



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura

Oficina Regional de Ciencia para
América Latina y el Caribe



Programa
Hidrológico
Internacional

Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, Región de Coquimbo

Autores:
Guido Soto Álvarez
Manuel Soto Benavides

Co-Autores:
Carlos Sáez Abarzúa
Marcelo Morales Miranda

phi-LAC

Programa Hidrológico Internacional de la UNESCO
para América Latina y el Caribe

PHI-VII / Documento Técnico N° 33



CON EL APOYO
DEL GOBIERNO FLAMENCO





Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, Región de Coquimbo.

PHI-VII / Documento Técnico N° 33

Autores:

Guido Soto Álvarez
Manuel Soto Benavides

Co-Autores:

Carlos Sáez Abarzúa
Marcelo Morales Miranda

Publicado en el 2013 por el Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC), y el Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

Documento Técnico del PHI-LAC, N° 33
ISBN 978-92-9089-192-5

© UNESCO 2013

Las denominaciones que se emplean en esta publicación y la presentación de los datos que en ella figura no suponen por parte de la UNESCO la adopción de postura alguna en lo que se refiere al estatuto jurídico de los países, territorios, ciudades o zonas, o de sus autoridades, no en cuanto a sus fronteras o límites. Las ideas y opiniones expresadas en esta publicación son las de los autores y no representan, necesariamente, el punto de vista de la UNESCO.

Se autoriza la reproducción, a condición de que la fuente se mencione en forma apropiada, y se envíe copia a la dirección abajo citada. Este documento debe citarse como:

UNESCO, 2013. Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, Región de Coquimbo. Documentos Técnicos del PHI-LAC, N° 33

Programa Hidrológico Internacional para América Latina y el Caribe (PHI-LAC)
Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe
UNESCO
Dr. Luis P. Piera 1992, 2° piso
11200 Montevideo, Uruguay
Tel.: + 598 2 413 2075
Fax: + 598 2 413 2094
E-mail: phi@unesco.org.uy
<http://www.unesco.org.uy/phi>

Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas para América Latina y el Caribe (CAZALAC)
Benavente 980
La Serena, Chile
Tel.: 56 51 204 493
Fax: 56 51 204 493
E-mail: gsoto@cazalac.org
<http://www.cazalac.org>



Documento Técnico

Proyecto “Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas, Región de Coquimbo”.

Institución Ejecutora:

- Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas para América Latina y el Caribe (CAZALAC)

Apoyo Institucional:

- Corporación Nacional Forestal (CONAF)

Financiamiento y Apoyo Institucional:

- Gobierno Regional de Coquimbo - Chile
- Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening (VMW). Flandes, Bélgica.

Apoyo institucional:

- Gobierno de Flandes. Flandes, Bélgica.

Índice Temático

TERMINOLOGÍA	7
RESUMEN EJECUTIVO	8
I. - INTRODUCCIÓN	9
II. - CONTEXTO	10
Marco Institucional.....	10
Localización del proyecto.....	10
Descripción del territorio.....	11
III. - PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
IV. - POBLACIÓN BENEFICIADA	15
V. - OBJETIVO DEL PROYECTO	16
VI. - INICIATIVA INNOVADORA	17
VII. - MARCO TEÓRICO	19
Desalación a partir de Osmosis Inversa.....	19
Experiencias de desalación en el mundo.....	21
Experiencias de desalación en Chile.....	23
Energías Renovables No Convencionales (ERNC).....	25
Energía Solar Fotovoltaica.....	26
Energía Solar Fotovoltaica en el Mundo.....	28
Energía Solar Fotovoltaica en Chile.....	28
Plantas desaladoras mediante osmosis inversa con abastecimiento de energía solar fotovoltaica.....	29
VIII. - ANÁLISIS DE COHERENCIA DEL PROYECTO CON POLÍTICAS Y ESTRATEGIAS	31
NACIONALES Y REGIONALES	
IX. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE DESALACIÓN IMPLEMENTADO EN ISLA DAMAS	33
Captación del agua marina.....	33
Pretratamiento.....	33
Osmosis Inversa.....	34

X.- DESARROLLO DEL PROYECTO	37
1.- Análisis de pertinencia ambiental del proyecto.....	38
2.- Solicitud de permisos ante la autoridad marítima.....	38
3.- Reconocimiento en terreno.....	39
4.- Evaluación y Dimensionamiento de Alternativas Tecnológicas.....	39
5.- Diseño de Obras.....	41
6.- Instalación de faenas.....	42
7.- Instalación de Caseta.....	42
8.- Instalación de obras de succión.....	42
9.- Instalación tuberías de conducción de salmueras.....	42
10.- Instalación de planta de Osmosis.....	43
11.- Instalación de sistema fotovoltaico.....	43
12.- Pruebas y Funcionamiento.....	43
13.- Obtención de autorizaciones sanitarias.....	43
14.- Actividades de Capacitación.....	44
15.- Actividades de Difusión del Proyecto.....	45
16.- Entrega del proyecto.....	46
XI.- RESULTADOS DEL PROYECTO	47
ANEXOS	
Ubicación de Proyectos de Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica en el mundo.....	49
Fuentes de Energía Renovable No Convencional.....	50
Instrumentos de Fomento para Proyectos de ERNC.....	52
Políticas y Estrategias Nacionales y Regionales que promueven la aplicación de nuevas técnicas en obtención de agua y uso de las ERNC.....	53
Principales parámetros dispuestos en la Norma Chilena de Agua Potable.....	56
Antecedentes obras de construcción.....	57
Antecedentes diseño sistema fotovoltaico.....	65
Antecedentes sistema osmosis inversa.....	67
Listado de Acrónimos.....	68
Referencias.....	69

Terminología

Desalación y desalinización

El Diccionario de la RAE define la desalación como el proceso de quitar la sal a cualquier producto, no sólo al agua salada. Este es un concepto más amplio y menos preciso que el término desalinización, el cual se emplea para definir la acción de quitar la sal al agua. No obstante esto, el término desalación es de uso más común y extendido, por lo que en el presente documento será el término usado, en el entendido que para efectos de aplicación en la experiencia desarrollada que se describe y su posterior difusión, desalación y desalinización se entenderán como términos indistintos.

Ósmosis u osmosis

Según la RAE, ósmosis u osmosis, se refiere al Intercambio de sustancias líquidas a través de una membrana semipermeable. Ambas formas, escrito como palabra esdrújula "ósmosis", o como palabra grave "osmosis", son aceptadas. En el presente documento se adoptará la forma "osmosis", siendo indistinto de "ósmosis".

Resumen Ejecutivo

El Centro del Agua para Zonas Áridas y Semiáridas de América Latina y el Caribe – CAZALAC, presenta los resultados del proyecto "Desalación de agua de mar mediante sistema Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica para provisión de agua potable en Isla Damas", perteneciente a la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, en la Región de Coquimbo, administrada por la Corporación Nacional Forestal – CONAF.

El proyecto llevado a cabo, tiene por objetivo dar solución al problema de aprovisionamiento de agua potable en la Isla Damas mediante la instalación de un sistema de osmosis inversa alimentado con energía renovable no convencional y que no afecte las condiciones medioambientales del entorno. La iniciativa viene, por tanto, a aportar una solución innovadora de aprovisionamiento de agua potable enfrentando una particularidad, como lo es la de generar una solución de abastecimiento de éste recurso en un sitio aislado, a partir de un procedimiento alternativo, pero cada vez más masificado, como es la osmosis inversa y, en este caso en particular, empleando una de energía de carácter renovable no convencional como la energía fotovoltaica. Asimismo, dado que la planta se haya inserta en la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt en la Región de Coquimbo, es importante destacar el valor de una solución que además contribuya al mantenimiento de la sustentabilidad ambiental del lugar y a la entrega de una alternativa limpia y segura de abastecimiento de agua potable.

Esencialmente el proyecto incluyó todos los pasos necesarios desde el desarrollo de la idea de una solución de obtención de agua potable con energía renovable, la obtención de los permisos ambientales, y la implementación en terreno de las obras de los sistemas: fotovoltaico, destinado a la generación de energía para el proceso de desalación por osmosis inversa, de succión de agua de mar, y de osmosis inversa, consistente en una planta desaladora de capacidad de producción de 1 m³/día.

Esta iniciativa, una de las primeras en su tipo en el país, y pretende transformarse en una experiencia piloto que permita analizar la efectividad de una planta desalinizadora en situación de aislamiento y que, de ser exitoso a largo plazo, podrá ser replicada en otras áreas geográficas de similares características que presenten por un lado escasez de agua y por otro, nulo acceso a opciones de energías convencionales.

Finalmente, es digno de destacar que el proyecto desarrollado por CAZALAC, se llevó a cabo en colaboración con CONAF, siendo financiado por el Gobierno Regional de Coquimbo, y la importante colaboración financiera y técnica de la empresa de agua potable Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening – VMW, de la Región Flamenca, Bélgica, la cual efectuó una importante donación y contribuyó con su experiencia técnica a la capacitación del personal de operación y mantenimiento de la planta. Asimismo, desde el Centro del Agua CAZALAC, aprovechamos la oportunidad para expresar nuestra sincera gratitud a todos quienes participaron en todas y cada una de las etapas del proyecto, por haber apoyado esta importante iniciativa, que ha intentado ser un aporte en la búsqueda de nuevas tecnologías asociadas al agua, puestas al servicio de la comunidad, en la incansable tarea de brindar una mejor calidad de vida para todos.

I. 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 social y económico del país.

La realidad que exhiben distintos territorios de la zona norte, en las últimas décadas, respecto los recursos hídricos, nos indica una agudización importante de la escasez de estos. Ante esta situación, muchas comunidades y nuevas iniciativas productivas, han tenido que enfrentar el problema, buscando fuentes "no convencionales" de abastecimiento. En este marco, la desalación de agua de mar, surge como una solución a considerar, dada su tecnología fiable y económicamente sostenible para la obtención de agua potable, siendo en muchos lugares la única alternativa posible.

En este sentido, el presente proyecto enfrenta una particularidad aún más determinante, como es generar una solución de abastecimiento de agua potable de uso racional y permanente, a partir de un procedimiento alternativo como es la osmosis inversa y cuya fuente de energía deba ser de carácter renovable no convencional. Esto último, está dado por el hecho de que la zona en cuestión, es un Área Silvestre Protegida por el Estado, lo que le agrega un valor importante al proyecto, toda vez que contribuye al mantenimiento de la sustentabilidad ambiental del lugar y a la entrega de una alternativa limpia y segura de abastecimiento de agua potable para los visitantes, investigadores y guardaparques que acceden a la isla.

De esta forma el documento se convierte en una guía que describe las principales etapas y actividades realizadas en el proyecto, asociadas a la solución técnica de aprovisionamiento de agua; la gestión del proyecto, la capacitación y difusión realizadas, la evaluación de la experiencia piloto, además de antecedentes de las tecnologías aplicadas, tanto de osmosis inversa como de energía fotovoltaica; así como también del trabajo realizado junto a CONAF para concretizar esta iniciativa innovadora.

II. Contexto

Marco Institucional:

Esta iniciativa nace desde el interés de la empresa de agua potable Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening (VMW) de Flandes, Bélgica, de colaborar apoyando iniciativas a través de CAZALAC, en un proyecto que diera solución a la problemática de la escasez hídrica, aportando a mejorar la disponibilidad de agua en una localidad de la Región de Coquimbo.

Luego de una visita a la zona, en la cual participaron dos ingenieros de la empresa VMW, representantes del Gobierno de Flandes (Bélgica), profesionales de la Dirección de Obras Hidráulicas (DOH) y del Centro del Agua CAZALAC, a distintas áreas de la Comuna de la Higuera en la Región de Coquimbo, se analizaron varias alternativas de colaboración. Finalmente se optó por desarrollar un proyecto destinado a proveer de agua potable a Isla Damas, que forma parte de la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, que administra la Corporación Nacional Forestal de Chile (CONAF), área en la cual no existía una solución de provisión de agua potable destinada al consumo humano.

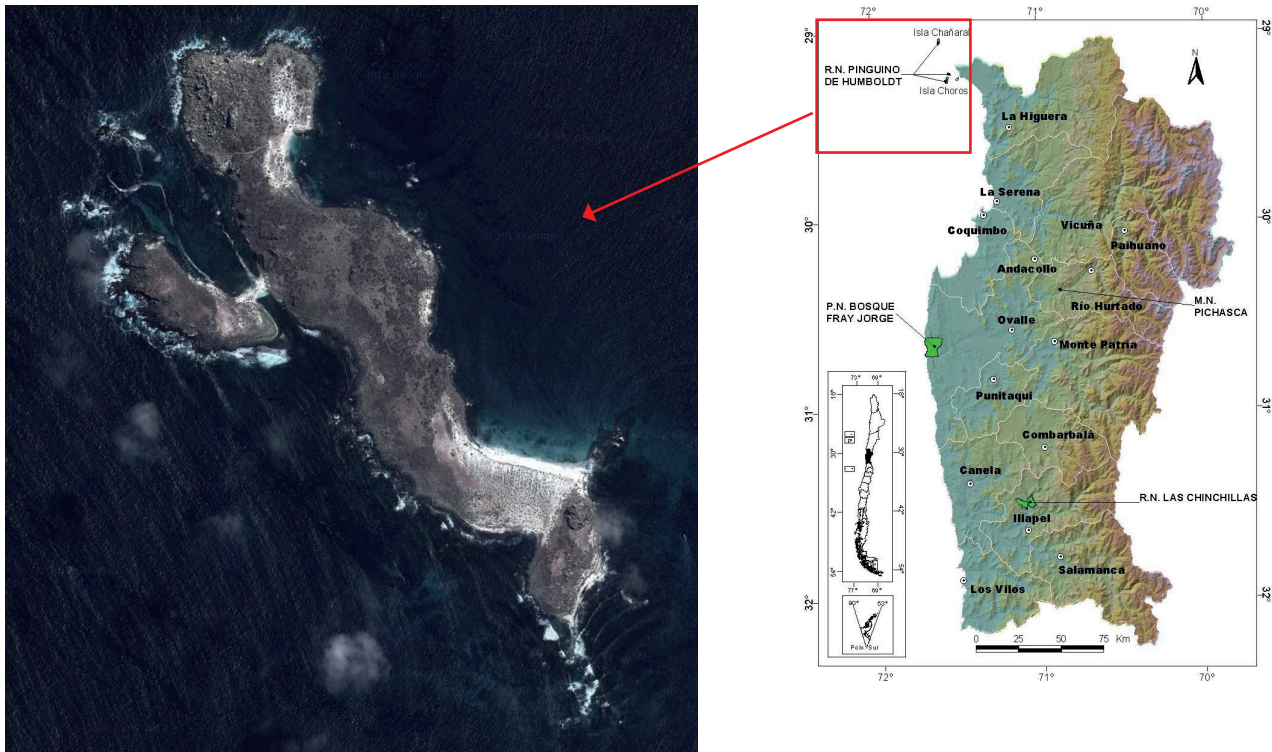
Por su parte, y teniendo en consideración el interés de la empresa VMW en financiar y apoyar técnicamente el tratamiento del agua de mar por un sistema de osmosis inversa, el Gobierno Regional de Coquimbo a través del Fondo para Innovación y la Competitividad (FIC), decidió financiar el proyecto asumiendo los costos de implementación involucrados que incluyen el sistema de aprovisionamiento de energía fotovoltaica, parte de la planta de osmosis inversa y todas las obras anexas destinadas al buen funcionamiento del sistema.

La institución receptora de esta obra, es la Corporación Nacional Forestal (CONAF), quien hará un uso racional y permanente del equipamiento e instalaciones, estando a cargo de su operación y mantenimiento según detalla documento de traspaso.

Localización del proyecto

El proyecto se sitúa territorialmente en la Isla Damas perteneciente a la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, área administrada por CONAF, incorporada al Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado – SNASPE, y se ubica a unos 6 Km de la caleta de Punta de Choros, en dirección oeste. El objetivo central de esta unidad es la conservación de su medio ambiente y las especies asociadas a los diferentes ecosistemas existentes, en este marco, los servicios básicos a instalar, como lo es el agua para el consumo humano, debe respetar estos principios expuestos, así como dar solución y facilidades de acceso al agua potable en el tránsito y la permanencia de guardaparques, investigadores y población visitante de la isla.

Figura N° 1. Localización del proyecto



Fuente: Imagen, Google Earth y cartografía regional, Gobierno Regional Coquimbo. 2010-2012.

Descripción del territorio

La Isla Damas, en conjunto con la Isla Choros e Isla Chañaral, pertenece a la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt¹, ubicadas en el límite occidental entre las regiones de Atacama y Coquimbo. En ellas habita una gran variedad de fauna, entre las que destaca el Pingüino de Humboldt, endémica de la corriente que le da el nombre y que nidifica en estas islas. El hecho de que haya pingüinos en esta zona es algo absolutamente excepcional; esta especie es propia de aguas muy frías, y sólo por la corriente de Humboldt es posible que puedan habitar en un lugar tan inusual como éste, a pocos kilómetros del desierto más árido del planeta. También existe una importante colonia de, entre otras especies de interés: Lobos marinos, chungungos, pingüinos magallánicos, yacas y delfines nariz de botella².

La Isla Damas tiene una superficie de 60,3 hectáreas, es la única Isla de la Reserva donde es posible el desembarco, posee además dos playas, La Poza y Las Tijeras, ambas de arenas blancas, las que son un buen panorama para los turistas, por sus aguas verde esmeralda de características transparentes y apacibles. Asimismo, cuenta con 1.800 metros de senderos de excursionismo, que los visitantes pueden recorrer a fin de admirar y fotografiar las especies vegetales y animales protegidas.

El clima de la Reserva es el característico de la franja costera del Desierto de Atacama. Según los criterios climáticos de Koeppen 1948, corresponde a un clima de Desierto Costero templado uniforme con nubosidad abundante. Todos los meses del año se registran entre 10° y 20° C, con una oscilación media que alcanza los 7,5° C.

¹ Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, creada el 3 de Enero de 1990, conformada por tres Islas: Choros, Damas y Chañaral. La superficie que ocupan las tres islas que la forman es de 888,7 hectáreas.

² Es importante señalar, que aledaño a esta Reserva Nacional, se encuentra la Reserva Marina la que se extiende aproximadamente una milla alrededor de cada Isla, por lo tanto, toda actividad recreativa que se desarrolle en esta franja marina debe estar supeditada a las normas y exigencias del Plan de Manejo de la Reserva Marina

Las precipitaciones son escasas, registrándose no más de 25 mm anuales, salvo en años que se hace presente el fenómeno del Niño, oportunidades en que ocurren eventos de alta pluviosidad, provocando el llamado "Desierto Florido". Según el Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC 2010), la zona se clasifica bajo el régimen hídrico Árido, con un periodo seco que va de los 9 a 10 meses.

La riqueza de su flora está representada por 59 especies de plantas vasculares entre las que destacan Añañucas amarillas, Lirios (*Alstromeria philippi*), *Eulichnia acida* var. *Procumbens* y otras.

En tanto, su fauna, todas especies protegidas y en categorías de conservación, asciende a 68 especies de vertebrados terrestres. Entre los cuales se destacan los mamíferos como el Chungungo, Lobo de un pelo y Lobo de dos pelos, las aves, abundantes en número, entre ellas el Pingüino de Humboldt, el Yunco, el Cormorán Lile y el Guanay. A esto se suman los mamíferos marinos, que están representados por los Delfines Nariz de Botella y la presencia esporádica de Ballenas y Cachalotes³.

Respecto a la presencia de agua en la isla no existen cursos de agua superficial, tampoco vertientes y sus suelos son mayormente arenosos y pedregosos.

La población asociada a la isla en su entorno inmediato, está reunida en dos caletas de pescadores: Caleta Los Choros y Caleta Punta de Choros (750 habitantes), las que en conjunto con la Reserva, y su camino de acceso constituyen el área de influencia del proyecto.

Por su parte, desde el año 2005, la Subsecretaría de Pesca - SUBPESCA, declara la "Reserva Marina Choros-Damas", que comprende la zona de mar de una milla náutica (1.852 metros) en torno al perímetro costero de las islas Damas y Choros.

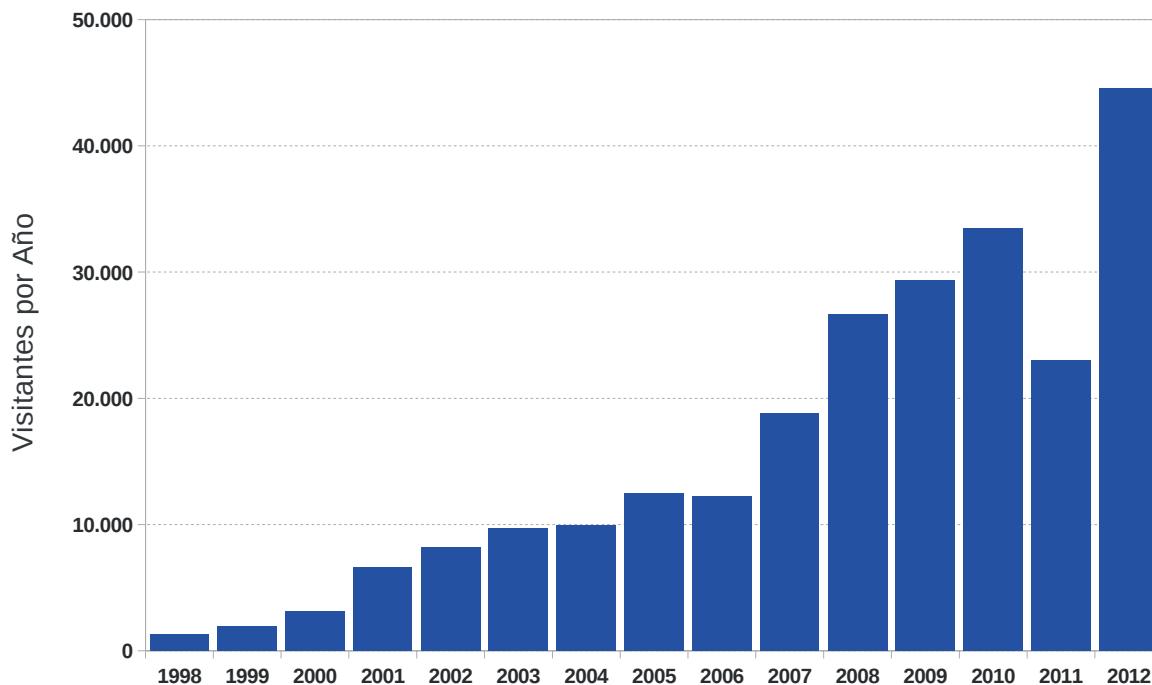
³ Referencia página web: http://www.conaf.cl/parques/ficha-reserva_nacional_pinguino_de_humboldt-21.html

III. Planteamiento del Problema

La Reserva Nacional Pingüino de Humboldt, se erige como centro turístico de relevancia, con un flujo de visitantes que ha ido en aumento durante los últimos años, llegando a 44.500 visitantes durante el año 2012 (ver figura N°2), por lo que el disponer de servicios básicos para el turismo y otros usuarios, se convierte en una necesidad fundamental, que contribuya a compatibilizar la misión de conservación, pero al mismo tiempo de educación y difusión de la reserva, estableciendo un escenario propicio para la sostenibilidad de su actividad turística y de conservación. Asimismo, es posible observar que sobre un 65% de las visitas anuales se da en el periodo comprendido por los meses de enero y febrero (ver Figura N°3), en los cuales la necesidad de contar con agua potable en el lugar se incrementa sustancialmente.

