



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN MEDIOAMBIENTE
CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**PROPUESTA DE MEJORA DE UN SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA
COMUNIDAD DE ISLA ALEJANDRO SELKIRK,
ARCHIPIÉLAGO JUAN FERNÁNDEZ, V REGIÓN,
CHILE.**

TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERA AMBIENTAL

KATTERINE ELIZABETH LÓPEZ GONZÁLEZ
PROFESOR GUÍA: DR. OCIEL COFRÉ CARVAJAL

VALPARAÍSO, 2020

Resumen

El desarrollo del ser humano ha estado muy de la mano con el consumo del agua, recurso importante para la generación de la vida y cuya demanda es proporcional respecto del crecimiento de la población mundial. Su eficaz manejo es una de las herramientas importantes para poder preservarla, ya que su escasez lleva a crisis en el desenvolvimiento de la vida cotidiana de los usuarios, y provoca conflictos sociales importantes y enfermedades que ponen en riesgo la salud de las personas. Es por ello que, para garantizar que esto no suceda, se requiere un correcto manejo del recurso, confeccionar los sistemas de forma correcta, contar con los elementos, equipos y metodologías necesarias para poder suministrar agua potable hacia las comunidades y, además, encontrar alternativas que puedan contribuir a revertir lo dicho anteriormente, y que, en lo posible, no generen un mayor impacto negativo al medio.

La comuna de Juan Fernández, específicamente en Isla Alejandro Selkirk, donde se desarrolla este proyecto, presenta un sistema de agua potable deficiente respecto a su diseño y equipos presentes. Su sistema de agua potable está confeccionado con materiales precarios, por lo que el agua que se recolecta allí se pierde en un gran porcentaje, lo que trae como consecuencia que la población no cuente con el suministro durante todo el día y que, en verano, el recurso escasee aún más, agravando la situación. Es por ello que el presente estudio tuvo como objetivo en realizar una mejora del sistema de agua destinada al consumo humano actualmente existente en el pueblo de la isla. Para lograr dicho objetivo, es que primeramente se llevó a cabo una estimación de la demanda presente y futura del recurso, con el fin de que este cubra la demanda de la población proyectada en diez años. Luego, se llevó a cabo el perfeccionamiento del sistema como tal, modificando los puntos débiles y diseñando un sistema desalador de agua de mar, el cual será utilizado en los momentos críticos de escasez, y que funcionará en base a energía renovable, con un costo total de inversión de 86.916.443 de pesos chilenos.

Por tanto, llevar a cabo un mejoramiento del sistema de agua potable y apoyarlo con una planta desalinizadora de agua, es una gran oportunidad para poder mejorar de forma significativa la calidad de vida de aquellas personas. De esta forma, se logrará evitar poner en riesgo su salud, al poder potabilizarla como la norma lo indica, y también, contribuir a la eficiencia hídrica y combatir la escasez hídrica de la zona.

Agradecimientos

Primeramente, deseo hacer un reconocimiento especial y agradecer a mis padres, por darme las herramientas y oportunidades necesarias para haber llegado hasta acá. Muchas gracias por siempre hacerme entender que la perseverancia es algo muy importante en todo lo que nos proponemos. Me enorgullece ser luchadora, tal como lo son ustedes.

Alicia, te agradezco enormemente quererme como una hija y siempre querer lo mejor para mí y por hacer de Valparaíso mi otro hogar. Todas las veces que creí no poder lograr el objetivo por el cual emigré de mi tierra, siempre estuviste ahí para confiar en mis capacidades. A mi hermana Hilda y mis lindas sobrinas, por siempre alentarme y recibirme con los brazos abiertos cada vez que vuelvo a mi hogar isleño. A mis queridos amigos, tanto isleños como los continentales; esos que ya son parte de mi familia, la que sí se puede escoger. Me siento muy plena por el apoyo de estos años y valoro mucho todas las veces que me han llenado de buenas vibras y amor. También, una mención a mis amigos Poma y Feña, por la gran voluntad que tuvieron al ayudarme a recopilar la información necesaria y clave de este estudio.

Asimismo, deseo agradecer a mis profesores de universidad, compañeros, amigos, profesionales, expertos en el área y todos aquellos que he conocido en esta etapa universitaria, los cuales me otorgaron conocimientos y valores necesarios para poder llevar a cabo este proyecto y así, finalizar esta carrera.

Igualmente, a mi compañero, Carlos, por su apoyo y amor incondicional. Agradezco a la vida por habernos juntado en el paraíso isleño y que nos haya mostrado el amor. Me siento muy afortunada de tenerte a mi lado y orgullosa de lo que en este tiempo hemos logrado como familia. Pero sin lugar a dudas, el mayor de los créditos se lo lleva mi hija, mi querida Yolanda. A su corta edad ha logrado comprender mis momentos de estrés, me ha dado palabras de aliento y con su gran paciencia y amor, han hecho que todo esto también sea posible. Eres y serás el gran motor de mi vida. Gracias por elegirme como mamá.

Agradezco también a mi gran oportunidad y privilegio de crecer en mi apreciada tierra, Isla Alejandro Selkirk. Este trabajo lo hice con el corazón, anhelando volver y reencontrarme nuevamente con mis raíces y los magníficos paisajes de ensueño. Te extraño tierra amada.

“Se firme en tus actitudes y perseverante en tu ideal. Pero sé paciente, no pretendiendo que todo te llegue de inmediato. Haz tiempo para todo, y todo lo que es tuyo, vendrá a tus manos en el momento oportuno”

Mahatma Gandhi

Índice de contenidos

1.	Introducción	1
1.1	Sistemas rurales de agua potable para consumo humano	2
1.2	Desalinización del agua de mar	3
1.3	Energía fotovoltaica	5
1.4	Calidad de agua para consumo humano	6
1.5	Zona de estudio	8
2.	Problema.....	10
3.	Objetivos	11
3.1	Objetivo General	11
3.2	Objetivos Específicos	11
4.	Diagnóstico, Capacidad y Ubicación del sistema	12
4.1	Diagnóstico del Sistema Actual	12
4.1.1	Vertientes	12
4.1.2	Estanques	16
4.1.3	Red de Distribución	19
4.2	Capacidad del Sistema	20
4.2.1	Estrategias de reducción de la demanda hídrica	25
4.3	Ubicación del Sistema.....	27
5.	Síntesis y selección de Operaciones Unitarias	30
5.1	Sistema de Captación de Aguas de vertientes	30
5.1.1	Bombas	31
5.1.2	Filtración de materia sólida.....	32
5.1.3	Tubos de conducción de agua.....	35
5.2	Sistema de Almacenamiento de agua para consumo humano	37
5.2.1	Coagulación	37
5.2.2	Floculación	37

5.2.3	Decantación	38
5.2.4	Filtración.....	38
5.2.5	Desinfección	38
5.3	Sistema de Transporte	38
5.4	Sistema Completo.....	39
5.5	Sistema de Inyección de agua de mar para la reducción de la demanda de agua potable	40
5.5.1	Captación	40
5.5.2	Almacenamiento.....	40
5.5.3	Transporte	40
5.5.4	Sistema completo	41
5.6	Sistema de Desalinización de agua de mar (osmosis inversa)	41
6.	Balance de materia	45
6.1.1	Captación, Almacenamiento y Distribución.....	45
6.1.2	Desalinización	48
6.1.3	Potabilización de agua para consumo humano.....	51
7.	Balance de energía	56
7.1	Bombas.....	56
7.1.1	Bomba N°1 y 2: Captación desde las Vertientes.....	56
7.1.2	Bomba N°3: Captación de Agua de Mar (Planta Desalinizadora)	57
7.2	Sistema desalador	62
7.2.1	Estimación del consumo	63
7.2.2	Datos del lugar de la instalación	66
7.2.3	Dimensionamiento del sistema generador o módulos FV	67
7.2.4	Dimensionamiento del sistema de acumulación o baterías.....	68
7.2.5	Dimensionamiento del inversor.....	70
7.2.6	Dimensionamiento del regulador de carga.....	70

7.3	Sensores de nivel hidrostático.....	72
7.3.1	Estanques para agua desalada y proveniente de vertientes	73
7.3.2	Estanque para agua de mar	74
7.3.3	Estanque para salmuera.....	74
8.	Diseño, Estimación y Selección de equipos	75
8.1	Captación.....	78
8.2	Almacenamiento	78
8.3	Transporte.....	79
8.4	Reducción de la demanda hídrica: inyección de agua de mar al sistema	80
8.5	Desalinización	80
8.6	Sistema fotovoltaico	83
8.7	Potabilización y Mineralización.....	84
9.	Análisis de costos	86
9.1	Costos de materiales y equipos	86
9.2	Costo Asociado a Mantenimiento.....	88
10.	Discusión	90
11.	Conclusiones.....	93
12.	Bibliografía	94
13.	Anexos	100
13.1	Cálculos para las bombas de ambas vertientes	100
13.2	Cotizaciones de los Principales Materiales y Equipos	104
13.2.1	Planta Desalinizadora.....	104
13.2.2	Bomba de 3 HP	104
13.2.3	Cotización de estanques	105
13.2.4	Inversor	105
13.2.5	Regulador de carga	106
13.2.6	Baterías.....	106

13.2.7	Paneles fotovoltaicos	106
13.2.8	Sensores de presión hidrostática.....	107
13.3	Ficha Técnica de Materiales y/o Equipos	108
13.3.1	Inversor	108
13.3.2	Regulador de carga	108
13.3.3	Panel fotovoltaico	108
13.3.4	Cloro líquido	109
13.3.5	Ábaco de pérdidas de carga en tuberías lisas de PVC/PE.....	110

Índice de Figuras

Figura N° 1: Diagrama esquemático de planta desalinizadora osmosis inversa. (Pérez, C, & Sotomayor, J., 2014)	5
Figura N° 2: Cartografía de isla Alejandro Selkirk. (Méndez, 2017).....	9
Figura N° 3: Quebrada “El Papal”, con vista hacia la vertiente.	13
Figura N° 4: Receptáculo de vertiente, quebrada “El Papal”.	13
Figura N° 5: Acceso y vista de vertiente quebrada “El Mono”.	14
Figura N° 6: Vertiente “El Mono”	14
Figura N° 7: Vista satelital de Isla Alejandro Selkirk, en donde se visualiza la ubicación de los estanques de agua y sus puntos de captación (Elaboración propia, Google Earth)....	15
Figura N° 8: Recorrido que realizan los elementos de transporte de agua, desde las vertientes hasta los estanques de Isla Alejandro Selkirk. (Ibarra, 2019. Editado).....	16
Figura N° 9: Estanque de cemento	16
Figura N° 10: Otra perspectiva del estanque de cemento.	17
Figura N° 11: Interior estanque de cemento.....	17
Figura N° 12: Estanques de polietileno.	18
Figura N° 13: Estanques de polietileno con sus respectivas tapas.....	18
Figura N° 14: Plazas negras pertenecientes a la red de distribución del sistema.	19
Figura N° 15: Sistema de distribución de aguas para el consumo humano. La imagen del lado izquierdo corresponde a la red de distribución perteneciente a los dos estanques pequeños, mientras que la de la derecha es correspondiente al estanque grande de cemento.....	20
Figura N° 16: Gráfico de dispersión con línea de tendencia lineal de número de habitantes por año que reside en IAS, desde el año 2016 al 2019. Para los años siguientes se realizó una proyección de las mismas características.	23
Figura N° 17: Vista satelital de Isla Alejandro Selkirk. (Elaboración propia, Google Earth).	27

Figura N° 18: Fotografía que muestra forma completa el poblado “Rada La Colonia”. (Ibarra, 2019).	28
Figura N° 19: Imagen del poblado “Rada La Colonia”, con su organización general. (Ibarra, 2019).	28
Figura N° 20: Zonas de toma de agua o captación y estanques de Isla Alejandro Selkirk, con el posible lugar de implementación de la planta desalinizadora de agua de mar y nuevos sistemas de almacenamiento de agua para consumo humano, destacado en rojo. (Ibarra, 2019. Editado).	29
Figura N° 21: Operaciones unitarias del Sistema de Captación de Aguas de vertientes. .	30
Figura N° 22: Bomba clásica centrífuga	31
Figura N° 23: Bomba sumergible.	31
Figura N° 24: Motobomba.	32
Figura N° 25: Filtro de discos.	33
Figura N° 26: Filtro de malla	33
Figura N° 27: Filtro de carbón activado.	34
Figura N° 28: Tubería de PVC	35
Figura N° 29: Tubería de planza	35
Figura N° 30: Tubería de cobre.....	36
Figura N° 31: Operaciones unitarias del Sistema de Almacenamiento de agua para consumo humano.	37
Figura N° 32: Operaciones unitarias del Sistema de Transporte de agua proveniente de vertientes.	39
Figura N° 33: Operaciones unitarias del Sistema Completo.....	39
Figura N° 34: Operaciones unitarias del Sistema de Almacenamiento de agua de mar para el uso de inodoros.	40
Figura N° 35: Operaciones unitarias del Sistema de Transporte de agua de mar para el uso de inodoros.....	41
Figura N° 36: Operaciones unitarias del sistema completo de inyección de agua de mar.	41

Figura N° 37: Operaciones unitarias del Sistema de Desalación de agua de mar.....	42
Figura N° 38: Balance de materia planta desalinizadora de agua.	49
Figura N° 39: Esquema de bombeo de vertientes hasta el sistema de recolección de agua.	56
Figura N° 40. Esquema de bombeo de agua de mar hasta el sistema de recolección de agua, que abastecerá a la planta desaladora de agua.....	57
Figura N° 41: Esquema básico de un sistema fotovoltaico.....	62
Figura N° 42: Sistema completo de almacenamiento y distribución de agua potable e inyección de agua de mar para la reducción de la demanda hídrica, en rojo y azul respectivamente.	76
Figura N° 43. Plano correspondiente al sistema desalador de agua de mar, donde se puede apreciar la piscina donde estará ubicada la bomba de succión de agua de mar, las tuberías conducción que llegan hasta el estanque pulmón, que abastecerá a la planta desaladora y a los inodoros para dar como resultado la disminución de la demanda hídrica.	76
Figura N° 44. Esquema de cómo será la disposición de los estanques y el equipo desalador en el espacio destinado para aquellos materiales y equipos.....	77
Figura N° 45: Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico propuesto para otorgar la energía necesaria para el funcionamiento de la planta desaladora.....	77
Figura N° 46. Filtro malla y discos 1”.....	78
Figura N° 47: Estanque de almacenamiento de agua para consumo humano.	79
Figura N° 48. Salida de estanque.	79
Figura N° 49: Tubos de polietileno reforzado.	79
Figura N° 50: Tubos de polietileno reforzado	80
Figura N° 51. Tee de reducción.	80
Figura N° 52: Tubos de polietileno reforzado.	81
Figura N° 53: Bomba 3 HP.....	81
Figura N° 54: Estanques.....	81
Figura N° 55: Planta desalinizadora.....	82
Figura N° 56: Salida de estanque.	82

Figura N° 57. Filtro malla y discos 1"	82
Figura N° 58: Sensores hidrostáticos con peso y gancho para cableado.	82
Figura N° 59: Panel fotovoltaico.	83
Figura N° 60. Baterías.....	83
Figura N° 61: Regulador solar.....	84
Figura N° 62: Inversor/cargador.....	84
Figura N° 63: Cloro líquido.....	85
Figura N° 64. Dióxido de carbono.	85
Figura N° 65. Hidroxido de calcio.....	85

Índice de Tablas

Tabla N° 1: Clasificación de los procesos de desalinización. (Dévora et., al., 2012)	4
Tabla N° 2: Estadística poblacional de la comunidad inmigrante de “Rada La Colonia”. (CONAF Juan Fernández, 2019).	21
Tabla N° 3: Número de personas y año correspondiente utilizados para calcular de crecimiento poblacional y posterior demanda hídrica de la población de IAS.	22
Tabla N° 4: Cuadro comparativo de bombas hidráulicas.	31
Tabla N° 5: Cuadro comparativo de filtros empleados en la captación de materia orgánica en agua.....	33
Tabla N° 6: Cuadro comparativo de tubos o cañerías de materiales distintos para llevar a cabo la distribución de agua.	35
Tabla N° 7: Tiempo de llenado de cada estanque.	47
Tabla N° 8: Estanques y sus proporciones con respecto al volumen total recolectado del sistema.	47
Tabla N° 9: Proporciones de volumen de agua tratada y cantidad de cloro líquido a emplear, para una concentración del 10%.	52
Tabla N° 10: Rangos de parámetros aceptados dispuestos en la NCH409, parte I.	54
Tabla N° 11: Cantidades de dióxido de carbono (CO_2) y hidróxido cálcico ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) para el volumen total de agua proveniente del proceso de desalación para el proceso de mineralización.....	54
Tabla N° 12: Parámetros obtenidos luego de la mineralización del agua desalada.	55
Tabla N° 13: Consumo promedio diario estimado de energía.....	65
Tabla N° 14: Radiaciones, en $\text{Wh/m}^2/\text{d}$, dependiendo del ángulo de inclinación en los meses que se presente escasas hídrica en la zona	66
Tabla N° 15: Valores de consumo/radiación.....	66
Tabla N° 16: Datos de los dispositivos de almacenamiento seleccionados y densidad de los fluidos almacenados.	73
Tabla N° 17: Datos para el cálculo de la altura requerida para el diseño del sensor.	73

Tabla N° 18: Equipos y materiales utilizados en sistema de captación de aguas de vertiente.	78
Tabla N° 19: Equipos y materiales utilizados en almacenamiento de agua destinado a la población.	79
Tabla N° 20: Equipos y materiales utilizados en transporte de agua destinado a la población.	79
Tabla N° 21. Equipos y materiales utilizados en la reducción de la demanda de agua demandada.....	80
Tabla N° 22: Materiales y equipos utilizados en la desalinización de agua de mar.....	81
Tabla N° 23. Materiales y equipos utilizados en la desalinización de agua de mar.	83
Tabla N° 24: Materiales utilizados en potabilización de agua proveniente de vertientes y desalinización.	85
Tabla N° 25: Costo de materiales y equipos empleados en este proyecto.	86
Tabla N° 26: Análisis de costos asociados a mantención del sistema.	88

1. Introducción

El agua es una sustancia que cumple funciones vitales para que exista, desarrolle y se mantenga la vida dentro de los ecosistemas del planeta. Su ciclo hidrobiológico, mantiene la estabilidad climática y atmosférica, lo cual permite el enfriamiento del planeta y, por otra parte, hidrata los suelos, haciéndolos fértiles para la vida vegetal.

En el mundo, el 97,5% del agua es salada, 2,24% es dulce y solo 1% está disponible en ríos, lagos y acuíferos para el consumo humano (Carreón *et al.*, 2014), lo cual da a conocer que su accesibilidad es limitada y su eficiente administración es de suma importancia para el desarrollo de la humanidad. La escasez del recurso hídrico y los costos cada vez más elevados de su aprovechamiento, producto del deterioro en la calidad del recurso, generan limitaciones para el desarrollo en las actividades productivas, y por tanto repercute directamente con el crecimiento social y económico de un país. Por ello, es que una mejor ordenación de los recursos de agua para los distintos usos, incluida la eliminación de prácticas insostenibles de consumo de agua, puede representar una contribución sustancial a la mitigación de la pobreza, la mejora de la salud y la calidad de vida de los habitantes de zonas rurales y urbanas (Jaramillo *et al.*, a/).

Por otro lado, el desarrollo de la civilización humana va muy de la mano con la contaminación del medio ambiente, ya sea, el aire, ecosistemas costeros y acuíferos, donde aquellas acciones son causa importante de que el recurso comience a escasear. Al igual que la contaminación, el fenómeno de cambio climático va en aumento, lo cual produce que se alteren los patrones de precipitación, acelere el deshielo de las reservas de aguas congeladas y glaciares, se produzcan grandes inundaciones, varíen los abastecimientos de agua y se intensifiquen las sequías. Si esto ya agrava la situación en la disponibilidad de agua en el planeta, su uso descontrolado por parte de la humanidad ya sea a pequeña o gran escala, potencia aún más el fenómeno de escasez, y donde algunas de las consecuencias de esto, es que aparezcan enfermedades en las comunidades que se presente esta condición y, por ende, se manifiesten conflictos sociales.

En Chile, se puede dar cuenta que cada año las precipitaciones son cada vez menor y es, en consecuencia, la disponibilidad de agua, generando así un impacto negativo a la accesibilidad del mismo recurso, tanto en los territorios continentales como los insulares.

Existe una comunidad que vive de forma temporal en una isla del Archipiélago de Juan Fernández: Isla Alejandro Selkirk. Dicha comunidad cuenta con un sistema de abastecimiento de agua potable, la que es captada desde ojos de agua ubicados en dos

quebradas de la misma isla: “El mono” y “El papal”. El sistema existente es de carácter artesanal, debido a que la captación del recurso se lleva a cabo por medio de planzas (negras), para finalmente ser almacenada en estanques que no reúnen las condiciones necesarias para resguardar agua apta para el consumo humano; además, uno de ellos posee una serie de filtraciones en su estructura de cemento, dando lugar a que, la disponibilidad del recurso no sea las veinticuatro horas del día. Así mismo, los canales de distribución hacia las viviendas de la población también poseen aquella falencia. Por tanto, es de suma importancia poder llevar a cabo un mejoramiento en el aquel sistema, donde la comunidad cuente con el recurso todo el día, durante todo el tiempo que habite en la isla, para poder mejorar su calidad de vida y se eviten enfermedades que puedan arriesgar la vida de las personas de la comunidad isleña.

1.1 Sistemas rurales de agua potable para consumo humano

No todas las personas alrededor del mundo tienen acceso libre al agua. Existen territorios dados por su localización geográfica, difícil accesibilidad, topografía, entre otros factores, que el acceso al agua potable es de carácter netamente artesanal y rural.

Según lo definido por la Dirección de Obras Hidráulicas del Ministerio de Obras Públicas (MOP), se definen los sistemas de agua potable rural (APR) como “aquellos servicios que se prestan en áreas calificadas como rurales, conforme con los respectivos instrumentos de planificación territorial (Plan Regulador), y no reúnen los requisitos de servicio público de distribución de agua potable que establece la Ley General de Servicios Sanitarios para estos efectos (inciso 2ª, artículo 5º, D.F.L. MOP N°382/88)”.(Extraído del Sitio Histórico de SISS). Estos sistemas son desarrollados por el MOP y se conforman y constituyen como un servicio particular, regulados bajo una Cooperativa o Comité u otra figura jurídica, acordada previamente por los interesados, siendo ellos los que determinarán el régimen tarifario. Por otra parte, no están sujetos al cumplimiento del régimen de concesiones sanitarias.

En Chile, existen 1.876 Sistemas de APR (Subdirección de Agua Potable Rural, 2018), en donde estos sistemas son desarrollados con la finalidad de ampliar el acceso al agua potable por parte de la ciudadanía, abarcando las localidades rurales semiconcentradas a lo largo de todo el país. Estas localidades corresponden a aquellas que tienen entre 8 y 15 viviendas por kilómetro de red de agua y más de 80 habitantes (Ministerio Secretaría General de la Presidencia, 2014).

La Isla Alejandro Selkirk, correspondiente al Archipiélago de Juan Fernández, dispone de un sistema de Agua potable que se nutre a partir de vertientes ubicadas en dos quebradas distintas dentro de la misma isla y, su fuente recolectora es un estanque hecho a partir de cemento, el cual no es impermeable, por tanto, el agua se pierde de manera considerable. Además, los canales de distribución también tienen esa falla, por lo que la comunidad tiene graves problemas de suministro del recurso. Al indagar en la base de datos de APR, Dirección de Obras Hidráulicas, se pudo dar cuenta que dentro de aquel listado no existe información sobre un sistema de agua rural dentro del archipiélago de Juan Fernández, menos aún, un sistema desarrollado en Isla Alejandro Selkirk.

1.2 Desalinización del agua de mar

El agua de mar compone el 97.5% del agua disponible en el planeta, frente al 1% del agua dulce disponible (Carreón *et al.*, 2014), la cual contiene, tal como lo dice su nombre, sales minerales disueltas en ella. El proceso de desalinización, según la Asociación Internacional de Desalación (IDA, por sus siglas en inglés), se define como “el proceso de eliminación de sales disueltas del agua, produciendo de este modo el agua dulce a partir del agua de mar o agua salobre”. Este proceso industrialmente se lleva a cabo por plantas desalinizadoras, con el fin de obtener agua potable para el consumo humano, siendo así una de las soluciones frente al fenómeno de escasez hídrica, separando el agua salada en dos corrientes: una con una baja concentración de sales disueltas (la corriente de agua fresca) y la otra contiene la salmuera (solución concentrada de sales) (BCN; 2016).

Los orígenes de este proceso datan desde 1950, donde se inician las primeras investigaciones sobre la desalinización, dando como resultado en 1960 la primera planta comercial, donde su perfeccionamiento tecnológico ha aumentado en las últimas décadas del siglo pasado (Dévora *et al.*, 2012). En 1872, Carlos Wilson, construyó la primera planta desalinizadora industrial en Chile, la cual tenía una envergadura de 4.757 m² y una producción de 22,5 m³/d (Zarza, 1997), lo cual da a conocer que esta técnica no es reciente en aquel país.

La separación de agua de las sales o del agua salada, puede llevar a cabo por medio de diferentes procesos: Evaporación, Cristalización, Membranas selectivas y Membranas (Dévora *et al.*, 2012), donde en la Tabla N°1, se puede ver la clasificación de los procesos de desalinización con más detalle.

Tabla N° 1: Clasificación de los procesos de desalinización. (Dévora *et. al.*, 2012)

Proceso	Energía utilizada	Sistema
Evaporación	Vapor	Destilación solar, Destilación súbita simple, Destilación en tubos sumergidos, Destilación súbita multietapa, Destilación multiefecto de tubos horizontales, Destilación multiefecto de tubos verticales, Compresión mecánica de vapor y Termo compresión de vapor.
Cristalización	Baja temperatura	Formación de hidratos Congelación
Membranas selectivas	Carga eléctrica	Electrodialisis
Membranas	Presión	Osmosis inversa

Este proyecto se realizará bajo el proceso de membranas, es decir, por sistema de Osmosis Inversa. El proceso de desalación por osmosis inversa requiere básicamente de las etapas de (Figura N°1): Captación del agua de mar, Pre-Tratamiento (que contempla el paso por las membranas de osmosis) y Post Tratamiento. La función de la membrana de osmosis inversa es de la de un filtro, donde separa dos tipos de agua de diferentes concentraciones de carga iónica, dando como resultado que las moléculas de agua de la zona de mayor concentración pasen a la de menor. Para que se pueda llevar a cabo, el proceso de osmosis inversa, a diferencia de los procesos naturales debe ser llevada a cabo bajo altas presiones o aplicación de presión osmótica a la solución concentrada, dando como resultado final, del proceso de desalación: agua libre de sales (Soto, G, & Soto, M.,2013) y, por otro lado, la salmuera, es decir, las sales eliminadas del proceso.

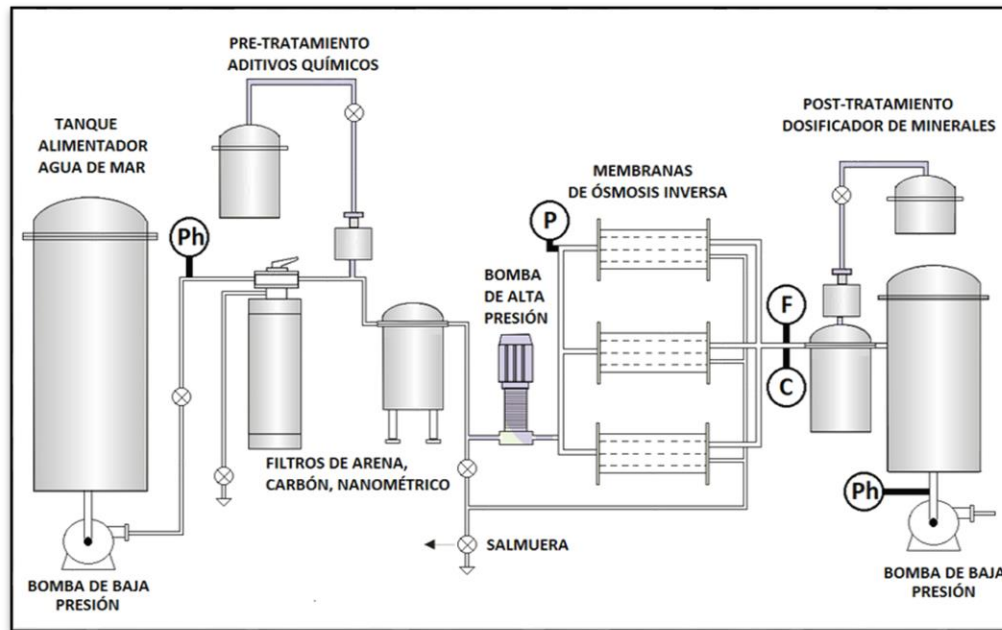


Figura N° 1: Diagrama esquemático de planta desalinizadora osmosis inversa. (Pérez, C, & Sotomayor, J., 2014)

Estos equipos desalinizadores, requieren de energía constante para operar y pueden usar un gran número de diferentes tecnologías combinadas para lograr la separación, donde el uso de energías renovables no convencionales es una alternativa para el funcionamiento de esta tecnología.

