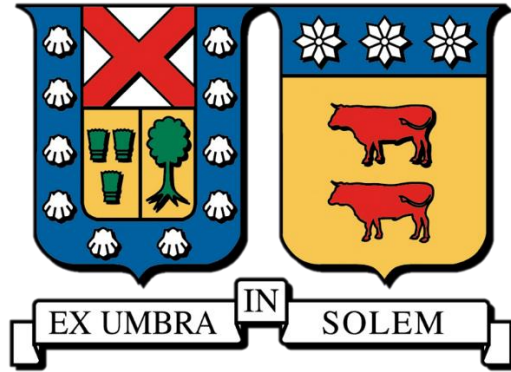


**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE CONCEPCIÓN –
REY BALDUINO DE BÉLGICA**



**EVALUACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE LA HUELLA DE
CARBONO PARA UNA PROPUESTA DE SISTEMA DE
ABASTECIMIENTO ELÉCTRICO CON PANELES
SOLARES FOTOVOLTAICOS.**

Trabajo de Titulación para optar a Título de
Ingeniería en Ejecución de GESTIÓN Y
CONTROL AMBIENTAL

Alumno:

Felipe Esteban Castillo Salazar

Profesor guía

Cristian Pereira Aburto

2024

Resumen

Basado principalmente en los requerimientos energéticos básicos para los sectores rurales que no cuentan con los abastecimientos energéticos convencionales, se busca poder satisfacer las necesidades eléctricas de bajo consumo e hídrica en cabañas o segundas viviendas. Se centra el proyecto en la comuna de Yumbel, sector de Rere para realizar los estudios que se deben tener en cuenta para su evaluación.

El presente estudio presentado a continuación tiene su origen en evaluar la alternativa de poder implementar, con energía del sol, sistemas eléctricos domiciliarios requeridos en cabaña familiar, de manera piloto. Y así cuantificar la cantidad de dióxido de carbono emitido por las fases de instalación y operación de dicho sistema a gran escala para la cantidad de diez cabañas, viendo de esta manera si el proyecto es viable medioambientalmente.

Los elementos utilizados para el proyecto fueron calculados y evaluados para las condiciones climáticas existentes en la localidad de Rere, comuna de Yumbel, para la colección de energía solar y su aprovechamiento eléctrico

Indice

Resumen..... 2

Objetivo General..... 2

Objetivos específicos 2

1 CAPITULO I: PRINCIPIOS DEL PROYECTO 3

1.1 Energía solar fotovoltaica..... 3

1.1.1 Resumen histórico de la energía solar..... 4

1.2 Condiciones del lugar geográfico y terreno para el proyecto 5

1.3 Elementos necesarios en la instalación..... 8

1.3.1 Descripción y funcionamiento de componentes..... 8

1.3.2 Paneles solares o generador fotovoltaico 8

1.3.3 Baterías de almacenamiento energético 10

1.3.4 Controlador fotovoltaico 11

1.3.5 Inversor de corriente 12

1.3.6 Bomba sumergible o de pozo profundo 13

1.3.7 Cable para panel solar 14

1.4 Huella de Carbono 15

1.5 Marco normativo en Chile..... 15

1.5.1 Ley marco de cambio Climático (Ley N° 21.455) 15

1.5.2 Ley bases generales del medio ambiente (Ley 19.300)..... 16

1.5.3 Ley N° 20.417 16

1.5.4 Otras aplicaciones normativas..... 16

2 CAPITULO II: ANALISIS DEL PROBLEMA Y SOLUCION 17

2.1 Selección de componentes..... 17

2.1.1 Paneles solares 17

2.1.2 Bomba para pozo..... 18

2.1.3 Almacenamiento de energía 18

2.1.4 Soporte de paneles..... 18

2.1.5 Estanque de agua..... 19

2.1.6 Materiales adicionales 19

2.2 Costos 19

2.2.1 Bomba de pozo profundo 20

2.2.2 Panel solar 21

2.2.3 Batería 22

2.2.4 Controlador de carga..... 23

2.2.5 Inversor de corriente 24

2.3 Medición huella de Carbono..... 24

2.3.1 Huella de carbono: Sistema convencional eléctrico..... 25

2.3.2 Huella de carbono: Sistema fotovoltaico 26

2.4 Análisis económico 28

2.4.1 Resumen de costos 28

2.4.2 Proyección económica..... 28

2.5 Conexionado..... 29

2.5.1 Conexión del sistema 30

3 CAPITULO III: PROPUESTA DE MITIGACIÓN 31

4	CONCLUSIÓN Y DISCUSIÓN.....	33
5	BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	35
6	ANEXOS	37

Indice de Figuras

Figura 1.1:	Vista Satelital de ubicación geográfica de la cabaña	5
Figura 1.2:	Vista con la radiación disponible en el sector.	6
Figura 1.3:	Resumen mensual de la radiación aprovechable.	6
Figura 1.4:	Posición de la cabaña.....	6
Figura 1.5:	Posición en planicie	7
Figura 1.6:	Panel solar monocristalino.....	9
Figura 1.7:	Interior de un panel solar.	10
Figura 1.8:	Detalle de una celda solar.	10
Figura 1.9:	Bateria de tipo AGM.....	11
Figura 1.10:	Controlador fotovoltaico.....	12
Figura 1.11:	Inversor de corriente.	13
Figura 1.12:	Bomba de pozo profundo.....	13
Figura 1.13:	Funcionamiento del eje en bomba de pozo profundo.	14
Figura 1.14:	Funcionamiento de válvula de retención no cerrada.	14
Figura 2.1:	levantamiento de materiales.....	17
Figura 2.2:	Diagrama de funcionamiento altura vs caudal.....	20
Figura 2.3:	Bomba AllWell 1,5 HP.....	20
Figura 2.4:	panel fotovoltaico Risen 559 Wp.....	22
Figura 2.5:	Batería 200 Ah, 12 V, UltraCell	23
Figura 2.6:	Controlador de carga EPEVER.....	23
Figura 2.7:	Inversor de corriente Enertik.	24
Figura 2.8:	Factor de emisión para emisiones eléctricas.....	25
Figura 2.9:	Factor de emisión para suministro de agua.....	27
Figura 2.10:	Resumen radiación anual en Rere en W/m2	29
Figura 2.11:	Conexionado del sistema.	30
Figura 3.1:	Fijación de dióxido de carbono por especies.....	31

Indice de Tablas

Tabla 1.1:	Comparación de opciones para la ubicación del panel solar.....	7
Tabla 2.1:	Consumo primer semestre año 2023.	21
Tabla 2.2:	Consumo segundo semestre año 2023.....	21
Tabla 2.3:	Resumen de costos.	28
Tabla 2.4:	Costos mensuales para un periodo de un año.....	28
Tabla 2.5:	Ahorro estimado utilizando el sistema solar.....	29
Tabla 3.1:	Promedio de Huella de Carbono	32
Tabla 3.2:	Reducción de la Huella de Carbono	32

INTRODUCCIÓN

Este trabajo está basado en la implementación de suministro eléctrico para un campo familiar mediante el uso de paneles solares, para el abastecimiento de un sistema de red agua y para poder aprovechar la energía obtenida para iluminación y accionamiento de objetos de bajo consumo eléctrico, mediante el uso de energía solar, evitando así todo el ruido de los generadores eléctricos propulsados con motores a petróleo, dando una alternativa y disminuyendo la contaminación en la generación energética.

El tipo de energía a utilizar será la solar, con sistemas de abastecimiento de agua entre las diferentes temporadas del año e incluso considerar un sistema de almacenamiento de agua para aquellos días en que las condiciones climáticas sean adversa para la obtención de energía.

La energía solar proviene de la radiación electromagnética del sol. Las actuales tecnologías permiten aprovechar la energía solar de diferentes formas entre las cuales cabe mencionar: solar fotovoltaica (generación de electricidad), solar termoeléctrica de concentración (generación de electricidad) y solar térmica para agua caliente sanitaria (generación de calor).

Un sistema de paneles solares se puede definir como un conjunto de paneles que están conectados en serie o en paralelo, para poder satisfacer un circuito eléctrico. Este proyecto surge para suplir el consumo energético básico de diez cabañas y para abastecer las necesidades de agua a través de una bomba accionada con la energía de los paneles fotovoltaicos.

Y como ultimo hito, se busca cuantificar la huella de carbono que emite el sistema fotovoltaico para así sustentar objetivamente que el proyecto posee un desarrollo sostenible con respecto a la disposición y utilización de energía, en comparación a tener que depender de un abastecimiento energético convencional.

Objetivo General

Realizar un estudio de prefactibilidad para abastecer eléctricamente, mediante un sistema de paneles solares y una bomba de pozo que suministre agua. Y desarrollar una evaluación detallada de la huella de carbono, aplicando los estándares y metodologías vigentes en Chile, con el propósito de identificar la cantidad de emisión generada por dicho sistema a un grupo de diez cabañas.

Objetivos específicos

- Evaluar, comparar y seleccionar un panel solar y sus componentes para las necesidades asociadas.
- Conocer el consumo energético suministrado por el sistema de paneles solares, necesario para el funcionamiento de una bomba de pozo.
- Evaluar un plano conexionado para el sistema de paneles solares.
- Realizar una medición de la huella de carbono que genera el sistema convencional eléctrico, y realizar una comparativa con respecto al valor de la huella de carbono del sistema de paneles solares.
- Proponer acciones y estrategias de reducción de las emisiones identificadas,

CAPITULO I: PRINCIPIOS DEL PROYECTO

En este capítulo se introduce la energía solar fotovoltaica, explicando en que consiste su captación para ser transformada en energía eléctrica.

También se da a conocer datos importantes que servirán en la evaluación del proyecto, como lo es la cantidad de radiación solar que está presente en el sector. A su vez, se describe las condiciones geográficas del terreno en donde se proyecta realizar la instalación y evaluar su mejor alternativa de diseño.

1.1 Energía solar fotovoltaica

La energía solar, como bien dice su nombre, deriva de la captación de fotones provenientes del sol para convertirla en energía eléctrica a través de paneles solares, la cual debe ser transmitida a baterías para su almacenamiento, apoyado con sistemas de seguridad y conversor eléctrico para así usar esta energía cuando se requiera.

La evolución de la energía solar está vinculada al desarrollo socioeconómico como también a las políticas ambientales del país en donde se esté desarrollando. Este tipo de energía sustentable está siendo cada día más protagonista para aportar al consumo energético de Chile, por lo que ya hay campos solares principalmente en el norte del país, obteniendo un mayor provecho. Claro ejemplo es el campo solar Jama ubicado en San Pedro de Atacama, el cual es capaz de generar anualmente la cantidad de 167 [GHz] al sistema eléctrico del norte grande.

El elemento fundamental de toda instalación fotovoltaica son los paneles utilizados, ya que es el encargado de captar estos fotones del sol y transformarlos para poder obtener energía eléctrica. Estos paneles también son comercializados y los distribuidores ofrecen diferentes tipos, por tanto, es posible acceder a este tipo de energía sustentable, para poder realizar instalaciones tanto domiciliarias como a nivel industrial o país, y suplir las necesidades energéticas.