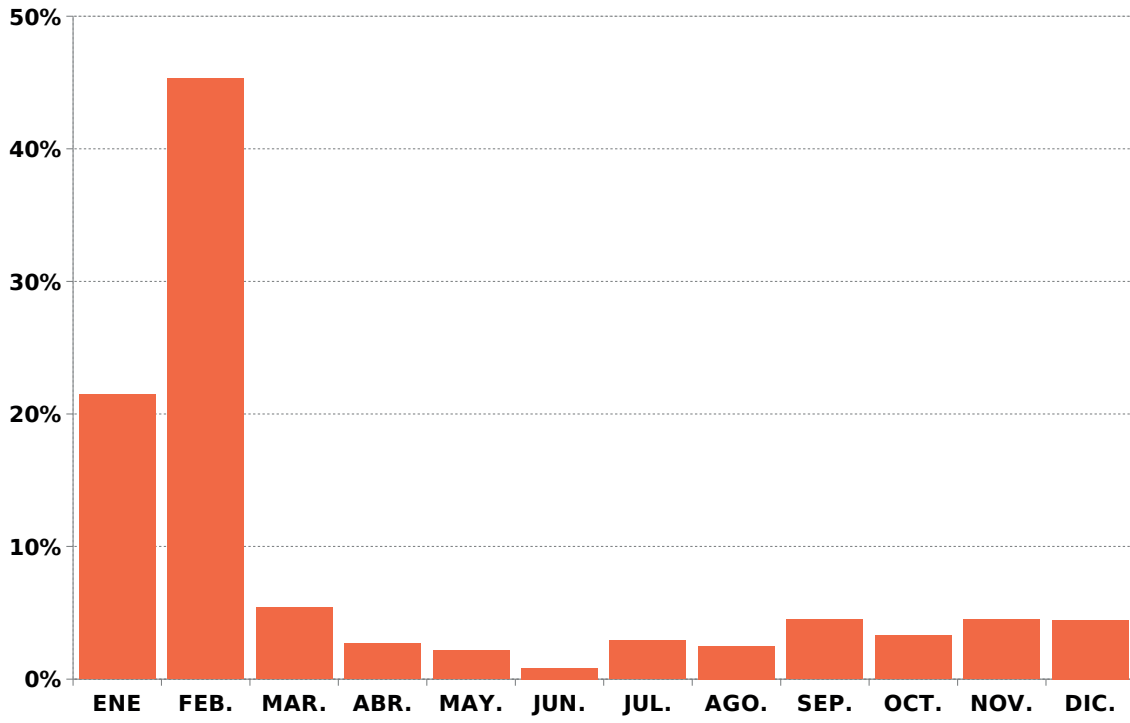
Actualmente la Isla Damas no dispone de un sistema de provisión de agua potable para el consumo humano. Para cubrir sus necesidades, los visitantes, los guardaparques de CONAF, así como el personal científico que eventualmente permanece por algunos períodos en la isla, deben transportar su propia agua de consumo. Adicionalmente, en su calidad de pequeña isla, esta no cuenta con fuentes de agua natural a partir de cursos superficiales o vertientes que provean del vital elemento. Es en virtud de esto, que este proyecto responde tanto a las expectativas de la comunidad local, turistas y visitantes, así como a la Institución CONAF, ante la necesidad de realizar esfuerzos para enfrentar la falta de agua potable en el lugar.

Figura N° 2. Visitas anuales a Isla Damas (periodo 1998 – 2012)



Fuente: Corporación Nacional Forestal (CONAF). 2012.

Figura N° 3. Distribución mensual de visitantes (periodo 1999 – 2012)



Fuente: Corporación Nacional Forestal (CONAF). 2012.

IV. Población Beneficiada

La población beneficiada por este proyecto de forma directa, son los visitantes, amantes de la naturaleza, investigadores y guardaparques que acceden a Isla Damas regularmente durante todo el año, y que por tanto requieren de abastecimiento de agua potable en un lugar que actualmente no lo posee, evitando así que transporten y almacenen su propia agua de consumo.

El número de visitantes que ingresó a la Reserva, durante el año 2010, 2011 y 2012 alcanzó a 33.481, 22.993 y 44.557 personas, respectivamente. A lo cual debemos sumar la constante presencia de cuatro guardaparques en la isla, más numerosos monitores turísticos de CONAF en el período estival.

Mientras que los beneficiarios indirectos son pertenecen a la comunidad de Punta de Choros, la cual contiene aproximadamente 750 habitantes. Entre estos destacan principalmente pescadores, y también emprendedores, quienes han desarrollado pequeñas iniciativas en el sector turístico (Guías de excursión, conductores de barcos, propietarios de restaurantes, alquiler de instalaciones de campamento, etc). Todos ellos se verán beneficiados por la implementación del proyecto al mejorar las condiciones del lugar, repercutiendo positivamente en su actividad económica.

V. Objetivo del Proyecto

En virtud de los antecedentes expuestos, el Objetivo General de la iniciativa busca dar solución al aprovisionamiento de agua potable en la Isla Damas, para lo cual plantearon las tareas principales de diseñar, instalar y evaluar un sistema osmosis inversa alimentado con Energía Fotovoltaica que sea autosustentable energéticamente y que no afecte las condiciones medioambientales del entorno.

Por su parte, los objetivos específicos del proyecto apuntan a dar cumplimiento a una serie de aspectos de la iniciativa que tienen que ver no solo con dar solución al problema puntual de Isla Damas, sino que además establecer una experiencia replicable en otros escenarios similares de la zona centro norte del país, que cuentan con una baja disponibilidad de recursos hídricos y nulo acceso a fuentes de energía convencionales. Estos objetivos son:

- Diseñar un sistema de desalación de agua de mar mediante Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica.
- Instalar el sistema de desalación de agua de mar diseñado y adaptado a los requerimientos particulares de la demanda en Isla Damas.
- Brindar entrenamiento a los operadores del sistema y difundir los resultados de la experiencia con especial énfasis en los principales aspectos del diseño, instalación, operación y mantención del sistema de Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica.
- Establecer un programa de mediano plazo a fin de evaluar el funcionamiento y desempeño de la planta mediante indicadores energéticos y económicos.

VI. Iniciativa Innovadora

El proyecto propone una innovación tecnológica para el medio chileno posible de replicar en otras zonas del país bajo condiciones similares, donde actualmente no existe una fuente de abastecimiento de agua para consumo humano y sin acceso a fuentes convencionales de energía eléctrica.

Para conseguir los objetivos de abastecimiento de agua potable, se aplican dos tecnologías limpias y eficientes como es la desalación por medio de osmosis inversa, y la provisión de energía para el proceso a través de paneles fotovoltaicos.

El proyecto contribuye así a dotar de agua potable a los visitantes de un territorio insular, mejorando la calidad de la atención de los turistas que ingresan a la Reserva, y del personal de CONAF y otras entidades públicas que tienen que ver con su administración.

VII. Marco Teórico

Desalación a partir de Osmosis Inversa

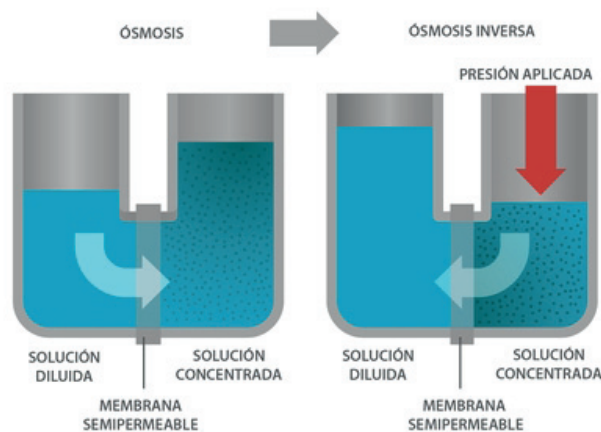
La desalación de agua de mar⁴ ha demostrado ser una tecnología fiable y económicamente sostenible para la obtención de agua potable a partir de la segunda mitad del siglo XX, siendo la única alternativa posible de abastecimiento de recursos de agua para el consumo humano e industrial, para el desarrollo de numerosas regiones del mundo, como algunas áreas en las Islas del Caribe, Estados Unidos, Chipre, India, Australia, China, las costas del Mediterráneo, África, el Oriente Medio, entre otras.

Pero ¿En qué consiste este método? La desalación se puede realizar mediante diferentes técnicas como la destilación, la congelación, la evaporación instantánea o la formación de hidratos. Sin embargo, en la actualidad el método de osmosis inversa es el más utilizado y extendido.

La Osmosis es un proceso natural que ocurre en los tejidos de plantas y animales. De forma esquemática se puede decir que cuando dos soluciones con diferentes concentraciones (formadas por un solvente y un soluto disuelto en el solvente), se unen a través de una membrana que permite el paso del solvente pero no del soluto, existe una circulación natural del solvente a través de la membrana, desde la solución menos concentrada hacia la de mayor concentración. La diferencia de altura obtenida se traduce en una diferencia de presión, llamada presión 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 el solvente desde la solución más concentrada y a la solución con menor concentración, obteniendo finalmente un agua de pureza admisible.

Figura Nº 4. Proceso de Osmosis Inversa.



Fuente: http://www.aguassanpedrodeatacama.cl/?page_id=922

⁴ ¿Qué es la desalación o desalinización?. Esta se define como cualquier proceso por el cual, el contenido de sal del agua se reduce lo suficiente para hacerla apta para consumo humano y usos industriales u otros específicos. UNESCO-ONU. Ciencias Naturales, Agua. Glosario de términos. 2012. Disponible en: <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/>

Proceso de desalación:

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

a) Captación del agua marina o salobre:

Lo primero es la obtención del agua bruta, ya sea agua marina o bien agua proveniente de fuentes superficiales o subterráneas con altos contenidos salinos. Independiente de la fuente que se trate, tuberías conducen el agua hasta la costa o el lugar de emplazamiento de las instalaciones, donde es impulsada por una estación de bombeo a la planta desaladora.

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 líquido, 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 es retenido, 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 $\text{pH}=8$ y deberá reducirse a un $\text{pH}<7$) 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 fisicoquímicas óptimas para ser introducidas en las membranas de Osmosis, ya que éstas son muy sensibles. Con este procedimiento las aguas ya tendrían que tener un SDI⁵ igual a 3 con lo que se evita que las membranas se dañen.

c). Osmosis Inversa:

En esta etapa, una o más bombas de alta presión impulsan el agua hacia las membranas que producirán, por el fenómeno de osmosis inversa, las aguas resultantes de este proceso. En términos generales, a partir del agua de alimentación se obtiene entre un 40% y un 45% de agua producto, a la que se le añade una base (hipoclorito sódico) que estabiliza su pH entorno a 7 y además gracias a sus propiedades actúa como desinfectante, convirtiéndola así en agua apta para su uso o consumo. Por otro lado entre un 55% y un 60% del agua impulsada para a convertirse en salmuera, que es el agua con alta concentración de sales que será nuevamente enviada al mar (a través de un emisario submarino por gravedad), u otra área de disposición.

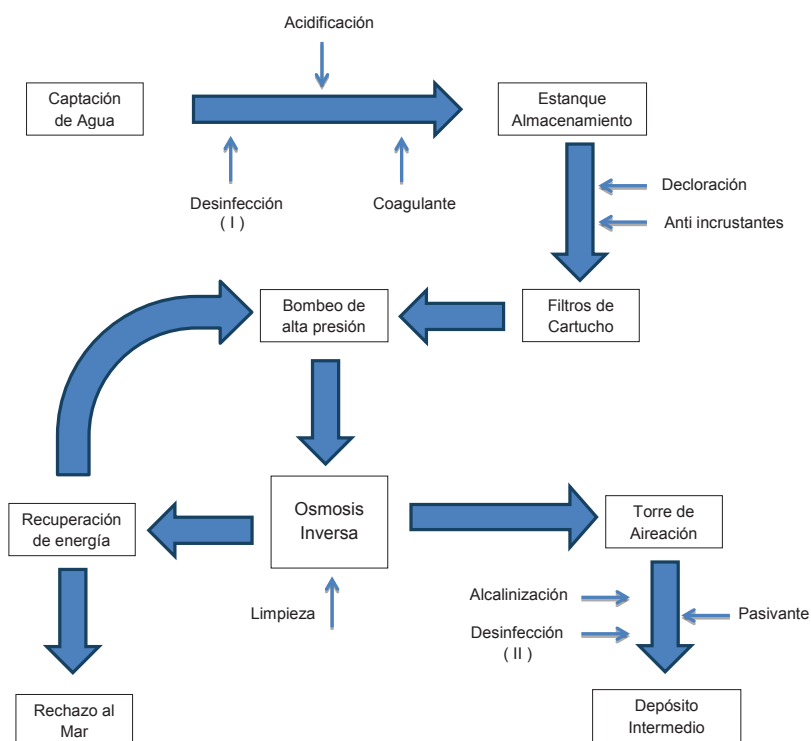
⁵ Índice de Densidad Silt (SDI) es una medida del potencial de ensuciamiento de sólidos suspendidos. Enlace: <http://www.lennotech.com/sdi.htm>

Cuando se trata de plantas mediana o grandes se hace pasar esta agua de rechazo por un sistema de turbinas donde se aprovecha su energía residual (presión), disminuyendo así el consumo energético. Hay que recalcar que el agua en las actuales plantas desaladoras puede pasar por una segunda etapa de Osmosis Inversa.

El agua resultante pasa a un depósito de almacenaje, donde, de ser necesario, se le añaden minerales de modo que mejore su calidad para el consumo humano según las normas sanitarias vigentes.

La particularidad del sistema de desalación con sistema de osmosis inversa es que requiere de un suministro constante de energía para evitar la degradación de sus membranas. Por este motivo los sistemas híbridos con base en las energías renovables pudiesen ser la clave para el éxito de este tipo de plantas.

Figura Nº 5. Proceso general desalación por osmosis inversa.



Fuente: <http://www.emagister.com/curso-agua-desalacion-2-4/descripcion-proceso-osmosis inversa>

Experiencias de desalación en el mundo

Las primeras nociones de cómo quitarle la sal al agua de mar datan de la antigüedad, de los tiempos de Aristóteles, cuando la desalación por evaporación se comienza a transformar en un proceso conocido. Aristóteles observando la naturaleza captó los principios físicos para separar el agua y las sales en los que se basan ciertas tecnologías modernas de la desalación que tienen que ver con el evaporar el agua del mar y después condensar el vapor, obteniendo agua dulce en estado líquido.

Mucho tiempo después, en el siglo XVI, los árabes ponen nuevamente este tema en el tapete probando otra alternativa: la desalación por destilación, que cerca de 300 años después se posiciona como una tecnología de uso relativamente común en barcos y en aplicaciones militares y mineras. Pero los avances siguieron y en el siglo XVII, Sir Francis Bacon empieza a experimentar con la desalinización por filtración⁶.

Sin embargo, es en el siglo XVIII cuando se plasma uno de los grandes hitos tecnológicos en este campo: la filtración con membranas, reconociéndose también el fenómeno de Osmosis a través de membranas naturales. Las primeras aplicaciones de este novedoso sistema se desarrollan en el siglo siguiente.

Según antecedentes de la Asociación Internacional de Desalinización (AID), la primera planta desalinizadora que operó en el continente americano fue la de Key West, en el estado de Florida, USA, en 1861. Producía 27 m³/día por destilación en un sólo efecto. A esa altura ya se conocía y aplicaba otra tecnología en este rubro, denominada evaporación de múltiple efecto (ME), patentada en 1840 para la industria del azúcar y utilizada extensivamente antes del término del siglo XIX.

Posteriormente, ya en el Siglo XX, en la década de 1960, investigadores de Estados Unidos y Japón principalmente, desarrollaron membranas semipermeables con fines industriales las que pronto comenzaron a ser usadas para desalación por osmosis inversa. Así, ya en los años 70, los promotores de plantas desaladoras adoptaron la osmosis inversa como técnica preferente.

Actualmente más de 150 países en el mundo emplean la desalación de agua de mar para solventar sus necesidades. Entre los países que más utilizan esta tecnología destacan Arabia Saudita, Emiratos Árabes Unidos, Estados Unidos, España, Kuwait, Argelia, China, Qatar, Japón y Australia.

Cuadro N°1. Ranking mundial de los diez países con mayor capacidad para desalar agua.

Países	Capacidad (m ³ /día)	Porcentaje de la producción mundial
1. Arabia Saudita	10.598.000	17
2. Emiratos Árabes Unidos	8.743.000	14
3. Estados Unidos de América	8.344.000	14
4. España	5.428.000	9
5. China	2.553.000	4
6. Kuwait	2.390.000	4
7. Katar	2.049.000	3
8. Argelia	1.826.000	3
9. Australia	1.508.000	2
10. Japón	1.153.000	2

Fuente: Informe: "2008-2009 Desalination Yearbook", elaborado por la Asociación Internacional de Desalación (IDA) y la publicación inglesa Global Water Intelligence (GWI).

⁶ Informe "Desalación como alternativa al Plan Hidrológico Nacional (PHN) de España". CIRQUE - Universidad de Zaragoza. 2001. Enlace al documento. <http://circe.cps.unizar.es/spanish/isgwes/spain/desala.pdf>

De entre todos los países que emplean la desalación como una fuente de recursos hídricos, Oriente Medio lidera los primeros puestos en cuanto a la capacidad de producción, seguido muy de cerca por Estados Unidos y España⁷.

El uso de las tecnologías de desalación, para producir un suministro fiable de agua dulce, ha experimentado un notable crecimiento en los últimos años. Estas tecnologías se han empleado de forma creciente para hacer frente a la gran sequía mundial y a la búsqueda de nuevas fuentes de agua dulce. Cabe recordar que, según datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que el 11% de la población mundial no tiene acceso al agua potable, y 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 disponibles⁸.

Experiencias de desalación en Chile

Según la Asociación Internacional de Desalinización (AID)⁹, Chile fue un país pionero en el empleo de la desalinización en todas las formas a partir del Siglo XIX. De hecho, en la Guerra del Pacífico el Ejército Chileno ocupó las llamadas "resecadoras" para abastecer a sus tropas de agua potable. Mientras que otras formas de obtener agua limpia fue una planta de destilación solar de una explotación minera: las Salinas de Chile (Handbury, Hodgkiess y Morris, 1993), en donde se logró realizar el proceso de purificación del agua. Su rendimiento era ínfimo (20 m³ producidos en una extensión de 4.000 m²), pero era la primera forma de obtener agua dulce para el abastecimiento de la población minera en un lugar remoto y árido, como lo es el norte de Chile.

A nivel de grandes centros urbanos, actualmente Antofagasta, Taltal y Arica cuentan con plantas desaladoras para abastecer a parte de sus habitantes del vital elemento. En la capital de la Región de Arica y Parinacota, una empresa privada procesa agua de pozos subterráneos y su alcance es limitado, por lo que se proyecta la construcción de una instalación mucho mayor, con aportes del Estado, que permitirá asegurar la entrega del recurso en toda la zona. En Antofagasta, ciudad capital de la Región del mismo nombre, también se levanta una segunda planta, adicional a la ya existente, que cubra la demanda del 40% de la población que actualmente aún no se abastece con agua desalada, y que también provea a la cercana ciudad de Tocopilla.

Por su parte, algunos de los sistemas de Agua Potable Rural (APR), cuentan desde el año 1998 con esta tecnología. La primera planta de Osmosis Inversa en los APR fue instalada en San Pedro de Atacama, Región de Antofagasta. Actualmente existen 18 plantas instaladas con esta tecnología, ubicadas en las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta, Atacama, Coquimbo y Aysén.

A estas experiencias se agregan los múltiples proyectos que desarrolla la industria minera para instalar plantas desaladoras para provisión de agua industrial para sus faenas. Ejemplo de esto es lo que ocurre con la planta que Minera Escondida opera en el sector de puerto Coloso, en la Región de Antofagasta, donde la compañía pretende ampliar su infraestructura y capacidad para poder cubrir la demanda de agua de su proyecto Lixiviación de Sulfuros. En desarrollo, en tanto, hay iniciativas similares para Minera Candelaria, la división Mantoverde de Anglo American y Minera Doña Inés de Collahuasi cerca de Iquique. También con el objetivo de contribuir a suplir las necesidades hídricas de procesos productivos propios y externos, el Grupo CAP y Aguas Barcelona (Agbar), además de Minera El Morro de Goldcorp avanzan en planes de inversión del mismo tipo en la Región de Atacama.

