



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA DE
VALPARAÍSO



Diego Patricio Guerrero Bustos

**Diseño de un Sistema Fotovoltaico
para Sistemas de Agua Potable de tres
Villorios en la Pampa de la Región de
Tarapacá**

Informe Proyecto de Título de Ingeniero Eléctrico



**Escuela de Ingeniería Eléctrica
Facultad de Ingeniería**

Valparaíso, 27 de febrero de 2018



Diseño de un Sistema Fotovoltaico para Sistemas de Agua Potable de tres Villorios de la Pampa de la Región de Tarapacá

Diego Patricio Guerrero Bustos

Informe Final para optar al título de Ingeniero Eléctrico,
aprobada por la comisión de la
Escuela de Ingeniería Eléctrica de la
Facultad de Ingeniería de la
Pontificia Universidad Católica de Valparaíso
conformada por

Sr. Paulino Vicente Alonso Rivas
Profesor Guía

Sr. Sergio Patricio Valencia Santelices
Segundo Revisor

Valparaíso, 27 de Febrero de 2018

Para mis padres, hermanos, abuela y polola, en especial a mi madre.

Agradecimientos

Este trabajo no se habría podido realizar sin la ayuda incondicional de mi familia, en especial a mis hermanos, Daniel y Marcelo, mis padres Ximena y Diego, mi abuela Olivia, sin ellos el camino largo de esta carrera habría sido más difícil de lo que fue. Mención especial a mi madre que gracias a ella estudio ingeniería y a sus constantes ánimos de motivación para ser una mejor persona, tanto en lo profesional como en lo personal.

También los agradecimientos a mi polola de toda la vida Marlyn, que me aguantó en cada momento malo y siempre ha estado conmigo, en las buenas y malas, sobre todo cuando el camino se puso cuenta arriba, a principios de la carrera. Impresionado de su paciencia y amor infinito.

Mención también para los amigos se fueron forjando en estos largos años, a punta de estudio y buenos momentos, de fiestas y deportes, dentro de ellos se encuentra Diego Osorio, Cristian Villablanca, Juan Ramirez, Victor Cabrera, Matias Ramirez, David Barra, Francisco Reyes y Roberto Astorga, entre otros.

Valparaíso, 26 de Febrero de 2018

Diego Guerrero Bustos

Resumen

En este proyecto se muestra el desarrollo completo de un sistema fotovoltaico para tres villorios de la pampa de la primera región de Chile, que se encuentran a 4.000 m.s.n.m. que alimenta un sistema de agua potable.

En el inicio de este proyecto se crea un marco teórico, donde se explica cómo funciona cada elemento de una instalación fotovoltaica, como se transforma la radiación solar en energía eléctrica, para qué sirve el inversor, el regulador de carga, las baterías, etc. Que interioriza en los aspectos técnicos y entrega un piso para entender lo que se desarrolla más adelante.

Luego se continúa con el análisis de los datos de radiación de los lugares a instalar el sistema de potabilización de agua alimentado por energía solar fotovoltaica, en donde se puede ver que es un lugar privilegiado para el uso de este tipo de energía.

Para dimensionar el sistema eléctrico es necesario conocer los consumos que este tiene, es aquí donde se tiene especial cuidado con los elementos que componen el sistema de potabilización, como la bomba eléctrica y los consumos extras que pueda tener la instalación como la iluminación, enchufes y todo elemento necesario.

Al continuar, los consumos se entregan a un software que calcula los elementos necesarios para que el sistema funcione correctamente, luego esto es comprobado por un desarrollo manual y se entiende que ambos métodos llegan al mismo fin, por ende se ocupan los datos descritos ahí.

Luego, se seleccionan los elementos que se utilizan en la instalación acorde al mercado nacional, la marca, los parámetros, y las cantidades de acuerdo a lo analizado en capítulos anteriores. También se analiza la instalación de un sistema de protección contra rayos debido a la ubicación geográfica de la instalación y los daños que estos pueden causar al sistema.

Para finalizar se hace un estudio económico, donde se determinan los costos involucrados en este proyecto, el valor económico de los paneles fotovoltaicos, bombas, inversores y todos los elementos necesarios, como así también, la mano de obra, el transporte y las utilidades del proyecto.

Palabras claves: Energía Solar Fotovoltaica, Bombas Eléctricas, Generación eléctrica, Comportamiento de elementos eléctricos a 4000 m.s.n.m.

Abstract

This project shows the complete development of a photovoltaic system for three villorios of the pampas of the first region of Chile, which are located at 4,000 m.o.n.s. which feeds a drinking water system.

At the beginning of this report, a theoretical framework is created, explaining how each element of a photovoltaic installation Works how solar radiation is transformed into electrical energy, what is the use of the inverter, charge regulator, batteries, etc. That internalizes in the technical aspects and delivers a floor to understand what develops later.

Then we continue with the analysis of the radiation data of the places to install the water purification system powered by photovoltaic solar energy, where it can be seen that it is a privileged place for the use of this type of energy.

To know how to size the electrical system it is necessary to know the consumption that this has, this is where you have special care with the elements that make up the purification system, such as the electric pump and the extra consumption that the installation may have, such as lighting, plugs and all necessary elements.

When continuing, the consumptions are delivered to a software that calculates the necessary elements so that the system works correctly, after this it is verified by a manual development and it is understood that both methods reach the same end, therefore the data described there occupies.

Then, you select the elements that are used in the installation according to the national market, the brand, the parameters, and the quantities according to what was analyzed in previous chapters. The installation of a lightning protection system is also analyzed due to the geographical location of the installation and the damages that these can cause to the system.

Finally, an economic study is carried out, where the costs involved in this project are determined, the economic value of the photovoltaic panels, pumps, inverters and all the necessary elements, as well as the manpower, transportation and utilities of the draft.

Key words: Photovoltaic Solar Energy, Electric Pumps, Electric Generation, Behavior of electric elements at 4000 m.s.n.m.

Índice general

Introducción.....	1
Objetivos generales.....	3
1 Marco Teórico	4
1.1 Energía Solar.....	4
1.1 Panel Fotovoltaico	5
1.1.1 Efecto fotoeléctrico	5
1.1.2 Celdas fotovoltaicas	6
1.2 Condiciones de trabajo.....	7
1.2.1 Temperatura	7
1.2.2 Irradiación.....	8
1.2.3 Protección en un Sistema Fotovoltaico	8
1.3 Elementos de un Sistema Fotovoltaico	9
1.3.1 Regulador de Carga	9
1.3.2 Inversor	10
1.3.3 Batería.....	11
1.4 Bombas de agua	11
1.5 Potabilización de Agua	12
1.6 Válvula Selenoide	12
2 Datos de Radiación Solar de los Villorios y Efectos de la Ubicación Geográfica	14
2.1 Parámetros Solares	15
2.1.1 Ancovinto	15
2.1.2 Chijo.....	18
2.1.3 Anciaque	21
2.2 Efecto Climatológico en los Elementos.....	24
2.2.1 Paneles Fotovoltaicos.....	24
2.2.2 Bombas de Agua	25
3 Estudio de Consumo de la instalación	28
3.1 Hidrografía	28

3.2 Cálculo de Bombas	29
3.3 Consumo de Potencia.....	30
3.3.1 Ancovinto	31
3.3.2 Chijo.....	31
3.3.3 Ancuaque	32
3.4 Simulación.....	32
3.4.1 Simulación Ancovinto.....	32
3.4.2 Simulación Chijo	33
3.4.3 Simulación Ancuaque	33
3.4.4 Análisis de Datos	34
4 Protección contra descargas atmosféricas.....	35
4.1 Tipos de Sistemas de Protecciones contra Descargas Atmosféricas	35
4.1.1 Sistema Pasivo	35
4.1.2 Sistema Activo.....	35
4.2 Sistema a Utilizar	36
4.2.1 Sistema de Puesta a Tierra.....	38
5 Datos de los elementos	39
5.1 Panel Fotovovoltaico	39
5.2 Baterías	41
5.3 Regulador de Carga.....	44
5.4 Inversor	46
5.5 Conductores	47
5.6 Soportes	48
5.7 Resumen	49
5.8 Conexión.....	50
6 Costos y Evaluación Económica	53
Discusión y conclusiones.....	56
Bibliografía	59
A Electrobombas con rodete periférico.....	60
A.1 CAMPO DE PRESTACIONES	60
A.2 LIMITES DE UTILIZO.....	60
A.3 EJECUCION Y NORMAS DE SEGURIDAD	61
A.4 UTILIZOS E INSTALACIONES.....	61
A.5 GARANTIA.....	61
A.6 CURVAS Y DATOS DE PRESTACIONES.....	61
A.7 DIMENSIONES Y PESOS.....	63
A.8 CONSUMO EN AMPERIOS.....	63
B Sistema Aislado: Parámetros de Simulación Ancovinto	64

B.1 Proyecto: Ancovinto	64
B.2 Parámetros de la simulación	64
B.2.1 Orientación Plano Receptor	64
B.2.2 Características generador FV	64
B.3 Factores de pérdida Generador FV	64
B.4 Batería.....	65
B.5 Regulador	65
B.6 Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario	65
B.6.1 Parámetros principales del sistema	65
B.7 Resultados Principales de la Simulación	66
B.8 Producción del Sistema	66
C Sistema Aislado: Parámetros de Simulación Chijo.....	68
C.1 Proyecto: Chijo	68
C.2 Parámetros de la simulación	68
C.2.1 Orientación Plano Receptor.....	68
C.2.2 Características generador FV	68
C.3 Factores de pérdida Generador FV	68
C.4 Batería	69
C.5 Regulador	69
C.6 Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario	69
C.6.1 Parámetros principales del sistema	69
C.7 Resultados Principales de la Simulación.....	71
C.7.1 Producción del Sistema.....	71
D Sistema Aislado: Parámetros de Simulación Ancuaque	72
D.1 Proyecto: Ancuaque	72
D.2 Parámetros de la simulación.....	72
D.2.1 Orientación Plano Receptor	72
D.2.2 Características generador FV.....	72
D.3 Factores de pérdida Generador FV.....	72
D.4 Batería	73
D.5 Regulador.....	73
D.6 Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario.....	73
D.6.1 Parámetros principales del sistema	73
D.7 Resultados Principales de la Simulación	75
D.7.1 Producción del sistema.....	75

Introducción

En Chile el agua potable es un recurso que se debe resguardar y cuidar para que cada ser humano pueda tener acceso a ello. Para tener acceso es necesario un afluente de agua para purificar, desalinizar, o aplicar cualquier proceso para que sea bebestible y libre de contaminantes o elementos que puedan causar daños a la salud. Luego, esta debe ser suministrada a los hogares o donde la población estime conveniente y donde no existen cañerías para transportarla, se deben almacenar en estanques y la gente acercarse a ellos para obtenerla.

Para transportar la extracción de este recurso, ya sea de un pozo, piscina o afluente se necesita de bombas, purificadores y/o desalinizadores dependiendo sea el caso. Para que estos elementos funcionen es necesario el uso de la energía eléctrica y en sectores alejados de la urbanización este es un gran problema y dificulta el flujo de agua a los lugares deseados.

Ante esta necesidad es posible identificar distintos tipos de energías que se pueden transformar en energía eléctrica, que dependiendo el lugar geográfico que se encuentre hay unas más abundantes que otra. Dentro de ellas se puede identificar la energía solar fotovoltaica, que mediante celdas de materiales semiconductores transforman la energía del sol en electricidad, pero para ello es necesario cielos despejados y una irradiación estable para generar un sistema que sea confiable dentro de los parámetros exigidos por actores involucrados. También es posible identificar la energía eólica que básicamente transforma la energía potencial del viento en energía eléctrica mediante aerogeneradores, estos comienzan a generar una vez el viento supere los 3 [m/s] y se mantienen estables mientras la velocidad del viento no supere los niveles que se determina para cada sistema. Para ello es necesario contar con un flujo constante para entregar un sistema estable. Otro recurso que se encuentra grandes cantidades en el sur de Chile, es la energía hidráulica, ya sea con mini centrales de paso o pequeños embalses, este método consiste en hacer girar turbinas con la energía cinética del agua que corre por el río y generar electricidad. Es un sistema muy confiable y estable, pero se necesita encontrar con un afluente de agua que resguarde los parámetros necesarios para no provocar desestabilidad.

Como se menciona, existen distintos tipos de recursos para generar energía eléctrica, pero para ello es de suma importancia tener en conocimiento la ubicación geográfica y las condiciones del lugar, para cualquier tipo de instalación ya sea fotovoltaica, eólica o hidroeléctrica, ya que esto entrega los datos de los recursos naturales que se necesitan y con ello crear un sistema estable y

entregue una confiabilidad cercana al 100%. En Chile además, las diferencias geográficas son gigantescas, debido a lo extenso y variado del territorio y por ende también existe variedad en el clima del país. Por ejemplo, los niveles de radiación son diferentes entre Iquique y Puerto Montt, como así también los promedios de vientos que pueden alcanzar las distintas localidades. Es de conocimiento general que en el sur existe gran cantidad de ríos por ende, la instalaciones de centrales de paso se hace mucho más fácil y confiable en esos lugares, no así en el norte, donde en localidades cercanas al desierto de Atacama, los ríos son bastante escasos. También existe diferencia en la radiación que existe entre los dos extremos del país, ya que en el sur la radiación es baja debido a las constantes lluvias y días nublados que allí se presentan, no así en el norte donde se encuentran los cielos más despejados de todo el país y gran parte del mundo.

Tal como se menciona anteriormente, el altiplano de la Región de Tarapacá cuenta con uno de los mejores niveles de radiación del mundo, debido a que sus cielos están despejados la mayor parte del día, pero también al ser un clima desértico, presenta grandes variaciones de temperatura a través del día trayendo problemas de distinta índole en equipos electromecánicos que se puedan presentar en el lugar. También un dato importante es la altura, ya que en el altiplano se encuentran localidades que superan los 4.000 m.s.n.m. esto genera problemas en las maquinas rotatorias, como los motores, generadores y también a los elementos electrónicos los cuales necesiten de ventilación forzada, como los son los reguladores de carga, inversores por mencionar algunos.

En las localidades de Ancuaque, Chijo y Ancovinto, donde se desarrolla este proyecto, se hace presente el invierno boliviano, el cual trae grandes lluvias en los meses de verano, además de los vientos de gran intensidad que azotan las comunidades. Junto con ello, en este tipo de clima se presentan tormentas eléctricas, caídas de rayos y estos pueden destruir instalaciones eléctricas y a la vez matar a una persona si se encuentra a los alrededores del punto de caída de una descarga atmosférica, pero para ellos existen sistemas de protección contra el rayo, o también llamados pararrayos, los cuales otorgan protección tanto a la instalación eléctrica como a las personas que circulen cerca donde se encuentre ubicado la punta del pararrayos.