Las celdas fotovoltaicas se componen de materiales que son semiconductores, normalmente de silicio, que son tratados para formar dos capas con distintos polos, generando un campo eléctrico. El principio fotovoltaico transcurre cuando un fotón es captado por esta celda, lo cual libera electrones que pueden ser separados del campo eléctrico, generando una corriente eléctrica.

La capacidad de conversión de energía de un panel fotovoltaico es su característica más importante, siendo este el rendimiento real que tiene para poder aprovechar esta energía captada por el sol y transformarla en energía útil para el sistema que se desee alimentar.

1.1.1 Resumen histórico de la energía solar

Las aplicaciones de la energía solar en Chile han crecido significativamente las últimas décadas. Se han desarrollado nuevas políticas que premian al uso energético renovable. A continuación, se presenta un resumen de su desarrollo en el país.

Década del 1980: El primer proyecto solar de Chile se centra en aplicaciones térmicas como agua caliente para viviendas y para las piscinas. Aquí recién se empezó a estudiar el potencial de la energía solar, no obstante, su desarrollo inicial se vio limitado por falta de incentivos económicos y de la tecnología de ese entonces.

Década del 1990: En 1994 se puso en marcha el programa de electrificación solar rural (PER) para promover la instalación de sistemas fotovoltaicos en zonas rurales no conectadas a la red eléctrica tradicional (sistema interconectado central).

El crecimiento solar sigue siendo lento debido a la falta de políticas de apoyo e incentivos económicos eficaces.

Década del 2000: En 2007 se implementó un programa de medición neta que permitió a los clientes residenciales y comerciales con sistemas solares vender el exceso de electricidad a la red y obtener beneficios.

El gobierno de Chile ha comenzado a promover la energía solar a gran escala, especialmente en el norte del país, que tiene uno de los niveles de radiación solar más altos del mundo.

Década del 2010: Durante esta década, Chile se convirtió en uno de los líderes regionales en energía solar. En el desierto de Atacama se instalaron proyectos fotovoltaicos de gran escala, como el parque solar El Romero, que se convirtió en uno de los parques solares más grandes de Latinoamérica.

Se realizaron subastas de energías renovables, impulsando la inversión en proyectos solares a gran escala y reduciendo costos solares en el país.

Los años más recientes, Chile continuó su expansión energética renovable, con una creciente capacidad instalada de energía solar fotovoltaica y la construcción de proyectos solares con tecnologías avanzadas.

El país ha buscado diversificar su matriz energética y reducir su dependencia de los combustibles fósiles a través del desarrollo de fuentes de energía renovables.

1.2 Condiciones del lugar geográfico y terreno para el proyecto

Con este proyecto se desea proporcionar energía eléctrica limpia en la localidad de Rere, Yumbel, el cual está ubicado en la octava región del Bio Bio en Chile. Este es un sector rural que no cuenta con los suministros eléctricos convencionales ni cuenta con el sistema de agua potable.

Para esta aplicación existe una cabaña piloto en donde viven cinco personas, la cual se requiere alimentar mediante paneles fotovoltaicos y aprovechar energía eléctrica limpia para el uso que se requiera. Y posteriormente, realizar una ampliación en el proyecto para estimar lo que se necesitará de energía al momento de suministrar a las diez habitaciones que se crearan en el recinto residencial.



Figura 1.1: Vista Satelital de ubicación geográfica de la cabaña

En la figura 1.1, se puede ubicar el sector donde se encuentra el terreno mediante el rectángulo rojo, siendo una zona relativamente húmeda donde es fácil encontrar agua en napas subterráneas. Este sector es considerado por los habitantes como un sector con soleado en verano, en donde es altamente posible poder aprovechar el sol como proveedor de energía eléctrica.

La geografía del campo es mediante terrazas, las cuales tienen tres niveles diferentes para su construcción. En la terraza del nivel superior, está ubicada una cabaña, la terraza del medio es una planicie y en la última terraza se ubica una segunda cabaña. En total pueden vivir hasta 12 personas allí, pero normalmente hay 5 personas en la cabaña.

A través de la página del ministerio de energía, disponible de manera gratuita para el diseño y análisis de los recursos renovables, se puede determinar la cantidad de energía solar aprovechable en diferentes lugares del territorio nacional, en el cual destacan la radiación disponible en kWh/m²/día y por los diferentes meses del año.

Esto permite realizar cálculos aproximados de manera preliminar de obtención energética mediante paneles solares, sin necesidad de tener instrumentos especializados de medición.



Figura 1.2: Vista con la radiación disponible en el sector.

Obtenida en www.solar.minenergi.cl/exploracion

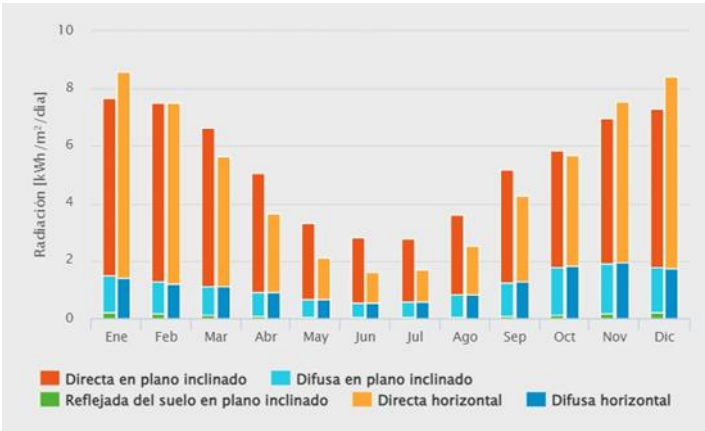


Figura 1.3: Resumen mensual de la radiación aprovechable.

Obtenida en www.solar.minenergi.cl/exploracion

En base a lo que se observa de la figura 1.2 y 1.3, el sector tiene una radiación solar media de 5 [kWh/m²/día] durante todo el año.

El terreno consta de tres planicies (ver Fig 1.4), en la primera existe la cabaña piloto, en la segunda planicie no existe construcciones ni bosque alrededor, y finalmente en la tercera planicie existe una segunda cabaña para cinco personas.



Figura 1.4: Posición de la cabaña

Para el proyecto se busca poder implementar la instalación de los paneles en dos posiciones, de las cuales se tiene que definir cuál será la mejor opción para la captación de energía

- Para la primera opción se quiere utilizar la terraza que está conformada por una planicie (ver Fig 1.5) que tiene el suficiente espacio, sin arboles para prevenir la interferencia con la captación del recurso energético con sus sombras. Aquí se requiere unos soportes con ángulos y posicionando a la mejor orientación según la ubicación del sol.



Figura 1.5: Posición en planicie

- La segunda opción contempla en utilizar el techo de las cabañas. En esta posición se requiere de una construcción sobre el techo de la cabaña, en la cual se puede tener un mayor enfoque y, a la vez, puede ayudar a reducir la temperatura de esta por su efecto aislante. Se requiere poder ver la mejor posición de los paneles solares, lo cual este sujeto a la forma que va tener el techo de la cabaña y con su soporte diseñado respectivamente.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo donde se evalúan ambas opciones y revelan sus características principales a la hora de elegir:

Tabla 1.1: Comparación de opciones para la ubicación del panel solar

Opción 1		Opción 2	
Ventajas	Desventajas	Ventajas	Desventajas
Fácil acceso y manipulación de la instalación	Esta más expuesto a golpes y accidentes	Mayor captación solar	Instalación y manipulación más riesgosa
Mantenimiento sencillo y menos riesgoso	Quita espacio útil del terreno	Regula la temperatura de la cabaña, sobre todo en verano	Estructura fija, con un solo ángulo de recepción
Mayor control angular del panel	Mayor impacto visual	Menor impacto visual	Riesgo de incendio por efecto Hotspot.

Considerando las ventajas y desventajas, se opta por la propuesta a nivel piso. Con la finalidad de que el proceso de instalación no sea riesgoso y que facilite alguna intervención futura en los paneles solares.

1.3 Elementos necesarios en la instalación

Un sistema fotovoltaico es un conjunto de tecnologías que al juntarlas son capaces de captar los fotones de la energía del sol y transformarlos en energía eléctrica para su uso en diversas aplicaciones.

Sus características más relevantes, es su simpleza en cuanto al sistema que utiliza, su fácil instalación en el sector en donde se requiera su uso, la ausencia de ruido en su funcionamiento, su duración y fácil mantención, la duración y toda la ventaja medioambiental que está detrás de esta tecnología.

El objetivo principal de un sistema fotovoltaico es captar la máxima radiación solar posible y transformarla en energía eléctrica. Este sistema con paneles solares tiene diversos factores que influyen en su rendimiento, los cuales serán considerados en este informe.

1.3.1 Descripción y funcionamiento de componentes

En la industria, existen diversas soluciones energéticas para poder enfrentar los problemas de hoy en día, es por lo anterior que se investiga esta energía renovable a través de la utilización de paneles solares. Dentro de las soluciones que se pueden tener, existen variados tipos de paneles solares, que se caracterizan debido a su capacidad, materiales y construcción.

Para la bomba de suministro de agua, existen diferentes alternativas para las cuales las características fundamentales es la altura de agua que puede levantar, el caudal necesario, el consumo de la bomba – motor y el diámetro de la bomba, para que tenga relación con el pozo que hay ya construido según el anexo 1.

El colector solar debe tener una capacidad de transformación de energía superior a la demanda energética requerida en las cabañas, tanto para el consumo al interior como para el accionamiento del pozo profundo, asegurando la continuidad energética.

1.3.2 Paneles solares o generador fotovoltaico

Los paneles solares que se pueden encontrar en la industria están en base al material del cual se construye el panel fotovoltaico, además de las capacidades de poder transformarse

en energía eléctrica efectiva. Los paneles solares están contruidos de celdas fotovoltaicas de material silicio cristalino, las cuales se diferencian entre:

- **Silicio monocristalino:** Compuesto por una serie de células solares a base de una única molécula de silicio cristalizado. Es altamente eficiente en la conversión de energía solar debido a su estructura cristalina ordenada. Cuando la luz solar incide sobre el panel, los fotones interactúan con los átomos de silicio, liberando electrones en la capa superior. Estos electrones son atraídos hacia la capa inferior del panel, proporcionando una corriente eléctrica.

Los paneles solares de silicio monocristalino son altamente eficientes debido a la pureza del silicio y su estructura cristalina uniforme, por lo anterior se selecciona este tipo para el proyecto. Los cristales de silicio se cortan en láminas delgadas y se ensamblan en una matriz para formar un panel solar con un color característico oscuro (Ver Fig 1.6).



Figura 1.6: Panel solar monocristalino

- Por otro lado, existen otras alternativas de paneles como lo son los paneles de **silicio policristalino** y **silicio amorfo**. Cada uno para aplicaciones distintas y con una eficiencia energética menor a que los paneles mencionados anteriormente. Por lo que, para fines prácticos, no se redundará acerca de sus características.