⁷ Informe: "2008-2009 Desalination Yearbook", elaborado por la Asociación Internacional de Desalación (IDA) y la publicación inglesa Global Water Intelligence (GWI).

⁸ Informe: "Progress on drinking water and sanitation. 2012". OMS. 2012. Página web: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2012/jmp_report/en/index.html

⁹ Página web de la entidad: <http://www.idadesal.org/default.aspx>

Figura N°6. Plantas desaladoras en las regiones del norte de Chile.



Fuente: Presentación Aguas Antofagasta. Sr. Mario González. II Seminario Internacional de Desalación. Antofagasta. 2012

Respecto a iniciativas en la Región de Coquimbo, existen 11 Comités de Agua Potable Rural que cuentan con plantas desaladoras: Cerrillos de Tamaya, San Julian, El Trapiche, Barraza, Porvenir, Tabalí, Barraza Alto-Socos, Alcones Bajos, Chungungo, Puerto Aldea y Caleta de Hornos. De estas, tres sistemas desalan agua de mar o provenientes de pozos cercanos a la costa y el resto tienen como fuente aguas salobres provenientes de pozos en áreas interiores de la Región.

Cuadro N°2. Sistemas de Agua Potable Rural que utilizan sistemas de osmosis inversa.

N°	Región	Comuna	Nombre Sistema	Año Instalación Sistema de Osmosis	Arranques [N°]	Consumo mensual estimado [m3/mes]	Tipo de Fuente	Parámetros a remover
1	ARICA Y PARINACOTA	CAMARONES	ILLAPATA	2004	45	394	CANAL (RÍO CAMARONES)	ARSÉNICO
2	TARAPACÁ	HUARA	TARAPACÁ	2005	350	2.400	POZO NORIA	CLORUROS SULFATOS STD ARSÉNICO
3	ANTOFAGASTA	SAN PEDRO DE ATACAMA	SAN PEDRO DE ATACAMA	1998	1.402	16.790	POZO	CLORUROS Y ARSÉNICO
4	ATACAMA	COPIAPO	TOTAL	2004	73	701	POZO	CLORUROS
5	ATACAMA	FREIRINA	CARIZALILLO - C. CHAÑARAL DE ACEITUNO	2001	223	2.141	POZO	CLORUROS
6	ATACAMA	HUASCO	CARRIZAL BAJO	2001	212	2.035	POZO	CLORUROS
7	COQUIMBO	OVALLE	CERRILLOS DE TAMAYA	2003	907	8.650	POZO	CLORUROS
8	COQUIMBO	OVALLE	SAN JULIAN	2003	192	1.843	POZO	CLORUROS
9	COQUIMBO	OVALLE	EL TRAPICHE	2003	130	1.258	POZO	CLORUROS
10	COQUIMBO	OVALLE	BARRAZA	2003	459	4.330	POZO	CLORUROS
11	COQUIMBO	OVALLE	PORVENIR	2011	172	1.548	POZO	CLORUROS
12	COQUIMBO	OVALLE	TABALÍ	2011	148	1.332	NORIA	CLORURO
13	COQUIMBO	OVALLE	BARRAZA ALTO - SOCOS	2011	92	400	POZO	CLORUROS
14	COQUIMBO	OVALLE	ALCONES BAJOS	2011	120	450	NORIA	CLORURO
15	COQUIMBO	LA HIGUERA	CHUNGUNGO	2005	270	2.602	AGUA DE MAR	SALES
16	COQUIMBO	COQUIMBO	PUERTO ALDEA	2004	93	854	NORIA	CLORUROS
17	COQUIMBO	LA HIGUERA	CALETA DE HORNOS	1999	363	3.466	POZO	CLORUROS
18	AYSÉN	PUERTO AYSÉN	ISLAS HUICHAS	2008	317	2.880	AGUA DE MAR	SALES

Fuente: Dirección de Obras Hidráulicas. 2012

Energías Renovables No Convencionales (ERNC)

Se denomina energía renovable a la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales¹⁰.

Dentro de autores especialistas que han dado definiciones para el término de energías renovables, como Twidell y Weir, esta es "energía que se obtiene a partir de corrientes de energía continuas y recurrentes en el mundo natural", mientras que para Sorensen es todo "flujo energético que se restablece al mismo tiempo al que se utiliza" o también, "el uso de cualquier depósito de energía que se rellena a la velocidad comparable a la que es extraída"¹¹.

Para identificar a las energías renovables no convencionales (ERNC) podemos señalar que se incluyen todas aquellas energías renovables (solar, eólica, biomasa, entre otras), las cuales no contaminan y son respetuosas con el medio ambiente. Por esta razón la energía hidroeléctrica no es incluida ya que tiene fuertes impactos ambientales al utilizar grandes embalses artificiales que hacen desaparecer ecosistemas completos.¹²

¹⁰ Educación Medioambiental. José Manuel Casas, Francisca Gea y otros. Editorial Club Universitario. España. 2007.

¹¹ Energías Renovables. Jaime González Velasco. Editorial Reverte. Barcelona. España. 2009.

¹² Sin embargo según la ley 20.257 de ERNC identifica a la energía hidroeléctrica como no convencional, sólo si la capacidad de producción de energía no sobrepasa los 20.000 Kilowatts (pequeñas centrales eléctricas).

Para la Comisión Nacional de Energía (CNE) estas energías “se caracterizan porque en sus procesos de transformación y aprovechamiento en energía útil no se consumen ni se agotan en una escala humana”¹³ (Para mayor detalle sobre las diversas fuentes de ERNC, ver anexos).

En términos globales las energías renovables proveen el 17% de la energía primaria a nivel mundial, donde las “nuevas renovables”¹⁴ contribuyen con un 2% del total. Según la Internacional Energy Agency (IEA), esta cantidad podría triplicarse hacia el 2030, llegando a un 6%.

Para el caso Chileno, el potencial de las diferentes fuentes ERNC, estimados en varios miles de MW, recién está empezando a cobrar su importancia en la política energética del país. En términos de la participación de las ERNC en el sistema eléctrico, considerando tanto el Sistema interconectado central (SIC) como el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), está compuesta en un 3% de participación de ERNC, 34% de hidroelectricidad y 63% de generación térmica. Teniendo como meta, según datos del Ministerio de Energía (Chile)¹⁵, un 10% de ERNC al 2024 (en los marcos nominales comprendidos por la ley 20.257 de fomento a las Energías Renovables No Convencionales).

Energía Solar Fotovoltaica

A partir del contexto antes descrito y dadas las ventajas naturales que existen en la zona norte del país, la energía solar se constituye como una fuente altamente confiable. Es en esta zona donde se encuentra emplazado el presente proyecto y este tipo de energía la que se utilizará para el sistema de desalación implementado. Por esta razón, profundizaremos en este tipo de energía.

Es necesario precisar que la energía solar fotovoltaica es la que se obtiene a partir de la conversión de energía luminosa del sol, mediante la transformación de esta en electricidad (corriente continua) por medio de células fotovoltaicas integrantes de módulos solares. Esta electricidad se utiliza de manera directa, o bien se almacena en acumuladores para un uso posterior. Asimismo, otra opción frecuentemente utilizada en ciertos países donde el uso de esta tecnología ha tenido un gran desarrollo, es introducir la energía directamente, mediante los dispositivos de conversión adecuados, en la red de distribución eléctrica¹⁶.

Los sistemas fotovoltaicos se constituyen de una serie de componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos que concurren para captar la energía solar disponible y transformarla en utilizable como energía eléctrica.

Estos sistemas independientes de su tamaño y utilización se pueden clasificar en 3 categorías: aislados con y sin baterías (comúnmente utilizados en zonas rurales o islas), conectados a la red y tercero, los híbridos (combinados con otros tipos de generación eléctrica).

Los componentes para un sistema aislado de energía fotovoltaica, como el sistema implementado en el proyecto, posee los siguientes componentes:

- a.- Módulos fotovoltaicos: Dispositivos cuyo fin es la captación de la energía solar y su transformación en energía eléctrica.
- b.- Regulador de carga: Aparato que controla el proceso de carga de energía en los acumuladores, además de proteger a estos de un exceso de carga y de su descarga por exceso de uso.
- c.- Sistema de acumulación: Dispositivo o dispositivos que almacenan la energía eléctrica producida por el generador fotovoltaico, a fin de poder utilizar esta en períodos en el que la demanda exceda la capacidad de producción de los módulos fotovoltaicos.

¹³ Página web: www.cne.cl

¹⁴ Otro nombre que se otorga al término de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), la cual excluye a la energía hidráulica de gran escala.

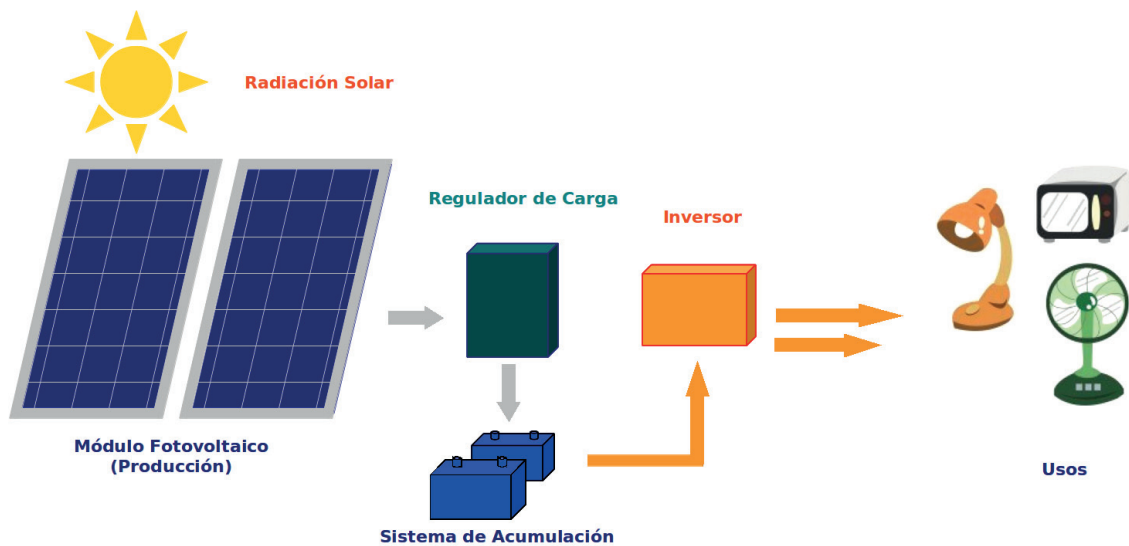
¹⁵ "Estrategia Nacional de Energía 2012 – 2030". Ministerio de Energía. Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 2012

¹⁶ Energía Solar Fotovoltaica (2ª edición). Javier María Méndez Muñoz – Rafael Cuervo García. Editorial FC. Madrid, España. 2007.

d.- Inversor o acondicionador de la energía eléctrica: Es la componente del sistema encargada de transformar la corriente continua producida por el generador fotovoltaico o el sistema de acumulación, en corriente alterna, la que es entregada a los dispositivos de distribución o uso final de la energía producida.

e.- Elementos de protección del circuito: Dispositivos que protegen la descarga y derivación de elementos en caso de fallo o situaciones de sobrecarga.

Figura N°7. Esquema Sistema Fotovoltaico Aislado.



Fuente: Elaboración propia.

Los usos de los sistemas fotovoltaicos autónomos son diversos, por ejemplo: para dotación de energía en viviendas rurales; suministro de energía para elevación de agua (potable y riego principalmente); telecomunicaciones (repetidoras de señal, telefonía móvil); tratamiento y desalación de agua; señalización marítima y terrestre; alumbrado público y conexiones a la red. Asimismo, estos sistemas también pueden conformar granjas fotovoltaicas, y estar conectados a la red eléctrica interconectada.

Entre las ventajas que presenta este tipo de energía se cuentan: el escaso impacto ambiental que producen; nula producción in situ de residuos perjudiciales para el ambiente; constituye una fuente de energía inagotable y gratuita; presenta costos bajos de mantenimiento y larga duración de paneles solares; es de instalación sencilla; no existe dependencia con compañías suministradoras de energía; es un sistema de aprovechamiento de energía idóneo para zonas donde el tendido eléctrico no llega (zona rural e islas); es posible aumentar la potencia instalada y la autonomía de la instalación incorporando nuevos módulos y baterías; y el costo disminuye a medida que la tecnología va avanzando (cabe recordar que el costo de los combustibles convencionales aumenta, dado que estos son finitos).

Entre las desventajas de estos sistemas se encuentran principalmente que: el nivel de radiación fluctúa de una zona a otra y de una estación del año a otra, inclusive dentro del día; para recolectar energía solar a gran escala se requieren grandes extensiones de terreno; requiere de importante inversión inicial; generalmente se debe complementar este método de obtención de energía con otras fuentes convencionales; impacto visual negativo si no se procura la integración de los módulos solares con el entorno.

Energía Solar Fotovoltaica en el Mundo

El desarrollo y masividad que han conseguido los sistemas fotovoltaicos se comenzó a fraguar en la década de los 70', a partir de la creación de una célula solar mucho más barata que reducía el costo por vatio de 100 a 20 dólares. Para ello, empleó un compuesto de silicio con un grado de pureza menor y unos materiales encapsulantes más económicos¹⁷.

Esta importante rebaja de los costos cambió totalmente la situación e hizo posible que el empleo de esta tecnología comenzara a ser económicamente viable en instalaciones aisladas de la red eléctrica, lo cual contribuyó a hacerla más accesible para la población.

Posteriormente y hasta la actualidad, a igual potencia instalada, los valores de los módulos fotovoltaicos se redujeron en cerca del 50%, y los precios de turbinas eólicas terrestres alrededor del 10%. Estos cambios en los precios han traído como consecuencia que estas dos tecnologías, líderes en energías renovables, compitan con otras alternativas de combustibles fósiles como son el carbón y el gas.

Por su parte, en el último tiempo, la generación de energía solar sobrepasó a la energía eólica pasando a convertirse en la tecnología de energía renovable de preferencia para los inversionistas globales en el 2011¹⁸.

Estos factores unidos al incentivo por parte de algunos gobiernos hacia la generación e implementación de este tipo de soluciones tecnológicas, lo cual se refleja en el apoyo estable a través de subsidios y a la aplicación de rebajas de precios de producción, han provocado un importante impulso a la generación de electricidad a partir de la energía solar en los últimos años.

Energía Solar Fotovoltaica en Chile

Según estándares internacionales la potencia de la radiación varía según el momento del día; las condiciones atmosféricas que la amortiguan y la latitud. Se puede asumir que en buenas condiciones de radiación el valor es de aproximadamente 1.000 W/m² a nivel de la superficie terrestre.

Estudios internacionales estiman que el potencial bruto de capacidad instalable, que posee Chile para generación de energía eléctrica a partir de energía solar es de 100.000 MW [USM, 2008].

Sin embargo, a pesar de la existencia de sectores con gran cantidad de radiación solar incidente en el país, en la actualidad el desarrollo industrial de la energía solar en Chile es aún incipiente, siendo las aplicaciones de pequeña escala de sistemas fotovoltaicos y de colectores solares, las que se han posicionando como la alternativa más utilizada.

Para el caso de la Región de Coquimbo existe una radiación solar estimada de 1.807 [kWh/m² año], lo cual permite que una planta fotovoltaica pueda operar en rangos cercanos a su máxima eficiencia, pues estas necesitan una radiación de 1.000 [kWh/m² año] para funcionar.

Respecto a los proyectos de generación eléctrica, al mes de agosto de 2012 se encuentra en marcha la primera etapa de una planta solar en Calama construida para entregar energía a CODELCO; y desde fines de 2012, en la comuna de Vicuña en la Región de Coquimbo, se encuentra emplazada la planta fotovoltaica "Tambo Real Kaltemp" en 2,5 hectáreas en el sector de El Tambo. Por su parte numerosas iniciativas (aún sin construir) se encuentran aprobadas por parte del SEIA y otras más se hallan en el proceso de calificación por parte de la autoridad ambiental¹⁹.

¹⁷ Página web: Sitio solar. www.sitiosolar.com

¹⁸ Reporte de inversión mundial en energías renovables. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (REN21-ONU), Frankfurt School. 2012.

¹⁹ Reporte estado ERNC en Chile. Marzo 2012". Centro de Energías Renovables (CER). Ministerio de Energía - CORFO. Santiago, Chile. Marzo de 2012.

En Chile existen iniciativas que utilizan la energía fotovoltaica a pequeña escala (entre 80 W y 20 kW) para entregar electricidad a viviendas aisladas, estaciones médicas, escuelas y centros comunitarios en zonas rurales. Ejemplo de esto es el proyecto que se desarrolló en la Región de Coquimbo denominado "Instalación de Sistemas de Autogeneración Eléctrica", el cual consistió en la instalación de 3.064 paneles fotovoltaicos para dotar con suministro eléctrico a 3.000 habitantes rurales de escasos recursos de las 15 comunas de la Región de Coquimbo sin acceso a las redes del sistema interconectado. El proyecto además incluyó la provisión y montaje de 96 sistemas de autogeneración de electricidad fotovoltaica y sus respectivas instalaciones interiores para establecimientos en las 15 comunas de la Región, los que comprenden escuelas, postas y sedes sociales.

Plantas desaladoras mediante osmosis inversa con abastecimiento de energía solar fotovoltaica

Como ya se mencionó en capítulos anteriores, la escasez de agua dulce ha impulsado un desarrollo exponencial de la desalación a nivel internacional. Dentro de los procesos de desalación, el de osmosis inversa es el que ha tenido mayor avance debido a su modularidad y a la importante reducción de su costo y de su consumo de energía. Sin embargo, la energía eléctrica utilizada comúnmente en los sistemas instalados, está asociada al consumo de fuentes tradicionales de energía primaria (combustibles fósiles, energía nuclear, etc.), y sus consiguientes impactos ambientales.

En general, la utilización de estos sistemas precisa de la existencia de una red eléctrica de calidad, por lo que su implementación especialmente en lugares con escasez de agua dulce, que se encuentran aislados de la red eléctrica, se efectúa mediante sistemas autónomos alimentados con energías renovables no convencionales, como la energía solar fotovoltaica, los que ofrecen la solución a esta situación.

Sin embargo, existen restricciones como por ejemplo la variabilidad que representa la producción de energía mediante fuentes renovables (especialmente la eólica y la fotovoltaica), lo cual restringe el desarrollo y crecimiento de algunos proyectos. Por este motivo las plantas que se abastecen de este tipo de energía son de menor escala y se orientan a brindar soluciones a comunidades pequeñas.

En términos históricos, el uso de plantas desaladoras abastecidas por energías renovables es una técnica que se ha venido implementando desde hace ya tres décadas, desde el año 1981 cuando se instala en Jeddah, Arabia Saudita, una planta desalinizadora por osmosis inversa abastecida por un sistema Fotovoltaico de 8 kW.²⁰

A nivel internacional, la mayor parte de los sistemas de desalación de agua con energía fotovoltaica ocurren justamente en islas, donde no es posible acceder ni a agua dulce de calidad potable, ni a energía eléctrica convencional (Véase anexos: Ubicación de Proyectos de Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica en el mundo).

La experiencia en Chile nos señala que la aplicación de estos proyectos es aún incipiente, y sólo se tiene registro de una iniciativa que ha visto la luz (2012), como es el proyecto de CODELCO para dotar de agua potable a una comunidad costera de la región de Antofagasta.²¹

²⁰ Para que siga siendo azul". Javier Martín Jiménez. España. 2010. Referencia página web: <http://es.scribd.com/doc/80571450/2/HISTORIA-DE-LA-ENERGIA-SOLAR-FOTOVOLTAICA>

²¹ Referencia página web: <http://www.latercera.com/noticia/negocios/2012/08/655-480291-9-pescadores-artesanales-de-hornitos-operaran-primera-planta-desaladora-de-agua.shtml>

Esta iniciativa favorecerá a más de 30 familias de pescadores artesanales de la localidad de Hornitos, ubicada en la Comuna de Mejillones, los cuales se verán beneficiadas con la construcción de la "Planta de tratamiento de agua de mar", desarrollada con el fin de generar agua potable en esa zona. La iniciativa, que ha demandado una inversión de US\$ 300 mil, operará con energía solar y permitirá purificar diariamente seis metros cúbicos del recurso. Desde la perspectiva técnica es una planta de desalinización autónoma y modular, que utiliza energía solar y agua de mar para su funcionamiento por osmosis inversa de alta presión, con nueve membranas que son capaces de purificar un metro cúbico por hora y funciona alimentada por celdas fotovoltaicas y un generador de respaldo, que permiten ahorros de 4 KW gracias a los paneles solares.²²

Si se desea profundizar en los instrumentos de fomento a los proyectos de ERNC en el país, ver anexos.

²² Referencia página web: http://www.codelco.com/pescadores-artesanales-operaran-primera-planta-desaladora-de-agua-con-energia-solar/prontus_codelco/2012-08-27/125604.html

VIII. Análisis de Coherencia del Proyecto con Políticas y Estrategias Nacionales y Regionales

Tal como se planteó inicialmente, el proyecto pretende generar una solución de abastecimiento de agua potable de uso racional y permanente, a partir de un procedimiento alternativo como es la osmosis inversa y cuya fuente de energía sea de carácter renovable no convencional (ERNC). Esta iniciativa presenta además factores de innovación replicables, el requerimiento de agua potable para consumo humano en lugares apartados o de difícil acceso (islas, áreas limítrofes, etc), y la inexistencia de fuentes convencionales de energía eléctrica.

En este sentido existen Políticas y Estrategias nacionales y regionales que favorecen y promueven el uso racional y la aplicación de nuevas técnicas para disponer de agua potable; tanto como para generar energía renovable no convencional y aplicarla en múltiples iniciativas.

Para una revisión más en detalle acerca de estas estrategias véase sección anexos.