Pero a pesar de todos los inconvenientes que pueda presentar el lugar, la radiación solar que ahí existe, hace que sea uno de los mejores lugares en el mundo para transformar esta radiación en energía eléctrica a través de módulos fotovoltaicos. Además el lugar cuenta con grandes extensiones de tierra que se pueden ocupar para instalación de altas cantidades de paneles fotovoltaicos, dependiendo siempre de las necesidades que requiera el sistema para funcionar correctamente.

Las localidades antes mencionadas, se encuentran a casi los 4.000 m.s.n.m., existiendo baja población y de escasos recursos, por lo tanto, no es posible realizar proyectos de potabilización de agua mediante un sistema eléctrico, que sea costado por los residentes del lugar, sino que se propone que costear a través de recursos del Estado. Es por ello que este proyecto no cuenta con una tasa de retorno porque esta llevado al sistema de licitaciones que ofrece el gobierno para ayudar a las personas y hacer que sus vidas sean un poco mejor.

En estas comunidades no existe el acceso a las redes eléctricas convencionales por su distancia a las ciudades es por esto que se hace imprescindible utilizar energías renovables no convencionales, para suplir la necesidades energéticas que ahí se conllevan y retomando lo expuesto en párrafos anteriores, no existe duda en que la energía solar existente en el lugar hace que sea la única y gran alternativa para desarrollar este proyecto.

Teniendo presente que se utilizará energía solar fotovoltaica, es necesario conocer los componentes de un sistema fotovoltaico y como funciona cada uno de ellos, sus condiciones de trabajo y a las dificultades con que se enfrentan en lugares tan inhóspitos como estos, en donde la altura es un factor determinante tanto para los motores como para los componentes electrónicos, siendo este sistema la mejor solución otorgada a partir de la investigación realizada, pues se analiza la radiación existente en cada uno de los lugares.

Cabe mencionar que los tres poblados, Ancuaque, Chijo y Ancovinto, se encuentra separados entre sí con una diferencia de 20 kilómetros de distancia aproximadamente, lo que hace necesario que cada uno de ellos cuente con su propia instalación fotovoltaica. Además, se identifica que todos cuentan con afluente de agua, unos más que otros. También se analiza en su conjunto las protecciones contra descargas atmosféricas y los elementos que necesita cada uno de ellos para el correcto funcionamiento del sistema.

La lejanía de los poblados hace que el costo de la instalación se eleve debido al transporte de los elementos que se deben utilizar, ya que las baterías y paneles fotovoltaicos se deben transportar con bastante cuidado y cautela para que no sufran ningún daño.

Objetivos generales

- Diseñar un sistema eléctrico en base a energía solar fotovoltaica, para sistema de agua potable en la pampa de la Región de Tarapacá.

Objetivos Específicos

- Conocer los elementos y las condiciones de trabajo de un sistema PV
- Analizar las condiciones de irradiación y condiciones geográficas del lugar.
- Estudiar y proponer el consumo eléctrico de la instalación.
- Dimensionar el sistema PV de acuerdo a las necesidades propuestas.
- Evaluar económicamente el proyecto.

1 Marco Teórico

Para entender la generación fotovoltaica autónoma y potabilización de agua, es necesario conocer los elementos que la componen, como están formados y, la tarea que cumple cada uno de ellos dentro del sistema eléctrico. Estos componentes son los paneles fotovoltaicos, baterías, regulador de carga, inversor, bombas, cableado, entre otros.

1.1 Energía Solar

El Sol como fuente de energía, emite ondas electromagnéticas que se propagan en todas direcciones a través del espacio, una parte de ellas llega al planeta tierra y luego de pasar por la atmósfera finalmente llega al suelo terrestre.

Estas ondas llegan en formas de luz y calor, lo que se denomina radiación solar, las cuales se diferencian entre radiación directa, difusa y reflejada que se describen a continuación [1]:

- Radiación Directa: llega directamente del sol sin cambios en su trayectoria a la tierra, es caracterizada por formar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.
- Radiación Difusa: Parte de la radiación que atraviesa la atmósfera es absorbida o reflejada por las nubes, va en todas direcciones debido a las reflexiones y absorciones. Se caracteriza por no producir sombra en los objetos opacos que la interceptan.
- Radiación Reflejada: Es aquella reflejada por la superficie de la tierra, la cantidad de esta depende del coeficiente de reflexión de la superficie de la cual es reflejada. Las superficies de tipo verticales son las que reciben mayor radiación reflejada.

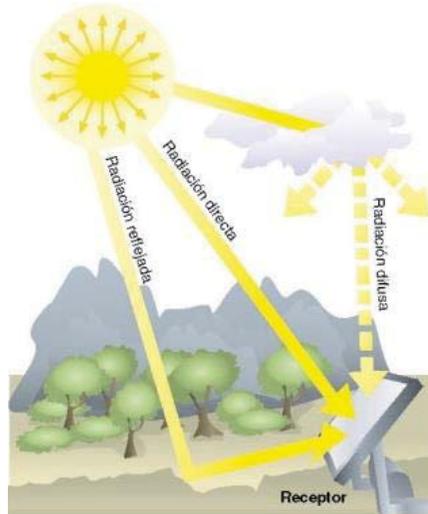


Figura 1-1: Tipos de Radiación (Fuente: <http://calculationsolar.com>)

En la figura 1-1 se puede clarificar los tipos de difusión descritas en el párrafo anterior, en donde se destaca la radiación directa que es la que más se aprovecha por el panel fotovoltaico.

Un concepto muy importante que nace de la radiación solar es la irradiación, que es la magnitud con que se mide la radiación incidente en una superficie y es medida en potencia sobre el área determinada, por lo general en metros cuadrados W/m^2 .

1.1 Panel Fotovoltaico

Para comprender el panel fotovoltaico hay que remitirse a las células fotoeléctricas y el efecto fotoeléctrico que ocurre en los materiales semiconductores por lo general, se utiliza el silicio como la base para generar las celdas.

1.1.1 Efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico es la base del proceso mediante el cual una celda fotovoltaica convierte la luz solar en electricidad.

Cuando los fotones (luz solar, radiación electromagnética) inciden sobre una célula fotovoltaica, estos pueden ser reflejados o absorbidos. Si son reflejados no tienen incidencia, pero si son absorbidos esta energía, en el interior del material semiconductor produce un efecto físico debido a que un electrón de la banda de valencia rompe su enlace covalente con el átomo y se crea una pareja hueco electrón que produce en los extremos de una unión PN, una diferencia de potencial. Con esta nueva energía, el electrón es capaz de formar parte de una corriente en un circuito eléctrico.

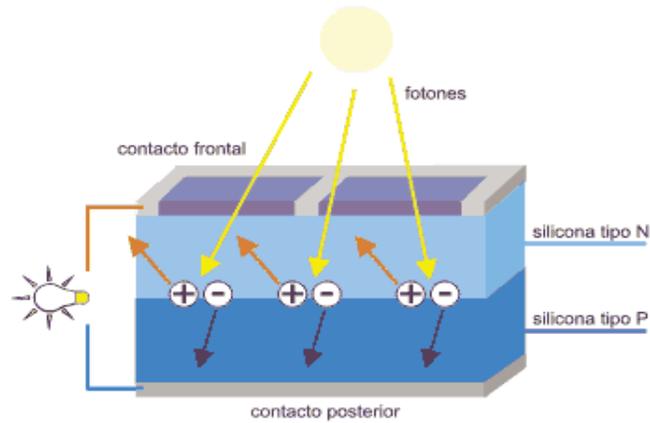


Figura 1-2. Efecto fotoeléctrico en un semiconductor del tipo PN (Fuente: <https://www.ecosistemasdelsureste.com>)

En la figura 1-2, se puede observar como inciden los rayos del sol en el material semiconductor y cómo reacciona ante la radiación al ser una unión tipo PN.

1.1.2 Celdas fotovoltaicas

Un panel fotovoltaico está compuesto por celdas fotovoltaicas las cuales cada una genera aproximadamente 0,5 [V]. El material más común para la construcción de estas celdas es el Silicio donde existen tres grandes tipos generales: monocristalinas, policristalinas y amorfas. La clasificación depende de su proceso de fabricación donde varía su rendimiento y costo [2].

- Celdas Mono cristalinas: son aquellas con se fabrican a partir de un solo cristal de silicio, se requiere de gran energía para construirla y esto tiene como consecuencia su elevado valor en el mercado. Poseen una eficiencia de conversión de entre el 15% -19%.
- Celdas Poli cristalino: Este tipo de celdas se fabrican a partir de un solo bloque de cristales, que no solo incluyen silicio. Tienen una eficiencia de conversión de energía del orden del 15%. Respecto al caso anterior poseen una desventaja ya que duran menor tiempo.
- Celdas amorfas; Estos tipos son de baja durabilidad y calidad, pero son baratos. Su eficiencia va desde un 6% a un 10%. Se construyen mediante el depósito de diferentes tipos de silicio tratado. La garantía que los productores ofrecen es de 10 años aproximadamente.

Un panel fotovoltaico está compuesto por un número determinado de celdas en serie o paralelo dependiendo que tensión y /o corriente de salida sea necesario. Por ejemplo, un panel típico de 12 [v] consta de 36 celdas en serie.

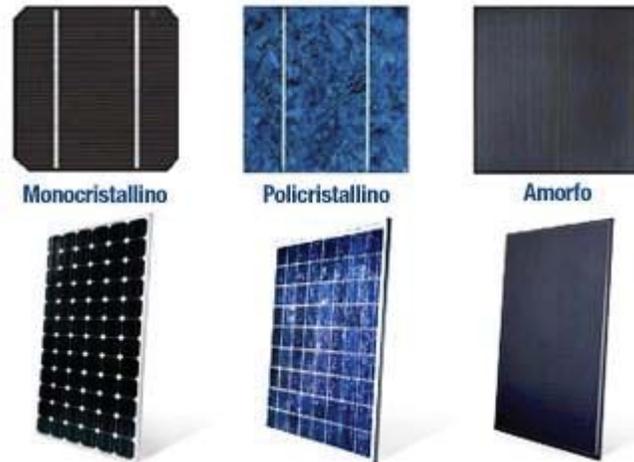


Figura 1-3 Tipos de Celdas fotovoltaicas de Silicio (Fuente(<http://www.porquecomoydonde.net>))

1.2 Condiciones de trabajo

Para que un panel fotovoltaico funcione en óptimas condiciones y poder sacar el máximo rendimiento. Hay factores ambientales que influyen en este rendimiento como por ejemplo la temperatura de trabajo, la irradiación y efecto sombra que se produce por árboles o estructuras que se encuentran cerca de la ubicación de los paneles. También es importante el ángulo de inclinación de estos.

1.2.1 Temperatura

La temperatura de trabajo de un panel produce cambios en la potencia de salida de estos. A mayor temperatura se ve disminuida la potencia de salida de estos. Como se puede apreciar en la figura 1-4 la corriente se mantiene constante con la variación de temperatura, pero el valor del voltaje de salida se ve afectado.

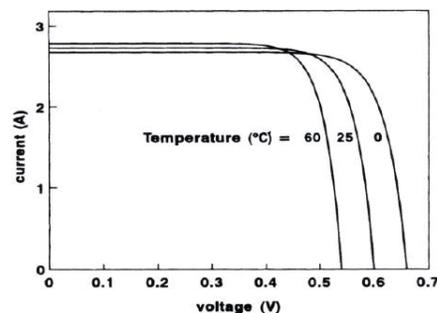


Figura 1-4. Curva de variación de potencia de salida bajo distintas condiciones de temperatura de trabajo (Fuente: <https://juanfrancisco207.wordpress.com>)

1.2.2 Irradiación

La irradiación afecta directamente en la corriente de salida y por ende también a la potencia del panel. A mayor irradiación mayor será la corriente de salida. En la figura 1-5 representa una familia de curvas de un panel fotovoltaico bajo distintos niveles de irradiación, estas curvas están dadas bajo temperatura estándar de 25°C.

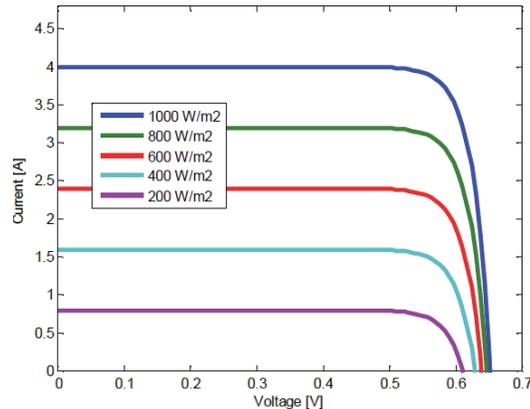


Figura 1-5. Familia de curvas bajo distintos tipos de irradiación (Fuente: <http://www.fotonia.es>)

Por ello es también importante el ángulo de inclinación de los paneles, ya que si tiene una buena orientación de acuerdo al lugar geográfico donde se instala puede captar durante más tiempo mayor irradiación. Para el hemisferio sur se recomienda siempre orientar los paneles para el norte geográfico y el ángulo dependerá de su ubicación, pero varía entre 15° y 45°.

1.2.3 Protección en un Sistema Fotovoltaico

Cuando llega sombra a los paneles o la irradiación ya no es suficiente para seguir cargando las baterías o suministrar la energía a las cargas, se produce lo que se conoce como el “efecto sombra” en curva I-V, esto significa que el panel ya no se comporta como un generador de energía, sino que pasa a ser un consumo alimentado por la batería, y se genera calor lo que produce daños irreversible a las celdas disminuyendo la vida útil de estas.

Este problema se soluciona con diodos de bypass lo cual eleva el costo de los módulos, pero los hace mucho más durable. Lo que hace este diodo es que impide que la corriente vuelva al panel una vez que ya no genere evitando puntos calientes y mejora la salida en potencia [2].

En la figura 1-6 se muestra cómo funciona el diodo de bypass. En la figura 1-6 (a) se muestra la celda en funcionamiento normal, el diodo de bypass no actúa ya que la celda está generando energía, en la figura 1-6 (b) se nota como la tensión es negativa y entra en acción el diodo de bypass impidiendo que la celda se caliente y genere problemas.

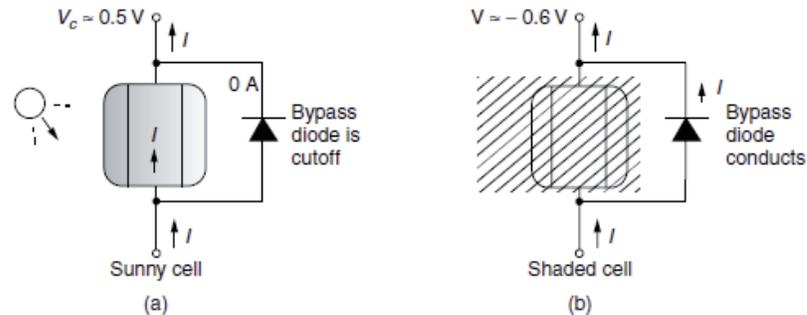


Figura1-6. Funcionamiento del diodo de bypass en una celda fotovoltaica (Fuente: Renewable and Efficient Electric Power Systems)

1.3 Elementos de un Sistema Fotovoltaico

Un sistema fotovoltaico está compuesto por diferentes elementos como son las baterías, inversores, y reguladores que se describen en los siguientes ítems.

