,01547 | 535,79 | 3.517.898 | 4 |
| D-Lobo | Desde D hasta Lobo-Marté | 50,60 | 50.600 | 0 | 192 | 0,1920 | 0,42 | 424 | 0,01547 | 546,59 | 1.029.481 | 1 |
| C-Casale | Desde C hasta Cerro Casale | 25,70 | 25.700 | 209 | 0 | 0,0000 | 0,86 | 858 | 0,01336 | 0,00 | 0 | 0 |
| B-E | Desde el punto B hasta E | 41,10 | 41.100 | 0 | 199 | 0,1986 | 0,67 | 671 | 0,01405 | 43,49 | 84.715 | 0 |
| E-F | Desde el punto E hasta F | 83,70 | 83.700 | 0 | 199 | 0,1986 | 0,67 | 671 | 0,01405 | 88,56 | 172.522 | 0 |
| F-Inca | Desde F hasta Inca de Oro | 12,50 | 12.500 | 341 | 199 | 0,1986 | 0,43 | 430 | 0,01542 | 133,46 | 924.251 | 1 |
| F-G | Desde el punto F hasta G | 28,00 | 28.000 | 0 | 0 | 0,0000 | 0,54 | 544 | 0,01467 | 0,00 | 0 | 0 |
| G-SantoD | Desde G hasta Santo Domingo | 3,18 | 3.180 | 0 | 0 | 0,0000 | 0,54 | 544 | 0,01467 | 0,00 | 0 | 0 |
| | | | | | | | | | | | Total | 15 |

Fuente: Elaboración propia

La longitud de la tubería y la altura del punto de llegada (el final de la ruta, contando la altura del punto de inicio de la ruta como origen) se obtuvo mediante Google Earth. Los caudales “Q” en el primer año en lps, para cada ruta se sacan de una de las tablas anteriores y se pasan a milímetros, los diámetros internos “D” se sacan de la tabla anterior. Se procedió después a calcular el factor de Darcy “f” y la altura perdida por la fricción “H_{fricción}” reemplazando los datos en las fórmulas correspondientes. Con todo lo anterior se pudo calcular el valor de la potencia de impulsión que requiere cada ruta para funcionar (para el funcionamiento de las estaciones de bombeo) y luego se suman para obtener el valor total de la potencia que se requiere en el transcurso del primer año.

El cálculo se repite para todos los años restantes. Los resultados obtenidos se pueden observar en la tabla siguiente:

Tabla 30: La potencia de impulsión en el periodo de evaluación

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Potencia sistema de impulsión (MW) | 15 | 68 | 68 | 68 | 68 | 68 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 |

Fuente: Elaboración propia

En el próximo gran capítulo se sumarán estas potencias a las potencias necesarias para la desalación anteriormente calculadas, para obtener así el tamaño de la planta solar.

Por último es necesario destacar que, aunque a partir del año 2025 la potencia de impulsión debería ser más baja debido a la baja de la demanda del mercado objetivo (menos clientes => menos tuberías => menos potencia de impulsión), igual la potencia se supondrá constante hasta el final del periodo de evaluación del proyecto debido a que se supuso anteriormente que para mantener constante la oferta de la planta desaladora, a la demanda del

mercado objetivo se le iba a sumar la demanda de otros clientes potenciales como lo serían otros nuevos proyectos mineros que operarían desde el 2025 o clientes de otra industria, de los cuales no se tiene la información suficiente (por ejemplo la ubicación geográfica) para saber si la potencia de impulsión se debería aumentar o disminuir, por lo que se optó por mantener constante la potencia de impulsión para efectos del cálculo del “tamaño” de la planta solar en el próximo capítulo.

2.4. La alimentación energética del sistema

La idea de la instalación de una línea eléctrica es la de poder alimentar las bombas que se necesitan para la distribución del agua desde la planta desaladora hacia los clientes que están a unas grandes distancias de esta (a 266 km y a 250 km se encuentran las dos mineras más lejanas a la planta desaladora, según el trazado del acueducto). Por tal motivo es necesario realizar el tendido de una línea eléctrica de alta tensión para cumplir el objetivo de la distribución de agua hasta estas mineras. El por qué de una línea de alta tensión es debido a la gran distancia que debe recorrer la energía y para no perder la tensión necesaria para la alimentación de las bombas en cuestión.

Para la construcción de esta línea se deben considerar postes, aisladores y cable. La distancia necesaria entre postes es de 80 metros, por lo que el resultante para la línea eléctrica es de 5.550 postes (de 12 metros de altura), un promedio de 9 aisladores por poste y unos 1330 kilómetros de cable con un espesor de 15 mm de diámetro para la tensión que se debe transportar. El valor 1330 se explica ya que, según Google Earth, el trazado completo del sistema de impulsión de agua tiene una distancia de 443 km, el cual se multiplica por tres para obtener la cantidad de cable que se necesita²⁴.

Los elementos necesarios de la línea eléctrica son:

a) Conductores: material metálico o combinación de ellos, que permite constituir alambres o cables de características eléctricas y mecánicas adecuadas para el fin a que van a destinarse, siendo éstos inalterables con el tiempo además de presentar una resistencia elevada a la corrosión atmosférica. Podrán emplearse como conductores: alambres, cables, cables huecos y cables rellenos de materiales no metálicos, si bien habrán de ser siempre cableados cuando se empleen conductores de aluminio o sus aleaciones.

Las características exigibles para la elección de los conductores son esencialmente tres. En primer lugar, se ha de tener en cuenta la resistencia eléctrica, puesto que, cuanto menor sea ésta, menores serán las pérdidas por calentamiento, ya que las pérdidas son proporcionales a la resistencia eléctrica. El segundo factor es la resistencia mecánica, puesto que, en las líneas aéreas, se originan grandes esfuerzos mecánicos. En tercer lugar el aspecto económico, procurando el mínimo coste de la línea, lo que redundará en menor costo del transporte y, por lo tanto, en mayor rentabilidad.

Como suele suceder en la mayoría de los problemas técnicos, no existen materiales conductores que reúnan simultáneamente las tres características anteriormente expuestas, sobre todo las dos primeras. Es por esta razón que los conductores están formados por un material de buenas cualidades eléctricas (cobre, aluminio o aleaciones de ambos) y por otro de buenas cualidades mecánicas, como lo es generalmente el acero, ya que, de todos los materiales industriales, es el que ofrece mejores cualidades mecánicas, aunque, en cuanto a cualidades eléctricas, sea el más desfavorable.

²⁴ Esta información fue obtenida gracias al ingeniero electricista Bernardo Alarcón de la Universidad del BíoBío

Otras características que se deben tener en cuenta son:

- Resistencia específica o resistividad. Es la medida de la resistencia eléctrica de una unidad de longitud para un material dado. Se define como la resistencia eléctrica de un alambre de conductor de un metro de longitud y un mm² de sección;
- Conductividad o conductancia específica. En los conductores, el valor de la resistencia eléctrica aumenta al aumentar la temperatura; y se define como coeficiente de temperatura el aumento de resistencia que experimenta un conductor al elevar su temperatura un grado centígrado.
- Esfuerzo y deformación. Los materiales que se emplean como conductores para líneas aéreas están sometidas a dos tipos de esfuerzos: tracción y compresión.

b) Aisladores: Son los elementos cuya finalidad consiste en aislar el conductor de la línea de apoyo que lo soporta. Al emplearse los conductores, se precisa que los aisladores posean buenas propiedades dieléctricas ya que la misión fundamental del aislador es evitar el paso de la corriente del conductor de apoyo. La unión de los conductores con los aisladores y de éstos con los apoyos se efectúa mediante piezas metálicas denominadas herrajes.

El paso de la corriente del conductor al apoyo puede producirse por las causas siguientes:

- Por conductividad del material: es decir, a través de la masa del aislador; para evitar esto, se emplean, materiales para los que la corriente de fuga es despreciable.
- Por conductividad superficial: se produce contorneando la parte exterior del aislador por aumento de la conductividad, debido a haberse depositado en la superficie del aislador, una capa de polvo o humedad. Esta conductividad recibe el nombre de efecto corona y suele reducirse dando un perfil adecuado a la superficie del aislador.
- Por perforación de la masa del aislador: al ser muy difícil mantener la uniformidad dieléctrica de un material en toda su masa, existe el peligro de que se perfora el aislador, sobre todo si el espesor es grande. Por ello, los aisladores suelen fabricarse en varias piezas de pequeño espesor unidas por una pasta especial.
- Por descarga disruptiva a través del aire: puede producirse un arco entre el conductor y el soporte a través del aire, cuya rigidez dieléctrica a veces no es suficiente para evitar la descarga. Esto suele ocurrir con la lluvia, debido a la ionización del aire, y se puede evitar con un diseño adecuado para aisladores de intemperie, tratando de aumentar la distancia entre aislador y soporte de forma que la tensión necesaria para la formación del aire sea mayor.

Adicionalmente, se debe considerar el material de los aisladores y su clasificación para tener un mejor resultado, tanto técnico como de optimización de coste.

c) Apoyos: Son los elementos que soportan los conductores y demás componentes de una línea aérea separándolos del terreno; están sometidos a fuerzas de compresión y flexión, debido al peso de los materiales que sustentan y a la acción del viento sobre los mismos; además, a los desniveles del terreno.

En la elección de los postes, se tendrá en cuenta la accesibilidad de todas sus partes, para la revisión y conservación de su estructura por parte del personal especializado.

Atendiendo a la función de los postes en la línea, estos pueden clasificarse en:

- Apoyos de alineación, cuya función es solamente soportar los conductores y cables de tierra
- Apoyos de ángulo, empleados para sustentar los conductores y cables de tierra en los vértices o ángulos que forma la línea en su trazado
- Apoyos de anclaje, cuyo fin es proporcionar puntos firmes, en la línea, que impidan la destrucción total de la misma cuando por cualquier causa se rompa un conductor o apoyo
- Apoyos de fin de línea, soportan las tensiones producidas por la línea; son su punto de anclaje de mayor resistencia
- Apoyos especiales, cuya función es diferente a las enumeradas anteriormente; pueden ser, cruce sobre ferrocarril, vías fluviales, etc.

También para este elemento existen 3 tipos generales que son: postes de madera, postes metálicos y postes de hormigón, siendo estos últimos los más utilizados por concepto de durabilidad y mejor vida útil.

d) Crucetas: Son accesorios que se montan en la parte superior de los postes para sujetar adecuadamente los soportes de los aisladores. En su construcción se emplea madera, hierro laminado u hormigón armado; para postes de madera, se emplean crucetas de madera o hierro; para postes de hormigón, crucetas exclusivamente de hierro.

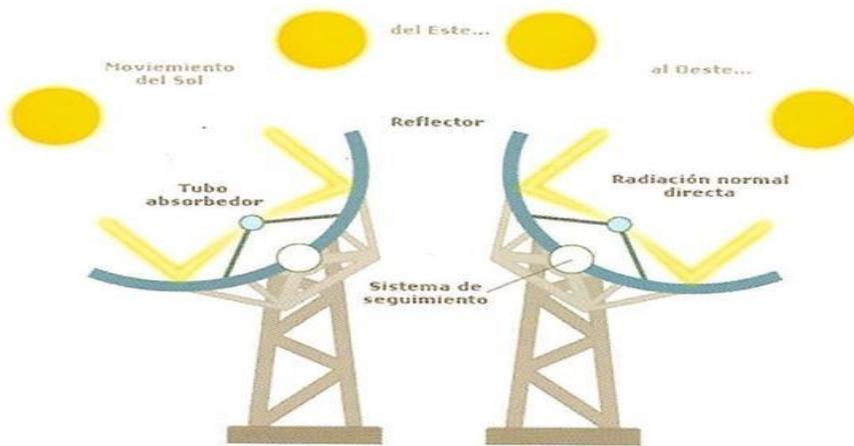
3. Estudio técnico planta solar

3.1. Principales tecnologías de concentración solar

a) Tecnología de cilindros parabólicos:

La tecnología cilindro parabólica basa su funcionamiento en el seguimiento solar y la concentración de los rayos solares en unos tubos receptores de alta eficiencia térmica localizados en la línea focal del cilindro. En estos tubos un fluido transmisor de calor, tal como aceite sintético o sales fundidas es calentado por los rayos solares concentrados a una temperatura de aproximadamente 400°C. Este fluido es bombeado a través de una serie de intercambiadores de calor para producir vapor. El calor presente en este vapor, se convierte en electricidad en una turbina de vapor convencional. Las plantas cilindro parabólicas permiten almacenar el calor mediante tecnología de sales y la hibridación con ciclo combinado (ISCC).

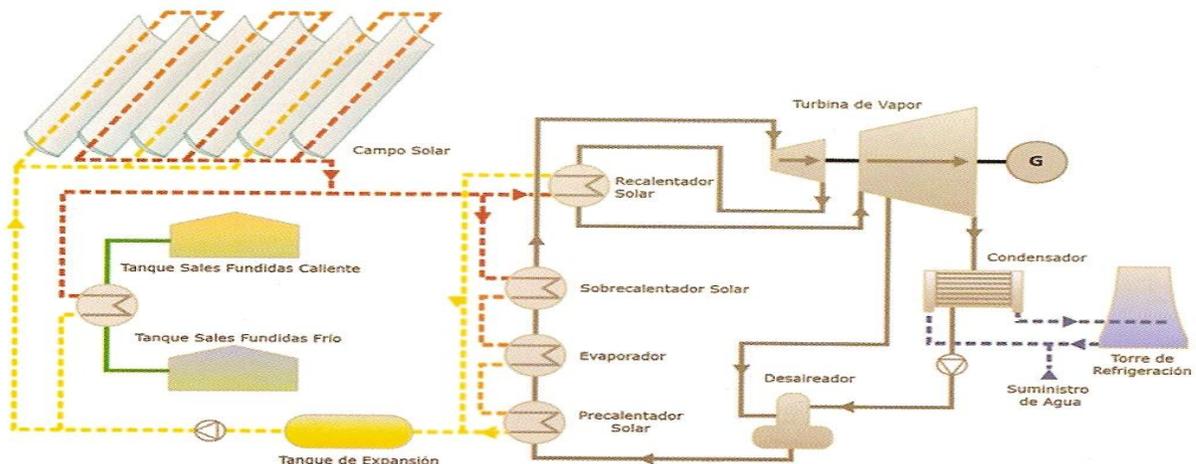
A continuación se muestran los componentes de los cilindros parabólicos:



Los componentes principales del campo solar de la tecnología cilindro parabólico son:

- El reflector cilindro parabólico: la superficie especular se consigue a través de películas de plata o aluminio depositadas sobre un soporte que le da la suficiente rigidez.
- El tubo absorbedor: el tubo absorbedor consta de dos tubos concéntricos separados por una capa de vacío. El interior, por el que circula el fluido que se calienta, es metálico, y el exterior de cristal. El fluido de trabajo que circula por el tubo interior es diferente según la tecnología. Para bajas temperaturas (<200°C)
- El sistema de seguimiento del sol: El sistema seguidor más común consiste en un dispositivo que rota los reflectores cilindro parabólicos del colector alrededor de un eje.
- La estructura mecánica: La misión de la estructura del colector es la de dar rigidez al conjunto de elementos que lo componen.

Existen principalmente tres configuraciones para una planta de cilindros parabólicos. La configuración más simple produce electricidad solamente durante las horas de sol. Otros métodos como el almacenamiento y la hibridación permiten la gestionabilidad de la electricidad de forma que pueda ser producida cuando la red eléctrica lo necesite. Una configuración más compleja es la que utiliza sales fundidas, cuyo esquema se puede ver a continuación:

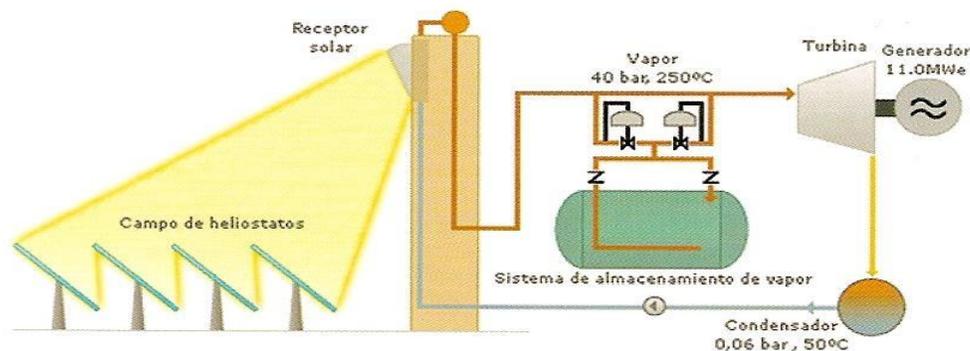


Este tipo de tecnología, empleada en plantas generadoras de energía de larga escala²⁵, puede generar más de 100 MW de potencia.

b) Tecnología de torre de concentración

En los sistemas de torre de concentración, un campo de heliostatos o espejos móviles que se orientan según la posición del sol reflejan la radiación solar para concentrarla, hasta 600 veces, sobre un receptor que se sitúa en la parte superior de una torre. Este calor se transmite a un fluido de trabajo con el objeto de generar vapor que se expande en una turbina acoplada a un generador para la producción de electricidad.

La tecnología de torre ofrece la posibilidad de almacenar energía. Actualmente la solución más conocida es el uso de un tanque de vapor o sales fundidas. Consecuentemente, la planta necesita ser sobredimensionada. Un simple esquema de la configuración de la tecnología se presenta a continuación:



El funcionamiento de la tecnología de torre se basa en tres elementos característicos:

- Los heliostatos tienen la función de captar la radiación solar y dirigirla hacia el receptor. Están compuestos por una superficie reflectante, una estructura que le sirve de soporte y mecanismos que permiten orientarlo para ir siguiendo el movimiento del sol (lo que implica tanto los sistemas necesarios para el movimiento del heliostato como los sistemas de control). Las superficies reflectantes más empleadas actualmente son de espejos de vidrio.
- El receptor, que transfiere el calor recibido a un fluido de trabajo (que puede ser agua, sales fundidas, etc.) (En el caso del uso de sales el receptor debe estar a una temperatura interior de 565°C para que estas se fundan). Este fluido es el encargado de transmitir el calor a la otra parte de la central termosolar, generalmente a un depósito de agua, obteniéndose vapor a alta temperatura para la producción de electricidad mediante el movimiento de una turbina. Los últimos avances e investigaciones se centran en la obtención de torres de alta temperatura con fluidos calorportantes tales como aire o sales.
- La torre sirve de soporte al receptor, que debe situarse a cierta altura sobre el nivel de los heliostatos con el fin de evitar, o al menos reducir, las sombras y bloqueos.

²⁵ Ver anexo 10.4 para observar una foto de una planta con esta tecnología

Este tipo de tecnología, empleada en plantas generadoras de energía de larga escala²⁶, puede generar desde los 30 MW hasta los 400 MW de potencia²⁷.

3.2. Origen y características de la materia prima

Las dos materias primas más importantes de una planta de concentración son la radiación solar que es captada por los cilindros parabólicos o los heliostatos, y el fluido transmisor de calor que servirá para transmitir el calor producido por la radiación, el cual será luego transformado en el vapor necesario para la producción de energía eléctrica. La radiación solar en Chile se mide según la energía (en kWh) por metro cuadrado de territorio que esta irradia. En la tercera región los valores de la radiación solar varían²⁸ entre los 1700 y 1900 kWh/m².

Por otro lado el fluido de trabajo más usado actualmente en las plantas de concentración solar, aparte de los fluidos sintéticos, son las sales fundidas. El término “sal fundida” se describe a sí mismo ya que, en efecto, se trata de una sal común (cloruro sódico por ejemplo) que por acción del calor se funde poniéndose al rojo vivo. Cuando la sal supera la temperatura de 801°C cambia al estado líquido. Este líquido es estable, tiene una capacidad calórica similar a la del agua (por volumen), y fluye de forma muy parecida a esta. La gran diferencia con el agua, aparte de la gran temperatura que soportan las sales líquidas, es que cuando se solidifican de nuevo (es decir, se enfrían) su volumen se contrae en lugar de expandirse como le sucede al hielo. Por eso mismo, si se llena una botella de sal fundida y se deja enfriar, esta no estallaría como si sucede con el agua/hielo.

La gran ventaja de usar este fluido en una central solar térmica, es que el calor se mantiene en las sales fundidas de un modo mucho más eficiente, alargando así los ciclos de evaporación del agua y posibilitando que las turbinas generen electricidad horas después de que el sol haya desaparecido del horizonte. Eso significa que si las horas de luz diurnas son bien aprovechadas, la planta podría generar electricidad durante todo el día.

3.3. Elección de la tecnología de la planta

La elección del tipo de tecnología a usar se basará principalmente en un estudio de las tecnologías de concentración solar realizado por la empresa estadounidense de energía Sargent & Lundy en el año 2005. En este estudio se analizaron cada una de las tecnologías y se llegaron a los siguientes resultados:

²⁶ Ver anexo 10.5 para ver fotos de algunas plantas de torre de concentración.

²⁷ Fuente: Sargent & Lundy LLC

²⁸ Fuente: Shuco International KG Bielefeld, Alemania.

Tabla 31: Caso base mejoramiento de la tecnología de cilindros parabólicos (Troughs)

| | Near Term | Future |
|------------------------------|------------------|---------------|
| Startup year | 2006 | 2020 |
| MW capacity | 100 | 400 |
| Investment cost, \$/kW (net) | \$4,820 | \$3,220 |
| O&M cost, \$/kW/year | \$66 | \$35 |
| Capacity factor | 54% | 56% |
| Storage, hours | 12 | 12 |

Fuente: Sargent & Lundy

Tabla 32: Caso base mejoramiento de la tecnología de torres

| | Near Term | Future |
|------------------------------|------------------|---------------|
| Startup year | 2006 | 2020 |
| MW capacity | 50 | 200 |
| Investment cost, \$/kW (net) | \$6,180 | \$3,620 |
| O&M cost, \$/kW/year | \$75 | \$46 |
| Capacity factor | 76% | 73% |

Fuente: Sargent & Lundy

Tabla 33: Proyección de desarrollo tecnológico para la tecnología de cilindros

| Case | Baseline | Near Term | Mid Term | Long Term |
|-------------------------------------|----------------------------|--------------------|-----------------------|-----------------------|
| Project | SEGS VI Hybrid | Trough 100 | Trough 100 | Trough 400 |
| In Service | 1989 | 2006 | 2010 | 2020 |
| Net Power (MWe) | 30 | 100 | 150 | 400 |
| Capacity Factor (%) | 22 (solar only) | 53.5% | 56.2% | 56.5% |
| Solar Field (km ²) | 0.188 | 1.139 | 1.632 | 4.349 |
| Heat Transfer Fluid | VP-1 | VP-1 | Hitec XL | Advanced |
| Solar Field Operating Temperature | 391 (°C) 736 (°F) | 391 736 | 500 932 | 500 932 |
| Thermal Storage (hours) | 0 | 12 | 12 | 12 |
| Thermal Energy Storage | NA | Indirect 2-Tank | Direct Thermocline | Direct Thermocline |
| Thermal Storage Fluid | NA | Solar Salt | Hitec XL | Advanced |
| Annual solar-to-electric efficiency | 10.6% | 14.0% | 15.4% | 15.5% |
| Land Area (km ²) | 0.635 | 3.9 | 5.2 | 13.4 |

Fuente: Sargent & Lundy

Tabla 34: Proyección de desarrollo tecnológico para tecnología de torres

| Case | Baseline | Near -Term | Mid-Term | Long Term |
|-------------------------------------|-------------|----------------|-------------|---------------|
| Project | Solar Two | Solar Tres USA | Solar 100 | Solar 220 |
| In Service Date | 1996 | 2006 | 2008 | 2020 |
| Power Cycle | Rankine | Rankine | Rankine | Super-Rankine |
| Net Power, MWe | 10 | 13.65 | 100 | 220 |
| Capacity Factor, % | 19% | 78% | 73% | 73% |
| Heliostat Size | 39/95 | 95 | 148 | 148 |
| Heliostat Design | glass/metal | glass/metal | glass/metal | glass/metal |
| Solar Field Size, km ² | 0.08 | 0.245 | 1.366 | 2.67 |
| Receiver Area, m ² | 100 | 280 | 1,110 | 1,990 |
| Heat Transfer Fluid | solar salt | solar salt | solar salt | solar salt |
| Operating Temperature, °C | 565 | 565 | 565 | 650 |
| °F | 1,049 | 1,049 | 1,049 | 1,202 |
| Thermal Storage Fluid | solar salt | solar salt | solar salt | solar salt |
| Thermal Storage, hr | 3 | 16 | 13 | 13 |
| Annual solar-to-electric efficiency | 7.9% | 13.0% | 16.1% | 17.4% |
| Land Area, km ² | 0.4 | 1.3 | 6.8 | 14.4 |

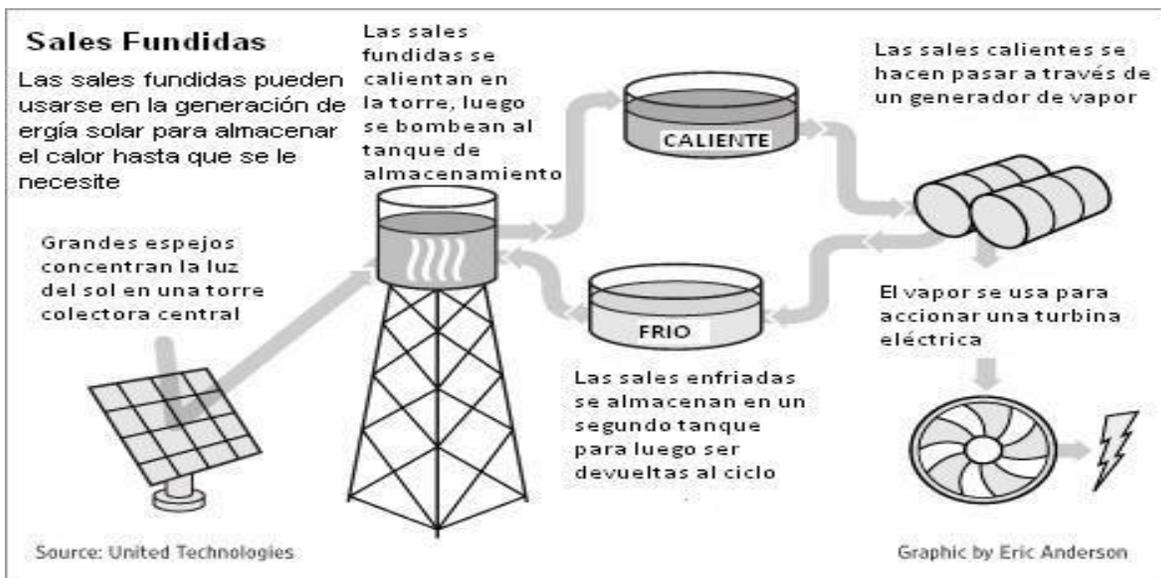
Fuente: Sargent & Lundy

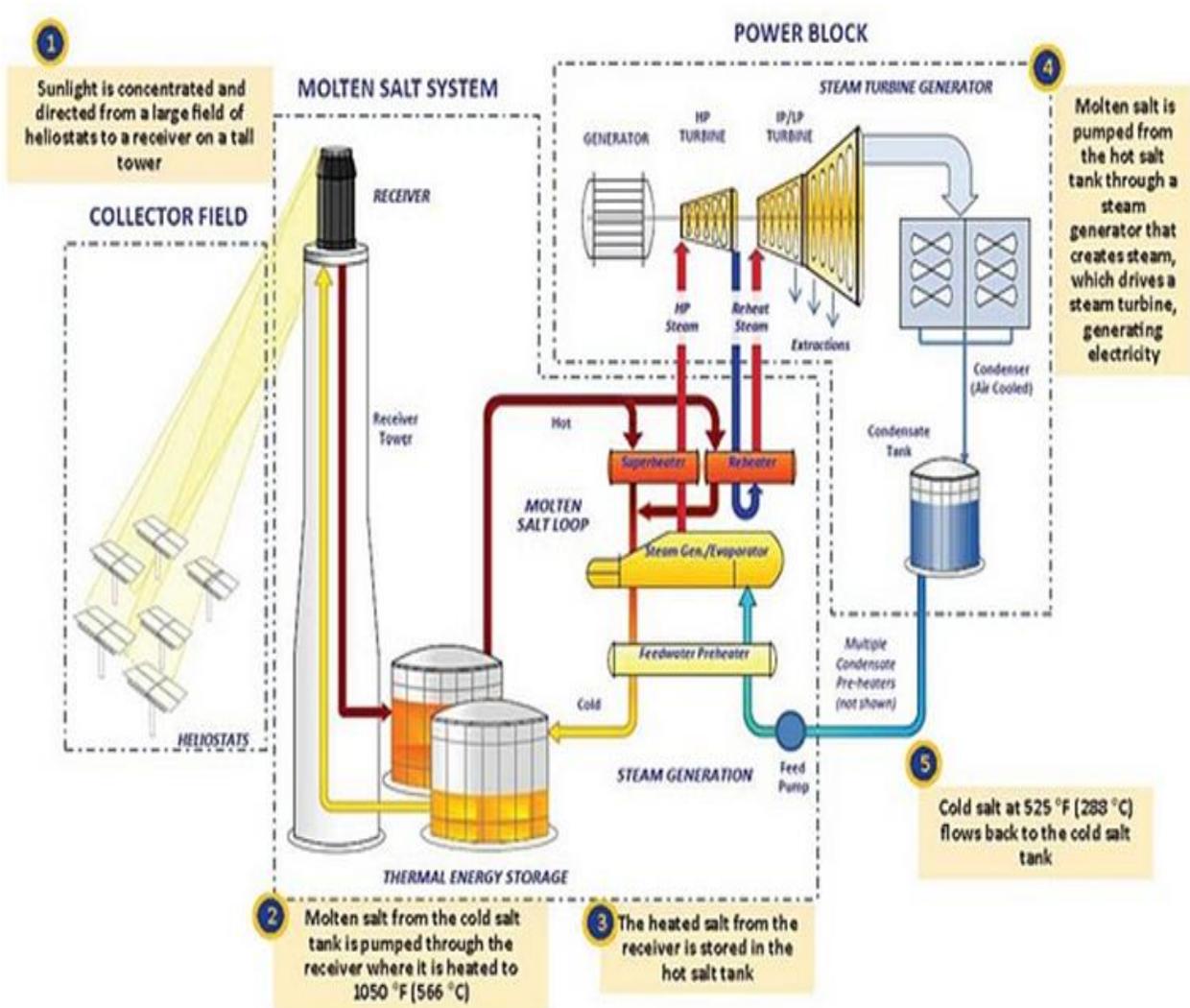
Con estos resultados se tomó la decisión de usar la tecnología de torres de concentración aunque la tecnología de torres posea unos costos unitarios de inversión y de O&M (operación y mantenimiento) más elevados que los cilindros parabólicos. La ventaja radica en que las torres alcanzan mayores temperaturas, por lo que pueden operar más eficientemente con una menor área de campo de helióstatos y menores requerimientos de recursos, y además las plantas de torres operan con un mayor factor de capacidad que las de cilindros parabólicos (73% versus 56,2% desde el 2010), por lo que la utilización de la capacidad de la planta en el tiempo es mayor en el caso de las torres. Esto implica que, aunque los costos de las torres sean mayores que los cilindros, el factor de capacidad influye más en la decisión del tipo de tecnología a usar porque el tamaño que deberá tener la planta solar para satisfacer los requerimientos energéticos de la planta desaladora y del sistema de impulsión, reflejado en la potencia de diseño (MW), será mucho menor con la tecnología de las torres (144 MW versus 173 MW para una planta de cilindros).