IX. Descripción del Sistema de Desalación Implementado en Isla Damas

El detalle del proceso que se lleva a cabo en la planta desalinizadora del proyecto de Isla Damas, se describe a continuación:

Captación del agua marina

La obtención del agua marina se realiza a través de una toma superficial, por medio de una bomba solar sumergida dispuesta a 80 cm. de profundidad en un sector protegido y acondicionado mediante gaviones, ubicado en la zona intermareal (área bajo la línea de alta marea y sobre la línea de baja marea) contigua al área de uso intensivo de CONAF, y autorizada por la autoridad marítima para tal fin.

Nota: Si las condiciones lo permiten, la opción más recomendable para la captación de agua, es mediante un pozo y una puntera situada en el sustrato arenoso, en la zona de playa. En estas condiciones el sustrato constituye una primera barrera a la entrada de sedimentos y otros elementos particulados al agua captada. Sin embargo, dadas las condicionantes del área en la que se implementó el proyecto (Reserva Terrestre y Reserva Marina), además de un sustrato en la zona de la isla compuesto fundamentalmente por roca, esta opción no fue posible de implementar.

El punto escogido ofrece estabilidad en el nivel de las mareas así como una disminución en la turbulencia de las aguas.

A partir de este punto, las tuberías conducen el agua, impulsadas por la bomba, hasta el estanque de almacenamiento de agua marina que a su vez alimenta la planta desalinizadora.

Pretratamiento

Previo al tratamiento efectuado en el proceso de osmosis inversa y bajo las condiciones de trabajo específicas para el presente proyecto, se optó por adicionar una serie de procesos de tratamiento previo del agua salada en el que se incluyó la protección de la bomba sumergida en el punto de captación de agua salada, mediante tubería que cuenta con perforaciones, permitiendo el paso del agua a través de ella, con un diámetro suficiente para cubrir totalmente la bomba, y el recubrimiento del conjunto por una manta geotextil permeable, destinada a evitar o aminorar el ingreso de materia orgánica, finos o partículas sólidas al ducto de conducción y al estanque de almacenamiento de agua salada.

Después de esto, el agua obtenida se conduce a un estanque de almacenamiento de agua salada, proceso en el cual se realiza la aplicación de hipoclorito de sodio mediante un dosificador automático, a fin de eliminar así la carga biológica presente en el agua.

Posteriormente, el agua de alimentación almacenada en el estanque de agua salada, ingresa a la caseta con una baja presión, donde le es adicionada una solución de metalfisulfito de sodio, esto con el propósito abatir los cloruros presentes en el agua como consecuencia del tratamiento anterior.

Proceso seguido, se aumenta la presión del agua conducida mediante una bomba impulsora para ser filtrada, pasando a través de un filtro multicapa de 20 micras y luego un filtro de 5 micras, posteriormente ingresa al equipo desalador con una presión entre los 25 y 35 psi (presión de trabajo del equipo) llegando a un separador de aire.

Osmosis Inversa

Posteriormente que el agua de alimentación haya sido filtrada y habiendo pasado por el separador de aire, ingresa al área de alta presión, donde la bomba principal aumenta la presión a 700-800 psi impulsando el agua hacia las membranas de osmosis inversa, que producirán la cantidad de agua producto requerida por el proyecto.

Como resultado de la osmosis inversa, se obtiene: Agua producto y agua rechazo (salmuera). El regulador de contrapresión controla la presión y automáticamente la mantiene en el nivel requerido para que se produzca la osmosis inversa en la zona de membranas. La salmuera es evacuada del sistema a través de la conexión de descarga de salmuera y vuelve al mar.

El agua agua producto fluye a través de la membrana de Osmosis Inversa siendo el proceso controlado mediante un sensor de salinidad (monitor de sólidos disueltos totales) el que se ajusta automáticamente, y registra electrónicamente el contenido de sal del agua producto. Inmediatamente después de esto el agua dulce producida pasa a través de un flujómetro de agua producida, el que va indicando el caudal producido por el sistema.

Si eventualmente el monitor de sólidos disueltos totales registra una salinidad en el agua producto superior a la establecida inicialmente por el operador, automáticamente esta se conduce al sistema de rechazo de la planta, alertando correspondientemente al operador a fin de que se tomen las medidas pertinentes que corrijan la situación anómala.

Una vez terminado el proceso de osmosis inversa, y obtenido agua producto, ésta es enviada al estanque de almacenamiento de agua potable, recibiendo una aplicación de solución de hipoclorito de sodio para su potabilización, según lo especifica la Norma Chilena de Agua Potable.

El equipo en cuestión presenta los requerimientos técnicos siguientes:

- **Características del espacio físico:** Ubicación del equipamiento en un sector protegido de la luz solar directa, lluvia y polvo.
- **Espacio físico:** Se requiere de una superficie de 1 m x 0,5 m (superficie mínima, que sumado a los dispositivos periféricos aumenta a alrededor de 3 m².)
- **Energía:** Suministro de energía eléctrica de corriente monofásica, 230 VAC, 50 Hz. Consumo de corriente nominal 11,0 A.
- **Caudal de alimentación:** Caudal de alimentación a la planta de Osmosis de 0,5 m³/h, disponible a una presión mínima de 40 psi.

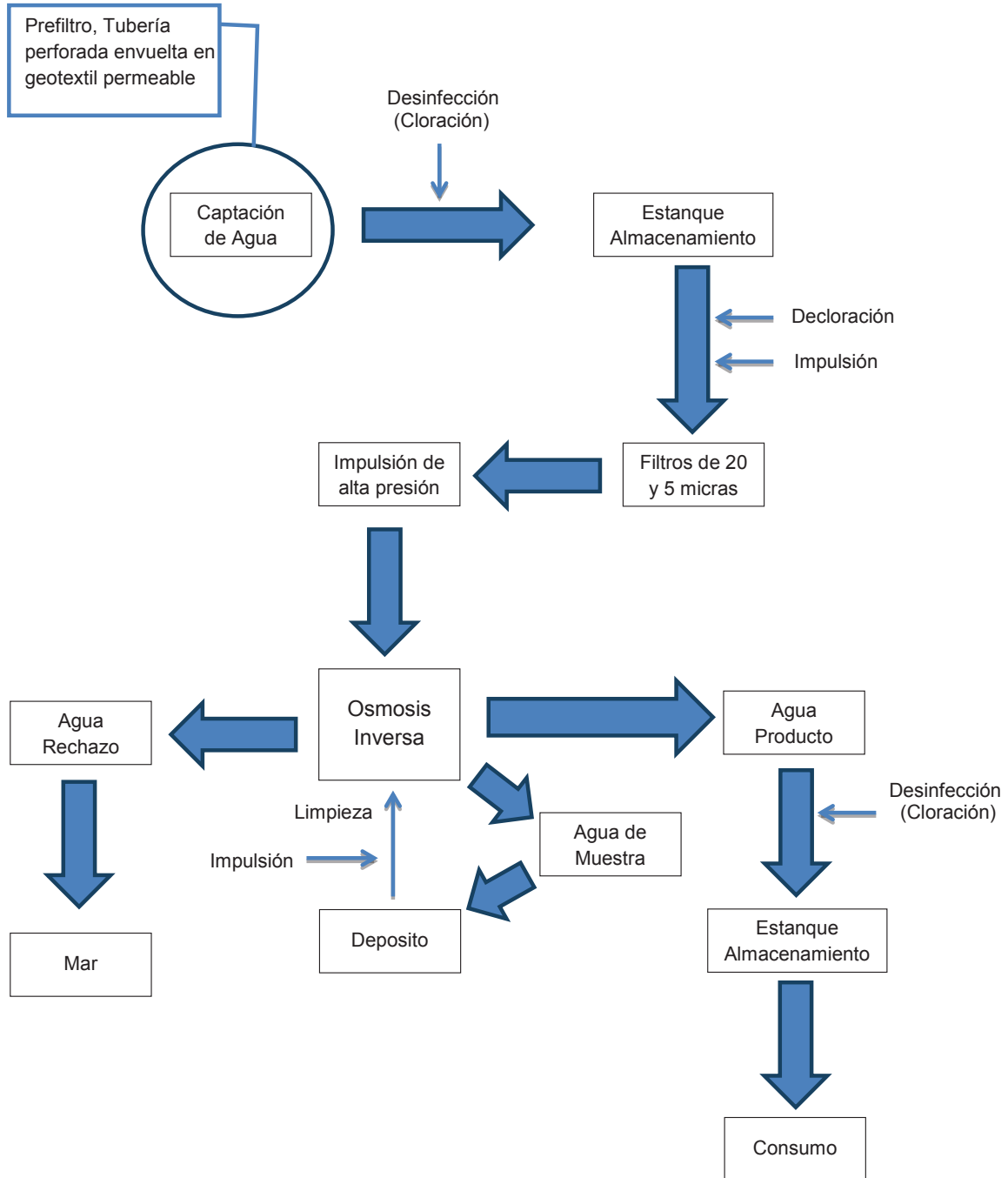
- **Caudal de desagüe:** Cámara de desagüe adyacente al equipo, capaz de evacuar gravitacionalmente un caudal de 0,4 m³/h.

Cabe recordar que el equipamiento instalado corresponde a un equipo compacto desalador de agua de mar por osmosis inversa modelo SC600 para una producción de 2,27 m³/día, el que está constituido por los siguientes componentes²³:

- **Membranas de agua de mar del tipo espiral enrollada:** capaces de producir una calidad superior de agua y un caudal de agua producto estable. Las membranas son 2 1/2" x 20" diseñadas para agua de mar. Las membranas son alojadas en un estanque de presión construidos en fibra de vidrio diseñado para una presión de trabajo de 1.000 psi.
- **Bomba de alta presión de desplazamiento positivo:** para entregar una presión de hasta 1.000 psig en la alimentación de las membranas. La bomba es de tipo pistón con motor de 2,2 kW. El sistema es equipado con una válvula de alivio para una operación segura.
- **Prefiltración:** para la filtración del agua de ingreso a las membranas de osmosis inversa, permitiendo el ingreso de agua libre de contenido de sólidos suspendidos. Los filtros son de 20/50 y 5 micrones.
- **Conductivímetro:** del agua de producto para el monitoreo de la calidad del agua producida por la Osmosis. El sistema de medición incluye pantalla digital montada en un panel.
- **Rotámetros en línea:** para la medición precisa del caudal de agua producto y del rechazo.
- **Manómetros de presión:** montados en línea para el monitoreo de la presión de entrada al sistema y presión de alimentación a las membranas. Los manómetros son construidos en acero inoxidable en todas sus partes en contacto con el agua, rellenos con glicerina.
- **Interruptor de presión y válvula de alivio:** Incluye un interruptor en la alimentación de agua de mar cuya función es detener la bomba de alta presión cuando hay bajo caudal o presión. Se incluye una válvula de alivio en la línea de alta presión para protección.
- **Flushing automático:** Incluye un sistema de "flushing" o lavado de desplazamiento a baja presión de las membranas con agua producto. Esta operación es realizada automáticamente ante detenciones del equipo, a fin de evitar el deterioro de las membranas de Osmosis.
- **Set de interconexiones de baja y alta presión:** a través de mangueras flexibles reforzadas especialmente diseñadas para trabajo a alta presión en ambientes corrosivos. Se incluye una válvula de control de alta presión para el control de la presión de alimentación a las membranas.

²³ En la práctica y dadas las limitantes de energía disponible, y establecidas las demandas reales de suministro de agua, el valor estimado a producir en periodos punta no debería sobrepasar un volumen de 1,0-1,1 m³/día

Figura N° 8. Esquema proceso particular de desalación por osmosis inversa en Isla Damas.



X. Desarrollo del Proyecto

El presente proyecto consideró una serie de etapas cada una compuesta con una serie de actividades conducentes a la concreción de los objetivos originales planteados.

La presente iniciativa cuenta con la participación y colaboración de varias instituciones que tienen que ver con la gestión de los recursos hídricos, la conservación de los ecosistemas, y la Administración Regional. Asimismo, existen en la zona organizaciones compuestas fundamentalmente por habitantes locales quienes desarrollan actividades turísticas y productivas ligadas a la costa de Punta de Choros, a la Reserva Marina, y a la Reserva Terrestre cercanas.

Así, en primera instancia y en forma previa a la adjudicación del proyecto, CAZALAC venía llevando a cabo acciones de coordinación con CONAF y la Empresa VMW, a fin de establecer los lineamientos de la iniciativa y los roles de cada institución. Posteriormente y gracias al aporte del Gobierno Regional de Coquimbo se completó el cuadro de instituciones participantes de la siguiente forma:

Cuadro N°3. Instituciones Participantes, Aportes y Roles en el Proyecto.

INSTITUCIÓN	ROLES / COMPROMISOS	APORTES
Gobierno Regional de Coquimbo	Financiamiento	Aportes financieros fondos FIC
Vlaamse Maatschappij Voor Watervoorziening - VMW	Financiamiento	Aporte financiero compra equipo desalinizador. Aportes no monetarios, horas profesionales proceso de capacitación.
CAZALAC	Institución Ejecutora	Aportes no monetarios, horas profesionales e infraestructura.
CONAF	Institución Colaboradora. Institución receptora final de la inversión, que se hará cargo de la operación y mantenimiento del sistema.	Aportes monetarios y no monetarios, horas profesionales e infraestructura

Asimismo, se participó en reuniones con el Comité Consultivo de Punta de Choros, a quienes se les informó acerca del proyecto, y de quienes se obtuvo una gran recepción e importante apoyo para el logro de la iniciativa.

A continuación se realiza una descripción de las actividades sucesivas desarrolladas para alcanzar los logros del proyecto, contemplando las fases de consulta y pronunciamiento de los organismos ambientales correspondientes, pasando al diseño y construcción en terreno de las obras, hasta la puesta en marcha del sistema de desalación.

1.- Análisis de pertinencia ambiental del proyecto

Como primera actividad se llevó a cabo la consulta sobre la pertinencia ambiental del proyecto, petición donde se solicitó el pronunciamiento del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) sobre si, en base a los antecedentes proporcionados, el proyecto debe someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA)²⁴.

Cabe recordar la importancia de estas gestiones ante la autoridad ambiental, en especial dada la localización del proyecto, emplazado en este caso particular, en una reserva terrestre (Reserva Nacional Pingüino de Humboldt) y adyacente a una reserva marina (Reserva Marina Islas Choros-Damas).

Entre otros, la consulta incorporó antecedentes sobre descripción del proyecto, referencias de la planta, lugar de emplazamiento, superficie involucrada en las obras, cantidad de agua potable a producir, generación y restitución de salmueras al mar²⁵, ruidos y contaminación visual²⁶, entre otros.

Como resultado de esta gestión, se obtuvo el pronunciamiento del SEA sobre pertinencia ambiental del proyecto²⁷, el cual establece que "de acuerdo a los antecedentes por Ud. presentados, no sería necesario el ingreso al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, toda vez que la magnitud y duración de las obras de instalación de la planta de osmosis inversa no se consideran significativas y vienen a complementar el servicio turístico de la isla. No obstante lo anterior, existe la opción de una presentación voluntaria".

Por otra parte el pronunciamiento del SEA señala que "Lo anterior, es además sin prejuicios del cumplimiento de la normativa sectorial pertinente y que antes de otorgar los permisos sectoriales respectivos, los servicios competentes pudieran solicitar una nueva opinión a esta Dirección Regional respecto de la pertinencia de ingreso al SEIA, una vez que le sean entregados los antecedentes técnicos del proyecto o actividad que se desea ejecutar".

Por lo tanto, y siguiendo el dictamen del SEA, se procedió con la ejecución del proyecto, no sin antes realizar una revisión de los permisos sectoriales a obtener en las próximas etapas.

2.- Solicitud de permisos ante la autoridad marítima

Si bien el proyecto se emplaza en la Reserva Nacional Pingüino de Humboldt (Reserva terrestre), administrada por CONAF, existe también un área de influencia determinada por la Reserva Marina Islas Choros-Damas, establecida en junio de 2005. Por tanto, fue necesario obtener el pronunciamiento de la Gobernación Marítima, respecto al otorgamiento de un permiso que permitiera la instalación de las obras de captación de agua de mar y posterior entrega de agua de rechazo en la zona intermareal que separa a la Reserva Marina de la Reserva Terrestre.

En tal sentido, la norma establece que cualquier persona, empresa, organización o servicio público, que desee desarrollar un proyecto en terrenos de playa, playas, rocas, porciones de agua, fondo de mar dentro y fuera de las bahías, debe contar previamente con una autorización otorgada por el Ministerio de Defensa Nacional por medio de la Subsecretaría para las Fuerzas Armadas, y que se denomina "Concesión Marítima".²⁸

Según establece el reglamento de concesiones marítimas²⁹ en su artículo 5º, "el Ministerio podrá otorgar el uso particular de los bienes nacionales de uso público o bienes fiscales, a aquellas concesiones marítimas de escasa importancia y de carácter transitorio y cuyo plazo no exceda de un año".

²⁴ Solicitud realizada por CONAF al SEA, a través de Ord. N° 33, 9.11.2011

²⁵ El único residuo que generará el proyecto, es salmuera con una salinidad del orden de los 44.160,98 mg/l, lo que en comparación con la salinidad determinada según análisis efectuado a agua de mar de la zona, la que es de 35.378,73 mg/l., representa un 29% más de la concentración normal del agua de mar que existe actualmente en la zona. Por lo tanto no se considera contaminante.

²⁶ El sistema es silencioso y su instalación se realizó en un lugar que no afecta visualmente el entorno a la llegada de los visitantes. Tanto el sistema de tuberías como el punto de captación se encuentran debidamente protegidos y no son visibles por los visitantes.

²⁷ Pronunciamiento emitido por el SEA a través de Ord. N° 229, 19.12.2011.

²⁸ El Ministerio de Defensa Nacional es el organismo que tiene la facultad privativa de permitir el uso y goce de sectores de terreno de playa fiscales (80 metros medidos desde la línea de más alta marea); playa (comprendida entre la línea de baja y de alta marea); fondo de mar y porciones de agua.

²⁹ D.S. N° 002, 03.01.2005, del Ministerio de Defensa. Reglamento sobre Concesiones Marítimas (fijado por D.S. (M) N° 660 de 1988)

De este modo se logró acceder a esta modalidad de permiso transitorio (de escasa importancia), y así comenzar con los trabajos en el lugar de emplazamiento de la toma de agua de mar para la planta, cumpliendo en definitiva con las autorizaciones previstas por la autoridad marítima.

A la fecha CONAF ha iniciado el trámite de solicitud de concesión marítima, a modo de prolongar en el tiempo el uso del terreno, a través del otorgamiento de una destinación que constituya una autorización de plazo indefinido y que permita mantener operativas y en regla las obras de succión y de rechazo.

3.- Reconocimiento en terreno

Estas acciones contemplaron visitas por parte del equipo gestor (CAZALAC), así como también personal de la Corporación Nacional Forestal (CONAF), y representante(s) de la(s) firma(s) que comercializa(n) los equipos de fotovoltaicos que cumplen con las características requeridas por el proyecto y empresas de construcción y emplazamiento de obras.

El objetivo de esta actividad fue identificar de común acuerdo entre los actores involucrados los lugares óptimos de emplazamiento de la caseta que contiene los equipos fotovoltaicos y de osmosis inversa, así como los estanques, la puntera de succión de agua de mar y tubería de descarga de salmueras al mar.

Como resultado de esta visita se elaboró un informe de referencia, sobre los sectores de la isla que se verían involucrados en el proyecto, conteniendo las observaciones y requerimientos identificados por cada uno de los actores participantes.

4.- Evaluación y Dimensionamiento de Alternativas Tecnológicas

En coordinación con CONAF se llevó a cabo la selección del sistema de osmosis inversa a adquirir, el cual debía cumplir con una serie de prestaciones, tales como:

- a. Demanda de uso. Considerando un peak de visitantes por día en la isla de 600 personas, durante la temporada de verano.
- b. Demandas de energía. Requisitos de bajo consumo dado que el sistema a implementar presenta un uso estacional (con una mayor demanda en verano y menor en el resto del año), y con un funcionamiento de 10 horas diarias, además de que la eficiencia en el uso de la energía es un factor fundamental en una zona sin otras fuentes más que la provisión mediante energía fotovoltaica.
- c. Capacidades de producción de agua. Capacidad mínima de producción de agua de 1.000 lts./día, suficiente para satisfacer la demanda de visitantes, que alcanza los 600 personas al día durante el verano. Esto supone un promedio de 1,6 lts. por usuario al día, para el consumo de agua potable con un uso exclusivo de agua para la bebida.
- d. Costos de mantenimiento futuro bajos, considerando intensidad de uso (mayor en verano), tipo de servicio (gratuito) y emplazamiento del proyecto (isla).

Se evaluaron 3 alternativas, las cuales se resumen en el siguiente cuadro comparativo:

Cuadro N°4. Cuadro Comparativo Sistema de Osmosis Inversa y/o Provisión de Agua Potable en Isla Damas.

	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
Descripción Sistema	Osmosis Inversa	Osmosis Inversa	Captación de Humedad Atmosférica
	Equipo HidroQuality	Equipo Vigaflow	Equipo Solarvento
Producción máxima	3-5 m3/día	2,27 m3/día	0,3 m3/día
Requerimiento energía	3,5 kW	1,1 kW	7 kW
Costo Caseta (Materiales, traslado y construcción)	Si	Si	Si
Pozo y tuberías de evacuación	Si	Si	No
Tuberías de captación	Si	Si	No
Equipo desalinizador / productor de agua	Si	Si	Si
Sistema Energía	Si	Si	Si
Estanques	Si	Si	Si
Instalación y otros	Si	Si	Si
Mantenimiento anual	Valor Alto	Valor Medio	Valor Bajo

De acuerdo a la evaluación efectuada de las tres alternativas presentadas en el cuadro anterior, se tomó la decisión de seleccionar el sistema N°2, equipo comercializado por la empresa Vigaflow, dado que representaba menores requerimientos de energía (1,1-1,3 kw), incluyendo además asesoría técnica y capacitación al personal a cargo, un menor costo total, y con una capacidad de producción que se ajusta a lo requerido por el proyecto.