1.3.1 Regulador de Carga

El regulador o controlador de carga es un equipo que controla los procesos de carga y descarga de las baterías, cuyas principales tareas son:

- Evita las sobrecargas de las baterías, o sea una vez cargada que no continúe cargándose, y así evitar que los paneles fotovoltaicos no continúen inyectando la misma corriente, disminuyéndola o dejando en cero. Así se evita la generación de gases y la disminución del líquido en el interior de la batería, en consecuencia, no desgastándola tanto y aumentar así la vida útil de esta.
- Controla el proceso de carga evitando que el estado de carga de la batería alcance un valor demasiado bajo cuando se está consumiendo la energía almacenada. Esto se lleva a cabo desconectando la batería de los circuitos de consumo.
- El regulador es una fuente de información de los parámetros eléctricos de la instalación. Puede proporcionar datos de la tensión como corriente, estado de carga de la batería, etc.

La conexión de estos puede ser:

- Serie: se define una tensión de salida y este procede a desconectar el arreglo fotovoltaico.

- Shunt (Paralelo): Cortocircuito del arreglo fotovoltaico y hay que agregar un Diodo de bloque para evitar que la corriente que está en las baterías se devuelva a los paneles.

Otra forma de regulación son los convertidores DC/DC ya sean de topología Buck, Boost y Buck Boost. Este tipo de reguladores permite el MPPT o Seguimiento del Punto Máximo de Potencia, es decir, como la característica de salida IV es no lineal, hay un punto de trabajo óptimo y este tipo de convertidores lo busca y lo mantiene donde la potencia extraída es máxima.

En la imagen 1-7 se puede identificar lo que es la curva no lineal IV y donde es el punto que trabaja un MPPT.

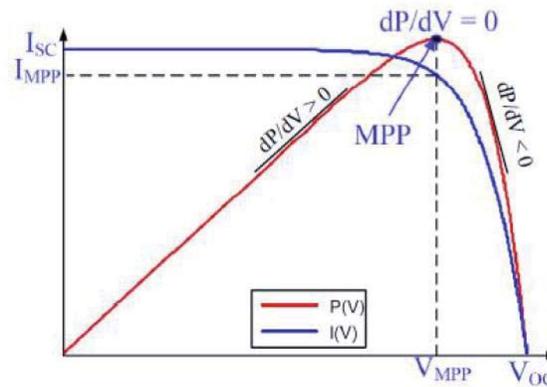


Figura 1-7. Curva I-V con MPP (Fuente: Renewable and Efficient Electric Power Systems)

1.3.2 Inversor

Este equipo cumple con la tarea de convertir la señal de tensión DC en una salida AC mediante electrónica de potencia. Esto se logra mediante la modificación de la frecuencia y la ganancia de la señal continua, normalmente se trabaja en inversores 12[VDC] a 220[VAC] en el caso que sea monofásico o 24[VDC] a 380[VAC] si es trifásico.

Las características deseadas de un inversor son:

- Salida de tensión sinusoidal
- Cumplir con la norma en tensión y frecuencia. 220[VAC] y 50 [Hz]
- Capacidades para soportar grandes variaciones en la tensión de entrada
- Regulación de la tensión de salida
- Baja generación de armónicos
- Operación a factor de potencia alto
- Capacidad de sobrecarga por tiempos cortos. Esto es en caso de partida de motores y equipos que tengan una alta corriente de partida.
- Desconexión a baja tensión de baterías
- Bajo ruido en frecuencia (RF y Radio).

Los semiconductores ocupados para este tipo de inversores son del tipo MOSFET para potencias bajas y del tipo IGBT para potencias mayores.

1.3.3 Batería

Las baterías son las encargadas de almacenar para luego suministrar energía eléctrica en momentos de baja irradiación y en la noche, donde la irradiación es nula.

Las baterías deben contar con las siguientes características:

- Descarga Profunda (70%-80%)
- Bajas corrientes de carga/descarga
- Largos tiempos de carga y descarga
- Carga y descarga variable e irregular
- Larga vida útil. Esto depende su costo
- Alta eficiencia de almacenamiento.

Hay distintos tipos de baterías para sistemas fotovoltaicos ciclo profundo [4].

- Plomo ácido selladas: Son libres de mantenimientos, pero tiene la desventaja que tienen corta vida útil.
- Gel sellado: Son de Plomo Ácido Gelificado, son libres de mantenimiento y son mejores que el plomo ácido convencional. Su desventaja radica en que no pueden soportar una corriente mayor a la especificada.
- AGM Selladas: Fibra de vidrio absorbido, son libres de mantenimiento y tienen una vida útil larga. Desventaja es su gran costo de adquisición.
- Litio: Dentro de las ventajas que estos tienen es que son muchos más livianos que las baterías convencionales, pueden sufrir descargas de un 95% en pocos minutos. La desventaja es que son muy costosas, alrededor de 1 US\$ por Wh.

1.4 Bombas de agua

Las bombas de agua son equipos que permiten la extracción de agua desde un pozo o impulsarlas de un lugar a otro. Estas bombas son un tipo de motor eléctrico que tiene consumo de energía eléctrica que depende del volumen de agua que se quiera transportar, esta energía eléctrica es suministrada por el arreglo fotovoltaico.

Existen varios tipos de bombas, pero las más utilizadas son bombas sumergibles, flotadoras o centrifugas, estas últimas son utilizadas para pozos de baja profundidad, pero de gran caudal [3].

Este tipo de bombas por lo general trabajan con corriente continua (DC) por lo tanto, es posible conectar este tipo de cargas antes del inversor y disminuir la potencia del inversor, dejado para otras cargas en corriente alterna (AC).

En la figura 1-8 muestra un ejemplo de una bomba sumergible con tensión de entrada 24[VDC] y potencia de 120[W].



Figura 1-8. Bomba de agua sumergible(<https://www.heliplast.cl>)

1.5 Potabilización de Agua

Para potabilizar el agua existen muchos métodos utilizados en la actualidad, pero un forma rápida, sencilla y seguro de hacerlo es mediante sistemas de cloración de agua. Este método logra una correcta desinfección del agua a partir de pequeñas concentraciones de cloro en un tiempo que sea determinado.

Esta cloración de agua por lo general se hace con sistemas automáticos de dosificación, medición y control de cloro libre en un depósito de tratamiento mediante recirculación del mismo. Así, se logra que la cantidad de cloro vertida en el agua sea la adecuada.

En lugares de difícil acceso a electricidad es habitual recurrir a cloración proporcional mediante un contador-emisor de pulsos y bomba dosificadora que actúa en forma proporcional a la señal proporcionada por el contador regulando la concentración de entrada [5].

1.6 Válvula Selenoide

La válvula selenoide o electroválvulas son dispositivos que se utiliza para controlar el flujo de un fluido, ya sea agua, gas, aire, entre otro. Existen de tres tipos, dependiendo el uso que se quiera dar y estos se dividen en subcategorías normalmente abierta NA o normalmente cerrada NC, los tres tipos son [5]:

- **Acción Directa:** Mediante un comando eléctrico se ordena la apertura o cierre de la válvula, por medio de un embolo.

La válvula NC cuando no está energizada el embolo permanece en posición de bloque lo que no permite el flujo de fluido y al momento de energizar la bobina es embolo es magnetizado de forma que desbloquea el orificio y deja fluir el fluido. De manera contraria cuando una válvula es NA, el embolo está dejando pasar el fluido y al

momento de energizar el embolo se cierra impidiendo el paso del flujo. En la figura 1-9 se puede apreciar una válvula NA.

- **Acción Indirecta:** Cumple con casi las mismas características de la acción directa pero la diferencia es que cuando recibe el comando eléctrico que acciona el embolo el cual a su vez permite una segunda acción que mediante una presión mínima hace el diafragma principal se abra o se cierre ya si es NA o NC.
- **Acción Mixta:** Estas no requieren una presión mínima como la indirecta. El comando se abertura o cerrado se hace en dos tiempos, primero se vacía la presión superior del diafragma grande para después la presión baje a otro diafragma que empuja al embolo para que abra o cierre.

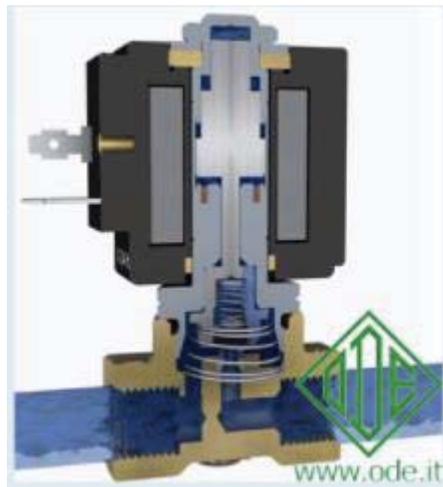


Figura 1-9. Válvula Selenoide de Acción Directa(Fuente: <http://www.altecdust.com>)

2 Datos de Radiación Solar de los Villorios y Efectos de la Ubicación Geográfica

La ubicación del lugar geográfico de la instalación es determinante para dimensionar los elementos que se utilizan, ya que con ello se obtienen los valores de irradiación específica del lugar, como podría afectar la variación de temperatura en los paneles fotovoltaicos y en los demás elementos que se encuentran en un arreglo fotovoltaico.

El proyecto está enfocado en las localidades de Ancovinto, Chijo y Ancuaque, ubicadas en zonas altiplánicas de la Primera Región del país, a 200[km] aproximadamente de la ciudad de Iquique con dirección a la cordillera de los andes.



Figura 2-1: Foto satelital de la ubicación de Ancovinto en el mapa de la Región de Tarapacá (Fuente: Google Earth.)

En la figura 2-1 se observa la ubicación de los villorios en la Región de Tarapacá, mostrando la distancia destacando a Iquique para tener una referencia de las grandes ciudades que se encuentran cerca de Chijo, Ancuaque y Ancovinto. Estas comunidades pertenecen a la comuna de Colchane, donde el 78% de los habitantes pertenece a etnias indígenas, especialmente estas comunas pertenecen al pueblo Aymará[6].

Estos villorios se encuentran relativamente cerca unos de otros, por ejemplo Chijo de Ancovinto están a una distancia de 5[km] aproximadamente y Ancuaque de Ancovinto a 20 [km], y las coordenadas de Ancovinto es de latitud 19,4 y longitud 68,59 a una altitud de 3800 m.s.n.m. variando solo unos pocos metros en relación a las distancias con las demás comunidades.

La principal actividad económica de estas comunidades está enfocada en el cultivo de quinua [6].

2.1 Parámetros Solares

Estas comunidades al presentar condiciones climáticas desérticas, tienen la particularidad de presentar pocas nubes a lo largo del año y como consecuencia, grandes niveles de radiación directa, trayendo un gran beneficio para la captación de esta, mediante los módulos fotovoltaicos.

A continuación, se presenta la irradiación solar de los tres poblados.

2.1.1 Ancovinto

Los datos de radiación del lugar se obtienen a través del “Explorar Solar” del Ministerio de Energía de Chile desarrollado por la Universidad de Chile, donde se realizan mediciones a lo largo del año, día a día, las 24 horas para lograr promedios lo más ajustado posible. A continuación, se presentan los datos relacionados con esta ubicación [7].

Tabla 2-1 Parámetros Geográficos
Ancovinto

Parámetro	Valor
Localidad	Ancovinto
Latitud	19,4018° S
Longitud	68.5973° O
Elevación	3720 m.s.n.m.
T° Promedio	8,94 °C

En la figura 2-2 es posible observar la localidad de Ancovinto, donde queda a la vista que es un poblado de pocas casas y por lo tanto habitantes, pero donde si es necesario agua potable para el diario vivir de ellos.



Figura 2-2: Comunidad de Ancovinto (Fuente: Google Earth)

Radiación y Temperatura

Al encontrarse en el altiplano, cuenta con gran radiación, una de las mejores del mundo, ya que la mayor parte los días del año los cielos están despejados recibiendo radiación directa en mayor cantidad, además el ángulo de inclinación aumenta la captación de esta radiación. A continuación, se muestra una tabla con la radiación diaria de un promedio mensual [7].

Tabla 2-2: Radiación Solar y Temperatura en Ancovinto

Periodo	Radiación Horizontal Diaria [kWh/m ² /día]	Radiación con Inclinación de 19° [kWh/m ² /día]	T° Mínima	T° Máxima	T° Media
Enero	6,90	6,15	-0,13	29,28	12,53
Febrero	6,83	6,53	-0,12	28,91	12,38
Marzo	6,74	7,05	-4,31	23,84	7,47
Abril	6,13	7,10	-3,34	21,15	6,25
Mayo	5,50	6,96	-3,60	17,98	4,90
Junio	5,07	6,71	0,21	19,72	7,32
Julio	5,25	6,79	-1,41	17,52	5,89
Agosto	6,00	7,18	-3,84	17,17	5,47
Septiembre	7,01	7,60	-2,34	19,32	9,81
Octubre	7,70	7,57	-1,52	20,07	10,87
Noviembre	8,26	7,46	-0,44	21,54	12,58
Diciembre	7,72	6,69	-0,75	28,76	11,84
Media	6,59	6,98	-1,80	22,11	8,94

De acuerdo a la tabla 2-2 se puede destacar que se capta mayor radiación cuando el panel se inclina con 19° al norte, así se logra una media de 6,98 [Wh/m²/día], respecto a poner los paneles de forma horizontal, equivalente a 6% más.

También en la tabla 2-2 se analiza las variaciones de temperatura que tiene la localidad, esto es importante, ya que para los paneles fotovoltaicos tienen mayor eficiencia a menor temperatura, pero las temperaturas más bajas se dan durante en la noche y parte de la mañana, por lo tanto, la eficiencia del panel no se ve tan influenciada por estas. La temperatura promedio de Ancovinto es cercana a los 9° C, esto se debe al tipo de clima con que cuenta esta localidad, clima del tipo desértico con gran temperatura durante el día, y temperaturas bajo cero en la noche.

La tabla 2-3 está dada por las horas en el día donde se captan los mayores niveles de radiación respecto a la temperatura. Cabe destacar que las mediciones de temperatura se realizan el año 2010 a lo largo de un año, y el resultado es el promedio de los 365 días, por hora.