1.3Energía fotovoltaica

El uso de combustibles fósiles en el desarrollo de la humanidad ha ocasionado impactos negativos sobre el medio ambiente, los cuales han ido en aumento con el pasar de los siglos, iniciándose con la revolución industrial a mediados del siglo XVIII. El uso de estos recursos naturales para producir energía, generan abundantes cantidades de CO₂, siendo este un gas de principal efecto invernadero, el cual contribuye de forma significativa al fenómeno de cambio climático (Beltrán *et al.*, 2017). Actualmente, los combustibles fósiles aportan en mayor parte a la matriz energética mundial, pero se espera que al final del siglo, las que lideren sean las energías limpias, tales como: hidroenergía y las energías renovables, desplazando el uso del carbón y la energía nuclear (Arreola *et al.*, 2015).

Se entiende por energías renovables las que obtienen como fuente energética recursos inagotables a escala humana, algunas de ellas son: solar, eólica hidráulica, biomasa, biocombustibles, mareomotriz, geotérmica, entre otras. Las energías renovables suelen clasificarse en convencionales y no convencionales, según lo indicado por el Ministerio de

Energía, esto dependerá del grado de desarrollo de las tecnologías para su aprovechamiento y la penetración en los mercados energéticos que presenten, siendo la energía solar, un tipo de Energía Renovable No Convencional Intermittente (ERNCI), considerada dentro de esa clasificación en Chile (Pica & Sauma, 2015). Esta es bastante beneficiosa en comparación con otras fuentes energéticas, dado por su abundancia (debido a que la intermitencia de luz proveniente del sol es independiente de la disponibilidad del recurso energético), sostenibilidad y por ser completamente libre de costos (Kroposki & De Blasio, 2000).

Los sistemas fotovoltaicos (FV) son sistemas que generan electricidad proveniente de la luz solar, los cuales producen energía limpia y confiable, sin la necesidad de consumir combustibles fósiles. (Perpiñán, 2018), y su aprovechamiento óptimo de energía, exige que en todo momento que la superficie colectora, en este caso paneles solares, se encuentre de forma perpendicular a los rayos solares (Arreola *et al.*, 2015). Cuentan con una amplia variedad de aplicaciones, en donde una de ellas es el empleo en la entrega de suministro energético para el funcionamiento de plantas desalinizadoras de agua salobre.

Según lo indicado por Pastén (2012), Chile posee favorables condiciones para la explotación de este tipo de energía. El norte del país, por ejemplo, cuenta con excepcionales niveles de irradiación debido a su escasa nubosidad y cercanía al trópico. Por otra parte, Méndez (2017), indica que, en términos generales, se considera que los valores de radiación solar en Isla Alejandro Selkirk (IAS) son óptimos para el desarrollo de un proyecto solar, por lo tanto, IAS tendría el potencial teórico para aprovechar esta fuente renovable. Por ende, la aplicación de esta alternativa para el funcionamiento del sistema de desalización de agua de mar es una alternativa a considerar en este trabajo.

1.4 Calidad de agua para consumo humano

El agua es esencial para la vida en nuestro planeta, donde los primeros asentamientos humanos se llevaron a cabo en zonas cercanas a masas de agua dulce que beneficiaran la expansión de la población y un buen desarrollo de estas.

Todas las personas deberían contar con un suministro que, además de ser suficiente para el desarrollo de las actividades que deseen llevar a cabo; deberá ser inocuo y accesible. (OMS, 2006). El acceso al agua potable es una variable de gran importancia en el desarrollo de comunidades, tanto en lo económico como en materia de salud. La mejora al acceso de este recurso mitiga la pobreza, los conflictos sociales por querer obtener el servicio y

también, enfermedades derivados por la falta de higiene. Una inversión en el sistema de agua potable que otorgue dicho bien, tanto en abastecimiento y saneamiento, pueden ser rentables desde lo económico, ya que lograría una disminución en los efectos adversos para la salud y, por ende, llevaría una reducción de costos relacionados con la asistencia sanitaria lo cual tiene un valor superior al costo de las intervenciones para mejorar el sistema. (OMS, 2006).

Según la Real Academia Española (RAE), se entiende por agua potable al agua apta para el consumo humano. Por otro lado, respecto a lo indicado en la norma chilena NCh 409, esta es el agua que, al cumplir los requisitos bacteriológicos, de desinfección, físicos, químicos y radiactivos de la norma, es apta para el consumo humano, y sus condiciones mínimas de calidad del agua potable son las establecidas en la primera parte de la norma y su muestreo en la segunda (SISS, 2005)

Esta se produce a partir de agua natural o cruda, captada de forma superficial (en ríos, esteros, lagunas) o de forma subterránea (mediante pozos, napas, etc.) y que según indica la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), el 18% de la población mundial no tiene acceso a ella. Se espera que con el pasar del tiempo, esta cifra aumente debido a fenómenos como el cambio climático y la mala administración del recurso hídrico. Por otro lado, se entiende como Agua para Consumo humano al agua que es utilizada en actividades tales como bebida directa y preparación de alimentos para consumo inmediato; para satisfacción de necesidades domésticas, individuales o colectivas, tales como higiene personal y limpieza de elementos, materiales o utensilios; y para preparación de alimentos en general, y en especial, los destinados a su comercialización o distribución, que no requieran elaboración.

La gran variedad de factores y parámetros que afectan la calidad del agua hace que su evaluación sea una tarea compleja, por tanto, la creación y aplicación de normas referentes al agua de consumo humano son de suma importancia (Pérez *et al.*, 2018). Estas pueden ser distintas de unos países o regiones con otras localidades, ya que los métodos que pueden funcionar en uno de ellos no necesariamente podrán transferirse y aplicarse de la misma forma; por tanto, no existe un método único que pueda aplicarse de forma universal. De acuerdo a la normativa de la Unión Europea, Directiva 98/83/ce del Consejo de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano, se establece que el agua potable debe tener un contenido de sales, minerales e iones (sulfatos, cloratos, nitritos, amonio, calcio, fosfato, entre otros) que esté dentro de los rangos aceptados, lo cual supone un pH entre 6,5 y 9,5. Por otro lado, debe estar libre

de bacterias y microorganismos patógenos (virus, etc.), así como de partículas en suspensión y sustancias orgánicas o radiactivas (Consejo de la Unión Europea, 1998). Además, la Organización Mundial (OMS) indica que el agua de consumo debe tener un aspecto, sabor y olor aceptables para el consumidor.

En Chile, existe una norma que establece los requisitos físicos, químicos, radiactivos y bacteriológicos que debe cumplir el agua potable, la cual es la NCH 409/1 y es aplicable al agua potable proveniente de cualquier sistema de abastecimiento en dicha norma, se establecen los requisitos que debe cumplir dicha agua, y en su segunda parte, 409/2 establece los monitoreos y muestreos pertinentes para que esto se llegue a concretar.

Según lo indica dicha norma, el agua potable es *“el agua que cumple con los requisitos microbiológicos, de turbiedad, químicos, radioactivos, organolépticos y de desinfección descritos en ella misma, que asegure inocuidad y aptitud para el consumo humano”* (SISS, 2005), donde los parámetros que definen los requisitos de calidad son:

- Microbiológicos y de turbiedad: donde el agua analizada debe estar exenta de *E. coli*.
- Elementos o sustancia químicas de importancia para la salud: ya sean sustancias esenciales, elementos o sustancias no esenciales, sustancias orgánicas, plaguicidas y productos secundarios de la desinfección.
- Elementos radioactivos: donde el agua potable no debe contener sustancias radioactivas mayores a los límites máximos determinados, aplicados a Estroncio 90 y Radio 226-
- Parámetros relativos a las características organolépticas: lo cual establece que el agua debe ser inodora, insípida, marcar un pH entre 6,5 a 8,5, contener un total de sólidos disueltos de un valor de 1500 mg/L, entre otras características.
- Parámetros de desinfección: donde la concentración máxima y mínima de cloro residual debe ser igual a un valor de 2,0 y 2 mg/L respectivamente.

1.5 Zona de estudio

La isla Alejandro Selkirk (IAS) es perteneciente al Archipiélago Juan Fernández, territorio localizado a 680 km al oeste de Chile continental, específicamente frente a la costa de San Antonio (Leiva *et al.*, 2013), como lo demuestra la Figura N°2. Dicho grupo de islas está compuesto por: Robinson Crusoe -capital del archipiélago-, Santa Clara -la más pequeña en superficie- y, finalmente, la mencionada en un principio en este estudio. IAS cuenta con un clima templado cálido y húmedo, con verano corto y relativamente seco, y una intensa influencia marítima. Posee una temperatura anual de 15,3 °C y sus precipitaciones son de

carácter frontal en invierno y convectivas en verano, presentando una distribución mensual concentrada en su mayoría entre los meses de abril a octubre, registrando un valor climatológico de 1.041,5 mm y un valor máximo concentrado en el mes de Junio de 173,4 mm como promedio (CONAF, 2014). Dispone de suelos de origen volcánicos, lo cual da como resultado una topografía escarpada, con una gran presencia de profundas quebradas, en una superficie total de 49 km² (Méndez, 2017).

Respecto a la población que habita allí, esta se caracteriza por ser una comunidad rural que se compone mayormente de pescadores artesanales y sus familias. Todos ellos, dan un total de 80 personas aproximadamente en la época con mayor flujo de habitantes (diciembre a febrero), dando lugar a 28 viviendas y un colegio modular unidocente. Aquella población, pernocta en la isla desde octubre hasta mayo del año siguiente, correspondiente al periodo donde es permitida la extracción del mayor recurso económico de la zona-la langosta de Juan Fernández (*Jasus frontalis*)-, ya que en los meses restantes dicho recurso se encuentra en veda extractiva. Es importante mencionar que la comunidad posee aislamiento extremo, donde aquello se funda en que la única conexión con otro territorio se da únicamente vía marítima con la capital del archipiélago al cual pertenece -Isla Robinson Crusoe-, lo que se da aproximadamente dos veces por mes durante los ocho meses que la comunidad pesquera pernocta allí.

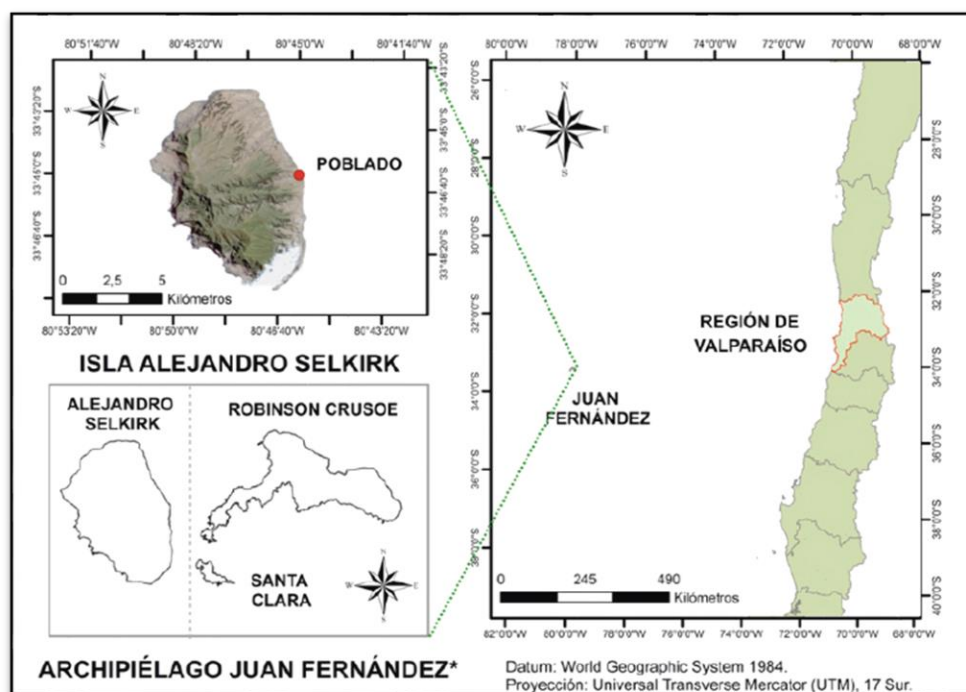


Figura N° 2: Cartografía de isla Alejandro Selkirk. (Méndez, 2017).

2. Problema

La comunidad de Isla Alejandro Selkirk dispone de un sistema artesanal para el suministro de agua destinada al consumo humano, el cual es ineficaz, debido a que la captación se hace desde dos ojos de agua ubicados en dos quebradas distintas de la misma isla por medio de planzas negras hasta llegar al lugar de almacenamiento. El agua es almacenada en tres estanques: uno de cemento y dos de polietileno, ninguno de ellos herméticos y, el primero mencionado -y más antiguo del poblado- no es impermeable, por lo cual el agua acumulada se ensucia fácilmente y se pierde en gran porcentaje. Además, no se le aplica ningún método de potabilización, por tanto, no debiese cumplir con los requisitos básicos o estándares de potabilización para el consumo humano y sería un riesgo potencial para la salud de la población. Por otro lado, los canales de distribución hacia las viviendas poseen fugas, esto se debe a que se encuentran en muy malas condiciones, en su mayoría están rotas y parchadas con materiales que los pescadores de la comunidad tienen a su disposición (cámaras de neumáticos cortados en tiras, por ejemplo).

Estas fugas traen consigo que la comunidad no cuente con la disponibilidad del recurso las veinticuatro horas del día y se deban realizar cortes en horarios determinados para poder garantizar el suministro las otras horas restantes. A pesar de lo anterior, no existe un plan de emergencia en casos críticos de escasez del bien, y debido al aislamiento extremo que presenta el territorio, la comunidad de IAS debe solucionar de manera autónoma este problema. Cabe mencionar que, la mantención del sistema descrito es realizada por los socios del Comité de Adelanto de isla Alejandro Selkirk, formado por pescadores de la comunidad y que administra de manera local el poblado. Esta labor se realiza mediante turnos de cuadrillas establecidas previamente, donde se revisan tres variables: el flujo de agua que se encuentra en el ojo de agua, si la captación se está llevando a cabo, fugas existentes que puedan ser minimizadas y también, que el uso del recurso se realice de forma correcta por parte de la comunidad.

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Mejorar el sistema de agua potable existente para asegurar el suministro del recurso hídrico destinado a consumo humano en el poblado “Rada La Colonia” de Isla Alejandro Selkirk.

3.2 Objetivos Específicos

- 3.2.1 Estimar la demanda presente y futura de agua potable en el poblado “Rada La Colonia”, Isla Alejandro Selkirk.
- 3.2.2 Diseñar mejoras del sistema de captación, distribución y almacenamiento de agua de la población mencionada.
- 3.2.3 Realizar un análisis de costos para el sistema propuesto.

4. Diagnóstico, Capacidad y Ubicación del sistema

4.1 Diagnóstico del Sistema Actual

Existen en la isla tres estanques de almacenaje de agua, uno de ellos es de cemento, mientras que los otros restantes de polietileno; los cuales actualmente se encuentran funcionando. Todos ellos se nutren del recurso a través de dos vertientes ubicadas en dos quebradas distintas de la isla: “El Mono” y “El Papal”.

4.1.1 Vertientes

En las altas cumbres de la isla, la vegetación propia del lugar realiza una función importante para todos quienes habitan allí, captando la humedad del entorno permitiendo así que pueda llegar hasta la zona baja de la isla. Esto se traduce en la presencia de cascadas, esteros y ojos de agua o vertientes, en distintas quebradas del territorio isleño. Estas últimas son responsables de poder suministrar el recurso hídrico en la población que vive en “Rada la Colonia” que, desde sus inicios, se las han ingeniado para que llegue hasta los puntos de almacenaje y finalmente, a la población objetivo.

4.1.1.1 El Papal

Es una quebrada que queda a un kilómetro casi desde el poblado “Rada la Colonia”, a 298 m.s.n.m., en donde se ubica la vertiente que proporciona de agua a la comunidad que habita en la isla. Para poder llegar a dicho lugar, se debe ir en dirección a la ladera sur de la “Quebrada de las Casas”, dando lugar a una caminata de 1,5 horas aproximadamente.

En el afloramiento de agua de la vertiente, la comunidad creó un receptáculo de cemento, donde además habitan varias plantas, entre ellas la *cala* (*Zantedeschia aethiopica*). En un momento determinado, la comunidad tomó la decisión de extraer aquella planta, pero con el paso del tiempo, los resultados no fueron beneficiosos: el volumen del agua se redujo y el agua contenía mayor cantidad de sedimentos. Es, por lo anterior, que la planta se mantiene, dando como beneficio la retención de humedad en el cuerpo de agua y un agua más depurada.

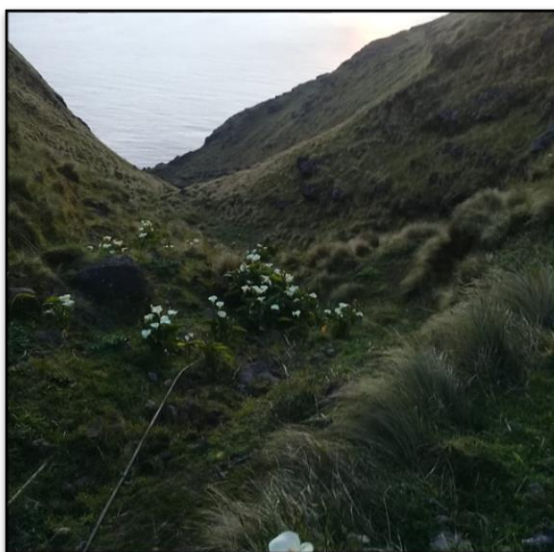


Figura N° 3: Quebrada “El Papal”, con vista hacia la vertiente.



Figura N° 4: Receptáculo de vertiente, quebrada “El Papal”.

4.1.1.2 El Mono

Esta vertiente se sitúa a 192 m.s.n.m., a 1,20 km aproximadamente en dirección norte del poblado insular. El tiempo de caminata es bastante similar respecto a la vertiente antes mencionada, pero con un poco más de dificultad en su acceso, producto de la pendiente propia del lugar.



Figura N° 5: Acceso y vista de vertiente quebrada “El Mono”.

El agua es recibida desde una grieta por la planza que sale desde la misma vertiente. Hace un tiempo, se confecciono un receptáculo en ese lugar, no obstante, el agua comenzó a cambiar su curso y se acumuló en otro lugar cercano, por lo que se tomó la decisión de eliminar el receptáculo para que así, se mantenga el lugar original.



Figura N° 6: Vertiente “El Mono”

Las tomas de agua quedan distantes respecto a la ubicación del poblado, siendo también otras de las dificultades, la característica del terreno donde estas están -terreno con fácil desprendimiento y con riesgo de derrumbe- y su compleja accesibilidad (Ver Figura N°7).



Figura N° 7: Vista satelital de Isla Alejandro Selkirk, en donde se visualiza la ubicación de los estanques de agua y sus puntos de captación (Elaboración propia, Google Earth).

El recorrido que realizan las planzas negras para el transporte del recurso hídrico, en el caso de “El Mono”, va en primer lugar en descenso, luego sigue de alguna forma una trayectoria lineal por el borde de cerro que está cercano a la playa, para luego ascender por la ladera norte de la “Quebrada de las Casas” hasta llegar a los estanques de polietileno. En el caso de las que vienen desde “El Papal”, este va en dirección norte, hasta toparse con la ladera sur de la quebrada donde se sitúa el poblado, donde se topa con una pendiente bastante pronunciada, lo cual es apoyado por algunos elementos que le otorgan la firmeza o adherencia al terreno -cuerdas y fierros-, hasta llegar al estanque de cemento (Figura N°8). El diámetro de las planzas utilizadas para ambos tramos es de 1 pulgada.



Figura N° 8: Recorrido que realizan los elementos de transporte de agua, desde las vertientes hasta los estanques de Isla Alejandro Selkirk. (Ibarra, 2019. Editado).

4.1.2 Estanques

Los elementos recolectores que posee el sistema, poseen características que no los hacen favorables para que este pueda operar de una forma eficaz.

4.1.2.1 Estanque de cemento

El primer estanque cuenta con una estructura de cemento y una tapa confeccionada de vigas de madera y latas. Dicho aparato recolector cuenta con una capacidad de 20.000 litros aproximados y su estructura no es hermética, por tanto, es fácil que el agua almacenada pueda ensuciarse.



Figura N° 9: Estanque de cemento

Otras de las desventajas, es que en su interior no cuenta con ningún material que lo impermeabilice, por ende, parte del agua se filtra y se pierde. Es nutrido por la vertiente localizada en la quebrada “El Papal”.



Figura N° 10: Otra perspectiva del estanque de cemento.

La Figura N°10, da cuenta de la pérdida del recurso hídrico de la estructura del estanque, debido a la presencia de muros y helechos en él, los cuales están presentes durante todo el año o temporada.



Figura N° 11: Interior estanque de cemento.

La Figura N°11, muestra el aspecto que tiene el agua almacenada, destinada a consumo humano, por tanto, se demuestra así el riesgo a la salud de las personas que consumen este recurso. El registro fotográfico, corresponde a la reciente temporada de pesca, donde el estanque tuvo que ser vaciado, limpiado y desinfectado con cloro de uso doméstico, debido a que se encontraron cuerpos de roedores dentro de él.

4.1.1.1 Estanques de Polietileno



Figura N° 12: Estanques de polietileno.

Los dos estanques restantes cuentan con una capacidad total de 10.000 litros (cada uno con 5.000 litros) y son alimentados por la vertiente ubicada en la quebrada “El Mono”. Cuenta con la ventaja de que su estructura es impermeable y el agua recolectada allí no se filtra hacia el exterior, pero se asemejan con el anterior al no ser herméticos en la superficie.



Figura N° 13: Estanques de polietileno con sus respectivas tapas.

Tal cual se ve en la Figura N°13, se puede dar cuenta que las tapas utilizadas en ambos estanques fueron elaboradas manualmente. En un principio cada una de ellas contaba con su tapa respectiva de fábrica, pero luego de la primera temporada de implementación de estos, las cubiertas correspondientes se quebraron producto de caídas de piedras desde la misma ladera de cerro donde están ubicadas. Esto da como resultado, que el agua que se almacene en ellos se ensucie, al igual que la que se recolecta en el primer estanque descrito.

4.1.3 Red de Distribución

Esta etapa del sistema cuenta con el mismo material utilizado para transportar el agua desde las vertientes hasta los estanques, pero las planzas tienen un diámetro mayor de 4 pulgadas. Estas se unen con cinta impermeable color negro y, en algunos casos, con trozos de llantas.



Figura N° 14: *Planzas negras pertenecientes a la red de distribución del sistema.*

El sistema actual de distribución de agua para el consumo humano, está dado por la manera que se muestra en la Figura N° 15.

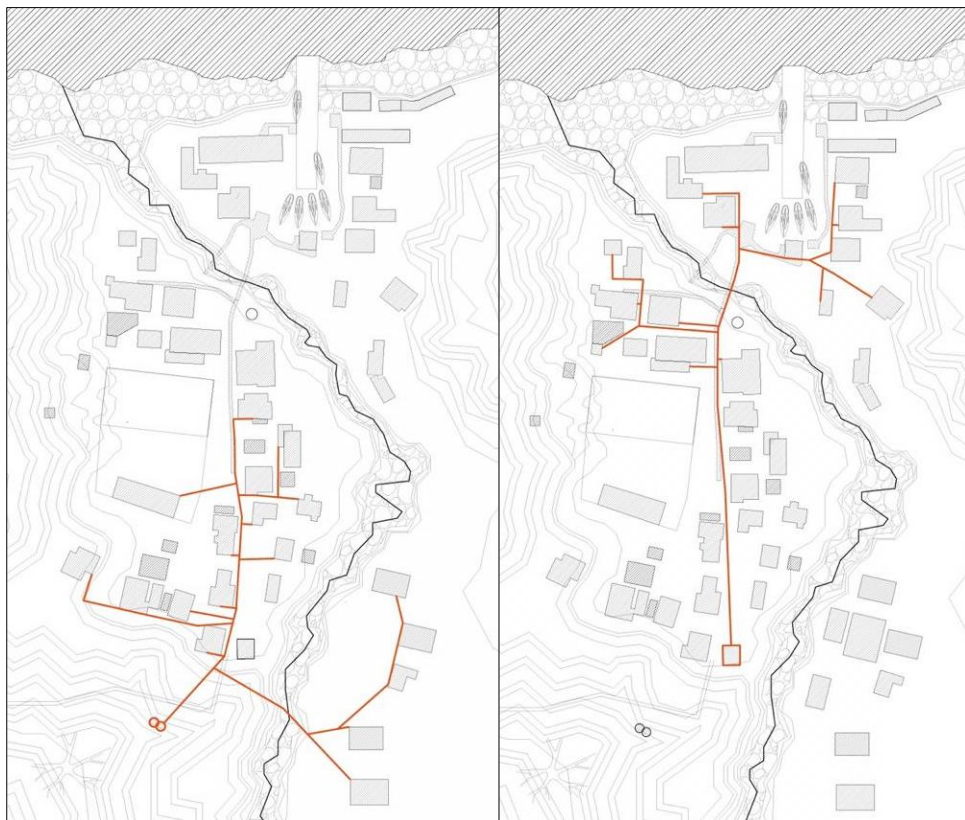


Figura N° 15: Sistema de distribución de aguas para el consumo humano. La imagen del lado izquierdo corresponde a la red de distribución perteneciente a los dos estanques pequeños, mientras que la de la derecha es correspondiente al estanque grande de cemento.

4.2 Capacidad del Sistema

Actualmente en la comunidad de isla Alejandro Selkirk, existen un total de 28 viviendas, de las cuales 3 se encuentran en proceso de construcción y otras 3 pertenecen a la Corporación Nacional Forestal (CONAF). En estas últimas residen guardaparques, científicos y/o investigadores de diversas ONGs nacionales o internacionales que trabajan en el archipiélago o, también, personas que pertenecen a la comunidad, en caso de necesitarlo. Aquello se traduce en una población aproximada de 80 personas, que equivale a la temporada de verano cuando familiares de pescadores, mujeres y niños, viajan hasta allá a acompañarlos.

Entonces, para poder calcular la capacidad del sistema, es necesario en primera instancia poder realizar una estimación del crecimiento de la población, para que el proyecto logre suministrar agua potable, tanto para la cantidad de personas que existen actualmente como

para las generaciones futuras. CONAF es la institución encargada de administrar quien ingresa al Parque Nacional Juan Fernández (PNJF), por tanto, también regula la entrada a Isla Alejandro Selkirk. A diferencia de la capital del mismo Archipiélago, RC, IAS es completamente parque nacional, por ende, la información respecto al crecimiento poblacional fue otorgada por aquel organismo, el cual tiene un registro temporada tras temporada de la cantidad de personas que ingresan allí, desde el año 2002. Esta información, si bien es la única, no deja de ser relativa, ya que no existe un registro exhaustivo previo al año 2016 de cada viaje dentro de la temporada, donde allí se comenzó a realizar una fiscalización de parte de aquella institución al flujo de inmigración a la isla. De acuerdo a aquello, es que se presenta en la Tabla N° 2 el flujo de personas que ingresaron a la isla y su respectivo año.

Tabla N° 2: Estadística poblacional de la comunidad inmigrante de “Rada La Colonia”. (CONAF Juan Fernández, 2019).