Posteriormente, en función de los requerimientos de energía del equipo de osmosis inversa seleccionado, se procedió a llevar a cabo el cálculo y dimensionamiento del sistema fotovoltaico (células fotovoltaicas, acumuladores y demás componentes del sistema). Para ello se consideraron los principales factores de localización, potencia requerida y rendimiento esperado de la planta, a saber:

- Ubicación geográfica de la planta: Latitud: -29.2306 y Longitud: -71.5250.
- Requerimientos de operación en periodos de baja demanda: sistema de osmosis inversa por 4-6 horas de operación. Potencia de 1,1 KW. (220 v).
- Requerimientos de operación en periodos de alta demanda: sistema de osmosis inversa por 7-10 horas de operación. Potencia de 1,1 KW. (220 v).

Por su parte, para iniciar la construcción de las instalaciones que alberguen los equipos que componen la planta y otras estructuras anexas (caseta, puntera, tuberías de conducción y dispensador agua potable) se contrataron los servicios de la empresa constructora SGCC Ingeniería S.P.A, la cual estuvo a cargo de todas las etapas de la obra.

Paralelamente a la contratación de la empresa constructora, se da inicio al proceso de compra e instalación del sistema fotovoltaico, considerando para ello servicios de mantención al cabo de un año por parte de la empresa SolarVento.

Asimismo, y dada la evaluación inicial, se comienza la compra del equipo de osmosis inversa, incluyendo además dispositivos de pretratamiento del agua salada (cloración), dispositivos para el abatimiento de cloruros previo a la osmosis inversa, dispositivos de cloración del agua desalada según Norma Chile de Agua Potable, además de servicios de asesoría en su puesta en marcha, y principales insumos requeridos para su correcta operación, por un periodo de tres años, a cargo de la empresa Vigaflow Ltda.

5.- Diseño de Obras

Una vez evaluados los sistemas a implementar, se inició la elaboración de los planos y especificaciones técnicas (ver planos en capítulo Anexos), que involucra el emplazamiento de cada uno de los principales componentes del sistema: caseta, paneles fotovoltaicos, puntera de captación de agua de mar, tuberías de conducción, dispensador de agua potable para visitantes, etc.

I.- Caseta: Espacio cerrado destinado a contener los equipos fotovoltaicos (Regulador de carga, sistemas de acumulación de energía, e inversor), y equipos de osmosis inversa. El diseño se hizo en base a los requerimientos de espacio identificados, según las demandas para cada equipo, y en base a las especificaciones de CONAF para diseño de obras en la Reserva, las cuales presentan un estilo arquitectónico definido.

II.- Sistema fotovoltaico: Consistió en el diseño del emplazamiento de los paneles fotovoltaicos, los cuales se localizaron a un costado de la caseta, en un sector apto por su topografía y por sus condiciones para recibir la insolación necesaria, además de presentar condiciones de resguardo y bajo impacto visual en el entorno. Se consideró para ello 10 mts. lineales de terreno, el cual se encuentra fuera de la vista de los visitantes y en una zona de acceso restringido. El equipamiento fotovoltaico se dimensionó considerando un consumo de 1.100 Watt por 10 hrs. de promedio diario y un coeficiente de seguridad de tres días nublados.

III.- Puntera: Su diseño contempló el emplazamiento de la puntera de captación de agua de mar, en un lugar protegido localizado en un sector de roqueríos en la zona intermareal; además se diseñó el trazado de la tubería de conducción de agua de mar hasta el área de emplazamiento de la planta.

IV.- Tuberías de conducción: El diseño estableció el trazado de la tubería que conduce las salmueras generadas, en un sitio óptimo que signifique un mínimo impacto, y una rápida disolución de éstas.

V.- Dispensador de agua potable: Para el diseño del dispensador de agua se planteó una solución práctica y cómoda para los consumidores, a través de dos llaves convencionales localizadas en una zona cercana al muelle de acceso, donde se aprovecharon y mejoraron las condiciones de un refugio bajo techo utilizado por visitantes y guardaparques una vez se efectúa el desembarco en la isla. Adicionalmente se localizó y llave en la cabaña de CONAF.

Con el fin de disminuir al mínimo posible las acciones y actividades en la isla, se procuró señalar tanto en el diseño como en la construcción de la caseta, especificaciones, materiales y procedimientos que puedan, en parte, llevarse a cabo en el continente. Ejemplo de esto, son los soportes y cimientos de la caseta, los cuales pudieron prepararse en la localidad de Punta de Choros, y sólo una vez estuvieron listos, pudieron ser trasladados a su emplazamiento definitivo en la isla. Del mismo modo, se efectuó un tratamiento similar para todos aquellos componentes que pudieron ensamblarse y/o ser prefabricados en el continente.

6.- Instalación de faenas

De acuerdo a las especificaciones e instrucciones proporcionadas por CONAF, en beneficio de un mínimo impacto ambiental en la isla, se estableció un perímetro destinado al almacenamiento de los materiales de construcción y a la construcción de obras propiamente tal.

Es importante señalar que toda el área intervenida se encuentra normada por el Plan de Manejo de la Reserva Pingüino de Humboldt (PMRPH)³⁰, específicamente donde se desarrollan las actividades de construcción, las cuales se encuentran en la zona denominada de "uso intensivo", para el desarrollo de actividades extensivas e intensivas.

Esta zona tiene una superficie de aproximadamente 8 há. y permite el emplazamiento de las instalaciones de apoyo de bajo impacto, propios de la gestión en un área silvestre protegida (ASP), pero tomando el resguardo de no modificar el entono, manteniendo este en su condición natural.

7.- Instalación de Caseta

Esta actividad contempló la compra de materiales e insumos, traslado de materiales a la isla, y finalmente la construcción de la caseta, con el propósito de instalar los diferentes equipos que forman parte del sistema de osmosis inversa (ver planos en capítulo anexos).

La caseta construida cuenta con un área de 21 m², con radier, tabiquería en metalcom, techo interior de vulcanita, puerta de acceso, dos ventanas, además de rejillas de ventilación, con una cubierta de teja asfáltica coronando la estructura de la techumbre. Para la pintura exterior se buscó una tonalidad en la gama del gris, similar al color predominante de los roqueríos de la zona, a fin de provocar un mínimo impacto visual en el entorno.

Además se construyó un radier, en el exterior de la caseta sobre el cual se instalaron dos estanques de acumulación de agua (2.400 lts c/u), uno para el almacenamiento y pretratamiento del agua salada que alimenta el proceso de desalación y otro destinado al almacenamiento del agua potable producida.

8.- Instalación de obras de succión

Estas obras las que consistieron en la instalación de una estructura destinada a la protección de la bomba de succión de agua de mar ³¹, la cual se adecuó en un sector de roqueríos, adyacente a la zona de uso intensivo de CONAF. En específico las tareas realizadas implicaron la construcción de una estructura de gaviones, y el emplazamiento y protección de la bomba de agua salada que alimenta la planta, y la tubería necesaria conducir este suministro al estanque de acumulación de agua de mar.

9.- Instalación tuberías de conducción de salmueras

Actividad que consistió en la compra y traslado de materiales a la isla, a modo de realizar obras de conducción de aguas de rechazo que resultan del proceso de desalación de agua de mar (salmuera), que se realiza en la planta de osmosis inversa.

³⁰ Plan de Manejo de la Reserva Pingüino de Humboldt. Corporación Nacional Forestal. Coquimbo. 2007.

³¹ Para llevar a cabo esta actividad es imprescindible, obtener los permisos necesarios con la Gobernación Marítima para hacer uso de sector roquerío, localizado entre la baja y alta marea, el cual se realiza a través del Sistema de Concesiones Marítimas de la Subsecretaría para las Fuerzas Armadas del Ministerio de Defensa Nacional. Página web: <http://www.concesionesmaritimas.cl/>.

Para evaluar esta etapa se estimó que el flujo de descarga corresponde como máximo de 0,23 litros por segundo (en algunos días punta y que sólo se darían durante dos meses al año), mientras que el resto del tiempo la planta operaría en márgenes cercanos a su mínimo, con generaciones de residuos del orden de los 0,12 a 0,13 litros por segundo, y en otras ocasiones (temporada invernal) entrará en receso, sin operar y sin generar por tanto agua potable y aguas de rechazo.

La construcción de esta sección involucró la provisión e instalación de una tubería de 50 mm. para la evacuación de agua desde la caseta al sector de roqueríos, a una distancia aproximada de 40 metros.

10.- Instalación de planta de Osmosis

Posteriormente se procedió a la instalación del equipo desalador ubicado en el interior de caseta con todos sus sistemas operativos, sistemas de pretratamiento de agua salada, abatimiento de cloruros, filtros, las conexiones eléctricas, además de la entrada de caudal alimentador y salida de desagüe del sistema (ver diagrama y planos en capítulo Anexos).

11.- Instalación de sistema fotovoltaico

Las obras de emplazamiento del sistema fotovoltaico se realizaron de acuerdo al diseño desarrollado en las fases previas (Paneles a un costado de la caseta, sistema de acumuladores, y transformadores en el interior de ésta). Los componentes del sistema fotovoltaico adquirido e instalado fueron los siguientes:

- Panel solar SUN 200 Wp, 10 unidades, con una potencia peak de 200 W.
- Regulador de carga de 45 A. 2 unidades.
- Baterías 100 A. 84 unidades
- Inversor Sinusoidal 1.200 W. 1 unidad.
- Atriles Paneles. 10 unidades.
- Materiales eléctricos. 10 unidades.

La instalación contempló además un proceso de pruebas de los equipos de generación y acumulación. Pruebas que no mostraron anomalías en el funcionamiento del sistema, y que permitieron comenzar con el uso regular del sistema.

12.- Pruebas y Funcionamiento

Las pruebas consistieron en la operación conjunta de la totalidad de los equipos instalados que componen el sistema de desalación, a modo de observar su funcionamiento y producción de agua potable.

Este procedimiento se llevó a cabo por un periodo de 2 semanas, obteniendo resultados satisfactorios, toda vez que se pudo apreciar el funcionamiento correcto de todos los dispositivos del sistema.

13.- Obtención de autorizaciones sanitarias

A fin de velar por el cumplimiento de la norma que establece el carácter de potable del agua producto generada, se requiere el control y la autorización por parte de la autoridad sanitaria, la cual tiene por tarea certificar que el agua potable y las instalaciones construidas para su tratamiento cumplan con la Norma Chilena de Agua Potable.

Para consultar los principales parámetros de la Norma Chilena de Agua potable, ver anexos.

El procedimiento de obtención de permisos se realizó ante el Servicio Nacional de Salud de la Región de Coquimbo, cumpliendo con los requisitos y antecedentes que deben ser presentados, dentro de los cuales se encuentran:

- I. Antecedentes del proyectista e institución que presenta la iniciativa.
- II. Documento que acredite de derechos de agua, en caso de actividad económica para aguas superficiales y subterráneas (para este caso el permiso otorgado por la autoridad marítima para la instalación de punto de extracción).
- III. Protocolo de análisis físico-químico de la fuente de captación, en caso de disponer análisis de un laboratorio particular, éste se considerará sólo como referencia, ya que para la etapa de puesta en servicio del sistema, el análisis debe ser realizado por el laboratorio de la Autoridad Sanitaria.
- IV. Memoria técnica del sistema.
- V. Planos del sistema.

Posterior a esto, y una vez emitida la Resolución Aprobatoria, se procede a solicitar la puesta en servicio del proyecto, en donde se emite otra resolución que lo habilita para funcionar.

En este sentido y una vez realizados los procedimientos antes descritos, que involucra la entrega de antecedentes técnicos a la autoridad sanitaria, finalmente se obtiene la Resolución Sanitaria respectiva que autoriza el funcionamiento del sistema de agua potable construido.

14.- Actividades de Capacitación

Se llevaron a cabo actividades de capacitación, las cuales estuvieron dirigidas al personal de guardaparques de CONAF, enfatizando en la operación y principales acciones de mantención de los equipos instalados. Estas acciones de capacitación estuvieron dirigidas por la firma comercializadora de la planta desaladora (Vigaflow Ltda.) y supervisadas por la empresa donante VMW (Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening – Flandes).

Con respecto al sistema fotovoltaico la empresa proveedora llevó a cabo una capacitación de 8 horas de duración (dos jornadas), al personal de CONAF quienes en el futuro se encargarán de la operación del sistema.

Por su parte, la capacitación acerca del funcionamiento de la planta desaladora consideró contenidos referentes a la puesta en marcha de la planta de tratamiento de agua, su funcionamiento y mantenimiento, la cual fue realizada durante dos días. Incluyó además un manual de operación con las instrucciones necesarias para el correcto manejo y mantención del equipo.

15.- Actividades de Difusión del Proyecto

Esta etapa tuvo por objetivo llevar a cabo una campaña de difusión del proyecto, con énfasis en la innovación tecnológica que supone para el país su aplicación, en especial en lo que respecta a la solución alcanzada tomando en consideración las condiciones propias de un área sin acceso y a fuentes agua dulce, por un lado, y a fuentes de energía convencionales, por otro. Todo esto de manera amigable con los ecosistemas presentes.

La campaña estuvo centrada en mostrar cada uno de los diferentes aspectos de la tecnología utilizada, tanto en la generación de energía fotovoltaica como en la desalación de agua de mar a pequeña escala, experiencia posible de replicar en otras zonas del país, y en el exterior, bajo condiciones similares.

Las actividades realizadas implicaron la elaboración y ejecución de una serie de productos de difusión, entre los cuales están:

Inauguración: Ceremonia de inauguración y entrega del sistema a la administración de CONAF, instancia en la cual participaron autoridades locales y regionales, además de representantes de la empresa de potable Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening – VMW, de la Región Flamenca (Bélgica).

Insertos en medio de difusión: Consistió en la publicación de inserciones en medios a nivel regional y/o nacional, sobre el proyecto y la inauguración del sistema.

Folletería: Se elaboró la edición e impresión de folletos con fines divulgativos de la experiencia de diseño, emplazamiento y funcionamiento de la planta, con un tiraje de 500 ejemplares, los que fueron distribuidos entre organismos públicos pertinentes, instituciones de educación e instituciones ligadas al turismo en la región y el país.

Documento técnico: Se elaboró un documento técnico bajo el formato UNESCO-PHI/LAC, que resume la experiencia desarrollada en el proyecto, desde el planteamiento del problema hasta la solución alcanzada de provisión de agua potable en la isla.

Afiches alusivos y señalética: En coordinación con CONAF, se elaboraron posters alusivos al proyecto, señalética referida al diseño y funcionamiento del sistema, la que se dispuso en el centro de visitantes de CONAF, y caseta de equipos. Al mismo tiempo se elaboraron letreros informativos acerca del proyecto, fuentes de financiamiento y las instituciones participantes.

Comunidad: Se llevó a cabo la organización de una visita guiada de estudiantes de la escuela de Punta Choros y representantes de la comunidad, a los cuales se les dio a conocer la experiencia desarrollada y se les realizó una demostración acerca del funcionamiento del sistema.

Visitas guiadas: Adicionalmente y más allá de la finalización del presente proyecto, se llevarán a cabo periódicamente visitas guiadas por el personal de guardaparques de CONAF a las dependencias del sistema, por parte de delegaciones interesadas en el funcionamiento de éste. Entre las delegaciones que se espera recibir se encuentran las escuelas de la región, potenciales organizaciones de usuarios de un sistema de este tipo, delegaciones nacionales, etc. Se espera además que ésta actividad sea de carácter permanente, extendiéndose más allá de la duración del proyecto.

16.- Entrega del proyecto

Esta etapa contempló la entrega del proyecto a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) de la Región de Coquimbo, la cual considera el traspaso de todo el equipamiento instalado en la Isla Damas.

XI. Resultados del Proyecto

Durante el presente proyecto se dio cumplimiento al diseño y emplazamiento de una planta de osmosis inversa (de pequeña escala) alimentada por un sistema fotovoltaico, cumpliendo con las expectativas y objetivos trazados para sus formuladores, como también para sus beneficiarios.

Sin embargo, a fin de validar los resultados obtenidos en el mediano y largo plazo, se hace necesaria la aplicación de una serie de indicadores, a modo de monitorear, cuantificar y evaluar el funcionamiento y desempeño del sistema, así como sus impactos. De este modo queda para una etapa posterior, el desarrollo de tareas de seguimiento y evaluación de impactos del proyecto, la cual deberá ser realizada por CONAF, como organismo encargado del sistema.

Adicionalmente, a continuación se presentan los indicadores elaborados para evaluar la experiencia y puesta en marcha del proyecto.

1. Evaluación de una de las primeras experiencias piloto en el país, para el abastecimiento de agua potable basada en Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica en lugares remotos.

Indicador: Planta desaladora de agua de mar mediante Osmosis Inversa-Energía Fotovoltaica operativa.

Cumplimiento: La planta desaladora se somete a todas las pruebas de funcionamiento y operación, entregándose para su uso a la CONAF en condiciones óptimas.

2. Elaboración de procedimientos para el dimensionamiento de planta de Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica.

Indicador: Memoria de cálculo y diseño de planta desaladora de agua de mar mediante Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica publicado formato electrónico.

Cumplimiento: Se elaboran los documentos que contienen las especificaciones técnicas de cada uno de los componentes del sistema (planta de osmosis inversa y sistema fotovoltaico), los cuales son publicados de manera electrónica y entregados a los beneficiarios e instituciones participantes de la iniciativa.

3. Aprovechamiento de agua desalada para el abastecimiento de la población flotante de Isla Damas (turistas).

Indicador: Disposición de 1 m³/día de agua desalada apta para consumo humano según Norma Chilena.

Cumplimiento: Se obtiene agua potable con una producción de 1 m³/día, la cual se encuentra de acuerdo a la Norma Chilena y validado por parte de la autoridad sanitaria con las resoluciones correspondientes.

Anexos

Ubicación de Proyectos de Osmosis Inversa y Energía Fotovoltaica en el mundo.

Cuadro N° 5. Proyectos de osmosis inversa y energia fotovoltaica en el mundo.

Lugar	País	Año	TDS en alimentación mg L ⁻¹	Capacidad fotovoltaica kWp	Batería de almacenamiento	Accionamiento de bomba	Producción m ³ d ⁻¹	Costo US\$ m ⁻³
Abu Dhabi	ARE	2008	45.000	11,25	No	AC	20,00	7,30
Agric. Univ.	GRC	2006	30.000	0,85	No	DC	0,35	9,80
Aqaba	JOR	2005	4.000	16,80	Si	AC	58,00	9,80
Baja California Sur	MEX	2005	4.000	25,00	Si	AC	11,50	9,80
Chania	GRC	2004	40.000	31,20	Si	AC	12,00	8,30
Chbeika Crete	MAR	1998	40.000	26,30	Si	AC	12,00	35,90
Coite-Pedreiras	BRA	2000	1.200	1,10	Si	DC/AC	6,00	12,80
Concepción del Oro	MEX	1978	3.000	2,50	Si	DC	0,71	12,80
CREST	BGR	2001	32.800	1,54	No	AC	1,45	3,00
Doha	QAT	1984	35.000	11,20	No	AC	5,70	3,00
El Hamrawein	EGY	1986	4.400	19,84	Si	AC	53,00	11,60
Fredericksted	VIR	1986	4.400	19,84	Si	AC	75,70	11,60
Gillen Bore	AUS	1996	1.600	4,16	Si	AC	1,20	11,60
Giza	EGY	1980	1.600	7,00	Si	AC	6,00	11,60
Hammam Lif	TUN	2003	2.800	0,59	No	DC	0,05	11,60
Hassi-khebi	DZA	1987	3.500	2,59	Si	AC	0,85	10,00
Heelat Ar Rakah	OMN	1999	1.010	3,25	Si	AC	5,00	6,50
Denver, ITN	USA	2003	1.600	0,54	No	DC	1,50	6,50
Java, Cituis West	IDN	1981	1.600	24,50	Si	DC	12,00	6,50
Jeddah	SAU	1981	42.800	8,00	Si	DC	3,22	6,50
Ksar Ghilène	TUN	2005	3.500	10,50	Si	AC	7,00	6,50
Kulhudhuffushi	MDV	2005	2.500	0,30	No	DC	1,00	6,50
Kuwait	KWT	2005	8.000	0,30	Si	DC	1,00	6,50
Lampedusa	ITA	1990	8.000	100,00	Si	AC	40,00	10,60
Lipari	ITA	1991	8.000	63,00	Si	AC	13,70	10,60
Lisbon, INETI	PRT	2000	2.549	0,10	No	DC	0,02	10,60
Massawa	ERI	2002	40.000	2,40	No	AC	3,90	10,60
Mesquite, ITN	USA	2003	3.480	0,54	No	DC	1,28	3,60
Murdoch Univ.	AUS	2003	3.480	0,06	No	DC	0,05	3,60
Nicosia	CYP	2005	3.480	10,00	Si	AC	50,40	2,30
NRC, Cairo	EGY	2002	2.000	1,10	Si	AC	1,00	3,70
Pine Hill	AUS	2008	5.300	0,60	No	DC	1,10	3,70
Pozo Izquierdo	ESP	2000	35.500	4,80	Si	AC	1,24	9,60

Qatar Village	JOR	2000	3.400	32,00	Si	AC	45,00	9,60
Sadou, Riyadh,	SAU	1994	5.700	10,08	Si	AC	5,70	9,60
San Nicola, Tremiti	ITA	1984	5.700	65,00	Si	DC/AC	12,00	9,60
SERIWA, Perth	AUS	1982	5.700	1,20	Si	DC	0,55	9,60
Solarflow	AUS	1982	5.000	0,12	No	DC	0,40	9,30
Tanote, Thar Desert	IND	1986	5.000	0,45	No	DC	1,00	9,30
Univ. Of Almería	ESP	1988	3.360	23,50	Si	DC	8,09	2,50
Univ. De Amman	JOR	1988	400	0,07	No	DC	0,10	2,50
Univ. De Atenas	GRC	2000	400	1.968,0	Si	DC	1.000,0	2,80
Univ. De Bahrain	BHR	1994	35.000	0,11	Si	DC	0,20	2,80
Vancouver	CAN	1983	33.000	0,48	No	DC	0,86	9,00
Varios Lugares	JOR	2007	7.000	1,10	Si	AC	3,60	9,00
VARI-RO	USA	1999	7.000	1,10	No	AC	3,60	9,00
Wanoo Roadhouse	AUS	1982	7.000	6,00	No	AC	3,60	9,00
White Cliffs	AUS	2003	3.500	0,26	No	DC	0,06	9,00

Fuente: Informe: "2008-2009 Desalination Yearbook", elaborado por la Asociación Internacional de Desalación (IDA) y la publicación inglesa Global Water Intelligence (GWI).