Los diferentes paneles solares funcionan bajo el mismo principio fotovoltaico, lo cual explica que diversos materiales reaccionan produciendo energía eléctrica cuando son expuestos a una fuente de luz, descubierto por **Heinrich Rudolf Hertz**. Con lo anterior se puede determinar que un panel solar es un conjunto de placas que utilizan este efecto fotoeléctrico, produciendo luz en energía eléctrica.

Como se observa en la figura 1.7, los paneles solares están conformado por diversas capas las cuales son el marco de aluminio, cristal, encapsulado en ambas caras, celdas solares conectadas en serie, cubierta posterior y la caja de conexión



Figura 1.7: Interior de un panel solar.

En más detalle, la principal función de todo el proceso ocurre en las celdas solares, la cual cada celda está conformada por un polo negativo y un polo positivo, para que ocurra el efecto fotovoltaico. Como se observa en la figura 1.8, cada polo está conformado por una grilla metálica superior de contacto ya sea negativo o positivo, un contacto negativo, un semiconductor negativo (aquí se diferencia entre los diferentes silicios), una zona de carga, un semiconductor positivo (diferencia entre los diferentes silicios) y una grilla metálica inferior.

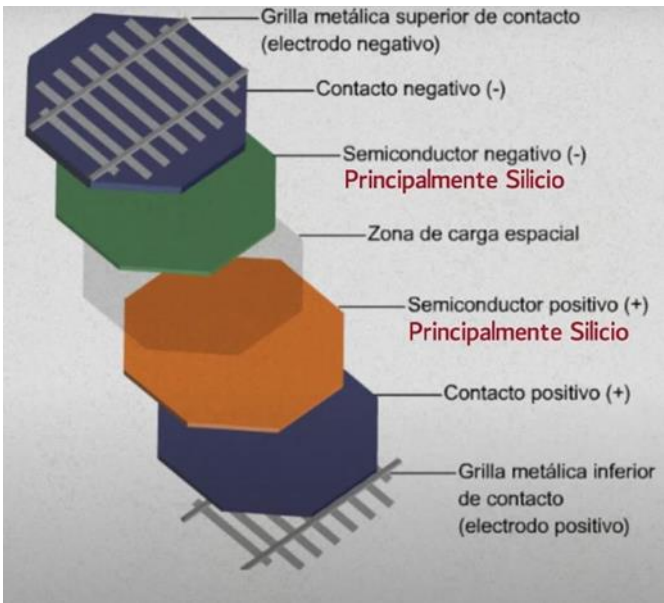


Figura 1.8: Detalle de una celda solar.

Cuando el panel recibe la luz del sol, hace que se muevan los electrones negativos hacia la parte que está cargada de forma positiva. En este proceso se genera corriente directa (DC) que posteriormente es transmitida desde cada celda hacia la caja de conexionado y distribución. Una celda solar por sí sola no puede aportar suficiente energía para un sistema eléctrico, por lo que mediante un hilo conductor se van uniando en serie cada celda formando un panel fotovoltaico.

1.3.3 Baterías de almacenamiento energético

La principal función es poder acumular la energía eléctrica obtenida de los paneles fotovoltaicos durante las horas de luminosidad del día, para poder ser utilizadas en las noches o periodos prolongados de mal tiempo.

Existen diferentes tipos de baterías para la aplicación de paneles solares, que ayudan al maximizar la vida útil de las cargas y ofrecen una buena solución para su almacenamiento. Los tipos más comunes son las baterías de gel, litio y las de fibra de vidrio absorbente (AGM, por sus siglas en inglés).

Para este proyecto se contempla la utilización de baterías de fibra de vidrio absorbente, ya que, por sus características de vida útil prolongada, provee de ciclos de carga eficientes. Las baterías con fibra de vidrio absorbente (absorbent glass mat, AGM) (ver Fig. 1.9) están conformadas de plomo – ácido en sus ánodos y cátodos. La principal característica de sus componentes es que el electrolito está completamente absorbido por la fibra de vidrio, lo que le otorga propiedades anti-vibratorias y antifugas de electrolito. Las almohadillas de fibra de vidrio están ubicadas entre los electrodos en las que se almacena el ácido.

La principal ventaja de estas baterías AGM es que gracias a su estructura de fibra de vidrio poseen una vida útil de larga duración, superando en este aspecto a las anteriores.

Este tipo de batería solar es muy útil, principalmente por ser una batería sellada que no emite gases ni humos. El no requerir de mantenimiento la convierte en una batería muy atractiva, ya que puede ser instalada en un punto de difícil acceso y no tener que estar excesivamente pendiente de ella



Figura 1.9: Batería de tipo AGM.

Se selecciona este tipo de batería AGM ya que será posicionada en un lugar de la cabaña de difícil acceso, así evitando mantenciones o intervenciones futuras de la batería, además de que sus propiedades la hacen una batería segura y aguanta los constantes ciclos de carga y descarga.

1.3.4 Controlador fotovoltaico

El controlador fotovoltaico (ver Fig. 1.10), también conocido como regulador de carga solar o controlador de carga solar, es un dispositivo esencial en sistemas de energía solar

fotovoltaica. Su función principal es regular la carga de la batería para garantizar un rendimiento óptimo y prolongar la vida útil de ésta.

Otras funciones secundarias, son las siguientes:

- Regulador de voltaje: Mantiene la tensión de la batería dentro de un rango seguro durante la carga, evitando sobrecargas, que puedan dañarla, reduciendo su vida útil.
- Regulador de corriente: Controla la corriente que fluye desde los paneles solares hacia las baterías. Evita la sobrecorriente, protegiendo así el sistema.
- Desconector de carga: Desconecta automáticamente la carga de la batería cuando ésta alcanza un nivel de descarga crítico para evitar daños.
- Protector contra descarga excesiva: Evita exceder la descarga de la batería, lo que puede dañarla de forma permanente.
- Gestión de la energía: Controla la energía generada por los paneles solares para maximizar la eficiencia y minimizar las pérdidas.



Figura 1.10: Controlador fotovoltaico.

1.3.5 Inversor de corriente

El inversor de corriente (ver Fig. 1.11) cumple la principal función de recibir la energía en corriente continua desde el panel solar, transformándola en energía alterna a 220 V y a 50 Hz. En esa condición puede ser utilizada en electrodomésticos convencionales de cualquier hogar de Chile.

Es un elemento imprescindible en las instalaciones conectadas a la red y está presente en la mayoría de las instalaciones autónomas, sobre todo en aquellas instalaciones que suministran energía a las viviendas



Figura 1.11: Inversor de corriente.

Los inversores de corriente tienen dos etapas. La primera etapa corresponde a la de **convertir la corriente directa** que llega desde una fuente de energía **a corriente alterna**. La segunda etapa es la de elevación del voltaje, en donde se multiplican los 12 o 24 volts que llegan desde la fuente para obtener en la salida 220 volts en corriente alterna.

1.3.6 Bomba sumergible o de pozo profundo

La bomba sumergible es una bomba del tipo centrífuga (ver Fig. 1.12) En su interior tiene impulsores que lanzan el agua hacia afuera, los cuales están conectados a un solo eje principal y este eje está accionado a través de un motor de inducción. En cada etapa de un impulsor, el agua gana presión y velocidad, lo cual debe ser direccionado con un difusor, el cual es un elemento estacionario. Éste, toma el agua que ha pasado por un impulsor y lo prepara para la siguiente cámara de impulsión multiplicando su presión. Es por lo anterior que las bombas sumergibles pueden generar una gran altura de elevación del agua.



Figura 1.12: Bomba de pozo profundo.

En la figura 1.13 se logra apreciar los componentes internos de la bomba, donde se diferencia principalmente el motor de inducción de los impulsores. Entre cada impulsor se encuentra el difusor, que finalmente toda esta presión es impulsada hacia una válvula de retención no cerrada, la cual reduce el fenómeno del golpe de ariete, como se presenta en la figura 1.14.

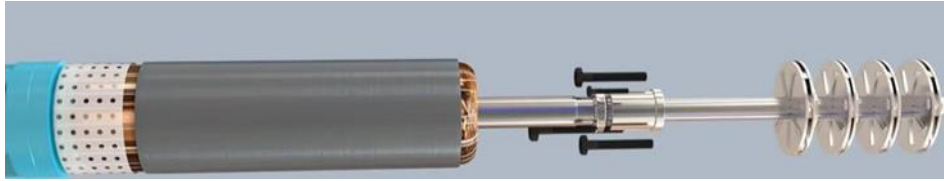


Figura 1.13: Funcionamiento del eje en bomba de pozo profundo.



Figura 1.14: Funcionamiento de válvula de retención no cerrada.

Finalmente, un aspecto importante a tener en cuenta es que, en el funcionamiento de la bomba, en la sección del motor de inducción se genera calor que se controla con la cámara de refrigeración, que puede tener aceite o agua según lo indica en la especificación del fabricante.

1.3.7 Cable para panel solar

El cableado para el sistema de paneles solares requiere que este sea de gran duración y de una excelente impermeabilidad, ya que trabajará a la intemperie y sometido a un ambiente abrasivo en las diferentes estaciones del año. Por lo anterior, es necesario que el cableado cumpla ciertas condiciones para su uso.

El cable por utilizar en el proyecto será seleccionado pensando en la seguridad que este pueda brindar, debido a que se ubica en el entorno de una cabaña y se espera poder evitar cualquier eventualidad por intervención de personas. Por lo anterior, se dará a conocer los aspectos básicos que debe tener para su instalación fotovoltaica:

- Debe estar fabricado en un tramo único en toda su longitud.
- Se recomienda el uso de un cable calibre AWG 10 o AWG 12.
- Material del conductor: cobre, aluminio revestido de cobre o sólo aluminio.
- Temperatura de operación: 90°C en ambiente húmedo; y 105°C, 125°C o 150°C en ambiente seco.

1.4 Huella de Carbono

La huella de carbono se define como la cantidad total de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos directa o indirectamente por un individuo, organización, evento, o producto, expresados en términos de dióxido de carbono equivalente (CO₂e). Este indicador se utiliza ampliamente como una herramienta para evaluar y gestionar el impacto ambiental de diversas actividades humanas, desde el uso de energía hasta los procesos industriales y la agricultura.

El principal objetivo de calcular la huella de carbono es **medir el impacto ambiental** asociado a la liberación de gases de efecto invernadero, proporcionando una base cuantitativa para implementar estrategias de mitigación y sostenibilidad. Este cálculo permite identificar las fuentes principales de emisiones y priorizar acciones específicas para reducirlas, contribuyendo así al cumplimiento de metas climáticas y normativas nacionales e internacionales.

La importancia de la huella de carbono radica en su capacidad para:

- **Fomentar la sostenibilidad:** Permite a las organizaciones y personas tomar decisiones informadas para reducir su impacto ambiental.
- **Cumplir con normativas:** Facilita la adaptación a marcos legales como el Acuerdo de París y las políticas nacionales relacionadas con la descarbonización.
- **Concienciar a la sociedad:** Incrementa el conocimiento sobre los efectos del cambio climático y motiva la acción colectiva para enfrentarlo.
- **Incentivar mejoras tecnológicas:** Promueve el desarrollo y uso de tecnologías más limpias y eficientes.