Tabla 2-3: Radiación respecto a la hora del día

Hora	Radiación[W/m ²]	Temperatura [°C]
0:00	0	2,73
1:00	0	2,35
2:00	0	1,93
3:00	0	1,55
4:00	0	1,18
5:00	0	0,84
6:00	12,3	0,04
7:00	187,2	1,21
8:00	464,5	2,81
9:00	713,4	5,13
10:00	905,7	7,63
11:00	1021,4	10,18
12:00	1055,9	11,61
13:00	1004,2	12,57
14:00	826,7	13,21
15:00	679	13,02
16:00	457,4	12,48
17:00	210	11,6
18:00	17	9,64
19:00	0	7,77
20:00	0	6,08
21:00	0	4,82
22:00	0	3,93

23:00 0 3,45

En la figura 2-3 se presenta un gráfico donde se representa la tabla anterior, se muestra el promedio horario de la radiación en un plano inclinado de 19°.

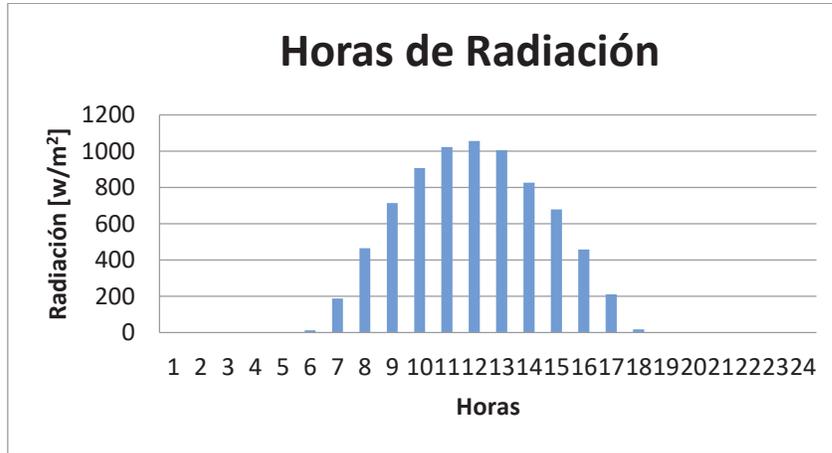


Figura 2-3: Horas de radiación en la localidad de Anconvinto (Fuente: Explorador Solar)

2.1.2 Chijo

Chijo es una más de las comunidades que se desarrolla un sistema de energía solar fotovoltaica para suministrar agua potable. Los datos se obtienen, al igual que en el caso anterior y en todos los casos, mediante el explorador solar del Ministerio de Energía [7].

Tabla 2-4: Parámetros Geográficos
Chijo

Parámetro	Valor
Localidad	Chijo
Latitud	19,4375 °S
Longitud	68,6185 °O
Elevación	3749 m.s.n.m.
Frec de Nubes	5%
T° Promedio	6,16



Figura 2-4: Comunidad de Chijo, I Región de Tarapaca (Fuente: Google Earth)

En la figura 2-4 se puede apreciar la comunidad de Chijo que cuenta con alrededor de 30 casas, y donde se trabaja la siembra de Quinoa.

Radiación y Temperatura

A continuación, se muestra una tabla donde se exponen las mediciones de radiación solar en planos horizontales e inclinados, además de la variación de temperatura que se da en la localidad.

Tabla 2-5: Radiación Solar y Temperatura en Chijo

Periodo	Radiación Horizontal Diaria [kWh/m ² /día]	Radiación con Inclinación de 19° [kWh/m ² /día]	T° Mínima	T° Máxima	T° Med
Enero	7,76	7,05	2,58	15,04	8,86
Febrero	7,68	7,41	2,47	15,31	8,86
Marzo	7,41	7,75	2,89	15,28	8,38
Abril	6,64	7,64	1,48	13,69	7,02
Mayo	5,89	7,39	-1,48	11,52	4,64
Junio	5,41	7,08	-1,68	9,80	3,73
Julio	5,60	7,17	-1,80	9,79	3,39
Agosto	6,44	7,64	-1,64	10,65	3,59
Septiembre	7,49	8,12	-2,75	11,44	4,64
Octubre	8,36	8,25	-1,93	13,33	5,64
Noviembre	8,94	8,17	-0,85	15,53	6,87
Diciembre	8,53	7,64	1,91	14,98	8,29
Media	7,18	7,61	-0,07	13,03	6,16

De la tabla 2-5 se destaca el aumento de la radiación al inclinar los paneles fotovoltaicos 19° al norte, este aumento representa un 5,6% respecto a instalar un panel de forma horizontal, además se puede destacar que en los meses de primavera es donde se produce el mayor promedio de radiación en el lugar, esto se debe a que gran parte de los días está despejado con una frecuencia de nubes del 5%.

También en esta tabla destaca la variación de temperatura que ocurre en la localidad de Chijo, ya que, durante todo el invierno y parte de la primavera, la temperatura mínima desciende de los cero grados, y en el día puede llegar a superar los 10°C, teniendo una media en el año de 6 °C.

Las bajas temperaturas son un gran aliado de la eficiencia de los paneles fotovoltaicos, ya que estos a medida que la temperatura de trabajo disminuye, aumenta la eficiencia de estos. A continuación, se presenta una tabla donde se aprecian las mediciones en las horas del día, los niveles de radiación promedio y la temperatura. Con esto se logra identificar si las bajas temperaturas coinciden con los mayores niveles de radiación, esto ayuda de gran manera la captación de irradiación por parte de los paneles fotovoltaicos.

Cabe mencionar que las mediciones de temperatura se realizan el año 2010 por las estimaciones meteorológicas realizadas por el modelo WRF hechos por el “Explorador Solar” del ministerio de Energía de Chile.

Tabla 2-6: Radiación respecto a la hora del día en Chijo

Hora	Radiación[W/m ²]	Temperatura [°C]
0:00	0	2,93
1:00	0	2,53
2:00	0	2,07
3:00	0	1,67
4:00	0	1,25
5:00	0	0,86
6:00	24,08	0,04
7:00	186,63	1,19
8:00	440,5	2,82
9:00	617,3	6,18
10:00	851,2	7,69
11:00	959,7	10,21
12:00	991,9	11,49
13:00	941,6	12,41
14:00	808,4	13
15:00	637,8	12,84
16:00	430,3	11,45
17:00	200	9,58
18:00	33,4	7,76
19:00	0	6,12

20:00	0	4,92
21:00	0	4,05
22:00	0	3,55
23:00	0	3,29

En la imagen 2-4 se presenta un gráfico con los niveles de radiación para las distintas horas del día. Estos niveles se alcanzan con el panel inclinado 19° al norte [7].

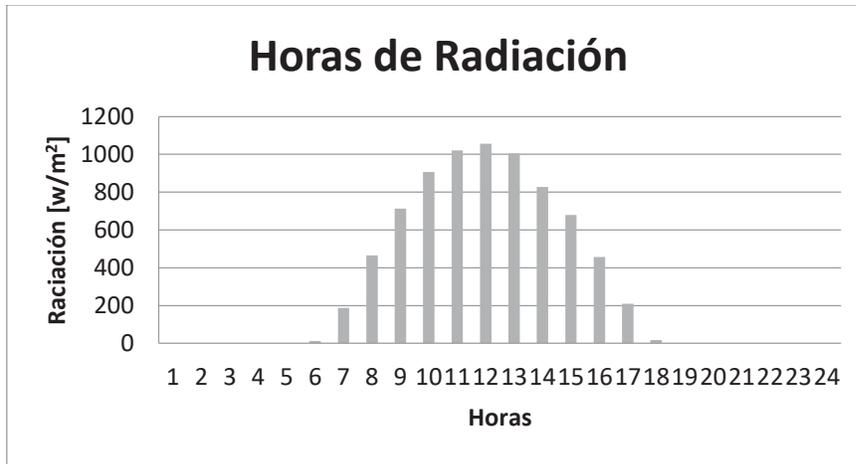


Figura 2-5: Horas de radiación en la localidad de Chijo (Fuente: Explorador Solar)

2.1.3 Ancuaque

Ancuaque es la localidad que se encuentra más distante de Chijo y Ancovinto Al igual que en el caso anterior los datos son obtenidos por el explorador solar del Ministerio de Energía [7].

Tabla 2-6: Parámetros Geográficos Ancuaque

Parámetro	Valor
Localidad	Ancuaque
Latitud	19,5249° S
Longitud	68,7216° O
Elevación	3961 m.s.n.m.
Frec de Nubes	5%
T° Promedio	4 °C



Figura 2-6: Ubicación Geográfica comunidad de Ancuaque (Fuente: Google Earth)

En la figura 2-6 se puede apreciar la localidad de Ancuaque, esta comunidad es la que se ubica a menor altura de las dos anteriores, cerca de los 4000 m.s.n.m. y también la que tiene menor temperatura promedio.

Radiación y Temperatura

Esta localidad, al igual que las anteriores, se encuentra en el altiplano de la Región de Tarapacá, por lo cual cuenta con clima del tipo desértico, con cielos muy despejados permitiendo captar gran parte de radiación que llega al lugar. A continuación, se presenta una tabla con los promedios por meses de la radiación y temperatura máximas y mínimas en el poblado de Ancuaque [7].

Tabla 2-8: Radiación Solar y Temperatura en Ancovinto

Periodo	Radiación Horizontal Diaria [kWh/m ² /día]	Radiación con Inclínación de 19° [kWh/m ² /día]	T° Mínima	T° Máxima	T° Med
Enero	7,62	6,88	-1,91	5,90	1,65
Febrero	7,42	7,11	-0,98	5,03	1,51
Marzo	7,32	7,66	1,23	16,27	7,05
Abril	6,60	7,65	-0,13	14,97	6,05
Mayo	5,90	7,47	-1,14	13,16	5,14
Junio	5,42	7,16	-1,27	18,16	3,60
Julio	5,61	7,22	-1,53	17,57	3,30
Agosto	6,46	7,73	-1,76	18,17	3,53
Septiembre	7,51	8,14	-0,22	10,86	3,84
Octubre	8,37	8,27	-0,15	14,66	5,12

Noviembre	8,87	8,13	-1,36	18,95	6,34
Diciembre	8,45	7,44	-3,66	6,59	1,47
Media	7,13	7,57	-1,07	13,36	4,05

En la tabla 2-8 se presentan las mediciones de radiación y temperatura para la comunidad de Ancuaque, donde se compara la radiación en un plano horizontal y una radiación inclinada con un ángulo de 19°, donde esta última toma ventaja sobre la horizontal ya que tiene un mayor promedio, alcanzando un 5,8% más de captación de radiación diaria.

También se muestra la variación de temperatura donde la mínima alcanza valores bajo cero en casi todo el año, exceptuando el mes de marzo y las máximas pueden llegar hasta los 18°C, esto provoca que la variación de temperatura sea alta y hay que tener en consideración este punto, ya que elementos de la instalación fotovoltaicas se pueden ver afectados, y también elementos de potabilización de agua que pueden sufrir alteraciones con temperaturas bajo cero.

Además, la temperatura ambiente se ve implicada en la eficiencia del panel fotovoltaico, ya que si la temperatura de trabajo es baja su eficiencia aumenta, esto es de suma importancia, considerando que al ser una zona desértica los paneles pueden alcanzar grandes temperaturas de trabajos, a continuación, se presenta una tabla donde se pondera la temperatura por hora medida a lo largo de un año y la radiación.

Tabla 2-9: Radiación respecto a la hora del día en Ancuaque

Hora	Radiación [W/m ²]	Temperatura [°C]
0:00	0	6,78
1:00	0	6,6
2:00	0	6,31
3:00	0	6
4:00	0	5,61
5:00	0	5,16
6:00	7,4	1,48
7:00	179,7	1,17
8:00	465,5	0,71
9:00	713,1	0,22
10:00	905,3	0,37
11:00	1019,9	0,99
12:00	1040	1,82
13:00	982,6	1,94
14:00	856,3	2,05
15:00	619,5	2,1
16:00	470,3	2,13
17:00	219,8	2,13
18:00	17,1	3,88

19:00	0	3,63
20:00	0	3,24
21:00	0	2,76
22:00	0	2,19
23:00	0	1,59

La figura 2-6 representa las horas de radiación y sus niveles, para una inclinación de 19° al norte, además hace mención a la temperatura a cada hora del día, como promedio en un año. Se puede observar y destacar que a la hora de mayor radiación ocurre a las 12:00.

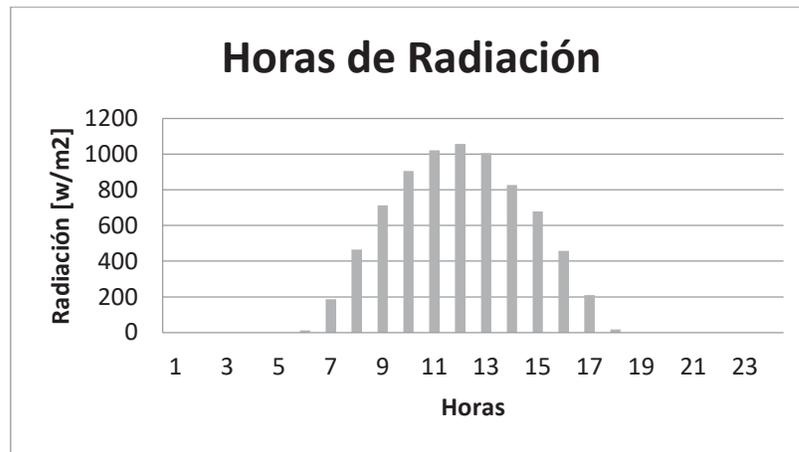


Figura 2-6: Horas de radicion en la localidad de Anconvinto (Fuente: Explorar Solar)

2.2 Efecto Climatológico en los Elementos

La ubicación geográfica de las comunidades trae grandes beneficios para la captación de radiación solar, debido a su tipo de clima desértico, pero también trae diversos efectos negativos en los elementos de la instalación, las bajas temperaturas, los vientos, y la altura. También otro efecto es las lluvias, aunque suene contradictorio ya que un clima desértico las lluvias sea un problema, estas zonas geográficas se ven afectadas por el invierno boliviano, donde se producen grandes precipitaciones en el periodo de enero a marzo de todos los años.

2.2.1 Paneles Fotovoltaicos

Los paneles fotovoltaicos para que puedan ser comercializados y declarados para instalaciones en Chile deben cumplir con la certificación de la Superintendencia de Electricidad y Combustible (S.E.C.), en donde se deben cumplir los ensayos que se describen a continuación [3]:

- Aislación
- Coeficiente de temperatura

- Funcionamiento baja irradiación
- Exposición exterior
- Ciclos térmicos
- Prueba UV
- Humedad de congelación
- Carga mecánica
- Granizo
- Corrientes de fuga
- Entre otros

Todo esto bajo los estándares de la norma internacional IEC 61215, donde la carga mecánica por ejemplo es de 5200[pa] equivalente a poco más de 500[kg/m²]. Además la prueba de granizos es donde se somete al panel a una prueba de arrojar bolsas de hielo simulando granizos a gran velocidad, para así asegurarse que los paneles resisten dichas fuerzas de impacto.