Fuentes de Energía Renovable No Convencional

Entre las ERNC se cuentan la eólica, geotérmica, solar, biomasa y oceánica:

a.- Eólica: Tipo de energía que se obtiene de la fuerza del viento mediante la captura y conversión de la energía cinética generada por las corrientes de aire. Utilizan esta fuente de energía aerogeneradores de eje vertical u horizontal, que hacen girar un eje central conectado, a través de una serie engranajes (la transmisión) a un generador eléctrico. Es la fuente de ERNC más extendida a nivel internacional por potencia instalada y por energía generada.

b.- Geotérmica: La energía geotérmica es aquella que puede ser obtenida a través del aprovechamiento del calor del interior de la Tierra. Parte del calor interno bajo la corteza terrestre (5.000 °C) llega a esta, así en algunas zonas del planeta, donde la corteza es más delgada, cerca de la superficie, las aguas subterráneas pueden alcanzar altas temperaturas, y por lo tanto, ser usadas para accionar turbinas eléctricas o para distribuir esta energía en forma de calor mediante redes de distribución.

c.- Solar: Se trata de recoger la energía del sol (radiación solar) por medio de recolectores que mediante diferentes tecnologías (células fotovoltaicas, helióstatos, colectores térmicos) pueden transformarla en energía eléctrica o térmica. La energía recolectada puede destinarse a satisfacer numerosas necesidades, ya sea de electricidad, calefacción, procesos de secado, entre otros.

d.- Biomasa: La energía de la biomasa se define como la energía obtenida de la materia orgánica renovable de origen vegetal, animal o procedente de la transformación natural o artificial de la misma. En cualquiera de los casos, puede producirse a través de su quema directa o de su procesamiento para conseguir otro tipo de biocombustibles ya sean líquidos, sólidos o gaseosos.

e.- De los mares: Se refiere a la energía renovable producida por las olas del mar, las mareas, la salinidad y las diferencias de temperatura del océano. El movimiento del agua en los océanos del mundo crea un vasto almacén de energía cinética o energía en movimiento. Sus principales tipos son: energía de las olas (undimotriz), energía de las mareas (mareomotriz), energía de las corrientes, energía térmica del agua (maremotérmica) y energía osmótica (de la salinidad del agua).

En términos globales las energías renovables proveen el 17% de la energía primaria a nivel mundial, donde las "nuevas renovables"³² contribuyen con un 2% del total. Según la Internacional Energy Agency (IEA), esta cantidad podría triplicarse hacia el 2030, llegando a un 6%. La mayor parte de este incremento estaría dado por el aumento del uso de la biomasa y la energía eólica (IEA 2004), y se daría en países pertenecientes a OCDE, principalmente Europa, donde este tipo de tecnologías cuentan con políticas de incentivo a su implementación³³.

Para el caso Chileno, el potencial de las diferentes fuentes ERNC, estimados en varios miles de MW, recién está empezando a cobrar su importancia en la política energética del país. En términos de la participación de las ERNC en el sistema eléctrico, considerando tanto el Sistema interconectado central (SIC) como el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), está compuesta en un 3% de participación de ERNC, 34% de hidroelectricidad y 63% de generación térmica. Teniendo como meta, según datos del Gobierno³⁴, un 10% de ERNC al 2024 (en los marcos nominales comprendidos por la ley 20.257 de fomento a las Energías Renovables No Convencionales).

Respecto a proyectos de ERNC en Chile, durante el año 2011 ingresaron en operación 116 MW con lo que se ha alcanzado los 720 MW de capacidad instalada con ERNC.

Durante el primer semestre del año 2012 ingresaron a evaluación ambiental 3.874 MW, lo que significa un incremento del 264% respecto al mismo período del año pasado. El aumento más significativo se produjo en los proyectos solares, que han alcanzado 21 proyectos presentados entre enero a junio, en comparación a los sólo dos que se registraron en el primer semestre del 2011. En cuanto a iniciativas de inversión, la cantidad ingresada a evaluación en este semestre representa cerca del doble de la inversión total del año 2011.

Cuadro N°6: Estado de proyectos, ingresados al SEIA hasta el mes de agosto de 2012 (MW).

ESTADO	OPERACIÓN (MW)	CONSTRUCCIÓN (MW)	RCA APROBADA, SIN CONSTRUIR (MW)	EN CALIFICACIÓN (MW)
Mini-Hidro	278	114	228	87
Eólica	205	222	3909	1350
Biomasa	394	5,8	86	0
Solar	3,8	1,3	3107	898
Geotermia	0	0	50	70
Total	881	395	7380	2404

Fuente: Reporte Centro de Energías Renovables, CORFO. Enero de 2013.

³² Otro nombre que se otorga al término de Energías Renovables No Convencionales (ERNC), la cual excluye a la energía hidráulica de gran escala.

³³ "Informe de Energías Renovables y Generación Eléctrica en Chile". Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) – ENDESA ECO. Santiago, Chile. 2007.

³⁴ "Estrategia Nacional de Energía 2012 – 2030". Ministerio de Energía. Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 2012.

En relación a la operación, durante la primera mitad del año ingresaron 189,4 MW versus a los 9 MW que se incorporaron en el mismo periodo del 2011. Este incremento se justifica principalmente por la entrada de proyectos de biomasa. Además se destaca la puesta en servicio de la primera central solar que corresponde a Calama III, desarrollada para abastecer a Chuquicamata de Codelco³⁵.

En virtud de lo expuesto, en Chile, las Energías Renovables No Convencionales (ERNC) se perfilan como una alternativa limpia, segura y eficiente, si bien los costos no son aún competitivos dada la escasa presencia y las dificultades que presenta su afianzamiento en el país.

Instrumentos de Fomento para Proyectos de ERNC

En Chile poco a poco las ERNC se han comenzado a posicionar como una fuente cada vez más importante y con mayor participación en la matriz energética del país, más aún cuando se perfilan como una alternativa limpia, segura y eficiente, la cual contribuya a dotar al sistema en su conjunto de una mayor seguridad en el abastecimiento.

Desde esta perspectiva, se ha comenzado un proceso que ha involucrado un profundizamiento de las medidas de apoyo necesarias para el fomento de este tipo de energías, las cuales están en línea con medidas exitosas aplicadas en otras zonas del planeta, que han logrado incrementar el porcentaje de participación de las energías renovables en la matriz energética de muchos países. Incentivos económicos y legales constituyen una primera vía para canalizar intereses y voluntades, con el fin de incrementar la seguridad en el abastecimiento de energía y ampliar la oferta de fuentes limpias y sostenibles, que garanticen el uso eficiente de los recursos y contribuyan a la mitigación del cambio climático.

Respecto al marco legal que reconoce a las ERNC, se cuentan las modificaciones a la Ley de Servicios Eléctricos, introducidas a través de las leyes N° 19.940 y 20.018, así como el Reglamento para los Pequeños Medios de Generación, D.S. N° 244, de 2005; el cual establece un escenario más favorable al desarrollo de proyectos de generación eléctrica para unidades de pequeño tamaño (menores o iguales a 20 MW) sobre la base de fuentes renovables³⁶.

Relacionado con las fuentes de financiamiento para la presentación de proyectos que utilicen ERNC, según el Centro de Energías Renovables (CER - CORFO), existen 11 fondos gubernamentales y 4 fondos de embajadas (Japón, Alemania, Canadá y Australia)³⁷, que permiten la presentación de iniciativas relacionadas con la aplicación de este tipo de energías.

Paralelamente y tratándose de proyectos de mayor escala que utilicen ERNC, se cuenta con el concurso para estudios de pre inversión de proyectos de generación eléctrica, el cual es administrado por CORFO. Este instrumento tiene como objetivo otorgar un apoyo económico a la realización de estudios y, de esta manera, acelerar la materialización de iniciativas de generación eléctrica en el país, en base a Energías Renovables No Convencionales (ERNC).

Además es preciso señalar que existen fondos regionales que en sus líneas de trabajo han definido a las ERNC como susceptibles de ser financiadas, tal es el caso del Fondo Regional de Desarrollo Regional (FNDR), Fondo para la Innovación y la Competitividad (FIC) o el Programa de Mejoramiento Urbano (PMU).

³⁵ Reporte estado ERNC en Chile. Marzo 2012. Centro de Energías Renovables (CER). Ministerio de Energía – CORFO. Santiago, Chile. Agosto de 2012.

³⁶ Entre estas fuentes se citan las pequeñas centrales hidráulicas así como las centrales eólicas, biomasa, solar y mareomotriz. También se incluyen la cogeneración a biomasa y gas natural dentro de las fuentes que pueden beneficiarse de estas nuevas disposiciones.

³⁷ Referencia página web: http://cer.gob.cl/wp-content/uploads/downloads/2012/08/Fichas_Instrumentos_Financiamiento_V11.pdf

Políticas y Estrategias Nacionales y Regionales que promueven la aplicación de nuevas técnicas en obtención de agua y uso de las ERNC.

A continuación se presentan algunas políticas y estrategias nacionales y regionales que favorecen y promueven el uso racional y la aplicación de nuevas técnicas para disponer de agua potable; tanto como para generar energía renovable no convencional y su aplicación en múltiples iniciativas.

Estrategia Nacional de Energía (ENE) 2012 - 2030³⁸: Pretende desarrollar múltiples acciones con el fin de contar con recursos energéticos suficientes y competitivos para apoyar el proceso de desarrollo del país, a modo de sustentarlo con energía limpia, segura y económica. Así la ENE, plantea impulsar sostenidamente el desarrollo de las ERNC, duplicando la participación en el mercado de estas fuentes de energía, para lo cual se plantean una serie de medidas:

- a. Mecanismo de licitación para incentivar el desarrollo de las ERNC, a través de licitaciones abiertas por bloques con subsidios del Estado.
- b. Plataforma Geo referenciada –Potencial Económico para Proyectos de ERNC, entregando información actualizada y de carácter público que servirán para orientar y facilitar las decisiones de inversión privada.
- c. Fomento y Financiamiento, para lo cual se espera el diseño y profundización de mecanismos de fomento.
- d. Nueva Institucionalidad para las ERNC, y así promover y facilitar las condiciones para el establecimiento de las ERNC en Chile.
- e. Estrategias por Tecnologías, diferenciada para cada una de las energías: solar, eólica, bioenergía, biomasa, geotermia, mini-hidroeléctricas y mareomotriz, de largo plazo.

Por lo tanto, la línea de trabajo del proyecto se relaciona directamente con los objetivos y acciones propuestas en la ENE, toda vez que busca incentivar el uso de las ERNC, además de fijar precedentes en la localización y su aplicación.

Estrategia Nacional de Recursos Hídricos³⁹: Tiene por objetivo asegurar el abastecimiento, mejorar la institucionalidad y la información, y promover el uso eficiente y sustentable del recurso hídrico.

En términos concretos la Estrategia se estructura en cinco ejes, estos son:

- a. Gestión eficiente y sustentable del RRHH, por medio de la gestión de los recursos a través de los usuarios.
- b. Fortalecer la institucionalidad, dirigido al organismo regulador, y aumentando el rol fiscalizador de la Dirección General de Aguas.
- c. Generación de nuevas fuentes de agua, a través de construcción de embalses e infiltración de napas subterráneas.
- d. Equidad social, aumentando la cobertura del agua potable rural.
- e. Mejoramiento de la información a la ciudadanía, acercar los temas del agua a la población.

³⁸ Referencia página web: <http://www.minenergia.cl/estrategia-nacional-de-energia-2012.html>

³⁹ Referencia página web: <http://www.dga.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=198>

Ciertamente el proyecto se relaciona y aporta en varios de los ejes planteados por esta estrategia. En primer lugar con el desarrollo de nuevas fuentes de agua, en este caso desalación de agua de mar a fin de obtener agua potable, contribuyendo también a educar a la población en su uso sustentable del recurso, a partir del emplazamiento del proyecto, en el interior de un área de conservación.

Estrategia Regional de Desarrollo (ERD 2020)⁴⁰: Carta de navegación de la Región de Coquimbo, el cual tiene como visión contar con una región socialmente inclusiva y cohesionada y con una elevada calidad de vida. Para conseguirlo la Estrategia plantea 6 ejes, estos son:

1. Promover un crecimiento equilibrado del sistema urbano regional con calidad de vida e integración social, cuyo objetivo es favorecer un desarrollo armónico y equitativo de las ciudades de la región.
2. Un espacio rural con mayores oportunidades para sus habitantes, el cual tiene por objetivos mejorar las condiciones en el espacio rural del seco y apoyar el desarrollo de los polos secundarios en el espacio rural bajo riego y en los territorios estratégicos del territorio rural.
3. Una zona costera más equilibrada y armónica, mejorando la integración de la zona costera como factor de desarrollo regional.
4. Una sociedad regional más inclusiva, a través del mejoramiento de la calidad de la educación, reducción de las brechas sociales en los grupos vulnerables e incorporar de manera efectiva a la mujer a los distintos ámbitos del desarrollo.
5. Una economía que sea compatible con la preservación de la base de recursos naturales y la calidad de vida con sello regional, lo cual se consigue por medio de una serie de objetivos, aumento de la sustentabilidad y sostenibilidad de la base de recursos naturales (renovables y no renovables), optimizar los impactos de los factores económicos externos, potenciar el desarrollo endógeno y la economía residencial, mantener y reforzar la calidad de vida con sello regional, y finalmente, crear condiciones para la investigación y el desarrollo tecnológico.
6. Una mayor cohesión social basada en una mayor identidad regional reconocida y en el buen gobierno, con relaciones interregionales e internacionales activas, a través del desarrollo de formas de gestión y administración socialmente inclusivas, reforzar la construcción de una identidad regional, valorar los productos locales y potenciar las relaciones interregionales e internacionales.

Considerando los alcances del proyecto, este se relaciona con el 3º eje estratégico por cuanto este promueve la sustentabilidad en una reserva natural como es Pingüino de Humboldt (Isla Damas), además de contribuir, a partir de esta solución tecnológica, la puesta en valor de un espacio natural turístico y de rica biodiversidad, respetando las condiciones del medio natural que lo acoge. Además, se vincula con el 5º eje estratégico, ya que el proyecto promueve la diversificación de las fuentes de energía y de uso eficiente del agua, como también fortalece el turismo toda vez que permite mejorar las actuales condiciones presentes en el lugar.

Plan Regional de Gobierno (2010 – 2014)⁴¹: Instrumento de planificación en el cual se desarrollan los énfasis y apuestas del actual gobierno. El cual se estructura a partir de 7 ejes estratégicos, estos son:

1. Desarrollo productivo, en el cual se busca incentivar la inversión e innovación y desarrollo tecnológico, fomentar la generación de energías limpias y el uso eficiente de ellas, además de desarrollar la conectividad regional y la integración con el Asia Pacífico, aumentar la eficiencia del recurso hídrico, incentivar el turismo, y finalmente, desarrollar una minería sustentable.

⁴⁰ Referencia página web: <http://www.gorecoquimbo.gob.cl/pgobierno/erd/documentos/erd2020.pdf>

⁴¹ Referencia página web: <http://www.gorecoquimbo.gob.cl/>

2. Empleo, a través de aumentar la participación en el mercado laboral, facilitar el acceso de los jóvenes al trabajo, incentivar la generación de nuevos emprendimientos, fomentar el desarrollo del capital humano.
3. Pobreza, la cual se enfrenta implementando el ingreso ético familiar, entrega y regularización de soluciones habitacionales y aumentar la cobertura de servicios básicos.
4. Salud y Deporte, se relaciona con el mejoramiento de prevención de enfermedades en la región, reducción de listas de espera, mejoramiento de infraestructura y equipamiento de salud y fomento de la actividad física.
5. Educación, cuyos objetivos son, mejorar la infraestructura y equipamiento educacional, mejorar la calidad de la educación, y mejorar la convivencia y el clima escolar.
6. Seguridad ciudadana, por medio de reducir la victimización y aumento de la cobertura de atención a víctimas de delitos.
7. Calidad de vida, se cuentan medidas para modernizar el sistema público de transportes, mejorar la vialidad urbana de la región, mejorar los espacios públicos, reducir la vulnerabilidad de sus habitantes frente a desastres.

Por lo tanto, la vinculación que posee la presente iniciativa con el instrumento de planificación, se relaciona con el eje productivo por cuanto busca potenciar la investigación e innovación en la región, además de impulsar la utilización de energías limpias, como también contribuye al uso eficiente de agua potable. Beneficia además a la actividad turística ya que entrega un servicio que hoy no existe en el lugar.

Estrategia Regional de Innovación (ERI 2012 – 2016)⁴²: Instrumento de fomento diseñado poniendo como centro de atención a las empresas, cuyo objetivo principal es desarrollar la economía del conocimiento para la generación de prosperidad sostenible y la calidad de vida de la región de Coquimbo.

En este sentido y como una forma de articular su desarrollo, la ERI se estructura en 3 ejes estratégicos, estos son:

1. Territorio: Articular territorialmente redes de agentes y empresas para el desarrollo y aplicación de la I+D+I. Esto se consigue con un desarrollo y acercamiento al territorio de una oferta adecuada a las necesidades de las empresas.
2. Economía: Promover una economía de desarrollo sustentable basada en conocimiento. Para lo cual se pretende fortalecer y diversificar la estructura económica de la región.
3. Empresa: Promover una sociedad creativa, innovadora y competitiva. En este sentido se espera desarrollar la capacidad de innovación del tejido empresarial.

El proyecto se relaciona directamente con la ERI por cuanto se enfoca en agregar valor a un territorio protegido como es la Isla Damas (Reserva Nacional Pingüino de Humboldt), para desarrollar en el mismo una iniciativa innovadora marcada por la aplicación de energías renovables no convencionales, además de poner a disposición del público, agua potable por medio de técnicas de desalación que contribuyen al desarrollo sustentable de actividades económicas como es el turismo. En este sentido, la iniciativa busca convertirse en un referente para otros territorios en donde existan las mismas características a modo de replicar esta experiencia promoviendo así el uso de tecnologías limpias y amigables con el medio ambiente.

⁴² Referencia página web: <http://www.gorecoquimbo.gob.cl/>

Principales parámetros dispuestos en la Norma Chilena de Agua Potable

Cuadro N° 7. Límites máximos permitidos para elementos esenciales, No esenciales y sustancias orgánicas

ELEMENTO	EXPRESADO COMO ELEMENTOS TOTALES	LÍMITE MÁXIMO MG/L
Elementos Esenciales		
Cobre	Cu	2
Cromo total	Cr	0,05
Fluoruro	F	1,5
Hierro 0,3	Fe	0,3
Manganeso	Mn	0,1
Magnesio	Mg	125
Selenio	Se	0,01
Zinc	Zn	3
Elementos No Esenciales		
Arsénico	As	0,01
Cadmio	Cd	0,01
Cianuro	CN	0,05
Mercurio	Hg	0,00
Nitrato	NO	50
Nitrito	NO	3
Razón nitrato + nitrito		1
Plomo		0,05
Sustancias Orgánicas		
Tetracloroetano	µg/L	40
Benceno	µg/L	10
Tolueno	µg/L	700
Xilenos	µg/L	500

Cuadro N°8. Parámetros relativos a características organolépticas.

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo
Físicos:			
Color verdadero	-	Pt-Co	20
Olor	-	-	Inodora
Sabor	-	-	Insípida
Inorgánicos:			
Amoníaco	NH ₃	mg/L	1,5
Cloruro	Cl	mg/L	400
pH	-	-	6,5 < pH < 8,5
Sulfato	SO ₄ (-2)	mg/L	500
Sólidos disueltos totales		mg/L	
Orgánicos:			
Compuestos fenólicos	Fenol	µg/L	2

Antecedentes obras de construcción.