En el contexto de este proyecto, evaluar la huella de carbono del sistema fotovoltaico no solo verifica su viabilidad medioambiental, sino que también refuerza su valor como una solución sostenible frente a fuentes de energía convencionales, alineándose con los objetivos de desarrollo sostenible de Chile.

1.5 Marco normativo en Chile

En el contexto chileno, la legislación relacionada con la huella de carbono está alineada con los compromisos internacionales del país para mitigar el cambio climático. Aquí se detalla la normativa y las iniciativas principales que apoyan la medición y gestión de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI):

1.5.1 Ley marco de cambio Climático (Ley N° 21.455)

Promulgada en 2022, esta ley establece un marco legal para enfrentar el cambio climático en Chile. Sus principales objetivos incluyen:

- Alcanzar la carbono neutralidad para 2050.

- Promover el uso de herramientas como la medición de la huella de carbono en sectores productivos.
- Incluir la medición y reporte de emisiones como parte de las acciones obligatorias para empresas grandes.

1.5.2 **Ley bases generales del medio ambiente (Ley 19.300)**

Esta ley establece los principios y procedimientos para proteger el medio ambiente en Chile, incluyendo:

- La implementación del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA), que evalúa proyectos en términos de su contribución a las emisiones de GEI.
- Promueve la inclusión de medidas de mitigación y compensación ambiental.

1.5.3 **Ley N° 20.417**

Esta legislación creó el **Ministerio del Medio Ambiente**, el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) y la Superintendencia del Medio Ambiente. Estos organismos son responsables de coordinar políticas relacionadas con la gestión de GEI y garantizar el cumplimiento de las normativas ambientales.

1.5.4 **Otras aplicaciones normativas**

Chile ha adoptado la **Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP)** para alcanzar sus metas climáticas, que incluyen la promoción de energías renovables como los sistemas fotovoltaicos y la incorporación de la huella de carbono como un indicador clave en sectores como energía, transporte e industria. En este marco, el país cuenta con la **Plataforma HuellaChile**, desarrollada por el Ministerio del Medio Ambiente, la cual ayuda a empresas y organizaciones a medir, gestionar y reducir su huella de carbono, ofreciendo herramientas y factores de emisión específicos para el contexto chileno.

Además, Chile sigue normas internacionales como la **ISO 14.064**, que especifica cómo medir y gestionar las emisiones de gases de efecto invernadero, y el **GHG Protocol**, ampliamente utilizado para reportes voluntarios y obligatorios de emisiones.

En línea con sus compromisos internacionales, como el Acuerdo de París, Chile se ha comprometido a reducir en un 30% la intensidad de carbono (emisiones por unidad de PIB) para 2030, en comparación con 2007, y a adoptar medidas que promuevan la transición hacia una economía baja en carbono.

CAPITULO II: ANALISIS DEL PROBLEMA Y SOLUCION

Optando por directrices adecuadas para la solución correcto, se realiza el levantamiento de los materiales a utilizar.

El bombeo de agua con esta tecnología tiene diversas aplicaciones, por ejemplo: abastecer de agua a poblaciones o sectores poblacionales que no cuentan con suministros de agua convencional, o para utilizarlo en un sistema de riego alternativo y eco-sustentable.

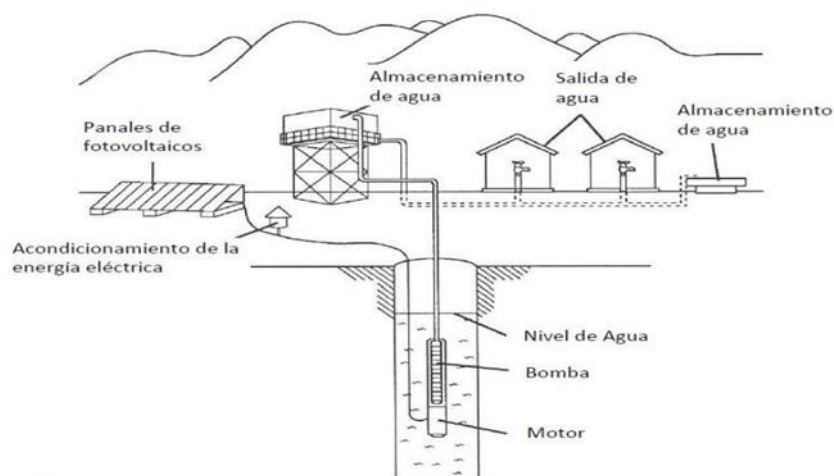


Figura 2.1: levantamiento de materiales.

La figura 2.1 muestra la configuración que se debe utilizar para suministrar agua a viviendas de forma constante, sin tener la necesidad de conectarse a los sistemas convencionales.

Estas instalaciones solares tienen su funcionamiento pleno en días soleados, mientras tanto, en días de nubosidad, se puede almacenar el agua lluvia en un estanque, para poder suministrarla en días donde los paneles no puedan captar energía para transformarla. Es por lo anterior que se debe contar con un almacenamiento en altura, para poder aprovechar la energía potencial gravitatoria que posee.

2.1 Selección de componentes

2.1.1 Paneles solares

Al momento de implementar un panel solar, se debe tener en consideración las características del lugar en donde serán instalados, contemplando factores importantes como el tipo de celda a utilizar, coeficientes de degradación de los paneles y los coeficientes de trabajo a distintas temperaturas. Esto se deben analizar y dejar a criterio, según las siguientes directrices:

- Los paneles y sus celdas están conectadas en serie a un filamento conductivo para formar el panel en sí. Debido a esto, se priorizará una estructura completamente conectada, sin uso de soldadura.

- El coeficiente de degradación no debe ser superior a 0.7% - 0.8%, ya que implicaría negativamente en la vida útil del sistema. Este coeficiente se verá reflejado mediante un gráfico que permite observar la energía generada por los años de vida útil indicados por el fabricante.
- El coeficiente de temperatura debe ser lo más bajo posible. Ya que esta afecta directamente a la cantidad de energía que puede producir, y funcionará de manera óptima a bajas temperaturas.

A su vez, se debe considerar la instalación de paneles en un sector en donde las horas luz efectivas no sean opacadas con sombras de árboles u otros objetos, para proporcionar los mejores resultados y asegurando una buena eficiencia en su generación. Aparte que suponen un riesgo, debido a un fenómeno denominado **Hotspot** y este ocurre cuando una parte del panel esta sombreada deja de hacer efecto de generador convirtiéndose en efecto de resistencia por la energía de las demás celdas que captan la energía del sol y aún circula por el sector sombreado del panel.

2.1.2 Bomba para pozo

Las bombas se deben seleccionar de acuerdo con las exigencias del proyecto tanto en las elevaciones de altura como en el caudal requerido y características del fluido a transportar. Con la premisa anterior, se requiere de una bomba para pozo profundo, en el cual el diámetro de la perforación es de 4" para transportar agua a un sistema domiciliario.

El sector más alto de la cabaña está alejado 70 metros en distancia horizontal desde la posición eje del pozo y a 12 metros en distancia vertical del pozo. La profundidad ya existente del pozo es de 42 metros.

Se requiere de un controlador para poder configurar la operación de la bomba. Debe considerarse el uso de filtros para poder mejorar la calidad del agua en su distribución al sector. Se requiere que la bomba sea de pozo profundo.

2.1.3 Almacenamiento de energía

La batería por utilizar para el proyecto es del tipo Off Grid, y debe ser de uso exclusivo para energía renovable puesto que experimentan constantes ciclos de carga y descarga.

Se requiere que este almacenamiento sea libre de mantenciones y con una vida útil que perdure en el tiempo, funcionando correctamente en un rango de temperaturas desde -5°C hasta 35°C.

2.1.4 Soporte de paneles

El soporte de paneles debe ser regulable manualmente en cuanto al ángulo de ataque y la orientación que se requiera, para poder aprovechar un mayor porcentaje de generación eléctrica y utilizar los datos obtenidos desde la página web del explorador solar.

El material del soporte debe resistir factores climáticos diversos durante todo el año. Normalmente están hechos de acero galvanizado o aluminio, materiales que ofrecen alta resistencia a la corrosión y durabilidad.

2.1.5 Estanque de agua

El estanque por seleccionar debe ser reforzado, para su uso en diferentes climas y debe instalarse sobre el nivel de la construcción de las viviendas, aprovechando su diferencia de altura para trasladar el agua a la cabaña.

2.1.6 Materiales adicionales

Para completar la instalación del sistema fotovoltaico, además de los componentes principales como paneles solares, inversores, controladores y baterías, se necesita de otros materiales adicionales para completarla y asegurar el funcionamiento del sistema. Estos materiales incluyen:

- Cables de DC (corriente continua): Utilizados para conectar los paneles solares al controlador de carga y este a las baterías. Se recomienda utilizar cables de cobre de alta conductividad con aislamiento UV para exteriores.
- Cables de AC (corriente alterna): Utilizados para conectar el inversor a la red interna de la cabaña. Se utilizarán cables de cobre con aislamiento adecuado para interiores.
- Conectores MC4: Conectores específicos para paneles solares, que aseguran conexiones seguras y duraderas entre los paneles y otros componentes del sistema.

2.2 Costos

Para el proyecto, se necesitará de lo siguiente:

- Altura de traslado mínima de 122,67 mt para poder alcanzar una torre de agua.
- Profundidad máxima de la bomba de 42 metros, por pozo ya existente.
- 300 metros de cable solar: \$503,49 USD
- Conectores para el sistema solar: \$463,50 USD
- Estanque de 10.000 litros de agua: \$953,42
- 40 metros de cable sumergible: \$84,05 USD

A su vez, en base al explorador solar, la inclinación ideal del panel solar para que alcance su máximo potencial es de 29° con respecto a la horizontal y con -12° con respecto al azimut, es por lo que el soporte para los paneles solares deberá tener la inclinación definida.

2.2.1 Bomba de pozo profundo

Basado en las necesidades que requiere el proyecto, se requiere de una bomba que pueda levantar 122,67 metros de agua mínimo, además de poder ser accionado a través del sistema solar a instalar, se busca de una bomba que tenga un buen rendimiento a esta altura.

Se selecciona una bomba de la marca AllWell 1,5 HP y un diámetro de 3”, con una altura de elevación de 160 metros máximo con su mayor eficiencia a los 116 metros de levante y con un caudal máximo de 45 l/min, siendo su mejor rendimiento en los 25 l/min, y una buena opción para el proyecto en cuanto a eficiencia.



Figura 2.3: Bomba AllWell 1,5 HP.