Año	Número de personas
2002	22
2003	18
2004	23
2005	38
2006	28
2015	188
2016	49
2017	58
2018	72
2019	80

Nota: Para el año 2015, el número de personas refleja la cantidad que transitaron como pasajeros durante toda la temporada de pesca en isla Alejandro Selkirk, los demás corresponden al número de instalación de base a comienzos de temporada de pesca.

Para poder llevar a cabo la estimación de la demanda presente y futura, es relevante poder conocer la demanda promedio de cada vivienda, lo cual tiene como inconveniente que, cada una de ellas no cuenta con un medidor que permita contabilizar el volumen de agua que pasa a través de él. Por ende, se definió que el consumo por persona estará dado por el promedio de Chile, según los datos indicados de la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), en donde aquel índice será calculado para la demanda presente y la

futura de aquella población. Con los aquellos cálculos se realizará un balance de materia y se calculará la capacidad del sistema.

Para los cálculos del crecimiento poblacional en un futuro, es que no se tomaron en totalidad los datos entregados por la Tabla N°2, debido que existe una incongruencia en ellos previo al año 2016; por tanto, se confeccionó la siguiente tabla:

Tabla N° 3: Número de personas y año correspondiente utilizados para calcular de crecimiento poblacional y posterior demanda hídrica de la población de IAS.

Año	Número de personas
2016	49
2017	58
2018	72
2019	80

Se estableció una proyección de crecimiento poblacional a diez años mediante dos procesos:

El primero constará en una proyección intercensal, asumiendo que la población analizada tendrá un crecimiento geométrico, dado por la siguiente ecuación:

$$P_t = P_o \times (1 + r)^t \quad (1)$$

Donde:

P_t = población en el año t que vamos a estimar

P_o = población en el año base (conocida)

r = tasa de crecimiento anual

t = N° de años entre el año base (año cero) y el año t

Se calculó una tasa de crecimiento anual determinado por:

$$r = \left(\sqrt[n]{\frac{\text{población final}}{\text{población inicial}}} - 1 \right) \quad (2)$$

Donde, n es la cantidad de años que existe entre la población inicial y la final.

Con el primer método, se calculó con la ecuación (2) la tasa de crecimiento anual que tiene la población. Se tomó como población inicial la que corresponde al año 2018 y la final al año 2019, dando el siguiente resultado:

$$r = \left(\sqrt[1]{\frac{80}{72}} - 1 \right)$$

$$r = 0,11$$

Luego, se utilizó la Ecuación (1), para conocer el número de personas que compondrán una población futura dentro de diez años en el poblado “Rada la colonia”, tomando como población base la que actualmente se encuentra allí, es decir 80 personas. La tasa fue previamente calculada, resultando:

$$Pt = 80 \times (1 + 0,11)^{10}$$

$$Pt = 227 \text{ habitantes}$$

El segundo proceso, es confeccionar una gráfica con los datos que se tienen y realizar una proyección lineal en el software Excel, para así complementar y/o comparar los resultados de ambas metodologías y ver cuál es la que se acerca más a la realidad. Teniendo entonces la proyección del crecimiento de la población estudiada, es posible determinar cómo ello influye en la demanda del recurso hídrico destinado a consumo humano. La gráfica se muestra en la Figura N° 16.

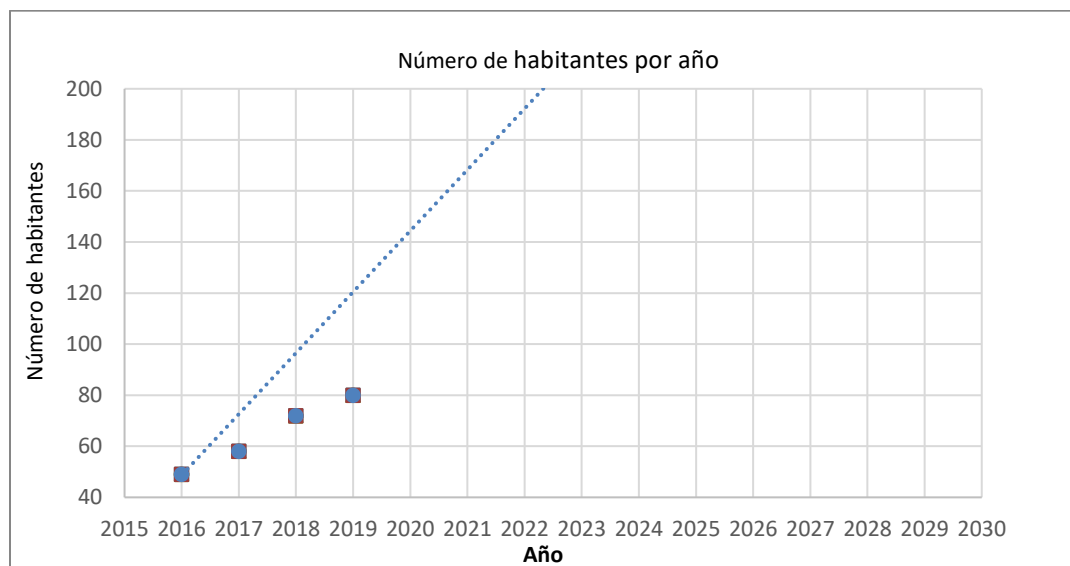


Figura N° 16: Gráfico de dispersión con línea de tendencia lineal de número de habitantes por año que reside en IAS, desde el año 2016 al 2019. Para los años siguientes se realizó una proyección de las mismas características.

Según lo resultante del gráfico anterior, es que para el año 2029, se tendrá una población cercana a 190 habitantes, lo cual tiene mayor sentido que el resultado entregado por el método utilizado de forma previa. Por tanto, para efectos del cálculo del consumo futuro se utilizó el número otorgado por la Figura N° 16.

Luego, por medio de la Ecuación (3), se determinará la cantidad demandada presente:

$$Dp = Pa \times Ce \quad (3)$$

Donde:

Dp: Demanda presente o actual de agua potable.

Pa: Número de habitantes que existen actualmente en el poblado.

Ce: Consumo estimado por persona.

Respecto a la demanda futura, es que este se llevará a cabo mediante previa estimación del crecimiento población, en un período determinado de 10 años, donde este último dato estará dado según el comportamiento respecto al crecimiento poblacional. La determinación de la demanda futura estará dada por la combinación de la Ecuación (1) y (3), dando como resultado la Ecuación (4):

$$Df = Pt \times Ce \quad (4)$$

Donde,

Df: demanda futura de agua potable en el año t.

Pt: población en el año t que vamos a estimar

Ce: Consumo estimado por persona

Para la realización de los cálculos de consumo de agua, es que se tomó en cuenta lo indicado por la Superintendencia de Servicios Sanitarios (SISS), que considera el consumo diario promedio por persona en nuestro país, sumando las comidas y bebidas que ingerimos y las distintas actividades que realizamos cada día, asciende a 125-200 litros. Para efectos de nuestros cálculos se utilizó el menor valor, dado que es una comunidad rural, se considera que no realiza el mismo consumo que una persona que vive en la ciudad, además de que la población cuenta con el cuidado de preservar el recurso. Entonces, mediante la Ecuación (3), se determinó la demanda presente de la población:

$$Dp = 80 \times 125 [l]$$

$$Dp = 10.000 [l]$$

Y por medio de la Ecuación (4), se obtuvo la demanda futura a 10 años:

$$Df = 190 \times 125 [l]$$

$$Df = 23.750 [l]$$

4.2.1 Estrategias de reducción de la demanda hídrica

Para realizar una reducción de esta demanda futura, con el fin de que la capacidad del sistema se reduzca, es que se proponen dos alternativas:

4.2.1.1 Recirculación de aguas grises

La primera consta de recircular las aguas grises provenientes de duchas y lavamanos hacia los estanques de los inodoros. Según los datos otorgados por Servicio Nacional del Consumidor (SERNAC), una familia de 5 personas consume en promedio 250 litros en ducha y 50 litros en lavamanos al día. Por otro lado, en las descargas de los estanques de baños se utilizan 300 litros, es decir que, por persona se tendría un consumo de 50, 10 y 60 (L/d) para ducha, lavamanos e inodoro, respectivamente. Por ende, al recircular el agua de las duchas y lavamanos, se obtiene el volumen total de lo que se necesita en la descarga de inodoro, quedando la demanda total futura como:

$$Dfp \text{ o } Dff = D - (R \times Pt) \quad (5)$$

Siendo,

Dfp: Demanda final presente, aplicando la recirculación de aguas grises

Dff: Demanda final futura, aplicando la recirculación de aguas grises

D: Demanda de agua potable de la población, sin recirculación, en un periodo determinado

R: Recirculación aguas grises

Pt: Población total en un periodo determinado (Presente o futuro).

Dicha ecuación será aplicada para la demanda actual, tal como para la futura.

La recirculación, estará dada por lo siguiente:

$$R = Vl + Vd = Vin \quad (6)$$

Siendo,

R: Recirculación de aguas grises, especificadas anteriormente

VI: Volumen de agua utilizado diariamente en lavamanos por habitante, en litros

Vd: Volumen de agua utilizado diariamente en duchas por habitante en litros

Vin: Volumen de agua utilizado diariamente en inodoro por habitante en litros.

Reemplazando los datos conocidos en la Ecuación 6, obtenemos:

$$R = 50\left[\frac{L}{d}\right] + 10\left[\frac{L}{d}\right] = 60\left[\frac{L}{d}\right]$$

Despejando la Fórmula (5), respecto a la demanda actual se tiene que:

$$Dfp = 10.000\left[\frac{L}{d}\right] - (60\left[\frac{L}{d}\right] \times 80)$$

$$Dfp = 10.000\left[\frac{L}{d}\right] - 4.800\left[\frac{L}{d}\right]$$

$$Dfp = 5.200\left[\frac{L}{d}\right]$$

Se asume que los volúmenes utilizados en duchas, lavamanos e inodoros no varían con el tiempo, por lo que se tendría una demanda futura como:

$$Dff = 23.700\left[\frac{L}{d}\right] - (60\left[\frac{L}{d}\right] \times 190)$$

$$Dff = 23.750\left[\frac{L}{d}\right] - (11.400\left[\frac{L}{d}\right])$$

$$Dff = 12.350\left[\frac{L}{d}\right]$$

4.2.1.2 Inyección de agua de mar para el uso de inodoros

La segunda y última alternativa, es que, en vez de recircular aguas grises para la utilización de agua en descargas de inodoros, estos se abastezcan de agua de mar. Como el sistema de agua potable será complementado con un sistema desalador de agua de mar, el agua extraída del océano, abastecerá a los baños y la planta desaladora.

Con los cálculos anteriores descritos, se conoce que actualmente el volumen de agua utilizado hoy en la descarga de inodoro es de 4.800 (L/d) y en el año 2029 será de 11.400 (L/d). Restando estos volúmenes a sus demandas respectivas de las poblaciones para cada año, se tiene que, hoy en día, se requerirá desalar 5.200 (L/d) y para el año 2029, tan solo 12.350 (L/d), donde la demanda presente y futura se reducen a un 52% de sus volúmenes calculados anteriormente a la aplicación de esta alternativa.

Finalmente, se pudo dar cuenta que la alternativa más factible es la segunda descrita, ya que por cómo están situados y contruidos los sistemas de descargas de lavamanos y ducha de la mayor parte de las casas de Rada La Colonia, es que se hace complejo poder construir la recirculación de estas aguas grises hacia los estanques de cada inodoro casa por casa, al estar enterrados bajo tierra y ser descargados a un pozo, donde existen viviendas que poseen un pozo común para todas las descargas de aguas residuales.

4.3 Ubicación del Sistema

El sistema, constará de dos partes: la primera es el mejoramiento del sistema hídrico ya existente y el último, es la implementación de una planta desalinizadora de agua de mar. Ambas partes estarán ubicadas en el sector donde actualmente se encuentran el almacenamiento de agua proveniente de las dos vertientes que abastecen al poblado, sector que cuenta con una superficie disponible de aproximadamente 172,69 m². Como muestra la Figura 17, el poblado se desarrolló en torno al estero que pasa por la misma quebrada, donde se construyó posteriormente la caleta de pescadores de la misma comunidad. Es un pueblo pequeño, posee un área de 0,02 km² con un total de 28 viviendas y una población total de aproximadamente 80 personas, correspondiente a la temporada con mayor flujo, lo cual en su mayoría se compone de pescadores artesanales y sus familias.



Figura N° 17: Vista satelital de Isla Alejandro Selkirk. (Elaboración propia, Google Earth).

En la Figura N°18 se puede ver cómo es la organización general del poblado, mientras que la Figura N°19 muestra en detalle dicha organización. Se divisan construcciones de carácter patrimonial del poblado (en morado), que corresponden a casas de piedras construidas como recintos carcelarios (Ibarra, 2018), un colegio de carácter modular -el cual se desarrolla bajo la administración local de un profesor en la isla y que les enseña a niños desde pre-kinder hasta séptimo básico, pero se rige por la Municipalidad de Juan Fernández-, viviendas de CONAF, entre otros.



Figura N° 18: Fotografía que muestra forma completa el poblado “Rada La Colonia”. (Ibarra, 2019).

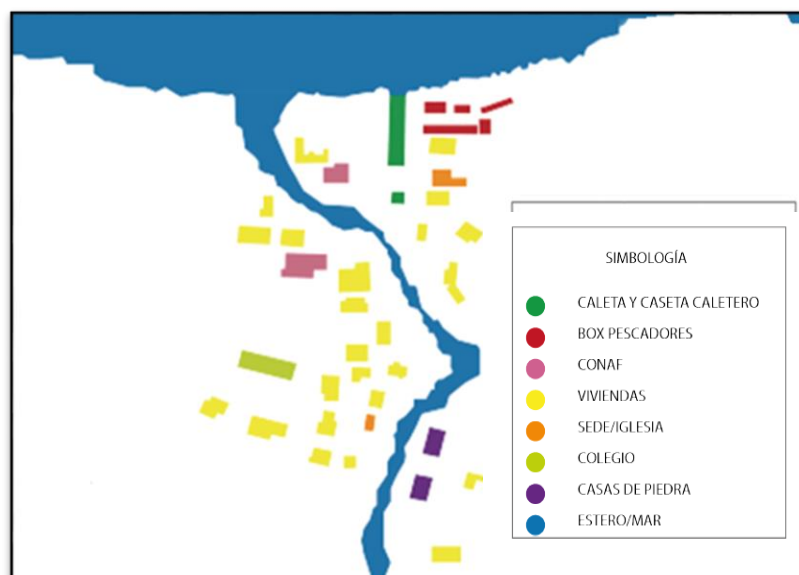


Figura N° 19: Imagen del poblado “Rada La Colonia”, con su organización general. (Ibarra, 2019).

El presente proyecto se desarrollará desde las quebradas que otorgan el suministro hídrico, pasando por el poblado, en donde yacen los estanques y el lugar destinado a que se instale la planta desalinizadora de agua de mar. El lugar físico destinado para la planta desalinizadora será en el sector cercano al estanque de cemento (Zona delimitada en rojo en Figura N° 20). Esto se debe a que facilitará el traslado de agua desalada y luego potabilizada hacia los estanques que acumulen dichas aguas, para luego ser distribuidas a la población.



Figura N° 20. Zonas de toma de agua o captación y estanques de Isla Alejandro Selkirk, con el posible lugar de implementación de la planta desalinizadora de agua de mar y nuevos sistemas de almacenamiento de agua para consumo humano, destacado en rojo. (Ibarra, 2019. Editado).

5. Síntesis y selección de Operaciones Unitarias

En el presente informe se diseñará los sistemas de captación, almacenamiento y transporte del recurso hídrico destinado a consumo humano para el abastecimiento de la población bajo estudio, proveniente de vertientes naturales de la misma isla. A dicho recurso se le realizará una filtración previa y finalmente, potabilización para que cumpla con todos los requisitos que exige la normativa. Para complementar la demanda hídrica de la población, en los casos de escasez de aquel recurso, se considerará un sistema de desalinización de agua de mar. Este constará, de forma general, de una etapa de filtración, membrana de osmosis inversa, dosificación de minerales o mineralización y finalmente, potabilización para que sea apta para consumo humano.

5.1 Sistema de Captación de Aguas de vertientes

El sistema de captación de aguas de vertientes consiste en extraer el agua que allí se encuentra por medio de una bomba, la cual se localizará al inicio y que ayudará a extraer un mayor volumen a una velocidad más alta de lo que se extrae normalmente, lo cual se decidirá al hacer los cálculos necesarios en el diseño de aquellas bombas. Posteriormente, el agua pasará a un filtro, el cual tendrá como función separar la materia sólida en suspensión presente en agua (pastos, insectos, etc.) que se quiera extraer. Finalmente, el agua previamente filtrada, será conducida a los estanques de almacenamiento por medio de tuberías adecuados para las condiciones del terreno en donde se llevará a cabo el proyecto. Dicha descripción está dada por la Figura N°21.



Figura N° 21: Operaciones unitarias del Sistema de Captación de Aguas de vertientes

Para llevar a cabo las operaciones unitarias descritas en el sistema anteriormente descrito, es necesario contar con los materiales y equipos nombrados a continuación, donde se llevó a cabo una investigación de los tipos existentes, para luego determinar cuál será el utilizado en este proyecto.

5.1.1 Bombas

Las bombas son máquinas donde la energía mecánica se transforma en energía hidráulica y al fluido que circula a través de aquel dispositivo, se le produce variaciones en velocidad y presión, donde las dos variables mencionadas aumentan.

Tabla N° 4: Cuadro comparativo de bombas hidráulicas.

Tipo	Características generales	Ventajas	Desventajas
Clásica centrífuga 	Utilizadas para bombeo de agua limpia y otros líquidos parecidos tanto físicamente como químicamente al agua sin partículas abrasivas	Impulsan el suministro de agua a edificios altos, usados también para combatir fuego, riego de jardines, transferencias de agua a distancias largas.	No cuenta con una estructura la cual pueda ser sumergible en cuerpos de agua de interés.
Sumergibles 	Las bombas sumergibles se caracterizan por que funcionan hundidas en el líquido a bombear. Se introducen en el líquido a la mayor profundidad posible, saliendo a la superficie solamente el cable de corriente y la tubería de evacuación.	Son portables o tienen la posibilidad de instalarlas de manera fija; muy versátiles para bombear agua de pozos, piscinas o depósitos; y son más económicas que las bombas de eje, tiene menor tamaño y son muy flexibles en cuanto a su uso.	Si se rompe o se produce daño de una junta, se provocarían fugas en la bomba, lo que podría corroer los componentes internos y hacer que esta falle.

Figura N° 22: Bomba clásica centrífuga

Figura N° 23: Bomba sumergible.

Tabla N° 4: (Continuación).

Tipo	Características generales	Ventajas	Desventajas
Motobombas 	Es una bomba de superficie acoplada a un motor de gasolina o diésel que le confiere autonomía total. Se utiliza para bombear agua de estanques, inundaciones o piscinas, así como para regar y existen modelos para agua salobre.	Poseen altas potencias gracias a su motor en base a diésel, siendo también autónomo de energía eléctrica.	Dependencia de combustibles fósiles, donde genera un impacto negativo al medio ambiente.

Figura N° 24: Motobomba.

5.1.2 Filtración de materia sólida

La materia sólida natural presente en el agua es derivada de la vegetación y de organismos acuáticos, los cuales se encuentran en todas las aguas superficiales y son causantes del color pardo-amarillento observable en aquellas aguas con alta presencia de ella (Ortiz, 2015). Su reacción con el cloro, puede causar subproductos, tales como los trihalometanos (THMs), microcontaminantes de carácter volátil, los cuales, si se presentan en altas concentraciones de las permitidas, pueden causar daño a la salud de las personas que consuman el agua donde estos se presenten. Los THMs más predominantes son: clorofomo y el bromodicloroetano. (Sánchez, 2008). Dentro de los filtros empleados para la captación de esta materia orgánica presente en agua, se tienen los siguientes (Ver Tabla N°5).

Tabla N° 5. Cuadro comparativo de filtros empleados en la captación de materia orgánica en agua.

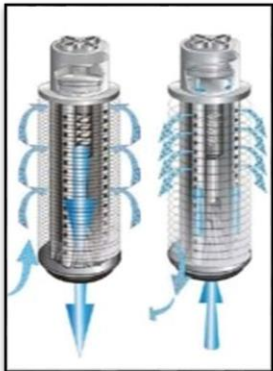
Tipo	Características generales	Ventajas	Desventajas
Discos 	Es un eje central que soporta un número determinado de discos. Empleado para retener la materia orgánica, tanto como la inorgánica, atrapando partículas tan pequeñas como de 20 a 800 micrones. Son capaces de retener los sedimentos presentes en las tuberías que provocan turbiedad en el agua y que son dañinos para la salud.	Facilidad de uso; no es necesario cambiar regularmente el cartucho; suficiente eficiencia de limpieza; largo período de uso, rentable.	No se encontraron para este dispositivo, respecto a los demás descritos en esta tabla.
Malla 	Realizan un tamizado superficial del agua, reteniendo partículas de tamaño superior al de los orificios de la malla, ya sean de materia orgánica como inorgánica. La malla puede filtrante puede ser de plástico o metal.	Económicos; eficaz con las partículas de origen mineral.	No se pueden utilizar en aguas muy sucias, altas en contenido inorgánico, ya que pueden colmatarse con facilidad; requieren cambios si sucede lo anterior.

Tabla N°5: (Continuación).

Tipo	Características generales	Ventajas	Desventajas
Carbón Activo  <i>Figura N° 27: Filtro de carbón activado.</i>	El carbón activo presente en estos filtros, es un material que se utiliza para filtrar químicos y microorganismos nocivos del suelo y el agua. En este proceso, el agua es bombeada dentro de una columna que contiene el carbón activo, donde el agua deja la columna a través de un sistema de drenaje. La actividad del carbón activo depende de la temperatura y de la naturaleza de las sustancias presentes en el agua.	Elimina color y olor desfavorables del agua; eficaces en la eliminación de sustancias tóxicas presentes en aguas alteradas, ideales en el tratamiento terciarios de aguas residuales;	El paso del agua a través de la columna de drenaje produce acumulación de sustancias en el filtro, por lo cual este debe ser sustituido periódicamente; su eficacia disminuye tras cada regeneración; son costosos en comparación con los anteriores.

5.1.3 Tubos de conducción de agua

Respecto a estos, se seleccionaron tres tipos de materiales de cañerías, descritos en más detalle en la Tabla N° 6:

Tabla N° 6: Cuadro comparativo de tubos o cañerías de materiales distintos para llevar a cabo la distribución de agua.

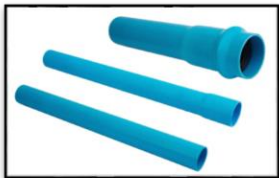
Material	Características generales	Ventajas	Desventajas
PVC 	Usado en la conducción de fluidos a presión, a los agentes aplicándose a redes de agua potable, impulsiones aducciones, sistemas de riego, agua potable domiciliaria, entre otros.	Poseen una mayor resistencia a los agentes corrosivos. En el caso del transporte de agua potable, este tipo de material no altera su calidad, no aportando elementos que puedan ser tóxicos para el consumo humano.	No es flexible, en estado natural, a menos que se someta a temperatura. No apta para terrenos inestables o con cambios de pendientes bruscos.
Planza 	Cañería hecha de polietileno.	Fácil conexión a redes hidráulicas; resistente a la radiación UV; flexible; liviana; resistente a la corrosión; adaptable.	Frágil a baja temperatura.

Figura N° 28: Tubería de PVC

Figura N° 29: Tubería de planza

Tabla N°6: (Continuación).

Material	Características generales	Ventajas	Desventajas
Cobre 	El cobre, por sus características, es sin duda el metal más apropiado para la fabricación de tubos para toda clase de aplicaciones, tanto en la construcción como en la industria.	Resistente al fuego, a altas presiones y a temperaturas extremas; resistente a la corrosión, a los rayos ultravioleta e impermeable al oxígeno; inalterable con el paso del tiempo; permite montajes; antibacteriano; sostenible y 100% reciclable; bajo coeficiente de dilatación.	Con menor flexibilidad que el elemento anterior.

Figura N° 30: Tubería de cobre

5.2 Sistema de Almacenamiento de agua para consumo humano

La llegada del agua al sistema estará dada por los mismos canales de transporte utilizados en la conducción del sistema anteriormente descrito en el apartado 5.1, donde luego de acumular un volumen determinado, se procederá al proceso de potabilización del recurso, tal como se evidencia en la Figura N° 31.

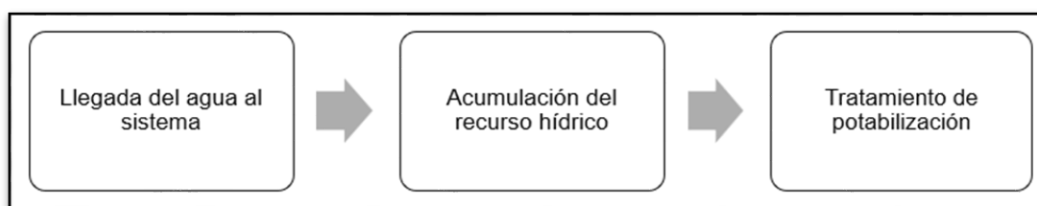


Figura N° 31: Operaciones unitarias del Sistema de Almacenamiento de agua para consumo humano.

El proceso de potabilización consistirá básicamente en realizar los procedimientos que indiquen la NCh 409, donde en el sistema mostrado previamente, se evaluarán los parámetros siguientes, debido a la procedencia del recurso:

- Microbiológicos y de turbiedad
- Elementos o sustancias químicas de importancia para la salud
- Parámetros relativos a las características organolépticas (pH, olor, color, entre otros)
- Concentración respecto a los parámetros de desinfección

Las operaciones necesarias para llevar a cabo el proceso anteriormente son:

5.2.1 Coagulación

Proceso en el cual se le agrega un agente químico o coagulante al agua, el cual facilitan el asentamiento o agrupación de sustancias coloidales que se encuentran en suspensión en el agua a tratar. Esto se debe a una desestabilización de las partículas coloidales presentes, neutralizando sus cargas. (Casero, 2007)

5.2.2 Floculación

Corresponde a la aglomeración de las partículas correspondientes al proceso de coagulación, transformándose en otras más voluminosas y pesadas que puedan ser separadas más fácilmente del agua (Samsa, 2008).

5.2.3 Decantación

Proceso que tiene como finalidad eliminar la turbiedad del agua o clarificarla. Al finalizar la floculación, los flóculos o partículas unidas gracias al coagulante, aumentan en peso y en velocidad de decantación y, por ende, acumulándose en el fondo del recipiente recolector (Rojas, 2008)

5.2.4 Filtración

Es un proceso que consiste en la separación de partículas y pequeñas cantidades de microorganismos (bacterias, virus) a través de un medio poroso, la cual generalmente es arena. Existen dos tipos de filtros de arena: los de acción lenta y los de acción rápida. En los primeros mencionados, el agua pasa por gravedad a través de la arena a baja velocidad, la separación de los materiales sólidos ocurre cuando estos se adhieren a los granos de arena. En los filtros rápidos ocurre lo mismo, pero a velocidad mayor. (Chulluncuy, 2011). El filtro se debe lavar con una corriente de agua en sentido contrario al del filtrado, que expande el lecho y se lleva al desagüe los sólidos acumulados.

5.2.5 Desinfección

Último paso en la potabilización del agua, donde se destruyen los agentes microbianos presentes, por medio de procesos químicos o físicos. Se utilizan productos como: Derivados del cloro, ozono, entre otros (Barrio, 2015).

5.3 Sistema de Transporte

En esta etapa se llevará el agua apta para consumo humano hacia las viviendas, tal como lo muestra la Figura N° 32. Este proceso no será ayudado por un dispositivo de bombeo para acelerar el proceso mismo, dado que casi la totalidad de las viviendas se sitúan bajo los estanques, por ende, el agua viaja hacia las viviendas por gravedad. Para la conducción del recurso, hacia las viviendas, se utilizará unas de las alternativas ya descritas en la sección 5.1 (conducción de agua hacia los estanques).