1.1. Planos.

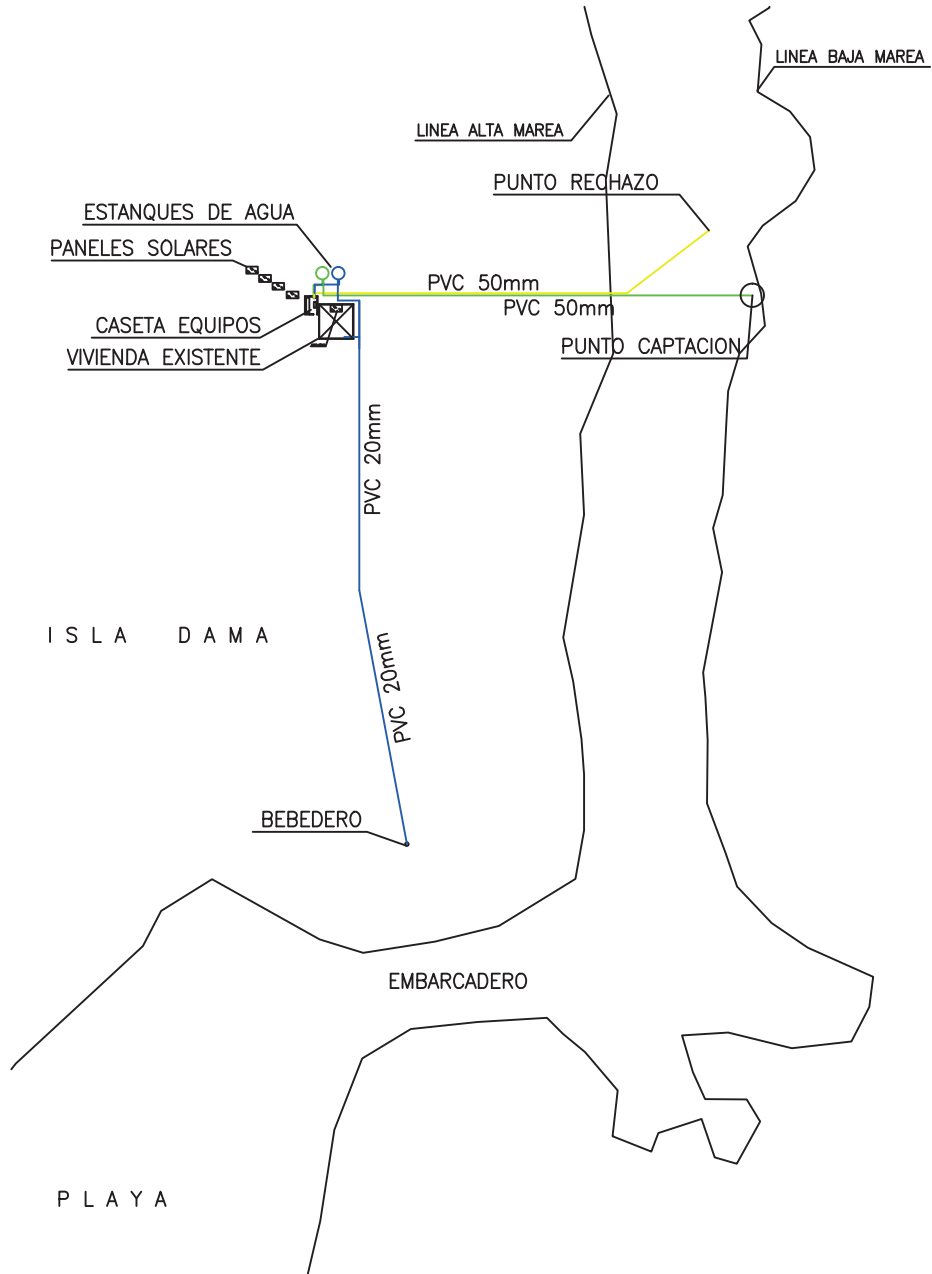
Detalle Planta Proyecto

CROQUIS DE UBICACION I S L A D A M A

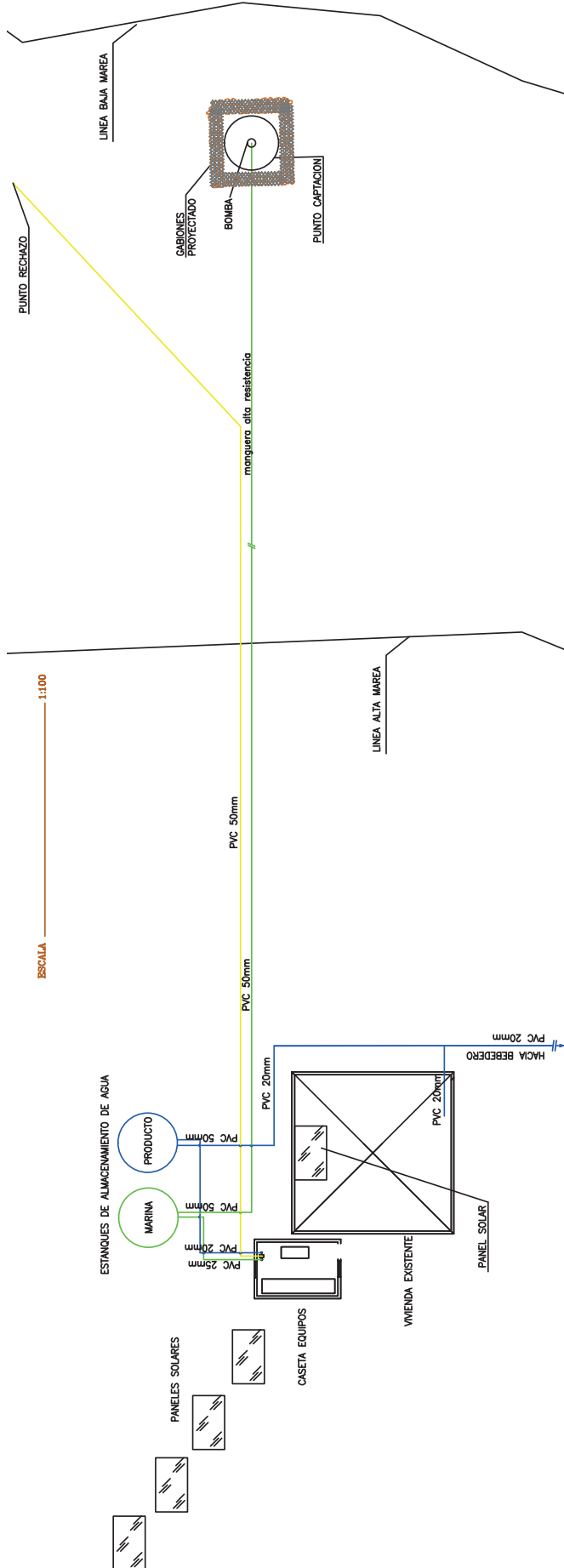


Planta General Emplazamiento

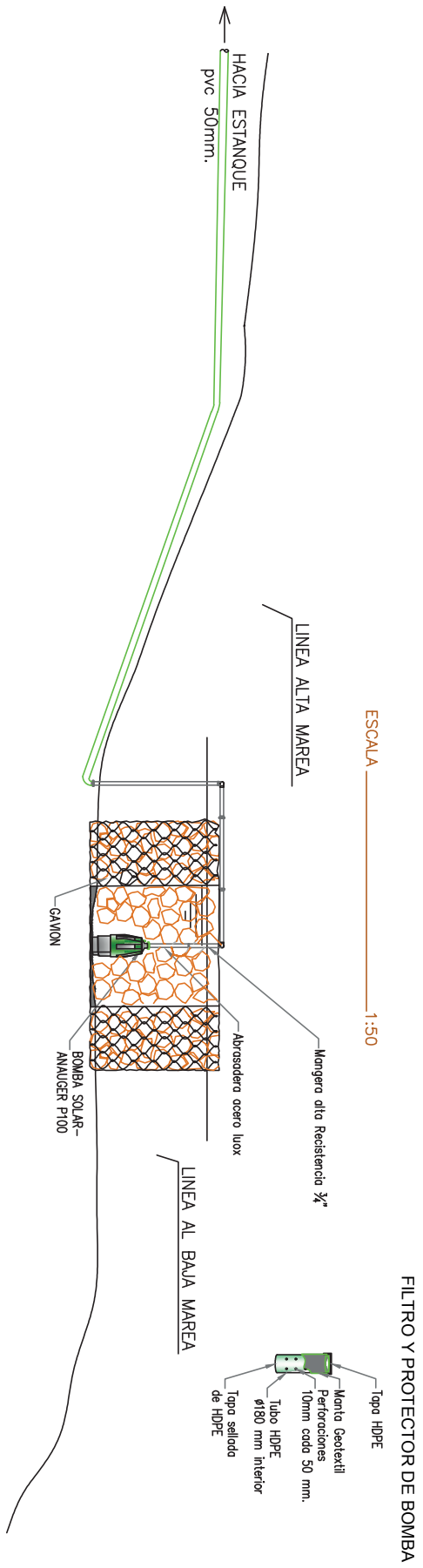
ESCALA _____ 1:1.000



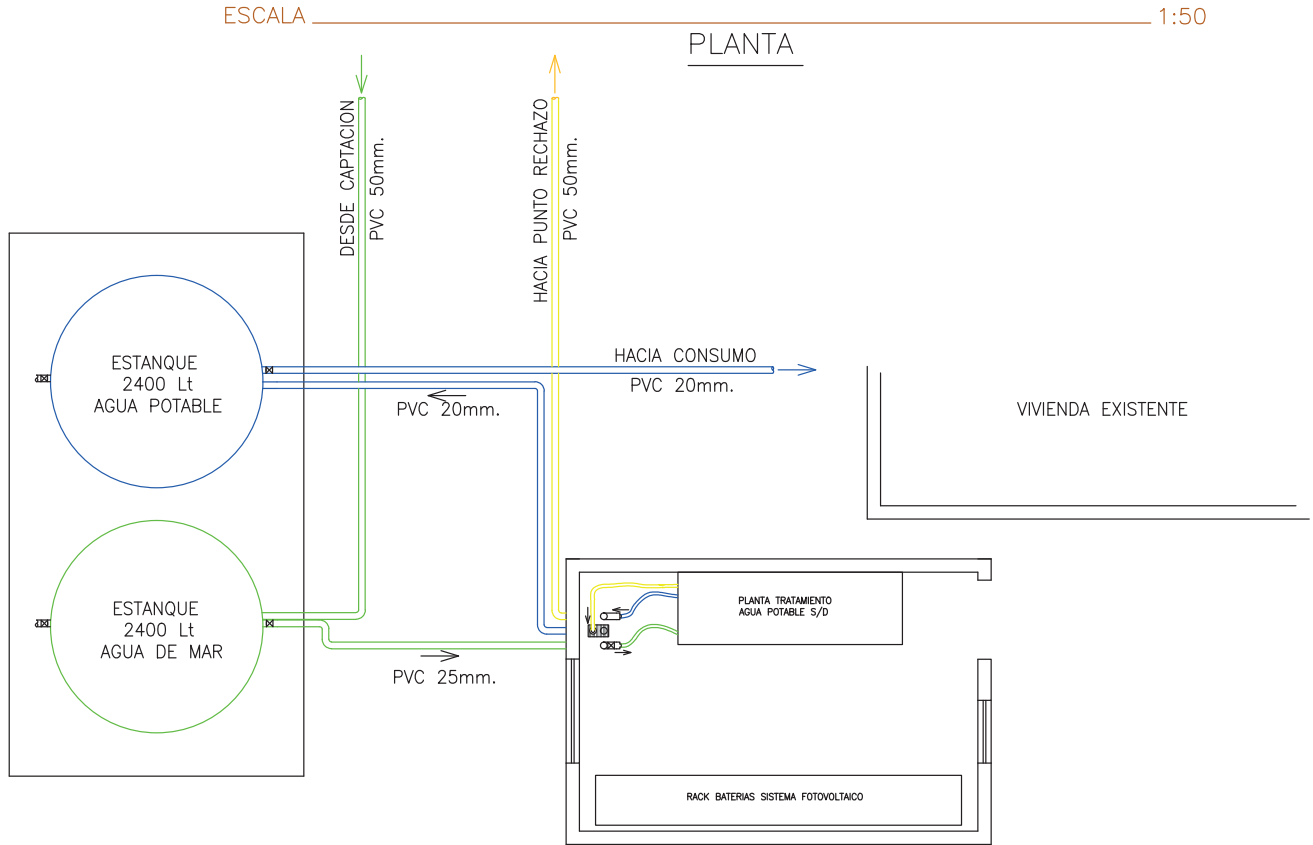
Detalle Planta Proyecto



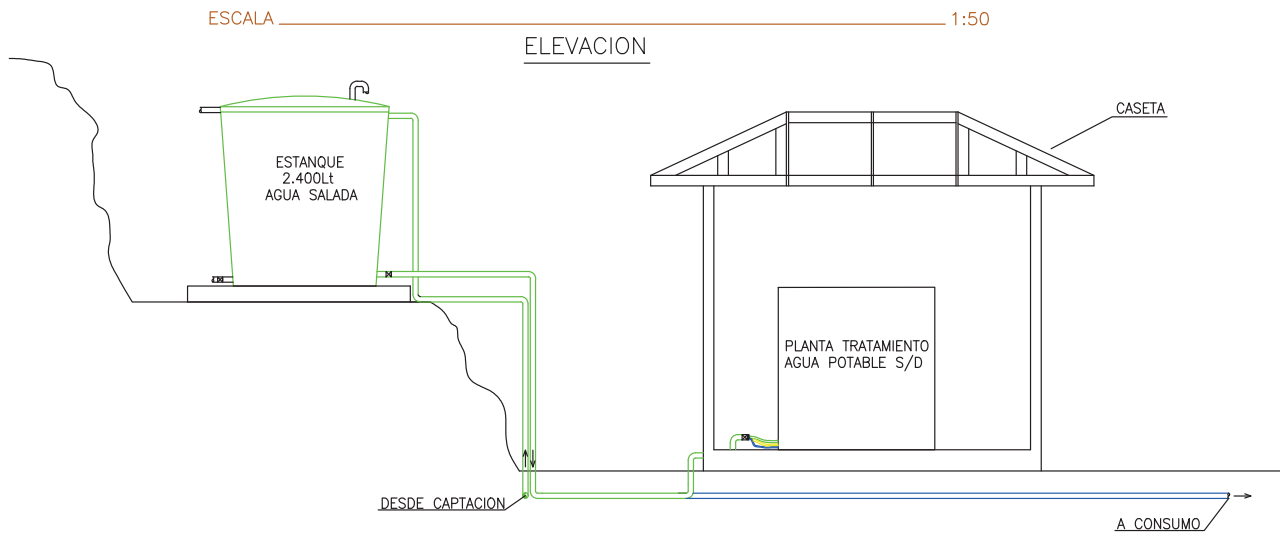
Detalle Punto Captación



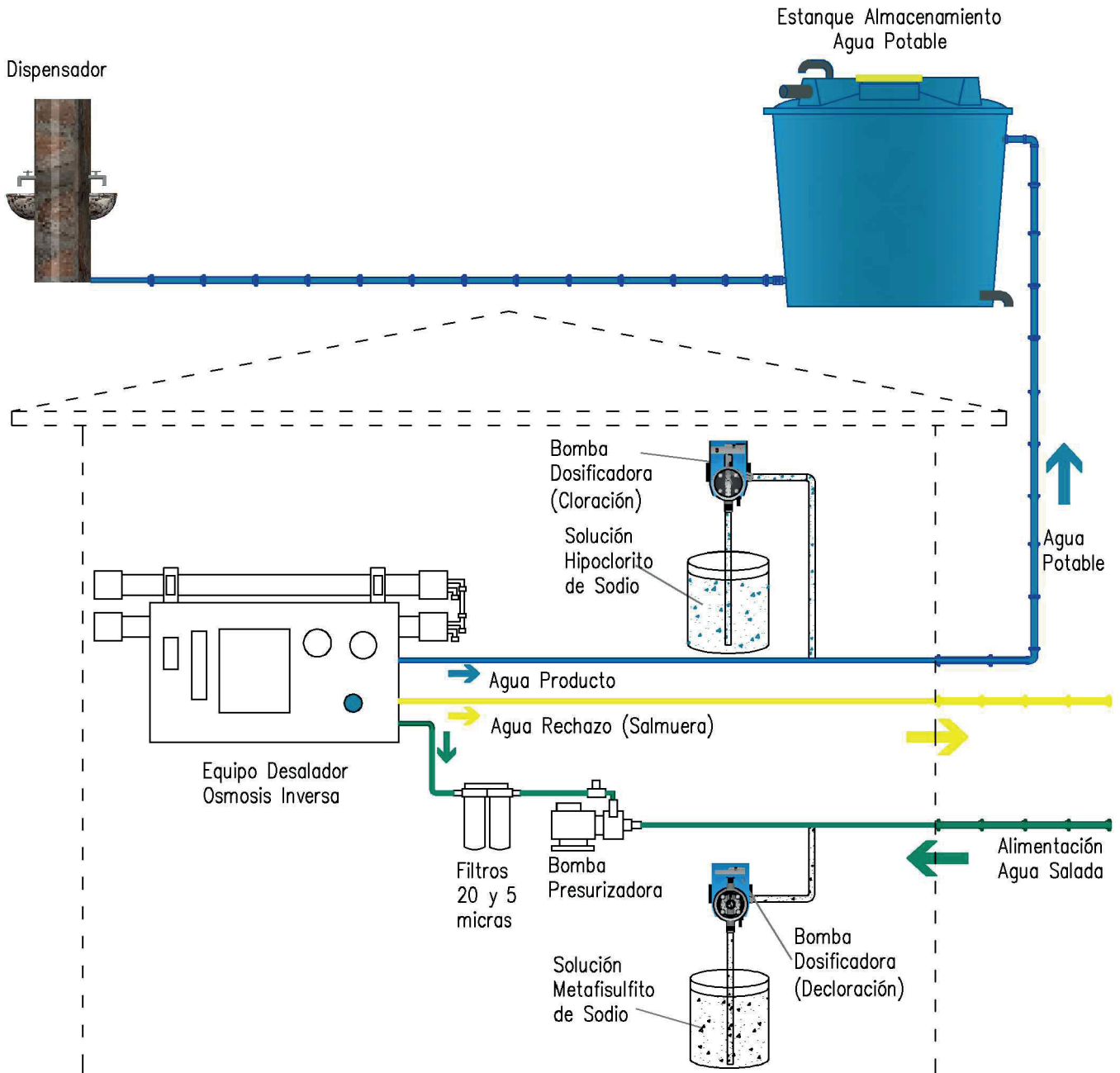
Detalle Planta de Osmosis Inversa Planta

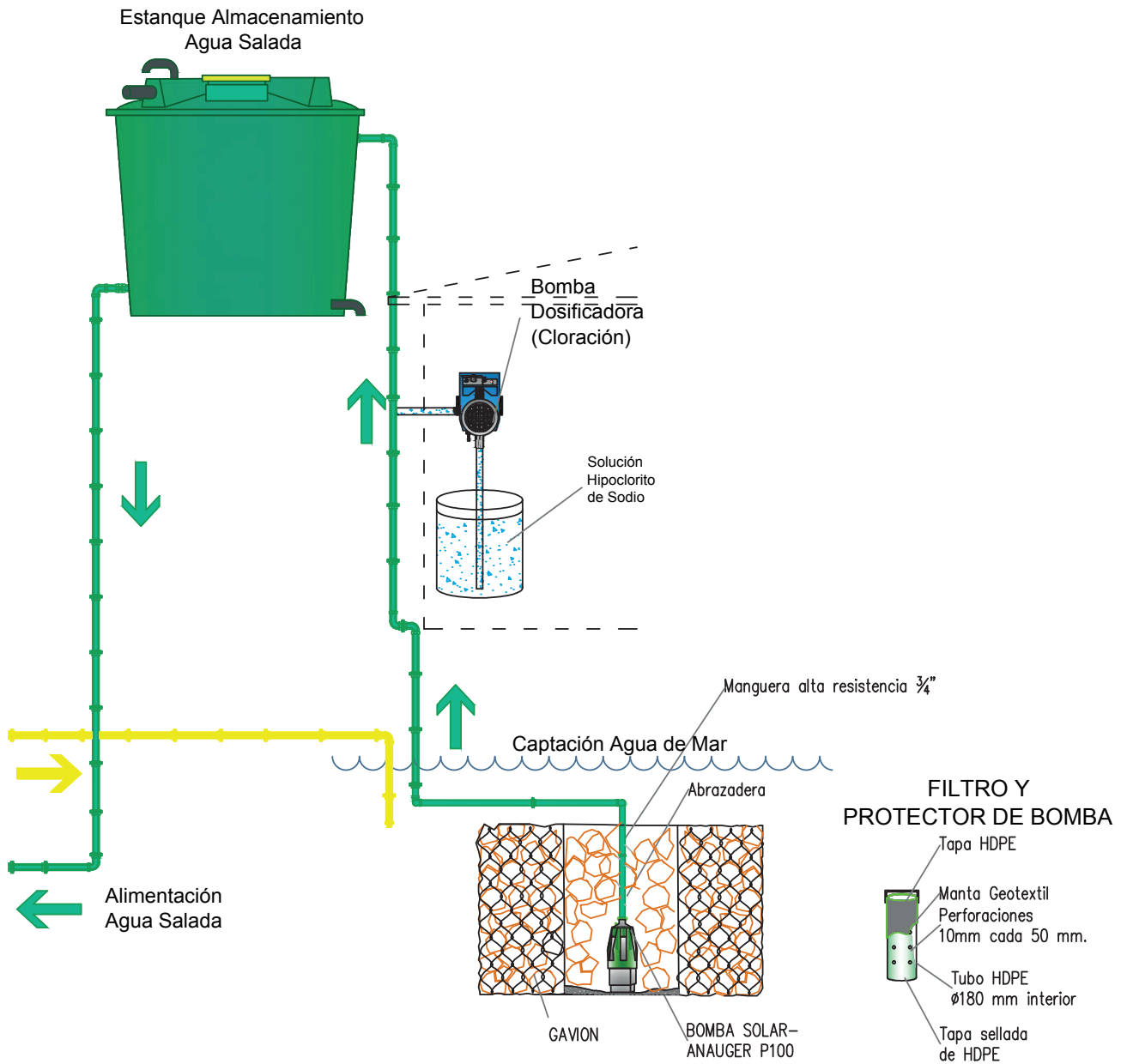


Detalle Planta de Osmosis Inversa Elevación



Esquema Sistema de Desalación de Isla Damas



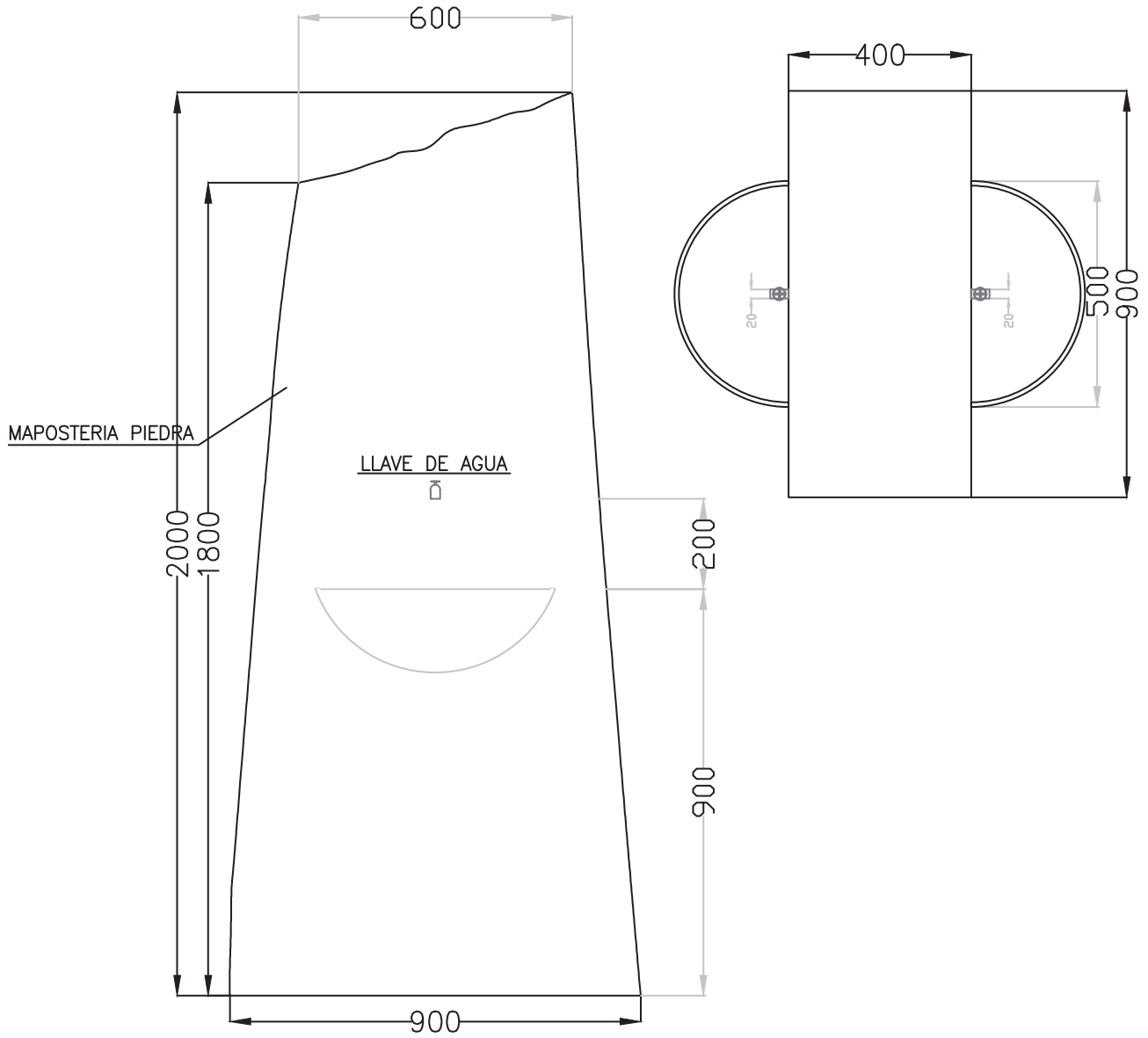


Detalle Bebedero

ESCALA _____ S/E [mm]