Por otro lado se justifica también la decisión debido a que se considera que el almacenamiento termal está integrado al diseño de las plantas de torres de concentración con sales fundidas, mientras que para la otra tecnología el almacenamiento de energía es una pieza extra de infraestructura. Además las empresas proveedoras de tecnología solar, que fueron posibles de detectar, están ofreciendo más que nada plantas solares de torre de concentración. Un ejemplo es la empresa SolarReserve, que es experta en la construcción de plantas con esta tecnología, y que ha sido la única empresa que ha contestado los correos que se le han enviado.

3.4. El proceso en una planta de torre de concentración

A continuación se presentan 2 diagramas de funcionamiento de una planta con la tecnología escogida, el primero es un diagrama general de cómo se usan las sales fundidas en un sistema de torre de concentración para la generación de energía eléctrica, y el segundo es un diagrama de flujo más detallado de cómo funciona una planta de torre de concentración con sales fundidas:





Fuente: SolarReserve INC

Acá se pueden ver los 3 grandes componentes de una planta de este tipo, el campo de colectores solares, el sistema de sales fundidas, y el bloque de poder.

El proceso empieza cuando la luz solar es concentrada y direccionada desde un largo campo de heliostatos hasta un receptor en una alta torre. Este receptor posee sales fundidas que son calentadas a unos 565°C, y que fueron bombeadas desde un tanque de sales frías. Después la sal calentada desde el receptor es almacenada en un tanque de sales calientes. Las sales fundidas son luego bombeadas desde el tanque de sales calientes a través de un generador de vapor que crea el vapor necesario para conducir una turbina de vapor, generándose así la energía eléctrica. Después la sal fría a 288°C se devuelve al tanque frío, y se vuelve a repetir el proceso.

3.5. Capacidad de generación de la planta

Para obtener la capacidad de generación de la planta hay que tener primero tanto el consumo energético anual de la planta desaladora como el del sistema de abastecimiento del agua desalada. Estos dos valores se pueden obtener de las potencias calculadas en los estudios técnicos anteriormente realizados. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 35: El consumo energético total del proyecto

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Potencia Planta OI (MW) | 6 | 13 | 26 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| Consumo Energético Planta OI (MWh/año) | 56.765 | 113.530 | 227.059 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 | 283.824 |
| Potencia sistema de impulsión (MW) | 15 | 68 | 68 | 68 | 68 | 68 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 | 73 |
| Consumo Energético Sistema de Impulsión (MWh/año) | 133.476 | 592.720 | 592.720 | 592.720 | 592.720 | 592.720 | 639.831 | 639.831 | 639.831 | 639.831 | 639.831 | 639.831 | 639.831 | 639.831 | 639.831 | 639.831 | 639.831 | 639.831 | 639.831 | 639.831 |
| Consumo Energético Total (MWh/año) | 190.241 | 706.250 | 819.780 | 876.544 | 876.544 | 876.544 | 923.655 | 923.655 | 923.655 | 923.655 | 923.655 | 923.655 | 923.655 | 923.655 | 923.655 | 923.655 | 923.655 | 923.655 | 923.655 | 923.655 |

Fuente: Elaboración propia

Al multiplicar las potencias encontradas en MW por las horas que hay en el año (8760) se obtienen los consumos energéticos anuales de la planta de ósmosis inversa y del sistema de impulsión en MWh/año, los cuales se suman para obtener el consumo energético total anual.

Ahora, se sabe que el factor de capacidad de la planta = $MWh \text{ actual} / (MWd * 8,760)$ con $MWh = \text{Energía producida en el año}$, y $MWd = \text{capacidad de generación eléctrica de diseño}$. Con esto, y suponiendo un factor de capacidad dado, se puede obtener la capacidad de diseño que servirá para conocer el tamaño de la planta solar a construir.

Para el proyecto se asume que se trabajará con un factor de capacidad de 73% de acuerdo con el estudio de Sargent & Lundy. Así se tendría la capacidad de generación eléctrica de diseño que debería tener la planta en cada uno de los 20 años del horizonte de evaluación del proyecto. Las capacidades obtenidas se muestran a continuación:

Tabla 36: Capacidad de generación de diseño de la planta en el periodo de evaluación

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Capacidad Nominal de Generación Eléctrica Planta Solar (MW) | 30 | 110 | 128 | 137 | 137 | 137 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| Capacidad a Construir (MW) | 30 | 81 | 18 | 9 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia

Se puede ver que en el primer año la planta solar debería tener una capacidad de diseño de 30 MW hasta llegar a tener en el año 2020 una capacidad máxima de 144 MW. Al inicio del

primer año se debe tener construida una capacidad de 30 MW, al inicio del segundo año se debe tener construida una capacidad extra de 81 MW, en el tercero 18 MW más, en el cuarto 9 MW más, y finalmente en el séptimo 7 MW extra.

3.6. Localización de la planta

El lugar donde se emplazaría la planta solar no se tiene muy bien definido a la fecha, pero lo que se sabe es que debería ser un terreno fiscal cercano a la desaladora. Este terreno debería ser en su mayoría plano y tener una extensión aproximada de 585 hectáreas para albergar la planta solar. Esto debido a que, según la empresa SolarReserve, una planta con capacidad de diseño de 50 MW abarcaría aproximadamente unos 500 acres (1 hectárea = 2,471 acres) de terreno. Con los datos de las capacidades de generación eléctrica de diseño de la planta en el periodo de evaluación del proyecto se pudo confeccionar la tabla siguiente para establecer el área a ocupar cada año según la capacidad extra que se añade:

Tabla 37: Hectáreas a ocupar en cada año

| | Acre | Hectareas | MW |
|---------------------|-------------|------------|------------|
| SolarReserve | 500 | 202 | 50 |
| Planta Año 1 | 297 | 120 | 30 |
| Planta Año 2 | 807 | 327 | 81 |
| Planta Año 3 | 178 | 72 | 18 |
| Planta Año 4 | 90 | 36 | 9 |
| Planta año 7 | 74 | 30 | 7 |
| Total Años | 1446 | 585 | 145 |

Fuente: Elaboración propia

Ahora que se tiene un tamaño aproximado del terreno a ocupar, se consideró oportuno mostrar una vista aérea de los tres posibles terrenos donde se podría establecer la planta solar. Estos terrenos son los delimitados por los rectángulos amarillos.



Claramente el terreno más interesante es el cercano a la planta desaladora, pero los dos otros se barajan como opción si no se puede usar el primero.

Para finalizar, hay que destacar que los lugares elegidos donde podría situarse la planta también están en una zona ZUC-CE²⁹ o zona de usos variables condicionada a estudios, por lo que en teoría no habría problema para usar ese terreno.

IV. Estudio Legal

1.1. Aspectos regulatorios del proyecto

Los aspectos legales del proyecto propiamente tal son los relacionados con la formación de la sociedad que dará vida y sustento tanto económico como técnico al negocio que se emprenderá con el proyecto³⁰.

Al tratarse de un proyecto de características industriales, este está sujeto a normativas de construcción como es el plano regulador de la comuna donde se desarrollará el proyecto. El plan regulador de la comuna de Caldera contempla instalaciones industriales en la zona sur de la comuna. En caso de querer instalar una planta en la zona sur, ésta se debe ubicar fuera del límite urbano en una zona rural que contempla una normativa mucho menor. La normativa establece que en caso de querer desarrollarse una industria en una zona rural se debe solicitar un cambio de uso de suelo al ministerio de agricultura.

La instalación de la planta desaladora se pronostica en un sector del sur de la comuna de Caldera en la tercera región, cerca de la localidad de Puerto Viejo. Para la planta solar se cuenta con tres opciones que están relativamente cerca de la desaladora. Además cabe destacar que los terrenos tanto para la planta desaladora como para la planta solar se encuentran en una zona ZUC-CE (zona de usos variables condicionada a estudios) según el “plano de macrozonificación del borde costero” del gobierno regional de Atacama. Este tipo de zonas constituyen el soporte territorial y ambiental para la zona costera de la región, en el contexto de futuros proyectos, sean estos de carácter productivo, de reforestación, inmobiliario, de conservación y protección ecológica-cultural, y de tipo poblacional. Es por esto que, si el estudio de las características del terreno y de las externalidades negativas al medioambiente o a la población sale positivo para el proyecto, no habría entonces problema en instalar las plantas en los terrenos elegidos.

A continuación se muestra la ubicación de los terrenos en el plano del borde costero del gobierno regional de Atacama:

²⁹ Referirse al estudio legal para más detalles.

³⁰ Ver anexo 8 para los procedimientos de la formación de la sociedad.

b) Escritura de constitución de la sociedad y modificaciones, certificado de Vigencia de la sociedad, personería del representante legal (Si solicitante es una persona jurídica).

Las normas Específicas que se atañen a la concesión onerosa son:

- 1) Art.57° y siguientes D.L.N° 1939, de1977, modificados por Ley N°19.606, de 1999 y por Ley N°19.833, de 2002.
- 2) Art. 6 del DL 1939 y sus modificaciones.
- 3) Art. 7 del DL 1939 y sus modificaciones.

La norma general es el DFL N° 4 de 1967; 7, de 1968 y 83 de 1979, del Ministerio de Relaciones Exteriores (normativa sobre zonas fronterizas).

Por otro lado, para poder usar el borde costero y el agua marina para la desalación, y construir en el mar la toma y la descarga de las aguas de la planta desaladora, es necesaria la solicitud de una concesión marítima.

La concesión marítima es un instrumento mediante el cual el ministerio de defensa nacional, por medio de la subsecretaría para las Fuerzas Armadas, ejerce la facultad privativa para conceder el uso particular en cualquier forma, de las playas y terrenos de playa fiscales dentro de una franja de 80 metros de ancho medidos desde la línea de más alta marea del litoral, de las rocas, de los fondos de mar, de las porciones de agua dentro y fuera de las bahías, de las playas de unos y otros, y de los terrenos fiscales riberaños hasta una distancia de 80 metros medidos desde donde comienza la ribera.

Las funciones de la oficina de concesiones marítimas es analizar, estudiar y elaborar los decretos supremos, exentos y resoluciones denegatorias de destinaciones marítimas, concesiones marítimas, bajo la forma de otorgamiento, renovación, modificación, transferencia, arriendo, ampliación, sucesión, término, deja sin efecto, caducidad y derogación; elaborar oficios, memorándum, mensajes y dar respuesta a las consultas formuladas por los usuarios a través de oficios, correos electrónicos y audiencias.

En las etapas que conforman el sistema de concesiones marítimas participan distintos actores, según sus facultades y responsabilidades.

Estos son los siguientes:

- Subsecretaría para las Fuerzas Armadas.
- Dirección General del Territorio Marítimo y de Marina Mercante Nacional.
- Servicio de Impuestos Internos.
- Comisión Regional de Uso del Borde Costero.
- Dirección de Obras Municipales.
- Dirección Regional del Servicio Nacional de Pesca.
- Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo.
- Secretaría Regional Ministerial de Obras Públicas.
- Ministerio de Relaciones Exteriores, Dirección de Fronteras y Límites del Estado.
- Servicio Agrícola y Ganadero.
- Contraloría General de la República.

Para acceder a una concesión o destinación marítima, se debe presentar una solicitud en la capitanía de puerto correspondiente, dirigida al ministerio de defensa nacional. La autoridad marítima local revisará dicha presentación, la cual en caso de ajustarse a lo establecido en el Reglamento sobre Concesiones Marítimas, procederá a ingresarla al sistema

www.concesionesmaritimas.cl, para su análisis y resolución definitiva en la subsecretaría para las fuerzas armadas.

La norma general es el D.F.L. N° 340, de 1960, que contiene la ley sobre concesiones marítimas.

1.2. Aspectos regulatorios de impacto ambiental

En cumplimiento de lo establecido en el artículo 12, letra e), del decreto supremo N° 30, de 1997, del Ministerio Secretaría General de la Presidencia, reglamento del sistema de evaluación de impacto ambiental (Reglamento del SEIA), cuyo texto refundido, coordinado y sistematizado fue fijado por el decreto supremo N° 95/2001, del mismo ministerio citado, el proyecto debe contener un análisis de pertinencia de su ingreso a dicho sistema de evaluación ambiental, como asimismo, una descripción pormenorizada de aquellos efectos, características y circunstancias del artículo 11 de la ley 19.300 de bases generales del medio ambiente que dan origen a la necesidad de efectuar un estudio de impacto ambiental (EIA).

La justificación del ingreso al SEIA de este proyecto se debió a la tipología de éste, considerada en la letra c) y o) del listado de proyectos o actividades susceptibles de causar impacto ambiental que establece el artículo 3 del D.S. N° 95/2001 del MINSEGPRES, reglamento del sistema de evaluación ambiental. En efecto las letras c) y o.6) del artículo 3 señalan³¹:

c) Centrales generadoras de energía mayores a 3 MW.

o) Proyectos de saneamiento ambiental, tales como sistemas de alcantarillado y agua potable, plantas de tratamiento de agua o de residuos sólidos de origen domiciliario, rellenos sanitarios, emisarios submarinos, sistemas de tratamiento y disposición de residuos industriales líquidos o sólidos.

o.6) Emisarios submarinos

El Proyecto que se pretende emprender se puede dividir en tres partes, la planta desaladora y el sistema de suministro del agua desalada, y la planta de concentración solar. La primera parte corresponde al punto o.6 ya que se deben construir emisarios submarinos para la carga y descarga del agua marina, y la segunda parte corresponde al punto c) ya que la planta de concentración solar es muy superior a los 3MW (144 MW). Debido a esto es esencial, para la aprobación del proyecto por el sistema de evaluación de impacto ambiental la confección de un estudio de impacto ambiental del proyecto (planta ósmosis + sistema de impulsión + planta solar) que sería realizado por la consultora “Arcadis Geotecnia” que es experta en el desarrollo de estudios de impacto ambiental de esta índole.

A continuación se detallan los servicios nacionales/regionales que involucra el proyecto y, por lo tanto se les deben dar aviso para contar con sus aprobaciones:

- SEREMI de Obras Públicas
- Dirección Regional SEC (Superintendencia de electricidad y combustibles)
- Dirección Regional de Pesca
- Servicio de Salud Regional
- Gobernación Marítima (www.concesionesmaritimas.cl)

³¹ Fuente: http://www.sinia.cl/1292/articles-37936_pdf_reglamento_seia.pdf

- Dirección de Obras Portuarias
- SEREMI de Vivienda y Urbanismo
- Dirección Regional SAG (Servicio agrícola y ganadero)
- Municipalidad en cuestión. La municipalidad otorga la patente municipal para la realización del proyecto en un sitio regulado por ella.
- Posterior a la presentación de conformidad de las instituciones involucradas, el proyecto debe recibir el visto bueno de la COREMA (Comisión regional del medio ambiente).

Para finalizar con este punto, hay que destacar que no hay ningún proyecto relacionado con la generación de energía mediante concentración solar que haya sido ingresado al SEIA (en la segunda región hay sólo una).

V. Evaluación económica

La evaluación económica es un capítulo muy importante ya que determinará económicamente si el proyecto es viable o no llevarlo a cabo. En los siguientes capítulos se muestran los ítems que servirán para elaborar el flujo de caja del proyecto. Se asumirá un tipo de cambio de \$470 por dólar, valor promedio que presenta el tipo de cambio durante abril de este año (2011).

1. Costos de inversión o de capital (CAPEX)

En el presente informe la inversión a incurrir en el proyecto se medirá con los costos de capital (CAPEX en inglés) de cada uno de los componentes individuales que conforman el proyecto, los que son la planta desaladora, la planta solar, y el sistema de impulsión con la línea eléctrica que lo alimentará.

1.1. Planta desaladora

Para la estimación del costo de capital de la planta desaladora, se pudo contar con algunos ejemplos de proyectos de desalación para faenas mineras en el mundo, los cuales fueron mostrados por un miembro de la empresa Hatch-Chile en el segundo congreso internacional de gestión del agua en la industria minera realizado en Junio del año pasado. La información mostrada se muestra a continuación:

Tabla 38: Costos de capitales de algunos proyectos de desalación

| Project | Accuracy | Year | Pipeline Length km | Altitude m.a.s.l | Capacity m ³ /h | CAPEX (MUSD)* | |
|---------|----------|------|-----------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------|
| | | | | | | Desalination System | Conveyance System |
| #1 | ± 40% | 2009 | 200 | 4150 | 3600 2700 | 246.4 190.8 | 428.3 412.4 |
| #2 | ± 30% | 2009 | 200 | 4400 | 1980 | 147.2 | 328.7 |
| #3 | ± 25% | 2007 | 40 | 830 | 650 | 27.9 | 29.1 |
| #4 | ± 35% | 2007 | 110 | 3650 | 2520 | 63.4 | 163.4 |
| #5 | ± 25% | 2006 | 100 | 500 | 1800 | 42.8 | 48.9 |
| #6 | ± 20% | 2006 | 190 | 4100 | 980 | 24.3 | 106.9 |

Source: Hatch Project Database

De entre estos ejemplos el más cercano al proyecto de 2000 L/s del presente informe es el proyecto #1 con una planta desaladora con capacidad de producción de 3600 m³/h o mejor dicho 1000 L/s de agua desalada, que abastecería de agua a una minera a 4150 metros sobre el nivel del mar con un sistema de abastecimiento del agua con un largo de tubería de 200 km. El CAPEX para la planta desaladora de este proyecto es de 246,4 millones de dólares, y para el sistema de impulsión de serían 428,3 millones de dólares. Como el proyecto que se está evaluando debe suministrar el doble del agua que el proyecto #1, se asume como CAPEX el doble del que tiene dicho proyecto. Por lo tanto el CAPEX se asume como 492,8 millones de dólares.

1.2. Planta solar

Para la estimación de este CAPEX se usará la información del estudio de Sargent & Lundy visto en el punto 3.3 del Capítulo III. En la segunda tabla de dicho punto, se le asigna a una planta construida el año 2006 un costo de inversión de 6,180 millones de dólares por MW de capacidad de diseño construida, y a una planta del año 2020 un costo de inversión de 3,620 millones de dólares por MW. Con estos 2 valores es posible realizar una progresión para obtener una estimación del valor del costo de inversión para una planta solar para los demás años. Esta progresión hasta el año 2020 se puede ver en la siguiente tabla:

Tabla 39: Progresión de los costos de inversión (US\$/MW) hasta el año 2020

| Año | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| CAPEX (US\$/MW) | 6.180.000 | 5.948.357 | 5.725.397 | 5.510.794 | 5.304.235 | 5.105.419 | 4.914.054 | 4.729.863 | 4.552.575 | 4.381.932 | 4.217.686 | 4.059.596 | 3.907.432 | 3.760.971 | 3.620.000 |

Fuente: Elaboración propia

Acá se pueden ver los valores originales del año 2006 y 2020. Los valores marcados en rojo tienen importancia ya que, como se vio en el punto 3.5 del capítulo III, se pretende construir una planta solar, con una capacidad de 30 MW el primer año (2014) y una capacidad extra de 81 MW para el segundo año (2015). Para estos años se supone que el tiempo de construcción sería de 2 años por lo que el costo de inversión para obtener estas dos capacidades se asume como el valor del 2012 más el del 2013, los cuales son considerados como la inversión del año 0. Los otros valores marcados con rojo son considerados ya que en los años 2016, 2017 y 2020 se pretenden construir más capacidades extras, pero esta vez se supone que el tiempo de construcción sería como máximo un año, por lo que las inversiones se contarían para los años 2015, 2016 y 2019 tal como están marcados en rojo.

Con estos supuestos se pudieron calcular los montos de las inversiones a incurrir en los 20 años del periodo de evaluación, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 40: Costos de capital en los 20 años de evaluación en millones de dólares (MUS\$)

| Año | 0 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|---------------------|---------|------|--------|--------|------|------|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| CAPEX Solar (MUS\$) | 527,852 | 0 | 80,824 | 38,897 | 0 | 0 | 28,786 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia

1.3. Sistema de abastecimiento hídrico

Los costos de inversión encontrados en este capítulo se encontraron siguiendo las indicaciones de la estimación de los costos del sistema de abastecimiento hídrico de El Paso, California, USA³². Antes de empezar con la estimación hay que tener claro en qué año entrarían en operación las distintas rutas del trazado del sistema impulsión de agua, con el objetivo de saber a cuales años asignar las inversiones en este sistema. Además se supondrá un tiempo de construcción de un año para las rutas (con sus estaciones de bombeo correspondientes) A-Retaguardia, C-Casale, F-Inca y G-SantoD, y para el resto de dos años.

Considerando lo anterior, y observando los datos de la demanda hídrica en el tiempo, vistos en el punto 3.7 del capítulo II, se pudo confeccionar la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 41: Comienzo y finalización de las operaciones de cada ruta del trazado

| Ruta | Año Comienzo operaciones | Último Año de Operaciones | Año de Inversión |
|----------------------|--------------------------|---------------------------|------------------|
| Des-A | 1 | 20 | 0 |
| A-Retaguardia | 7 | 20 | 6 |
| A-B | 1 | 19 | 0 |
| B-C | 1 | 19 | 0 |
| C-D | 1 | 15 | 0 |
| D-Lobo | 1 | 15 | 0 |
| C-Casale | 2 | 19 | 1 |
| B-E | 1 | 15 | 0 |
| E-F | 1 | 15 | 0 |
| F-Inca | 1 | 15 | 0 |
| F-G | 2 | 11 | 0 |
| G-SantoD | 2 | 11 | 1 |

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto los costos de inversión se desembolsan en el año 0 para nueve de las doce rutas, luego en el año 1 para la ruta C-Casale, y al final en el año 6 para la construcción de la ruta A-Retaguardia.

Ahora, para saber los costos de inversión del sistema se deben, en primer lugar, establecer los costos de las tuberías, los cuales se sacan según las ecuaciones siguientes:

Costo por pie de tubería = $4,5451 \cdot \text{diámetro del tubo en pulgadas}$, para $d \leq 24$ pulgadas.

Costo por pie de tubería = $10,1667 \cdot \text{diámetro del tubo en pulgadas}$, para $d > 24$ pulgadas.

Con 1 metro = 3,281 pies, y 1 pulgada = 0,0254 metros.

Con esta información se confeccionó la tabla siguiente:

³² Ver la página web http://adm2.elpasoco.com/Planning/Water_report/Apendix_7-3.pdf

Tabla 42: Los costos de inversión de las tuberías en millones de dólares (MUS\$)

| Ruta | Diametro Interno Tubería (m) | Diametro Interno Tubería (pulgadas) | Costo por pie (US\$/pie) | Largo de Tuberías (pies) | Costos Tuberías (US\$) | Costos Tuberías (MUS\$) |
|---------------|------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------|
| Des-A | 1,20 | 47 | 316 | 208.661 | 66.015.551 | 66,016 |
| A-Retaguardia | 0,51 | 20 | 81 | 4.593 | 370.994 | 0,371 |
| A-B | 1,11 | 44 | 283 | 150.919 | 42.708.368 | 42,708 |
| B-C | 0,93 | 37 | 211 | 124.672 | 26.302.788 | 26,303 |
| C-D | 0,42 | 17 | 66 | 162.730 | 10.719.718 | 10,720 |
| D-Lobo | 0,42 | 17 | 66 | 166.010 | 10.935.841 | 10,936 |
| C-Casale | 0,86 | 34 | 180 | 84.318 | 15.208.867 | 15,209 |
| B-E | 0,67 | 26 | 106 | 134.843 | 14.228.816 | 14,229 |
| E-F | 0,67 | 26 | 106 | 274.606 | 28.976.931 | 28,977 |
| F-Inca | 0,43 | 17 | 67 | 41.010 | 2.749.096 | 2,749 |
| F-G | 0,54 | 21 | 87 | 91.864 | 8.018.832 | 8,019 |
| G-SantoD | 0,54 | 21 | 87 | 10.433 | 910.710 | 0,911 |
| Total | | | | | 227.146.513 | 227,147 |

Fuente: Elaboración propia

Ahora, en segundo lugar, se deben establecer los costos de las estaciones de bombeo del sistema de impulsión. Estos costos se calculan con la siguiente fórmula:

$$\text{Cost of all booster stations} = (17000 + (135 * (\text{Horsepower})^{1,01})) * \text{number of stations} + (17000 + (135 * (R * \text{Horsepower})^{1,01}))$$

Donde Horsepower (H) = $0,1756 * \text{peak flow in mgd} * \text{head per station} * K / (\text{pump efficiency})$, number of stations = (Total head/1200 pies) redondeado hacia abajo, y R el valor restante del redondeo.

Con peak flow in mgd (Q) = flujo peak en millones de galones por minuto (1 lps = 0,0228 mgd), head per station = 1200 pies, pump efficiency = 0,92, y Total head (pies) = altura perdida por fricción (pies) + altura del punto de llegada (pies). Los valores del Total Head se calcularon en la tabla 29 del punto 2.3 del capítulo III en metros los cuales se pasan a pie.