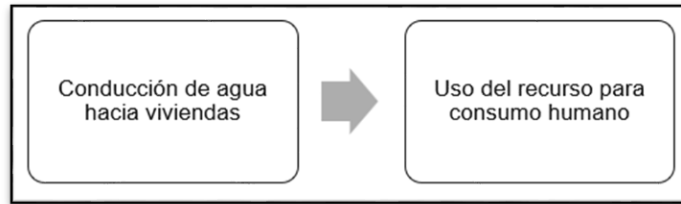


Figura N° 32: Operaciones unitarias del Sistema de Transporte de agua proveniente de vertientes.

5.4 Sistema Completo

El sistema completo contempla la captación de aguas desde vertientes, el almacenaje de esta y su distribución hacia las viviendas. La Figura N° 33 muestra el diagrama de bloques para dicho sistema, en donde se puede apreciar en paralelo con sus respectivos procesos.

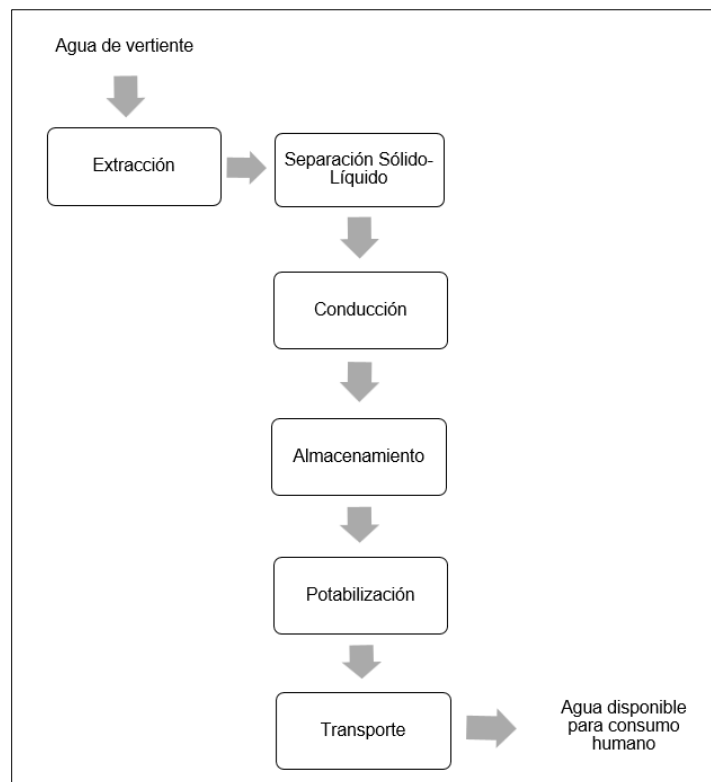


Figura N° 33: Operaciones unitarias del Sistema Completo.

5.5 Sistema de Inyección de agua de mar para la reducción de la demanda de agua potable

En esta sección se describirán operaciones unitarias relacionadas con el uso de agua de mar para la operación de inodoros de cada vivienda, dando como resultado la disminución de la demanda de agua potable por parte de la población.

5.5.1 Captación

Es el mismo descrito en la sección 5.1, donde la Figura correspondiente a aquel apartado también lo representa. Las alternativas de materiales y dispositivos serán los mismos que están dados en los apartados 5.1.1, 5.1.2 y 5.1.3, donde el filtrado se posicionará en la boca de la toma de agua de mar.

5.5.2 Almacenamiento

La llegada del agua al sistema estará dada por los mismos canales de transporte utilizados en la conducción del sistema anteriormente descrito en el apartado 5.1, sin aplicar el tratamiento de potabilización. Esta descripción está dada por la Figura N° 34.

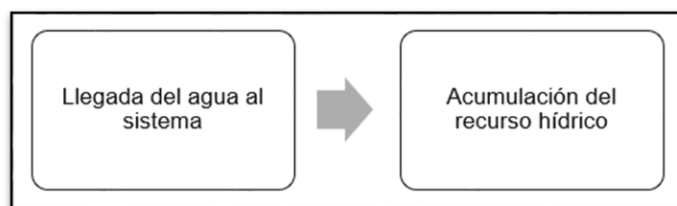


Figura N° 34: Operaciones unitarias del Sistema de Almacenamiento de agua de mar para el uso de inodoros.

5.5.3 Transporte

Se llevará el agua de mar hacia las viviendas, tal como lo muestra la Figura N° 35. Al igual que en el sistema de transporte de agua potable, no se utilizará un dispositivo de bombeo para su conducción hacia los inodoros.

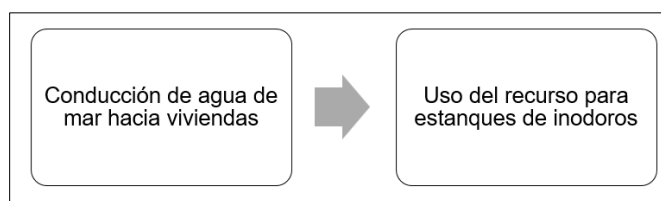


Figura N° 35: Operaciones unitarias del Sistema de Transporte de agua de mar para el uso de inodoros.

5.5.4 Sistema completo

El sistema completo contempla la captación de aguas desde el mar, el almacenaje de esta y su distribución hacia los inodoros. La Figura N° 36 muestra el diagrama de bloques para dicho sistema, en donde se puede apreciar en paralelo con sus respectivos procesos.

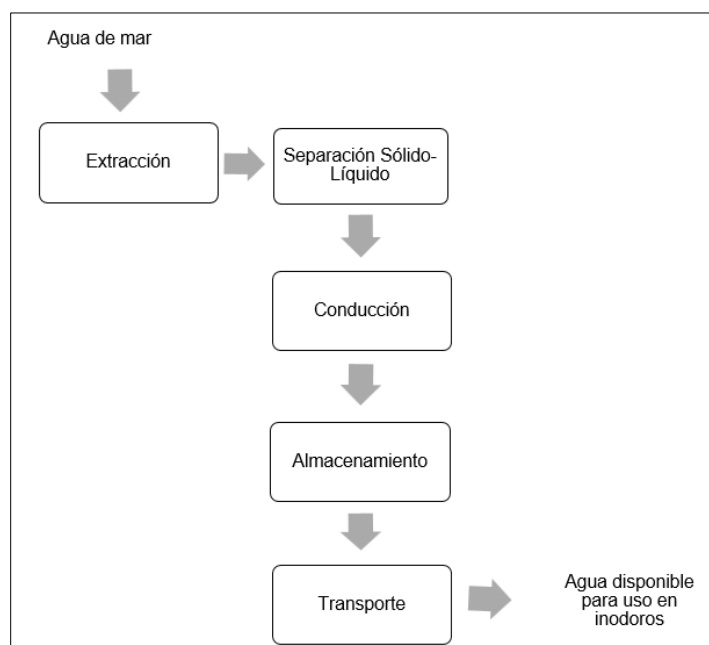


Figura N° 36: Operaciones unitarias del sistema completo de inyección de agua de mar.

5.6 Sistema de Desalinización de agua de mar (osmosis inversa)

El sistema de desalinización de agua de mar contempla la extracción de agua de mar mediante bombas, donde seguidamente se procede a filtrar el volumen extraído para separar de sólidos presentes, para luego aplicar un pre-tratamiento, con la finalidad de

extraer la salmuera. Posteriormente, se lleva a cabo la osmosis inversa con la ayuda de bombas de alta presión, donde el volumen tratado pasará a través de membranas. Seguidamente, se realiza un post tratamiento químico, para finalmente, potabilizar el agua obtenida y que cumpla con las características necesarias para el consumo humano, tal como lo indica la Figura N°37.

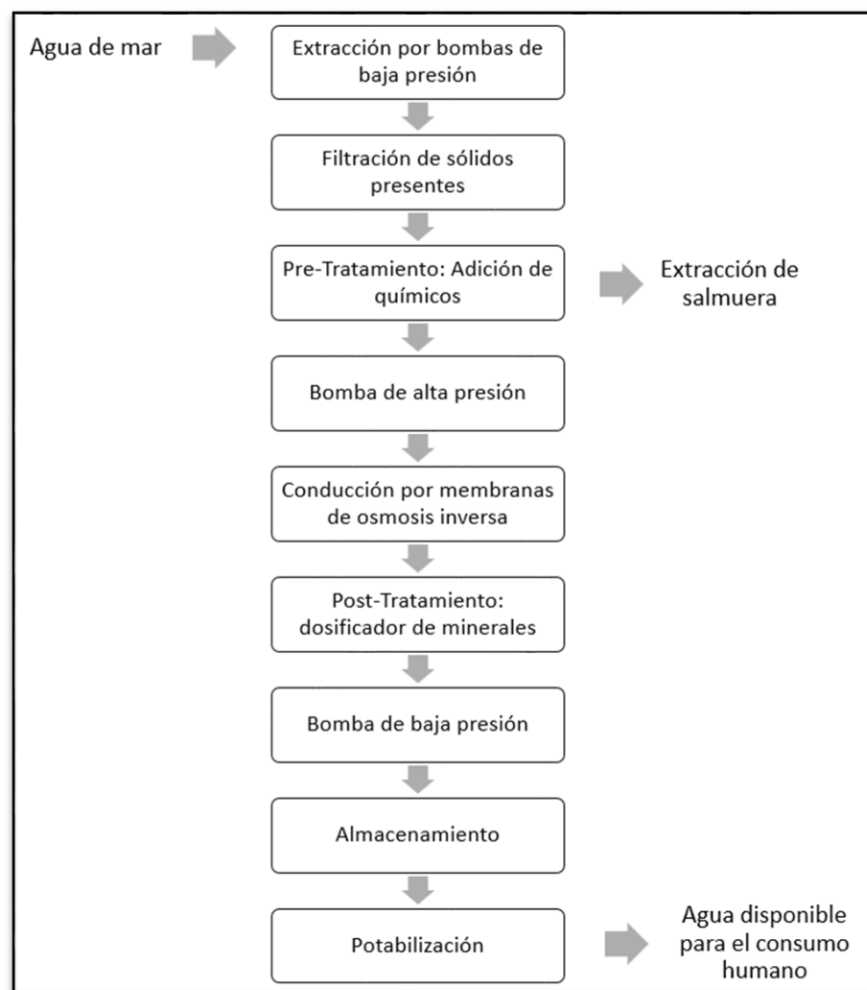


Figura N° 37: Operaciones unitarias del Sistema de Desalación de agua de mar.

El sistema de desalinización, contempla en general tres procesos:

- **Captación:** donde tuberías desplazan el agua impulsada por bombas hasta la planta desalinizadora,
- **Pretratamiento:** Previo al tratamiento específico, se deben realizar diversos procesos físicos y químicos, ya que, debido a la sensibilidad de las membranas de Osmosis, el

agua debe obtener condiciones fisicoquímicas óptimas para evitar que ellas se dañen. En primera instancia, se le aplica un coagulante, el cual ayudará que se agreguen y posteriormente, a que precipiten partículas sólidas presentes en el agua salada presente en el decantador. El coagulante empleado para este proceso es el cloruro férrico. Después, se le aplicará un desinfectante, dentro de los métodos más empleados es la cloración, adicionando hipoclorito de sodio al agua de mar, con el propósito de eliminar los microorganismos biológicos presentes.

Seguidamente, el líquido resultante debe pasar a través de tres etapas de filtración. Los filtros son confeccionados generalmente de arena y/o carbón natural para los dos primeros y la última etapa de filtración se utiliza filtros de cartucho. En la primera etapa, se utilizarán un conjunto de filtros, donde la mayor parte de la materia que se encontraba en suspensión queda retenida, dando lugar a un filtrado de 15 μm . Luego, el agua obtenida pasará a un tanque regulador, en donde se dosificará el agua a tratar para que pueda, seguidamente, poder comenzar con el siguiente proceso. En la segunda etapa de filtración se le aplica al líquido una presión, donde el agua será impulsada a través de una variedad de filtros de multicapa con el fin de disminuir la calidad del filtrado a aproximadamente 10 μm . Finalmente, con el proceso de filtrado, el líquido deberá atravesar nuevamente filtros, primero de 15 y posteriormente de 10 μm . Para terminar con el pretratamiento, es necesario poder llevar a cabo una dechloración del agua antes de pasar por las membranas de osmosis, mediante la adición de ácido sulfúrico con el fin de poder obtener un pH menor a 7. El resultado de este procedimiento es un agua con un Índice de Densidad de Sedimentos (por sus siglas en inglés, SDI) o índice de ensuciamiento igual a 3 (Soto, G, & Soto, M.,2013).

- **Tratamiento específico:** Las metodologías más comunes para llevar a cabo este proceso son: Destilación, Desalinización térmica, Congelación y Osmosis inversa, donde este último es el más utilizado. La osmosis es una propiedad natural, presente tanto en plantas como en animales, proceso que consiste en tener dos soluciones de diferente concentración separados por una membrana semipermeable. Ocurre el paso del solvente a través de una membrana, el cual fluye desde una solución menos concentrada a una de mayor concentración, sin que pueda traspasar por aquella membrana el soluto presente en la solución. Debido a esto, es que se obtiene una diferencia de altura o presión, denominada presión osmótica. Este proceso se puede invertir, al aplicar una presión al sistema que sea mayor a la presión osmótica, lo que se traduce finalmente, en que circule el solvente desde la solución más concentrada a

la menos concentrada, obteniéndose finalmente, para el proceso de desalinización de agua de mar, agua purificada.

Por tanto, en esta etapa es necesaria la utilización de bombas que otorguen el impulso o alta presión necesaria para que el agua realice dicha operación de osmosis inversa.

Los resultados de este proceso son:

- Entre un 55%-60% de agua con alta concentración de sales, la cual será enviada nuevamente al mar u otra área en donde se determine su disposición final (Zarza, 1997).
- Entre un 40-45% de agua de interés, que quedará almacenada en un depósito, en el cual se llevará a cabo los procesos necesarios para que cuente con las características de calidad mejoradas y, según lo que establezcan las normas vigentes de sanidad, esta agua pueda ser destinada al consumo humano (Soto, G, & Soto, M.,2013). Entonces, estas aguas necesitarán un postratamiento para que puedan ser utilizadas debidamente para dicho propósito

6. Balance de materia

Los balances de materia se basan en la Ley de Conservación de la Materia, por lo que, se debe aplicar la ecuación correspondiente, donde la forma general de balance de materia total de un sistema será:

$$\left(\text{Acumulacion dentro del Sistema} \right) = \left(\text{Entrada por los límites del sistema} \right) - \left(\text{Salida por los límites del sistema} \right) + \left(\text{Generación dentro del Sistema} \right) - \left(\text{Consumo dentro del Sistema} \right)$$

Si no existe generación o consumo de materia dentro del sistema, lo anterior queda como:

$$\text{Acumulación} = \text{Entradas} - \text{Salidas}$$

Si no existe acumulación de materia dentro del sistema, este se encuentra en estado estacionario o uniforme, siendo de esta manera:

$$\text{Entradas} = \text{Salidas}$$

En cambio, al no existir flujos de entrada ni de salida, estamos en presencia de un sistema cerrado.

6.1.1 Captación, Almacenamiento y Distribución

En esta sección, se consideró como entradas al sistema las aguas que llegan a los estanques de las vertientes, como salida del sistema, la demanda proyectada hasta el año 2029 de agua por parte de la población, y la acumulación, es el volumen de agua que se recolecta en los estanques en un determinado periodo de tiempo, por lo que la ecuación de balance de materia queda así:

$$\text{Caudal de entrada} - \text{Caudal de salida} = \text{Acumulación}$$

Desarrollando lo anterior, se tiene lo siguiente:

$$Q_e \times \rho_{H_2O} - Q_s \times \rho_{H_2O} = \frac{dV \times \rho_{H_2O}}{dt} \quad (5)$$

Siendo,

Q_e : Caudal de entrada, desconocido.

Q_s : Caudal de salida, conocido y descrito más adelante.

ρ_{H_2O} : Densidad del agua, 1 kg/L.

dv/dt : variación del volumen de agua en un determinado tiempo.

Al simplificar la Ecuación (5), queda de esta manera:

$$Q_e - Q_s = \frac{dv}{dt} \quad (6)$$

Reordenando, resulta:

$$(Q_e - Q_s) dt = dv \quad (7)$$

Seguidamente se procede a integrar:

$$\int_0^t (Q_e - Q_s) dt = \int_{v_i}^{v_f} dv \quad (8)$$

Donde,

Variable tiempo (t) va desde el $t=0$ hasta el tiempo de llenado

Variable volumen (v), va desde v_i = volumen inicial, igual a cero; hasta v_f =volumen final, según la capacidad total de cada estanque.

Para efectos de estos cálculos, asumiremos que los caudales son constantes, por ende, lo anterior como:

$$Q_e - Q_s \int_0^t dt = \int_{v_i}^{v_f} dv \quad (9)$$

Desarrollando la integral, quedaría como:

$$Q_e - Q_s (t - 0) = v_f - v_i \quad (10)$$

Para conocer el caudal de entrada también hay que saber el tiempo de llenado de cada uno de los estanques que componen el sistema. Para ello, se tomó un bidón de un volumen total de 200 litros, el cual fue llenado con agua que cae desde la mismas planzas que transportan el agua desde la vertiente hasta los estanques, dando como resultado un tiempo de llenado de 30 minutos. Aquel resultado se puede llevar a los volúmenes totales de cada estanque presente en el poblado, dando las siguientes estimaciones que muestra la Tabla N° 7.

Tabla N° 7: Tiempo de llenado de cada estanque.

Estanque	Capacidad (L)	Tiempo de llenado (h)
Estanque 1	20.000	50
Estanque 2, 3	5.000 c/u	12,5 c/u

Por otro lado, se llevó a cabo una proporción de los equipos de recolección de agua presentes en el sistema con respecto al volumen total capturado por todos ellos, para poder encontrar la incógnita deseada. La capacidad total del sistema presente es de 30.000 litros, por lo que en la siguiente Tabla demuestra las proporciones de cada uno de los estanques:

Tabla N° 8: Estanques y sus proporciones con respecto al volumen total recolectado del sistema.

Estanque	Capacidad (L)	Proporción (%)
Estanque 1	20.000	66,67
Estanque 2, 3	10.000 (total)	33,33

Con lo anterior, se conoció el valor de Q_s para cada uno de ellos, lo cual estará establecido por:

$$Q_s = Df \times \frac{\%E}{100} \quad (11)$$

Siendo

Q_s : Caudal de salida.

Df : Correspondiente a la demanda de agua por parte de la población proyectada en un futuro, incluyendo la reducción de la demanda al utilizar agua de mar para inodoros ($Q_s = Df = 12.350 \text{ L}$)

$\%E$: Proporción con respecto al volumen total recolectado del sistema de cada estanque.

Con aquellos datos, se procedió a calcular el caudal de entrada y salida, aplicando la Ecuación (11) y (10) respectivamente, para cada uno de los estanques:

6.1.1.1 Estanque 1

$$Q_s = 12.350 \times \frac{66,67}{100}$$

$$Q_s = 8.233,75 \left[\frac{L}{h} \right]$$

Entonces,

$$Q_e - 8.233,75 \left[\frac{L}{h} \right] (50 [h] - 0) = 20.000 - 0 [h]$$

$$50Q_e [H] - 411.687,25 [L] = 20.000[L]$$

$$50Q_e [h] = 431.687,25 [L]$$

$$Q_e = 8.633,75 \left[\frac{L}{h} \right] = 2,40 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

6.1.1.2 Estanque 3 y 2

$$Q_s = 12.350 \times \frac{33,33}{100}$$

$$Q_s = 4.116,26 \left[\frac{L}{h} \right]$$

Entonces,

$$Q_e - 4.116,26 \left[\frac{L}{h} \right] (12,5 [h] \times 2 - 0) = 10.000 - 0 [L]$$

$$Q_e - 4.116,26 \left[\frac{L}{h} \right] (25 [h]) = 10.000 [L]$$

$$25Q_e [h] - 102.906,50 [L] = 10.000[L]$$

$$25Q_e [h] = 112.906,50 [L]$$

$$Q_e = 4.516,26 \left[\frac{L}{h} \right] = 1,25 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

6.1.2 Desalinización

La entrada de este sistema corresponde a las aguas provenientes del mar, como salida del sistema, se consideró el agua para ser consumida por la población y el producto restante como salmuera, y respecto la acumulación, esta no se consideró, ya que probablemente sea un porcentaje despreciable para los cálculos, es decir, está en estado estacionario o uniforme. Entonces, la ecuación de balance de materia queda:

$$\text{Caudal de entrada de agua de mar} - (\text{Caudal de salida de agua} + \text{Salmuera}) = 0$$

$$\text{Caudal de entrada de agua de mar} = \text{Caudal de salida de agua} + \text{Salmuera}$$

Según lo indicado en el apartado 5.5 de este proyecto, las proporciones de agua tratada y salmuera están entre 40-45% y 55%-60%. Para efectos de estos cálculos se consideró la menor proporción descrita para agua tratada, siendo este el peor caso teóricamente planteado. Gráficamente el balance está dado como lo muestra la Figura N°38.

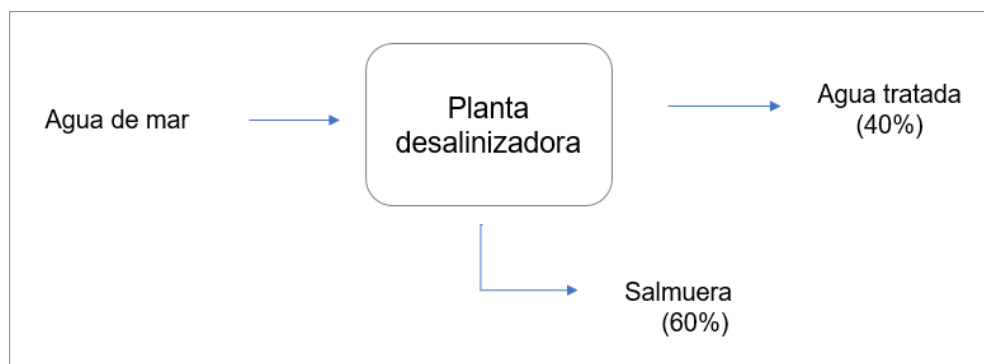


Figura N° 38: Balance de materia planta desalinizadora de agua.

Se conoce que la cantidad de agua demandada por parte de la población estudiada para el futuro proyectado (año 2029), corresponden a 23.750 litros, pero aplicando la inyección de agua de mar a los inodoros esta se reduce a un volumen de 12.350 litros al día, lo cual correspondería, en el balance anteriormente descrito al agua tratada otorgada por la planta. Existen actualmente en el mercado internacional dispositivos que comprenden caudales desde los 6.000 litros, y también los hay de 23.000 y de 27.000 litros aproximadamente. En Chile, existen desde los 4.80, 9.000, 11.000, 18.000 y 22.000 litros, por tanto, para efectos de estos cálculos, es que se tomaron dos opciones:

- Se tomará como volumen de salida de agua sin sales 11.000 litros y luego, se calculará para una planta que otorgue 18.000 litros del mismo líquido. Esta última se llevó a cabo con el motivo de asegurar, según como muestra la proyección realizada en el apartado 4.2, que toda la población en el año 2029 cuente con el suministro que esta demandará, según los resultados de la proyección realizada a la comunidad.

Para poder conocer el flujo de agua entrante al sistema se realizó en base a la siguiente fórmula:

$$Am = (Ap) + (Sa) \quad (12)$$

Siendo,

A_m : Agua de mar que entra al sistema

A_p : Agua de mar “pura” o tratada para ser consumida por la población, lo cual corresponden a los 11.000 y 18.000 (L) descritos anteriormente

S_a : Salmuera

Reordenando según las proporciones descritas anteriormente, la Ecuación (12) queda como:

$$A_m = (A_m \times 0,4) + (A_m \times 0,6) \quad (13)$$

Como se conoce el volumen de agua tratada, la cual corresponde al 40% del volumen de agua de mar que entra al sistema, es que se puede también saber la cantidad de salmuera obtenida y el flujo de entrada. Entonces, reemplazando con los datos conocidos, la Ecuación (13) queda de tal manera:

Respecto a los datos obtenidos teóricamente, en base a la demanda futura de agua de mar en el año 2029:

$$A_m = (12.350 \text{ (L)}) + \left(\frac{12.350 \text{ (L)} \times 0,6}{0,4} \right)$$

$$A_m = 30.875 \text{ (L)}$$

Entonces, la cantidad de salmuera obtenida en aquel proceso corresponde a:

$$S_a = A_m - A_p$$

$$S_a = 30.875 \text{ (L)} - 12.350 \text{ (L)}$$

$$S_a = 18.525 \text{ (L)}$$

Para la primera opción (respecto a la planta desaladora que entregue 11.000 litros de agua sin sales):

$$A_m = (11.000 \text{ (L)}) + \left(\frac{11.000 \text{ (L)} \times 0,6}{0,4} \right)$$

$$A_m = 27.500 \text{ (L)}$$

Entonces, la cantidad de salmuera obtenida en aquel proceso corresponde a:

$$S_a = A_m - A_p$$

$$S_a = 27.500 \text{ (L)} - 11.000 \text{ (L)}$$

$$S_a = 16.500 \text{ (L)}$$

Para la segunda opción (respecto a la planta desaladora que entregue 18.000 litros de agua sin sales):

$$Am = (18.000 (L)) + \left(\frac{18.000 (L) \times 0,6}{0,4} \right)$$
$$Am = 45.000 (L)$$

Entonces, la cantidad de salmuera obtenida en aquel proceso corresponde a:

$$Sa = Am - Ap$$
$$Sa = 45.000 (L) - 18.000 (L)$$
$$Sa = 27.000 (L)$$

Ambas opciones son válidas, ya que no se conoce exactamente si la población alcanzará esa cantidad de habitantes en algún determinado tiempo, debido a las regulaciones instauradas por CONAF hacia la cantidad de personas que habitan allí.

El problema que existe es que ese volumen de agua tratada corresponde a un tiempo de funcionamiento de esta de 24 horas continuas, por lo que utilizar una planta desaladora de mayor envergadura sería una mejor opción, así se obtendría el volumen deseado en un menor tiempo.

Si se utiliza el dispositivo mayor que existe disponible en Chile, el cual otorgaría 22.000 litros/día de agua desalada, esta debería operar alrededor de 13,47 horas para obtener el volumen deseado de agua desalada que cubra la demanda total de la población en el año 2029, reduciéndose el tiempo de operación a un 56,14%. Por esto que, para efectos de cálculos futuros con respecto a la planta desaladora, es que se utilizará la más grande disponible a nivel nacional.

6.1.3 Potabilización de agua para consumo humano

En esta etapa, se pretende lograr que el agua, ya sea proveniente de las vertientes como del proceso de desalinización, obtengan los parámetros requeridos por la NCh 409; es decir, que sea apta para el consumo humano y no ponga en riesgo la salud de los consumidores.

6.1.3.1 Agua de vertientes

Debido a las características del agua proveniente de las vertientes, es que no es necesario llevar a cabo todos los pasos descritos en el apartado 5.2, donde sólo el 5.2.5 es necesario: desinfección. La filtración no es necesaria, debido a que se hace de forma previa, en la captación de estas aguas.

El cloro líquido, según lo indicado en su ficha técnica que se muestra en Anexo 13.3.4, tiene una densidad de 1,15-1,16 g/mL (a 20°C) y el formato que la empresa entrega es de 22 Kg, por tanto, para conocer el volumen de aquel envase, se debe realizar la siguiente operación:

$$v = \frac{m}{d} \quad (14)$$

Donde,

v: volumen del hipoclorito de sodio, desconocido.

m: masa, dado por el formato que la empresa otorga

d: densidad del cloro líquido, donde para efectos de estos cálculos se utilizará 1,16 g/ml o 1,16 kg/L.

Reemplazando en la fórmula anterior, se tiene:

$$v = \frac{22 \text{ [kg]}}{1,16 \text{ [\frac{kg}{L}]}}$$
$$v = 18,97 \text{ [L]}$$

Entonces, cada envase de 22 kg de cloro líquido, contiene un volumen total de 18,97 L. Conociendo ese valor, es que se puede saber la cantidad a agregar de este compuesto al agua que se desea desinfectar. Las proporciones estarán dadas, según la Tabla N°9:

Tabla N° 9: Proporciones de volumen de agua tratada y cantidad de cloro líquido a emplear, para una concentración del 10%.