ELEVACION

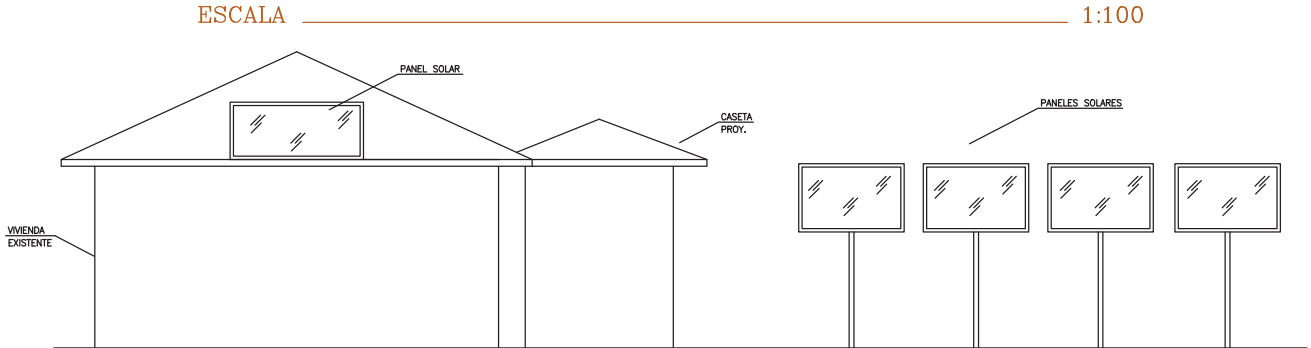
PLANTA



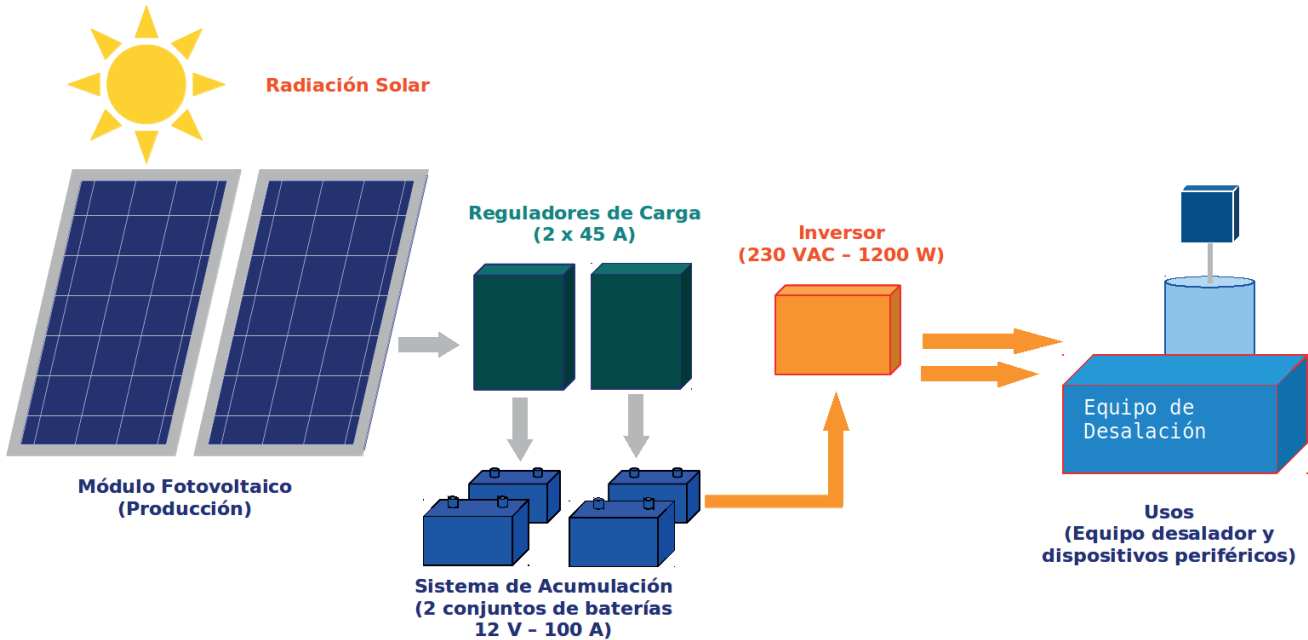
Antecedentes diseño sistema fotovoltaico

1.2. Planos.

Detalle Ubicación Paneles Solares



Esquema fotovoltaico Isla Damas

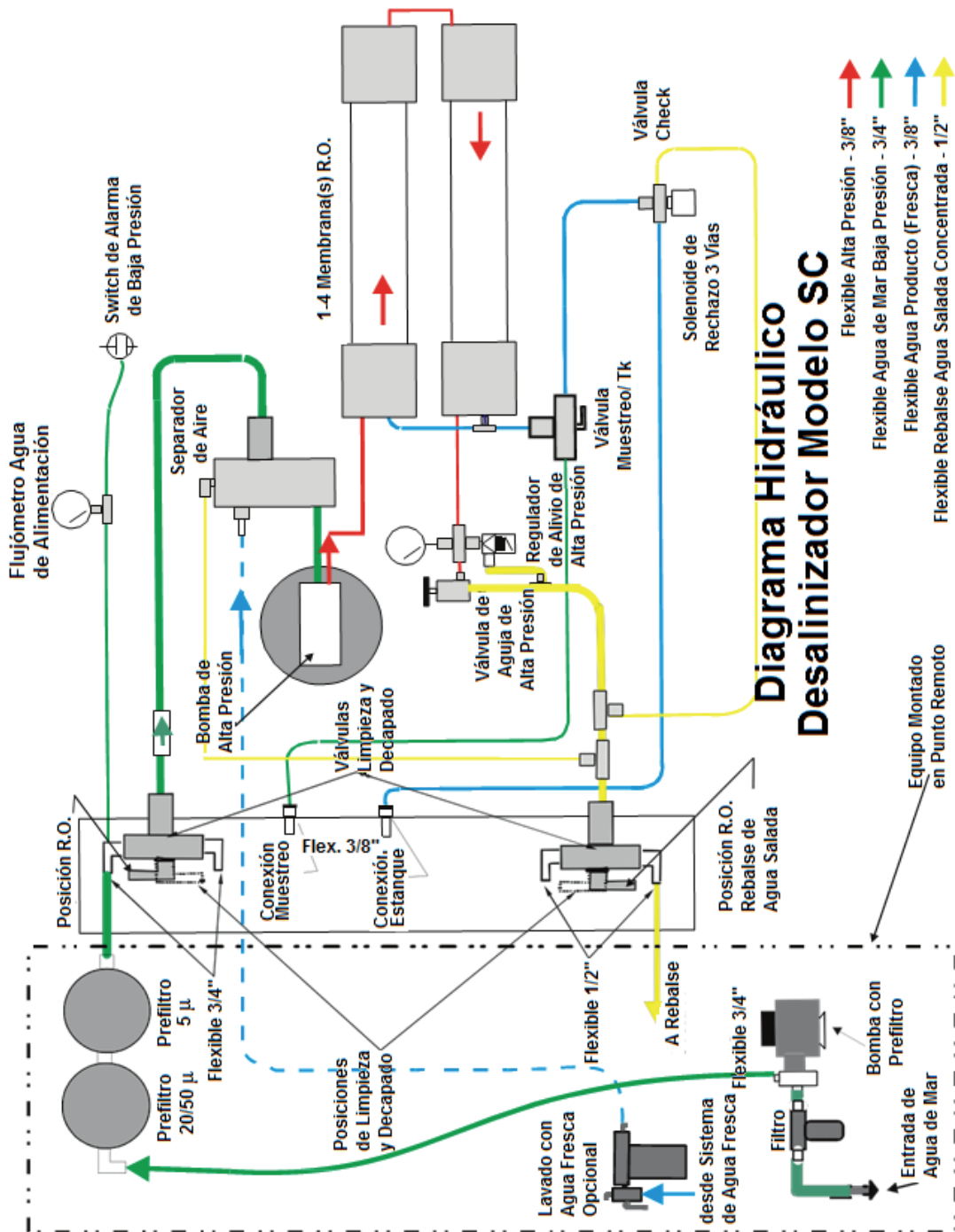


1.3. Memoria de Cálculo

SISTEMA FOTOVOLTAICO				
Lugar	ISLA DAMAS			
Respaldo red	NO			
Voltaje requerido (V)	220			
Sistema de Seguridad	6			
CONSUMOS	CANT.	CONSUMO UNIT.	HRS./DIA	CONSUMO TOTAL
		W		Wh. Día
PLANTA OSMOSIS INVERSA	1	1.100	10	11.000
TV	0		6	0
Ampolletas	0		6	0
Bomba agua	0		1	0
Radio	0		8	0
		1.100	TOTAL	11.000
RADIACIÓN PROMEDIO DÍA ENERO		5.953 w/m2-día (LA SERENA, 30° inclin. vert., ENERO)		
Elección mod. fotovoltaico:		SUN 200W		
	Característica	Valor	Un.	
	Pot. Peack	200	W	
	Corriente peack	7,28	A	
	Volt. Peack	27,5	V	
	Cte. Corto Circ.	8,25	A	
	Cte. Corto Circ.		A	
	Ancho panel	0,95	m	
	Largo panel	1,55	m	
	Espesor panel	0,1	m	
	Peso		Kg.	
Rendimiento panel	0,1358	→	13,60%	
Cant.de paneles: (consumo mayor / Radiación menor) / (Rendimiento x Area panel)				
	9,239	→	10	
Regularo de carga:				
	(Cte. Cto. Circ. x N° paneles)			
	82,5	→	90	(A)
BATERIAS: AMPERAJE NECESARIO: CONSUMO / 12 V				
	917			
FACTOR DE SEGURIDAD	Días de holgura x consumo recomendable			
	9			
TOTAL AMPERAJE DE 100 (A):	8.250			
N° DE BATERIAS DE 100 (A) EN PARALELO:	82,5	→	84,0	
INVERSOR: USAR UNO SINUSOIDAL PARA CONSUMO MAX. DIARIO				

Antecedentes sistema osmosis inversa

1.4. Diagrama Hidráulico para el equipo desalador.



Listado de Acrónimos

APR: Sistema de Agua Potable Rural.
ASP: Área Silvestre Protegida.
CAZALAC: Centro del Agua para Zonas Áridas, Semiáridas y Subhúmedas Secas de América Latina y el Caribe.
CER: Centro de Energías Renovables - Chile.
CNE: Comisión Nacional de Energía - Chile.
CODELCO: Corporación Nacional del Cobre - Chile.
CONAF: Corporación Nacional Forestal - Chile.
CORFO: Corporación de Fomento de la Producción - Chile.
DOH: Dirección de Obras Hidráulicas - Chile.
EIA: International Energy Agency.
ENE: Estrategia Nacional de Energía.
ERD: Estrategia Regional de Desarrollo.
ERI: Estrategia Regional de Innovación.
ERNC: Energía Renovable No Convencional.
FIC: Fondo de Innovación para la Competitividad.
FNDR: Fondo Nacional de Desarrollo Regional.
GORE: Gobierno Regional de Coquimbo - Chile.
GWI: Global Water Intelligence
IDA: Asociación Internacional de Desalación.
KW: Kilowatt. Unidad de Potencia correspondiente a 1.000 Watts.
LAC: América Latina y el Caribe.
ME (Múltiple Efecto): Tecnología de Evaporación de Múltiple Efecto.
MW: Megawatt. Unidad de Potencia correspondiente a 1.000.000 Watts.
OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.
OI: Osmosis Inversa.
OMS: Organización Mundial de la Salud.
ONU: Organización de las Naciones Unidas.
PHI: Programa Hidrológico Internacional de UNESCO.
PMU: Programa de Mejoramiento Urbano.
PSI: Pounds per Square Inch. Unidad de presión Libra-Fuerza por Pulgada Cuadrada.
RAE: Real Academia Española de la Lengua.
REN21: Renewable Energy Policy Network for the 21st Century - ONU.
SDI: Silt Density Index. índice de densidad de sedimentos, el cual es una medida de la capacidad de ensuciamiento del agua en sistemas de ósmosis inversa.
SEA: Servicio de Evaluación Ambiental - Chile.
SEIA: Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.
SIC: Sistema Interconectado Central - Chile.
SING: Sistema Interconectado del Norte Grande - Chile.
SNASPE: Sistema Nacional de Áreas Silvestres Protegidas por el Estado - Chile.
SUBPESCA: Subsecretaría de Pesca - Chile.
UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura - ONU.
VMW - Flandes: Vlaamse Maatschappij voor Watervoorziening, empresa aportante al proyecto.

Referencias

1. Aguas San Pedro de Atacama. Página web: http://www.aguassanpedrodeatacama.cl/?page_id=922. Consultado el 04 de octubre de 2012.
2. Asociación Internacional de Desalinización (AID). Página web: <http://www.idadesal.org/default.aspx>. Consultado el 12 de octubre de 2012.
3. Biblioteca del Congreso Nacional. Buscador de leyes. Página web: <http://www.leychile.cl>. Consultado el 15 de octubre de 2012.
4. Casas, José Manuel. Gea, Francisca. Educación Medioambiental. Editorial Club Universitario. España. 2007.
5. Centro de Energías Renovables (CER). Ministerio de Energía – CORFO. "Reporte estado ERNC en Chile. Marzo 2012". Santiago, Chile. Agosto de 2012.
6. Centro de Energías Renovables (CER). Ministerio de Energía – CORFO. "Reporte estado ERNC en Chile. Agosto 2012". Santiago, Chile. Agosto de 2012.
7. Centro de Energías Renovables (CER). Ministerio de Energía – CORFO. "Reporte estado ERNC en Chile. Agosto 2012". Santiago, Chile. Enero de 2013.
8. Centro de Energías Renovables (CER). Ministerio de Energía – CORFO. "Fuentes de Financiamiento de ERNC. Página web:
9. http://cer.gob.cl/wpcontent/uploads/downloads/2012/08/Fichas_Instrumentos_Financiamiento_V11.pdf. Consultado el 17 de octubre de 2012.
10. Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos. CIRCE – Universidad de Zaragoza. Informe "Desalación como alternativa al Plan Hidrológico Nacional (PHN) de España". 2001. <http://circe.cps.unizar.es/spanish/isgwes/spain/desala.pdf>. Consultado el 09 de octubre de 2012.
11. Corporación Nacional Forestal. página web: http://www.conaf.cl/parques/ficha-reserva_nacional_pinguino_de_humboldt-21.html. Consultado el 04 de octubre de 2012.
12. Corporación del Cobre (CODELCO). Planta Desaladora de CODELCO. Página web: http://www.codelco.com/pescadores-artesanales-operaran-primera-planta-desaladora-de-agua-con-energia-solar/prontus_codelco/2012-08-27/125604.html. Consultado el 15 de octubre de 2012.
13. Corporación Nacional Forestal (CONAF). Plan de Manejo de la Reserva Pingüino de Humboldt. Coquimbo. 2007. Página web: <http://repositorio.redagochile.cl/xmlui/handle/123456789/3759>. Consultado el 23 de octubre de 2012.
14. Comisión Nacional de Energía. Página web: www.cne.cl. Consultado el 10 de octubre de 2012.
15. Diario La Tercera. Plantas desaladoras en Chile. Página web: <http://www.latercera.com/noticia/negocios/2012/08/655-480291-9-pescadores-artesanales-de-hornitos-operaran-primera-planta-desaladora-de-agua.shtml>. Consultado el 15 de octubre de 2012.
16. Dirección Nacional de Aguas (DGA). Estrategia Nacional de Recursos Hídricos. Página web: <http://www.dga.cl/noticias/Paginas/DetalledeNoticias.aspx?item=198>. Consultado el 18 de octubre de 2012.
17. Fassi, Pedro. Presentación Empresa Aguas de Antofagasta. III Seminario Internacional de Desalación, ALADYR. Antofagasta, Chile. 2012.
18. Gobierno Regional de Coquimbo. Estrategia Regional de Desarrollo (ERD). Página web: <http://www.gorecoquimbo.gob.cl/pgobierno/erd/documentos/erd2020.pdf>. Consultado el 19 de octubre de 2012.
19. Gobierno Regional de Coquimbo. Plan Regional de Gobierno. Página web: <http://www.gorecoquimbo.gob.cl/>. Consultado el 19 de octubre de 2012.

20. González, Mario. Presentación Aguas Antofagasta. II Seminario Internacional de Desalación. Antofagasta. 2012.
21. Global Water Intelligence (GWI). Informe: "2008-2009 Desalination Yearbook" de la Asociación Internacional de Desalación (IDA). <http://www.globalwaterintel.com/>. Consultado el 08 de octubre de 2012.
22. Jiménez, Javier Martín. "Para que siga siendo azul". España. 2010. Referencia página web: <http://es.scribd.com/doc/80571450/2/HISTORIA-DE-LA-ENERGIA-SOLAR-FOTOVOLTAICA>. Consultado el 10 de octubre de 2012.
23. Méndez M., Javier María. Cuervo, Rafael. Energía Solar Fotovoltaica (2º edición). Editorial FC. Madrid, España. 2007.
24. Ministerio de Energía. Estrategia Nacional de Energía. Página web: <http://www.minenergia.cl/estrategia-nacional-de-energia-2012.html>. Consultado el 18 de octubre de 2012.
25. Ministerio de Energía. "Estrategia Nacional de Energía 2012 – 2030". Gobierno de Chile. Santiago, Chile. 2012.
26. Organización Mundial de la Salud (OMS) – ONU. Informe: "Progress on drinking water and sanitation. 2012". 2012. Página web: http://www.who.int/water_sanitation_health/publications/2012/jmp_report/en/index.html. Consultado el 10 de octubre de 2012.
27. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) – ENDESA ECO. "Informe de Energías Renovables y Generación Eléctrica en Chile". Santiago, Chile. 2007.
28. Portal de Energías Renovables. Página web: www.sitiosolar.com. Consultado el 11 de octubre de 2012.
29. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (REN21-ONU). Reporte de inversión mundial en energías renovables. Frankfurt School. 2012.
30. Programa Hidrológico Internacional (PHI) de la Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) y el Centro del Agua para Zonas Áridas de América Latina y el Caribe (CAZALAC). "Atlas de Zonas Áridas de América Latina y el Caribe". Documento Técnico del PHI-LAC, No25. La Serena, Chile, 2010.
31. Ross, Moreno Antonio. Curso El agua. Desalación. <http://www.emagister.com/curso-agua-desalacion-2-4/descripcion-proceso-osmosis-inversa>. Consultado el 08 de octubre de 2012.
32. Subsecretaría para las Fuerzas Armadas del Ministerio de Defensa Nacional. Sistema de Concesiones Marítimas. Página web: <http://www.concesionesmaritimas.cl/>. Consultado el 22 de octubre de 2012.
33. UNESCO-ONU. Ciencias Naturales, Agua. Glosario de términos. 2012. Disponible en: <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/>. Consultado el 05 de octubre de 2012.
34. Universidad de Santiago de Chile. Educación Ambiental, Energías Alternativas. Página web: <http://web.usach.cl/ima/enviroeduca/energia8.html>. Consultado 12 de octubre de 2012.
35. Velasco González, Jaime. Energías Renovables. Editorial Reverte. Barcelona. España. 2009.