Para calcular K se tienen los siguientes escenarios:

- Si $Q < 2$ mgd entonces $K = 2,08 - 0,18Q$
- Si $2 \leq Q < 5$ entonces $K = 1,9666 - 0,1233Q$
- Si $5 \leq Q < 10$ entonces $K = 1,42 - 0,014Q$
- Si $10 \leq Q < 20$ entonces $K = 1,3 - 0,002Q$
- Si $20 \leq Q \leq 30$ entonces $K = 1,28 - 0,001Q$
- Y si $30 < Q$ entonces $K = 1,25$

Con toda esta información se pudo confeccionar la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 43: Resultados del cálculo del costo de las estaciones de bombeo en MUS\$

| Ruta | Caudal peak (mgd) | Total Head (pies) | # estaciones de bombeo | R | K | Peak Flow (mgd) | Head per station (feet) | Eficiencia bombeo | Horsepower | Costo estaciones de bombeo (US\$) | Costo estaciones de bombeo (MUS\$) |
|---------------|-------------------|-------------------|------------------------|-----|------|-----------------|-------------------------|-------------------|------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Des-A | 44,03 | 4.143,5 | 3,5 | 0,5 | 1,25 | 44,03 | 1.200 | 0,92 | 12.607 | 7.463.187 | 7,463 |
| A-Retaguardia | 6,53 | 532,1 | 0,4 | 0,4 | 1,33 | 6,53 | 1.200 | 0,92 | 1.986 | 267.460 | 0,267 |
| A-B | 37,51 | 3.799,8 | 3,2 | 0,2 | 1,25 | 37,51 | 1.200 | 0,92 | 10.738 | 5.420.860 | 5,421 |
| B-C | 25,36 | 4.615,0 | 3,8 | 0,8 | 1,25 | 25,36 | 1.200 | 0,92 | 7.288 | 5.076.447 | 5,076 |
| C-D | 4,38 | 6.127,9 | 5,1 | 0,1 | 1,43 | 4,38 | 1.200 | 0,92 | 1.432 | 1.185.411 | 1,185 |
| D-Lobo | 4,38 | 1.793,3 | 1,5 | 0,5 | 1,43 | 4,38 | 1.200 | 0,92 | 1.432 | 456.177 | 0,456 |
| C-Casale | 20,98 | 1.217,4 | 1,0 | 0,0 | 1,26 | 20,98 | 1.200 | 0,92 | 6.050 | 938.161 | 0,938 |
| B-E | 12,15 | 1.024,8 | 0,9 | 0,9 | 1,28 | 12,15 | 1.200 | 0,92 | 3.549 | 943.005 | 0,943 |
| E-F | 12,15 | 2.086,9 | 1,7 | 0,7 | 1,28 | 12,15 | 1.200 | 0,92 | 3.549 | 1.313.486 | 1,313 |
| F-Inca | 4,53 | 1.556,6 | 1,3 | 0,3 | 1,41 | 4,53 | 1.200 | 0,92 | 1.461 | 377.218 | 0,377 |
| F-G | 7,61 | 819,7 | 0,7 | 0,7 | 1,31 | 7,61 | 1.200 | 0,92 | 2.291 | 489.868 | 0,490 |
| G-SantoD | 7,61 | 93,1 | 0,1 | 0,1 | 1,31 | 7,61 | 1.200 | 0,92 | 2.291 | 76.887 | 0,077 |
| Total | | | | | | | | | | 24.008.168 | 24,008 |

Fuente: Elaboración propia

Con estos valores podemos obtener los costos de inversión del sistema de impulsión, sumando los costos de las tuberías y de las estaciones de bombeo, lo que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 44: El costo de capital total del sistema de impulsión

| Ruta | Costos Tuberías (MUS\$) | Costos estaciones de bombeo (MUS\$) | Costo de Inversión Estático (MUS\$) |
|----------------------|-------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Des-A | 66,016 | 7,463 | 73,479 |
| A-Retaguardia | 0,371 | 0,267 | 0,638 |
| A-B | 42,708 | 5,421 | 48,129 |
| B-C | 26,303 | 5,076 | 31,379 |
| C-D | 10,720 | 1,185 | 11,905 |
| D-Lobo | 10,936 | 0,456 | 11,392 |
| C-Casale | 15,209 | 0,938 | 16,147 |
| B-E | 14,229 | 0,943 | 15,172 |
| E-F | 28,977 | 1,313 | 30,290 |
| F-Inca | 2,749 | 0,377 | 3,126 |
| F-G | 8,019 | 0,490 | 8,509 |
| G-SantoD | 0,911 | 0,077 | 0,988 |

Fuente: Elaboración propia

Ahora, considerando los datos de la tabla 41, se procede a mostrar el costo de capital a través de los 20 años de evaluación del proyecto:

Tabla 45: Los costos de capital del sistema de impulsión en el tiempo

| Año | 0 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|------------------------------------|---------|--------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| CAPEX Sistema de Impulsión (MUS\$) | 233,382 | 17,135 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,638 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia

1.4. Líneas de transmisión

Para realizar el cálculo de los costos de inversión de las líneas se toman los supuestos de la tabla 41 del punto 1.3 de este capítulo, para saber a qué año asignarle los costos de capital. Según el ingeniero eléctrico Bernardo Alarcón el valor de la inversión es de 100.000 pesos chilenos por metro de línea eléctrica (instalación incluida), por lo que al aplicar el tipo de cambio se obtiene un valor de 212.766 US\$/km de línea de transmisión. Se supone además que la distancia de la línea eléctrica es la misma que la distancia de la tubería de la ruta. Con estos datos se confeccionó una tabla que se muestra a continuación:

Tabla 46: El costo de capital de las líneas de transmisión

| Ruta | Largo Tuberías (KM) | CAPEX líneas de transmisión (MUS\$) |
|---------------|---------------------|-------------------------------------|
| Des-A | 63,6 | 13,389 |
| A-Retaguardia | 1,4 | 0,295 |
| A-B | 46,0 | 9,684 |
| B-C | 38,0 | 8,000 |
| C-D | 49,6 | 10,442 |
| D-Lobo | 50,6 | 10,653 |
| C-Casale | 25,7 | 5,411 |
| B-E | 41,1 | 8,653 |
| E-F | 83,7 | 17,621 |
| F-Inca | 12,5 | 2,632 |
| F-G | 28,0 | 5,895 |
| G-SantoD | 3,2 | 0,669 |

Fuente: Elaboración propia

Ahora se estima necesario mostrar otra tabla para observar cómo se distribuye la inversión en el tiempo:

Tabla 47: El costo de capital a lo largo del tiempo

| Año | 0 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|-------------------------------------|--------|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| CAPEX Líneas de transmisión (MUS\$) | 86,968 | 6,080 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,295 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fuente: Elaboración propia

1.3. Aguas suministradas por una sanitaria

En el año 2 y 3 no se tendrá la oferta necesaria de agua para abastecer la demanda del mercado objetivo ya que en el segundo año se necesitaría contar con un caudal extra de 843 L/s para satisfacer la demanda, mientras que en el tercero se necesitaría uno de 43 L/s. Los caudales en estos dos años serían suministrados por una empresa sanitaria de la región como lo sería, por ejemplo, Aguas Chañar S.A.

El precio del agua, según la información entregada por la empresa mencionada, estaría a un valor de un cargo fijo de 1019 \$/mes más uno variable de 1090 \$/m³. Por lo tanto el precio unitario del agua se toma como 1090 \$/m³, lo cual pasado a dólares es 2,32 US\$/m³.

Con estos datos fue posible confeccionar la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 48: El costo de inversión por el agua suministrada por la sanitaria

| Año | 0 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Agua Suministrada por Sanitaria (ML) | 0 | 26.594 | 1.365 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Precio agua sanitaria (US\$/L) | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 |
| Costo de agua suministrada (MUS\$) | 0 | 61,676 | 3,166 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

1.5. Estudio de impacto ambiental

Se estima un monto de cien millones de pesos para un estudio de impacto ambiental (EIA) realizado por una consultora especializada (por ejemplo la empresa “Arcadis”), lo que pasado a dólares asciende a 0,211 millones de dólares (MUS\$) por el estudio.

1.6. Oficinas administrativas

Se planea poner en el predio de la planta desaladora unas oficinas administrativas de 100 m², a un valor aproximado de cuarenta millones de pesos, lo que pasado a dólares asciende a 0,084 millones de dólares.

2. Precio de venta

El precio de venta no está muy bien definido debido a fuentes con datos contradictorios, pero para efecto del cálculo del flujo de caja, el precio se definirá como el mismo valor que cobraría una sanitaria de la región, como lo es el caso de Aguas Chañar S.A., que al proyecto le vendería agua a 2,32 US\$/m³. Por lo tanto el precio por litro de venta estándar sería de 0,00232 US\$/L.

Para el proyecto minero “Retaguardia” este precio es el que se cobra por el agua desalada debido a su cercanía con la planta. Para “Cerro Casale” el precio se elevará un 25% por que está más lejos. En el caso de “Lobo-Marte” el precio se elevaría un 50% ya que está a una mayor altura y distancia que “Cerro Casale”. En el caso de “Inca de Oro” y “Santo Domingo” se fija un precio un 70% mayor que el original porque estos proyectos están más alejados.

Para finalizar hay que decir que a los otros clientes se les cobraría el precio original ya que por ahora estos clientes no están definidos, por no contar con información concreta sobre estos.

3. Ingresos esperados

Los ingresos totales se obtuvieron al sumar cada uno de los ingresos obtenidos gracias a cada proyecto minero nuevo y también por los otros clientes. Los resultados se pueden observar en la tabla siguiente:

Tabla 49: Ingresos esperados del proyecto en el tiempo

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|--------------------------------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Ingreso Cerro Casale (MUS\$) | 0 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 0 |
| Ingreso Inca de oro (MUS\$) | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ingreso Lobo-Marte (MUS\$) | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ingreso Santo Domingo (MUS\$) | 0 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ingreso Retaguardia (MUS\$) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| Ingreso Otros clientes (MUS\$) | 0,690059 | 0 | 0 | 26,098 | 26,098 | 26,098 | 5,177 | 5,177 | 5,177 | 5,177 | 5,177 | 29,585 | 29,585 | 29,585 | 29,585 | 58,160 | 58,160 | 58,160 | 58,160 | 125,406 |
| Total | 46,459 | 171,319 | 171,319 | 197,417 | 180,332 | 180,332 | 180,332 | 180,332 | 163,139 | 163,139 | 163,139 | 163,139 | 146,327 |

Fuente: Elaboración propia

4. Costos

Los costos de este proyecto no se dividirán en costos fijos y variables, como comúnmente se hace, ya que no se cuenta con la información suficiente para esto. Los costos serán expresados como los costos de operación y mantenimiento (O&M) de los cuatro componentes del proyecto más los costos asociados al uso de terrenos fiscales, y al uso de la costa chilena para sacar agua marina de esta.

4.1. Costos de la planta desaladora

Para la obtención de los costos de la desaladora se usó información recolectada del centro español de tecnologías del agua “CETAqua”, en el cual se estimaron los costos de operación y mantenimiento (O&M) de una planta desaladora de ósmosis inversa (OI), según la capacidad de desalación que esta tuviera. Los datos obtenidos del centro se resumen a continuación:

Tabla 50: Costos de O&M de una planta de OI según su capacidad

| Capacidad Mínima Planta OI (L/s) | Capacidad Máxima Planta OI (L/s) | Costo mínimo (€/m ³) | Costo Máximo (€/m ³) | Costo mínimo (US\$/m ³) | Costo Máximo (US\$/m ³) |
|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--|--|
| 0 | 1 | 1,20 | 15,00 | 1,67 | 20,89 |
| 3 | 12 | 1,00 | 3,14 | 1,39 | 4,37 |
| 12 | 56 | 0,56 | 1,38 | 0,78 | 1,92 |
| 174 | 694 | 0,38 | 1,30 | 0,53 | 1,81 |
| 1157 | 3704 | 0,36 | 0,53 | 0,50 | 0,74 |

Fuente: Elaboración propia, CETaqua

Como se puede deducir de esta planta, el proyecto de desalación de 2000 L/s de capacidad, tendría un costo de O&M entre los 0,5 y 0,74 US\$/m³. Para efectos de cálculo se usó un valor promedio para el costo de 0,62 US\$/m³ o sea 0,00062 US\$/L de agua producida. Con este dato y el de la producción de la planta se pudo confeccionar la tabla siguiente:

Tabla 51: Costo de O&M de la planta en los 20 años de evaluación

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Producción Planta (ML) | 12.614 | 25.229 | 50.458 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 | 63.072 |
| Costo unitario O&M (US\$/L) | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 | 0,00062 |
| Costo O&M (MUS\$) | 7,816 | 15,632 | 31,264 | 39,080 | 39,080 | 39,080 | 39,080 | 39,080 | 39,080 | 39,080 | 39,080 | 39,080 | 39,080 | 39,080 | 39,080 | 39,080 | 39,080 | 39,080 | 39,080 | 39,080 |

Fuente: Elaboración propia

Para finalizar, podemos observar en la tabla todos los costos de operación y mantenimiento en el periodo de evaluación del proyecto, cuyos valores van desde los 7,816 millones de dólares hasta los 39,080 millones.

4.2. Costos de la planta solar

Para la estimación de los costos de O&M se usará la información del estudio de Sargent & Lundy visto en el punto 3.3 del Capítulo III. En la segunda tabla de dicho punto, se le asigna a una planta construida el año 2006 un costo O&M de 75000 dólares por MW de capacidad de diseño construida, y a una planta del año 2020 un costo de 46000 dólares por MW. Con estos valores también se puede hacer una progresión como se hizo en el punto 1.2 de este capítulo.

Con la progresión es posible obtener un valor de los costos de O&M para cada uno de los 20 años del periodo de evaluación del proyecto. Con estos valores y con la capacidad nominal de generación eléctrica en cada año de la planta solar se pudo confeccionar la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 52: Costos de O&M para el periodo de evaluación del proyecto

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Capacidad Nominal de Generación Eléctrica Planta Solar (MW) | 30 | 110 | 128 | 137 | 137 | 137 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 | 144 |
| Costo O&M Unitario (US\$/MW) | 56.721 | 54.775 | 52.895 | 51.080 | 49.327 | 47.635 | 46.000 | 44.422 | 42.897 | 41.425 | 40.004 | 38.631 | 37.305 | 36.025 | 34.789 | 33.595 | 32.442 | 31.329 | 30.254 | 29.216 |
| Costo O&M Anual (MUS\$) | 1,687 | 6,049 | 6,781 | 7,002 | 6,761 | 6,529 | 6,644 | 6,416 | 6,196 | 5,983 | 5,778 | 5,580 | 5,388 | 5,203 | 5,025 | 4,852 | 4,686 | 4,525 | 4,370 | 4,220 |

Fuente: Elaboración propia

4.3. Costos del sistema de abastecimiento

Para obtener comúnmente el costo de operación y mantenimiento del sistema de impulsión, se deben encontrar los costos de la mano de obra y sumarle el costo energético por la energía usada para el funcionamiento del sistema de impulsión. Pero en el caso del presente informe la energía eléctrica es proporcionada por la planta solar del proyecto por lo que no se incurre en los costos por la obtención de la energía eléctrica, o sea se deben calcular sólo los costos de la mano de obra para obtener los costos O&M del sistema de abastecimiento de agua.

Los costos de labour se encontraron siguiendo las indicaciones de la estimación de los costos del sistema de abastecimiento hídrico de El Paso, California, USA. Según la estimación los costos se obtienen con la fórmula siguiente:

Costo Labour = $3262*(Q*L)^{0,49}$, con Q el caudal en millones de galones por día (mgd) que pasa en cada ruta del sistema y L el largo en millas de cada ruta. Con los datos del caudal y de las millas de tubería se construyó la tabla siguiente:

Tabla 53: Costos de mano de obra en cada ruta

| | Año | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | |
|----------|---------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---|
| Ruta | Costo Labour (US\$) | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | |
| Des-A | | 92.032 | 186.083 | 186.083 | 186.083 | 186.083 | 186.083 | 201.301 | 201.301 | 201.301 | 201.301 | 201.301 | 183.419 | 183.419 | 183.419 | 183.419 | 159.846 | 159.846 | 159.846 | 159.846 | 78.993 | |
| A- | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12.176 | 12.176 | 12.176 | 12.176 | 12.176 | 12.176 | 12.176 | 12.176 | 12.176 | 12.176 | 12.176 | 12.176 | 12.176 | 12.176 | |
| A-B | | 78.523 | 158.769 | 158.769 | 158.769 | 158.769 | 158.769 | 158.769 | 158.769 | 158.769 | 158.769 | 158.769 | 142.061 | 142.061 | 142.061 | 142.061 | 119.431 | 119.431 | 119.431 | 119.431 | 0 | |
| B-C | | 50.491 | 119.352 | 119.352 | 119.352 | 119.352 | 119.352 | 119.352 | 119.352 | 119.352 | 119.352 | 119.352 | 119.352 | 119.352 | 119.352 | 119.352 | 108.757 | 108.757 | 108.757 | 108.757 | 0 | |
| C-D | | 57.532 | 57.532 | 57.532 | 57.532 | 57.532 | 57.532 | 57.532 | 57.532 | 57.532 | 57.532 | 57.532 | 57.532 | 57.532 | 57.532 | 57.532 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| D-Lobo | | 58.097 | 58.097 | 58.097 | 58.097 | 58.097 | 58.097 | 58.097 | 58.097 | 58.097 | 58.097 | 58.097 | 58.097 | 58.097 | 58.097 | 58.097 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| C-Casale | | 0 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 89.791 | 0 |
| B-E | | 53.343 | 86.470 | 86.470 | 86.470 | 86.470 | 86.470 | 86.470 | 86.470 | 86.470 | 86.470 | 86.470 | 53.343 | 53.343 | 53.343 | 53.343 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| E-F | | 75.584 | 122.523 | 122.523 | 122.523 | 122.523 | 122.523 | 122.523 | 122.523 | 122.523 | 122.523 | 122.523 | 75.584 | 75.584 | 75.584 | 75.584 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| F-Inca | | 29.770 | 29.770 | 29.770 | 29.770 | 29.770 | 29.770 | 29.770 | 29.770 | 29.770 | 29.770 | 29.770 | 29.770 | 29.770 | 29.770 | 29.770 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| F-G | | 0 | 56.991 | 56.991 | 56.991 | 56.991 | 56.991 | 56.991 | 56.991 | 56.991 | 56.991 | 56.991 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| G-SantoD | | 0 | 19.628 | 19.628 | 19.628 | 19.628 | 19.628 | 19.628 | 19.628 | 19.628 | 19.628 | 19.628 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| Suma | | 495.373 | 985.006 | 985.006 | 985.006 | 985.006 | 985.006 | 1.012.399 | 1.012.399 | 1.012.399 | 1.012.399 | 1.012.399 | 821.125 | 821.125 | 821.125 | 821.125 | 490.001 | 490.001 | 490.001 | 490.001 | 91.169 | |

Fuente: Elaboración propia

Por último, y con lo que los costos de operación y mantenimiento del sistema de impulsión para los 20 años de evaluación del proyecto (en millones de dólares MUS\$), se tienen los valores de la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 54: Costos O&M del sistema

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Costos O&M (MUS\$) | 0,495 | 0,985 | 0,985 | 0,985 | 0,985 | 0,985 | 1,012 | 1,012 | 1,012 | 1,012 | 1,012 | 0,821 | 0,821 | 0,821 | 0,821 | 0,490 | 0,490 | 0,490 | 0,490 | 0,091 |

Fuente: Elaboración propia

4.4. Costos de las líneas de transmisión

Según el ingeniero eléctrico Bernardo Alarcón, el costo de operación y mantenimiento anual de una línea de transmisión ascendería al 30% del costo de inversión, por lo que sería igual a 63.830 US\$/km de línea de transmisión. Con esta información y con los datos de los largos de las rutas del sistema de impulsión, y los años de comienzo y término de las operaciones en cada ruta, fue posible realizar la tabla siguiente:

Tabla 55: Costos O&M de las líneas de transmisión

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Suma kilometraje (km) | 385,10 | 441,98 | 441,98 | 441,98 | 441,98 | 441,98 | 443,38 | 443,38 | 443,38 | 443,38 | 443,38 | 412,20 | 412,20 | 412,20 | 412,20 | 174,70 | 174,70 | 174,70 | 174,70 | 65,00 |
| Costo unitario O&M (US\$/km) | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 | 63.830 |
| Costo de O&M (MUS\$) | 24,581 | 28,211 | 28,211 | 28,211 | 28,211 | 28,211 | 28,301 | 28,301 | 28,301 | 28,301 | 28,301 | 26,311 | 26,311 | 26,311 | 26,311 | 11,151 | 11,151 | 11,151 | 11,151 | 4,149 |

Fuente: Elaboración propia

4.5. Costos por concesión de uso oneroso

El costo anual por la concesión de uso oneroso de los terrenos de la planta desaladora y la solar, fue obtenido gracias a la ayuda de la señora Gabriela Gerónimo de la secretaría regional ministerial de bienes nacionales de la región de Atacama. Según esta persona el valor de la concesión sería del orden de los 168.000 pesos por hectárea al año.

El terreno total que será usado para la planta desaladora y la solar será de 609 hectáreas por lo que el costo anual por la concesión ascendería a los 102.315.480 pesos, lo cual pasado a dólares es 0,218 millones de dólares anuales por la concesión de uso oneroso.

4.6. Costos por concesión marítima

Los costos de este apartado se calculan tomando en cuenta la información del reglamento sobre concesiones marítimas de la dirección general del territorio marítimo y de marina mercante (DIRECTEMAR), en el cual se explicita que todo concesionario pagará, por semestres o anualidades anticipadas, según lo determine el respectivo decreto supremo o resolución, una renta mínima equivalente al 16% anual del valor de tasación de los terrenos practicada en cada caso por la oficina del servicio de impuestos internos correspondiente, sobre los terrenos concedidos por el estado.

Los terrenos se supondrán tasados a un valor de 90 millones de pesos por las 609 hectáreas que usa el negocio. Al 16% de esta tasación se le debe sumar un costo anual de 0,006 UTM por el hecho de tener una tubería en el mar (700 metros de largo) para la captación del agua marina.

Al suponer un valor de la UTM de 37.870 pesos y una tasa de cambio de 470 \$/US\$, se obtiene que el monto anual a pagar por la concesión marítima es de 0,629 millones de dólares.

5. Depreciación de activos fijos

El método de depreciación que será usado es el método de depreciación de doble cuota sobre el valor en libros, debido a que no se cuenta con un valor de desecho de los activos. Se

considera como la vida útil de la planta desaladora y la solar un periodo de 25 años³³, por lo que la tasa de depreciación de estas sería $(100\%/25)*2 = 8\%$. Con esta tasa y los montos de inversión de las plantas se pudo crear la tabla con los gastos por depreciación anual que se presenta a continuación³⁴:

Tabla 56: Depreciaciones de la planta solar y la desaladora:

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Depreciación Planta Solar (MUS\$) | 42,228 | 38,850 | 42,208 | 41,943 | 38,588 | 35,501 | 34,963 | 32,166 | 29,593 | 27,226 | 25,048 | 23,044 | 21,200 | 19,504 | 17,944 | 16,508 | 15,188 | 13,973 | 12,855 | 11,826 |
| Depreciación Planta OI (MUS\$) | 39,424 | 36,270 | 33,368 | 30,699 | 28,243 | 25,984 | 23,905 | 21,993 | 20,233 | 18,614 | 17,125 | 15,755 | 14,495 | 13,335 | 12,268 | 11,287 | 10,384 | 9,553 | 8,789 | 8,086 |

Fuente: Elaboración propia

Usando el mismo método se pueden calcular los gastos por depreciación del sistema de impulsión. En este caso la vida útil se estima de 20 años (por la vida útil de las cañerías de acero³⁵), por lo que la tasa de depreciación de doble cuota sería de un 10%. La diferencia con el cálculo anterior es que como el sistema de abastecimiento está dividido en diversas rutas de tuberías subterráneas, con distintos años de comienzo y término de operaciones, es necesario hacer tablas de depreciación para cada ruta según el año en que empiezan a operar y el último año que se encontrarían en operación.

Entonces se procede a agrupar las rutas según el año en que empiezan a operar y el último año de funcionamiento, lo cual es posible ver a continuación:

Tabla 57: Las rutas según año de inicio y término de operaciones

| Ruta | Año Comienzo operaciones | Último Año de Operaciones |
|---------------|--------------------------|---------------------------|
| Des-A | 1 | 20 |
| A-Retaguardia | 7 | 20 |
| A-B | 1 | 19 |
| B-C | 1 | 19 |
| C-D | 1 | 15 |
| D-Lobo | 1 | 15 |
| C-Casale | 2 | 19 |
| B-E | 1 | 15 |
| E-F | 1 | 15 |
| F-Inca | 1 | 15 |
| F-G | 2 | 11 |
| G-SantoD | 2 | 11 |

Fuente Elaboración propia

Con la tabla anterior es posible ver que hay seis grupos de rutas de cañerías, por lo que hay que hacer una tabla de depreciación³⁶ para cada uno los seis grupos identificados.

Gracias a las tablas de depreciación es posible calcular los gastos de depreciación para cada año de evaluación del proyecto, los cuales se pueden observar a continuación:

³³ Fuentes: Aguas Barcelona (AGBAR), SolarReserve INC

³⁴ Ver anexos 12.1 y 12.3 para ver las tablas de donde se obtuvieron los valores presentados

³⁵ Fuente: http://www.sii.cl/pagina/valores/bienes/bienes_f.htm

³⁶ Ver anexo 12.3 para poder ver las tablas mencionadas

Tabla 58: Costos de depreciación del sistema de impulsión

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Depreciación Sistema de Impulsión (MUS\$) | 22,487 | 22,803 | 20,523 | 18,470 | 16,623 | 14,961 | 13,529 | 12,176 | 10,958 | 9,862 | 8,876 | 7,657 | 6,892 | 6,203 | 5,582 | 3,544 | 3,190 | 2,871 | 2,584 | 1,009 |

Fuente Elaboración propia

Ahora, para el caso de las líneas de transmisión, se hizo lo mismo que para las tuberías del sistema de impulsión ya que el comienzo y término de operación depende del inicio y finalización de las operaciones de las rutas de impulsión. La diferencia con el sistema de abastecimiento hídrico es que una línea de transmisión tiene una vida útil mayor, alcanzando los 40 años de operación³⁷, por lo que la tasa de depreciación sería del 10%. Con las tablas de depreciación³⁸ fue posible obtener un resultado que se muestra a continuación:

Tabla 59: La depreciación de las líneas de transmisión

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Depreciación Líneas de Transmisión (MUS\$) | 4,097 | 4,497 | 4,272 | 4,059 | 3,856 | 3,663 | 3,495 | 3,320 | 3,154 | 2,996 | 2,846 | 2,505 | 2,380 | 2,261 | 2,148 | 0,870 | 0,827 | 0,785 | 0,746 | 0,263 |

Fuente: Elaboración propia

Ahora, considerando una vida útil de 80 años³⁹, se mostrará la depreciación del edificio de las oficinas administrativas. Con una tabla de depreciación⁴⁰ fue posible obtener los siguientes resultados:

Tabla 60: La depreciación del edificio de las oficinas administrativas

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Depreciación Oficinas Administrativas (MUS\$) | 0,00213 | 0,00207 | 0,00202 | 0,00197 | 0,00192 | 0,00187 | 0,00183 | 0,00178 | 0,00174 | 0,00169 | 0,00165 | 0,00161 | 0,00157 | 0,00153 | 0,00149 | 0,00146 | 0,00142 | 0,00138 | 0,00135 | 0,00132 |

Fuente: Elaboración propia

Por último se mostrará una tabla con la suma de todas las depreciaciones anteriores, la que pasará a ser usada en el flujo de caja del proyecto. La tabla es la siguiente:

Tabla 61: La depreciación total del proyecto

| Año | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|----------------------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Depreciación (MUS\$) | 108,238 | 102,422 | 100,373 | 95,173 | 87,311 | 80,110 | 75,894 | 69,656 | 63,940 | 58,700 | 53,897 | 48,964 | 44,969 | 41,305 | 37,944 | 32,211 | 29,589 | 27,183 | 24,975 | 21,185 |

Fuente: Elaboración propia

³⁷ Dato entregado por Bernardo Alarcón

³⁸ Las tablas se pueden observar en el anexo 12.4

³⁹ Fuente: Servicio de impuestos internos, suponiendo una construcción de hormigón

⁴⁰ Ver anexo 12.5

6. Capital de trabajo

Se estima, según la opinión de Juan Carlos Barros, que el capital de trabajo es el necesario para cubrir los 4 primeros meses de producción de las plantas, con lo que se saca el cuarto del costo total del primer año (35,431 MUS\$). Por lo tanto el valor del capital de trabajo es de 11,810 millones de dólares para el año 0, los cuales se recuperarían al final del periodo de evaluación del proyecto.