Volúmen de agua a desinfectar (L)	Cantidad de Cloro Líquido a agregar en tiempo normal (L)	Cantidad de Cloro Líquido a agregar en emergencia (L)
1.000	0,1	0,2
10.000	1	2
12.350	1,24	2,47
20.000	2	4

Entonces, con un envase de 22 kg de este compuesto, se tiene para desinfectar 15 veces, aproximadamente, el volumen de agua recolectada en el estanque que abastecerá al poblado de IAS en tiempo normal y 7 veces en tiempos de emergencia.

Respecto a la metodología de la aplicación de este líquido, es que se debe realizar de la siguiente manera:

- Agregar el cloro líquido, en la cantidad adecuada, según la Tabla N° 10. Luego, se debe realizar una agitación, con algún elemento que pueda ayudar a aquel proceso, con el fin de que ambos líquidos se mezclen completamente.
- Finalmente, se debe dejar reposar el agua por 30 minutos, para que el cloro elimine las bacterias presentes.
- Es importante mencionar que este proceso debe ser manejado por adultos, y que no se recomienda desinfectar el agua para consumo humano con cloro comercial para lavado de ropa, porque contiene compuestos químicos peligrosos para la salud.

6.1.3.2 *Agua desalinizada*

El agua proveniente de la planta desalinizadora, se requiere para consumo humano, por lo que el postratamiento incluye procesos tales como:

- Mineralización

Debe ser mineralizada para mejorar el gusto y hacerla más saludable. El agua salada tiene una concentración promedio en sales de 35 g/L, mientras tanto que el agua del pacifico oscila entre los 33 y 36 g/L, es decir, que promediando ambos números nos da como resultado 34,5 g/L o 34.500 mg/L de concentración de sales o cloruros. Al someter esta agua al proceso de osmosis inversa, aquel valor se reduce de forma considerable a 412 mg/L, lo cual, según la normativa nacional vigente, este rango es mayor al aceptado por esta misma y no sería apto para el consumo humano, siendo lo permitido valores menores a 400 mg/L para cloruros, tal como lo muestra la Tabla N°10:

Tabla N° 10: Rangos de parámetros aceptados dispuestos en la NCH409, parte I.

Parámetros químicos (mg/L)	
Amoníaco (NH ₃)	≤1.5
Cloruros	≤400
Sulfatos	≤500
Sólidos disueltos	≤1500
pH	Entre 6,5 y 8,5 unidades

Para la reducción de aquella variable, es que se basará en la Guía de desalación aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano de España, donde especifica las cantidades de químicos de interés a aplicar, los cuales corresponden a: dióxido de carbono (CO₂) y hidróxido cálcico (Ca(OH)₂), en las cantidades de 5 mg/L y 16,7 mg/L respectivamente.

Para la cantidad de agua obtenida de la desalinización, lo cual corresponde a la demanda de la población IAS en el año 2029, es que se necesitan las cantidades de las sustancias anteriores, tal como lo muestra la Tabla N°11:

Tabla N° 11: Cantidades de dióxido de carbono (CO₂) y hidróxido cálcico (Ca(OH)₂) para el volumen total de agua proveniente del proceso de desalación para el proceso de mineralización.

Sustancia	Para 1 L de agua desalada (en mg)	Para 12.350 L de agua desalada (en mg)	Para 12.350 L de agua desalada (en g)
CO ₂	5	61.750	61,75
Ca(OH) ₂	16,7	206.245	206,25

Al aplicar dichos componentes al agua proveniente del tratamiento de osmosis, es que el agua tendría los parámetros que se indican en la Tabla N° 12, encontrándose ellos dentro de los rangos aceptados por la NCh 409:

Tabla N° 12: Parámetros obtenidos luego de la mineralización del agua desalada.

Cationes (mg/L)		Aniones (mg/L)	
Calcio	11,0	Bicarbonato	29,3
Magnesio	3,0	Sulfato	10,8
Sodio	161,90	Cloruro	250,0
Potasio	6,0	Carbonato	1,28
Boro	0,6	STD	473,88
		Anhídrido carbónico	0,09
Otros parámetros			
Temperatura	21 °C	pH	8,7

- Desinfección

El agua desalinizada esta esencialmente exenta de virus, o agentes patógenos; sin embargo, se recomienda el uso de un método de desinfección, con el objeto de prevenir alguna falla en el sistema. Este se realizará de igual manera que el agua proveniente de las vertientes, donde las proporciones por la Tabla N° 9.

7. Balance de energía

Es necesario llevar a cabo el cálculo de la potencia mínima requerida de cada bomba presente en el sistema propuesto, con ello, dicho sistema debería funcionar sin problemas.

7.1 Bombas

7.1.1 Bomba N°1 y 2: Captación desde las Vertientes

Esta bomba es la que se encontrará en la vertiente, sumergida, con el fin de ayudar a entregar mayor flujo de agua a los estanques recolectores, los cuales actualmente caen por gravedad. Se decidió de ese modelo, debido a las características geográficas del terreno y por ser de menor tamaño en comparación con las convencionales.

El esquema, para ambas vertientes, se desarrolla de la siguiente manera, como lo muestra la Figura N° 39:

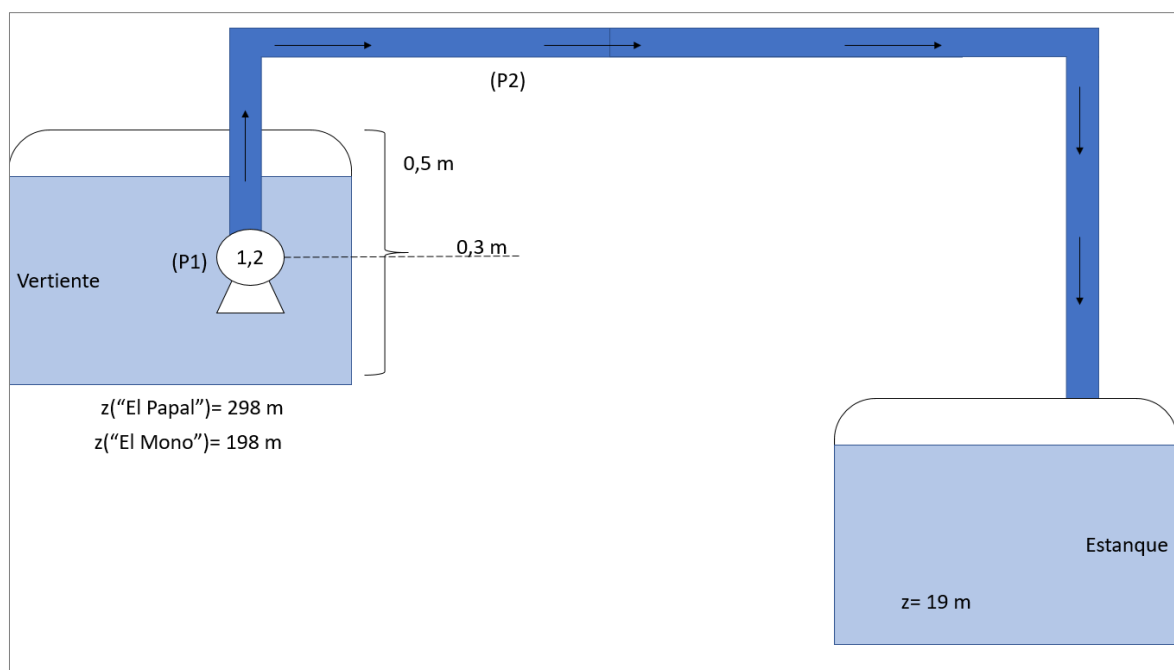


Figura N° 39: Esquema de bombeo de vertientes hasta el sistema de recolección de agua.

Ambas vertientes tienen una profundidad promedio de 50 cm, donde la bomba a utilizar estará sumergida a 30 cm de profundidad. Las alturas de cada vertiente están descritas como en el diagrama, siendo 298 m para "El Papal" y 198 m para "El Mono".

Al llevar a cabo los cálculos pertinentes para ambas bombas, se dio cuenta, tal como lo muestra el Anexo 13.1, que para transportar las aguas provenientes de desde la vertiente “El Papal” y “El Mono” hasta los estanques, no se requiere de bombas, al resultar ambas potencias negativas debido a la diferencia de alturas que posee el punto donde se sitúan ambas bombas y la ubicación del estanque de almacenamiento, donde la fuerza de gravedad ayuda a que el flujo de agua se mueva sin problemas, tal cual como se hace actualmente en la comunidad de IAS.

7.1.2 Bomba N°3: Captación de Agua de Mar (Planta Desalinizadora)

Se calculará la potencia de la bomba que se encontrará extrayendo agua de mar hasta el estanque que abastecerá a la planta desalinizadora de agua. El esquema del proceso está representado por la Figura N°40:

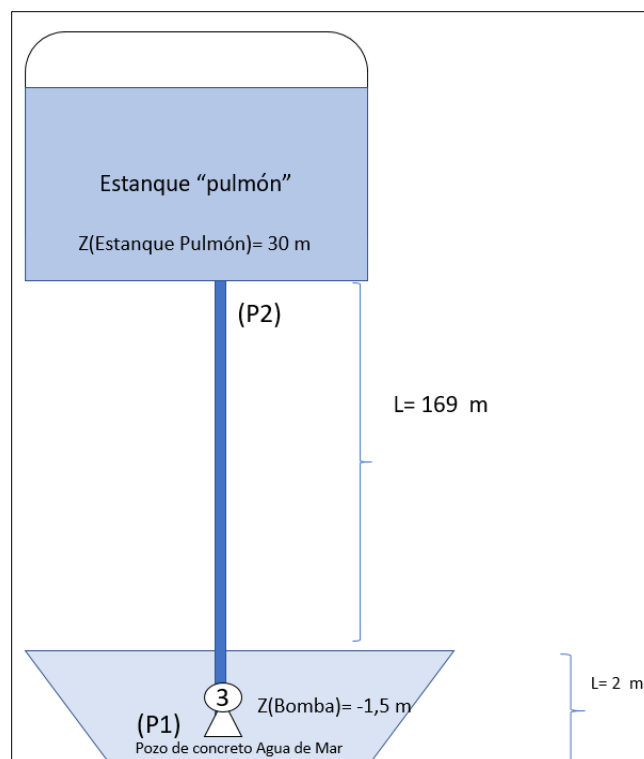


Figura N° 40. Esquema de bombeo de agua de mar hasta el sistema de recolección de agua, que abastecerá a la planta desaladora de agua.

Para poder extraer agua sin problemas desde el mar, es que se confeccionará una piscina que se llene con aquel recurso. La bomba de succión se encontrará dentro de esta, lo más profundo que se permita, con el fin de asegurar que la succión de ella sea positiva. En

cambio, si posicionamos la bomba lejos del punto de succión, el valor de este será negativo y probablemente, se tendrían que utilizar más de una bomba, por la distancia en que está situado el estanque pulmón de agua de mar, donde la recomendación es que aquel dispositivo se localice lo más cercano posible a la toma y que sea solo una estación de bombeo.

Las consideraciones a tomar en los cálculos fueron en base a lo planteado por Mataix (2012), lo cual plantea la siguiente ecuación:

$$P = Q \times \rho \times g \times H \quad (15)$$

Donde,

P: Potencia mínima requerida para el funcionamiento de la bomba.

Q: Caudal a transportar

ρ : Densidad del agua

g: Fuerza de gravedad (9,81 m/s²)

H: Altura útil o efectiva de una bomba dada por Mataix (2012), lo cual se describe en la Ecuación (16):

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho \times g} + z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + H_{ra} + H_{ri} \quad (16)$$

Donde:

H_{ra} = pérdida en la aspiración.

H_{ri} = pérdida en la tubería de impulsión.

v = velocidad, correspondiente a antes y luego de la bomba.

z = altura del punto 1 y 2, medida antes y luego de la bomba

Por ende, es necesario calcular las pérdidas totales, dado por la ecuación (17), de Darcy-Weisbach modificada; producto del contacto del fluido con tuberías y accesorios, lo cual se realizará tanto para la entrada como para la salida de cada bomba.

$$H_r = \lambda \frac{(L + \Sigma Leq) \times v^2}{D \times 2g} \quad (17)$$

Siendo:

λ : Coeficiente de pérdidas del diagrama de Moody.

L: Longitud total tramos rectos de tubería.

ΣLeq : longitud equivalente de accesorios.

D: Diámetro tubería.

A partir del caudal que impulsa la bomba, se puede calcular la velocidad en los puntos 1 y 2, por la Ecuación 16. El coeficiente de pérdidas del diagrama de Moody es función de dos variables: rugosidad relativa y el número de Reynolds (Re), el cual se calcula con la fórmula:

$$Re = \frac{D \times v \times \rho}{\mu} \quad (18)$$

Donde:

D: Diámetro de la tubería. Corresponde a 1 1/4 pulgada= 31,75 mm= 0,032 m aproximados, siendo el área igual a la entrada y la salida de la bomba, debido a que el material a utilizar tiene el mismo diámetro. La tubería utilizada, debe poseer aquel diámetro para obtener pérdidas aceptables, lo cual daría una pérdida de 13,5% (Ver Anexo 13.3.5).

ρ : Densidad del fluido, en este caso es la del agua salada, 1.027 kg/m³

μ : Viscosidad del agua (1,36 ×10⁻³ Ns/m² para agua a 15°C).

La rugosidad relativa dependerá del material de la tubería. En este caso, se tomará como material el que existe actualmente, la planza negra o polietileno reforzado, el cual tiene un $\varepsilon = 0,0015 \text{ mm.} = 1,5 \times 10^{-6} \text{ m.}$

v: Corresponente a las velocidades a la entrada y salida de la bomba. Como se dijo anteriormente, la velocidad recomendada para tubería de impulsión es entre 1 y 3 m/ s, en este caso se tomó un valor promedio a esta variable (v=2 m/s), dato que se tomará también para la succión. Entonces, $\Delta v=0$.

Reemplazando los datos en la Ecuación (18), se obtiene:

$$Re = \frac{0,032 [m] \times 2 \left[\frac{m}{s} \right] \times 1.027 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]}{1,36 \times 10^{-3} \left[\frac{Kg \cdot m \cdot s}{m^2 \cdot s^2} \right]}$$

$$Re = 48.329,41$$

Según el resultado obtenido, Mataix establece que fluidos con $Re > 4000$ presentan régimen turbulento. Además, la tubería de transporte es lisa, por lo que se aplica la Ecuación (19), correspondiente a la Ecuación de de Blasius ($2.000 < Re < 100.000$)

$$\lambda = \frac{3,16}{Re^{1/4}} \quad (19)$$

$$\lambda = \frac{3,16}{(48.329,41)^{1/4}}$$

$$\lambda = 0,21$$

El caudal se calculará en base al tiempo de llenado del estanque que recolectará el agua de mar, donde el volumen del estanque deberá ser de más de 30.875 litros, siendo este el

volumen de agua que entrará al sistema desalador. Asumiendo que el tiempo de llenado de un estanque de 12.000 litros es de 120 minutos (2 horas), por tanto, haciendo arreglo de tres, el tiempo correspondiente al volumen de agua de mar sería de 308,75 minutos. El caudal corresponde a Ecuación (20),

$$Q = \frac{V}{t} \quad (20)$$

Donde, V: es el volumen total a recolectar de interés

t: tiempo en que se demora en recolectar aquel volumen o tiempo de llenado

Entonces,

$$Q = \frac{30.875 [L]}{308,75 [min]}$$

$$Q = 1,67 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Como se mencionó al comienzo del apartado, se dispondrá de un pozo de succión de concreto para que la bomba sumergible extraiga agua de mar hasta el estanque de almacenamiento de esta. Este pozo tendrá 2 m de profundidad y la bomba estará situada a 1,5 m aproximadamente dentro de la piscina. La distancia que existe entre la toma de agua de mar hasta la bomba, es de 0 m y no existen accesorios asociados a la instalación de la tubería, es decir, que la longitud equivalente, para ambos casos, es igual a cero (Leq=0), por lo que:

$$H_{ra} = 0,19 \frac{(1,5 [m] + 0 [m]) \times (1 \left[\frac{m}{s} \right])^2}{0,032 [m] \times 2(9,8 \left[\frac{m}{s^2} \right])}$$

$$H_{ra} = 0,45 [m]$$

En el caso de la longitud de la tubería recta que sale de la bomba el estanque que alimenta a la planta desaladora de agua, esta es igual a 169 m, y que, además, el accesorio que existe, es una salida de estanque, la cual permite encajar la tubería, la cual posee 1 1/4 pulgada de diámetro y un largo aproximado de 32 mm (0,032 m), dando como resultado una Leq=0,032 m. Entonces:

$$H_{ri} = 0,19 \frac{(169 [m] + 0,032 [m]) \times (1 \left[\frac{m}{s} \right])^2}{0,032 [m] \times 2(9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right])}$$

$$H_{ri} = 51,15 [m]$$

La diferencia de altura es de $\Delta z = 30 \text{ m} - (-1.5) \text{ m} = 31,5 \text{ m}$, donde los 30 metros corresponden a la ubicación aproximada de donde estará el estanque pulmón de agua salada y el otro dato, donde estará situada nuestra bomba.

Por otro lado, se asume que, la presión a la entrada (P_1) corresponde al mismo valor de la presión atmosférica y se calculará a la entrada del estanque pulmón de agua de mar (P_2), calculándose en metros de columna de agua (mca), siendo la suma de:

- Presión atmosférica (1 atm)
- Metros de presión residual. (Corresponde a 7 m, valor convencional utilizado para casas, edificios, etc.)

Resultando:
$$P_2 = 1 \text{ [atm]} + \left(7 \text{ [mca]} \times \frac{1 \text{ [atm]}}{10,33 \text{ [mca]}} \right)$$

$$P_2 = 10,33 + 7 \text{ [mca]}$$

$$P_2 = 1,68 \text{ [atm]}$$

Dando un diferencial de presión de:

$$P_2 - P_1 = 0,68 \text{ [atm]} \times \frac{101.325 \text{ [pa]}}{1 \text{ [atm]}} = 68.661,67 \text{ [pa]}$$

Finalmente, reemplazando en la Ecuación (16), se obtiene:

$$H = \frac{68.661,67 \text{ [pa]}}{1.027 \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right] \times 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right]} + 31,5 \text{ [m]} + 0 + 0,45 + 51,15$$

$$H = 6,82 \text{ [m]} + 31 \text{ [m]} + 0 + 0,30 + 51,15$$

$$H = 89,92 \text{ [m]}$$

Reemplazando los datos en la Ecuación (14), se obtiene la potencia necesaria para las bombas a instalar en las vertientes:

$$P = 1,62 \times 10^{-3} \left[\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right] \times 1.027 \left[\frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right] \times 9,81 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right] \times 89,92 \text{ [m]}$$

$$P = 1.467,61 \text{ [W]}$$

Tal como lo indica Mataix, se le aplica un factor de eficiencia del 60% típico para bombas, dando:

$$P = 1.457 \text{ [W]} \times \frac{100}{60}$$

$$P = 2.446,02 \text{ [W]}$$

Entonces, para llevar las aguas provenientes de desde el mar hasta el estanque que alimenta a la planta, se requiere de bombas que posean una potencia mínima 2.446,02 W; es decir, con una bomba de 3,28 HP se puede lograr dicho objetivo.

7.2 Sistema desalador

Tal como se dijo en un principio de este proyecto, para que la planta desaladora pueda funcionar, se propone que esta lo haga en base a energía limpia, siendo la con mayor potencial en IAS, la energía solar. El sistema fotovoltaico (FV) que se diseñó fue del tipo off-grid o aislado de la red eléctrica, el cual corresponde a un sistema de generación solar que no está conectado a la red de energía pública y que auto-abastece el 100% de las necesidades energéticas de la demanda, siendo utilizado en zonas donde la conexión a la red eléctrica no es posible. Debido a la ubicación y lejanía de IAS, es que no tiene conexión alguna con una red eléctrica pública, siendo este servicio sustentado por generadores en base a combustibles fósiles. Los sistemas off-grid generalmente no pueden operar de forma autónoma, siendo esencial, que cuenten con un apoyo energético, como un generador eléctrico. Dentro de los componentes fundamentales de este sistema se encuentran los mostrados en la Figura N°41:

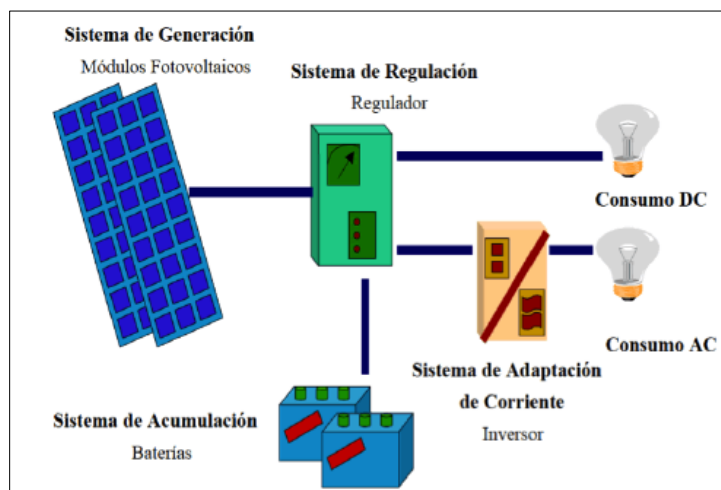


Figura N° 41: Esquema básico de un sistema fotovoltaico.

- Módulo o panel fotovoltaico: son los encargados de generar la electricidad, captando la radiación solar. Los más comunes son los de tipo mono y policristalino, siendo los mejores del mercado los primeros mencionados.
- Inversor: Equipo que convierte la corriente continua (CC), procedente del regular de carga, en corriente alterna (CA). Para su dimensión y posterior selección, se debe tomar en cuenta la potencia que demanda la suma de todas las cargas AC en un tiempo determinado (generalmente en un día), donde seguidamente, se elegirá a un inversor que cuya potencia 20% superior a las cargas demandadas, suponiendo que su funcionamiento será al mismo tiempo.

- Regulador de carga: Se encarga de controlar la carga de las baterías, así como la descarga y evitar cargas o descargas excesivas. Para su selección, deberá ser aquel que cuente con un 15-25% superior a la corriente de cortocircuito que le puede llegar al sistema de generación fotovoltaico (I_{entrada}) o de la que puede consumir la carga del sistema (I_{salida}). Entonces, se elegirá el equipo que soporte la mayor de las dos corrientes calculadas.
- Baterías: Encargadas de acumular la energía eléctrica generada por los módulos fotovoltaicos para poder utilizarla en los momentos del día en que no exista luz solar. Existen de 12, 24 y 48 V, lo cual depende de la potencia demandada del sistema fotovoltaico. Los modelos más utilizados son las de plomo ácido, pero solo tienen una vida útil entre 5 a 8 años. Luego están las de GEL o AGM, estas no requieren mantenimiento durante toda su vida útil, ya que la batería viene sellada, caso contrario a las de plomo ácido. Poseen una mayor durabilidad, ya que al ser de ciclo profundo esta tecnología nos permite superar los 3000 ciclos de vida con descargas leves inferiores al 30% y son de fácil transporte, ya que la batería no derrama líquido, aunque se tumbe. Por otro lado, están las de litio, pero son de un elevado costo, donde pueden alcanzar 5 veces más el valor de las de GEL o AGM, pero tienen mayor vida útil y una profundidad de descarga del 100%. Estos equipos vienen siendo la parte más costosa del sistema, abarcando cerca del 60% del costo total aproximadamente.
- Sistema de soporte: Estructura de soporte de acero inoxidable o de aluminio nodizado (ambos de alta calidad), para que dure al menos 25 años.
- Cableado y accesorios asociados

Para el procedimiento en la determinación de los cálculos de un Sistema Fotovoltaico de estas características, primeramente, se debe:

7.2.1 Estimación del consumo

Para determinar cuántos elementos de los antes descritos se deben emplear, primeramente, hay que conocer las horas en que opere el sistema con la radiación solar que pueda entregar el día (aprovechando la radiación solar diaria) y si necesita de energía de reserva las horas restantes (horas sin luz solar); es decir, determinar las horas de autonomía. Teniendo eso en cuenta, se puede conocer la potencia del arreglo fotovoltaico y así, este pueda operar sin problemas con las potencias energéticas requeridas que se

necesitan para que el sistema desalador funcione. Los equipos involucrados son: planta de osmosis inversa y la bomba que abastece de agua de mar al estanque pulmón de la misma planta.

Para ello, se tomaron las siguientes consideraciones:

- La planta sólo operará en épocas de verano, siendo éstas donde escasea mayormente el recurso hídrico, por ende, no tendrá problemas con la radiación solar.
- Dentro de los sistemas de osmosis revisados, todos operan con la misma potencia: 2,2 kW por m³ de agua tratada. Es por ello que se seleccionó el de mayor envergadura para disminuir el tiempo de trabajo y obtener el volumen de agua deseado.
- Se conoce que en 13,47 horas la planta de osmosis otorgará el volumen de agua demandado para el año 2029. Entonces, se estableció que la planta necesitará operar alrededor de 5 horas sin la luz solar.
- El volumen de agua de mar que debe ingresar al sistema para obtener el volumen deseado corresponde a 30.875 litros, lo que corresponde a un tiempo de operación de la bomba de 5,15 horas, operación que realizará directamente con la radiación solar que el día pueda entregar, sin necesitar energía de reserva durante el día (no necesitará banco de baterías, solo para la planta de osmosis).

Dadas las consideraciones, el consumo promedio diario del sistema de osmosis inversa (considerando además la bomba que alimenta al estanque pulmón), para poder dimensionar el sistema FV, quedaría de acuerdo a la tabla mostrada a continuación:

Tabla N° 13: Consumo promedio diario estimado de energía.

Equipo	Potencia unitaria (W)	Horas por día (h)	Energía diaria (AC Wh/d)	Energía diaria más Margen de seguridad del 20%
Planta				
desalinizadora	2.020	13,47	27.209	32.651
Bomba	2.300	5,15	11.845	14.214
Potencia		Total		
Total (W)	4.320	(AC Wh/día)	39.054	46.865

Nota: Los datos corresponden al consumo medio diario de la instalación, a la cual se le ha aplicado un 20% como margen de seguridad recomendado.

Se debe tener en cuenta que dentro de la instalación habrá pérdidas por rendimiento de los equipos de inversor y batería, influyendo en la energía necesaria final. Lo recomendado para el dimensionamiento es que utilice un 90, 95 y 100% de inversor, baterías y conductores respectivamente. Con la Ecuación (21), se puede calcular el consumo medio diario, siendo de la siguiente forma:

$$L_{md} = \frac{L_{mdDC} + \frac{L_{mdAC}}{\eta_{inv}}}{\eta_{bat} \times \eta_{con}} \quad (21)$$

Siendo,

L_{md} : consumo medio de energía diario en Wh/d

L_{mdDC} : consumo medio de energía diario de las cargas en CC en Wh/d

L_{mdAC} : consumo medio de energía diario de las cargas en CA en Wh/d

η_{inv} : eficiencia del inversor

η_{bat} : eficiencia de baterías

η_{con} : eficiencia de conectores

Entonces,

$$L_{md} = \frac{\frac{46.865}{0,90}}{0,95 \times 1}$$

$$L_{md} = 54.812,87 \left[\frac{Wh}{d} \right]$$

7.2.2 Datos del lugar de la instalación

Posterior al cálculo del consumo, se debe conocer los datos de radiación solar global del lugar de estudio ($\text{Wh/m}^2/\text{d}$). Se utilizó para ello el calculador solar PVWATTS del National Renewable Energy Laboratory (NREL) (<https://pvwatts.nrel.gov>). Como el funcionamiento del sistema fotovoltaico será necesario en los meses donde existe escasez hídrica, los datos de radiación según inclinación, los cuales se deben centrar en los meses de Diciembre hasta Febrero, resultando los datos de la siguiente tabla:

Tabla N° 14: Radiaciones, en $\text{Wh/m}^2/\text{d}$, dependiendo del ángulo de inclinación en los meses que se presente escasas hídrica en la zona

Mes	Inclinación 30°	Inclinación 40°	Inclinación 50°	Inclinación 60°
Diciembre	7.090	6.580	7.430	5.120
Enero	7.350	6.860	7.640	5.410
Febrero	7.100	6.830	7.190	5.750

Luego, se debe calcular cual es la inclinación más adecuada para el sitio de estudio. Según los datos de la Tabla N° 15, y que representan el consumo dividido por la radiación, tomando en cuenta el mes con el menor valor de ella, correspondiendo al mes crítico: Febrero.