El calor extremo que se puede dar a medio día en verano, también se puede transformar en un problema, pero están diseñados bajos estándares y materiales eléctricos que permiten grandes temperaturas, la única manera en que puede afectar el calor es la eficiencia del panel.

Tampoco el frío extremo puede ver afectado a los paneles, pero si las baterías, ya que el ácido que contienen en su interior puede sufrir grandes consecuencias con las temperaturas bajo cero, mientras más descarga esté la batería más facilidad tiene de congelarse, pero una batería totalmente carga puede resistir temperaturas de hasta -60°C. Para evitar estos problemas es necesario no exponer las baterías a la intemperie, es por eso que es recomendable hacer una caseta para colocar los inversores, reguladores y baterías.

Las ráfagas de viento es el movimiento del aire que se produce entre dos áreas de la tierra con distintas presiones atmosféricas, se pueden asociar a áreas desérticas debido a las bajas térmicas que se producen con el calor. El panel, al tener una forma aplanada y se si instala con algún tipo de inclinación se puede ver afectado por el “efecto vela” en donde el panel puede salir desprendido de su base si no se encuentra firme a esta. Para evitar este tipo de problemas es necesario que la base donde se encuentra el panel fotovoltaico esté bien afianzada al suelo o la superficie donde se instala, para luego asegurar los paneles mediante pernos y otras técnicas mecánicas para firmarlos a la base [8].

2.2.2 Bombas de Agua

Las bombas de agua son motores eléctricos que funcionan succionando y transportando el agua de un lugar a otro, por lo tanto, los problemas que acarrea este tipo de clima son los mismos que un motor eléctrico.

Los efectos que alteran el normal funcionamiento de un motor eléctrico en este tipo ubicación geográfica es la altura, a continuación, se describe las consideraciones que se deben tener en cuenta para trabajar a la altura de los poblados.

Normalmente los motores de inducción se fabrican para condiciones de instalación de elevaciones hasta los 1000 m.s.n.m., pero en este caso se trabaja cerca de los 4000 m.s.n.m. en donde para dimensionar un motor se realiza un derating (decremento o castigo) del motor.

Los decrementos se realizan por tres factores, la tensión aplicada, la altura de la instalación y la temperatura. A grandes elevaciones se produce dos efectos, la disminución de la tensión de ruptura de un aislante gaseoso, por efecto de la Ley de Parchen (la tensión de ruptura es función de la presión y la distancia interelectrodica), y la disminución de la densidad del aire.

A 5000 m.s.n.m. la presión atmosférica es casi la mitad de lo que hay a nivel del mar. El aire tiene masa, y a nivel del mar, el peso de una columna de aire 1 pulgada cuadrada de superficie, es de 14,7 [psi], equivalente a una atmosfera. La altura de la columna de aire se ve disminuida a medida que aumenta la altitud, es decir, pesa menos y se obtiene menor presión como se puede representar en la imagen 2-7.

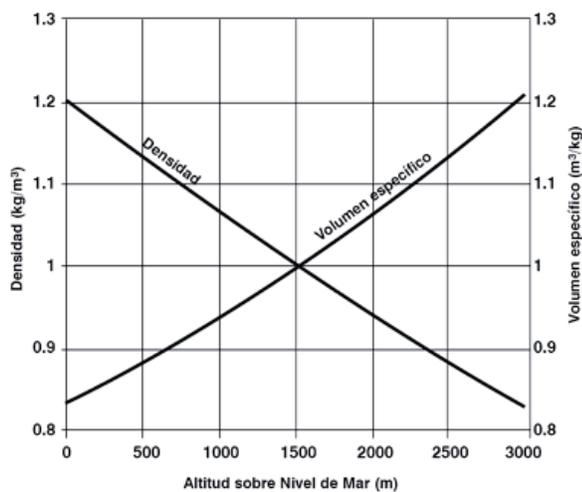


Figura 2-7: Cambio de la densidad del aire respecto de la altura (Fuente: <http://www.emb.cl>)

Un motor genera calor debido a las pérdidas internas (roce, perdidas del fierro, pérdidas Juole, etc) y necesita que este calor se vaya al ambiente, porque es necesario de una masa de aire frío que actúe como vehículo para la trasferencia de calor. En un motor que tenga el ventilador acoplado al eje del rotor (como lo es en la mayoría de los casos) la potencia que gasta en impulsar la masa de aire externo es proporcional a la densidad del aire. Por lo tanto, la potencia requerida para ventilar una cierta masa de aire es menor a grandes alturas, pero, por otra parte, el aire es menos denso y la masa de aire que entra como medio de refrigeración es menor provocando mayores pérdidas de fierro y cobre.

Entonces, al enfriar menos al motor, si bien gasta menos potencia de ventilación (y disminuye las pérdidas netas en la maquina) no se puede exigir que de él la misma potencia que a nivel del

mar, por eso es necesario “castigar” la potencia máxima que se podrá obtener del eje del motor. Generalmente, se usa un factor de derrateo de la potencia de los motores instalados en altura.

De esta forma, al instalar en altura un motor capaz de entregar una determinada potencia real a nivel del mar, sólo se podrá lograr una potencia menor debido a las limitaciones de temperatura máxima de sus devanados. Con ello, la carga real del motor es menor en altura que a nivel del mar, por lo que se tiene que la eficiencia en ambos casos es diferente [9].

3 Estudio de Consumo de la instalación

Para dimensionar la potencia de la instalación de cada localidad es necesario conocer las demandas de potencia de cada elemento que la compone. Es por eso que a continuación se calcula la bomba que exigida por el consumo de agua potable de la instalación, esta nos refleja gran parte del consumo eléctrico del arreglo fotovoltaico.

3.1 Hidrografía

Los tres poblados cuentan con afluyen de aguas en sus cercanías, por lo tanto, el cálculo del caudal requerido por el consumo y el otorgado por las fuentes de aguas, está establecido por los documentos otorgados por don Sergio Valencia [10] y se ven reflejados en la tabla 3-1.

Tabla 3-1: Información Hídrica

	Población (Hab)	Qmaxd (l/s)	Qmed entregado (l/s)	Estanque Proyectado(m3)
Ancovinto	194	0,37	2,198	20
Chijo	243	0,47	1,226	10
Ancuaque	231	0,47	1,967	20

Los datos mostrados en la tabla 3-1 corresponden a la proyección de las comunidades en 20 años, tiempo que tiene de vida el proyecto. En ella se menciona, el caudal de máximo diario (Qmaxd, el caudal otorgado por los fluyentes cercanos (Qmed Entregado) y la proyección del estanque para alimentar los poblados.

Es importante destacar que para todos los villorios el caudal que otorgan las fuentes de abastecimiento de agua, cumplen con la necesidad de consumo de agua, o del caudal de bombeo requerido. En el caso de Ancovinto es casi tres veces mayor lo aportado a lo que se necesita.

Con esta información es posible calcular la potencia requerida por las bombas para cumplir con la dotación de agua requerida por los poblados.

3.2 Cálculo de Bombas

Para la correcta elección de las bombas a utilizar en los villorrios, hay que tener en cuenta tanto el caudal que se necesita transportar, el estanque a llenar y el factor de corrección por altura.

Se determina que la bomba necesaria sea de 1 HP, ya que cuenta con un caudal máximo de 0.833 [l/seg], entonces esta logra llenar el estanque en un tiempo menor a 10 [hr].

El factor altura, como se vio en el capítulo anterior, afecta en gran medida el desempeño de los motores, esto genera que el motor no trabaje a potencia nominal porque al encontrarse a más de 4000[m.s.n.m.] el aire es menos denso y tiene mejor capacidad para enfriar los devanados, lo que puede provocar la pérdida de aislamiento en uno de estos. Es por eso que un manual de ABB Motors, indica lo siguiente:

“Los motores básicos están diseñados para funcionar a una temperatura ambiente máxima de 40°C y una altura de 1000 metros sobre el nivel del mar. Si un motor trabaja a mayor temperatura y/o altitud, se recomienda tomar en cuenta los factores otorgados en la siguiente imagen [11]:”

Temperatura ambiente, °C	30	40	45	50	55	60	70	80
Potencia permitida, % de la potencia nominal	107	100	96.5	93	90	86.5	79	70

Altura sobre el nivel del mar, en m	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Potencia permitida, % de la potencia nominal	100	96	92	88	84	80	76

Figura 3-1: Factores de corrección para un motor operando en altura (Fuente: La Guía del Motor en Baja Tensión, ABB Motors)

Como se puede apreciar en la figura 3-1, se determina que la potencia permitida por el motor es del 76% de la potencia nominal, 0,76[HP], es decir, 567 [W].

Para todos los villorrios se determina la misma potencia de bomba, porque esta permite un tiempo de llenado óptimo de acuerdo a la radiación del lugar y los tiempos de exposición con que cuentan los paneles solares.

Con la siguiente ecuación se determina el tiempo de llenado, suponiendo la peor de las situaciones donde el estanque esté vacío.

$$T_L = \frac{Ep}{Q * Fc * 3600} [hr] \quad (3-1)$$

En donde

T_L : Tiempo de llenado en horas

Q: Caudal en litros/segundos

Fc: Factor de corrección

Ep: Estanque proyectado en metros cúbicos

En donde cada villorrio presenta los siguientes tiempos de llenado, que quedan expuestos en la tabla 3-2.

Tabla 3-2: Tiempo de llenado de los estanques

Localidad	Tiempo de llenado hr
Ancovinto	8.77
Chijo	4.38
Ancuaque	-

Cabe considerar que el caudal ocupado es el que otorga la bomba y el factor de corrección corresponde a 0,76 señalado en párrafos anteriores. Estos datos son importantes para poder determinar si es necesario utilizar baterías para la instalación fotovoltaica.

La ficha técnica de la bomba a utilizar se adjunta en el anexo 1 de este informe.

3.3 Consumo de Potencia

Para realizar un correcto dimensionamiento de la instalación fotovoltaica es necesario conocer la potencia demandada por cada villorrio, teniendo en cuenta que Ancovinto y Chijo cuentan con la misma potencia de bombas, pero Ancuaque no es necesario contar con bomba ya que el agua llega al estanque por gravedad, todos tienen consumos básicos, como luz y potabilizador de agua, por mencionar algunos.

3.3.1 Ancovinto

En la tabla 3-2 se muestra el consumo considerado para el cálculo de la instalación, en donde se considera para iluminación 100[w] y enchufe 150 [W] que son los valores que otorga la norma chilena de instalaciones en baja tensión determinada por la Superintendencia de Electricidad y combustible.

Tabla 3-3: Consumo Ancovinto

Elemento	Potencia
Bomba [W]	567
Potabilizador [W]	150
Iluminación [W]	100
Enchufe [W]	150
Otros [W]	300
Total [W]	1267

Para el villorrio de Ancovinto es necesario contar con una potencia de 1257 [Wp] para tenga un correcto funcionamiento durante las horas que no hay luz solar.

3.3.2 Chijo

Para Chijo la tabla de consumo es idéntica a la de Ancovinto, en donde se considera un potabilizador de agua con un consumo de 150[w] y los otros consumos quedan ejemplificados en la siguiente tabla.

Tabla 3-4: Consumo Chijo

Elemento	Potencia
Bomba [W]	567
Potabilizador [W]	150
Iluminación [W]	100
Enchufe [W]	150
Otros [W]	300
Total [W]	1267

Para el villorrio de Ancovinto es necesario contar con una potencia de 1257[wp] para obtener un correcto funcionamiento del sistema.

3.3.3 Ancuaque

Ancuaque es un tanto diferente a los villorrios antes mencionados, ya que este no cuenta con la necesidad de una bomba que impulse el agua al estanque proyectado, ya que esta llega por gravedad. Por lo tanto se dimensiona un sistema fotovoltaico con los consumos de potabilizador, enchufe e iluminación, además al igual que en las tablas anteriores se agrega un consumo extra, de 300[w] en donde se puede utilizar para cualquier consumo diferente a los mencionados anteriormente.

Tabla 3-5: Consumo Ancuaque

Elemento	Potencia
Potabilizador [W]	150
Iluminación [W]	100
Enchufe [W]	150
Otros [W]	300
Total [W]	700

Para el poblado de Ancuaque el consumo necesario es de 700 [wp] para poder tener un correcto funcionamiento.

3.4 Simulación

Con los datos de potencias que tiene cada poblado es posible ingresar los datos al software PVSYST y poder calcular los paneles necesarios para suplir la potencia requerida.

3.4.1 Simulación Ancovinto

Se determina un uso de la bomba de 9[hr] debido al tiempo que se demora en llenar el estanque como se menciona anteriormente. Los datos son ingresados al software PVSYST y arroja los siguientes resultados:

- Inclinación: 19°
- Orientación: Norte

- Cantidad de Paneles: 6
- Cantidad Serie: 2
- Cantidad Paralelo: 6
- Cantidad de Baterías: 8

En el Anexo B se adjunta el informe generado por el simulador donde se da más detalle de la simulación.

3.4.2 Simulación Chijo

Se determina un uso de la bomba de 5[hr] ya que es tiempo en que el estanque se demora en llenar. Los datos son ingresados al software PVSYST y arroja los siguientes resultados:

- Inclinación: 19°
- Orientación: Norte
- Cantidad de Paneles: 6
- Cantidad Serie: 2
- Cantidad Paralelo: 6
- Cantidad de Baterías: 8

Se determina esa inclinación ya que es donde se logra captar mayor irradiación a lo largo del año. En el Anexo C se adjunta el informe generado por el simulador, donde se encuentran más detalles de la simulación.

3.4.3 Simulación Anciaque

Se determina un uso de la bomba de 6[hr] ya que es tiempo en que el estanque se demora en llenar. Los datos son ingresados al software PVSYST y arroja los siguientes resultados:

- Inclinación: 19°
- Orientación: Norte
- Cantidad de Paneles: 4
- Cantidad Serie: 1
- Cantidad Paralelo: 4
- Cantidad de Baterías: 2

Igual que en el caso anterior la inclinación 19° al norte es donde se capta mayor radiación a lo largo del año. En el anexo D se adjunta el informe generado por el software, donde se entrega más detalles de la simulación.

3.4.4 Análisis de Datos

De acuerdo a lo obtenido por el simulador, es necesario analizar los datos que esta entrega para llevar una correcta determinación de los elementos que se utilizan para el arreglo fotovoltaico.

Como se menciona en ítems anteriores el factor de la altura donde se encuentran los villorios es un tema que se debe considerar al momento de dimensionar bien los elementos electrónicos, ya que estos al ser refrigerados mediante un sistema de ventilación forzada (ventiladores eléctricos), la densidad de aire que logran mover no es el suficiente para enfriar los dispositivos a como si estuviesen a nivel del mar donde el aire es más denso y logra captar mayor densidad de volumen de aire para mover.

Es por eso, que se aplica el mismo factor que a lo motores eléctricos, que es de 76%, es decir, que los elementos dimensionados por el simulador, es necesario que funcionen al 76% de la potencia nominal, entonces se aumenta el valor de potencia a seleccionar.