7. Valor residual

Se considera como valor residual de los activos a aquella parte del costo de un activo que se espera recuperar mediante una venta del bien al final de su vida útil, o en este caso al final del periodo de evaluación del proyecto.

Los valores residuales de los activos fijos podrían ser los valores de desecho calculados en la depreciación, pero para el presente informe se consideran como cero ya que cuando terminen las operaciones de las plantas, los equipamientos y las estructuras de estas no se venderán porque se podrían usar por otros 5 años para su posterior uso. Se supone además que las tuberías y las líneas de transmisión cuando se dejan de usar serán destinadas para el suministro de agua a otros clientes (nuevas faenas mineras o clientes de otras industrias).

8. Flujo de caja

En este punto se elaborará el flujo de caja sin financiamiento, es decir sin acudir a préstamos bancarios, y en un próximo punto se realizará el flujo de caja con financiamiento, es decir endeudándose mediante un préstamo bancario, con el fin de comparar ambos resultados.

La evaluación se realizó por un horizonte de 20 años ya que se estimó que era un plazo sensato ya que es lo que duraría una gran faena minera en funcionamiento. La tasa de descuento es de un 15% por tratarse de un proyecto de inversión nuevo y por opinión de expertos. En el anexo 13 se puede observar el flujo de caja en su totalidad, con el que lamentablemente se obtienen unos malos resultados, los cuales se muestran a continuación:

Tabla 62: Resultados del flujo de caja sin financiamiento

| | |
|-----------------------|----------|
| Tasa de Descuento (%) | 15 |
| VAN | -808,192 |
| TIR | 2,33% |

Fuente: Elaboración propia

Como es posible ver, el proyecto es para nada rentable si se tiene un precio de 2,32 US\$/m³ ya que se obtiene un valor negativo de -808,192 millones de dólares. En el próximo punto se verá en qué situaciones se puede obtener un Van positivo.

9. Análisis de sensibilidad caso sin financiamiento

Como el resultado dado en el punto anterior fue malo, no tiene sentido hacer un análisis de sensibilidad en un escenario negativo porque el proyecto, de partida, ya se encuentra en uno.

Al variar el precio de venta original a un valor de 4,80 US\$/m³ el proyecto ya empieza a ser rentable, con los resultados que se muestran a continuación:

Tabla 63: Resultados del flujo de caja para un precio mayor

| | |
|-----------------------|--------|
| Tasa de Descuento (%) | 15 |
| VAN | 2,036 |
| TIR | 15,03% |

Fuente Elaboración propia

Lamentablemente esto no es tan positivo como parece, ya que cuando la demanda de “otros clientes” disminuye un 5% el proyecto deja de ser rentable por lo que se debe vender sí o sí el resto de la oferta de la planta desaladora a nuevos proyectos mineros o potenciales clientes de otras industrias de la tercera región. Ahora, si es que la demanda de “otros clientes” fuera cero, o sea si es que los clientes son sólo los de la cartera de clientes se debería de cobrar un precio original de 5,27 US\$/m³ para obtener un VAN positivo de 2,085 millones de dólares y una TIR de 15,03%.

Por otro lado no se toma en cuenta el caso de que los valores de los CAPEX o los OPEX variasen en un porcentaje negativo ya que, ni siquiera con un 50% menos para algunos de los 2 indicadores, el proyecto se vuelve rentable. Por lo tanto lo necesario para que el proyecto sea rentable es ofrecer el agua a un precio mayor, o sea la variable precio es la más importante del proyecto.

10. Evaluación económica con financiamiento.

Se evaluará económicamente el caso de pedir un crédito bancario con el objetivo de estudiar cómo se comporta el proyecto en este caso.

Se consideró un préstamo equivalente al 60% de los costos de inversión del año 0, pagadero en 20 cuotas anuales fijas. La tasa de interés para este monto es de 3% anual (tasa interbancaria, primera semana de diciembre 2010⁴¹)

Considerando un préstamo equivalente al 60% de la inversión total, una tasa anual de un 3% y con una tasa de descuento de 15%, se puede calcular la nueva tasa de descuento del proyecto con el modelo WACC:

$$r_{WACC} = \left(\frac{D}{V}\right) * r_d * (1 - T) + \left(\frac{E}{V}\right) * r_e$$

Donde r_{WACC} representa al costo promedio ponderado del capital, D corresponde al capital de los terceros (deuda), E al capital propio sin deuda, V al patrimonio total (E+V), r_d a la tasa de interés de la deuda, r_e al costo de capital propio y T al impuesto a la renta. Se obtuvieron los siguientes valores:

⁴¹ Fuente: Banco Central

Tabla 64: Valores para el cálculo del costo promedio ponderado del capital

| | |
|-------------|----------------|
| D | 805,335 |
| E | 536,890 |
| V | 1342,225 |
| rd | 3,00% |
| re | 15% |
| T | 17% |
| WACC | 0,07494 |

Fuente: Elaboración propia

Con esto se obtiene que la nueva tasa de descuento del proyecto es de 7,5%.

Se considera un préstamo en 20 cuotas fijas. El valor de la cuota, amortizaciones e interés se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 65: Plan de pago de cuotas a 20 años

| Número de pago | Cuota | Interes Prestamo | Amortización | Monto |
|----------------|----------|------------------|--------------|---------|
| 0 | | | | 805,335 |
| 1 | \$ 54,13 | \$ 24,16 | \$ 29,97 | 775,364 |
| 2 | \$ 54,13 | \$ 23,26 | \$ 30,87 | 744,494 |
| 3 | \$ 54,13 | \$ 22,33 | \$ 31,80 | 712,697 |
| 4 | \$ 54,13 | \$ 21,38 | \$ 32,75 | 679,947 |
| 5 | \$ 54,13 | \$ 20,40 | \$ 33,73 | 646,214 |
| 6 | \$ 54,13 | \$ 19,39 | \$ 34,74 | 611,469 |
| 7 | \$ 54,13 | \$ 18,34 | \$ 35,79 | 575,682 |
| 8 | \$ 54,13 | \$ 17,27 | \$ 36,86 | 538,822 |
| 9 | \$ 54,13 | \$ 16,16 | \$ 37,97 | 500,855 |
| 10 | \$ 54,13 | \$ 15,03 | \$ 39,11 | 461,750 |
| 11 | \$ 54,13 | \$ 13,85 | \$ 40,28 | 421,471 |
| 12 | \$ 54,13 | \$ 12,64 | \$ 41,49 | 379,984 |
| 13 | \$ 54,13 | \$ 11,40 | \$ 42,73 | 337,252 |
| 14 | \$ 54,13 | \$ 10,12 | \$ 44,01 | 293,239 |
| 15 | \$ 54,13 | \$ 8,80 | \$ 45,33 | 247,905 |
| 16 | \$ 54,13 | \$ 7,44 | \$ 46,69 | 201,211 |
| 17 | \$ 54,13 | \$ 6,04 | \$ 48,09 | 153,116 |
| 18 | \$ 54,13 | \$ 4,59 | \$ 49,54 | 103,578 |
| 19 | \$ 54,13 | \$ 3,11 | \$ 51,02 | 52,555 |
| 20 | \$ 54,13 | \$ 1,58 | \$ 52,55 | 0 |

Fuente: Elaboración propia

Con estos datos, se obtiene un VAN de \$397.093 millones de dólares, y una TIR de 22,14%, con lo que se llega a un resultado positivo. El flujo de caja del proyecto con financiamiento se muestra en el anexo 14.

VI. Conclusiones

El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo el estudio de un proyecto en su etapa de prefactibilidad técnica y económica. Para dicho proyecto se tenía como objetivo la construcción y operación una planta de desalación de agua marina con una planta solar para alimentar de energía tanto a la desaladora como al sistema de abastecimiento de clientes asociado. A continuación muestran las conclusiones en forma general para cada capítulo del presente informe.

El estudio de mercado mostró que la tercera región es el lugar adecuado de emplazamiento del proyecto, y que la demanda de agua para los procesos productivos de las empresas mineras de la III región es de un volumen considerable y atractivo. Además se puede decir que es posible realizar una planta desaladora con capacidad de producción de 2000 lps de agua para satisfacer las demandas de agua de los clientes del mercado objetivo, pero adicionalmente y dado que en los últimos algunos períodos la oferta sobrepasa a la demanda, igual existiría un stock no aprovechado, que para el presente estudio presentaría una oportunidad futura de nuevos clientes.

Con respecto del estudio técnico, se optó por tener una planta desaladora con tecnología de ósmosis inversa que provea 2000 lps de agua en el período peak del proyecto para los clientes, situada al sur de la ciudad de Caldera, cerca de la localidad de Puerto Viejo. Adicionalmente, la planta será provista de una planta de concentración solar con tecnología de torre de concentración para la generación de energía eléctrica, la que será transmitida a la planta desaladora y al sistema de impulsión de agua mediante un tendido eléctrico de alta tensión debido a las grandes distancias en que se encuentran la mayoría de los clientes, y que seguirá el mismo trazado de las tuberías del sistema de abastecimiento hídrico.

Con respecto al estudio legal se concluye que se necesita realizar una petición de concesión de uso oneroso para emplazar el proyecto en un terreno fiscal en el sector elegido, y una concesión marítima para poder construir una tubería submarina que capte el agua marina. Por otro lado, se estima necesaria la confección de un estudio de impacto ambiental del proyecto, aunque igual no se estima que hayan mayores problemas legales para la implementación del proyecto ya que por lo estudiado en las normas y leyes chilenas, y en proyectos similares en el ámbito nacional e internacional, no hay mayor oposición a un proyecto de esta naturaleza ya que las tecnologías de desalación no tienen un gran impacto en el medio ambiente, salvo el problema de la salmuera que es devuelta al mar. También no habría mayor problema legal ya que en el proyecto se estaría aprovechando de obtener tanto agua dulce de fuentes alternativas como energía eléctrica de fuentes más limpia, como el sol, para los procesos productivos necesarios en la planta desaladora.

Con respecto a la evaluación económica, se puede concluir que, lamentablemente el proyecto no es rentable sin financiamiento externo (los inversionistas aportan el 100% del capital necesario para la implementación del proyecto), y para un precio del agua similar a las empresas sanitarias de la región. En efecto, para un precio del agua de 2,32 US\$/m³ y una tasa de descuento del 15%, se obtiene un VAN negativo de -808,192 millones de dólares y una TIR de 2,33%, lo que hace muy poco rentable el proyecto.

Sólo variando el precio de venta del agua desalada es posible obtener un VAN positivo ya que sólo cuando el valor del agua es de 4,80 US\$/m³ el VAN comienza a ser positivo, alcanzando un

valor de 2,036 millones de dólares y una TIR del 15,03%. Hay que recalcar que este valor obtenido es sólo posible si se cuenta con el 100% de la demanda de otros clientes (nuevos proyectos mineros o clientes de otras industrias, ya que si no se incluyera esta demanda, se necesitaría elevar el precio del agua a 5,27 US\$/m³ para obtener un VAN positivo de 2,085 millones de dólares y una TIR de 15,03%.

Como el proyecto no resultó rentable, se estimó necesario la estimación del flujo de caja para el caso de que terceros financiaran un porcentaje de los costos de inversiones del año 0, con lo que se llegó a la conclusión de que es rentable el proyecto, considerando un préstamo equivalente al 60% de la inversión total a ser pagado en cuotas anuales iguales por los 20 años de evaluación del proyecto, y una tasa de descuento WACC de 7,5% para la nueva situación del proyecto. En efecto se llegó a un VAN positivo de \$397.093 millones de dólares, y una TIR de 22,14%.

En resumen para el análisis económico, se concluyó que el valor del metro cúbico de agua desalada es la variable más importante del proyecto, ya que la rentabilidad depende claramente de este precio. Por último se llegó a la conclusión final de que se debe seguir con una evaluación de factibilidad, pero sólo considerando un financiamiento mixto del proyecto (60% terceros, 40% inversionistas) para obtener mejores resultados de los indicadores de VAN y TIR, y por ende una mayor rentabilidad.

VII. Bibliografía

- Área de estudios revista minería chilena: *Compendio de la minería chilena 2009*, Chile, Grupo Editorial EDITEC S.A., 2009.
- Área de estudios revista minería chilena: *Catastro de proyectos mineros 210-2011*, Chile, Grupo Editorial EDITEC S.A., 2010.
- COCHILCO, Comisión Chilena del Cobre: *Inversión en la Minería Chile del Cobre y del Oro Proyección del período 2009-2015*, Mayo 2010.
- COCHILCO, Comisión Chilena del Cobre: *Proyección Consumo de Agua en la Minería del cobre 2009-2020*, Agosto 2009.
- DGA, Dirección general de Aguas: *Derecho, Extracciones y Tasas Unitarias de Consumo de Agua del Sector Minero Regiones Centro-Norte de Chile*, Santiago, Marzo 2008.
- Sapag Chain, Nassir: *Preparación y Evaluación de Proyectos*, Chile, McGraw-Hill, 2004.
- Checura, Jorge: *Prefactibilidad técnica y económica de una planta productora de concentrados de hierro*, Universidad de Chile: Tesis (Ingeniero Civil Industrial), 2009.
- Soto, Francisco: *Evaluación técnico económica de una planta de carbón activado*, Universidad de Chile: Tesis (Ingeniero Civil Industrial), 2007.
- Ramos, Carlos: *Sistemas Termosolares a Concentración para desalación de agua*, Gerencia de Energías No Convencionales Instituto de Investigaciones Eléctricas, México, 2009.
- Lechuga, Jorge: *Análisis de los procesos para desalinización de agua de mar aplicando la inteligencia competitiva y tecnológica*, Universidad autónoma de Yucatán, México, 2007.
- Fariñas, M.Ed, *Ósmosis Inversa. Fundamentos, tecnología y aplicaciones*, McGraw-Hill, 1999.

- Campos, Carlos: *The Economics of desalination for various uses*, CETaqua, España, 30 abril 2010
- Sargent and Lundy LLC: *Assessment of concentrating solar power technology cost and performance forecast*, USA, 2005.
- Doerte Laing: *Solar Thermal Energy Storage Technologies*, German Aerospace Center, Hannover, 2008.
- Beyond Zero: “*Recommendations for Solar Flagships and creating a specific expanded program of government support for large scale dispatchable solar power stations to reach conventional electricity wholesale price parity*”, For the Federal Minister of Resources Energy and Tourism, Australia, 2008.
- Comisión Nacional del Medio Ambiente, www.conama.cl
- Dirección general de Aguas, www.dga.cl
- Servicio Nacional de Geología y Minería, www.sernageomin.cl
- Banco Central, www.bcentral.cl
- Dirección General del Territorio Marítimo y Marina Mercante, www.directemar.cl
- Sistema de Concesiones marítimas, www.concesionesmaritimas.cl
- Sistema de impacto ambiental de la CONAMA, www.e-seia.cl/
- Ministerio de bienes nacionales, www.bienes.cl
- Acciona Agua, www.acciona.es
- Aqualia Infraestructure, www.fcc.es
- Degremont, www.degremont.com
- Doosan, www.doosan.com
- Cadagua, www.cadagua.es
- Ide Technologies, www.atidesal.com
- Siemens, www.siemens.com
- Veolia Water, www.veoliawater.com
- SolarReserve INC, <http://www.solar-reserve.com/index.html>
- Torresol Energy Investments S.A, <http://www.torresolenergy.com/es/index.html>
- BrightSource Energy Inc, <http://www.brightsourceenergy.com/>
- eSolar Inc, <http://www.esolar.com/>
- Abengoa Chile S.A, <http://www.abengoa-chile.cl/>
- Wikipedia (enciclopedia), es.wikipedia.org
- Acquasol Infrastructure Limited, <http://www.acquasol.com.au/content/projects.html>

VIII. Anexos

1. Producción minera metálica en Chile

1.1. Producción minera metálica anual agregada

A continuación se muestra una tabla con las producciones de mineral metálico en toneladas entre los años 1999 y 2008 con una estimación de la producción de cobre para los años 2009 y 2010:

Tabla 1 Producción minería metálica en Chile

| Mineral | Unidad | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 (e) | 2010 (e) |
|-------------------------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Minería Metálica | | | | | | | | | | | | | |
| Cobre* | Millones † | 4.331 | 4.646 | 4.646 | 4.620 | 4.909 | 5.413 | 5.321 | 5.361 | 5.557 | 5.330 | 5.473 | 5.799 |
| Molibdeno | † | 27.269 | 33.639 | 33.492 | 29.467 | 33.375 | 41.883 | 47.885 | 43.158 | 44.775 | 33.639 | | |
| Oro | † | 46,67 | 54,14 | 42,67 | 38,69 | 38,95 | 39,99 | 40,45 | 42,10 | 41,53 | 39,16 | | |
| Plata | † | 1.380,45 | 1.242,19 | 1.348,67 | 1.210,47 | 1.312,79 | 1.360,14 | 1.399,54 | 1.607,16 | 1.936,47 | 1.405,02 | | |
| Plomo | † | 435 | 758 | 1.193 | 2.895 | 1.697 | 2.286 | 878 | 672 | 1.305 | 3.985 | | |
| Zinc | † | 32.281 | 31.403 | 32.762 | 36.161 | 33.051 | 27.635 | 28.841 | 36.238 | 36.453 | 40.519 | | |
| Hierro | † | 5.215 | 5.398 | 5.437 | 7.269 | 8.011 | 8.004 | 7.862 | 8.629 | 8.818 | 9.316 | | |
| Manganeso | † | 40.507 | 41.716 | 31.320 | 12.195 | 19.641 | 25.801 | 39.786 | 37.169 | 26.808 | 18.273 | | |

Fuente: Sernageomin; * Datos de producción de cobre: Cochilco
(e): Valor estimado

1.2. Producción regional minería metálica año 2008

La próxima tabla muestra la producción para cada mineral no-metálico en cada región del país:

Tabla 2 Producción minera metálica por regiones en 2008

| Mineral | Unidad | Región | | | | | | | | Total Mineral |
|-----------------------|--------|-------------------|---------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|
| | | Tarapacá | Antofagasta | Atacama | Coquimbo | Valparaíso | Metropolitana | L. B. O'Higgins | Aysén | |
| Cobre | † | 671.159 | 2.905.992 | 453.310 | 398.056 | 304.162 | 233.689 | 397.208 | 0 | 5.363.576 |
| Molibdeno | † | 2.425 | 12.940 | 872 | 7.758 | 2.133 | 2.577 | 4.934 | 0 | 33.639 |
| Oro | † | 0 | 12,85 | 17,91 | 3,02 | 1,51 | 1,74 | 0,72 | 1,41 | 39,16 |
| Plata | † | 0 | 730,11 | 353,03 | 56,12 | 94,86 | 45,15 | 77,18 | 48,58 | 1.405,02 |
| Plomo | † | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.985 | 3.985 |
| Zinc | † | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.375 | 0 | 33.144 | 40.519 |
| Hierro | † | 0 | 0 | 7.595.871 | 1.719.709 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.315.580 |
| Manganeso | † | 0 | 0 | 0 | 18.273 | 0 | 0 | 0 | 0 | 18.273 |
| Total Regional | | 673.584,00 | 2.919.674,95 | 8.050.423,95 | 2.143.855,14 | 306.391,37 | 243.687,89 | 402.219,90 | 37.178,99 | |

Fuente / Source: Sernageomin

1.3. Proyecciones Producción de cobre

Tabla 3: Resumen de la Producción Potencial de Cobre Mina en Chile al año 2020

(Miles de toneladas de cobre fino)

| CONDICIÓN | PRODUCTO | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|--|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Base | Concentrados | 3277 | 3582 | 3749 | 3783 | 3920 | 4096 | 4068 | 3903 | 3798 | 3669 | 3375 | 3246 |
| | Cátodos SxEw | 2113 | 2161 | 2119 | 2125 | 1975 | 1875 | 1677 | 1471 | 1307 | 1125 | 1080 | 989 |
| Producción Mina Base | | 5390 | 5743 | 5868 | 5908 | 5895 | 5971 | 5745 | 5374 | 5105 | 4794 | 4455 | 4235 |
| Adicional Probable | Concentrados | 0 | 0 | 0 | 0 | 94 | 275 | 325 | 450 | 475 | 475 | 475 | 475 |
| | Cátodos SxEw | 0 | 0 | 0 | 0 | 30 | 100 | 180 | 260 | 330 | 330 | 330 | 330 |
| Más Prod. Mina Probable | | 0 | 0 | 0 | 0 | 124 | 375 | 505 | 710 | 805 | 805 | 805 | 805 |
| Adicional Posible | Concentrados | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 107 | 331 | 659 | 990 | 1268 | 1548 | 1599 |
| | Cátodos SxEw | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 25 | 31 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 |
| Más Prod. Mina Posible | | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 132 | 362 | 700 | 1031 | 1309 | 1589 | 1640 |
| Adicional Hipotética | Concentrados | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 220 | 387 | 359 | 468 | 412 |
| | Cátodos SxEw | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 5 | 145 | 204 | 252 | 248 | 223 | 194 |
| Más Prod. Mina Hipotética | | 0 | 0 | 0 | 5 | 5 | 5 | 145 | 424 | 639 | 607 | 691 | 606 |
| Proyección Total | Concentrados | 3277 | 3582 | 3749 | 3783 | 4014 | 4478 | 4724 | 5232 | 5650 | 5771 | 5866 | 5732 |
| | Cátodos SxEw | 2113 | 2161 | 2119 | 2130 | 2015 | 2005 | 2033 | 1976 | 1930 | 1744 | 1674 | 1554 |
| Producción Potencial Cobre Mina | | 5390 | 5743 | 5868 | 5913 | 6029 | 6483 | 6757 | 7208 | 7580 | 7515 | 7540 | 7286 |

Fuente: Cifras estimadas en COCHILCO

Base: Proyectos en operación o en construcción

Probables: Proyectos con estudios avanzados para una decisión cercana

Posibles: Proyectos con interés explícito de las empresas por materializarlos pues a la fecha se avanza en los estudios requeridos

Proyectos hipotéticos Concentrados: Escondida fase VI y R.Tomic sulfuros fase II

Proyectos hipotéticos Cátodos: Prolongación vida útil Manto Verde, más el desarrollo en Codelco Norte (Quetena y RT Biolixiviación SBL), en Codelco Andina (Biolixiviación SBL) y de Apoquindo Minerals (madrugador)

1.4. Proyecciones Producción cobre mina por regiones

Tabla 4: Producción Regional de Cobre Mina en Chile al año 2020
(Miles de toneladas de cobre fino)

| Región | Estado | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| TARAPACA | Base | 730 | 728 | 700 | 650 | 735 | 827 | 794 | 784 | 739 | 699 | 689 | 639 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 243 | 405 | 547 | 567 |
| | Sub total | 730 | 728 | 700 | 650 | 735 | 827 | 794 | 784 | 982 | 1104 | 1236 | 1206 |
| ANTOFAGASTA | Base | 2933 | 3116 | 3161 | 3186 | 2980 | 2900 | 2777 | 2467 | 2326 | 2200 | 1987 | 1833 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 5 | 129 | 380 | 550 | 1033 | 1356 | 1374 | 1491 | 1448 |
| | Sub total | 2933 | 3116 | 3161 | 3191 | 3109 | 3280 | 3327 | 3500 | 3682 | 3574 | 3478 | 3281 |
| ATACAMA | Base | 336 | 354 | 326 | 265 | 345 | 415 | 349 | 341 | 341 | 330 | 317 | 324 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 132 | 335 | 468 | 483 | 469 | 457 | 427 |
| | Sub total | 336 | 354 | 326 | 265 | 350 | 547 | 684 | 809 | 824 | 799 | 774 | 751 |
| COQUIMBO | Base | 342 | 449 | 542 | 567 | 549 | 536 | 522 | 521 | 521 | 517 | 506 | 506 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Sub total | 342 | 449 | 542 | 567 | 549 | 536 | 522 | 521 | 521 | 517 | 506 | 506 |
| VALPARAÍSO | Base | 261 | 310 | 341 | 343 | 328 | 308 | 331 | 336 | 285 | 235 | 160 | 160 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 127 | 321 | 328 | 382 | 484 | 470 |
| | Sub total | 261 | 310 | 341 | 343 | 328 | 308 | 458 | 657 | 613 | 617 | 644 | 630 |
| METROPOLITANA | Base | 236 | 229 | 229 | 294 | 375 | 402 | 429 | 417 | 412 | 392 | 392 | 392 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Sub total | 236 | 229 | 229 | 294 | 375 | 402 | 429 | 417 | 412 | 392 | 392 | 392 |
| O'HIGGINS | Base | 404 | 415 | 427 | 468 | 451 | 451 | 411 | 375 | 347 | 289 | 271 | 248 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 41 | 65 | 97 |
| | Sub total | 404 | 415 | 427 | 468 | 451 | 451 | 411 | 375 | 361 | 330 | 336 | 345 |
| PRODUCCIÓN NO ASIGNADA A REGIÓN | Base | 148 | 142 | 142 | 135 | 132 | 132 | 132 | 132 | 132 | 132 | 132 | 132 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Sub total | 148 | 142 | 142 | 135 | 132 |
| TOTAL NACIONAL | Base | 5390 | 5743 | 5868 | 5908 | 5895 | 5971 | 5745 | 5373 | 5103 | 4794 | 4454 | 4234 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 5 | 134 | 512 | 1012 | 1822 | 2424 | 2671 | 3044 | 3009 |
| | TOTAL | 5390 | 5743 | 5868 | 5913 | 6029 | 6483 | 6757 | 7195 | 7527 | 7465 | 7498 | 7243 |

Fuente: Cifras estimadas en COCHILCO

Base: Producción de las operaciones vigentes más la de los proyectos en construcción una vez que se pongan en marcha

Proyectos: El aporte estimado para los proyectos actualmente en condición probable, posible o hipotética

1.5. Proyecciones Producción por tipo de cobre

Se muestran las siguientes tablas considerando que cobre mina = concentrados + cátodos SX-EW:

Tabla 5: Producción Regional de Concentrados de Cobre al año 2020
(Miles de toneladas de cobre fino)

| Región | Estado | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| TARAPACA | Base | 493 | 496 | 481 | 438 | 520 | 612 | 600 | 600 | 600 | 600 | 600 | 550 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 243 | 405 | 547 | 567 |
| | Sub total | 493 | 496 | 481 | 438 | 520 | 612 | 600 | 600 | 843 | 1005 | 1147 | 1117 |
| ANTOFAGASTA | Base | 1252 | 1394 | 1471 | 1458 | 1420 | 1444 | 1449 | 1324 | 1293 | 1303 | 1123 | 1063 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 94 | 275 | 275 | 631 | 864 | 886 | 1009 | 966 |
| | Sub total | 1252 | 1394 | 1471 | 1458 | 1514 | 1719 | 1724 | 1955 | 2157 | 2189 | 2132 | 2029 |
| ATACAMA | Base | 232 | 236 | 212 | 177 | 242 | 302 | 286 | 278 | 282 | 277 | 266 | 270 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 107 | 254 | 377 | 402 | 388 | 386 | 386 |
| | Sub total | 232 | 236 | 212 | 177 | 242 | 409 | 540 | 655 | 684 | 665 | 652 | 656 |
| COQUIMBO | Base | 323 | 434 | 520 | 544 | 526 | 513 | 499 | 498 | 498 | 494 | 483 | 483 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Sub total | 323 | 434 | 520 | 544 | 526 | 513 | 499 | 498 | 498 | 494 | 483 | 483 |
| VALPARAÍSO | Base | 247 | 294 | 325 | 327 | 312 | 298 | 321 | 326 | 275 | 225 | 150 | 150 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 127 | 321 | 328 | 382 | 484 | 470 |
| | Sub total | 247 | 294 | 325 | 327 | 312 | 298 | 448 | 647 | 603 | 607 | 634 | 620 |
| METROPOLITANA | Base | 190 | 183 | 183 | 248 | 329 | 356 | 383 | 382 | 382 | 362 | 362 | 362 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Sub total | 190 | 183 | 183 | 248 | 329 | 356 | 383 | 382 | 382 | 362 | 362 | 362 |
| O'HIGGINS | Base | 401 | 413 | 425 | 466 | 449 | 449 | 408 | 372 | 344 | 286 | 268 | 245 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 41 | 65 | 97 |
| | Sub total | 401 | 413 | 425 | 466 | 449 | 449 | 408 | 372 | 358 | 327 | 333 | 342 |
| PRODUCCIÓN NO ASIGNADA A REGIÓN | Base | 139 | 132 | 132 | 125 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 | 122 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Sub total | 139 | 132 | 132 | 125 | 122 |
| TOTAL NACIONAL | Base | 3277 | 3582 | 3749 | 3783 | 3920 | 4096 | 4068 | 3902 | 3796 | 3669 | 3374 | 3245 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 94 | 382 | 656 | 1329 | 1851 | 2102 | 2491 | 2486 |
| | TOTAL | 3277 | 3582 | 3749 | 3783 | 4014 | 4478 | 4724 | 5231 | 5647 | 5771 | 5865 | 5731 |

Fuente: Cifras estimadas en COCHILCO

Base: Producción de las operaciones vigentes más la de los proyectos en construcción una vez que se pongan en marcha

Proyectos: El aporte estimado para los proyectos actualmente en condición probable, posible o hipotética

Tabla 6: Producción Regional de Cátodos SxEw al año 2020
(Miles de toneladas de cobre fino)

| Región | Estado | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
|---------------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| TARAPACA | Base | 237 | 232 | 219 | 212 | 215 | 215 | 194 | 184 | 139 | 99 | 89 | 89 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Sub total | 237 | 232 | 219 | 212 | 215 | 215 | 194 | 184 | 139 | 99 | 89 | 89 |
| ANTOFAGASTA | Base | 1681 | 1722 | 1690 | 1728 | 1560 | 1456 | 1328 | 1143 | 1033 | 897 | 864 | 770 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 5 | 35 | 105 | 275 | 402 | 492 | 488 | 482 | 482 |
| | Sub total | 1681 | 1722 | 1690 | 1733 | 1595 | 1561 | 1603 | 1545 | 1525 | 1385 | 1346 | 1252 |
| ATACAMA | Base | 104 | 118 | 114 | 88 | 103 | 113 | 63 | 63 | 59 | 53 | 51 | 54 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 25 | 81 | 91 | 81 | 81 | 71 | 41 |
| | Sub total | 104 | 118 | 114 | 88 | 108 | 138 | 144 | 154 | 140 | 134 | 122 | 95 |
| COQUIMBO | Base | 19 | 15 | 22 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 | 23 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Sub total | 19 | 15 | 22 | 23 |
| VALPARAÍSO | Base | 14 | 16 | 16 | 16 | 16 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Sub total | 14 | 16 | 16 | 16 | 16 | 10 |
| METROPOLITANA | Base | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 46 | 35 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Sub total | 46 | 35 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| O'HIGGINS | Base | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Sub total | 3 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| PRODUCCIÓN NO ASIGNADA A REGIÓN | Base | 9 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Sub total | 9 | 10 |
| TOTAL NACIONAL | Base | 2113 | 2161 | 2119 | 2125 | 1975 | 1875 | 1677 | 1471 | 1307 | 1125 | 1080 | 989 |
| | Proyectos | 0 | 0 | 0 | 5 | 40 | 130 | 356 | 493 | 573 | 569 | 553 | 523 |
| | TOTAL | 2113 | 2161 | 2119 | 2130 | 2015 | 2005 | 2033 | 1964 | 1880 | 1694 | 1633 | 1512 |

Fuente: Cifras estimadas en COCHILCO

Base: Producción de las operaciones vigentes más la de los proyectos en construcción una vez que se pongan en marcha

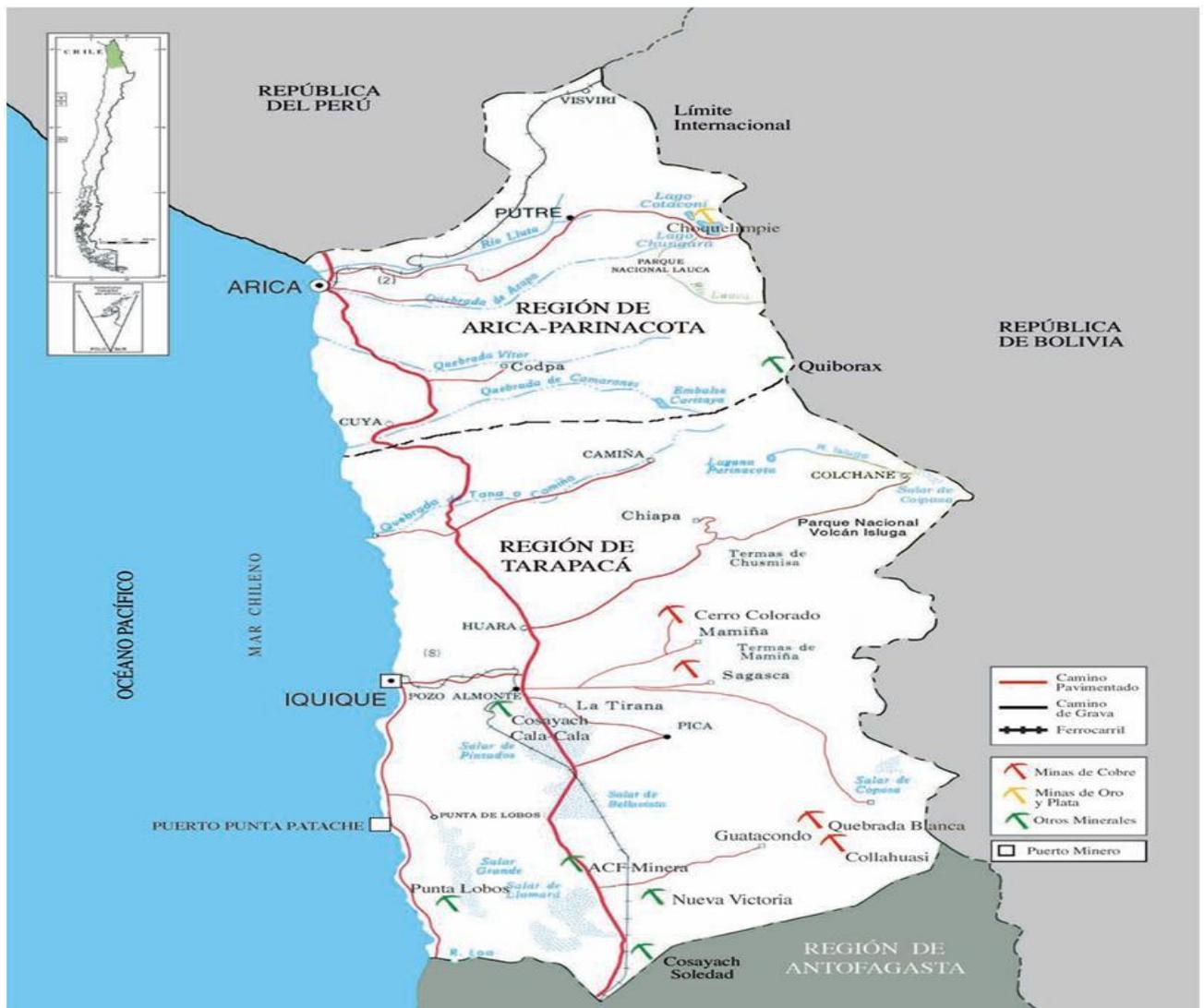
Proyectos: El aporte estimado para los proyectos actualmente en condición probable, posible o hipotética

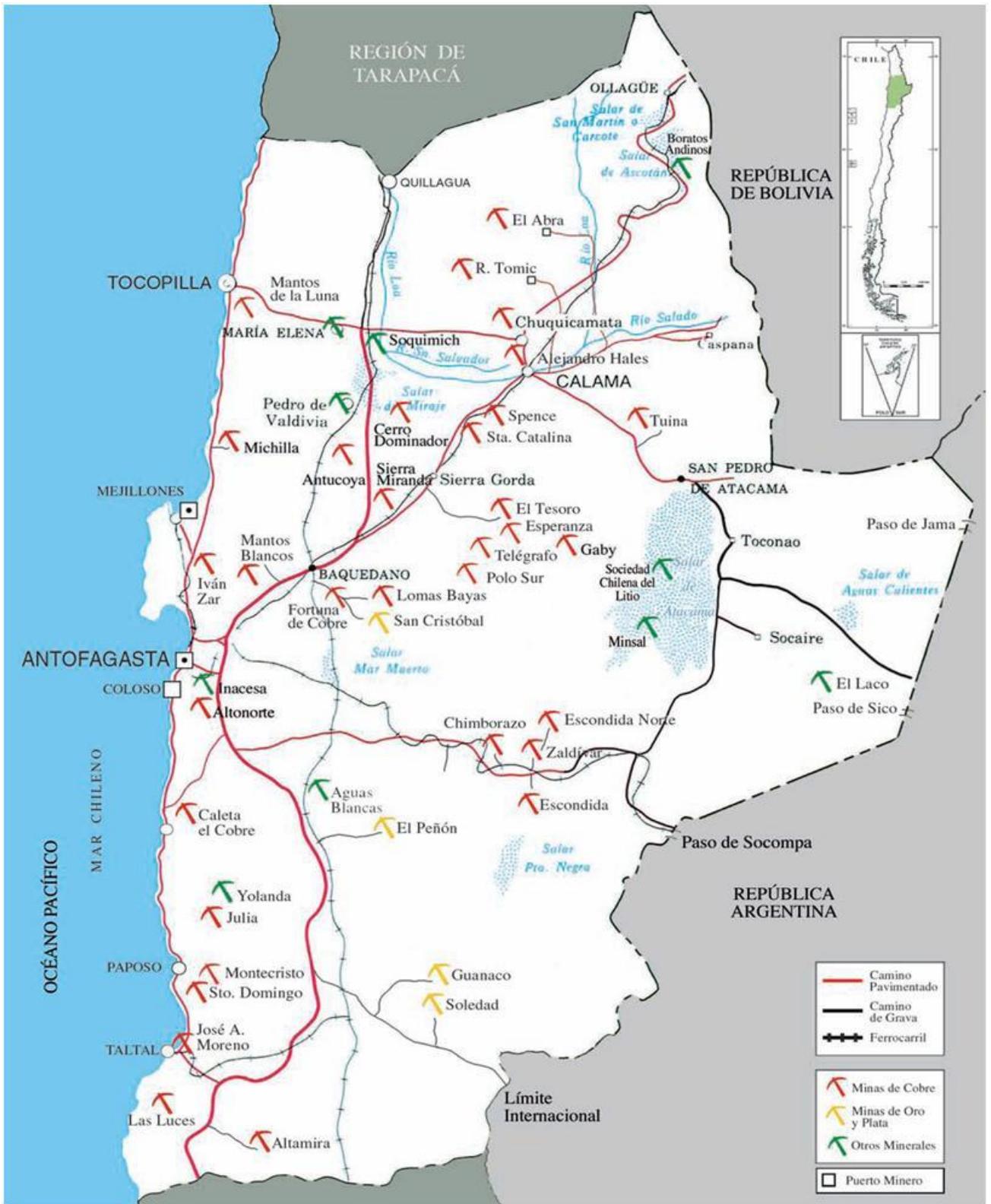
1.6. Principales proyectos mineros a partir del 2014

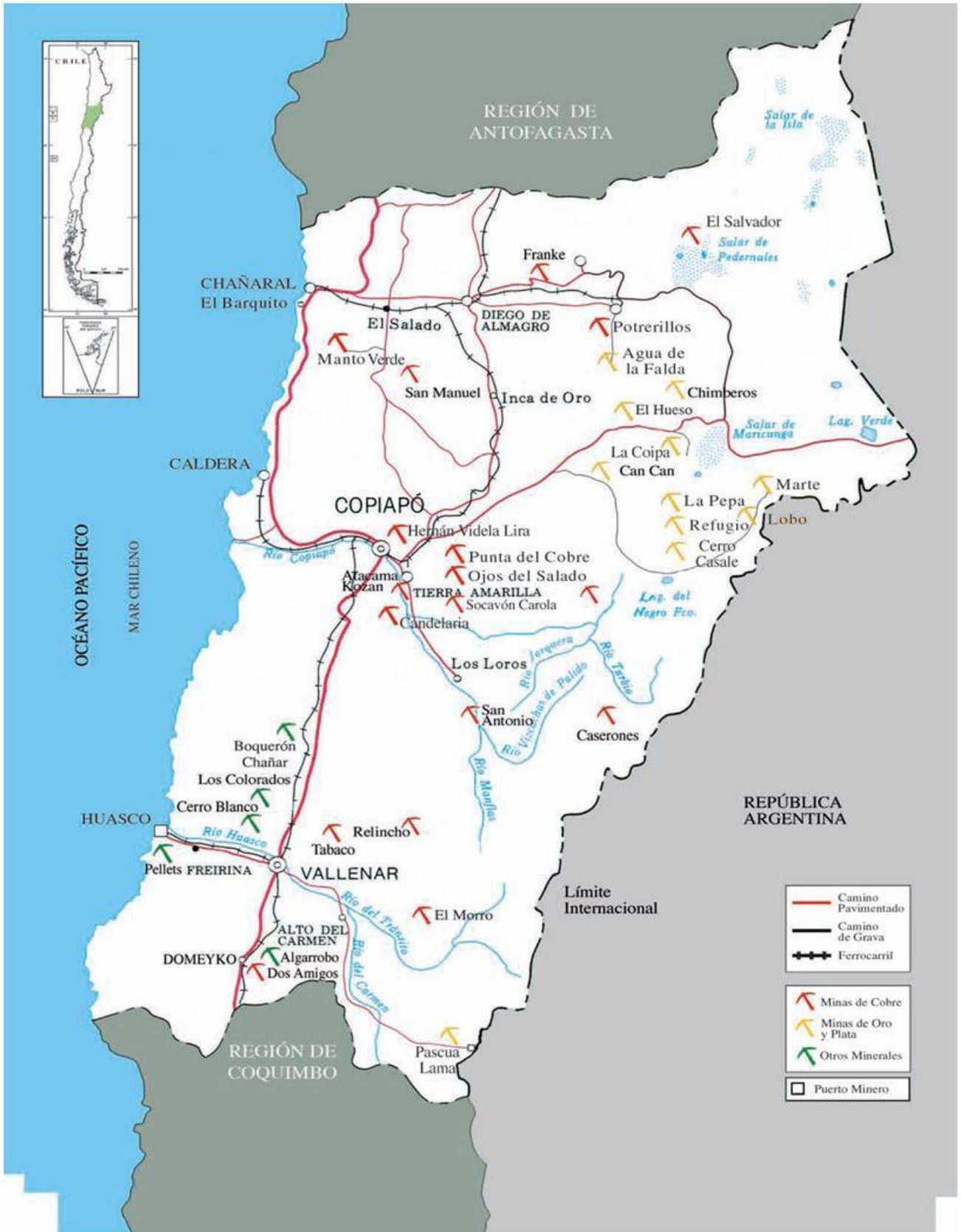
| Año Puesta en Marcha | EMPRESA | PROYECTOS | INVERSIÓN (Millones US\$) | REGIÓN |
|----------------------|-------------------|--------------------------------|---------------------------|--------|
| 2014 | GOLDCORP | El Morro | 2.500 | III |
| | CODELCO Norte | Mina Ministro Hales | 1.700 | II |
| | FAR WEST | Santo Domingo | 600 | III |
| | KINROSS | Lobo - Marte | 575 | III |
| | PANAUST | Inca de Oro | 400 | III |
| | CODELCO Salvador | San Antonio Óxidos | 230 | III |
| 2015 | CODELCO Andina | Expansión a 230 KTPD (Fase II) | 4.800 | V |
| | BARRICK | Cerro Casale | 2.324 | III |
| Después del 2015 | TECK | Quebrada Blanca Hipógeno | 3.000 | I |
| | BHP BILLITON | Escondida Fase V | 2.514 | II |
| | COLLAHUASI | Expansión Fase II | 2.450 | I |
| | CODELCO Norte | Chuquicamata Subterránea | 2.000 | II |
| | QUADRA FNX MINING | Sierra Gorda | 1.600 | II |
| | CODELCO Teniente | Nuevo Nivel Mina | 1.500 | VI |

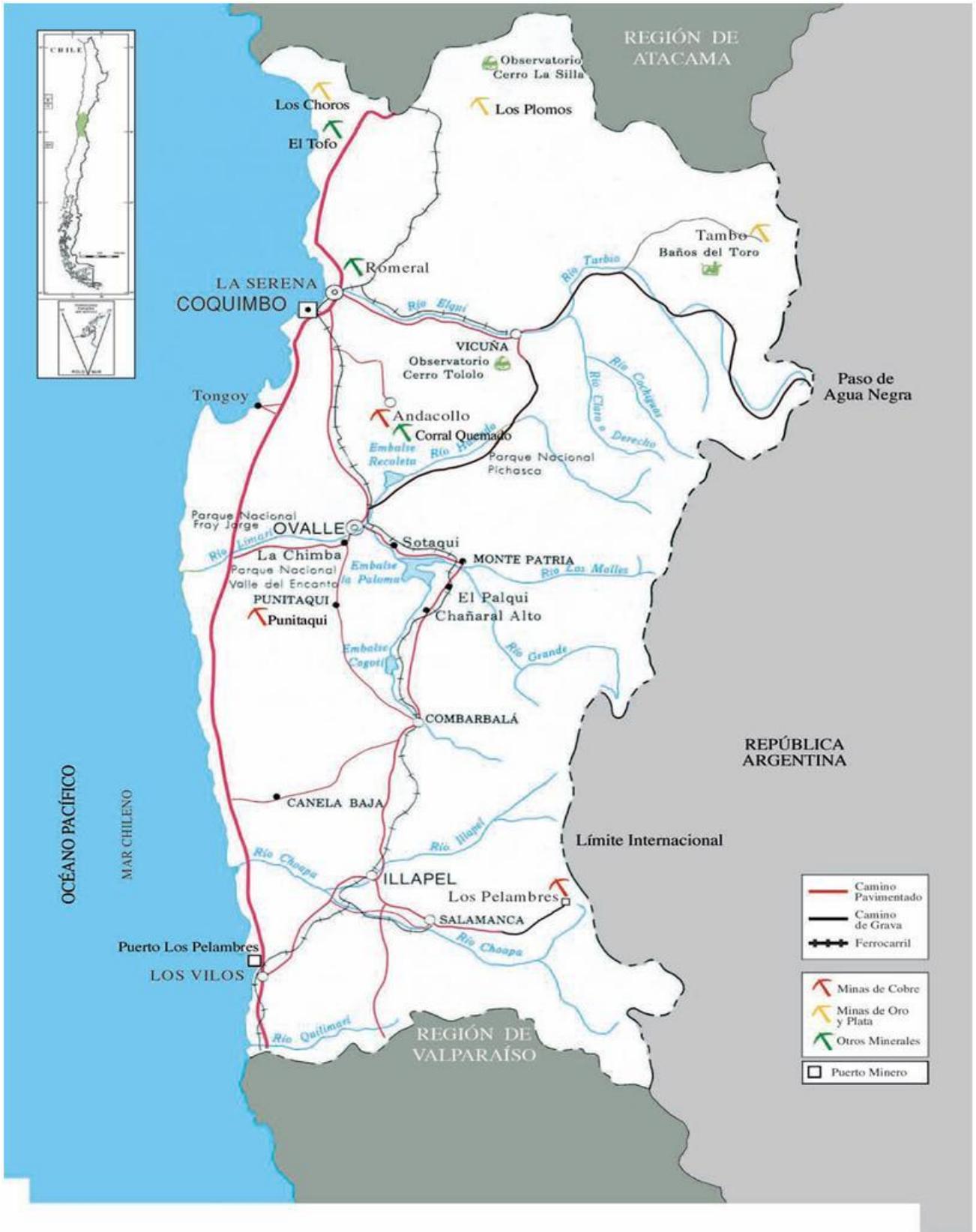
Fuente: COCHILCO

2. Mapa de principales faenas mineras por regiones (I-IV regiones)









3. Requerimientos de agua en procesos mineros

3.1. Consumo de agua en la minería del cobre

En la minería del cobre el agua se utiliza fundamentalmente en los procesos tradicionales de concentración por flotación, en la fusión y electro refinación, o en el proceso hidrometalúrgico, el que consta de lixiviación, extracción por solventes y electro obtención (Lix-SX-EW). Sin embargo, cada proceso u operación unitaria de la minería utiliza en mayor o menor medida el recurso hídrico. A continuación se desglosa el consumo de agua en una operación minera.

Consumo de agua en campamentos:

El agua de consumo humano es para bebida, cocción, lavado, riego y baños. Se trata de volúmenes poco significativos respecto al total consumido en una faena minera.

Consumo en la mina:

El uso principal de agua en la minería a rajo abierto es en el riego de caminos con el objeto de reducir el polvo en suspensión. Muchos factores influyen en el abatimiento del polvo: superficies expuestas, morfología del terreno, precipitaciones anuales, vegetación natural, etc. Cifras disponibles indican que el agua utilizada en riego de caminos puede variar entre cero y el 15% del consumo total de agua de una faena minera⁴².

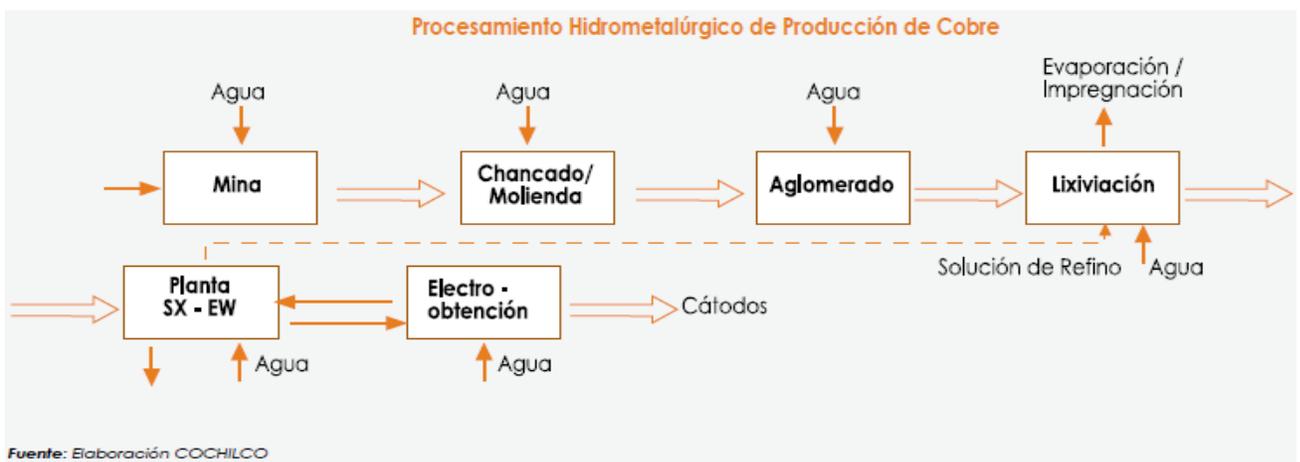
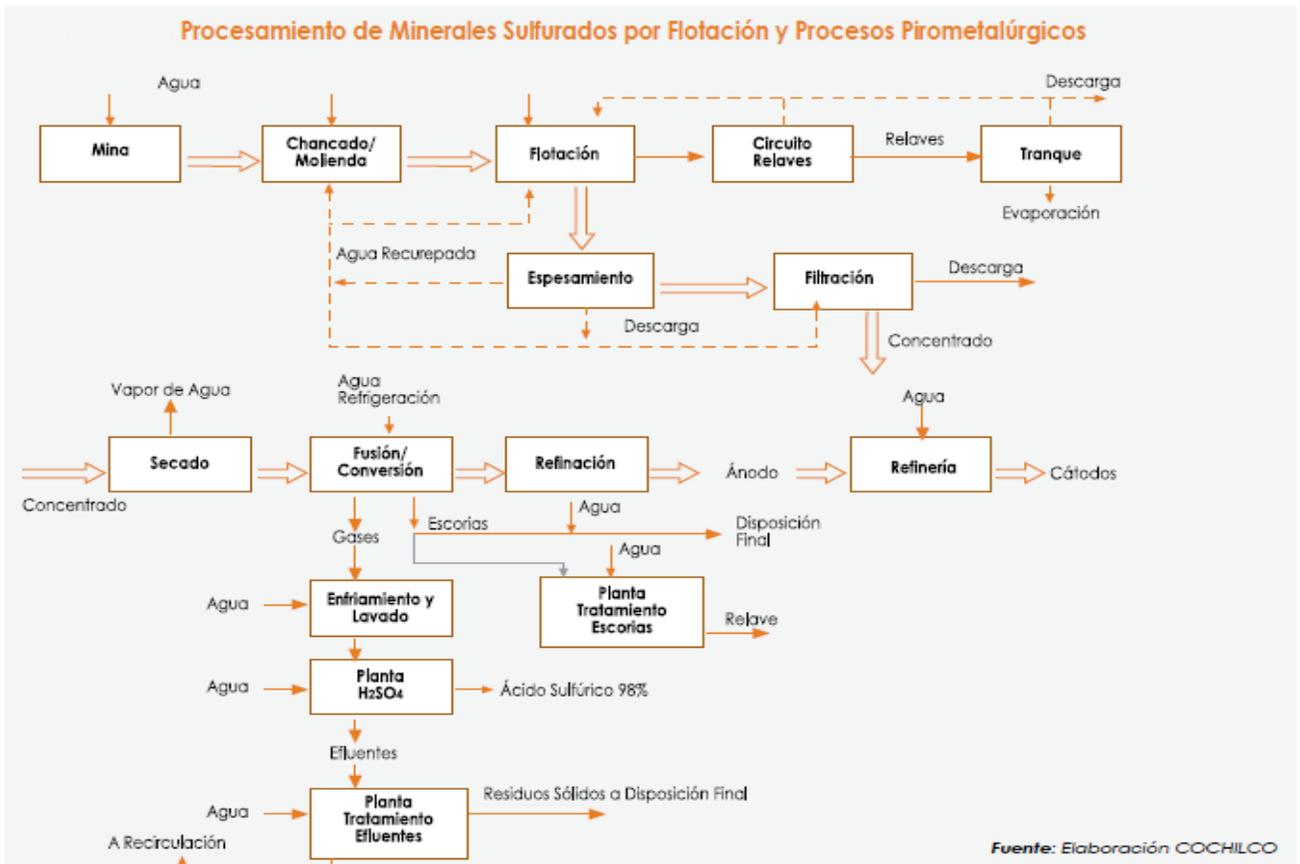
En la minería subterránea, el consumo del agua es reducido y el problema consiste más bien en extraer el agua natural que se apoza en el fondo de los piques, la que puede provenir de lluvias o de afloramientos de las napas subterráneas. El sitio de extracción del mineral puede estar caracterizado por la circulación interna de agua, la que puede ser de origen subterráneo (afloramientos), o de precipitaciones. Este movimiento de agua puede aumentar o disminuir, en la medida que el sitio disponga de mayor o menor capacidad para que el flujo circule. Este flujo requiere ser evacuado de las instalaciones de la mina, puesto que se caracteriza por ser ácido y tener altos niveles de concentración de metales, los que pueden llegar a ser corrosivos, reactivos o abrasivos, dependiendo de los tipos de materiales de las instalaciones. Para ello, generalmente se diseñan y construyen obras de conducción, que permiten finalmente tratar el efluente, descargándolo o infiltrándolo hacia un curso superficial o subterráneo.