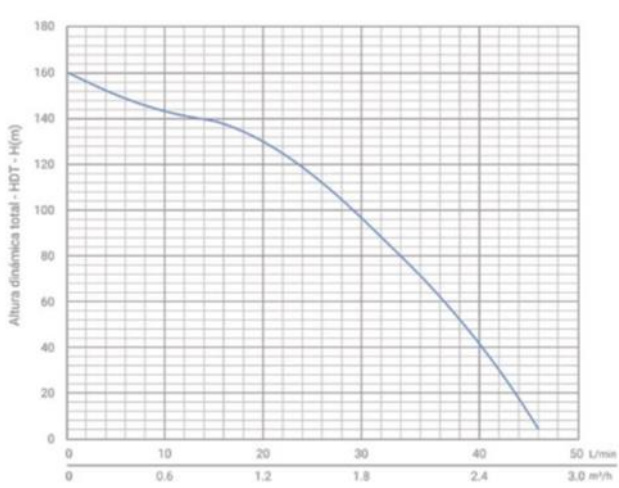


Figura 2.2: Diagrama de funcionamiento altura vs caudal.

Su funcionamiento consume 1,1 kWh, por lo cual se calcula el uso diario de funcionamiento, en base a la capacidad que soporta el estanque seleccionado, que el presente caso se utilizará uno de 10.000 litros.

Desde el estanque, se puede obtener a cantidad de tiempo que se demoraría la bomba en llenar el estanque, con la ecuación siguiente.

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

Q: Corresponde al Caudal

V: Corresponde al volumen

t: Corresponde al Tiempo

$$Q = 40\text{ l/min}$$

$$V = 10.000\text{ l}$$

Realizando el despeje matemático correspondiente para conseguir el tiempo que necesario para el llenado del estanque es el siguiente

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{10.000}{40}$$

Lo cual, nos resultaría que la utilización de la bomba es de 250 min , lo que representaría unas 4 horas aproximadamente. Complementando que aproximadamente, una persona

consume 120 litros de agua al día, nos resulta que se puede utilizar para 10 cabañas, que habiten 5 a 8 personas, con esta capacidad. Por lo tanto, la bomba funcionaría las 4 horas al día a través de accionamiento solar.

2.2.2 Panel solar

Se selecciona el panel solar de acuerdo con las necesidades que se requieren de consumo energético, considerando la cantidad que se puede generar a través de un año de consumo, asimismo se considera la cantidad utilizada en un año a través de una boleta de luz de una casa para 5 personas

Tabla 2.1: Consumo primer semestre año 2023.

Meses del año 2023	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Consumo [kWh]	203	175	174	189	206	180

Tabla 2.2: Consumo segundo semestre año 2023

Meses del año 2023	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Consumo [kWh]	234	254	300	209	196	180

Calculando el consumo total de energía que se requiere en el año, resulta de 2.500 [kWh] o un equivalente a 2,5 [MWh]. Lo anterior se traduce que, al día, se requiere de un consumo real de 6,5 [kWh/día]. Para el uso de paneles solares, siempre es recomendado que la potencia a instalar sea un poco mayor a la potencia requerida, es por lo que se recomienda incrementar a una capacidad de 8 [kWh/día].

Teniendo en cuenta que estos valores son referenciales para una vivienda, para realizar la proyección que se necesitará se hará el cálculo amplificándolo por diez para hacer representativo a las viviendas del proyecto.

El proyecto considera el uso de paneles solares con 550 Watt, por lo que se necesitarán de 30 paneles para abastecer de suministro eléctrico a las diez viviendas. , ya que se tendrá instalado [16,5 kWh], además de que el sector admite 5 horas de luz promedio durante el día, se puede aprovechar una generación máxima de 8,25 [kWh/día] para cada vivienda. Con lo anterior se abastece de energía eléctrica a una cabaña con un consumo real para cinco personas.

En el mercado existen diferentes soluciones para el proyecto, aun así, se escoge un panel de marca Risen, ya que están en la vanguardia de las energías renovables solares y constantemente invierten en investigación y desarrollo. El panel elegido es el modelo

RSM 144-9-550m, que ofrece 550 Watts con una eficiencia del 21.3%, lo cual lo hace muy atractivo para su aplicación, además cada panel tiene un voltaje de 49,8 [VDC]. Este panel está fabricado por 144 celdas monocristalinas configuradas en dos grupos de 6x12 celdas para optimizar los espacios y maximizar su eficiencia aun con zonas sombreadas. Es capaz de funcionar de forma óptima desde los -40°C hasta los 85°C .

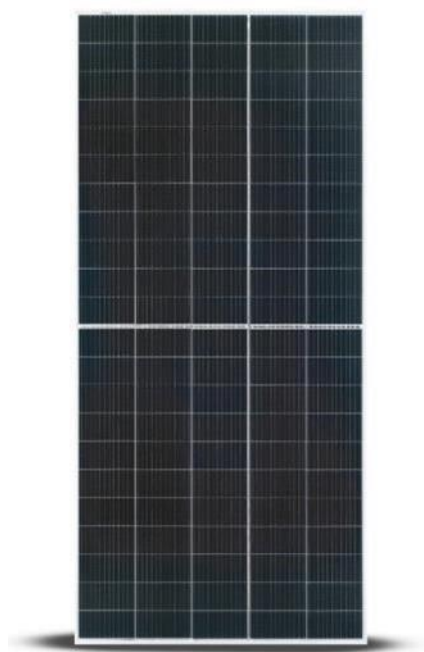


Figura 2.4: panel fotovoltaico Risen 559 Wp.

Con tres paneles solares de 0,55 [kWh] se obtiene una capacidad de 1,65 [kWh], lo que homologaría un consumo promedio para cada cabaña. Además de que cada panel tiene un voltaje de 49,8 [VDC], lo cual con tres paneles se obtendrán 149,4 [VDC]. Por otro lado, cada panel contiene un amperaje de 13,04 [A], lo que en total aportará esta misma cantidad al sistema. Estos datos serán el criterio de selección para un inversor de corriente que permitirá conseguir corriente alterna.

2.2.3 Batería

Para la batería se selecciona una de tipo AGM (figura 2.5), ya que en el mercado son las que presentan un costo beneficio mayor que las otras, además de ser libre de mantenimiento y duraderas en el tiempo, además de poder ser guardada en un punto fijo y con protecciones para evitar su manipulación accidental.

Se selecciona una de 12 volts con un amperaje de 200 Ah, la cual bastará para el funcionamiento unitario por cabaña, pudiendo aportar al hogar una potencia de 2,4 [kWh] de peak a plena carga.

Estas baterías almacenarán la energía generada durante el día para su uso nocturno y en días nublados, asegurando un suministro constante.



Figura 2.5: Batería 200 Ah, 12 V, UltraCell

2.2.4 Controlador de carga

El controlador de carga se debe seleccionar de acuerdo con el voltaje de la batería, el cual se ha seleccionado una de 12 volts. Asimismo, el controlador debe soportar las cargas que le llegan del panel solar, por tanto, debe soportar una potencia de 150 voltios y 13,04 amperios.

Para satisfacer los requerimientos del sistema unitario, se selecciona un controlador de carga de la marca EPEVER (figura 2.6), el cual soporta una potencia de 150 voltios, y 60 amperios en su funcionamiento.

Es un controlador de carga inteligente que puede verificar directamente el estado energético que tienen los paneles voltaicos en tiempo real, además de poder visualizar el estado que se encuentran las baterías, todo lo anterior gracias a una pantalla en donde se puede monitorear las condiciones de funcionamiento y protege el sistema de sobrecargas y cortocircuitos.



Figura 2.6: Controlador de carga EPEVER.

2.2.5 Inversor de corriente

En base a las características ya presentes en el sistema, se considera un inversor de 1500 watos o más y con una entrada de 12 voltios, para obtener una salida de 220 volts y 50 Hertz de frecuencia. Cuenta con la capacidad de transformar la corriente en una onda senoidal pura, para que todos los componentes eléctricos funcionen sin ningún inconveniente y sin riesgo de daños.

Para esto, se selecciona un inversor de la marca Enertik (figura 2.7), el cual ofrece esta solución, además de aprovechar la eficiencia energética disminuyendo las pérdidas en la conversión de DC en AC. Este inversor permite una salida de 1800 watos máximo para transformación de energía utilizable.



Figura 2.7: Inversor de corriente Enertik.

Este inversor también proporciona protección contra sobrecarga, cortocircuito, sobrecalentamiento y baja tensión de batería.

2.3 Medición huella de Carbono

El cálculo de la huella de carbono en nuestro país está organizado principalmente por la entidad HuellaChile, programa que se encarga en la gestión del Carbono. A través de su plataforma, tanto empresas como titulares independientes pueden hacer uso de ella mediante el rol tributario asociado al sistema de servicios impuestos. Adicionalmente, la página provee de información general a modo de material de apoyo para fines prácticos que se necesiten conocer.

De acuerdo a la base de datos existente de HuellaChile, se obtienen los factores de emisión de distintas actividades, materiales y el alcance que presenten con la acción a fin por analizar.

A continuación, se presentarán dos casos de medición de la huella de carbono, en donde se contempla el sistema de red eléctrica convencional que existe en el lugar. Y por otro lado, lo que se emitiría con el sistema fotovoltaico:

2.3.1 **Huella de carbono: Sistema convencional eléctrico**

En el caso de la emisión que se obtiene por el suministro de energía convencional, podemos obtener el factor de emisión que proporciona el ministerio de Energía para realizar los cálculos pertinentes al sistema eléctrico existente.

Según el consumo anual de energía se calcula la huella de carbono por medio de la siguiente ecuación:

$$HC = Consumo [kWh] * Factor de emisión$$

2	Emisiones indirectas provenientes de electricidad importada	Factor de emisión del Sistema eléctrico Nacional 2023 (SEN)	0,2421	kgCO ₂ e/kWh	Energía Abierta, Ministerio de Energía.
Observación: este factor corresponde al promedio anual 2023 y se debe multiplicar por el consumo eléctrico anual en kWh.					

Figura 2.8: Factor de emisión para emisiones eléctricas.

Obtenida en: <https://huellachile.mma.gob.cl/recursos-material-de-apoyo/>

Como se muestra en la figura 2.8, el factor de CO₂ equivalentes corresponde a 0,2421 [kgCO₂e/kWh]. Este valor es el promedio anual del año 2023, en donde este se debe multiplicar por el consumo eléctrico anual.

El consumo total en un año aproximadamente es 2.500 [kWh] considerando el periodo del año 2023. Esto representa el consumo para una vivienda promedio, por lo que para fines del proyecto se amplifica dicho consumo para la estimación de diez cabañas, por lo que el consumo total es de 25.000 [kWh/año].

El resultado para la huella de carbono del sistema eléctrico convencional, por medio de la ecuación descrita anteriormente se representa de la siguiente manera

$$HC = 25.000 * 0,2421 \frac{kgCO_2e/kWh}{kWh/año}$$

Despejando la ecuación el resultado obtenido es de 6.052,5 [kgCO₂e/año].