Tabla N° 15: Valores de consumo/radiación.

Mes	Inclinación 30°	Inclinación 40°	Inclinación 50°	Inclinación 60°
Febrero	7,72	8,03	7,62	9,53

Posteriormente, se eligió el menor valor de la Tabla N°15 con el fin de evitar el exceso sobredimensionamiento, decir que nuestra instalación deberá tener una inclinación de 50.

Existe otra metodología para determinar la inclinación de los módulos fotovoltaicos. La más adecuada se da sumando 10° a la latitud de proyecto, para aprovechar la inclinación del sol de invierno, admitiendo desviaciones de hasta $\pm 15^\circ$. Esto nos permitirá utilizar la misma inclinación del techo, lo cual para el lugar de estudio serían $43^\circ \pm 15^\circ$ (entre 28° y 58°). De acuerdo a ambas metodologías, se seleccionó una inclinación de 50° para los paneles del sistema fotovoltaico.

7.2.3 Dimensionamiento del sistema generador o módulos FV

Para este cálculo es necesario aplicar la Ecuación (22), lo cual es básicamente, la división de la energía demandada diaria dividida por la energía que genera cada panel.

$$N_t = \frac{Lm}{Ep} \quad (22)$$

Siendo,

N_t: Cantidad de módulos fotovoltaicos o paneles

L_m: consumo medio de energía diario en Wh/d

E_p: energía diaria que puede dar cada panel, correspondiendo a

$$Ep = P_{MPP} \times HPS_{crit} \times PR \quad (23)$$

Siendo,

P_{MPP}: potencia del panel. Donde se utilizará uno 380 W (ficha técnica en Anexo 13.3.3).

HPS_{crit}: corresponde al pics de horas de sol del mes crítico, siendo el resultado de la irradiación del mes crítico / 1.000 W/m²

$$HPS_{crit} = \frac{7.430 \left[\frac{Wh}{m^2} \right]}{1.000 \left[\frac{W}{m^2} \right]} \quad (24)$$

$$HPS_{crit} = 7,43 \text{ HPS}$$

PR: Es un factor global de funcionamiento, el cual va desde 0.65 a 0.90. Se utilizó 0.90.

Entonces, combinando ambas ecuaciones, queda como:

$$N_t = \frac{54.812,87 \left[\frac{Wh}{d} \right]}{380 [W] \times 7,43 [HPS] \times 0,90}$$
$$N_t = 21,57 \sim 22$$

Por tanto, se necesitarán 22 paneles fotovoltaicos de 380 W cada uno para satisfacer la demanda.

Por otro lado, para conocer la disposición de estos módulos, es que se debe conocer su conexión en serie y en paralelo, correspondiendo cada cálculo a la Ecuación (24) y (25):

$$N_{serie} = \frac{V_{bat}}{V_{mod_{MPPT}}} \quad (24)$$

$$N_{paralelo} = \frac{N_t}{N_{serie}} \quad (25)$$

Siendo,

V_{bat}: Voltaje de las baterías a utilizar, correspondiendo para este caso baterías de 48 V.

V_{mod_{MPPT}}: V_{nominal} del módulo.

Entonces,

$$N_{serie} = \frac{48 [V]}{24 [V]}$$

$$N_{serie} = 2$$

$$N_{paralelo} = \frac{22}{2}$$

$$N_{paralelo} = 11$$

Por tanto, los resultados quieren decir, que los 22 módulos estarán dispuestos en 11 ramas en paralelo con 2 paneles por rama.

7.2.4 Dimensionamiento del sistema de acumulación o baterías

Para conocer la capacidad y cantidad de estos elementos se seleccionará, es fundamental conocer la profundidad de descarga estacionaria y los días de autonomía que necesito en mi sistema. Esto servirá para dar cuenta de la capacidad nominal que necesitan las baterías, en función de la descarga máxima estacional, para lo cual se aplicará la Ecuación (26):

$$Cne = \frac{Lmd \times N}{Pmaxd \times Fct} \quad (26)$$

Siendo,

Lmd: Demanda energética calculada anteriormente.

N: días de autonomía del sistema, donde ni alcanza el valor de 1. Como se necesitarán solo 4 horas de autonomía (horas restantes sin sol), es que el valor de esta variable se asumirá un peor caso, requiriendo entonces, 6 horas de autonomía. Lo cual corresponde a 0,25 días.

Pmaxd: Profundidad máxima de descarga de las baterías. Para baterías estacionarias, este valor va del 70% al 80%, por tanto, se elegirá el valor promedio de ambos: 75%.

Fct: corresponde al factor de corrección de temperatura, corresponde a 1.

Entonces, (26) queda como:

$$Cne = \frac{54.812,97 \left[\frac{Wh}{d} \right] \times 0,25 [d]}{0,75 \times 1}$$

$$Cne = 18.270,99 [Wh]$$

Para conocer el resultado en Ah, se debe dividir por el voltaje del sistema que se deberán utilizar (48 V):

$$Cne = \frac{18.270,99 [Wh]}{48 [V]}$$

$$C_{ne} = 380,65 [Ah]$$

Posteriormente, se calculó la cantidad de baterías que deben ir en serie y en paralelo, con las ecuaciones (27) y (28) respectivamente.

$$C_s = \frac{V_s}{V_b} (27)$$

$$C_p = \frac{A_s}{A_b} (28)$$

Correspondiendo,

Cs,p: Conexión en serie o paralelo.

Vs: Voltaje del sistema

Vb: Voltaje nominal de baterías, lo cual depende de la batería a utilizar en el sistema. Para este estudio se consideraron de 2 V

As: Amperaje del sistema

Ab: Amperaje de las baterías, Ah.

Los valores seleccionados, estarán dado por la ficha técnica de baterías estacionarias de la marca OPzv. Corresponden a baterías que están formadas por vasos independientes de 2 V cada uno y poseen capacidades de carga que pueden llegar hasta los 4.500 Ah, donde la seleccionada para este proyecto fue de 420 Ah. La conexión en paralelo entre aquellos vasos puede llegar a formar sistemas de 12, 24 y 48 V. Dentro de las grandes ventajas, es que al estar completamente sellada no requiere mantenimiento y se puede posicionar de forma horizontal o vertical. La vida útil de las OPzv es de 10-15 años. Necesitan gabinete o contener metálico. para que perduren sin problemas en el tiempo anteriormente mencionado. Entonces, con las características anteriormente mencionadas, es que se puede calcular la cantidad de baterías conectadas en serie y en paralelo, dado por:

$$C_s = \frac{48 [V]}{2 [V]} = 24$$

$$C_p = \frac{380,65 [Ah]}{420 [Ah]} = 0,91$$

Entonces, como se pudo dar cuenta, se necesitan conectar 24 baterías en serie para acumular la energía necesaria para las horas de autonomía del sistema. Se recomienda que se deba encontrar una batería cuya capacidad (Ah) sea igual o superior a la capacidad calculada de nuestro sistema, para así evitar conexiones en paralelo entre baterías y así, reducir costos de instalación y mantención del banco de baterías.

7.2.5 Dimensionamiento del inversor

Para este arreglo FV se seleccionará un inversor/cargador. Gracias a este aparato, el sistema de desalador podrá funcionar sin problemas alguno durante las horas de luz de sol y poseerá una eficiencia cercana al 96% de la conversión de corriente continua a alterna. Para estos cálculos se seleccionará el controlador de carga de la marca Victron Energy, modelo Quattro. Para conocer la potencia del inversor a seleccionar, se debe dar cuenta de la potencia total de corriente alterna demandado por nuestros equipos, donde según la Tabla N° 13 ese valor corresponde de 4.320 W. El inversor a seleccionar debe tener una potencia mayor a la anterior mencionada diferentes temperaturas de funcionamiento. Al valor anteriormente mencionado, es recomendable agregarle un factor de seguridad del 20% y además, este equipo debe operar al mismo voltaje que las baterías. Con lo anterior, se puede decir que la potencia del inversor está dada por:

$$P_{inv} = 1,2 \times P_{ac} \quad (29)$$

Donde,

P_{inv} : Potencia del inversor, en W.

1,2: Factor de seguridad del +20%

P_{ac} : Potencias unitarias de los equipos utilizados en la desalación,

Entonces, la ecuación (29) queda como:

$$P_{inv} = 1,2 \times 4.320 [W]$$

$$P_{inv} = 5.184 [W]$$

Por ende, uno de 15.000 W y de 48 v sería suficiente, ya que uno de 10.000 W a 65°C operaría a una potencia de 4.500 W, menor a la requerida (Ficha técnica en Anexo 13.3.1).

7.2.6 Dimensionamiento del regulador de carga

En muchas ocasiones, es imposible cuadrar perfectamente las asociaciones entre módulos fotovoltaicos y un solo regulador de carga, cuanto la demanda energética es elevada. Por tanto, se propone que se utilicen más de un regulador de carga para la cantidad necesaria de módulos, donde este proyecto tiene en total 22 módulos FV.

A la hora de dimensionar un regulador, el objetivo principal es obtener la corriente máxima que va a circular por la instalación. Por lo tanto, se habrá de calcular la corriente que produce los aparatos generadores de energía, los módulos FV, la corriente que consume

la carga, y la máxima de estas dos corrientes será la que deba soportar el regulador en funcionamiento.

La corriente de corte a la que debe actuar el regulador será fijada en el propio dispositivo, pero ha de soportar la máxima posible que la instalación pueda producir. La intensidad de corriente que produce el generador es la suma de las intensidades que producen los módulos funcionando a pleno rendimiento:

$$I_G = I_R \times N_R \quad (30)$$

$$I_R = P_P \times \frac{\eta_M}{V_m} \quad (31)$$

Siendo

I_G : Corriente producida por el generador (A)

I_R : Corriente producida por cada rama en paralelo del generador (A)

N_R : Número de ramas en paralelo del generador, 11.

P_P : Potencia Pico del módulo fotovoltaico, lo cual corresponde a 380 W.

η_m : Rendimiento del módulo, valor que se encuentra dentro del 75-80%. Para este caso utilizaremos el menor de ellos.

V_m : Tensión nominal de los módulos, según ficha técnica son 39,6 V.

Por ende,

$$I_R = 380 [W] \times \frac{0,75}{39,6 [V]}$$

$$I_R = 7,20 [A]$$

Por lo tanto,

$$I_G = 7,20 [A] \times 11$$

$$I_G = 79,20 [A]$$

La intensidad que consume la carga se determina teniendo en cuenta todos los consumos al mismo tiempo:

$$I_C = \frac{P_{DC}}{V_{bat}} + \frac{P_{AC}}{220 [V]} \quad (32)$$

Donde:

I_C : Corriente que consume la carga (A)

P_{DC} : Potencia de las cargas en DC (W)=0

V_{bat} : Tensión nominal de la batería, 48 V.

P_{AC} : Potencia de las cargas en AC, 4.320 W.

Es por lo anterior que,

$$I_C = \frac{4.320 [W]}{220 [V]}$$

$$I_C = 19,64 \text{ [A]}$$

De estas dos corrientes, la máxima de ambas será la que el regulador deberá soportar, por tanto, para la elección del regulador de carga se utilizará el valor de $I_G=79,20 \text{ [A]}$.

Lo anterior, fue corroborado con la ayuda de una calculadora online para reguladores de carga (<https://www.monsolar.com/calculadora-regulador-solar>), poniendo los datos de nuestros módulos FV con su configuración respectivas, se dio cuenta de que no es posible poner todos los módulos en serie y paralelo como se describió anteriormente en el apartado 7.2.3. Por tanto, realizando diferentes configuraciones con aquella calculadora, se llegó a la conclusión que se pueden utilizar dos reguladores de carga: ambos con la misma cantidad de paneles en serie, pero se diferencian en la conexión en paralelo; es decir, que un regulador tendrá 6 paneles conectados en paralelos y 2 en serie, mientras que el otro tendrá 5 módulos fotovoltaicos conectados en paralelo y 2 en serie. Utilizando la misma calculadora y utilizando los datos de la ficha técnica de los paneles seleccionados, se llegó a determinar que es necesario contar con dos reguladores o controladores de carga de capacidad de 80 Amperes y un voltaje de corto circuito máximo de 116,40 V como mínimo. Es por ello que se seleccionó el regulador Smart Solar MPPT 150 V y 85 A de Victron Energy.

7.3 Sensores de nivel hidrostático

Son dispositivos que permiten realizar la medición de nivel en sistemas de depósitos y almacenaje, tales como los estanques de almacenamiento, controlando el sobrellenado y funcionamiento en vacío. Para el diseño de estos dispositivos, es necesario el cálculo de la presión existente al fondo del elemento de almacenaje, estanques. Para ello, es necesario emplear la siguiente fórmula:

$$h = \frac{p_2 - p_1}{\rho \times g} \quad (32)$$

Donde,

h: altura que alcanza el fluido en el depósito

p_2 : presión a la profundidad del depósito

p_1 : presión en la superficie, 1 atm o 101.325 pa.

ρ : densidad del fluido, 1.027 y 1.000 kg/m³, siendo para agua salada y agua de vertiente respectivamente.

g: Fuerza de gravedad (9,81 m/s²)

Para conocer la presión en el fondo del dispositivo de recolección, es necesario reordenar la ecuación (32), resultando (33):

$$(h \times \rho \times g) + p_1 = p_2 \quad (33)$$

Se calcularán y diseñarán los dispositivos para cada tipo de estanque y su fluido a almacenar, donde los datos provienen de la tabla N° 16.

Tabla N° 16: Datos de los dispositivos de almacenamiento seleccionados y densidad de los fluidos almacenados.

Estanque	Fluido a almacenar	Cantidad	Capacidad teórica (L)	Capacidad del mercado (L)	Densidad del fluido a almacenar (kg/m ³)
1	Agua desalada y de vertientes	4	12.350	15.000	1.000
2	Agua de mar	1	42.275	55.000	1.027
3	Salmuera	1	18.525	20.000	1.052

Para conocer la altura que alcanza el fluido en el depósito, es necesario conocer el volumen a recolectar y el área que este ocupa ($A = \pi \times r^2$), siendo la altura $h = v/A$.

Tabla N° 17: Datos para el cálculo de la altura requerida para el diseño del sensor.

Estanque	Fluido a almacenar	Capacidad teórica (m ³)	Diámetro (m)	Área (m ²)	Altura (m)
1	Agua desalada y de vertientes	12,35	4,30	14,52	0,85
2	Agua de mar	42,28	7,90	49,02	0,86
3	Salmuera	18,53	5,00	19,63	0,94

Con los datos de la altura de la Tabla N° 17, se procedió a calcular los dispositivos.

7.3.1 Estanques para agua desalada y proveniente de vertientes

$$p_{2,1} = \left(0,85 [m] \times 1.000 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \times 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \right) + 101.325 [pa]$$

$$p_{2,1} = 109.663,50 [pa] = 1,10 [bar]$$

7.3.2 Estanque para agua de mar

$$p_{2,2} = \left(0,86 [m] \times 1.027 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \times 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \right) + 101.325 [pa]$$
$$p_{2,2} = 109.989,38 [pa] = 1,10 [bar]$$

7.3.3 Estanque para salmuera

$$p_{2,3} = \left(0,94 [m] \times 1.052 \left[\frac{Kg}{m^3} \right] \times 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right] \right) + 101.325 [pa]$$
$$p_{2,3} = 111.025,91 [pa] = 1,11 [bar]$$

Respecto a los resultados obtenidos, se necesitarán 6 dispositivos de control de presión hidrostática, que midan 1,10 y 1,11 bar en el fondo de los recipientes de almacenaje para agua de vertiente, agua desalada y salmuera respectivamente.

8. Diseño, Estimación y Selección de equipos

El sistema consistirá en uno que asegure la demanda hídrica de la población que vive en Isla Alejandro Selkirk, hoy y en diez años en el futuro. La captación se hace desde las vertientes anteriormente mencionadas y serán transportadas por tuberías, las cuales tendrán un filtro incorporado, con el fin de separar el material sólido que pueda estar presente en el agua. El agua será trasladada hasta el estanque de almacenamiento, de 15.000 litros, el cual proveerá a otro estanque de la misma capacidad, el que tendrá como fin llevar a cabo el proceso de potabilización de aquellas aguas; reemplazando por completo los que existen en la actualidad. Ambos tendrán una salida de estanque, que asegure un perfecto encaje de la tubería que transportará el agua a su entrada.

Respecto a la distribución del agua hacia las viviendas, se llevó a cabo una aproximación de los materiales que se pudiesen cambiar, producto de falta un análisis en terreno de estos, tomándose el mismo criterio para el sistema de inyección de agua salada el cual reducirá la demanda de agua provenientes de las vertientes.

Por otro lado, el sistema desalinizador de agua, este constará de: una bomba de impulsión de agua, tuberías de transporte, tanto para el agua salada como el agua tratada, accesorios relacionados con aquellas tuberías, un estanque que alimente de agua de mar a la planta misma. Por otro lado, a la salida de la planta, existirán dos estanques: uno que recolecte el agua ya desalinizada y el otro, donde aquel volumen de agua recolectado pase por el proceso de mineralización y desinfección. Además, se contará con un estanque adicional, en donde se acumulará la salmuera proveniente de aquel proceso. Todos los estanques tendrán implementados salidas de estanques para asegurar el encaje de las tuberías respectivas.

La idea de implementar más de un estanque, surge de evitar cualquier tipo de contaminación, si existiese en algún momento para ambos recursos hídricos, y así no perjudicar los que ya estén recolectados. Las Figuras 42, 43 y 44 muestran el sistema completo, para lo descrito anteriormente. Además, la configuración del sistema fotovoltaico, el cual proporcionará la energía necesaria para el correcto funcionamiento de la planta de osmosis inversa, estará dado por la Figura N° 45.

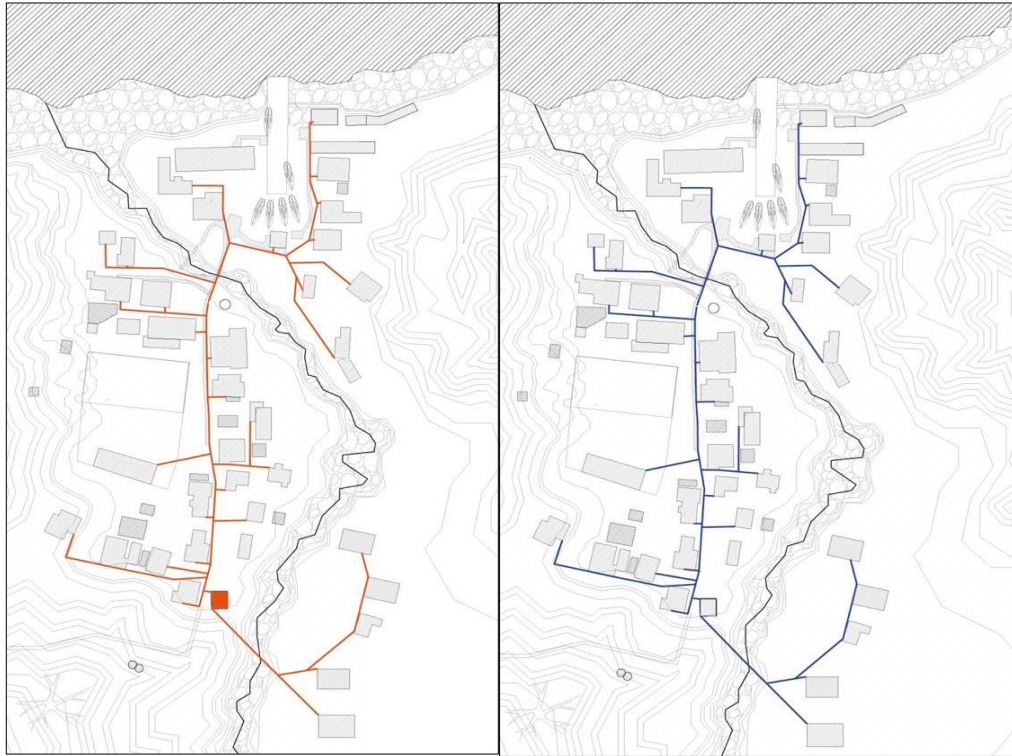


Figura N° 42: Sistema completo de almacenamiento y distribución de agua potable e inyección de agua de mar para la reducción de la demanda hídrica, en rojo y azul respectivamente.

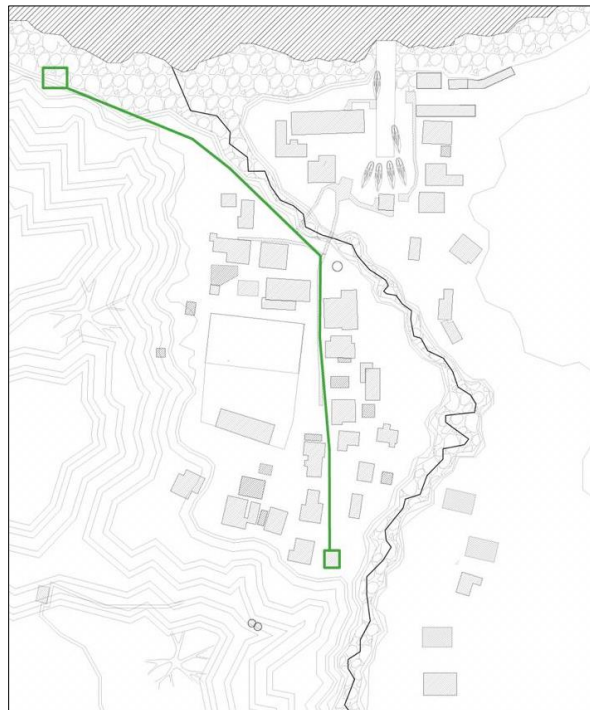


Figura N° 43. Plano correspondiente al sistema desalador de agua de mar, donde se puede apreciar la piscina donde estará ubicada la bomba de succión de agua de mar, las tuberías conducción que llegan hasta el estanque pulmón, que abastecerá a la planta desaladora y a los inodoros para dar como resultado la disminución de la demanda hídrica.

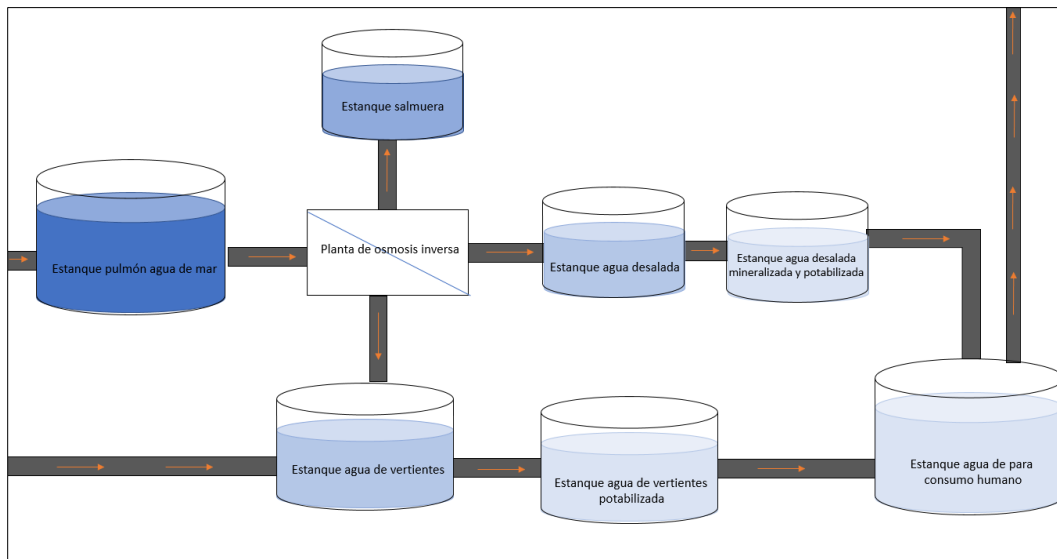


Figura N° 44. Esquema de cómo será la disposición de los estanques y el equipo desalador en el espacio destinado para aquellos materiales y equipos

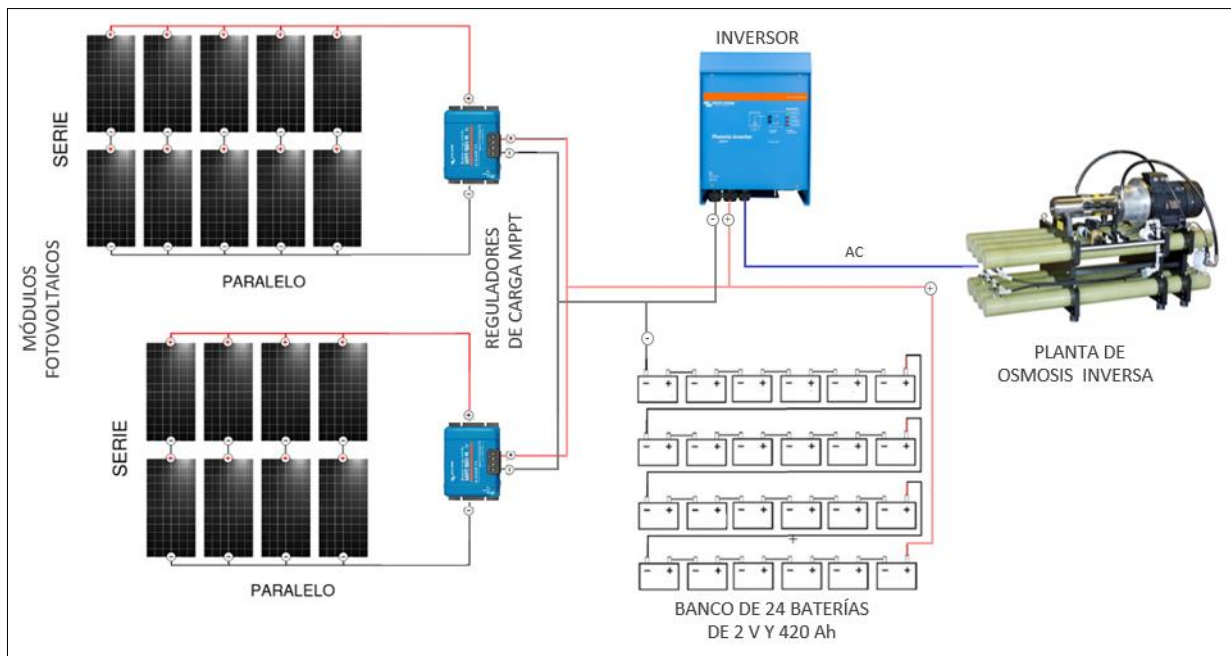


Figura N° 45: Diagrama unifilar del sistema fotovoltaico propuesto para otorgar la energía necesaria para el funcionamiento de la planta desaladora..

8.1 Captación

Se tomó la decisión de mantener los materiales que existen actualmente en el sistema -plazas negras-, ya que, dentro de la evaluación y posterior comparación de materiales, se observó que es la que más se adecúa a la geografía propia de la isla y los que actualmente existen, se encuentran en perfecto estado. Se recomienda, utilizar un filtro para la eliminación de materia orgánica presente en el agua a extraer. No fue necesario la utilización de bombas para llevar las aguas provenientes de desde la vertiente hasta los estanques, puesto que, al calcular la potencia necesaria de aquellas bombas, resultaron negativas. Entonces, los materiales a utilizar en esta sección estarán dados por la Tabla N° 18.

Tabla N° 18:Equipos y materiales utilizados en sistema de captación de aguas de vertiente.

Material	Descripción
	Máxima calidad y seguridad en la filtración Amplio rango de grados de filtrado en discos y mallas. Máxima superficie filtrante y menor mantenimiento, donde los elementos filtrantes se pueden extraer para lavarlos.

Figura N° 46. Filtro malla y discos 1".

8.2 Almacenamiento

En esta parte, se propone instalar un estanque de una capacidad máxima de 15.000 litros, donde aquel volumen de agua acumulada abastecerá a toda la población, además, de otro de la misma envergadura, el cual será para realizar el proceso de potabilización. Ellos, tienen las siguientes características, que muestra la Tabla N° 19:

Tabla N° 19: Equipos y materiales utilizados en almacenamiento de agua destinado a la población.