Los elementos están dimensionados para una potencia pico de 1500[wp] que proporciona el generador fotovoltaico, entonces los elementos se deben escoger deben cumplir con una potencia de 1860[wp].

4 Protección contra descargas atmosféricas

La ubicación geográfica en que se encuentran ubicados los villorrios, altiplano chileno, sufre de lluvias en temporada de verano, y junto con ello descargas atmosféricas o rayos productos del “invierno boliviano”. La instalación al estar al aire libre está expuesta en gran proporción a una descarga, lo que puede generar grandes daños en el sistema si es que cae un rayo sobre los paneles o cualquier elemento, es por eso que es necesario proteger contra este tipo de manifestaciones de la naturaleza.

4.1 Tipos de Sistemas de Protecciones contra Descargas Atmosféricas

En la actualidad existen dos tipos de sistemas de protección de pararrayos, sistema pasivo y sistema activo, de los cuales tienen diferentes principios de funcionamiento, pero el mismo fin, lo que también marca la diferencia entre ambos, es el costo económico de cada uno de ellos, que para grandes instalaciones puede ser justificado el uno o el otro.

4.1.1 Sistema Pasivo

Un sistema pasivo es aquel que cuenta con puntas captadoras o “puntas franklin” que no realiza ninguna acción en especial durante una tormenta. Estas se instalan en el lugar más alto de la construcción para poder captar el rayo. Generalmente se utiliza un pilar de 5 metros y arriba se instala la punta, luego se baja con un cable desnudo hasta tierra, en donde se debe calcular la resistencia de puesta a tierra, que según la IEC 62305 no debe superar los $10[\Omega]$.

4.1.2 Sistema Activo

Un sistema activo también llamado pararrayos ionizante con dispositivo cebado, tiene como objetivo anticiparse al rayo para proteger la zona. El principio de funcionamiento es igual que el anterior, con la diferencia que la punta lleva un circuito electrónico que crea un trazador ascendente a más distancia gracias a la ionización extra del pararrayos, que se activa con el campo magnético producido por la tormenta, que atrae el rayo a hasta su ubicación. Donde se conduce el rayo a través de un conductor desnudo y se aterriza igual que en el caso de sistema pasivo.

Es decir, lo que hace un sistema activo es aumentar el área protegida por un pararrayo mediante un sistema electrónico que busca el rayo más arriba de lo que da la punta ionizando el aire. Este sistema es para proteger grandes extensiones de instalaciones y tiene un costo bastante elevado.

4.2 Sistema a Utilizar

Considerando las características del pararrayos activo y pasivo, se considera utilizar para estas instalaciones fotovoltaicas un sistema pasivo, ya que este otorga mayor facilidad económica y cuenta con lo necesario para asegurar protección contra la caída de rayos.

Se define el nivel isocerámico como el número de descargas eléctricas por unidad de superficie (km^2) y por año, que mide la probabilidad que tiene un punto del terreno en ser alcanzado por una descarga atmosférica.

De acuerdo al método del ángulo de protección (α), determinado por la Norma Internacional IEC 62305-3, y conforme con altura “h” del mástil, a través de la siguiente familia de curva se determina el ángulo que de la instalación a proteger [12].

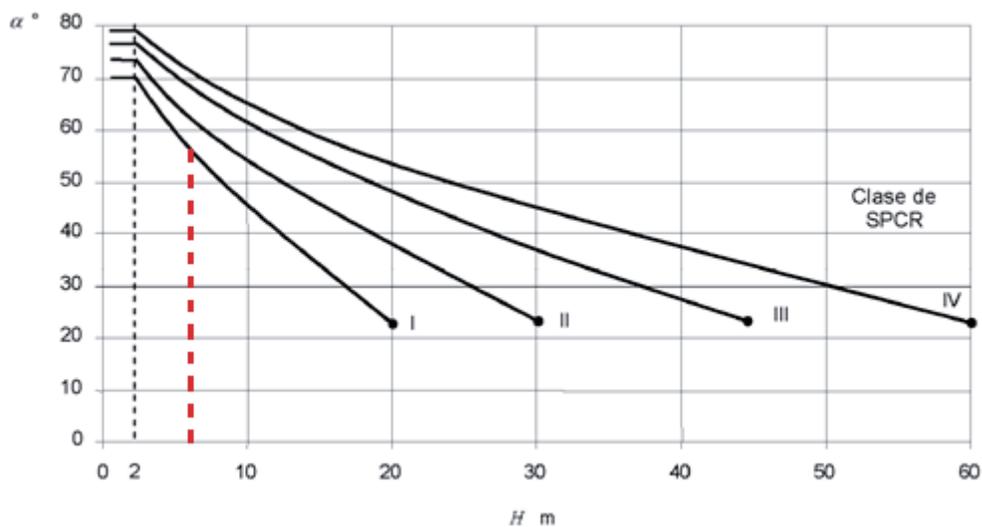


Figura 4-1: Familia de curva de ángulo de protección (Fuente: Norma IEC62305-3)

De acuerdo a la figura 4-1, donde H es la altura donde se instala la protección contra el rayo, que en este proyecto posee un mástil de 5 [m], para una clase de protección de tipo Clase I se determina un ángulo α de aproximadamente 55° . Cabe mencionar que los tipos de protección están normados por la norma IEC 62.305-3 donde la Clase I de protección es el mejor nivel de protección y la Clase IV corresponde al nivel de protección más bajo.

Entonces, de acuerdo al modelo del Volumen Protegido por una Varilla vertical es posible determinar el radio que cubre la instalación para poder comparar luego lo que necesita la instalación fotovoltaica.

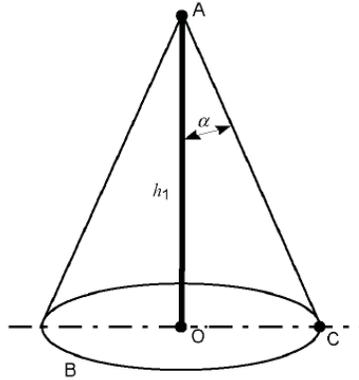


Figura 4-2: Volumen protegido por una varilla vertical (Fuente: Norma IEC62305-3)

Dónde:

- A Indica la punta de la varilla captadora
- B Plano de referencia
- OC Radio de la zona protegida
- h1 altura de la varilla de captura sobre el plano de referencia de la zona protegida
- α Ángulo de protección

Donde se considera que el volumen protegido por la varilla vertical, tiene forma de cono circular, con el vértice colocado en el eje de la varilla, el semi ángulo “ α ”, en función de la clase de protección y la altura de la varilla de captura según lo indicado anteriormente.

Para encontrar el radio de la zona protegida OC, se debe aplicar la ecuación 4-1 que se basa en la imagen 4-2 para calcular el radio que debe cubrir la protección.

$$OC = \operatorname{tg}(\alpha) * h \quad (4-1)$$

Aplicando los datos mencionados con anterioridad, $\alpha=55^\circ$ y $h=5$ [m], se obtiene como resultado que el radio $OC=7.14$ [m]

Con la demostración anterior y a través de la ecuación del área de una circunferencia mostrada en la ecuación 4-2.

$$\text{área} = \pi * r^2 \quad (4-2)$$

Con r como el radio OC, se determina que el área que cubre el sistema de protección contra rayos es de $160 \text{ [m}^2\text{]}$, que es mayor de lo necesario para proteger la instalación fotovoltaica, por lo tanto, se debe ocupar este método y estas indicaciones para el proyecto.

Cabe destacar que el largo de la varilla se termina para que abarque, con su altura, los paneles fotovoltaicos y caseta donde se encuentran los demás elementos de la instalación. Como se puede demostrar con las ecuaciones 4-1 y 4-2, si la altura baja el área a cubrir es mayor, pero con ello disminuye la altura y pone en riesgo los elementos que se encuentren sobre la punta de la varilla.

4.2.1 Sistema de Puesta a Tierra

Con el fin de minimizar cualquier sobre tensión cuando se dispersa en el terreno la corriente del rayo, es necesario instalar electrodos de puesta a tierra, cuya resistencia debe ser menor a $10[\Omega]$. Es importante mencionar que se debe instalar solo una puesta a tierra integrada.

La profundidad de esta debe ser de a lo menos $0,5\text{[m]}$, donde los electrodos de tierra deben instalarse de tal manera que permitan su inspección durante la construcción. Estos factores deben ser tal que se minimicen los efectos de la corrosión, de la sequedad y de la congelación del terreno y así conseguir estabilizar la resistencia convencional a tierra.

El sistema de disposición es el tipo B considerado en la norma IEC 62.305-3 que comprende o bien un anillo conductor exterior a la estructura a proteger, en contacto con el suelo en al menos 80% de su longitud, o un electrodo de tierra enmallado., donde la superficie cerrada no debe ser menor a $10 \text{ [m}^2\text{]}$.

El material debe soportar sin sufrir daño, los efectos electromagnéticos de la corriente del rayo y los esfuerzos mecánicos que se puedan dar. Para ello se recomienda que el conductor sea de cobre solido o trenzado.

El número de conexiones a lo largo de los conductores, de bajada, debe reducirse al mínimo, estas deben ser seguras mediante soldadura de cobre, soldadura, prensado, cosido, atornillado o bulonado.

La sección mínima de los conductores de bajada, como así el de la malla a tierra, para cable trenzado de cobre debe ser de $50\text{[mm}^2\text{]}$ con un diámetro mínimo por cada hilo de $1,7\text{[mm]}$ [12].

5 Datos de los elementos

El software entrega datos muy certeros sobre los elementos que necesita el arreglo fotovoltaico, pero es necesario comprobar y asegurarse que estos datos son los correctos, no es una manera de cuestionar el programa, sino entender cómo funciona y cuál es el elemento que existe en el mercado que más se asemeja.

5.1 Panel Fotovovoltaico

Estos elementos es el generador de energía eléctrica, por ende, su dimensionamiento es vital para un correcto funcionamiento de las otras partes de la instalación fotovoltaica.

Se necesita conocer el consumo de energía diaria de la instalación, que en este caso corresponde a 5759 [wh/día], que se determina por el uso que se da a los elementos, por ejemplo, el potabilizador funciona las 24 [hr] pero por periodos de media hora, entonces 150[w] por 12 [hr] da un equivalente de 1800[wh/día] y así con los demás elementos, como queda demostrado en la tabla 5-1.

Tabla 5-1 Consumo Diario Instalación

Elementos	CANT.	Potencia (W)	Tiempo de Uso (Hr)	Energía (wh/día)
Potabilizador	1	150	12	1800
Lámpara	1	100	2	200
Enchufe	1	150	2	300
Bomba	1	567	5	2859
Otros	1	300	2	600
			Total	5759

Conociendo la radiación solar disponible del lugar donde se instala el arreglo fotovoltaico, que para este caso se utiliza la localidad de Chijo, donde se escoge el mes más desfavorable de radiación, y se determina el HSP (horas pico solar) que es el número de horas equivalentes que tiene que brillar el sol a $1000[\text{w}/\text{m}^2]$ para tener la insolación total del día. Para determinar

cuántos paneles instalar, se debe realizar el cociente entre la energía necesaria por día y la potencia que aporta el generador en un día, donde dicho número debe ser par, ya que los paneles son de 12[v] y el arreglo está dimensionado para 24[v], entonces se deben colocar en paralelo [2]. De acuerdo a los datos obtenidos de el “Explorador Solar” del Ministerio de Energía de Chile, el mes más desfavorable corresponde al mes de enero con 6.09 [kwh/m²/día]. Además, se debe agregar un factor de rendimiento del panel que siempre varía entre el 0,7 y 0,8[2].

$$N^{\circ} \text{ de Módulos} = \frac{\text{Energía Necesaria}}{\text{HPS} * \text{Rendimiento} * \text{Potencia del módulo}} \quad (5-1)$$

$$N^{\circ} \text{ de Módulos} = \frac{5759}{6,09 * 0,7 * 250} = 5,4 \quad (5-2)$$

De acuerdo a lo anterior se necesitan 5,4 módulos fotovoltaicos que se aproximan a 6 paneles ya que se debe aproximar al entero mayor.

Por lo tanto, el generador fotovoltaico que se utiliza en este proyecto es Solar Module – KM(P) 250 de la marca Komaes Solar y tiene una potencia de 250 [Wp] y sus características técnicas se aprecian a continuación:

Tabla 5-2: Ficha Técnica del Panel Solar Module - KM (P) 250

Características Eléctricas		
Maximum Power	P _{máx} (W)	259
Power Tolerance	%	5
Maximum Power Voltage	V _m (V)	31,29V
Maximum Power Current	I _m (A)	7,99A
Open Circuit Voltage	V _{oC} (V)	37,5V
Short Circuit Current	I _{sc} (A)	8,5A
Maximum System Voltage	VDC	1000
Cell Efficiency	%	17.1
Module Efficiency	%	15,3
Cell Type		Polycrystalline Silicon
Temperature coefficient of I _{sc}	%/°C	0,05
Temperature coefficient of V _{oc}	%/°C	-0.35
Temperature coefficient of power	%/°C	-0,47
Características Mecánicas		
Dimensions	mm	1650 x 990 x 40

Weight	Kg	18.8
Type of Junction Box		TUV certified, IP65
Cable Type, Diameter		TUV certified, 4mm ² , 90cm in length
Connector		Compatible to Type 4 (MC 4)

De las tablas 5-2 se puede identificar claramente la potencia peak del panel y la corriente de corto circuito, de la cual se utiliza más adelante para poder hacer una buena elección de regulador de carga. A continuación, se muestra una imagen del panel.