2.3.2 Huella de carbono: Sistema fotovoltaico

La etapa de extracción y fabricación comprende un amplio rango de actividades, incluyendo la obtención de materias primas, el procesamiento de materiales y su integración en productos finales. Aunque los detalles específicos dependen del tipo de panel fotovoltaico, como los de película delgada, monocristalino, policristalino, multicristalino, sensibilizados por colorantes o puntos cuánticos, el proceso de extracción involucra actividades como la minería, refinación y purificación de metales, minerales y otros materiales esenciales para la producción de los paneles. Además, esta etapa incluye tareas como el cableado, embalaje y todos los pasos necesarios para fabricar, ensamblar y transportar los paneles y sus componentes electrónicos hasta el lugar donde serán utilizados. Las estimaciones de la Huella de Carbono por unidad en esta etapa dependen de cada fabricante, según los resultados obtenidos (Nugent & Sovacool, 2014) para la fabricación de un panel solar se tiene [498 kgCO₂e/kWh].

Básicamente, estas medidas representan la cantidad de GEI liberados en gramos por cada kWh de electricidad que proporciona la tecnología de los paneles fotovoltaicos.

El controlador de carga-batería es un dispositivo fundamental en sistemas fotovoltaicos. Si bien cumple diversas funciones, como cargar la batería y suministrar electricidad, su principal tarea es gestionar el almacenamiento de energía. Debido a esta función, similar a la de una batería, se decidió calcular su Huella de Carbono por unidad de energía almacenada. Siguiendo la metodología de Liang et al. (2017), se asignó al controlador una Huella de Carbono equivalente a [720,7 kgCO₂e/kWh].

Otros componentes, como la iluminación y los tomacorrientes, se omitieron en el análisis, ya que su impacto ambiental es similar tanto en sistemas fotovoltaicos como en aquellos conectados a la red eléctrica convencional.

Para la succión de agua por medio de la bomba, en base a lo que entrega la base de datos de HuellaChile, respaldado por lo estipulado por el departamento de medio ambiente del Reino Unido (DEFRA), que para actividades donde se adquiriera agua para suministro y/o tratamiento existen su factor de emisión respectivos. Para casos de estudios se utiliza el factor descrito en la figura 2.9.

3	Otras emisiones indirectas – Adquisición de bienes y servicios	Suministro de agua potable	0,177	kgCO ₂ e/m ³	DEFRA 2023 – Hoja “Water supply”
Observación: Este factor de emisión se debe multiplicar por los metros cúbicos de agua potable adquirida. Los metros cúbicos de agua adquirida se pueden obtener de boletas o facturas de agua.					

Figura 2.9: Factor de emisión para suministro de agua.

Obtenida en: <https://huellachile.mma.gob.cl/recursos-material-de-apoyo/>

Teniendo esto en cuenta, el uso de agua mediante el accionamiento de la bomba, al tener un estanque de 10.000 litros, su conversión a metros cúbicos sería de 10 unidades por día. Calculando la totalidad de agua requerida en un año se obtiene que se necesitan 3600 m³ para suministrar con agua las viviendas. Por lo que el valor de emisión utilizando la ecuación descrita sería de [637,2 kgCO₂e/año].

Adicionalmente, se calcula el consumo de la bomba por la cantidad de tiempo que este en funcionamiento. En la especificación técnica de la bomba seleccionada registra de la potencia de la bomba en 1,5 HP. Su conversión a kW es multiplicando el valor de la potencia por 0,7457, la energía es de:11,2 [kW]. Y por último se obtiene el consumo en cuatro horas que esta accionada la bomba al día es de 44,8 [kWh]. En un año el consumo es de 16.128 [kWh/año].

Con el consumo obtenido se calcula la cantidad de CO₂e emitido en base al factor de emisión descrita por la figura 2.9.

$$HC = 16.128 * 0,2421 \frac{kgCO_2e/kWh}{kWh/año}$$

Despejando la ecuación el resultado obtenido es de 3.904,6 kgCO₂e. Realizando la sumatoria de lo emitido por los metros cúbicos levantados más el consumo energético, la huella de carbono emitida por el sistema de extracción de agua es de 4.541,8 [kgCO₂e/año].

2.4 Análisis económico

2.4.1 Resumen de costos

Para el proyecto se necesita de los siguientes costos asociados como inversión inicial, los cuales se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 2.3: Resumen de costos.

Componentes	Cantidad	Precio unitario (USD)	Precio total
Panel solar	30	\$ 213,64	\$ 6.409,20
Controlador de carga	10	\$ 244,15	\$ 2.441,50
Batería	10	\$ 274,68	\$ 2.746,80
Inversor	10	\$ 505,62	\$ 5.056,20
Bomba de pozo	1	\$ 233,98	\$ 233,98
Estanque	1	\$ 953,42	\$ 953,42
Materiales	-	\$ 1.051,04	\$ 1.051,04
Total			\$ 18.892,14

2.4.2 Proyección económica

El total de los gastos de la tabla 2.3 refleja el capital inicial que se debe tener para la implementación de este sistema solar. Luego, calculando la producción que puede generar con este sistema solar, se determina el ahorro energético que está proporcionando.

En base a la tabla 2.4 se puede determinar los gastos por el consumo energético en kWh de cada mes.

Tabla 2.4: Costos mensuales para un periodo de un año

Fecha de Emisión	Consumo (kWh)	Total a Pagar (USD)
03-01-2023	203	\$ 69,79
04-02-2023	175	\$ 63,79
04-03-2023	174	\$ 65,92
02-04-2023	189	\$ 68,06
05-05-2023	206	\$ 73,15
03-06-2023	180	\$ 71,62
02-07-2023	203	\$ 74,67
02-08-2023	254	\$ 78,74
03-09-2023	300	\$ 134,29
03-10-2023	209	\$ 96,95
05-11-2023	196	\$ 74,57
04-12-2023	180	\$ 69,28
Total	2469	\$ 940,83

El consumo total en un año es aproximadamente de 2500 [kWh] considerando el periodo del año 2023, y su valor es de \$940.83 USD para una cabaña. En comparación con la tabla 2.5 el sistema solar para una vivienda aporta un máximo de 9,9 [kWh] al día lo que al año se traduce en un ahorro de \$2213,12 USD.

Tabla 2.5: Ahorro estimado utilizando el sistema solar.

Fecha de Emisión	Consumo (kWh)	Total Ahorrado (USD)
03-01-2025	306,9	\$ 189,00
04-02-2025	277,2	\$ 170,71
04-03-2025	306,9	\$ 189,00
02-04-2025	297	\$ 182,90
05-05-2025	306,9	\$ 189,00
03-06-2025	297	\$ 182,90
02-07-2025	306,9	\$ 189,00
02-08-2025	297	\$ 182,90
03-09-2025	306,9	\$ 189,00
03-10-2025	306,9	\$ 189,00
05-11-2025	277,2	\$ 170,71
04-12-2025	306,9	\$ 189,00
Total	3593,7	\$ 2.213,12

La información de la tabla 2.5, es efectiva en una generación ideal con 5 horas efectivas de generación en promedio.

En base a la figura 2.10, la radiación en los meses de época invernal tiene un máximo de 508 W/m² y un mínimo de 375 W/m², lo cual afectará en la captación de energía. Sin embargo, en estos meses se puede aprovechar el agua lluvia para llenar el estanque de agua y además de contar con la batería de almacenamiento en caso de ser requerido, lo cual es una ventaja debido a que se mantendrán los servicios básicos a pesar de los días con baja radiación solar.

	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00
Enero a Diciembre	150,8726	337,095	496,0072	624,5322	703,0041042	736,137925	705,5811283	639,0470008	503,7361358	335,2649	119,5321
Enero	247,3946	475,5071	685,8541	860,3048	965,03664	1013,02373	977,63035	867,88875	712,97616	495,6279	257,1462
Febrero	210,4383	442,3904	655,3456	833,4409	956,01955	1015,51256	992,01444	886,2676	717,3612	497,801	256,0763
Marzo	180,3579	398,2956	606,0653	767,1438	858,58887	901,0163	874,2529	786,48079	635,9877	417,7531	203,7611
Abril	113,3865	301,9689	468,0821	602,5247	664,44871	722,67678	694,88375	615,43385	484,27012	307,6326	74,25223
Mayo	5,59295	178,1145	306,512	399,5464	458,45673	498,40437	471,07146	445,02807	331,49215	234,6658	0,02246
Junio	0,01222	128,0588	225,5792	331,7235	398,74018	417,35232	396,19445	413,32489	317,47652	198,5014	0
Julio	0,24336	134,5723	236,3591	323,0359	375,91335	393,98424	387,45663	389,72629	308,54719	257,7694	0,02388
Agosto	47,22222	198,6006	313,4932	420,8584	477,11021	508,83719	496,52451	481,05406	372,0137	240,176	35,88319
Septiembre	167,0402	347,1131	510,7068	621,35	680,78835	700,26752	669,00825	598,30181	464,9649	288,0702	125,6335
Octubre	246,3035	427,409	577,3224	683,4784	780,31434	780,59263	730,97386	632,78257	493,77974	303,1155	131,8202
Noviembre	306,9215	514,3723	685,9474	821,6442	891,68402	919,68951	858,22545	749,3214	571,8641	355,7718	148,0171
Diciembre	285,5576	498,7373	680,8199	829,336	928,9483	962,29795	918,73749	802,95393	634,10015	426,2941	201,7486

Figura 2.10: Resumen radiación anual en Rere en W/m2

2.5 Conexionado

La conexión del sistema fotovoltaico es una etapa crítica que garantiza que todos los componentes funcionen de manera coherente y eficiente. Esta sección describe el proceso detallado de conexión de cada uno de los componentes del sistema.

2.5.1 Conexión del sistema

En este apéndice se dará a conocer el conexionado que se utilizará en el sistema de panel solar. A su vez, estos son conectados a los elementos de control fotovoltaico y control de carga para extender la vida útil de los componentes, además de la batería y el inversor para dar energía a la cabaña y poder conectar electrodomésticos más modernos.

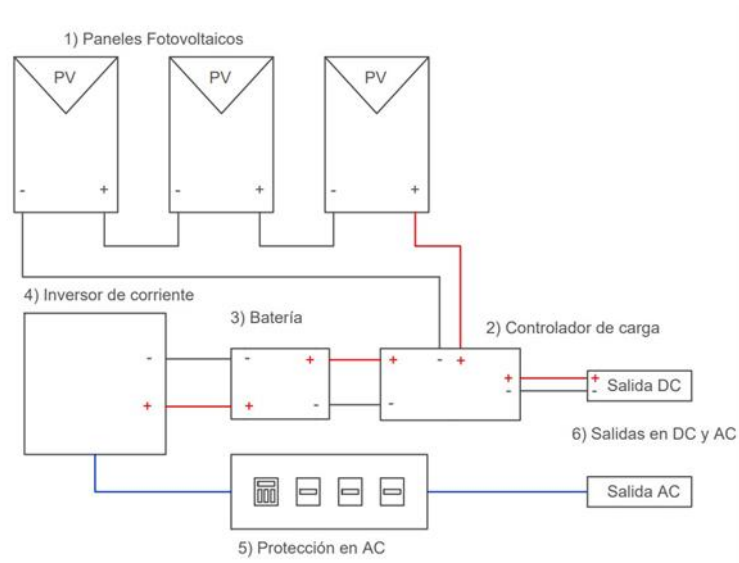


Figura 2.11: Conexionado del sistema.