Material	Descripción
	Volumen: 15.000 L, para cada uno de ellos, los cuales almacenan agua y otros líquidos según densidad y compatibilidad. Estructura reforzada.

Figura N° 47: Estanque de almacenamiento de agua para consumo humano.

	Salida de estanque, la cual posee una pulgada de diámetro y un largo de 32 mm. Se utilizan dos para todo el sistema propuesto.
--	---

Figura N° 48. Salida de estanque.

8.3 Transporte

Debido a fallas y algunas fugas dentro del sistema actual de transporte del agua hacia las viviendas, es que se propone hacer reparaciones en los siguientes materiales, con el fin de no perder recurso.

Tabla N° 20. Equipos y materiales utilizados en transporte de agua destinado a la población.

Material	Descripción
	Cañería flexible de polietileno o planza de 1". Aquí es necesario utilizar un total de 896 m aproximadamente. La venta de este producto se hace por 50 m, por tanto, se recomienda la compra de 900 metros.

Figura N° 49: Tubos de polietileno reforzado.

8.4 Reducción de la demanda hídrica: inyección de agua de mar al sistema

Se utilizará para este apartado, el mismo material para el sistema de conducción, siendo igual la cantidad a implementar. Además, se debe contar con accesorios para realizar un buen encaje a los estanques de los inodoros de los baños. Los materiales utilizados en este apartado serán los siguientes:

Tabla N° 21. Equipos y materiales utilizados en la reducción de la demanda de agua demandada.

Material	Descripción
	Cañería flexible de polietileno de 1". Aquí es necesario utilizar un total de 896 m aproximadamente. La venta de este producto se hace por 50 m, por tanto, se recomienda la compra de 900 metros. Se necesitan, además, 28 m de media pulgada. Se recomienda comprar 50 m, dado su formato de venta.
	Tee de reducción de 1" a media pulgada por cada vivienda del poblado.

8.5 Desalinización

Según lo indicado en el apartado 7.1.2, se requieren de una bomba para que el agua de mar llegue al estanque pulmón, de 55.000 litros (hay que contemplar que desde ese mismo estanque se suministrará agua de mar para el sistema de inodoros de cada casa, por tanto será la suma del agua de mar para la entrada de la planta de osmosis y el volumen de agua de mar suministrado a los inodoros: 42.275 litros en total) que abastecerá a la planta desalinizadora y posteriormente, este flujo llegue como agua tratada hasta el estanque

recolector de 15.000 litros, donde sucesivamente pasará a otro estanque de igual volumen, para realizar el tratamiento de mineralización y posterior desinfección.

Según el caudal a transportar y la presión de la salida de la bomba es que se seleccionó una de 3 HP, cumpliendo con todas las consideraciones tomadas para los cálculos de esta, la cual poseerá un filtro en la toma de agua de mar. Cabe mencionar que, para poder recolectar la salmuera a la salida de la planta, es necesario implementar un estanque, con una capacidad mínima de 20.000 litros. Además, se llevará a cabo la utilización de polietileno reforzado para el transporte de este producto de la desalinización. Entonces, corresponderían a unos 6 metros aproximados para las conexiones de todos los estanques entre sí. La Tabla N° 22 muestra los materiales y equipos participantes en este sistema.

Tabla N° 22: Materiales y equipos utilizados en la desalinización de agua de mar.

Materiales/ Equipos	Descripción
	Cañería flexible de polietileno o planza. Aquí es necesario utilizar un total de 173 m. La venta de este producto se hace por 50 m, por tanto, se recomienda la compra de 200 metros.
	Electrobomba sumergible, marca ESPA Chile. 3 HP de potencia y consumo 2,30 W/h.
	Estanques para almacenamiento de líquidos. Capacidad: 15.000 litros (se necesitarán dos de este volumen), otro de 20.000 y otro de 50.000 litros. Son confeccionado por una membrana de pvc. de alta resistencia, 1.4 mm. de espesor, 100% impermeable, protección u.v de alta resistencia a la tracción y desgarró.

Tabla N°22. (Continuación).

Materiales/ Equipos	Descripción
 Figura N° 55: Planta desalinizadora.	Planta desaladora de agua, con capacidad entrega de 22.000 litros/día. Fácil de usar con un solo botón de arranque y se ajusta automáticamente a cambios en salinidad y temperatura del agua. Consumo energético 2,2 kWh/m³.
 Figura N° 56: Salida de estanque.	Salida de estanque, la cual posee una pulgada de diámetro y un largo de 32 mm. Se utilizan cuatro para todo el sistema propuesto.
 Figura N° 57. Filtro malla y discos 1".	Máxima calidad y seguridad en la filtración Amplio rango de grados de filtrado en discos y mallas. Máxima superficie filtrante y menor mantenimiento, donde los elementos filtrantes se pueden extraer para lavarlos.
 Figura N° 58: Sensores hidrostáticos con peso y gancho para cableado.	Sensores de nivel hidrostáticos: para agua dulce, se consideró la sonda LS-10 en acero inoxidable 316, que es robusta, fiable y para uso en aplicaciones generales. Para el uso de salmuera y agua de mar, se consideró el modelo de alto rendimiento LH-10 en material Hastelloy C4, para más resistencia en aplicaciones exigentes. Ambos incluyen accesorios de montaje como peso adicional y clip de sujeción del cable.

8.6 Sistema fotovoltaico

Para la correcta operación del aparato desalador, es que se hace necesario poder implantar un sistema que sea sostenible en el tiempo y que sea de menor impacto al ambiente, por ello, es que se recomienda utilizar un sistema fotovoltaico, que estará dado principalmente por: paneles, regulador de carga, inversor/cargador y baterías; donde la cantidad de cada uno de estos estará especificada en la Tabla N° 23, al igual que todos los materiales y equipos para esta sección.

Las baterías seleccionadas requieren mínima mantención y tienen una durabilidad de 10 años, ideal para el caso estudiado. Se tomó la decisión de utilizar un equipo inversor/cargador, para facilitar manipulación e instalación y reducir el banco de baterías, donde se autoconsumirá la energía generada por mi sistema FV y una parte de ella almacenará en el banco de baterías para ser consumidas cuando no exista radiación solar.

Tabla N° 23. Materiales y equipos utilizados en la desalinización de agua de mar.

Materiales/ Equipos	Descripción
 <i>Figura N° 59: Panel fotovoltaico.</i>	Panel solar Monocristalino. Se utilizarán 22 unidades para el sistema completo.
 <i>Figura N° 60. Baterías</i>	Banco de baterías estacionarias de 24 unidades de 2 V cada una. Sistema completo posee 48 V y 420 Ah. Bajo mantenimiento y reciclables. Poseen una vida útil de 10-15 años.

Tabla N°23. (Continuación).

Materiales/ Equipos	Descripción
 <i>Figura N° 61: Regulador solar.</i>	Regulador de carga Smart Solar de 150V/85^a, Marca Victron Energy
 <i>Figura N° 62: Inversor/cargador</i>	Inversor/cargador marca Victron Energy, modelo Quattro: 15.000 W/48 V

8.7 Potabilización y Mineralización

Para llevar a cabo la desinfección, es necesario poder llevar a la cantidad de microorganismos presente en el agua a cero. Para el caso de las aguas provenientes del proceso de osmosis inversa, es necesario adicionar minerales para que esta cuente con los parámetros aceptados para ser consumida, por lo que, para ambos, es necesario de estos materiales, mostrados en la Tabla N° 24.

Tabla N° 24: Materiales utilizados en potabilización de agua proveniente de vertientes y desalinización.

Materiales	Descripción
 <i>Figura N° 63: Cloro líquido.</i>	Hipoclorito de sodio (cloro líquido) al 10%. Marca Avalclor. Es un compuesto utilizado en procesos de desinfección industrial, tratamiento de aguas como en aguas industriales, agua potable y aguas de piscinas.
 <i>Figura N° 64. Dióxido de carbono.</i>	Dióxido de carbono, en formato de 29 Kg.
 <i>Figura N° 65. Hidroxido de calcio.</i>	Hidróxido de calcio, formato de 20 Kg.

9. Análisis de costos

9.1 Costos de materiales y equipos

En este capítulo se analizará el costo del sistema, considerando el precio de materiales y equipos necesarios, cantidad de cada uno de ellos y el valor total, incluyendo IVA en CLP y UF, lo cual se visualiza en la Tabla N° 25:

Tabla N° 25: Costo de materiales y equipos empleados en este proyecto.

<i>Tramo 1: Captación de agua de vertiente.</i>			
Material/Equipo	Cantidad	Valor Total (CLP)	Valor Total (UF)
Filtro malla y discos 1"	1	5.000	0,17
TOTAL		5.000	0,17
<i>Tramo 2: Almacenamiento de agua potable</i>			
Material/Equipo	Cantidad	Valor Total (CLP)	Valor Total (UF)
Estanque de 15.000 L	2	1.938.291	67,51
Salida de estanque 1"	2	3.780	0,13
Sensor de presión	2	846.081	29,47
TOTAL		2.788.152	97,11
<i>Tramo 3: Distribución de agua potable</i>			
Material/Equipo	Cantidad	Valor Total (CLP)	Valor Total (UF)
Cañería de polietileno 1"	900 m	718.560	25,03
TOTAL		718.560	25,03
<i>Tramo 4: Sistema de ahorro del consumo hídrico</i>			
Material/Equipo	Cantidad	Valor Total (CLP)	Valor Total (UF)
Cañería de polietileno 1"	900 m	718.560	25,03
Cañería de polietileno ½ "	100 m	19.070	0,66
Tee reducción: 1"- ½ "	28	19.320	0,67
TOTAL		756.950	26,36

Nota: Calculado con un UF=28.710,77 y USD=790,73 pesos (para conocer el valor de la planta desalinizadora), a la fecha de 15 de junio de 2020, www.sii.cl. Para los valores de los estanques, están con IVA incluido (19%)

Tabla N° 25: (Continuación).

<i>Tramo 5: Desalinización de agua de mar</i>			
Material/Equipo	Cantidad	Valor Total (CLP)	Valor Total (UF)
Estanque de 55.000 litros	1	3.660.071	127,48
Estanque 20.000 litros	1	1.133.045	39,46
Estanque 15.000 litros	2	1.938.291	67,51
Salida de estanque, 1"	4	7.560	0,26
Sensor hidrostático	4	5.109.697	177,97
Filtro malla y discos 1"	1	5.000	0,17
Cañería de polietileno 1"	200 m	159.680	5,56
Bomba de 3 HP	1	369.900	12,88
Planta de osmosis inversa	1	55.351.100	1.927,89
TOTAL		67.734.344	2.359,20
<i>Tramo 6: Sistema Fotovoltaico.</i>			
Material/Equipo	Cantidad	Valor Total (CLP)	Valor Total (UF)
Banco de baterías (24)	1	5.208.000	181,40
Inversor	1	4.579.990	159,52
Regulador de carga	2	1.479.980	51,55
Módulos fotovoltaicos	22	3.234.000	112,64
TOTAL		14.501.970	505,11
<i>Tramo 7: Potabilización y Mineralización.</i>			
Material/Equipo	Cantidad	Valor Total (CLP)	Valor Total (UF)
Cloro líquido, 22 Kg	1	14.611	0,51
Dióxido de carbono, 29 Kg	1	339.706	11,83
Hidróxido de calcio, 20 Kg	1	62.150	2,16
TOTAL		416.467	14,51

Nota: Calculado con un UF=28.710,77 y USD=790,73 pesos (para conocer el valor de la planta desalinizadora), a la fecha de 15 de junio de 2020, www.sii.cl. Para los valores de los estanques, están con IVA incluido (19%)

Por lo tanto, el costo total aproximado será el resultado de la suma del costo de cada tramo:

$$\begin{aligned}
 \text{Costo Total} = & \text{Costo}_{\text{captación}} + \text{Costo}_{\text{almacenamiento}} + \text{Costo}_{\text{transporte}} \\
 & + \text{Costo}_{\text{reducción-demanda}} + \text{Costo}_{\text{desalinización}} + \text{Costo}_{\text{sistema}_{\text{FV}}} \\
 & + \text{Costo}_{\text{potabilización_mineralización}}
 \end{aligned}$$

$$\text{Costo Total (CLP)} = 2.788.152 + 718.560 + 756.950 + 67.734.344 + 14.501.970 + 416.467$$

$$\text{Costo Total (CLP)} = 86.916.443$$

$$\text{Costo Total (UF)} = 0,17 + 97,11 + 25,03 + 26,36 + 2.359,20 + 505,11 + 14,50$$

$$\text{Costo Total (UF)} = 3.027,48$$

Las cotizaciones de los materiales y equipos mencionados anteriormente, se encuentran en Anexo 13.2.

9.2 Costo Asociado a Mantenición

Para el caso de la mantención del sistema propuesto, estos valores están dados directamente por la vida útil de cada material o equipo, donde los más propensos a ser renovados serían: Bomba de succión de agua de mar, filtros, salidas de estanque de PVC y un porcentaje de las cañerías del sistema. El material seleccionado para las cañerías es de alta flexibilidad y durabilidad en el tiempo (25 años), más de lo que el sistema se proyecta en el tiempo, además, se propone que estas sean enterradas bajo piso, para poder evitar daños hacia ellas. Pero, se supondrá que existirían recambios en hasta un 20% de ellas, en todo lo que se proyecta que dure el sistema. Las bombas, sufrirán daños, debido a que succionarán agua de mar y necesitarán un recambio cada dos años si su uso fuese continuo, pero en este caso, es solo por la temporada de verano, por tanto, su vida útil se alarga a unos 5 años aproximados. Entonces, mientras dure el proyecto se debe cambiar una sola vez, mismo periodo de recambio que las salidas de estanque. En el caso de los filtros, estos serán renovados cada temporada de uso, es decir, cada verano se deberá contar con uno nuevo. La Tabla N°26 muestra los costos asociados a estos recambios de materiales y equipos.

Tabla N° 26: Análisis de costos asociados a mantención del sistema.

<i>Tramo 1: Captación de agua de vertiente.</i>			
Material/Equipo	Cantidad	Valor Total (CLP)	Valor Total (UF)
Filtro malla y discos 1"	10	50.000	1,7
TOTAL		50.000	1,7
<i>Tramo 2: Almacenamiento de agua potable</i>			
Material/Equipo	Cantidad	Valor Total (CLP)	Valor Total (UF)
Salida de estanque 1"	20	37.800	1,3
TOTAL		37.800	1,3

Nota: Calculado con un UF=28.710,77 a la fecha de 15 de junio de 2020, www.sii.cl.

Tabla N° 26: (Continuación).

<i>Tramo 3: Distribución de agua potable</i>			
Material/Equipo	Cantidad	Valor Total (CLP)	Valor Total (UF)
Cañería de polietileno 1"	100 m	79.840	2,78
TOTAL		79.840	2,78
<i>Tramo 4: Sistema de ahorro del consumo hídrico</i>			
Material/Equipo	Cantidad	Valor Total (CLP)	Valor Total (UF)
Cañería de polietileno 1"	100 m	79.840	2,78
TOTAL		79.840	2,78
<i>Tramo 5: Desalinización de agua de mar</i>			
Material/Equipo	Cantidad	Valor Total (CLP)	Valor Total (UF)
Salida de estanque, 1"	4	7.560	0,26
Filtro malla y discos 1"	10	50.000	1,74
Cañería de polietileno 1"	200 m	159.680	5,56
Bomba de 3 HP	2	739.800	25,77
TOTAL		957.040	33,33

Nota: Calculado con un UF=28.710,77 a la fecha de 15 de junio de 2020, www.sii.cl.

$$\text{Costo Total (CLP)} = 50.000 + 37.800 + 79.840 + 79.840 + 957.040$$

$$\text{Costo Total (CLP)} = 1.204.520$$

$$\text{Costo Total (UF)} = 1,7 + 1,3 + 2,78 + 2,78 + 33,33$$

$$\text{Costo Total (UF)} = 41,89$$

10. Discusión

La demanda del recurso hídrico de la población “Rada La Colonia”, presente y futura es el resultado de una estimación debido a la inexistencia de medidores en los hogares que componen aquella comunidad. Por tanto, los resultados anteriores van directamente relacionados con el crecimiento de la población. Aquello se estimó proyectando linealmente los actuales datos de entradas al parque nacional al que pertenece la localidad y cuyo ingreso está regulado por CONAF, institución que vela por la protección de dicho territorio y así, no sobrepasar la capacidad de carga del territorio.

Al momento de calcular la potencia necesaria para la posible implementación de una bomba en la salida de las vertientes, con el fin de direccionar las aguas extraídas hacia el estanque recolector, se pretendió utilizar un nuevo caudal, pero al resultar el diferencial de altura (Δz) negativo, es que los valores de potencia, aunque se realicen con otro valor de caudal, de todas formas, resultará negativo. Esto se debe, a que el estanque se sitúa a una menor altura respecto a la ubicación de las vertientes, y aunque, las tuberías sean extensas, exista pérdida por fricción en el trayecto del agua y aquellos tubos de planzas no tengan su recorrido en línea recta, sino más bien, oscilen en altura; aun así, el agua cae por gravedad, lo cual sucede actualmente. Por ende, no es necesaria la implementación de bombas en ambos lugares para que el recurso hídrico llegue hasta los aparatos recolectores. No fue necesario el cambio de material, respecto a estas mismas tuberías de polietileno reforzado, ya que se propone utilizar el mismo material para aquella labor, debido a que es la mejor opción para llevarlo a cabo, debido a las condiciones geográficas del terreno.

El agua será trasladada hasta el estanque de almacenamiento, seguido de otro de la misma envergadura para llevar a cabo el proceso de mineralización; reemplazando por completo los que existen en la actualidad. Debido al estado actual que estos se encuentran, se pudo dar cuenta de que están en constante amenaza por su ubicación, ya que están aledaños a una zona erosionada y con riesgo de derrumbe, por ende, es que se propone que sea del mejor material del mercado, para evitar que pierda hermeticidad y así, el agua se ensucie fácilmente, como lo está en el presente.

Rada La Colonia, en los meses de verano, es en donde su población aumenta y, por ende, la demanda del recurso también, siendo la época con escasez hídrica. Esto se funda, en los cortes de agua que deben tomar las cuadrillas de turno, para poder contar con el recurso las horas restantes del día. Es por ello que, para disminuir la cantidad demandada del recurso hídrico, se decidió llevar a cabo una instalación que suministre agua de mar a los

estanques de los inodoros de todas las viviendas de IAS, donde dicho funcionamiento reducirá el valor demandado a un 52%, siendo un valor bastante considerable. Además, se consideró al comienzo de este estudio, diseñar un sistema desalador de agua, el cual complemente el sistema hídrico existente y la demanda hídrica se cumpla. En el peor de los casos, que la población no obtenga agua de ninguna de las vertientes, es que el sistema desalinizador debería abastecer por completo a la población, fenómeno que aún no ha sucedido en toda la historia en que ha vivido la comunidad pesquera de Isla Alejandro Selkirk.

Respecto a la salmuera obtenida del proceso de desalinización de agua de mar, es aconsejable, que su eliminación se haga fuera de la zona de pesca, lo cual será un tanto complejo de realizar, ya que requiere de que los pescadores utilicen el combustible que ellos mismo compran mes a mes para poder llevar a cabo sus labores de pesca, por tanto, significaría otro costo. Se podría crear un subproducto proveniente de la salmuera, el cual los habitantes de la isla puedan utilizar o tal vez, comercializar. Para ello, se aconseja que aquello se someta a algún aparato deshidratador para poder eliminar el agua que esta posee, el cual puede ser en base a energía solar, donde existen modelos confeccionados con materiales de bajo costo y de fácil construcción y manipulación. Esto, será con el fin de disminuir el impacto ambiental de este proceso, ya que, si dicha salmuera si es eliminada cercano a la costa, puede impactar de forma negativa a la biota marina.

Para la realización de este proyecto, es que debe ser sometido a la Evaluación de Impacto Ambiental mediante el SEIA (Servicio de Evaluación de Impacto Ambiental), instrumento de gestión ambiental de carácter preventivo que permite a la autoridad determinar previo a la ejecución del proyecto si cumple con la legislación ambiental vigente y si se hace cargo de los potenciales impactos ambientales significativos; siendo el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) su organismo administrador. Según las características del proyecto, es que debe someterse de forma obligatoria al SEIA, en la modalidad de Estudio de Impacto Ambiental (EIA), al presentar o generar a lo menos uno de los efectos, características o circunstancias (ECC) del Art. 11 de la Ley 19.300: sobre Bases Generales de Medio Ambiente. Lo anterior se funda en que, según lo indicado en el D.S. 40: Reglamento del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, del año 2013, es que allí se indican que las actividades que generaren si o si en algunas de sus fases impactos ambientales, mencionándose en la letra p a los proyectos que se ejecuten en parques nacionales.

Debido al alto costo de este proyecto, es que se recomienda poder realizar el financiamiento por medio de programas de inversión públicas y/o privadas, tales como: Fondo Nacional de

Desarrollo Regional, Fondos de Cooperación Internacional, Financiamiento Privado por Responsabilidad Social Empresarial, Fondo de Inversión Energética Local de la Agencia de sostenibilidad energética, entre otros.

11. Conclusiones

Se estimó la demanda presente y futura de agua potable en el poblado “Rada La Colonia” de Isla Alejandro Selkirk, donde esta última fue proyectada al año 2029. Se pudo dar cuenta que la población, en conjunto con su demanda hídrica van en ascenso, no obstante, la proyección realizada respecto a su crecimiento poblacional es una estimación y no necesariamente esta lo haga de aquella forma, por ende, su demanda hídrica tampoco lo sea.

Se logró diseñar el sistema de captación, distribución y almacenamiento de agua de acuerdo a la demanda existente y futura, lo cual consistió en mejorar el sistema existente, instalando materiales, implementando nuevos equipos y complementándolo, con una planta desalinizadora de agua, donde ambos sistemas asegurarán el suministro hídrico para toda la población de la isla.

Se realizó un análisis de costos para el sistema propuesto, lo cual demuestra que el proyecto en si es costoso, producto del sistema desalinizador de agua (planta y bombas) y el sistema fotovoltaico utilizados para el funcionamiento de ella.

Este proyecto, da cuenta de que es posible realizar una propuesta de mejora del sistema de agua potable para la comunidad de isla Alejandro Selkirk, asegurando una mejor calidad en la vida de las personas que componen dicha comunidad.

12. Bibliografía

Aguilera J. & Hontoria L. (2004) Dimensionado sistema fotovoltaico autónomo. Universidad de Jaén, España. Recuperado el 15 de junio de 2020. Disponible en <https://pdfs.semanticscholar.org/7f99/1f94248fc578c7e1075379c5c79c2d38a661.pdf>

Arreola, R, Quevedo, A, Castro, M, Bravo, A, & Reyes, D. (2015). Diseño, construcción y evaluación de un sistema de seguimiento solar para un panel fotovoltaico. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 6(8), pp. 2. Recuperado en 15 de mayo de 2019. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000801715&lng=es&tlng=es.

Beltrán, A, Morera, M, López, F, & Villela, R. (2017). Prospectiva de las energías eólica y solar fotovoltaica en la producción de energía eléctrica. Ciencia UAT, 11(2), pp. 3. Recuperado el 15 de mayo de 2019. Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-78582017000100105&lng=es&tlng=es.

Biblioteca del Congreso Nacional (BCN). (2016) Informe: Funcionamiento e Impacto Ambiental del Proceso de Desalinización de Agua de Mar. Anexo 9135, BCN. Santiago de Chile. pp. 1-2. Recuperado el 15 de mayo de 2019. Disponible en <https://www.camara.cl/pdf.aspx?prmTIPO=DOCUMENTOCOMUNICACIONCUENTA&prmID=13207>

Carreón, J, García, C, Morales, M. (2014) Hacia una administración consensuada de los recursos hídricos en ecociudades. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Vol. 1, pp. 163-165. Recuperado el 7 de mayo de 2019. Disponible en <http://www.redalyc.org/ articulo.oa?id=18031545010>

Casero D. (2007) Potabilización del agua. España. Visitado el 17 de noviembre de 2019. Disponible en http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45471/componente45469.pdf

Consejo de la Unión Europea. (1998) Directiva 98/83/ce del Consejo Relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. Recuperado el 20 de mayo de 2019.

Disponible en <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:31998L0083&from=ES>

Corporación Nacional Forestal (CONAF) (2014) Plan de manejo: Parque Nacional Archipiélago de Juan Fernández. Documento operativo Visitado el 25 de septiembre de 2019. Disponible en. http://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1445456024PM_PNArchipielagoJuanFernandez.pdf.

Cuevas, J & Figueroa, J. (2007). Seed germination of species of the Juan Fernández Archipiélago under laboratory conditions. *Gayana Botánica*. 64(1): pp. 60-80. Recuperado el 10 de mayo de 2019. Disponible en https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0717-66432007000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=en

Chulluncuy, N. (2011) Tratamiento de agua para consumo humano. Lima, Perú. Recuperado el 10 de diciembre de 2019. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/3374/337428495008.pdf>

Del Barrio, M. (2015) Cloración frente a ozonización en el tratamiento de agua potable, ventajas y desventajas de ambos procesos. Universidad de Complutense, Madrid. Recuperado el 6 de noviembre de 2019. Disponible en <http://147.96.70.122/Web/TFG/TFG/Memoria/MARIA%20DEL%20BARRIO%20VERGARA.pdf>

Dévora G.; González R.; Ponce N. (2012) TÉCNICAS PARA DESALINIZAR AGUA DE MAR Y SU DESARROLLO EN MÉXICO. Universidad Autónoma Indígena de México El Fuerte, México. Visitado el 15 de octubre. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/461/46123333006.pdf>

González C., Saldarriaga J. & Jaramillo O. (2010) Estimación de la demanda de agua. Conceptualización y dimensionamiento de la demanda hídrica sectorial. Recuperado el 20 de octubre de 2019. Disponible en <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021888/CAP5.pdf>

Jaramillo C., Molina F., Betancur T.(2011) Índices de escasez y de calidad del agua para la priorización de cuerpos de agua en los planes de ordenación del recurso hídrico. Aplicación en la jurisdicción de Corantioquia. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, Vol. 10, No.

19, pp. 35-36. Recuperado el 7 de mayo de 2019. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/rium/v10n19/v10n19a04.pdf>

Kroposki, B. & DeBlasio, R. (2000). Technologies for the new millennium: photovoltaics as a distributed resource. IEEE power engineering society summermeeting. 1798-801. Recuperado en 17 de mayo de 2019. Disponible en <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/868807/>

Leiva, I., Schiller R., Chamorro, O., López, B., Araya, G., Tobar, M., Angulo, J., Arredondo, D., Recabarren, M., & Andaur, A. (2013). Nuevos registros sobre especies En Peligro Crítico de la flora de las islas Robinson Crusoe y Santa Clara, Chile. Gayana. Botánica, 70(2), 378-383. Recuperado el 10 de mayo de 2019. Disponible en <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432013000200014>

Lenntech B.V. (1998-2019) Estándares de calidad de agua potable. Visitado el 17 de mayo de 2019. Disponible en <https://www.lenntech.es/estandares-de-calidad-del-agua.htm>

Mataix, C. (2012) Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas. Segunda edición. Oxford University Press México S.A. México.

Mendez, R. (2017) Propuesta estratégica para implementar micro-redes basadas en Energías Renovables no Convencionales en comunidades con aislamiento extremo: Caso de estudio, isla Alejandro Selkirk, Archipiélago Juan Fernández. Universidad de Chile, Santiago de Chile. pp. 16, 27-31.