Consumo en el procesamiento del mineral:

El cobre se obtiene a partir de dos tipos de minerales: sulfuros y óxidos o minerales lixiviables. Los minerales sulfurados de cobre se someten a un procesamiento pirometalúrgico que incluye procesos como la molienda, concentración, fundición y electro-refinación para obtener un cátodo electro-refinado (cátodo ER). Por otro lado la recuperación de cobre a partir de minerales oxidados se hace a través de la vía hidrometalúrgica que incluye los procesos de lixiviación, extracción por solvente y electro-obtención (SX-EW).

⁴² Documento: "Uso eficiente de aguas en la industria minera y buenas prácticas" 2002.

A continuación se presentan 2 diagramas de flujo de los procesos que se llevan en la pirometalurgia y en la hidrometalurgia donde se puede ver donde interviene el agua en cada uno de los 2 distintos procedimientos.



La industria minera nacional ha mejorado la eficiencia en el consumo de agua. En términos promedios, el consumo de agua fresca en el proceso de concentración se ha reducido desde 1,1 a 0,79 m³/ton mineral tratado y en el procesamiento por la vía hidrometalúrgica también se ha reducido desde 0,30 a 0,13 m³/ton mineral en el período 2000 al 2006. Esta reducción en el consumo de agua por parte del sector minero es reflejo de los esfuerzos realizados por la minería

para reducir el consumo de agua fresca en procesos productivos, a través de mejoras operacionales y de una gestión integral.

En la siguiente tabla se resumen los resultados del consumo unitario de agua fresca para la minería metálica en el año 2000 y en el 2006:

Tabla 1. Consumos Promedio de Agua en la Minería Nacional por Tipo de proceso al que el mineral se somete

| Proceso | Consumo Unitario de Agua Fresca | |
|-----------------|--|--|
| | Año 2000 (1) m ³ /ton mineral | Año 2006 (2) m ³ /ton mineral |
| Concentración | 1,1 (0,4-2,30) | 0,79 (0,3-2,1) |
| Hidrometalurgia | 0,3 (0,15-0,4) | 0,13 (0,08-0,25) |

(1) Fuente: Documento "Uso eficiente de aguas en la industria minera y buenas prácticas" APL 2002

(2) Fuente: Estudio "Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector minero, regiones centro-norte de Chile", DGA-Proust Consultores, marzo 2008.

3.2. Consumo de agua en la minería del oro y la plata

Se asume que se usan algunos de los 2 mismos tipos de métodos que el cobre (flotación, lixiviación) El estudio de la CONAMA sobre la producción de cobre y oro lo asume así lo asume también. La diferencia radica en que los consumos de agua en estos procesos para tanto los minerales sulfurados como los óxidos son mayores que en los procesamiento de cobre, por lo que los consumos de agua unitarios usados tienen un mayor valor que en la minería del Cobre.

4. Estimación de requerimientos hídricos para la minería del cobre

4.1. Fuentes de Información

Para realizar la estimación de consumo de agua se utilizó la siguiente información:

- Estimación que realiza COCHILCO sobre las proyecciones de producción futura de cobre, tanto de concentrados (proceso de concentración), como de cátodos de cobre SX-EW (proceso hidrometalúrgico), sobre la base de los proyectos categorizados según su certeza, distinguiendo casos en construcción (que se adicionan a la producción base), proyectos probables (estudios avanzados) y posibles (antecedentes de la intención, sin compromiso formal);
- Información disponible en COCHILCO respecto de ley de los minerales y tasas de recuperación de cobre al año 2008, tanto para minerales sulfurados como óxidos, los que son procesados mediante concentración e hidrometalurgia respectivamente, para las distintas faenas mineras productoras de cobre en el país;
- Información sobre los coeficientes al año 2006 de consumo unitario de agua tanto en el proceso de concentración como hidrometalurgia, disponibles en el estudio "Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector minero, regiones centro-norte de Chile" realizado por la Dirección General de Aguas y Proust Consultores en marzo 2008. Complementariamente, se utilizaron coeficientes más actualizados obtenidos de fuentes confiables (i.e. Reportes de Sustentabilidad).

4.2. Bases de Cálculo

Las bases que se usaron en la estimación se muestran en la siguiente tabla:

| BASES DE CÁLCULO | UNIDADES | |
|--------------------------|--------------------|--|
| Producción de Cobre | KTMF | Miles de toneladas métricas fino contenido en Concentrados y Cátodos SX-EW |
| Ley del Mineral: | % CuT | Porcentaje de cobre total en el mineral |
| Mineral Procesado | TM | Toneladas métricas de mineral a tratar |
| Recuperación Global | %CuT | Porcentaje de recuperación de cobre del mineral |
| Consumo Unitario de Agua | m ³ /TM | Cantidad de agua (fresca, recirculada o total) utilizada para procesar u obtener una unidad de materia prima o de producto, según corresponda. |
| Consumo de agua | m ³ | |

4.3. Metodología

Las fórmulas que se ocupan en la estimación son las siguientes:

$$a) \text{ Producción de Cobre} = \text{Mineral Procesado} * \text{Ley del Mineral} * \% \text{ Recuperación}$$

$$\text{Mineral Procesado [TM]} = (\text{Producción de cobre [KTMF]} * 1000) / (\text{Ley del Mineral} [\% \text{CuT}] * \% \text{ Recuperación} [\% \text{CuT}])$$

$$b) \text{ Consumo de agua [m}^3] = \text{Mineral procesado [TM]} * \text{Consumo Unitario Agua [m}^3/\text{TM]}$$

$$[1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ litros}]$$

En primer lugar, se utilizó la ley del mineral y la recuperación del año 2008 para cada faena minera y por tipo de mineral a procesar (óxido y sulfuros) en todos aquellos casos en los que se contaba con información. Luego, en base a las proyecciones del 2009 al 2020 de producción de concentrados y cátodos de cobre⁴³, se procedió a estimar la cantidad de mineral (sulfuro u óxido) necesaria de procesar para la obtención de los concentrados y cátodos, para cada faena minera y para cada año desde el 2009 al 2020. Una vez obtenida la cantidad anual de mineral necesaria de tratar para la obtención de los citados productos, se aplicó el coeficiente unitario de consumo de agua correspondiente al respectivo proceso de concentración o hidrometalurgia, obteniéndose así una estimación del consumo de agua fresca para la producción de concentrados y cátodos de cobre.

⁴³ Fuente: Estudio: "Inversión en la Minería Chilena del Cobre y del Oro Proyección del período 2009 - 2013", Vicente Pérez, COCHILCO, actualizado a Mayo 2010.

4.4. Resultados

Los resultados obtenidos para cada región para el consumo de agua para concentrados de cobre, cátodos SX-EW, y en total se muestran a continuación:

Tabla 2. Proyección de Demanda de Agua para la Producción de Concentrados de Cobre en Chile. Período 2009-2020.

| REGIÓN | PROYECCIÓN DEMANDA AGUA PARA LA PRODUCCION DE CONCENTRADOS DE COBRE EN CHILE (millones de m ³) | | | | | | | | | | | |
|---------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| I | 38,6 | 41,6 | 42,5 | 37,5 | 44,7 | 46,3 | 49,4 | 63,9 | 73,4 | 80,3 | 82,6 | 79,5 |
| II | 90,5 | 100,2 | 96,7 | 91,9 | 86,6 | 81,7 | 121,5 | 120,9 | 110,2 | 80,9 | 79,7 | 77,3 |
| III | 37,3 | 33,6 | 29,5 | 8,4 | 17,1 | 43,3 | 60,4 | 83,9 | 84,7 | 83,5 | 81,2 | 82,1 |
| IV | 17,8 | 33,3 | 41,6 | 43,8 | 43,3 | 42,7 | 41,9 | 41,9 | 41,9 | 41,9 | 41,2 | 41,2 |
| V | 27,9 | 30,5 | 35,5 | 37,9 | 37,3 | 34,1 | 55,2 | 83,6 | 86,1 | 99,0 | 109,1 | 103,1 |
| VI | 65,0 | 67,0 | 67,9 | 73,6 | 74,6 | 73,8 | 71,4 | 67,1 | 62,5 | 63,8 | 64,2 | 65,7 |
| Metropolitana | 21,4 | 19,6 | 19,6 | 21,1 | 35,3 | 38,2 | 41,1 | 41,0 | 41,0 | 38,8 | 38,8 | 38,8 |
| Varios | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 |
| Total | 311,8 | 339,1 | 346,6 | 327,5 | 352,2 | 373,4 | 454,2 | 515,6 | 513,1 | 501,5 | 510,1 | 501,0 |

Fuente: Elaboración COCHILCO

Tabla 3. Proyección de Consumo de Agua para la Producción de Cátodos SX-EW en Chile Período 2009-2020

| REGIÓN | PROYECCIÓN DEMANDA AGUA PARA LA PRODUCCION DE SX DE COBRE EN CHILE (millones de m ³) | | | | | | | | | | | |
|---------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| I | 5,5 | 5,8 | 5,8 | 5,5 | 5,5 | 5,7 | 5,7 | 5,5 | 5,0 | 4,3 | 4,3 | 4,2 |
| II | 47,9 | 48,9 | 47,2 | 50,1 | 49,5 | 48,2 | 46,5 | 45,7 | 44,6 | 29,8 | 28,8 | 28,3 |
| III | 4,5 | 5,7 | 5,4 | 3,9 | 5,8 | 5,6 | 5,4 | 5,6 | 4,8 | 4,7 | 4,1 | 2,4 |
| IV | 0,8 | 0,5 | 0,3 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| V | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,7 | 1,7 | 1,7 | 1,4 | 1,5 |
| Metropolitana | 2,9 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,4 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 | 2,2 |
| Varios | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | 0,3 |
| TOTAL | 61,9 | 63,6 | 61,4 | 97,6 | 64,1 | 62,8 | 60,9 | 60,6 | 59,2 | 43,6 | 41,7 | 39,5 |

Fuente: Elaboración COCHILCO

Tabla 4. Proyección por Región del Consumo de Agua para la Producción Total de Cobre en Chile. Período 2009- 2020

| REGIÓN | PROYECCIÓN DEMANDA AGUA PARA LA PRODUCCION TOTAL DE COBRE EN CHILE (millones de m ³) | | | | | | | | | | | |
|---------------|--|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 |
| I | 44,1 | 47,4 | 48,3 | 43,0 | 50,2 | 52,0 | 55,1 | 69,4 | 78,4 | 84,6 | 86,9 | 83,7 |
| II | 138,4 | 149,1 | 143,9 | 142,0 | 136,1 | 129,9 | 168,0 | 166,6 | 154,8 | 110,7 | 108,5 | 105,6 |
| III | 41,8 | 39,3 | 34,9 | 47,4 | 22,9 | 48,9 | 65,8 | 89,5 | 89,5 | 88,2 | 85,3 | 84,5 |
| IV | 18,6 | 33,8 | 41,9 | 44,1 | 43,9 | 43,3 | 42,5 | 42,5 | 42,5 | 42,5 | 41,8 | 41,8 |
| V | 28,2 | 30,8 | 35,8 | 38,2 | 37,6 | 34,4 | 55,5 | 84,3 | 87,8 | 100,7 | 110,5 | 104,6 |
| VI | 65,0 | 67,0 | 67,9 | 73,6 | 74,6 | 73,8 | 71,4 | 67,1 | 62,5 | 63,8 | 64,2 | 65,7 |
| Metropolitana | 24,3 | 22,0 | 22,0 | 23,5 | 37,7 | 40,6 | 43,5 | 43,2 | 43,2 | 41,0 | 41,0 | 41,0 |
| Varios | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,3 | 13,6 | 13,6 | 13,6 | 13,6 | 13,6 |
| TOTAL | 373,7 | 402,7 | 408,0 | 425,1 | 416,3 | 436,2 | 515,1 | 576,2 | 572,3 | 545,1 | 551,8 | 540,5 |

Fuente: Elaboración COCHILCO

4.5. Faenas involucradas en el estudio por tipo de cobre

| REGIÓN | FAENA | OPERADOR | Estado de operación | TIPO | Consumo Unitario (m3/t) |
|--------|--------------------------|-------------------------|---------------------|--------------|-------------------------|
| I | Collahuasi | Doña Inés de Collahuasi | En operación | Concentrados | 0,70 |
| I | A mpliación Fase I | Doña Inés de Collahuasi | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,70 |
| I | A mpliación Fase II | Doña Inés de Collahuasi | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,70 |
| I | A mpliación Fase III | Doña Inés de Collahuasi | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,70 |
| I | Quebrada Blanca Hipógeno | Teck | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,79 |
| II | Mantos Blancos | Anglo American Chile | En operación | Concentrados | 0,63 |
| II | Escondida | BHP Billiton | En operación | Concentrados | 0,71 |
| II | Chuquicamata | Codelco Chile | En operación | Concentrados | 0,74 |
| II | Escondida Fase V | BHP Billiton | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,71 |
| II | Mina A . Hales | Codelco Chile | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,79 |
| II | Sulfuros RT | Codelco Chile | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,74 |
| II | Sierra Gorda | Quadra Mining | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,79 |
| II | El Bronce de A tacama | A tacama Kozan | En operación | Concentrados | 0,79 |
| III | Salvador | Codelco Chile | En operación | Concentrados | 2,07 |
| III | Candelaria | Freeport Mc Moran | En operación | Concentrados | 0,31 |
| III | Ojos del Salado | Freeport Mc Moran | En operación | Concentrados | 1,96 |
| III | Manto Verde | Anglo American Chile | En operación | SX-EW | 0,20 |
| III | Dos Amigos | CEMIN | En operación | SX-EW | 0,13 |
| III | Salvador | Codelco Chile | En operación | SX-EW | 0,25 |
| IV | Los Pelambres | Antofagasta Minerals | En operación | Concentrados | 0,39 |
| IV | A mpliación Pelambres | Antofagasta Minerals | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,39 |
| IV | Talcuna / Tugal | San Gerónimo | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,79 |
| IV | A ndacollo Sulfuros | Teck | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,79 |
| IV | El Soldado | Anglo American Chile | En operación | Concentrados | 0,31 |
| V | Andina | Codelco Chile | En operación | Concentrados | 0,97 |
| V | Expansión Andina I | Codelco Chile | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,97 |
| V | Expansión Andina II | Codelco Chile | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,97 |
| V | Expansión Andina III | Codelco Chile | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,97 |
| VI | El Teniente | Codelco Chile | En operación | Concentrados | 1,41 |
| VI | Pilar Norte | Codelco Chile | Nuevo Proyecto | Concentrados | 1,41 |
| VI | Nuevo Nivel Mina | Codelco Chile | Nuevo Proyecto | Concentrados | 1,41 |
| VI | Los Bronces | Anglo | En operación | Concentrados | 1,01 |

| | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|--------------|------|
| Metropolitana | Ampliación Los Bronces | Anglo American Chile | Nuevo Proyecto | Concentrados | 1,01 |
| Varios | V arias | Pequeños productores | En operación | Concentrados | 0,79 |
| I | Quebrada Blanca | Teck | En operación | SX-EW | 0,13 |
| I | Collahuasi | Doña Inés de Collahuasi | En operación | SX-EW | 0,08 |
| I | Expansión de Collahuasi | Doña Inés de Collahuasi | Nuevo Proyecto | SX-EW | 0,08 |
| I | Sagasca SxEw | Haldeman | En operación | SX-EW | 0,13 |
| I | Cerro Colorado | BHP Billiton | En operación | SX-EW | 0,20 |
| II | Santa Bárbara | Anglo American Chile | En operación | SX-EW | 0,13 |
| II | Zaldivar | Barrick | En operación | SX-EW | 0,13 |
| II | Escondida Pilas | BHP Billiton | En operación | SX-EW | 0,12 |
| II | Escondida Lix.Sulfuros | BHP Billiton | En operación | SX-EW | 0,08 |
| II | Spence | BHP Billiton | En operación | SX-EW | 0,13 |
| II | Codelco Norte Óxidos | Codelco Chile | En operación | SX-EW | 0,17 |
| II | El Tesoro | Antofagasta Minerals | En operación | SX-EW | 0,26 |
| II | Continuidad Tesoro | Antofagasta Minerals | En operación | SX-EW | 0,26 |
| II | Cerro Dominador | Cerro Dominador | En operación | SX-EW | 0,13 |
| II | Planta Sta. Margarita | Cerro Dominador | En operación | SX-EW | 0,13 |
| II | Taltal | ENAMI | En operación | SX-EW | 0,13 |
| II | El Abra | Freeport Mc Moran | En operación | SX-EW | 0,11 |
| II | Manto de la Luna | Manto de la Luna | En operación | SX-EW | 0,13 |
| II | Ivan | Rayrock | En operación | SX-EW | 0,13 |
| II | Lomas Bayas | Xstrata | En operación | SX-EW | 0,13 |
| II | Sierra Miranda | Sierra Miranda | En operación | SX-EW | 0,13 |
| II | Antucoya | Antofagasta Minerals | Nuevo Proyecto | SX-EW | 0,13 |
| II | Continuidad Tesoro | Antofagasta Minerals | Nuevo Proyecto | SX-EW | 0,26 |
| II | Gaby | Codelco Chile | Nuevo Proyecto | SX-EW | 0,13 |
| II | Expansión Gaby | Codelco Chile | Nuevo Proyecto | SX-EW | 0,13 |
| II | El Abra (Lix. Sulfuros) | Freeport Mc Moran | Nuevo Proyecto | SX-EW | 0,11 |
| II | Extensión Lomas Bayas | Xstrata | Nuevo Proyecto | SX-EW | 0,13 |
| II | Franke | Centenario Copper | Nuevo Proyecto | SX-EW | 0,13 |
| II | Franke Ampliación | Centenario Copper | Nuevo Proyecto | SX-EW | 0,13 |

| | | | | | |
|----------------------|--------------------|----------------------|----------------|--------------|------|
| III | Salado y Vallenar | ENAMI | En operación | SX-EW | 0,13 |
| III | Punta del Cobre | Punta del Cobre | En operación | SX-EW | 0,13 |
| III | Cerro Casale | Barrick | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,79 |
| III | Diego de Almagro | Cerro Dominador | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,79 |
| III | Caserones | Pan Pacific Copper | Nuevo Proyecto | Concentrados | 0,79 |
| III | Diego de Almagro | Cerro Dominador | Nuevo Proyecto | SX-EW | 0,13 |
| III | San Antonio Óxidos | Codelco Chile | Nuevo Proyecto | SX-EW | 0,13 |
| III | Caserones | Pan Pacific Copper | Nuevo Proyecto | SX-EW | 0,13 |
| IV | Andacollo | Teck | En operación | SX-EW | 0,13 |
| IV | Planta Delta | ENAMI | Nuevo Proyecto | SX-EW | 0,13 |
| IV | Tres Valles | Vale | Nuevo Proyecto | SX-EW | 0,13 |
| V | El Soldado | Anglo American Chile | En operación | SX-EW | 0,19 |
| V | Planta Catemu | CEMIN | En operación | SX-EW | 0,13 |
| Metropolitana | Los Bronces | Anglo American Chile | En operación | SX-EW | 0,08 |
| Varios | Varias | Pequeños productores | En operación | SX-EW | 0,13 |

4.6. Consideraciones de la estimación

Las proyecciones presentadas en este informe no toman en cuenta posibles eficiencias en el uso del recurso hídrico (por ejemplo mayor incremento en uso de agua recirculada) que puedan ocurrir a futuro, así como no toma en cuenta el posible desarrollo y/o uso de nuevas fuentes de agua además de la desalinización para cubrir las futuras demandas de consumo de este recurso.

Así, cabe hacer presente que las proyecciones de demanda de agua de la minería del cobre estimadas en este trabajo corresponden a una estimación estática de la situación futura, basada en la situación de consumo de agua actual en la minería del cobre.

Es importante destacar el hecho que la gran minería del cobre en los últimos 5 años ha tenido un gran avance en aumentar la eficiencia en el uso del recurso hídrico, en efecto para el proceso de concentración la eficiencia en el consumo de agua ha aumentado en un 28% pese al incremento de la producción de concentrados de cobre para el mismo período y en el caso de la hidrometalurgia el aumento en la eficiencia en el consumo de agua ha sido de un 49% comparando los mismos períodos⁴⁴.

No obstante que esta situación de evidente eficiencia en el consumo de agua en los procesos de concentración e hidrometalurgia por parte de la gran minería del cobre pueda seguir incrementándose, cabe señalar que hay diversas faenas que ya han alcanzado máximos de eficiencia en estos procesos y que difícilmente puedan alcanzar mayores eficiencias. Dentro de los casos exitosos de gestión eficiente del recurso hídrico de faenas mineras es posible mencionar

⁴⁴ Fuente: Estudio "Derechos, extracciones y tasas unitarias de consumo de agua del sector minero, regiones centro-norte de Chile", DGA-Proust Consultores, marzo 2008.

por ejemplo a Minera Candelaria, que cuenta con un sistema eficiente de manejo del recurso hídrico que le permite obtener un reciclaje de agua de alrededor de un 87% del consumo total y tener un consumo unitario de $0,31 \text{ m}^3/\text{s}$ ⁴⁵.

Por otro lado, considerando que la tendencia en las leyes de los minerales tratados y en las recuperaciones del proceso es decreciente en los últimos 10 años, lo que implica que para producir 1 tonelada de cobre fino hoy se requiere extraer y procesar una mayor cantidad de mineral que hace una década, y dado que para este estudio de proyecciones de consumo de agua al año 2020 se tomó la ley del mineral y recuperación constatada para 2008 como constante para los años siguientes, se debe señalar que las estimaciones aquí expuestas son más bien conservadoras a la hora de determinar el mineral necesario a tratar para llegar a las producciones proyectadas lo que está en directa relación con la estimación del consumo de agua correspondiente.

Se consideró información con la que cuenta COCHILCO (para efectos de otros estudios) sobre la ley del mineral y Recuperación en el año 2008 para cada faena minera y por tipo de mineral a procesar (óxido y sulfuros) a excepción de las siguientes faenas:

•SZaldívar, Minera A. Hales, Cerro Casale, Diego de Almagro, Caserones, Talcuna/Tugal, Andacollo Sulfuros, Pilar Norte y la producción de Varios;

En estos casos se revisó información bibliográfica (SEIA, memorias anuales, informes de prensa etc.) acerca de la Ley de mineral de la faena, en la mayoría de los casos se encontró Ley para el 2006 y en cuanto a la recuperación, se utilizó la Recuperación promedio para los sulfuros en Chile que corresponde a un 85,92% CuT.

•SSagasca SX-EW, Manto de la Luna, Iván, Antucoya, Sierra Miranda, Manto Verde, Dos Amigos, Franke, Diego de Almagro, San Antonio óxidos, Tres Valles, Planta Catemu y Varios;

En estos casos se revisó información bibliográfica (SEIA, memorias anuales, informes de prensa etc.) acerca de la Ley de mineral de la faena, en la mayoría de los casos se encontró Ley para el 2008 y en cuanto a la recuperación, se utilizó la Recuperación promedio para los óxidos en Chile que corresponde a un 71,75% CuT.

En el caso de Andina de CODELCO Chile, COCHILCO contaba con la información de la proyección de ley y recuperación de cobre para el período 2009-2015, por lo tanto basado en las estimaciones de producción de Andina contenidas en el informe de inversiones que realiza COCHILCO se procedió a estimar la cantidad de mineral a tratar por año en el período 2009-2015.

5. Proveedores de tecnología solar térmica

- SolarReserve INC, <http://www.solar-reserve.com/index.html>
- Torresol Energy Investments S.A, <http://www.torresolenergy.com/es/index.html>
- BrightSource Energy Inc, <http://www.brightsourceenergy.com/>
- eSolar Inc, <http://www.esolar.com/>
- Abengoa Chile S.A, <http://www.abengoa-chile.cl/>
- Acquasol Infrastructure Limited, <http://www.acquasol.com.au/content/projects.html>

⁴⁵ Fuente: Minera Candelaria.

6. Proveedores de tecnología de desalinización

- Acciona Agua www.acciona.es
- Aqualia Infraestructure www.fcc.es
- Degremont www.degremont.com (en chile)
- Doosan www.doosan.com
- Cadagua www.cadagua.es (en chile)
- Ide Technologies www.atidesal.com
- Siemens www.siemens.com
- Veolia Water www.veoliawater.com
- Acquasol Infrastructure Limited, <http://www.acquasol.com.au/content/projects.html>

7. Términos sobre las características del agua

- **Turbidez:** Se entiende por turbidez a la falta de transparencia de un líquido, debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el líquido, generalmente se hace referencia al agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez. La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua, cuanto más turbia, menor será su calidad. Según la OMS (Organización Mundial para la Salud), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU.
- **NTU:** Unidades Nefelométricas de turbidez, o Nefelometric Turbidity Unit (NTU). Es una medida para calcular la turbidez de un líquido como el agua, la cual se mide con nefelómetro o turbidímetro que permite medir la intensidad de la luz dispersada a 90 grados cuando un rayo de luz pasa a través de una muestra de agua. Según la OMS (Organización Mundial para la Salud), la turbidez del agua para consumo humano no debe superar en ningún caso las 5 NTU, y estará idealmente por debajo de 1 NTU.
- **SDI:** El índice de densidad de sedimentos (Silt Density Index = SDI) o índice de "ensuciamiento" es un procedimiento sencillo desarrollado para estimar el grado de bloqueo o "ensuciamiento" de las membranas debido a la contaminación en forma de partículas coloidales, que comúnmente incluyen bacteria, arcillas, fierro. Químicos utilizados en la clarificación/filtración tales como Sulfato de Aluminio, Cloruro Férrico, Polielectrolitos Catiónicos pueden causar bloqueo coloidal. Este método es ampliamente aceptado en la Industria de la desalación, dado que principalmente mide la concentración coloidal. El valor del SDI representa la tendencia del agua de alimentación a ensuciar las membranas de los equipos de purificación, así como de las membranas de osmosis inversa, deberá ser mantenida a un nivel aceptable para asegurar una operación económica y eficiente. Un SDI igual a tres es recomendable para una planta de gran capacidad. Por último hay que recalcar que un alto nivel de partículas puede tener un efecto indeseable en las membranas de osmosis inversa y generar problemas, tales como:
 - a) Rápida disminución en el flujo del producto, debido a que la superficie de las membranas se ensucia y bloquea.

- b) Un incremento en la presión de alimentación y una disminución en el flujo de rechazo, debido a que los canales de rechazo se restringirán, reduciendo la acción de barrido a través de las membranas.
- c) Una pérdida en la retención de sales (por lo tanto disminución en la calidad del producto) ya que la superficie de las membranas cambia de acuerdo al grado de "ensuciamiento"

8. Formación de una sociedad

8.1. Creación de la personalidad jurídica

La personalidad jurídica para la empresa desaladora será una sociedad anónima. Para crear la personalidad se deben seguir los siguientes pasos:

- Confección y legalización de la escritura pública ante notario, que es la escritura social en la que se consigna el capital, objetivo, duración de la sociedad y la individualización de los socios que la conforman. La redacción de la escritura se encarga a abogados.
- Inscripción de un extracto de la escritura en el Registro de Comercio en el Conservador de Bienes Raíces y de Comercio.
- Publicación del extracto en el Diario Oficial, pasados los 60 días contados de la fecha de constitución de la sociedad.
- La escritura pública, el registro en el Conservador y la publicación en el diario oficial se deben presentar al Servicio de Impuestos Internos (SII) para el inicio de actividades.

8.2. Inicio de actividades ante el SII

Esta es la formalización ante el SII de la intención de emprender cualquier tipo de actividad ya sea negocios de capital, actividades profesionales o lucrativas, susceptibles de generar impuestos. El único costo asociado es el de timbraje de facturas que asciende aproximadamente a 26.000 pesos. Además el SII realiza una inspección en las instalaciones del contribuyente para verificar que la actividad que realiza es la acreditada.

8.3. Obtención de permisos para operar

Se necesitan varios permisos para comenzar con las operaciones de la empresa. El primero es el certificado de informaciones previas que indica, entre otras cosas, las normas urbanísticas para el uso de suelo y la declaración de utilidad pública que afecta al predio donde se desea instalar la empresa, esto es, la compatibilidad del domicilio con el uso comercial que se le necesita dar. Se realiza en la Dirección de Obras Municipales (DOM) correspondiente al domicilio de la Empresa. El trámite puede tener una duración de entre 7 a 15 días hábiles dependiendo del Municipio y bajo esta última condición, su valor fluctuará entre los \$ 3.000 a \$ 5.000.