Cabe destacar que la bomba puede ser configurada para funcionar con una corriente continua como también con una corriente alterna, por lo que puede ser instalada en cualquiera de las dos salidas de corriente del sistema fotovoltaico.

CAPITULO III: PROPUESTA DE MITIGACIÓN

Con el fin de estimar el área necesaria de plantaciones forestales para compensar el impacto negativo de la huella de carbono del proyecto de paneles solares, con base en la fijación de CO² por parte de dos tipos de árboles, los cuales son:

- Pino: En la región, el pino radiata es la especie que se utiliza en la forestación regional, esta contempla el 70% de la forestación total del Biobío, con 19,60 hectáreas. Mientras que el total de plantación de pino corresponde a 14.601,73 (49,34%).
- Eucalipto: De acuerdo con la base de datos de plantaciones forestales de la Conaf (2022), se obtiene que la totalidad de especies de eucaliptos en la región corresponde al 50,57% de lo plantado en la región. Lo que equivale a 14.989 hectáreas.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO), la fijación de dióxido de carbono por parte de las especies forestales nombradas está a continuación:

Especie	Rendimiento Verde	Rendimiento Seco	Fijación de CO2 por el árbol
	t/ha/año	t/ha/año	tCO2/ha/año
			F11
Eucalipto	30	19	43,58
Pino	20	11	25,23

Figura 3.1: Fijación de dióxido de carbono por especies.

Obtenida en: <https://www.fao.org/4/XII/0043-B2.htm#fn1>

Con base en la información anterior, se estiman las hectáreas necesarias para compensar la huella de carbono provocada por el sistema eléctrico y por la instalación posterior del sistema de paneles fotovoltaicos por cada tipo de árbol. Para el cálculo del área, se necesita conocer la HC en ton de CO₂

$$\sum HC \text{ año} = 6.052,5 + 4.541,8 [kgCO_2]$$
$$10.594,3 [kgCO_2] * \frac{0,001t}{1kg} = 10,6 tCO_2$$

- Eucalipto: $hectáreas\ necesarias = 10,6tCO_2 \left(\frac{1ha}{43,58tCO_2}\right) = 0,24\ ha$

• Pino: $hectáreas\ necesarias = 10,6tCO_2 \left(\frac{1ha}{25,23tCO_2} \right) = 0,42\ ha$

Para conocer la reducción de la huella de carbono con el sistema fotovoltaico, se estimó la reducción de la huella de carbono con el 25%, 50%, 75% y 100% del reemplazo de energía eléctrica proveniente del suministro eléctrico principal. Para esta estimación se utilizaron las siguientes fórmulas:

$HC = \% \text{ energía a reemplazar } \times \text{ factor de emisión}$

En donde:

- HC: Huella de carbono del sistema
- % energía a reemplazar: Son los valores por estimar, 25%, 50%, 75% y 100% respectivamente.
- Factor de emisión: 0,2421 [kgCO₂e/kWh], para la generación eléctrica.

$Reducción\ de\ HC = HC_{promedio\ anual\ convencional} - HC$

Tabla 3.1: Promedio de Huella de Carbono

Mes	Consumo (kWh)	Huella de Carbono (HC)
Enero	203	49,15
Febrero	175	42,37
Marzo	174	42,13
Abril	189	45,76
Mayo	206	49,87
Junio	180	43,58
Julio	203	49,15
Agosto	254	61,49
Septiembre	300	72,63
Octubre	209	50,60
Noviembre	196	47,45
Diciembre	180	43,58
Promedio	205,75	49,81

Tabla 3.2: Reducción de la Huella de Carbono

Porcentajes a evaluar		Porcentaje de consumo (kWh)	HC	Reducción de HC
25%	0,25	51,44	12,45	37,36
50%	0,5	102,88	24,91	24,91
75%	0,75	154,31	37,36	12,45
100%	1	205,75	49,81	0

CONCLUSIÓN Y DISCUSIÓN

La presente tesis sobre la evaluación y cuantificación de la huella de carbono asociada a la implementación de un sistema fotovoltaico para abastecimiento eléctrico en la localidad de Rere, Yumbel, representa un esfuerzo significativo para demostrar la viabilidad ambiental y económica de alternativas energéticas sostenibles en contextos rurales. Este trabajo no solo aborda la problemática del acceso a energía limpia en sectores desconectados de las redes convencionales, sino que también se enfoca en cuantificar los beneficios climáticos que un sistema fotovoltaico puede ofrecer frente a la generación eléctrica convencional.

Desde la introducción del proyecto, se estableció una hipótesis fundamental: el sistema fotovoltaico propuesto no solo permitiría suplir las necesidades energéticas de las diez cabañas proyectadas, sino que también reduciría significativamente la huella de carbono respecto a un suministro eléctrico convencional. Esta hipótesis fue validada mediante una metodología rigurosa que incluyó el análisis del ciclo de vida del sistema, el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y una comparación directa entre ambas alternativas energéticas.

Uno de los hallazgos más relevantes fue el impacto reducido del sistema fotovoltaico en términos de emisiones anuales. Mientras que el sistema eléctrico convencional para las diez cabañas emite aproximadamente 6.052,5 kgCO₂e/año, la implementación del sistema fotovoltaico genera una huella de carbono mucho menor, principalmente debido a que las emisiones asociadas a este último se limitan a las fases de fabricación, instalación y mantenimiento de los componentes. Este resultado subraya la eficiencia del sistema propuesto y su alineación con las metas climáticas nacionales e internacionales.

En cuanto al diseño técnico del proyecto, la selección de paneles solares de silicio monocristalino, baterías AGM y bombas de pozo profundo respondió a criterios de eficiencia, durabilidad y sostenibilidad. La capacidad de generar hasta 8,25 kWh por vivienda al día permite satisfacer las necesidades energéticas proyectadas, mientras que el sistema de almacenamiento garantiza un suministro constante incluso en días con baja radiación solar. Además, las estrategias de mitigación propuestas, como la compensación de emisiones mediante forestación, refuerzan el compromiso ambiental del proyecto.

Desde una perspectiva económica, los resultados también son alentadores. Aunque la inversión inicial es considerable, con un costo estimado de \$18.892,14 USD, los ahorros anuales en costos energéticos para las diez cabañas superarán los \$2.213,12 USD. Esto permite proyectar un retorno de inversión en menos de diez años, haciendo del sistema una alternativa no solo sostenible, sino también financieramente viable.

Este estudio también destaca el valor de las herramientas nacionales, como la plataforma HuellaChile, para estandarizar y facilitar el cálculo de emisiones. La utilización de estas herramientas no solo asegura la consistencia metodológica, sino que también fomenta una cultura de sostenibilidad en proyectos futuros.

En conclusión, la implementación de sistemas fotovoltaicos como el propuesto no solo constituye una solución viable para el abastecimiento energético en sectores rurales, sino que también representa un paso firme hacia la descarbonización y la promoción de energías renovables en Chile. Este proyecto se erige como un modelo replicable, capaz de contribuir significativamente a la reducción de emisiones de GEI, al desarrollo rural sostenible y al cumplimiento de las metas climáticas del país. Asimismo, abre la puerta a futuras investigaciones que profundicen en las mejoras tecnológicas, las estrategias de mitigación y la adaptación de estos sistemas a diferentes contextos geográficos y sociales.

BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Tienda de Solartex, controlador fotovoltaico de marca Solartex.
Página web: <https://www.solartex.cl/tienda/producto/controlador-solar-mppt-10a-12-24vtriron1206n/>
- Tienda de Solartex, panel solar monocristalino marca Risen de 550 kW.
Página web: <https://www.solartex.cl/tienda/producto/panel-solar-410-watts-canadian-solarmono-perc/>
- Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, Ministerio de Energía de Chile. Página web:
https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/guia_operacionmantenimiento_final.pdf
- Componentes de una instalación solar fotovoltaica, McGraw Hill Education.
Página web: <https://www.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448171691.pdf>
- Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos, Ministerio de Energía de Chile. Página web:
www.energia.gob.cl/sites/default/files/guia_operacionmantenimiento_final.pdf
- Explorador Solar, Ministerio de Energía de Chile.
Página Web: www.solar.minenergia.cl/exploracion
- Tienda de Natura Energy, regulador de carga marca Epever. Página web:
<https://www.naturaenergy.cl/product/regulador-de-carga-epever-150v-60a-12-24-48v-lcd-mppt>
- Tienda de Vitel Energía, kit de montaje panel solar ajustable. Página web:
<https://vitelenergia.com/es/kit-estructura-inclinado-ajustable-15-a-30.html>
- Tienda de Enertik, inversor de corriente senoidal puro 1800 [W] Página web:
<https://enertik.com/cl/tienda/inversores-senoidal-pura-2/inversores-senoidalpura/inversor-de-onda-senoidal-pura-12v-220v-1800w/>
- HuellaChile, Ministerio de Medio Ambiente.
Página Web: <https://huellachile.mma.gob.cl/>

- Nugent Daniel, Sovacool Benjamin K (2014). *Assessing the lifecycle greenhouse gas emissions from solar PV and wind energy: A critical meta-survey*. Pagina web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421513010719>
- Liang, Y., Su, J., Xi, B., Yu, Y., Ji, D., & Sun, Y. (2017). *Life cycle assessment of lithium-ion batteries for greenhouse gas emissions. Resources, conservation and recycling*. Pagina web: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921344916302324>
- Plantaciones Forestales, manejo de ecosistemas. CONAF.
Pagina web: <https://www.conaf.cl/centro-documental/informe-plantaciones-forestales-2022/>
- FAO (2004). Fijación de dióxido de carbono en plantaciones forestales.
Página web: <https://www.fao.org/4/XII/0043-B2.htm#fn1>

Anexo 2, Ficha técnica de panel solar

DATOS ELÉCTRICOS (STC)

Número de modelo	RSM144-9-535M	RSM144-9-540M	RSM144-9-545M	RSM144-9-550M	RSM144-9-555M
Potencia nominal en Watts-Pmax (Wp)	535	540	545	550	555
Voltaje de circuito abierto-Voc (V)	49.50	49.60	49.70	49.80	49.91
Corriente de cortocircuito-Isc (A)	13.64	13.74	13.84	13.94	14.04
Voltaje de potencia máximo-Vmpp (V)	41.87	41.99	42.11	42.20	42.29
Corriente de potencia máxima-Impp (A)	12.79	12.87	12.96	13.04	13.13
Eficiencia del módulo (%) ★	20.7	20.9	21.1	21.3	21.5

STC: Irradiancia 1000 W/m², Temperatura de celda 25 °C, Masa de aire AM1.5 según EN 60904-3.