Ministerio de salud pública y asistencia social (2006) Guía técnica: Tratamiento y desinfección de agua para consumo humano por medio cloro. Guatemala. Recuperado el 15 de enero de 2020. Disponible en <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0214/doc0214.pdf>

Ministerio de Sanidad y Política Social (2009) Guía de desalación aspectos técnicos y sanitarios en la producción de agua de consumo humano. Madrid, España. Recuperado el 12 de mayo de 2020. Disponible en https://www.mschs.gob.es/en/profesionales/saludPublica/docs/Guia_desalacion.pdf

Ministerio Secretaría General de la Presidencia. (2014). Los Sistemas de Agua Potable Rural son... Visitado el 17 de mayo de 2019. Disponible en <http://datos.gob.cl/dataset/8612/resource/d59ef824-7122-4029-9190-f06bc7950a86>

Organización Mundial de la Salud (OMS). (2016) Guías para la calidad del agua potable. Vol. 1. Tercera edición. pp. 11-14. Recuperado el 20 de mayo de 2019. Disponible en https://www.who.int/water_sanitation_health/dwg/gdwq3_es_full_lowres.pdf

Ortiz J. (2015) Tratamientos avanzados de agua potable para eliminación de materia orgánica disuelta: aplicación del BAC. Madrid. Recuperado el 02 de noviembre de 2019. Disponible en http://oa.upm.es/37280/1/Jesus_Ortiz_Mingo.pdf

Pastén, C. (2012). Chile, energía y desarrollo. Obras y proyectos, (11), pp. 32-34. Recuperado en 17 de mayo de 2019. Disponible en. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132012000100003>

Pérez, C, & Sotomayor, J. (2014) Análisis de Redundancia para Diagnóstico de fallas de una planta desalinizadora de Agua de Mar. Conference: XVI CLCA: Latin American Conference of Automatic Control. Pontificia Universidad Católica del Perú. pp. 2. Recuperado el 15 de mayo de 2019. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/291332097_Analisis_de_Redundancia_para_Diagnostico_de_Fallas_de_una_Planta_Desalinizadora_de_Agua_de_Mar

Pérez, Jhonny I., Nardini, Andrea G., & Galindo, Andrés A. (2018). Análisis Comparativo de Índices de Calidad del Agua Aplicados al Río Ranchería, La Guajira-Colombia. *Información tecnológica*, 29(3), 47-58. Recuperado el 20 de mayo de 2019. Disponible en <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300047>

Perpiñan O. (2018) Energía Solar Fotovoltaica. España. Recuperado el 19 de noviembre de 2019. Disponible en <https://oscarperpinan.github.io/esf/ESF.pdf>

Pica A. & Sauma E. (2015) Los Desafíos de la utilización de energías renovables no convencionales intermitentes. Pontificia Universidad Católica de Chile. Recuperado el 2 de noviembre de 2019. Disponible en <https://politicaspUBLICAS.uc.cl/wp-content/uploads/2015/09/N%C2%B0-81-Los-desaf%C3%ADos-de-la-utilizaci%C3%B3n-de-energ%C3%ADas-renovables-no-convencionales-intermitentes.pdf>

Rojas, J. (2008) Potabilización de Aguas Superficiales Mediante el Proceso de Ultrafiltración con Membranas Arrolladas en Espiral. Universidad de Granada, España. Recuperado el 11 de diciembre de 2019. Disponible en <https://hera.ugr.es/tesisugr/17609513.pdf>

Sánchez A. (2008) Efecto THMs sobre la salud. España. Recuperado el 18 de noviembre de 2019. Disponible en [https://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018a2311531_Hig.Sanid.Ambient.8.280-290\(2008\).pdf](https://www.salud-publica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc51018a2311531_Hig.Sanid.Ambient.8.280-290(2008).pdf)

Servicio de Aguas de Misiones S.A. (SAMSA) (2008) Proceso de Potabilización del Agua. Paraguay. Recuperado el 05 de diciembre de 2019. Disponible en [http://www.elaguapotable.com/Proceso%20potabilizaci%C3%B3n\(Sansa\).pdf](http://www.elaguapotable.com/Proceso%20potabilizaci%C3%B3n(Sansa).pdf)

Soto, G, & Soto, M. (2013) Proyecto: 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. 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). pp. 20. Recuperado el 15 de mayo de 2019. Disponible en <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000230987>

Subdirección de Agua Potable Rural. (2018) Desafíos del Sector Sanitario en Chile: Visión del Sector Rural. [Diapositivas de Power Point] Recuperado el 15 de mayo de 2019. Disponible en <http://portal.esval.cl/wp-content/uploads/2018/10/1.-%C3%81lvaro-Sola-Visi%C3%B3n-del-Sector-Rural.pdf>

Sunfields Europe (Sin fecha) Boletín solar fotovoltaica autónoma. España Recuperado el 15 de junio de 2020. Disponible en <https://es.scribd.com/document/189716793/Sunfields-Boletin-Fotovoltaica-Autonomas>

Superintendencia de Servicios Sanitarios (2005) NCh 409/1: Norma Calidad del Agua Potable. Recuperado el 20 de mayo de 2019. Disponible en <https://ciperchile.cl/pdfs/11-2013/norovirus/NCh409.pdf>

Superintendencia de servicios sanitarios (SISS) (2004) Norma de Calidad de Agua Potable. Visitado el 17 de septiembre de 2019. Disponible en <http://fesan.coop/wp-content/uploads/2019/06/NCh0409-1-2006Agua-Potable.pdf>

Zarza, E. (1997) Actas del I y II seminario del agua: Desalinización de agua del mar mediante energías renovables. Instituto de Estudios Almerienses. España pp. 200-201. Recuperado el 15 de mayo de 2019. Disponible en [http://www.dipalme.org/servicios/anexos/anexosiea.nsf/vanexos/iea-sa-c10/\\$file/sa-c10.pdf](http://www.dipalme.org/servicios/anexos/anexosiea.nsf/vanexos/iea-sa-c10/$file/sa-c10.pdf)

13. Anexos

13.1 Cálculos para las bombas de ambas vertientes

La velocidad recomendada para tubería de impulsión es entre 1 y 3 m/ s.

Los cálculos serán en base a lo planteado por (Mataix, 2012), lo cual plantea la siguiente ecuación:

$$P= Q \times \rho \times g \times H \quad (15)$$

Donde,

P: Potencia mínima requerida para el funcionamiento de la bomba.

Q: Caudal a transportar

ρ : Densidad del agua

g: Fuerza de gravedad (9,81 m/s²)

H: Altura útil o efectiva de una bomba dada por (Mataix, 2012), lo cual se describe en la Ecuación (15):

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho \times g} + z_2 - z_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} + H_{ra} + H_{ri} \quad (16)$$

Donde:

H_{ra} = pérdida en la aspiración.

H_{ri} = pérdida en la tubería de impulsión.

v= velocidad, correspondiente a antes y luego de la bomba.

z= altura del punto 1 y 2, medida antes y luego de la bomba

Por ende, es necesario calcular las pérdidas totales, dado por la Ecuación (17), de Darcy-Weisbach modificada; producto del contacto del fluido con tuberías y accesorios, lo cual se realizará tanto para la entrada como para la salida de cada bomba.

$$H_r = \lambda \frac{(L + \Sigma Leq) \times v^2}{D \times 2g} \quad (17)$$

Siendo:

λ : Coeficiente de pérdidas del diagrama de Moody.

L: Longitud total tramos rectos de tubería.

ΣLeq : longitud equivalente de accesorios.

D: Diámetro tubería.

A partir del caudal que impulsa la bomba, se puede calcular la velocidad en los puntos 1 y 2, por la Ecuación 17. El coeficiente de pérdidas del diagrama de Moody es función de dos variables: rugosidad relativa y el número de Reynolds (Re), el cual se calcula con la fórmula:

$$Re = \frac{D \times v \times \rho}{\mu} \quad (18)$$

Donde:

ρ : Densidad del fluido, en este caso es la del agua, 1000 kg/m³

μ : Viscosidad del agua (1,0 × 10⁻³ Ns/m² para agua a 20°C).

La rugosidad relativa dependerá del material de la tubería. En este caso, se tomará como material el que existe actualmente, la planza negra o polietileno reforzado, el cual tiene un $\varepsilon = 0,0015 \text{ mm.} = 1,5 \times 10^{-6} \text{ m.}$

v : Correspondiente a las velocidades a la entrada y salida de la bomba.

Para la velocidad V_1 , es decir, del agua a la entrada de la bomba, se calculó a partir del flujo que se utilizó para llenar un bidón de 200 litros, tal como se describió en el apartado 6.1.1, donde el tiempo que demoró en llenarse fue de 30 minutos, dando como resultado el siguiente caudal, el cual será el mismo para el punto 1 y 2:

$$Q_1 = \frac{200 [L]}{30 [min]} \times \frac{0,001 [m^3]}{60 [s]} \times \frac{1 [min]}{1 [L]}$$

$$Q_1 = 1,11 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Se conoce que $Q = A \times v$ (19)

Donde el área del círculo de cualquier tubería es $A = 0,25 \times \pi \times D^2$, (20),

Para A, el diámetro de la tubería corresponde a 1 pulgada= 0,1016 m, siendo el área igual a la entrada y la salida de la bomba, debido a que el material a utilizar tiene el mismo diámetro.

$$A_{1,2} = 0,25 \times \pi \times D^2$$

$$A_{1,2} = 0,25 \times \pi \times (0,10)^2$$

$$A_{1,2} = 8,11 \times 10^{-3} [m^2]$$

Entonces, las velocidades a la entrada y la salida, serán iguales, por lo tanto, se puede calcular reordenando la ecuación (19), lo cual queda como:

$$v_{1,2} = \frac{Q}{A} \quad (21)$$

$$v_{1,2} = \frac{1,11 \times 10^{-4} \left[\frac{m^3}{s} \right]}{8,11 \times 10^{-3} [m^2]}$$

$$v_{1,2} = 0,014 \left[\frac{m}{s} \right]$$

Entonces, $\Delta v=0$. Como se dijo anteriormente, la velocidad recomendada para tubería de impulsión es entre 1 y 3 m/s, es que calculó otro caudal con un valor promedio velocidad de 2 m/s.

$$Q_2 = 8,11 \times 10^{-3} [m^2] \times 2 \left[\frac{m}{s} \right]$$

$$Q_2 = 1,62 \times 10^{-3} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

Reemplazando los datos en la Ecuación (18), se obtiene:

$$Re = \frac{0,1016 [m] \times 0,014 \left[\frac{m}{s} \right] \times 1000 \left[\frac{Kg}{m^3} \right]}{1,0 \times 10^{-3} \left[\frac{Kg \cdot m \cdot s}{m^2 \cdot s^2} \right]}$$

$$Re = 1.422,40$$

Según el resultado obtenido, Mataix establece que fluidos con $Re < 2100$ presentan régimen laminar, por lo que el coeficiente de fricción (λ) se puede calcular:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

$$\lambda = \frac{64}{1.422,40}$$

$$\lambda = 0,045$$

Para el caso de longitud de tubería recta desde antes de la bomba, es que se tomó el valor de $L=0,15$ m, debido a que debe ser una de pequeño tamaño, solo para captar el flujo. Además, no hay accesorios asociados a este tramo, por lo que, para ambos casos:

$$H_{ra} = 0,045 \frac{(0,15 + 0 [m]) \times (0,014 \left[\frac{m}{s} \right])^2}{0,1016 [m] \times 2(9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right])}$$

$$H_{ra} = 6,64 \times 10^{-7} [m]$$

En el caso de la longitud de la tubería recta que sale de la bomba hasta los estanques, es que se tomó por separado, es decir, se evaluó de acuerdo a la distancia de cada vertiente con respecto a la ubicación del estanque. Se describió anteriormente que, la vertiente “El Mono” queda a 1,20 Km del pueblo isleño, mientras que “El Papal”, a casi 1 Km, entonces:

$$L_{Papal} = 1,20 \text{ Km} = 120.000 [m]$$

$$L_{Mono} = 1 \text{ Km} = 100.000 [m]$$

No existen accesorios asociados a la instalación de la tubería (planza), es decir, que la longitud equivalente, para ambos casos, es igual a cero ($L_{eq}=0$).

Luego, se calculan las pérdidas totales, reemplazando en la Ecuación (17)

$$Hri_{Papal} = 0,045 \frac{(120.000 [m] + 0) \times (0,014 [\frac{m}{s}])^2}{0,1016 [m] \times 2(9,81 [\frac{m}{s^2}])}$$

$$Hri_{Papal} = 0,53 [m]$$

$$Hri_{Mono} = 0,045 \frac{(100.000 [m] + 0) \times (0,014 [\frac{m}{s}])^2}{0,1016 [m] \times 2(9,8 [\frac{m}{s^2}])}$$

$$Hri_{Mono} = 0,44 [m]$$

La diferencia de altura entre las vertientes y los estanques, estarán dado por:

$$\Delta z = z_2 - (z_1 - pb)$$

Siendo, z_2 : altura del estanque; z_1 : altura de la vertiente correspondiente y; pb: Profundidad en que se encuentra sumergida la bomba. Para la vertiente “El Papal”:

$$\Delta z_{Papal} = 19 [m] - (298 [m] - 0,3 [m])$$

$$\Delta z_{Papal} = -278,70 [m]$$

Para la vertiente “El Mono”:

$$\Delta z_{Mono} = 19 [m] - (198 [m] - 0,3 [m])$$

$$\Delta z_{Mono} = -178,70 [m]$$

Se asume que, para ambas vertientes, la presión a la entrada (P_1) y a la salida de la bomba (P_2), corresponden al mismo valor de la presión atmosférica. Finalmente, reemplazando en la Ecuación (16), se obtiene:

$$H_{Papal} = \frac{P_{atm} - P_{atm}}{1.000 [\frac{Kg}{m^3}] \times 9,81 [\frac{m}{s^2}]} - 278,70 [m] + \frac{v_{1,2} - v_{1,2}}{2 \times 9,81 [\frac{m}{s^2}]} + 6,64 \times 10^{-7} [m] + 0,53 [m]$$

$$H_{Papal} = -278,17 [m]$$

$$H_{Mono} = \frac{P_{atm} - P_{atm}}{1.000 [\frac{Kg}{m^3}] \times 9,81 [\frac{m}{s^2}]} - 178,70 [m] + \frac{v_{1,2} - v_{1,2}}{2 \times 9,81 [\frac{m}{s^2}]} + 6,64 \times 10^{-7} [m] + 0,44 [m]$$

$$H_{Mono} = -178,26 [m]$$

Reemplazando los datos en la Ecuación (15), obtengo la potencia necesaria para las bombas a instalar en las vertientes:

$$P_{Papal} = 1,11 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} \times 1.000 \frac{Kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times (-278,17) m$$

$$P_{Papal} = -302,90 W$$

$$P_{Mono} = 1,11 \times 10^{-4} \frac{m^3}{s} \times 1.000 \frac{Kg}{m^3} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times (-178,26) m$$

$$P_{Mono} = -194,11 W$$

Tal como lo indica Mataix, se le aplica un factor de eficiencia del 60% típico para bombas, dando:

$$P_{Papal} = -302,90 \text{ W} \times \frac{100}{60}$$

$$P_{Papal} = -504,83 \text{ W}$$

$$P_{Mono} = -194,11 \text{ W} \times \frac{100}{60}$$

$$P_{Mono} = -320,52 \text{ W}$$

13.2 Cotizaciones de los Principales Materiales y Equipos

13.2.1 Planta Desalinizadora

AQSEP

Ficha técnica WM22000E-340

22000 litros/día (5812 gpd)
Con recuperación de energía



Precio: 70.000 USD

Fecha de lanzamiento: 04-05-2018 vol 1.10

AQUAVANT
TECNOLOGÍAS AVANZADAS

CARACTERÍSTICAS AUTOMATIZADAS:

- Interfaz fácil de usar con un solo botón de arranque
- Se ajusta automáticamente a cambios en salinidad y temperatura del agua
- Salida señal para arranque/parada de la bomba de alimentación
- Entrada señal para arranque/parada interruptor de nivel del tanque
- Flushing automático agua limpia (arranque/parada, 4 horas/24 horas)
- Parada con presión membranas alta/baja, presión alimentación alta/baja, caudal producto elevado, salinidad agua producto elevada
- Temporizador integrado para parar operación en horas de silencio

MEDIDORES/MONITORES:

- Controlador personalizado permite seguimiento exhaustivo
- Iconos en color permiten visión de conjunto
- Un solo botón da acceso a muchos datos:
- Sólidos disueltos totales del agua producto
- Contador horario
- Producción acumulada aproximada
- Presión agua de alimentación/flushing
- Presión membranas

PARTES Y MATERIALES:

- Danfoss APPM2 con recuperación de energía de acero duplex/superduplex
- La mayoría de las piezas en contacto con el agua de mar son de acero duplex o super duplex
- El bastidor es de polímero PEHD de calidad
- Protección de sobretensión

OPCIONES:

- Monitoreo GSM, control y mensajes de alarma
- Variador de velocidad para operación a 60 Hz
- Medición del caudal del agua producto

13.2.2 Bomba de 3 HP

Tabla de funcionamiento hidráulico																					
Modelo	I [A]			P1 [kW]		P2		c [μF]	l/ min m³/h	20	40	60	80	100	120	140	150	1~230V		3~230V/400V	
	1~230V	3~230V	3~400V	1~	3~	[kW]	[HP]			1,2	2,4	3,6	4,8	6,0	7,2	8,4	9,0	Código	PVP \$	Código	PVP \$
Prisma 35 3N	6,7	4,5	2,6	1,5	1,4	0,75	1	25	mca	41	39	36	34	31	27	22	18	129343	357.840	129346	357.840
Prisma 35 4N	8,4	5,3	3,1	1,8	1,8	1,1	1,5	25		54	51	48	44	39	33	27	23	129344	388.080	129347	388.080
Prisma 35 5N	10,2	6,9	4	2,3	2,2	1,5	2	30		68	64	60	55	49	41	34	30	129345	396.900	129348	396.900
Prisma 35 6N	-	8,3	4,8	-	2,7	2,2	3	-		81	78	74	67	60	52	42	37	-	-	129349	395.304

13.2.3 Cotización de estanques

capacidad: 5.000 lts. medidas: ø 2.9 h: 1.30 mts
peso aprox: 32 kg
precio unitario \$ 422.924 + iva
stock limitado consultar antes de realizar la compra

capacidad: 10.000 lts. medidas: ø 3.70 h: 1.30 mts.
precio unitario \$ 530.154 + iva (unitario)
stock critico consultar antes de realizar la compra

capacidad: 15.000 lts. medidas: ø 4.30 h: 1.30 mts.
precio unitario \$ 814.408 + iva
stock limitado consultar antes de realizar la compra

capacidad: 20.000 lts. medidas: ø 5.00 h: 1.30 mts.
precio unitario \$ 952.139 + iva
stock limitado consultar antes de realizar la compra

capacidad: 25.000 lts. medidas: ø 5.40 h: 1.30 mts.
precio unitario \$ 1.165.722 + iva
con stock limitado (4 unidades) salvo venta previa

capacidad: 40.000 lts. medidas: ø 6.90 h: 1.30 mts.
precio unitario \$1.936.570 + iva
stock limitado consultar antes de realizar la compra

capacidad: 55.000 lts. medidas: ø 7.90 h: 1.30 mts.
precio unitario \$ 3.075.690 + iva
stock limitado consultar antes de realizar la compra

13.2.4 Inversor



Victron Inversor Cargador Quattro 48V 15000VA carg. 140A, conmut. 100/100A

SKU: AD4379


victron energy
BLUE POWER

Stock por sucursal

Disponible

Precio Neto c/u	\$ 3.848.731.-
IVA c/u	\$ 731.259.-
Precio Final c/u	\$ 4.579.990.-

Agregar al carro

Al igual que el MultiPlus, el inversor Victron Quattro también es un aparato compuesto de un inversor y un cargador. Además, admite dos entradas CA y se conecta automáticamente a la entrada activa. Sus muchas características incluyen un inversor de onda sinusoidal pura, carga variable, tecnología PowerAssist híbrida, además de múltiples características para su integración en distintos sistemas, como sistemas trifásicos o de fase dividida.

13.2.5 Regulador de carga



Regulador de Carga Victron
SmartSolar 150V 100A Tr
12/24/36/48V MPPT Bluesolar

SKU: ADO001



Stock por sucursal

Disponible

Precio Neto c/u	\$ 621.840.-
IVA c/u	\$ 118.150.-
Precio Final c/u	\$ 739.990.-

13.2.6 Baterías

9330 BATERÍA TAB CELDA OPZV DE 2V Y 420 AH
420 Ah en C20 / 2.500 ciclos al 50% de descarga a 25°C



\$ 217.000

13.2.7 Paneles fotovoltaicos



Panel Solar Ulica
380W Monocrystalino
(certificado)

\$147.000

Consulta sobre dimensionamientos de proyectos domiciliarios
sin costo al mail : contacto@yoinstalo.cl

13.2.8 Sensores de presión hidrostática

Item	Cantidad	N°Parte (E-Nr.)	Precio Unitario USD	Precio Total USD
1	1	Por Confirmar	535,00	535,00
Sensor de Nivel	Sensor de nivel hidrostático sumergible, Modelo LS-10 • Precisión: $\pm 0,5\%$ fondo escala • Tensión de alimentación: DC 10...30 V • Señal de salida: 4...20 mA, 2-hilos • Rango de temperatura del medio: -10...+50 °C • Protección intemperie: IP 68 • Material de las partes en contacto con el medio: Acero inoxidable 1.4571 (carcasa) • Rango de medición: 0...1,6 bar • Longitud del cable: 10 mts, cable PUR • Accesorio de montaje del cable: Clip de fijación del cable en superficie • Accesorio conexión al proceso: Peso adicional para sonda de nivel			
	Tiempo de Entrega: 4-5 Semanas			

Item	Cantidad	N°Parte (E-Nr.)	Precio Unitario USD	Precio Total USD
2	2	Por Confirmar	1.348,00	2.696,00
Sensor de Nivel	Sensor de nivel hidrostático sumergible, de altas prestaciones, Modelo LH-10 • Precisión: $\pm 0,25\%$ fondo escala • Tensión de alimentación: 10...30 V DC • Rango de temperatura del medio: -10...+50 °C • Protección intemperie: IP 68 • Protección especial: Resistente a chorros de agua longitudinales • Señal de salida: 4...20 mA, 2-hilos • Rango de medición: 0...1,6 bar • Material de las partes en contacto con el medio: Hastelloy C4 (con cable PTFE) • Longitud del cable: 10 m • Accesorio de montaje del cable: Clip de fijación del cable en superficie • Accesorio conexión al proceso: Peso adicional para sonda de nivel			
	Tiempo de Entrega: 4-5 Semanas			

13.3 Ficha Técnica de Materiales y/o Equipos

13.3.1 Inversor

Quattro	12/3000/120-50/50 24/3000/70-50/50	12/5000/220-100/100 24/5000/120-100/100 48/5000/70-100/100	24/8000/200-100/100 48/8000/110-100/100	48/10000/140-100/100	48/15000/200-100/100
PowerControl / PowerAssist	Si				
Conmutador de transferencia integrado	Si				
2 entradas CA	Rango de tensión de entrada: 187-265 VCA Frecuencia de entrada: 45 – 65 Hz Factor de potencia: 1				
Corriente máxima de alimentación (A)	2x 50	2x100	2x100	2x100	2x100
INVERSOR					
Rango de tensión de entrada (VCC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V				
Salida (1)	Tensión de salida: 230 VCA ± 2% Frecuencia: 50 Hz ± 0,1%				
Potencia cont. de salida a 25°C (VA) (3)	3000	5000	8000	10000	15000
Potencia cont. de salida a 25°C (W)	2400	4000	6500	8000	12000
Potencia cont. de salida a 40°C (W)	2200	3700	5500	6500	10000
Potencia cont. de salida a 65°C (W)	1700	3000	3600	4500	7000
Pico de potencia (W)	6000	10000	16000	20000	25000
Eficacia máxima (%)	93 / 94	94 / 94 / 95	94 / 96	96	96
Consumo en vacío (W)	20 / 20	30 / 30 / 35	60 / 60	60	110
Consumo en vacío en modo de ahorro (W)	15 / 15	20 / 25 / 30	40 / 40	40	75
Consumo en vacío en modo de búsqueda (W)	8 / 10	10 / 10 / 15	15 / 15	15	20

13.3.2 Regulador de carga

Controlador de carga SmartSolar	150/45	150/60	150/70	150/85	150/100
Tensión de la batería	Ajuste automático a 12, 24 ó 48 V (Se precisa una herramienta de <i>software</i> para ajustar el sistema en 36 V)				
Corriente de carga nominal	45A	60A	70A	85A	100A
Potencia FV nominal, 12V 1a,b)	650W	860W	1000W	1200W	1450W
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	1300W	1720W	2000W	2400W	2900W
Potencia FV nominal, 36V 1a,b)	1950W	2580W	3000W	3600W	4350W
Potencia FV nominal, 48V 1a,b)	2600W	3440W	4000W	4900W	5800W
Máxima corriente de corto circuito FV 2)	50A (máx. 30A por conector MC4)			70A (máx. 30A por conector MC4)	

13.3.3 Panel fotovoltaico

MONO 370W/375W/380W/385W					
ELECTRICAL PERFORMANCE					
Electrical Parameters Standard Test Conditions					
Module Type	UL-370M-72		UL-375M-72	UL-380M-72	UL-385M-72
Power Output	P _{max}	W	370	375	380
Power Tolerance	ΔP _{max}	W	0/+5W		
Module Efficiency	η _m	%	19.07	19.33	19.58
Voltage at P _{max}	V _m	V	39.4	39.5	39.6
Current at P _{max}	I _m	A	9.39	9.49	9.60
Open-Circuit Voltage	V _{oc}	V	48.2	48.4	48.5
Short-Circuit Current	I _{sc}	A	9.88	9.96	10.07
STC: 1000w/m² irradiance, 25°C module temperature, AM1.					

13.3.4 Cloro líquido



FICHA TÉCNICA

AVAL CLOR

HIPOCLORITO DE SODIO AL 10%

Avalclor (Hipoclorito de sodio) es un efectivo sanitizante, desinfectante y blanqueador. El Hipoclorito de sodio es un compuesto que puede ser utilizado en procesos de desinfección industrial, tratamiento de aguas como desinfección, esterilización, detoxificación, decoloración y desodorización en aguas industriales, agua potable y aguas de piscinas. También se puede utilizar en procesos de blanqueado de prendas, y diferentes procesos químicos tales como el abatimiento del ácido sulfhídrico H_2S y sulfitrato de sodio $NaSH$.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	
NaClO , % p/p	9,7 - 10,3
Cloro disponible, gpl	107 - 114
NaOH estabilización , % p/p	0,52 - 0,68
Na ₂ CO ₃ , % p/p	0,5% máx.
Fe ppm	2,5 ppm máx.
Ni ppm	0,5 ppm máx.
Densidad a 20°C , g/mL	1,15 - 1,16
Apariencia	Claro, coloreado amarillo dorado

INFORMACIÓN ADICIONAL

Precauciones y recomendaciones
En la manipulación y almacenamiento se debe tener presente la reactividad del hipoclorito de sodio (**consulte la hoja de seguridad, HDS**). **SUSTANCIA CORROSIVA.**

PRECAUCIONES DE SEGURIDAD

Mantener en envase original cerrado en lugar fresco, seco.
Mantener alejado del alcance de los niños.
Determinar las condiciones de uso seguro del producto es responsabilidad del usuario.
Consulta hoja de seguridad.

13.3.5 Ábaco de pérdidas de carga en tuberías lisas de PVC/PE

l/h	En Ø interiores de tubería [mm]											
	14	19	25	32	38	50	63	75	89	100	125	150
500	8,9	2,1	0,6									
800	20,2	4,7	1,3	0,4								
1.000	29,8	7	1,9	0,6								
1.500		14,2	3,9	1,2	0,5							
2.000		23,5	6,4	2	0,9							
2.500			9,4	2,9	1,3	0,4						
3.000			13	4	1,8	0,5	0,2					
3.500			17	5,3	2,3	0,6	0,2					
4.000			21,5	6,6	2,9	0,8	0,3	0,1				
4.500				8,2	3,6	1	0,3	0,1				
5.000				9,8	4,3	1,2	0,4	0,2				
5.500				11,6	5,1	1,4	0,5	0,2				
6.000				13,5	6	1,6	0,5	0,2				
6.500				15,5	6,9	1,9	0,6	0,3				
7.000				17,7	7,8	2,1	0,7	0,3				
8.000				22,4	9,9	2,7	0,9	0,4	0,2			
9.000					12,1	3,3	1,1	0,5	0,2			
10.000					14,6	4	1,3	0,6	0,3	0,1		
12.000					20,1	5,5	1,8	0,8	0,4	0,2		
15.000					29,7	8,1	2,7	1,2	0,5	0,3		
18.000						11,1	3,7	1,6	0,7	0,4	0,1	
20.000						13,3	4,5	1,9	0,9	0,5	0,2	
25.000						19,7	6,6	2,9	1,3	0,7	0,3	
30.000							9	4	1,8	1	0,3	0,1