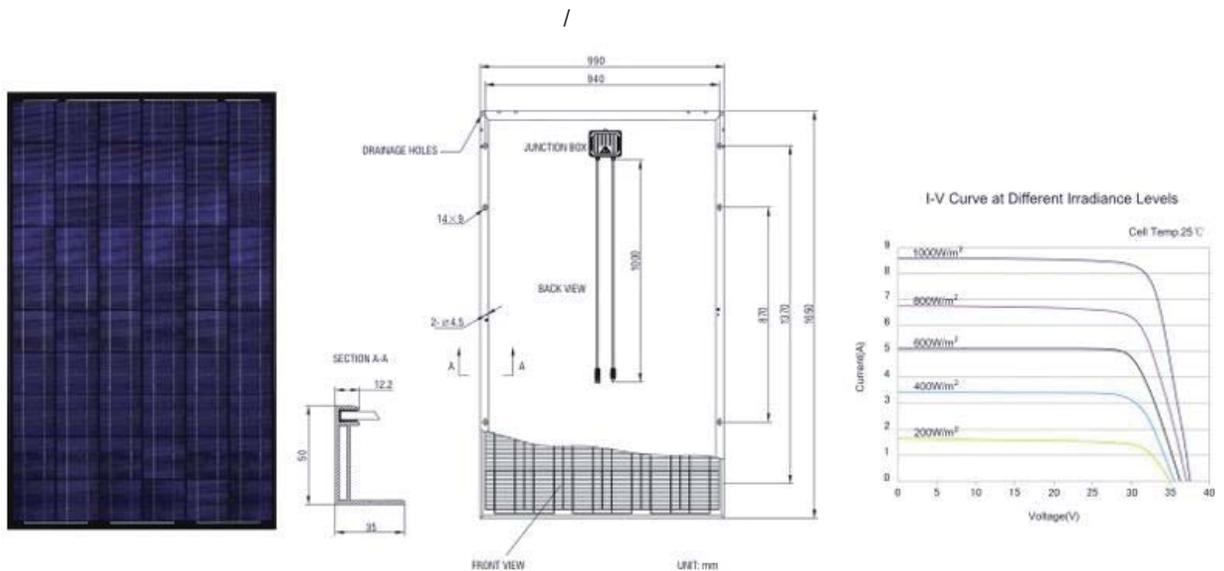


Figura 5-1: Panel Fotovoltaico Komaes Solar 250Wp (Fuente: Ficha Técnica del Panel Solar Module - KM (P) 250)

El panel fotovoltaico mostrado en la figura 5-1 es el que corresponde al que se ocupa para la instalación, cabe destacar que está compuesto por 60 módulos de silicio policristalinos. También se puede observar la curva corriente-voltaje para diferente niveles irradiación a 25-°C, donde se puede deducir que a 1000[w/m²] la corriente de cortocircuito se acerca a los 8.5 [A].

5.2 Baterías

En el sistema de baterías es de vital importancia la cantidad de días de autonomía que puede contar el sistema, en este caso se considera que puede funcionar un día completo sin irradiación solar. Este caso es casi imposible que ocurra, pero en días en que llueva o haya mucha

nubosidad, la captación no es la misma que un día soleado (despejado) es por eso la necesidad de calcular y comprobar los datos que proporciona el software.

Otro elemento clave para es la profundidad de descarga, que determina la vida útil de esta. La capacidad de acumulación está dada por la siguiente expresión [13]:

$$C = \frac{E * d}{V * Pd} \quad (5-3)$$

Dónde:

C: Capacidad de la batería

E: Energía diaria demandada por el sistema

D: Número de días en que puede entregar energía sin cargar.

V: Tensión del circuito

Pd: Porcentaje máximo de descarga de las baterías

Por lo tanto, la capacidad del grupo de baterías queda así:

$$C = (5759 * 1)/(24 * 0,6) = 399,93 [A * H] \quad (5-4)$$

El valor obtenido se aproxima al entero mayor que es de 400 [AH] es lo que necesita el sistema para funcionar correctamente.



Figura 5-2: Batería AGM 12v, 220 AH(Fuente: Datasheets Gel and AGM batteries Victron Energy b)

En la figura 5-2 se aprecia la batería a utilizar, donde basta con dos de ellas para cumplir con la capacidad calculada con anterioridad y dando también la razón al software.

Se ocupa una del tipo AGM (Absorbent Glass Mat) ya que resultan las más adecuadas para suministrar corrientes muy elevadas durante periodos de tiempo cortos (arranque). En estas baterías, el electrolito se absorbe por capilaridad en una estera de fibra de vidrio situada entre placas. En comparación con las de gel estas ofrecen excelentes resultados a la alta intensidad donde se recomiendan para aplicaciones como el arranque de motores. Debido a su diseño, las baterías de gel tienen una capacidad real menor a la alta intensidad, pero a su favor, tienen mejor duración de vida en modo de flotación y ciclos [14].

Los datos técnicos de la batería quedan expresados en la tabla 5-3:

Tabla 5-3: Batería Victron - Solar AGM 220AH 12v

Duración de Vida	Tº media de funcionamiento	Años	
	20°C	7 a 10	
	30°C	4	
	40°C	2	
		Ciclos	Ciclos
Voltajes de carga recomendados	Utilización en Flotación (V)	Normal (V)	Recarga rápida (V)
Absorción		14,2 - 14,6	14,6 - 14,9
Flotación	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8	13,5 - 13,8
Almacenamiento	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5	13,2 - 13,5
Dimensiones	522x238x240 mm		
Peso	65 Kg		

Otro dato importante es la duración de vida de acuerdo a los ciclos y la profundidad de ellos:

- 400 ciclos en descargar del 80 %
- 600 ciclos en descarga del 50 %
- 1500 ciclos en descarga del 30 %

Lo anterior indica y reafirma la recomendación de los fabricantes en tratar de no provocar ciclos de descarga tan profundos ya que esto disminuye la vida de estas, por ejemplo, el batería solo soporta 400 ciclos de descarga a una profundidad del 80% de esta.

La conexión de las baterías debe ser en serie para mantener la tensión requerida por la instalación, que en este caso son 24[vdc], esto queda ejemplificado en la figura 5-3.

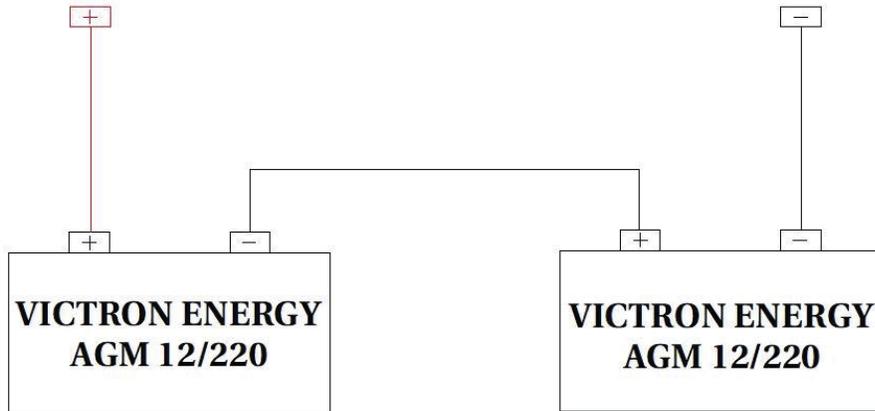


Figura 5-3: Conexión baterías. (Fuente: Elaboración Propia)

5.3 Regulador de Carga

Para el cálculo de un regulador MPPT se necesita tener en cuenta más aspectos que para un regulador PWM donde solo basta con la corriente de corto circuito del arreglo. Se deben tener en cuenta la corriente máxima de carga, la tensión máxima de circuito abierto permitida por el regulador, la tensión a máxima potencia del panel, tensión a circuito abierto y de la instalación la potencia total de los paneles solares y la tensión con que funciona el arreglo fotovoltaico[4].

La corriente máxima de carga se expresa como queda demostrado en la ecuación 5-5.

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{P_{tot}}{V_{bat}} \quad (5-5)$$

Reemplazando los valores queda como se muestra en la ecuación 5-6.

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{1500[w]}{24[v]} = 62.5 [A] \quad (5-6)$$

Luego se debe calcular tensión de circuito abierto de cada enlace multiplicando la Voc de cada panel por el número de paneles que se encuentran en serie, en este arreglo la matriz es de tres líneas en paralelo con dos paneles en serie cada una, esto para lograr los 24[v] que necesitan las baterías. La tensión del circuito abierto de los paneles corresponde a 37.5[v] y al tener dos paneles en serie ese voltaje se multiplica por dos, entonces la tensión del circuito abierto de la

cadena corresponde a 75[V], por lo tanto el regulador que se debe escoger debe contar con un voltaje máximo de 75[V].

También hay que tener en consideración el ajuste de altura 1.24 que se debe realizar sobre la corriente nominal debido a la altura, por lo tanto, la corriente máxima debe ser de 77.5 [A].

El regulador que se escoge y se acerca más a las especificaciones pedida con anterioridad es un Victron Blue Solar MPPT 150/85 MC4 y sus datos se describen en la tabla 5-4:

Tensión de la batería	Selección automática 12 / 24 /48 V
Corriente de carga nominal	85A
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	2400W
Corriente de cortocircuito máxima FV 2)	70A
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías
Eficacia máxima	98%
Autoconsumo	10 [mA]
Tensión de carga de "absorción"	Valores predeterminados: 14,4 / 28,8 / 43,2 / 57,6V (ajustable)
Tensión de carga de "flotación"	Valores predeterminados: 13,8 / 27,6 / 41,4 / 55,2V (ajustable)
Algoritmo de carga	variable multietapas
Compensación de temperatura	-16 mV / -32 mV / -68 mV / °C
Protección	Polaridad inversa de la batería (fusible, no accesible por el usuario)
Temperatura de trabajo	-30 a +60°C (potencia nominal completa hasta los 40°C)
Humedad	95%, sin condensación
Puerto de comunicación de datos y onoff remoto	VE.Direct (consulte el libro blanco sobre comunicación de datos en nuestro sitio web)
Terminales FV	Tres conjuntos de conectores MC4 MC4 (modelos 150/85 y 150/100)
Tipo de protección	IP43 (componentes electrónicos), IP22 (área de conexión)
Peso	4,5 Kg
Dimensiones (al x an x p)	246 x 295 x 103mm

En la imagen 5-4 se muestra el regulador de carga que se debe implementar en la instalación.



Figura 5-4: Victron - BlueSolar MPPT 150/85 (12/24/48V-85A) MC4 (Fuente: datasheets Controladores de carga BlueSolar con conexión roscada- o MC4 PV)

5.4 Inversor

El inversor se determina a partir de la suma de las potencia nominales de los elementos de consumo que componen el sistema, que como se calcula en el capítulo anterior corresponde a 1500 [Wp], pero este elemento también está sujeto al factor de corrección por la razón que la ventilación forzada no cumple la misma función que a nivel del mar, esto se debe a que el aire es menos denso a 4000 m.s.n.m. capta menos densidad de aire para enfriar los componente electrónicos interno, por lo tanto la potencia que se necesita es de 1860 [Wp].

Las características técnicas vienen dada por la figura 5-5:

Inversor Phoenix	C12/1200 C24/1200 C48/1200	C12/1600 C24/1600 C48/1600	C12/2000 C24/2000	12/3000 24/3000 48/3000	24/5000 48/5000
Funcionamiento en paralelo y en trifásico	Sí				
INVERSOR					
Rango de tensión de entrada (V DC)	9,5 – 17V 19 – 33V 38 – 66V				
Salida	Salida: 230V ± 2% / 50/60Hz ± 0,1% (1)				
Potencia cont. de salida 25°C (VA) (2)	1200	1600	2000	3000	5000
Potencia cont. de salida 25°C (W)	1000	1300	1600	2400	4000
Potencia cont. de salida 40°C (W)	900	1200	1450	2200	3700
Potencia cont. de salida 65°C (W)	600	800	1000	1700	3000
Pico de potencia (W)	2400	3000	4000	6000	10000
Eficacia máx. 12/ 24 /48 V (%)	92 / 94 / 94	92 / 94 / 94	92 / 92	93 / 94 / 95	94 / 95
Consumo en vacío 12 / 24 / 48 V (W)	8 / 10 / 12	8 / 10 / 12	9 / 11	20 / 20 / 25	30 / 35
Consumo en vacío en modo AES (W)	5 / 8 / 10	5 / 8 / 10	7 / 9	15 / 15 / 20	25 / 30
Consumo en vacío modo Search (W)	2 / 3 / 4	2 / 3 / 4	3 / 4	8 / 10 / 12	10 / 15
GENERAL					
Relé programable (3)	Sí				
Protección (4)	a – g				
Puerto de comunicación VE.Bus	Para funcionamiento paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema				
On/Off remoto	Sí				
Características comunes	Temperatura de funcionamiento: -40 a +65°C (refrigerado por ventilador) Humedad (sin condensación): Máx. 95%				
CARCASA					
Características comunes	Material y color: aluminio (azul RAL 5012) Tipo de protección: IP 21				
Conexiones de la batería	cables de batería de 1,5 metros se incluye		Pernos M8	2+2 Pernos M8	
Conexiones 230 V CA	Enchufe G-ST18i		Abrazadera-resorte	Bornes atornillados	
Peso (kg)	10		12	18	30
Dimensiones (al x an x p en mm.)	375x214x110		520x255x125	362x258x218	444x328x240

Figura 5-5: Inversor Victron - Phoenix C 24/2000 230V (Fuente: Datasheets Inversores Phoenix)

1200VA - 5000VA)

5.5 Conductores

Los paneles fotovoltaicos se instalan en la pampa lo más cercano posible a la caseta donde se encuentran los demás elementos electrónicos, se estima que la proyección no sea superior a los 5 [m] de distancia. De acuerdo a la Instrucción Técnica RGR N 02/2014 de la SuperIntendencia de Electricidad y Combustible (SEC) Diseño y Ejecución de las Instalaciones Fotovoltaicas Conectadas a la Red, se toma la referencia de los conductores y otros aspectos útiles para este proyecto, hay que dejar en claro que esta norma no se aplica a esta instalación ya que es desconectada de la red. Está en el apartado 11.6 dice *“Los conductores a utilizar en la unidad de generación fotovoltaica deberán ser conductores tipo fotovoltaicos, PV, PV1-F, Energyflex, Exzhellent Solar ZZ-F (AS), XZ1FA3Z-K (AS) o equivalente, que cumplan con los requisitos para su uso en sistemas fotovoltaicos en conformidad a la norma TUV 2 pfg 1 169/08.2007”* [15]

El cable que se escoge es el ZZ-F porque es el más utilizado en el mercado chileno, ahora es necesario calcular la sección donde se ocupa el apartado 11.8 que indica *“Los conductores de la unidad de generación deberán tener una sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos. Para cualquier condición de trabajo, los conductores deberán tener la sección suficiente para que la caída de tensión sea inferior del 1,5 %.”* [15]

La sección se calcula con la ecuación 5-7 [13]:

$$S = \frac{2 * \rho * I * L}{\Delta V} \quad (5-7)$$

Dónde:

ρ : Resistividad del conductor (0,017($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) para el caso del cobre)

I: Corriente máxima por el conductor

L: Largo del Conductor

Δv : Caída de tensión máxima del sistema

$$S = \frac{2 * 0,017 * 62,5 * 5}{24 * 0,015} = 29,513 [\text{mm}^2] \quad (5-8)$$

De acuerdo a las especificaciones técnicas y de elaboración de los conductores, presentado en la figura 5-6, se opta por el diámetro de 35[mm²].

TOPSOLAR PV ZZ-F (AS)					
DIMENSIONES					
Sección (mm ²)	Diámetro (mm)	Peso (Kg/km)	Aire libre (A)	Superficie (A)	Caída tensión (V/A · km)
1 x 2,5	5,6	52	41	33	23,0
1 x 4	6,1	68	55	44	14,3
1 x 6	6,7	89	70	57	9,49
1 x 10	7,8	136	98	79	5,46
1 x 16	8,8	193	132	107	3,47
1 x 25	10,8	294	176	142	2,23
1 x 35	11,9	390	218	176	1,58

Figura 5-6: Tabla de Conductores ZZ-F Solar (Fuente: <http://www.topcable.com>)

5.6 Soportes

Los soportes son los que sostienen a los paneles fotovoltaicos y son los encargados de otorgar el ángulo necesario para la mejor captación de irradiación, que para este caso corresponde a 19° hacia el norte.