★ Eficiencia del módulo (%): redondeo al número más cercano

DATOS ELÉCTRICOS (NMOT)

Número de modelo	RSM144-9-535M	RSM144-9-540M	RSM144-9-545M	RSM144-9-550M	RSM144-9-555M
Potencia máxima-Pmax (Wp)	398.5	402.0	405.8	409.4	413.3
Voltaje de circuito abierto-Voc (V)	46.68	46.77	46.87	46.96	47.07
Corriente de cortocircuito-Isc (A)	11.18	11.27	11.35	11.43	11.51
Voltaje de potencia máximo-Vmpp (V)	38.70	38.80	38.90	39.00	39.10
Corriente de potencia máxima-Impp (A)	10.30	10.36	10.43	10.50	10.57

NMOT: Irradiancia a 800 W/m², temperatura ambiente 20 °C, velocidad del viento 1 m/s.

DATOS MECANICOS

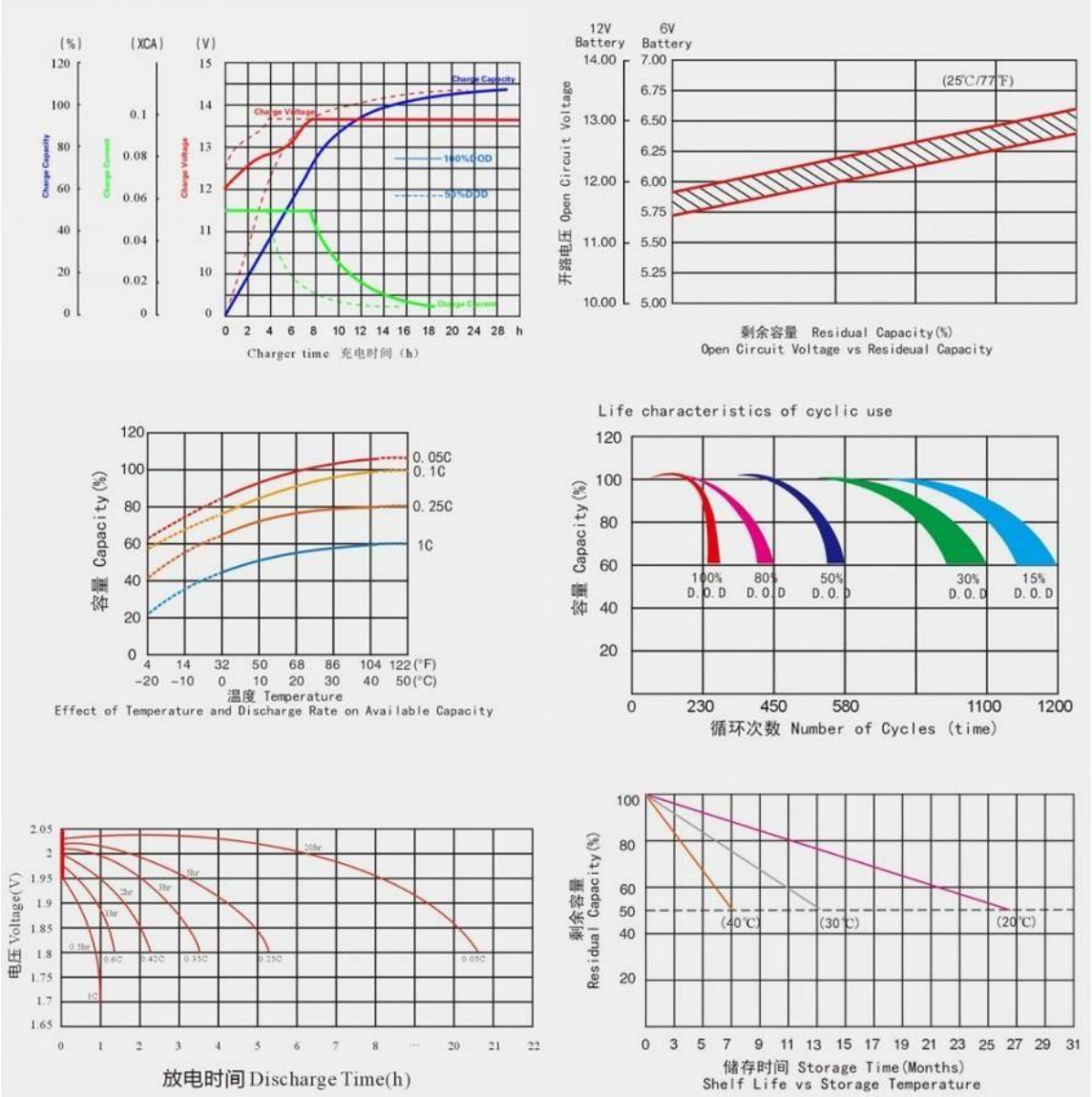
Células solares	Monocrystalino
Configuración de celda	144 celdas (6×12+6×12)
Dimensiones del módulo	2279×1048×35mm
Peso	27.8kg
Superar	Alta transmisión, bajo contenido de hierro, vidrio ARC templado
Sustrato	Sábana blanca
Marco	Aleación de aluminio anodizado tipo 6063-T5, color plateado
Caja J	Encapsulado, IP68, 1500VDC, 3 diodos de derivación Schottky
Cables	4.0mm² (12AWG), positivo(+)350mm, negativo(-)230mm (Conector incluido)
Conector	Risen Twinsel PV-SY02, IP68

Anexo 3, Ficha técnica controlador fotovoltaico

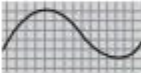
Electrical parameters		TRIRON 1206N	TRIRON 2206N	TRIRON 1210N	TRIRON 2210N	TRIRON 3210N	TRIRON 4210/15N
Nominal system voltage		12/24VDC auto work					
Rated charge current		10A	20A	10A	20A	30A	40A
Rated discharge current		10A	20A	10A	20A	30A	40A
Battery input voltage range		8~32V					
Max. PV open circuit voltage		TRIRON**06N : 60Vat Min operating environment temp; 46Vat 25℃environment temp TRIRON**10N :100Vat Min operating environment temp; 92Vat 25℃environment temp TRIRON**15N :150Vat Min operating environment temp;138Vat 25℃environment temp					
MPP voltage range		(Vbat+2V)~36V			TRIRON**10N : (Vbat+2V)~72V TRIRON**15N : (Vbat+2V)~92V		
Max.PV input power		130W/12V 260W/24V	260W/12V 520W/24V	130W/12V 260W/24V	260W/12V 520W/24V	390W/12V 780W/24V	520W/12V 1040W/24V
Battery type		Sealed / Gel / Flooded;LiFePO4 / Li-NiCoMn / User					
		Lithium battery(LiFePO4 /Li-NiCoMn/User)					
◆ Lead-acid batteries	Equalize charging voltage	Sealed: 14.6V, Flooded: 14.8V, User-defined: 9~17V					
	Boost charging voltage	Gel: 14.2V, Sealed: 14.4V, Flooded: 14.6V, User-defined: 9~17V					
	Float charging voltage	Gel /Sealed /Flooded: 13.8V, User-defined: 9~17V					
	Low voltage reconnect voltage	Gel /Sealed /Flooded: 12.6V, User-defined: 9~17V					
	Low voltage disconnect voltage	Gel /Sealed /Flooded: 11.1V, User-defined: 9~17V					
◆ Li-battery	Boost charging voltage	LiFePO4:14.4V; Li-NiCoMn: 12.4V; User:9-17V					
	Float charging voltage	LiFePO4: 13.6V; Li-NiCoMn: 11.8V; User:9-17V					
	Low voltage reconnect voltage	LiFePO4:12.4V; Li-NiCoMn: 10.40V; User:9-17V					
	Low voltage disconnect voltage	LiFePO4:11.0V; Li-NiCoMn: 9.20V; User:9-17V					



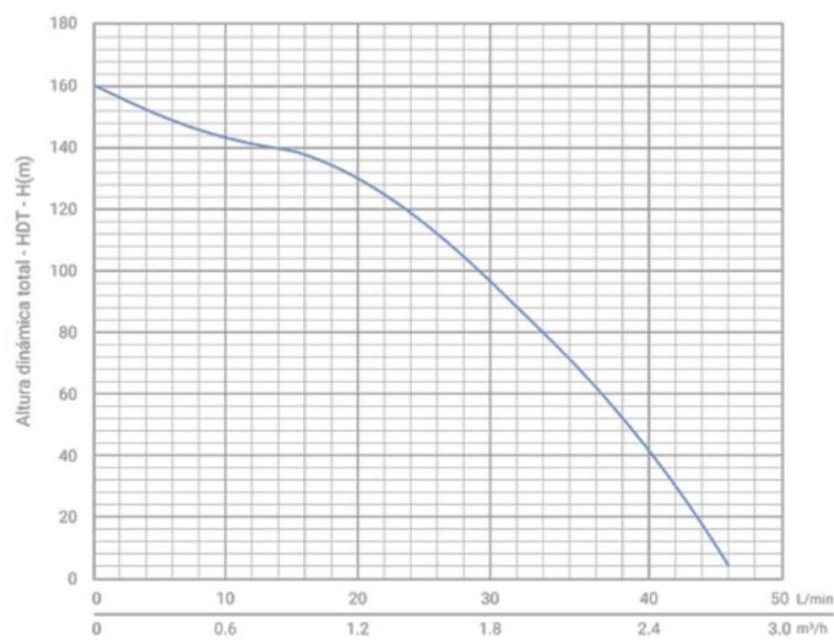
Anexo 4, Ficha técnica batería.



Anexo 5, Ficha técnica inversor de corriente.

ESPECIFICACIONES			
MODELO	IS-1800-12	IS-1800-24	IS-1800-48
Potencia continua de Salida	1800W		
Potencia máxima de Salida en pico	3600W		
Entrada CC	12V	24V	48V
Voltaje de Salida	230VAC		
Frecuencia	50Hz / 60Hz±3% (Seleccionable)		
Eficiencia	>87%		
Corriente en Vacío	0.7A	0.35A	0.2A
Corriente en Vacío (en modo Eco)	0.1A	0.05A	0.03A
Activación del Modo Eco	Detección de consumo automática (Una vez por cada 5 sec). Se desactivará el modo eco cuando el consumo es >50W(±10W)		
Forma de Onda	Senoidal Pura		
Distorsión	<3.5%		
Protección de Temperatura	(55°C±5°C)		
Protección Bajo Voltaje de Entrada	Sí		
Alarma Bajo Voltaje de Entrada	Sí		
Protección de Polaridad Invertida (Entrada)	Sí		
Protección de Cortocircuito	Sí		
Protección de Sobrecarga	Sí		
Dimensiones (LxAxA) en mm	430 x 180 x 90		
Peso neto en Kg.	5		

Anexo 6, Tabla de rendimiento bomba.



Anexo 7, Respuesta de la bomba a 2850 rpm/min.

SKU	Modelo	Potencia		Respuesta de la bomba 2850 rpm/min								Valor Neto
BMP0102215	220v - 240 v	KW	HP	Q l/min	0	8	17	25	33	41	46	\$193.269
				Q m³/h	0	0.5	1	1.5	2	2.5	2.8	
	75QJD140-1.1	1.1	1.5	H(m)	160	147	136	116	86	49	4	