El segundo es el certificado de calificación técnica que tiene como objeto calificar los aspectos técnicos de la actividad a desarrollar por la Empresa e indicará los posibles riesgos que su funcionamiento pudiese generar a sus trabajadores, entorno, etc. Se realiza en el seremi de

salud y el certificado bordea los \$ 45.000 y podría demorar un par de semanas, dependiendo de la complejidad de las instalaciones, de la correcta entrega de los documentos y de la disponibilidad de los funcionarios revisores, luego de lo cual se hará entrega de la calificación.

Otro certificado es el municipal de zonificación que es entregado por la Dirección de Obras de la Ilustre Municipalidad respectiva, que es requisito para la obtención de Patente Comercial, y especifica los antecedentes de zonificación de un predio, es decir, uso de suelo y exigencias para las construcciones en una determinada zona. El tiempo que demora la entrega del Certificado dependerá de cada Municipio, condición que aplicará también a su costo el cual fluctúa entre \$ 1.000 y \$ 3.000.

Otro permiso es la autorización sanitaria de la comuna que indica que el inmueble usado cumple con las condiciones necesarias para realizar la actividad comercial que se requiera. La tramitación tiene una duración aproximada de 15 días hábiles y un arancel cobrado de acuerdo al rubro, más un 0,5% del capital inicial declarado.

El que sigue es el certificado de calificación de actividad industrial otorgado por el seremi de salud de la comuna correspondiente para que la Municipalidad pueda otorgar la patente definitiva para la instalación, ampliación o traslado de las instalaciones industriales. El tiempo que requiere el trámite es de alrededor de 40 días y su costo asciende a \$ 52.000 aproximadamente, más el 0,5% del capital inicial declarado. Luego sigue recibir la recepción definitiva de obra, entregada por la dirección de obras municipales para habitar o usar la construcción para una actividad.

Por último tenemos la patente comercial que se obtiene luego de obtener los demás certificados y la autorización del sistema de impacto ambiental.

10.4. Registro de marca ante el departamento de propiedad industrial

La obtención de un derecho de propiedad intelectual requiere el cumplimiento de una serie de formalidades, las que constituyen un procedimiento con distintas etapas, donde el Departamento de Propiedad industrial evalúa el cumplimiento de los requisitos de fondo y forma establecidos en la ley N° 19.039 y sus modificaciones, junto con su reglamento, para el registro de estos derechos.

La tramitación comienza con la presentación de una solicitud al Departamento de Propiedad Industrial, la cual se examina formalmente y una vez que ha sido aceptada se publica en el diario oficial. Si no se generan oposiciones se obtiene una resolución definitiva y se convierte en una marca registrada. Los costos asociados ascienden a \$25.000 más 3 UTM.

8.4. Registro de marca como dominio.cl

Si se quiere crear una página web de la empresa con el nombre o marca como dominio.cl hay que inscribirse en NIC Chile, entidad dependiente de la Universidad de Chile que administra el registro de portales web que operan bajo dominio.cl.

Este trámite puede realizarse en línea ingresando directamente en www.nic.cl y realizar la consulta en la sección indicada para ese efecto. Para revisar la disponibilidad de sitios no es requisito inscribirse como usuario y no tiene costo. Luego de la revisión se debe inscribir el sitio directamente en la página web del NIC y tiene un costo de \$20.000 aproximadamente. El valor de la renovación depende de cuantos años contemple ésta, pudiendo fluctuar entre los \$20.000 y \$84.000, cubriendo entre 2 y 10 respectivamente.

9. Abreviaciones comunes utilizadas en la minería

| | |
|--|---|
| Distancia, superficie y volumen | |
| ha | Hectárea |
| km | Kilómetro |
| km ² | Kilómetro cuadrado |
| m | Metro |
| m ² | Metro cuadrado |
| m ³ | Metro cúbico |
| Elementos químicos y minerales | |
| Ag | Plata |
| Au | Oro |
| Cu | Cobre |
| Cu cat | Cobre en cátodos |
| Cu conc | Cobre en concentrado |
| Fe | Hierro |
| KCl | Cloruro de potasio |
| LiCl | Cloruro de litio |
| Mo | Molibdeno |
| P ₂ O ₅ | Pentóxido de fósforo |
| Pb | Plomo |
| TiO ₂ | Óxido de titanio (rutilo) |
| Zn | Zinc |
| Unidades de peso | |
| kg | Kilogramo |
| lb | Libra |
| Mlb | Millones de libras |
| Mt | Millones toneladas métricas |
| oz | Onza |
| t | Tonelada métrica |
| tc | Tonelada corta |
| Moneda y costos de producción | |
| \$ | Pesos chilenos |
| US\$ | Dólares Estados Unidos |
| US\$/lb | Dólares EE.UU. por libra |
| CUS\$/lb | Centavos de dólares EE.UU. por libra |
| Producción | |
| gpt | Gramos por tonelada métrica |
| tpd | Toneladas métricas por día |
| tpm | Toneladas métricas por mes |
| tpa | Toneladas métricas por año |
| Mtpa | Millones de toneladas por año |
| kcal/kg | Kilocalorías por kilogramo |
| Procesos mineros | |
| RA | Rajo abierto |
| Subt | Mina subterránea |
| Mol | Molienda |
| Flot | Flotación |
| Fu | Fundición |
| Lix | Lixiviación |
| Lix pila | Lixiviación en pilas |
| SX | Extracción por solvente |
| EW | Electro-obtención |
| Lix-SX-EW | Proceso de lixiviación, extracción por solvente y electro-obtención |
| Abreviaciones geográficas | |
| msnm | Metros sobre nivel del mar |

10. Fotos de estructuras relevantes del proyecto

10.1. Fotos de torre de toma marina

A continuación se muestran fotos de una torre de toma, la primera en tierra y la segunda sumergiéndose:



10.2. Fotos de plantas desaladoras

Esta primera foto es donde ocurre el pretratamiento del agua de mar (se dosifican los químicos como el coagulante y el hipoclorito sódico).



Esta segunda foto muestra donde se realiza la filtración del agua marina para la eliminación de los sólidos en suspensión.



En esta tercera foto se muestran los filtros de cartucho



En esta cuarta fotos se pueden observar las membranas en donde se produce la ósmosis inversa



10.3. Fotos de un sistema de impulsión

La primera foto muestra una tubería de acero para la impulsión de agua, y la segunda muestra una estación de bombeo del agua.



10.4. Foto de planta solar de cilindros parabólicos



10.5. Fotos de plantas solares de torre de concentración

En primer lugar se puede observar una foto de una planta piloto de 15 MW, y en la segunda foto se puede ver una planta de más de 100 MW de potencia.





11. Simbología plano de macrozonas tercera región

| SIMBOLOGÍA | |
|---|---|
| MACROZONAS | |
|  | ZU ZONAS URBANAS |
|  | ZRE ZONA RESERVA PARA EL ESTADO |
|  | ZPA ZONAS OFICIALES DE PROTECCION AMBIENTAL |
|  | ZR-ET ZONAS DE RELEVANCIA ECOLOGICA TERRESTRE |
|  | ZR-P ZONA DE RELEVANCIA PALEONTOLOGICA |
|  | ZR-EM ZONAS DE RELEVANCIA ECOLOGICA MARINA |
|  | ZR-TM ZONAS DE RELEVANCIA TURISTICA MARINA |
|  | ZB ZONA DE AMORTIGUACION AL PARQUE NACIONAL PAN DE AZUCAR |
|  | ZP-PT ZONA PREFERENTEMENTE PORTUARIA TERRESTRE |
|  | ZP-P ZONA PREFERENTEMENTE PORTUARIA |
|  | ZCP ZONA CALETAS PESCADORES (10 há) |
|  | AREAS DE MANEJO Y EXTRACCION DE RECURSOS BENTONICOS AMERB |
|  | ZP-CHAH CALETAS HISTÓRICAS DE ASENTAMIENTOS HUMANOS Y DE APOYO A LA PESCA ARTESANAL |
|  | ZTFM ZONAS TERRESTRES DE FUNCIONES MULTIPLES |
|  | ZMFM ZONAS MARINAS DE FUNCIONES MULTIPLES |
|  | HC HUMEDALES COSTEROS |
|  | ZUV-CE ZONA DE USO VARIABLE CONDICIONADA A ESTUDIO |
|  | ZP CRC ZONA DE PROTECCION Y CONSERVACION DE RELIEVES Y CUENCAS COSTERAS |
|  | AAA AREAS APROPIADAS PARA EL EJERCICIO DE LA ACUICULTURA (1 MILLA) |
|  | ZRPA 5 Millas ZONA DE RESERVA PARA PESCA ARTESANAL (5 MILLAS) |
|  | ZCA ZONA DE CONCESIONES ACUICOLAS |
|  | PROPUESTA DESAFECCION AAA |
|  | Zona Propuesta Ampliación Sector Perañillo |

12. Tablas de depreciación

12.1. Tabla depreciación planta OI

En esta tabla se puede ver que al valor en libros se le multiplica por la tasa de doble cuota para obtener los “gastos por depreciación anual” (los cuales se anotan en el flujo de caja) los cuales se restan al valor en libros de un año para obtener dicho valor en el próximo año (a este se le agrega cualquier nueva inversión), lo cual se repite para todos los años hasta tener un valor de desecho al final de la tabla siguiente:

| Año | Tasa | * | Valor en Libros (importe a depreciar) | = | Gastos por depreciación anual | Depreciación acumulada |
|-----|------|---|---------------------------------------|---|-------------------------------|------------------------|
| 1 | 8% | * | 492,800 -39,424 | = | 39,424 | 39,424 |
| 2 | 8% | * | 453,376 -36,27008 | = | 36,270 | 75,694 |
| 3 | 8% | * | 417,106 -33,368 | = | 33,368 | 109,063 |
| 4 | 8% | * | 383,737 -30,699 | = | 30,699 | 139,762 |
| 5 | 8% | * | 353,038 -28,243 | = | 28,243 | 168,005 |
| 6 | 8% | * | 324,795 -25,984 | = | 25,984 | 193,988 |
| 7 | 8% | * | 298,812 -23,905 | = | 23,905 | 217,893 |
| 8 | 8% | * | 274,907 -21,993 | = | 21,993 | 239,886 |
| 9 | 8% | * | 252,914 -20,233 | = | 20,233 | 260,119 |
| 10 | 8% | * | 232,681 -18,614 | = | 18,614 | 278,733 |
| 11 | 8% | * | 214,067 -17,125 | = | 17,125 | 295,859 |
| 12 | 8% | * | 196,941 -15,755 | = | 15,755 | 311,614 |
| 13 | 8% | * | 181,186 -14,495 | = | 14,495 | 326,109 |
| 14 | 8% | * | 166,691 -13,335 | = | 13,335 | 339,444 |
| 15 | 8% | * | 153,356 -12,268 | = | 12,268 | 351,713 |
| 16 | 8% | * | 141,087 -11,287 | = | 11,287 | 363,000 |
| 17 | 8% | * | 129,800 -10,384 | = | 10,384 | 373,384 |
| 18 | 8% | * | 119,416 -9,553 | = | 9,553 | 382,937 |
| 19 | 8% | * | 109,863 -8,789 | = | 8,789 | 391,726 |
| 20 | 8% | * | 101,074 -8,086 | = | 8,086 | 399,812 |
| | | | Valor de Desecho= 92,988 | | | |

Fuente: Elaboración propia

12.2. Tabla depreciación planta solar

| Año | Tasa | * | Valor en Libros (importe a depreciar) | = | Gastos por depreciación anual | Depreciación acumulada |
|-----|------|---|---------------------------------------|---|-------------------------------|------------------------|
| 1 | 8% | * | 527,852 -42,228 | = | 42,228 | 42,228 |
| 2 | 8% | * | 485,624 -38,850 | = | 38,850 | 81,078 |
| 3 | 8% | * | 527,597 -42,208 | = | 42,208 | 123,286 |
| 4 | 8% | * | 524,287 -41,943 | = | 41,943 | 165,229 |
| 5 | 8% | * | 482,344 -38,588 | = | 38,588 | 203,816 |
| 6 | 8% | * | 443,756 -35,501 | = | 35,501 | 239,317 |
| 7 | 8% | * | 437,042 -34,963 | = | 34,963 | 274,280 |
| 8 | 8% | * | 402,079 -32,166 | = | 32,166 | 306,446 |
| 9 | 8% | * | 369,912 -29,593 | = | 29,593 | 336,039 |
| 10 | 8% | * | 340,319 -27,226 | = | 27,226 | 363,265 |
| 11 | 8% | * | 313,094 -25,048 | = | 25,048 | 388,313 |
| 12 | 8% | * | 288,046 -23,044 | = | 23,044 | 411,356 |
| 13 | 8% | * | 265,003 -21,200 | = | 21,200 | 432,556 |
| 14 | 8% | * | 243,802 -19,504 | = | 19,504 | 452,061 |
| 15 | 8% | * | 224,298 -17,944 | = | 17,944 | 470,004 |
| 16 | 8% | * | 206,354 -16,508 | = | 16,508 | 486,513 |
| 17 | 8% | * | 189,846 -15,188 | = | 15,188 | 501,701 |
| 18 | 8% | * | 174,658 -13,973 | = | 13,973 | 515,673 |
| 19 | 8% | * | 160,686 -12,855 | = | 12,855 | 528,528 |
| 20 | 8% | * | 147,831 -11,826 | = | 11,826 | 540,355 |
| | | | Valor de Desecho= 136,004 | | | |

Fuente: Elaboración propia

12.3. Tablas depreciación sistema de impulsión

| Año | Tasa | * | Valor en Libros (importe a depreciar) | = | Gastos por depreciación anual | Depreciación acumulada |
|-----|------|---|---------------------------------------|---|-------------------------------|------------------------|
| 1 | 10% | * | 73,479 -7,348 | = | 7,348 | 7,348 |
| 2 | 10% | * | 66,131 -6,613 | = | 6,613 | 13,961 |
| 3 | 10% | * | 59,518 -5,952 | = | 5,952 | 19,913 |
| 4 | 10% | * | 53,566 -5,357 | = | 5,357 | 25,269 |
| 5 | 10% | * | 48,209 -4,821 | = | 4,821 | 30,090 |
| 6 | 10% | * | 43,388 -4,339 | = | 4,339 | 34,429 |
| 7 | 10% | * | 39,050 -3,905 | = | 3,905 | 38,334 |
| 8 | 10% | * | 35,145 -3,514 | = | 3,514 | 41,849 |
| 9 | 10% | * | 31,630 -3,163 | = | 3,163 | 45,012 |
| 10 | 10% | * | 28,467 -2,847 | = | 2,847 | 47,858 |
| 11 | 10% | * | 25,620 -2,562 | = | 2,562 | 50,420 |
| 12 | 10% | * | 23,058 -2,306 | = | 2,306 | 52,726 |
| 13 | 10% | * | 20,753 -2,075 | = | 2,075 | 54,801 |
| 14 | 10% | * | 18,677 -1,868 | = | 1,868 | 56,669 |
| 15 | 10% | * | 16,810 -1,681 | = | 1,681 | 58,350 |
| 16 | 10% | * | 15,129 -1,513 | = | 1,513 | 59,863 |
| 17 | 10% | * | 13,616 -1,362 | = | 1,362 | 61,225 |
| 18 | 10% | * | 12,254 -1,225 | = | 1,225 | 62,450 |
| 19 | 10% | * | 11,029 -1,103 | = | 1,103 | 63,553 |
| 20 | 10% | * | 9,926 -0,993 | = | 0,993 | 64,545 |
| | | | Valor de Desecho= 8,933 | | | |

| Año | Tasa | * | Valor en Libros (importe a depreciar) | = | Gastos por depreciación anual | Depreciación acumulada |
|-----|------|---|---------------------------------------|---|-------------------------------|------------------------|
| 7 | 10% | * | 0,638 -0,064 | = | 0,064 | 0,064 |
| 8 | 10% | * | 0,575 -0,057 | = | 0,057 | 0,121 |
| 9 | 10% | * | 0,517 -0,052 | = | 0,052 | 0,173 |
| 10 | 10% | * | 0,465 -0,047 | = | 0,047 | 0,220 |
| 11 | 10% | * | 0,419 -0,042 | = | 0,042 | 0,261 |
| 12 | 10% | * | 0,377 -0,038 | = | 0,038 | 0,299 |
| 13 | 10% | * | 0,339 -0,034 | = | 0,034 | 0,333 |
| 14 | 10% | * | 0,305 -0,031 | = | 0,031 | 0,364 |
| 15 | 10% | * | 0,275 -0,027 | = | 0,027 | 0,391 |
| 16 | 10% | * | 0,247 -0,025 | = | 0,025 | 0,416 |
| 17 | 10% | * | 0,223 -0,022 | = | 0,022 | 0,438 |
| 18 | 10% | * | 0,200 -0,020 | = | 0,020 | 0,458 |
| 19 | 10% | * | 0,180 -0,018 | = | 0,018 | 0,476 |
| 20 | 10% | * | 0,162 -0,016 | = | 0,016 | 0,492 |
| | | | Valor de Desecho= 0,146 | | | |

| Año | Tasa | * | Valor en Libros (importe a depreciar) | = | Gastos por depreciación anual | Depreciación acumulada |
|-----|------|---|---------------------------------------|---|-------------------------------|------------------------|
| 1 | 10% | * | 79,508 -7,951 | = | 7,951 | 7,951 |
| 2 | 10% | * | 71,558 -7,156 | = | 7,156 | 15,107 |
| 3 | 10% | * | 64,402 -6,440 | = | 6,440 | 21,547 |
| 4 | 10% | * | 57,962 -5,796 | = | 5,796 | 27,343 |
| 5 | 10% | * | 52,166 -5,217 | = | 5,217 | 32,560 |
| 6 | 10% | * | 46,949 -4,695 | = | 4,695 | 37,254 |
| 7 | 10% | * | 42,254 -4,225 | = | 4,225 | 41,480 |
| 8 | 10% | * | 38,029 -3,803 | = | 3,803 | 45,283 |
| 9 | 10% | * | 34,226 -3,423 | = | 3,423 | 48,705 |
| 10 | 10% | * | 30,803 -3,080 | = | 3,080 | 51,786 |
| 11 | 10% | * | 27,723 -2,772 | = | 2,772 | 54,558 |
| 12 | 10% | * | 24,951 -2,495 | = | 2,495 | 57,053 |
| 13 | 10% | * | 22,456 -2,246 | = | 2,246 | 59,298 |
| 14 | 10% | * | 20,210 -2,021 | = | 2,021 | 61,319 |
| 15 | 10% | * | 18,189 -1,819 | = | 1,819 | 63,138 |
| 16 | 10% | | 16,370 -1,637 | = | 1,637 | 64,775 |
| 17 | 10% | | 14,733 -1,473 | = | 1,473 | 66,249 |
| 18 | 10% | | 13,260 -1,326 | = | 1,326 | 67,575 |
| 19 | 10% | * | 11,934 -1,193 | = | 1,193 | 64,332 |
| | | | Valor de Desecho= 10,740 | | | |

| Año | Tasa | * | Valor en Libros (importe a depreciar) | = | Gastos por depreciación anual | Depreciación acumulada |
|-----|------|---|---------------------------------------|---|-------------------------------|------------------------|
| 1 | 10% | * | 71,886 -7,189 | = | 7,189 | 7,189 |
| 2 | 10% | * | 64,697 -6,470 | = | 6,470 | 13,658 |
| 3 | 10% | * | 58,227 -5,823 | = | 5,823 | 19,481 |
| 4 | 10% | * | 52,405 -5,240 | = | 5,240 | 24,721 |
| 5 | 10% | * | 47,164 -4,716 | = | 4,716 | 29,438 |
| 6 | 10% | * | 42,448 -4,245 | = | 4,245 | 33,683 |
| 7 | 10% | * | 38,203 -3,820 | = | 3,820 | 37,503 |
| 8 | 10% | * | 34,383 -3,438 | = | 3,438 | 40,941 |
| 9 | 10% | * | 30,944 -3,094 | = | 3,094 | 44,036 |
| 10 | 10% | * | 27,850 -2,785 | = | 2,785 | 46,821 |
| 11 | 10% | * | 25,065 -2,506 | = | 2,506 | 49,327 |
| 12 | 10% | * | 22,558 -2,256 | = | 2,256 | 51,583 |
| 13 | 10% | * | 20,303 -2,030 | = | 2,030 | 53,613 |
| 14 | 10% | * | 18,272 -1,827 | = | 1,827 | 55,441 |
| 15 | 10% | * | 16,445 -1,645 | = | 1,645 | 57,085 |
| | | | Valor de Desecho= 14,801 | | | |

| Año | Tasa | * | Valor en Libros (importe a depreciar) | = | Gastos por depreciación anual | Depreciación acumulada |
|-----|------|---|---------------------------------------|---|-------------------------------|------------------------|
| 2 | 10% | * | 16,147 -1,615 | = | 1,615 | 1,615 |
| 3 | 10% | * | 14,532 -1,453 | = | 1,453 | 3,068 |
| 4 | 10% | * | 13,079 -1,308 | = | 1,308 | 4,376 |
| 5 | 10% | * | 11,771 -1,177 | = | 1,177 | 5,553 |
| 6 | 10% | * | 10,594 -1,059 | = | 1,059 | 6,612 |
| 7 | 10% | * | 9,535 -0,953 | = | 0,953 | 7,566 |
| 8 | 10% | * | 8,581 -0,858 | = | 0,858 | 8,424 |
| 9 | 10% | * | 7,723 -0,772 | = | 0,772 | 9,196 |
| 10 | 10% | * | 6,951 -0,695 | = | 0,695 | 9,891 |
| 11 | 10% | * | 6,256 -0,626 | = | 0,626 | 10,517 |
| 12 | 10% | * | 5,630 -0,563 | = | 0,563 | 11,080 |
| 13 | 10% | * | 5,067 -0,507 | = | 0,507 | 11,587 |
| 14 | 10% | * | 4,560 -0,456 | = | 0,456 | 12,043 |
| 15 | 10% | * | 4,104 -0,410 | = | 0,410 | 12,453 |
| 16 | 10% | | 3,694 -0,369 | = | 0,369 | 12,822 |
| 17 | 10% | | 3,325 -0,332 | = | 0,332 | 13,155 |
| 18 | 10% | | 2,992 -0,299 | = | 0,299 | 13,454 |
| 19 | 10% | * | 2,693 -0,269 | = | 0,269 | 12,722 |
| | | | Valor de Desecho= 2,424 | | | |

| Año | Tasa | * | Valor en Libros (importe a depreciar) | = | Gastos por depreciación anual | Depreciación acumulada |
|-----|------|---|---------------------------------------|-------|-------------------------------|------------------------|
| 2 | 10% | * | 9,496 -0,950 | = | 0,950 | 0,950 |
| 3 | 10% | * | 8,547 -0,855 | = | 0,855 | 1,804 |
| 4 | 10% | * | 7,692 -0,769 | = | 0,769 | 2,573 |
| 5 | 10% | * | 6,923 -0,692 | = | 0,692 | 3,266 |
| 6 | 10% | * | 6,231 -0,623 | = | 0,623 | 3,889 |
| 7 | 10% | * | 5,607 -0,561 | = | 0,561 | 4,450 |
| 8 | 10% | * | 5,047 -0,505 | = | 0,505 | 4,954 |
| 9 | 10% | * | 4,542 -0,454 | = | 0,454 | 5,408 |
| 10 | 10% | * | 4,088 -0,409 | = | 0,409 | 5,817 |
| 11 | 10% | * | 3,679 -0,368 | = | 0,368 | 6,185 |
| | | | Valor de Desecho= | 3,311 | | |

Fuente: Elaboración propia

12.4. Tablas depreciación líneas de transmisión

| Año | Tasa | * | Valor en Libros (importe a depreciar) | = | Gastos por depreciación anual | Depreciación acumulada |
|-----|------|---|---------------------------------------|-------|-------------------------------|------------------------|
| 2 | 5% | * | 6,634 | = | 0,332 | 0,332 |
| | | | -0,332 | | | |
| 3 | 5% | * | 6,302 | = | 0,315 | 0,647 |
| | | | -0,315 | | | |
| 4 | 5% | * | 5,987 | = | 0,299 | 0,946 |
| | | | -0,299 | | | |
| 5 | 5% | * | 5,688 | = | 0,284 | 1,231 |
| | | | -0,284 | | | |
| 6 | 5% | * | 5,403 | = | 0,270 | 1,501 |
| | | | -0,270 | | | |
| 7 | 5% | * | 5,133 | = | 0,257 | 1,757 |
| | | | -0,257 | | | |
| 8 | 5% | * | 4,877 | = | 0,244 | 2,001 |
| | | | -0,244 | | | |
| 9 | 5% | * | 4,633 | = | 0,232 | 2,233 |
| | | | -0,232 | | | |
| 10 | 5% | * | 4,401 | = | 0,220 | 2,453 |
| | | | -0,220 | | | |
| 11 | 5% | * | 4,181 | = | 0,209 | 2,662 |
| | | | -0,209 | | | |
| | | | Valor de Desecho= | 3,972 | | |

| Año | Tasa | * | Valor en Libros (importe a depreciar) | = | Gastos por depreciación anual | Depreciación acumulada |
|-----|------|---|---------------------------------------|---|-------------------------------|------------------------|
| 2 | 5% | * | 5,468 | = | 0,273 | 0,273 |
| | | | -0,273 | | | |
| 3 | 5% | * | 5,195 | = | 0,260 | 0,533 |
| | | | -0,260 | | | |
| 4 | 5% | * | 4,935 | = | 0,247 | 0,780 |
| | | | -0,247 | | | |
| 5 | 5% | * | 4,688 | = | 0,234 | 1,014 |
| | | | -0,234 | | | |
| 6 | 5% | * | 4,454 | = | 0,223 | 1,237 |
| | | | -0,223 | | | |
| 7 | 5% | * | 4,231 | = | 0,212 | 1,449 |
| | | | -0,212 | | | |
| 8 | 5% | * | 4,020 | = | 0,201 | 1,650 |
| | | | -0,201 | | | |
| 9 | 5% | * | 3,819 | = | 0,191 | 1,840 |
| | | | -0,191 | | | |
| 10 | 5% | * | 3,628 | = | 0,181 | 2,022 |
| | | | -0,181 | | | |
| 11 | 5% | * | 3,446 | = | 0,172 | 2,194 |
| | | | -0,172 | | | |
| 12 | 5% | * | 3,274 | = | 0,164 | 2,358 |
| | | | -0,164 | | | |
| 13 | 5% | * | 3,110 | = | 0,156 | 2,513 |
| | | | -0,156 | | | |
| 14 | 5% | * | 2,955 | = | 0,148 | 2,661 |
| | | | -0,148 | | | |
| 15 | 5% | * | 2,807 | = | 0,140 | 2,801 |
| | | | -0,140 | | | |
| 16 | 5% | * | 2,667 | = | 0,133 | 2,935 |
| | | | -0,133 | | | |
| 17 | 5% | * | 2,533 | = | 0,127 | 3,061 |
| | | | -0,127 | | | |
| 18 | 5% | * | 2,407 | = | 0,120 | 3,182 |
| | | | -0,120 | | | |
| 19 | 5% | * | 2,286 | = | 0,114 | 2,916 |
| | | | -0,114 | | | |
| | | | Valor de Desecho= 2,172 | | | |

| Año | Tasa | * | Valor en Libros (importe a depreciar) | = | Gastos por depreciación anual | Depreciación acumulada |
|-----|------|---|---------------------------------------|---|-------------------------------|------------------------|
| 1 | 5% | * | 50,532 | = | 2,527 | 2,527 |
| | | | -2,527 | | | |
| 2 | 5% | * | 48,005 | = | 2,400 | 4,927 |
| | | | -2,400 | | | |
| 3 | 5% | * | 45,605 | = | 2,280 | 7,207 |
| | | | -2,280 | | | |
| 4 | 5% | * | 43,325 | = | 2,166 | 9,373 |
| | | | -2,166 | | | |
| 5 | 5% | * | 41,159 | = | 2,058 | 11,431 |
| | | | -2,058 | | | |
| 6 | 5% | * | 39,101 | = | 1,955 | 13,386 |
| | | | -1,955 | | | |
| 7 | 5% | * | 37,146 | = | 1,857 | 15,244 |
| | | | -1,857 | | | |
| 8 | 5% | * | 35,288 | = | 1,764 | 17,008 |
| | | | -1,764 | | | |
| 9 | 5% | * | 33,524 | = | 1,676 | 18,684 |
| | | | -1,676 | | | |
| 10 | 5% | * | 31,848 | = | 1,592 | 20,277 |
| | | | -1,592 | | | |
| 11 | 5% | * | 30,255 | = | 1,513 | 21,789 |
| | | | -1,513 | | | |
| 12 | 5% | * | 28,743 | = | 1,437 | 23,226 |
| | | | -1,437 | | | |
| 13 | 5% | * | 27,305 | = | 1,365 | 24,592 |
| | | | -1,365 | | | |
| 14 | 5% | * | 25,940 | = | 1,297 | 25,889 |
| | | | -1,297 | | | |
| 15 | 5% | * | 24,643 | = | 1,232 | 27,121 |
| | | | -1,232 | | | |
| | | | Valor de Desecho= 23,411 | | | |

| Año | Tasa | * | Valor en Libros (importe a depreciar) | = | Gastos por depreciación anual | Depreciación acumulada |
|-----|------|---|---------------------------------------|---|-------------------------------|------------------------|
| 1 | 5% | * | 17,872 | = | 0,894 | 0,894 |
| | | | -0,894 | | | |
| 2 | 5% | * | 16,979 | = | 0,849 | 1,743 |
| | | | -0,849 | | | |
| 3 | 5% | * | 16,130 | = | 0,806 | 2,549 |
| | | | -0,806 | | | |
| 4 | 5% | * | 15,323 | = | 0,766 | 3,315 |
| | | | -0,766 | | | |
| 5 | 5% | * | 14,557 | = | 0,728 | 4,043 |
| | | | -0,728 | | | |
| 6 | 5% | * | 13,829 | = | 0,691 | 4,735 |
| | | | -0,691 | | | |
| 7 | 5% | * | 13,138 | = | 0,657 | 5,391 |
| | | | -0,657 | | | |
| 8 | 5% | * | 12,481 | = | 0,624 | 6,015 |
| | | | -0,624 | | | |
| 9 | 5% | * | 11,857 | = | 0,593 | 6,608 |
| | | | -0,593 | | | |
| 10 | 5% | * | 11,264 | = | 0,563 | 7,172 |
| | | | -0,563 | | | |
| 11 | 5% | * | 10,701 | = | 0,535 | 7,707 |
| | | | -0,535 | | | |
| 12 | 5% | * | 10,166 | = | 0,508 | 8,215 |
| | | | -0,508 | | | |
| 13 | 5% | * | 9,657 | = | 0,483 | 8,698 |
| | | | -0,483 | | | |
| 14 | 5% | * | 9,175 | = | 0,459 | 9,156 |
| | | | -0,459 | | | |
| 15 | 5% | * | 8,716 | = | 0,436 | 9,592 |
| | | | -0,436 | | | |
| 16 | 5% | * | 8,280 | = | 0,414 | 10,006 |
| | | | -0,414 | | | |
| 17 | 5% | * | 7,866 | = | 0,393 | 10,400 |
| | | | -0,393 | | | |
| 18 | 5% | * | 7,473 | = | 0,374 | 10,773 |
| | | | -0,374 | | | |
| 19 | 5% | * | 7,099 | = | 0,355 | 9,947 |
| | | | -0,355 | | | |
| | | | Valor de Desecho= 6,744 | | | |

| Año | Tasa | * | Valor en Libros (importe a depreciar) | = | Gastos por depreciación anual | Depreciación acumulada |
|-----|------|---|---------------------------------------|---|-------------------------------|------------------------|
| 7 | 5% | * | 0,298 | = | 0,015 | 0,015 |
| | | | -0,015 | | | |
| 8 | 5% | * | 0,283 | = | 0,014 | 0,029 |
| | | | -0,014 | | | |
| 9 | 5% | * | 0,269 | = | 0,013 | 0,042 |
| | | | -0,013 | | | |
| 10 | 5% | * | 0,255 | = | 0,013 | 0,055 |
| | | | -0,013 | | | |
| 11 | 5% | * | 0,243 | = | 0,012 | 0,067 |
| | | | -0,012 | | | |
| 12 | 5% | * | 0,230 | = | 0,012 | 0,079 |
| | | | -0,012 | | | |
| 13 | 5% | * | 0,219 | = | 0,011 | 0,090 |
| | | | -0,011 | | | |
| 14 | 5% | * | 0,208 | = | 0,010 | 0,100 |
| | | | -0,010 | | | |
| 15 | 5% | * | 0,198 | = | 0,010 | 0,110 |
| | | | -0,010 | | | |
| 16 | 5% | * | 0,188 | = | 0,009 | 0,120 |
| | | | -0,009 | | | |
| 17 | 5% | * | 0,178 | = | 0,009 | 0,128 |
| | | | -0,009 | | | |
| 18 | 5% | * | 0,169 | = | 0,008 | 0,137 |
| | | | -0,008 | | | |
| 19 | 5% | * | 0,161 | = | 0,008 | 0,145 |
| | | | -0,008 | | | |
| 20 | 5% | * | 0,153 | = | 0,008 | 0,153 |
| | | | -0,008 | | | |
| | | | Valor de Desecho= 0,145 | | | |

| Año | Tasa | * | Valor en Libros (importe a depreciar) | = | Gastos por depreciación anual | Depreciación acumulada |
|-----|------|---|---------------------------------------|---|-------------------------------|------------------------|
| 1 | 5% | * | 13,532 -0,677 | = | 0,677 | 0,677 |
| 2 | 5% | * | 12,855 -0,643 | = | 0,643 | 1,319 |
| 3 | 5% | * | 12,213 -0,611 | = | 0,611 | 1,930 |
| 4 | 5% | * | 11,602 -0,580 | = | 0,580 | 2,510 |
| 5 | 5% | * | 11,022 -0,551 | = | 0,551 | 3,061 |
| 6 | 5% | * | 10,471 -0,524 | = | 0,524 | 3,585 |
| 7 | 5% | * | 9,947 -0,497 | = | 0,497 | 4,082 |
| 8 | 5% | * | 9,450 -0,472 | = | 0,472 | 4,555 |
| 9 | 5% | * | 8,977 -0,449 | = | 0,449 | 5,003 |
| 10 | 5% | * | 8,528 -0,426 | = | 0,426 | 5,430 |
| 11 | 5% | * | 8,102 -0,405 | = | 0,405 | 5,835 |
| 12 | 5% | * | 7,697 -0,385 | = | 0,385 | 6,220 |
| 13 | 5% | * | 7,312 -0,366 | = | 0,366 | 6,585 |
| 14 | 5% | * | 6,947 -0,347 | = | 0,347 | 6,933 |
| 15 | 5% | * | 6,599 -0,330 | = | 0,330 | 7,263 |
| 16 | 5% | * | 6,269 -0,313 | = | 0,313 | 7,576 |
| 17 | 5% | * | 5,956 -0,298 | = | 0,298 | 7,874 |
| 18 | 5% | * | 5,658 -0,283 | = | 0,283 | 8,157 |
| 19 | 5% | * | 5,375 -0,269 | = | 0,269 | 8,426 |
| 20 | 5% | * | 5,106 -0,255 | = | 0,255 | 8,681 |
| | | | Valor de Desecho= 4,851 | | | |

Fuente: Elaboración propia

12.5. Tabla depreciación oficinas administrativas

| Año | Tasa | * | Valor en Libros (importe a depreciar) | = | Gastos por depreciación anual | Depreciación acumulada |
|-----|------|---|---------------------------------------|---|-------------------------------|------------------------|
| 1 | 2,5% | * | 0,085 | = | 0,0021277 | 0,002 |
| | | | -0,002 | | | |
| 2 | 2,5% | * | 0,083 | = | 0,0020745 | 0,004 |
| | | | -0,002 | | | |
| 3 | 2,5% | * | 0,081 | = | 0,0020226 | 0,006 |
| | | | -0,002 | | | |
| 4 | 2,5% | * | 0,079 | = | 0,0019720 | 0,008 |
| | | | -0,002 | | | |
| 5 | 2,5% | * | 0,077 | = | 0,0019227 | 0,010 |
| | | | -0,002 | | | |
| 6 | 2,5% | * | 0,075 | = | 0,0018747 | 0,012 |
| | | | -0,002 | | | |
| 7 | 2,5% | * | 0,073 | = | 0,0018278 | 0,014 |
| | | | -0,002 | | | |
| 8 | 2,5% | * | 0,071 | = | 0,0017821 | 0,016 |
| | | | -0,002 | | | |
| 9 | 2,5% | * | 0,070 | = | 0,0017376 | 0,017 |
| | | | -0,002 | | | |
| 10 | 2,5% | * | 0,068 | = | 0,0016941 | 0,019 |
| | | | -0,002 | | | |
| 11 | 2,5% | * | 0,066 | = | 0,0016518 | 0,021 |
| | | | -0,002 | | | |
| 12 | 2,5% | * | 0,064 | = | 0,0016105 | 0,022 |
| | | | -0,002 | | | |
| 13 | 2,5% | * | 0,063 | = | 0,0015702 | 0,024 |
| | | | -0,002 | | | |
| 14 | 2,5% | * | 0,061 | = | 0,0015310 | 0,025 |
| | | | -0,002 | | | |
| 15 | 2,5% | * | 0,060 | = | 0,0014927 | 0,027 |
| | | | -0,001 | | | |
| 16 | 2,5% | * | 0,058 | = | 0,0014554 | 0,028 |
| | | | -0,001 | | | |
| 17 | 2,5% | * | 0,057 | = | 0,0014190 | 0,030 |
| | | | -0,001 | | | |
| 18 | 2,5% | * | 0,055 | = | 0,0013835 | 0,031 |
| | | | -0,001 | | | |
| 19 | 2,5% | * | 0,054 | = | 0,0013489 | 0,032 |
| | | | -0,001 | | | |
| 20 | 2,5% | * | 0,053 | = | 0,0013152 | 0,034 |
| | | | -0,001 | | | |
| | | | Valor de Desecho= 0,051 | | | |

Fuente: Elaboración propia

13. Flujo de caja caso sin financiamiento

Los valores de la tabla están en millones de dólares (MUS\$)

| | Año 0 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 | |
|--|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Consumo Anual Cerro casale (ML) | | 0 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 0 |
| Precio Cerro Casale (US\$/L) | | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 |
| Ingreso Cerro Casale (MUS\$) | | 0 | 84,057 | 0 |
| Consumo Anual Inca de Oro (ML) | | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Precio Inca de oro (US\$/L) | | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 |
| Ingreso Inca de Oro (MUS\$) | | 24,698 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Consumo Anual Lobo-Marte (ML) | | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Precio Lobo-Marte (US\$/L) | | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 |
| Ingreso Lobo-Marte (MUS\$) | | 21,070 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Consumo Anual Santo Domingo (ML) | | 0 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Precio Santo Domingo (US\$/L) | | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 |
| Ingreso Santo Domingo (MUS\$) | | 0 | 41,493 | 0 |
| Consumo Anual Retaguardia (ML) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 |
| Precio Retaguardia (US\$/L) | | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 |
| Ingreso Retaguardia (MUS\$) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,921 |
| Consumo Anual Otros clientes (ML) | | 297 | 0 | 0 | 11.249 | 11.249 | 11.249 | 2.232 | 2.232 | 2.232 | 2.232 | 2.232 | 2.232 | 12.752 | 12.752 | 12.752 | 25.069 | 25.069 | 25.069 | 25.069 | 25.069 | 54.054 |
| Precio Otros clientes (MUS\$/L) | | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 |
| Ingreso Otros clientes (MUS\$) | | 0,690 | 0 | 0 | 26,098 | 26,098 | 26,098 | 5,177 | 5,177 | 5,177 | 5,177 | 5,177 | 5,177 | 29,585 | 29,585 | 29,585 | 29,585 | 58,160 | 58,160 | 58,160 | 58,160 | 125,406 |
| Ingresos Totales (+) | | 46,459 | 171,319 | 171,319 | 197,417 | 180,332 | 180,332 | 180,332 | 180,332 | 163,139 | 163,139 | 163,139 | 163,139 | 163,139 | 146,327 |
| Costos de O&M | | 34,585 | 50,888 | 67,261 | 75,303 | 75,062 | 74,830 | 75,062 | 74,834 | 74,614 | 74,401 | 74,196 | 71,816 | 71,625 | 71,440 | 71,261 | 55,598 | 55,432 | 55,271 | 55,116 | 55,116 | 47,565 |
| Planta OI | | 7,821 | 15,642 | 31,284 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 |
| Planta Solar | | 1,687 | 6,049 | 6,781 | 7,002 | 6,761 | 6,529 | 6,644 | 6,416 | 6,196 | 5,983 | 5,778 | 5,580 | 5,388 | 5,203 | 5,025 | 4,852 | 4,686 | 4,525 | 4,370 | 4,220 | 4,220 |
| Sistema de Impulsión | | 0,495 | 0,985 | 0,985 | 0,985 | 0,985 | 0,985 | 1,012 | 1,012 | 1,012 | 1,012 | 1,012 | 0,821 | 0,821 | 0,821 | 0,821 | 0,490 | 0,490 | 0,490 | 0,490 | 0,490 | 0,091 |
| Líneas de Transmisión | | 24,581 | 28,211 | 28,211 | 28,211 | 28,211 | 28,211 | 28,301 | 28,301 | 28,301 | 28,301 | 28,301 | 26,311 | 26,311 | 26,311 | 26,311 | 11,151 | 11,151 | 11,151 | 11,151 | 11,151 | 4,149 |
| Concesión de Uso Oneroso | | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 |
| Concesión Marítima | | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 |
| Costos Totales (-) | | 35,431 | 51,734 | 68,108 | 76,149 | 75,909 | 75,677 | 75,909 | 75,681 | 75,461 | 75,248 | 75,043 | 72,663 | 72,471 | 72,287 | 72,108 | 56,445 | 56,278 | 56,118 | 56,118 | 55,962 | 48,411 |
| Ingreso Bruto | | 11,028 | 119,585 | 103,211 | 121,268 | 121,508 | 121,740 | 121,509 | 121,737 | 121,957 | 122,169 | 122,375 | 107,669 | 107,860 | 108,045 | 108,224 | 106,694 | 106,860 | 107,021 | 107,176 | 107,176 | 97,916 |
| Depreciaciones (-) | | 108,238 | 102,422 | 100,373 | 95,173 | 87,311 | 80,110 | 75,894 | 69,656 | 63,940 | 58,700 | 53,897 | 48,964 | 44,969 | 41,305 | 37,944 | 32,211 | 29,589 | 27,183 | 24,975 | 21,185 | 21,185 |
| Planta Solar | | 42,228 | 38,850 | 42,208 | 41,943 | 38,588 | 35,501 | 34,963 | 32,166 | 29,593 | 27,226 | 25,048 | 23,044 | 21,200 | 19,504 | 17,944 | 16,508 | 15,188 | 13,973 | 12,855 | 11,826 | 11,826 |
| Planta OI | | 39,424 | 36,270 | 33,368 | 30,699 | 28,243 | 25,984 | 23,905 | 21,993 | 20,233 | 18,614 | 17,125 | 15,755 | 14,495 | 13,335 | 12,268 | 11,287 | 10,384 | 9,553 | 8,789 | 8,086 | 8,086 |
| Sistema de impulsión | | 22,487 | 22,803 | 20,523 | 18,470 | 16,623 | 14,961 | 13,529 | 12,176 | 10,958 | 9,862 | 8,876 | 7,657 | 6,892 | 6,203 | 5,582 | 3,544 | 3,190 | 2,871 | 2,584 | 1,009 | 1,009 |
| Líneas de Transmisión | | 4,097 | 4,497 | 4,272 | 4,059 | 3,856 | 3,663 | 3,495 | 3,320 | 3,154 | 2,996 | 2,846 | 2,505 | 2,380 | 2,261 | 2,148 | 0,870 | 0,827 | 0,785 | 0,746 | 0,263 | 0,263 |
| Oficinas Administrativas | | 0,00213 | 0,00207 | 0,00202 | 0,00197 | 0,00192 | 0,00187 | 0,00183 | 0,00178 | 0,00174 | 0,00169 | 0,00165 | 0,00161 | 0,00157 | 0,00153 | 0,00149 | 0,00146 | 0,00142 | 0,00138 | 0,00135 | 0,00132 | 0,00132 |
| Pérdidas Ejercicio Anterior (-) | | 0 |
| Utilidad antes de impuestos | | -97,211 | 17,163 | 2,838 | 26,095 | 34,197 | 41,630 | 45,615 | 52,080 | 58,017 | 63,469 | 68,478 | 58,705 | 62,892 | 66,741 | 70,280 | 74,483 | 77,271 | 79,838 | 82,201 | 84,730 | 76,730 |
| Impuestos (17%) | | 0 | 2,918 | 0,483 | 4,436 | 5,813 | 7,077 | 7,755 | 8,854 | 9,863 | 10,790 | 11,641 | 9,980 | 10,692 | 11,346 | 11,948 | 12,662 | 13,136 | 13,572 | 13,974 | 13,974 | 13,044 |
| UDI | | -97,211 | 14,245 | 2,356 | 21,659 | 28,383 | 34,553 | 37,860 | 43,227 | 48,154 | 52,679 | 56,836 | 48,725 | 52,200 | 55,395 | 58,332 | 61,821 | 64,135 | 66,265 | 68,227 | 63,686 | 63,686 |
| Depreciaciones (+) | | 108,238 | 102,422 | 100,373 | 95,173 | 87,311 | 80,110 | 75,894 | 69,656 | 63,940 | 58,700 | 53,897 | 48,964 | 44,969 | 41,305 | 37,944 | 32,211 | 29,589 | 27,183 | 24,975 | 21,185 | 21,185 |
| Pérdidas Ejercicio Anterior (+) | | 0 |
| Flujo de caja operacional | | 11,028 | 116,667 | 102,729 | 116,832 | 115,695 | 114,663 | 113,754 | 112,883 | 112,094 | 111,380 | | | | | | | | | | | |

14. Flujo de caja caso con financiamiento

| | Año 0 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 | 2023 | 2024 | 2025 | 2026 | 2027 | 2028 | 2029 | 2030 | 2031 | 2032 | 2033 |
|--------------------------------------|-------|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| Consumo Anual Cerro casale (ML) | | 0 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 28.985 | 0 |
| Precio Cerro Casale (US\$/L) | | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 | 0,0029 |
| Ingreso Cerro Casale (MUS\$) | | 0 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 84,057 | 0 |
| Consumo Anual Inca de Oro (ML) | | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 6.262 | 0 |
| Precio Inca de oro (US\$/L) | | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 |
| Ingreso Inca de Oro (MUS\$) | | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 24,698 | 0 |
| Consumo Anual Lobo-Marte (ML) | | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 6.055 | 0 |
| Precio Lobo-Marte (US\$/L) | | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 | 0,0035 |
| Ingreso Lobo-Marte (MUS\$) | | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 21,070 | 0 |
| Consumo Anual Santo Domingo (ML) | | 0 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 10.521 | 0 |
| Precio Santo Domingo (US\$/L) | | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 | 0,0039 |
| Ingreso Santo Domingo (MUS\$) | | 0 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 41,493 | 0 |
| Consumo Anual Retaguardia (ML) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 | 9.018 |
| Precio Retaguardia (US\$/L) | | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 | 0,0023 |
| Ingreso Retaguardia (MUS\$) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20,921 | 20,921 | 20,921 | 20,921 | 20,921 | 20,921 | 20,921 | 20,921 | 20,921 | 20,921 | 20,921 | 20,921 | 20,921 | 20,921 |
| Consumo Anual Otros clientes (ML) | | 297 | 0 | 0 | 11.249 | 11.249 | 11.249 | 2.232 | 2.232 | 2.232 | 2.232 | 2.232 | 2.232 | 12.752 | 12.752 | 12.752 | 25.069 | 25.069 | 25.069 | 25.069 | 54.054 |
| Precio Otros clientes (MUS\$/L) | | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 | 0,00232 |
| Ingreso Otros clientes (MUS\$) | | 0,690 | 0 | 0 | 26,098 | 26,098 | 26,098 | 5,177 | 5,177 | 5,177 | 5,177 | 5,177 | 5,177 | 29,585 | 29,585 | 29,585 | 58,160 | 58,160 | 58,160 | 58,160 | 125,406 |
| Ingresos Totales (+) | | 46,459 | 171,319 | 171,319 | 197,417 | 180,332 | 180,332 | 180,332 | 180,332 | 163,139 | 163,139 | 163,139 | 163,139 | 146,327 |
| Costos de O&M | | 34,585 | 50,888 | 67,261 | 75,303 | 75,062 | 74,830 | 75,062 | 74,834 | 74,614 | 74,401 | 74,196 | 71,816 | 71,625 | 71,440 | 71,261 | 55,598 | 55,432 | 55,271 | 55,116 | 47,565 |
| Planta OI | | 7,821 | 15,642 | 31,284 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 | 39,105 |
| Planta Solar | | 1,687 | 6,049 | 6,781 | 7,002 | 6,761 | 6,529 | 6,644 | 6,416 | 6,196 | 5,983 | 5,778 | 5,580 | 5,388 | 5,203 | 5,025 | 4,852 | 4,686 | 4,525 | 4,370 | 4,220 |
| Sistema de Impulsión | | 0,495 | 0,985 | 0,985 | 0,985 | 0,985 | 0,985 | 1,012 | 1,012 | 1,012 | 1,012 | 1,012 | 0,821 | 0,821 | 0,821 | 0,821 | 0,490 | 0,490 | 0,490 | 0,490 | 0,091 |
| Líneas de Transmisión | | 24,581 | 28,211 | 28,211 | 28,211 | 28,211 | 28,211 | 28,301 | 28,301 | 28,301 | 28,301 | 28,301 | 26,311 | 26,311 | 26,311 | 26,311 | 11,151 | 11,151 | 11,151 | 11,151 | 4,149 |
| Concesión de Uso Oneroso | | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 | 0,218 |
| Concesión Marítima | | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 | 0,629 |
| Costos Totales (-) | | 35,431 | 51,734 | 68,108 | 76,149 | 75,909 | 75,677 | 75,909 | 75,681 | 75,461 | 75,248 | 75,043 | 72,663 | 72,471 | 72,287 | 72,108 | 56,445 | 56,278 | 56,118 | 55,962 | 48,411 |
| Ingreso Bruto (=) | | 11,028 | 119,585 | 103,211 | 121,268 | 121,508 | 121,740 | 121,509 | 121,737 | 121,957 | 122,169 | 122,375 | 107,669 | 107,860 | 108,045 | 108,224 | 106,694 | 106,860 | 107,021 | 107,176 | 97,916 |
| Depreciaciones (-) | | 108,238 | 102,422 | 100,373 | 95,173 | 87,311 | 80,110 | 75,894 | 69,656 | 63,940 | 58,700 | 53,897 | 48,964 | 44,969 | 41,305 | 37,944 | 32,211 | 29,589 | 27,183 | 24,975 | 21,185 |
| Planta Solar | | 42,228 | 38,850 | 42,208 | 41,943 | 38,588 | 35,501 | 34,963 | 32,166 | 29,593 | 27,226 | 25,048 | 23,044 | 21,200 | 19,504 | 17,944 | 16,508 | 15,188 | 13,973 | 12,855 | 11,826 |
| Planta OI | | 39,424 | 36,270 | 33,368 | 30,699 | 28,243 | 25,984 | 23,905 | 21,993 | 20,233 | 18,614 | 17,125 | 15,755 | 14,495 | 13,335 | 12,268 | 11,287 | 10,384 | 9,553 | 8,789 | 8,086 |
| Sistema de impulsión | | 22,487 | 22,803 | 20,523 | 18,470 | 16,623 | 14,961 | 13,529 | 12,176 | 10,958 | 9,862 | 8,876 | 7,657 | 6,892 | 6,203 | 5,582 | 3,544 | 3,190 | 2,871 | 2,584 | 1,009 |
| Líneas de Transmisión | | 4,097 | 4,497 | 4,272 | 4,059 | 3,856 | 3,663 | 3,495 | 3,320 | 3,154 | 2,996 | 2,846 | 2,505 | 2,380 | 2,261 | 2,148 | 0,870 | 0,827 | 0,785 | 0,746 | 0,263 |
| Oficinas Administrativas | | 0,00213 | 0,00207 | 0,00202 | 0,00197 | 0,00192 | 0,00187 | 0,00183 | 0,00178 | 0,00174 | 0,00169 | 0,00165 | 0,00161 | 0,00157 | 0,00153 | 0,00149 | 0,00146 | 0,00142 | 0,00138 | 0,00135 | 0,00132 |
| Gastos Financieros (-) | | 24,160 | 23,261 | 22,335 | 21,381 | 20,398 | 19,386 | 18,344 | 17,270 | 16,165 | 15,026 | 13,852 | 12,644 | 11,400 | 10,118 | 8,797 | 7,437 | 6,036 | 4,593 | 3,107 | 1,577 |
| Pérdidas Ejercicio Anterior (-) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Utilidad Antes de Impuestos | | -121,371 | 17,163 | 2,838 | 26,095 | 34,197 | 41,630 | 45,615 | 52,080 | 58,017 | 63,469 | 68,478 | 58,705 | 62,892 | 66,741 | 70,280 | 74,483 | 77,271 | 79,838 | 82,201 | 76,730 |
| Impuestos (17%) (-) | | 0 | 2,918 | 0,483 | 4,436 | 5,813 | 7,077 | 7,755 | 8,854 | 9,863 | 10,790 | 11,641 | 9,980 | 10,692 | 11,346 | 11,948 | 12,662 | 13,136 | 13,572 | 13,974 | 13,044 |
| Utilidad Después de Impuestos | | -121,371 | 14,245 | 2,356 | 21,659 | 28,383 | 34,553 | 37,860 | 43,227 | 48,154 | 52,679 | 56,836 | 48,725 | 52,200 | 55,395 | 58,332 | 61,821 | 64,135 | 66,265 | 68,227 | 63,686 |
| Depreciaciones (+) | | 108,238 | 102,422 | 100,373 | 95,173 | 87,311 | 80,110 | 75,894 | 69,656 | 63,940 | 58,700 | 53,897 | 48,964 | 44,969 | 41,305 | 37,944 | 32,211 | 29,589 | 27,183 | 24,975 | 21,185 |
| Pérdidas Ejercicio Anterior (+) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gastos Financieros (+) | | 24,160 | 23,261 | 22,335 | 21,381 | 20,398 | 19,386 | 18,344 | 17,270 | 16,165 | 15,026 | 13,852 | 12,644 | 11,400 | 10,118 | 8,797 | 7,437 | 6,036 | 4,593 | 3,107 | 1,577 |
| Flujo de caja operacional (=) | | 11,028 | 116,667 | 102,729 | 116,832 | 115,695 | 114,663 | 113,754 | 112,883 | 112,094 | 111,380 | 110,733 | 97,689 | 97,169 | 96,699 | 96,276 | 94,032 | 93,724 | 93,449 | 93,202 | 84,872 |
| CAPEX (-) | | 1342,225 | 84,955 | 83,990 | 38,897 | 0 | 0 | 29,723 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Planta OI | | 492,800 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Planta Solar | | 527,852 | 0 | 80,824 | 38,897 | 0 | 0 | 28,786 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sistema Impulsión | | 233,382 | 17,135 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,638 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Líneas de Transmisión | | 87,894 | 6,145 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,298 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Aguas Empresa Sanitaria | | 0 | 61,676 | 3,166 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Estudio Impacto Ambiental | | 0,213 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Oficinas Administrativas | | 0,085 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Valor Residual de los Activos (+) | | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Préstamo (+) | | 805,335 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Amortizaciones (-) | | 0 | 29,971 | 30,870 | 31,796 | 32,750 | 33,733 | 34,745 | 3 | | | | | | | | | | | | |