El soporte a utilizar es una estructura para dos paneles fotovoltaicos de 250 [wp], esto determina el número de celdas y el tamaño del soporte, con base triangular y ajustable para ángulos de 20°/25°/30°.



Figura 5-7: Soporte doble para panel fotovoltaico (Fuente: <http://www.kuhn.cl>)

En la figura 5-7 se aprecia de mejor manera como luce el soporte para dos paneles. El kit contiene:

- 4 Abrazaderas E-CLAMP-40
- Abrazaderas M-CLAMP-40
- 12 Abrazaderas C-CLAMP-40
- Rieles 45 Estándar de 2100mm
- Bases Triangulares Ajustables de Aluminio de calidad profesional
- 6 Tornillos autoroscantes ST6.3*80 TOR-AR-CG

Aparte de hay que fijar estos soportes al suelo mediante cemento, el cual evita que ante cualquier ráfaga fuerte de viento salga desprendido el panel junto con el soporte.

5.7 Resumen

Los datos obtenidos en los sub capítulos anteriores se realizan bajo los datos de las localidades de Chijo y Ancovinto, las cuales poseen los mismos datos de consumo e irradiación. Pero la localidad de Anciaque, aunque cuenta con la misma irradiación ya que son sectores muy cercanos, su consumo es menor porque no se necesita de la bomba ya que el agua cae de forma gravitacional, pero lo que si es necesario es el potabilizador y otros elementos de consumo eléctrico.

Es por eso que los cálculos de cantidad de paneles, inversor, regulador y cables es distinto, pero si importante destacar que se conserva la misma línea de elementos, solo cambia la potencia específica, se ocupa la misma marca y características técnicas.

Para el caso de los paneles fotovoltaicos se aplica la misma expresión utilizada para el caso de Chijo u Ancovinto, pero varía su consumo a 2699 [Wh/día], por lo tanto queda con la ecuación 5-1 vista con anterioridad.

$$N^{\circ} \text{ de Módulos} = \frac{2699}{6,09 * 0,7 * 250} = 2,53 \quad (5-9)$$

Se aproxima a 4 paneles ya que el conjunto de batería trabaja con 24 [v].

El sistema de respaldo queda calculado bajo las mismas condiciones que para las localidades anteriores, es decir se ocupa la ecuación 5-3 para encontrar la capacidad necesaria para esta localidad.

$$C = \frac{2699 * 1}{24 * 0,6} = 187,43 [A * H] \quad (5-10)$$

Lo que se reduce a una batería de 200 [AH] y en este caso es de dos baterías de 110[AH] para lograr los 24 [v]. Los datos técnicos son exactamente los mismos solo varía el tamaño y el peso a 32 [Kg] y 330x171x220 de largo ancho y alto.

El regulador es el mismo procedimiento solo que la corriente máxima va a variar debido a que su potencia total es menor, la corriente máxima de carga queda expresada al igual que en la ecuación 5-5, y sus resultados quedan expresados en la ecuación 5-11.

$$I_{m\acute{a}x} = \frac{1000[w]}{24[v]} = 41,667[A] \quad (5-11)$$

Lo que aplicando el factor de corrección debido a la altura queda en un inversor de 51,666[A] que se aproxima al valor comercial de 60 [A] y debe cumplir con valor de voltaje de circuito abierto igual al anterior.

Para inversor la potencia total es de 1000[Wp] y agregando el factor de derrateo se debe ocupar 1240[Wp] acercándose al valor comercial de 1600[wp] y sus datos técnicos se especifican en la figura 5-4.

Los conductores también se ven afectados por la baja potencia de esta localidad, pero siempre manteniendo el mismo concepto y expresión se calcula la sección de conductor que se necesita Para esta instalación de acuerdo a la ecuación 5-6, pero lo que queda como resultado se puede observar en la ecuación 5-12:

$$S = \frac{2 * 0,017 * 42 * 5}{24 * 0,015} = 19,83 [mm^2] \quad (5-12)$$

Lo que se aproxima al valor comercial de 25 [mm²] como se muestra en la figura 5-6.

5.8 Conexión

Con los elementos ya seleccionados y materiales necesarios para que la instalación fotovoltaica lleve a cabo su cometido, es por eso que de la imagen 5-7 se muestra la conexión de los elementos que la componen.

El panel fotovoltaico es el encargado de convertir la energía solar en energía eléctrica, para luego pasar al regulador, que es el encargado de distribuir hacia las baterías y las cargas. El grupo de baterías es el encargado de entregar la energía necesaria para las cargas cuando los paneles no estén captando la energía solar, ya sea en días de baja radiación y/o en las noches.

El inversor es el que convierte la corriente continua en corriente alterna para que tanto la bomba como las demás cargas puedan funcionar correctamente. Luego cargas son conectadas en paralelo para que la tensión sea la misma.

Es importante mencionar que el esquema mostrado en la figura 5-7 corresponde a los villorios de Chijo y Ancovinto. Para Ancaque el diagrama es similar pero con la salvedad que se debe eliminar la bomba en la parte de las cargas, ya que este poblado cuenta con esta.

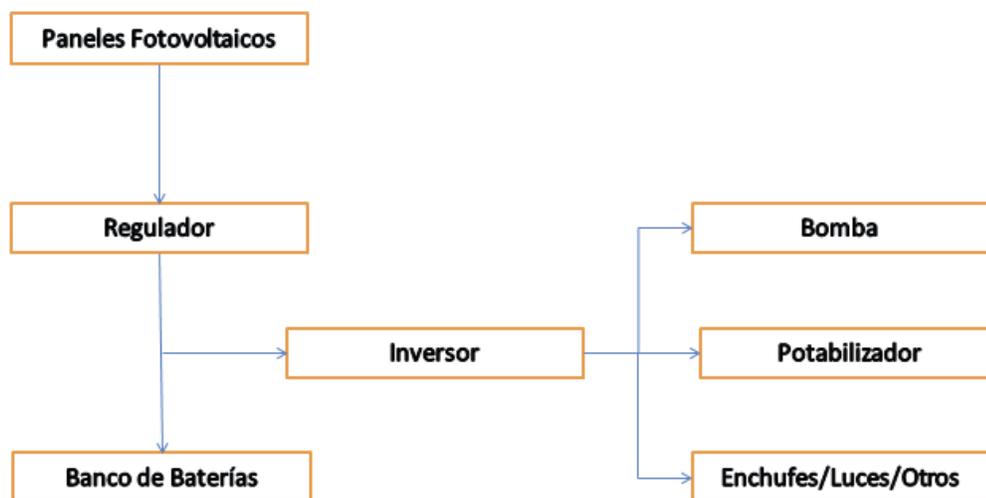


Figura 5-7. Esquema de Arreglo fotovoltaico y Cargas. Fuente: Propia

Para ejemplificar de mejor manera, se muestra el esquema eléctrico de la instalación fotovoltaica, la cual queda expresada en la figura 5-7, donde se puede destacar que en el tablero de la caseta se encuentran las protecciones eléctricas para los elementos en tensión continua, como el diferencial y la protección térmica (automático).

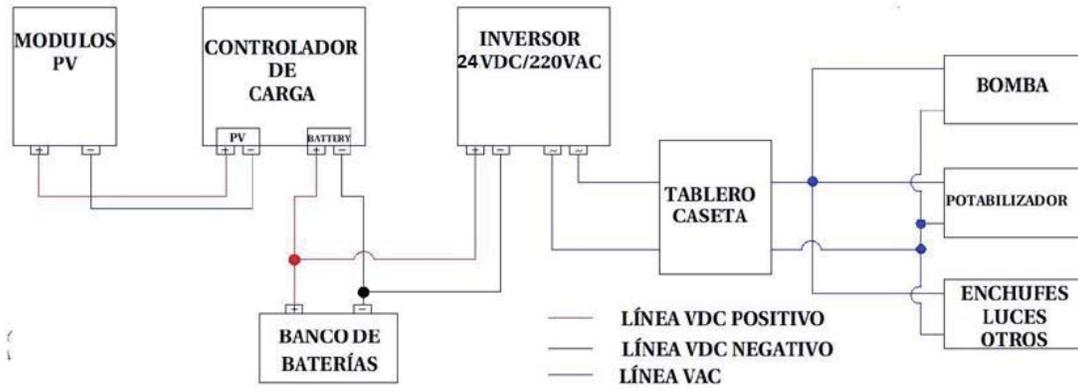


Figura 5-8: Conexión Eléctrica del sistema. (Fuente: Elaboración Propia)

6 Costos y Evaluación Económica

Ya con datos de los equipos que se necesitan para el correcto funcionamiento de los sistemas en las tres localidades de Chijo, Ancuaque y Ancovinto, es necesario determinar los costos de dichos equipos, para ello se cotiza en lugares especializados en materias de energías renovables como Tritec, TiendaSolar, Heliplast, entre otros.

La mano de obra se determina que se necesita un maestro y un ayudante, además de cinco días para la instalación completa, ya sea la instalación de los paneles fotovoltaicos, la caseta y los elementos que van dentro de ella. La hora de trabajo por el maestro se considera como \$18.750 y del ayudante \$12.500, teniendo en cuenta que la jornada de trabajo sea de ocho horas diarias, el valor por día trabajado es de \$150.000 y \$100.000 respectivamente, además de \$250.000 para alimentación, alojamiento y transporte, ya que los materiales deben ser transportados por el maestro desde la ciudad más cercana, que en este caso corresponde a la comuna de Colchane. También se considera la presencia de un supervisor, el cual tiene la misión de ir a la obra una vez terminada y establecer que se cumple con todo lo exigido. Lo anterior descrito queda ejemplificado en la tabla 6-1.

Tabla 6-1 Mano de Obra

DESCRIPCIÓN	CANT.	Nº Días	VALOR UNIT	TOTAL
Maestro	1	5	\$ 150.000	\$ 750.000
Ayudante	1	5	\$ 100.000	\$ 500.000
Comida	1	5	\$ 15.000	\$ 75.000
Transporte	1	1	\$ 100.000	\$ 100.000
Alojamiento	1	5	\$ 15.000	\$ 75.000
Supervisor	1	1	\$ 200.000	\$ 200.000
			TOTAL	\$ 1.700.000

En la tabla 6-2 se muestra se muestra el valor final de lo que cuestan los materiales y mano de obra de la instalación en Chijo y Ancovinto, se dejan los dos villorios en la misma tabla porque corresponden a los mismo valores tanto de elementos como instalación.

Tabla 6-2 Materiales Chijo - Ancovinto

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	VALOR UNIT	TOTAL
Panel Fotovoltaico 250Wp Komaes-Solar	UNI	6	\$ 136.850	\$ 821.100
Inversor Victron 2000W 24V	UNI	1	\$ 737.800	\$ 737.800
Bateria Victron AGM 220AH 12V	UNI	4	\$ 288.206	\$ 1.152.824
Regulador Victron MPPT 150/85 MC4	UNI	1	\$ 617.119	\$ 617.119
Cable ZZ-F 35mm2	m	10	\$ 4.983	\$ 49.825
Bomba Periferica 1HP Pedrollo	UNI	1	\$ 149.972	\$ 149.972
Estructura de Soporte 20° base triang 2Pan	UNI	3	\$ 90.113	\$ 270.338
Caseta	UNI	1	\$ 250.000	\$ 250.000
Mano de Obra (1 maestro, 1 ay, 5 días)	UNI	1	\$ 1.700.000	\$ 1.700.000
Ferreria Varios	UNI	1	\$ 100.000	\$ 100.000
Cable desnudo	m	20	\$ 5.593	\$ 111.860
Pararrayos	UNI	1	\$ 152.320	\$ 152.320
			TOTAL	\$ 6.113.159

En la tabla 6-3 se aprecia el valor de los materiales y manos de obra para la localidad de Anciaque, donde no se utiliza bomba para movilizar el agua, es por eso que los valores son menores con referencia a los otros dos villorios, eso implica menor consumo y menos cantidad de paneles fotovoltaicos y baterías, como también se reduce la potencia de los elementos de inversor y regulador ya que se necesita una potencia y corriente menores respectivamente.

Tabla 6-3 Materiales Anciaque

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT.	VALOR UNIT	TOTAL
Panel Fotovoltaico 250Wp Komaes-Solar	UNI	4	\$ 136.850	\$ 547.400
Inversor Victron 1600W 24V	UNI	1	\$ 571.860	\$ 571.860
Bateria Victron AGM 110AH 12V	UNI	2	\$ 162.899	\$ 325.798
Regulador Victron MPPT 150/70MC4	UNI	1	\$ 468.181	\$ 468.181
Cable ZZ-F 35mm2	m	10	\$ 4.058	\$ 40.579
Estructura de Soporte 20° base triang 2Pan	UNI	3	\$ 90.113	\$ 270.338
Caseta	UNI	1	\$ 250.000	\$ 250.000
Mano de Obra (1 maestro, 1 ay, 5 días)	UNI	1	\$ 1.700.000	\$ 1.700.000
Cable Desnudo	m	20	\$ 5.593	\$ 111.860
Ferreria Varios	UNI	1	\$ 100.000	\$ 100.000
Pararrayos	UNI	1	\$ 152.320	\$ 152.320
			TOTAL	\$ 4.538.336

En la tabla 6-4 se muestra el resultado final del costo del proyecto, donde se suma el transporte que un factor determinante por lo lejos que se encuentran los villorios.

Tabla 6-4 Resumen

Descripcion	Valor
Materiales Chijo	\$ 6.113.159
Materiales Ancovinto	\$ 6.113.159
Materiales Ancuaque	\$ 4.538.336
Transporte	\$ 2.500.000
Imprevistos (10%)	\$ 1.926.465
Gastos Operacionales (15%)	\$ 3.178.668
Utilidaddes (20%)	\$ 4.873.957
Total	\$ 29.243.744

El costo total del proyecto asciende a cerca de 29 millones de pesos y se estima que el tiempo en la instalación en las tres localidades sea de aproximadamente 15 días, 5 días para cada villorio.

Cabe mencionar que este proyecto no tiene retorno ya que es un proyecto social, entonces bajo cualquier método de análisis de proyectos, ya sea el VAN o VAUE daría negativo y sería inviable por que la tasa de retorno no existe porque son localidades de escasos recursos.

Discusión y conclusiones

En Chile existe gran variedad de recursos energéticos que se pueden utilizar en beneficio de las personas, en el sur el recurso de los ríos donde se puede instalar mini centrales de paso y así generar electricidad a lugares donde no llega el suministro, en sectores de la cuarta región y algunas costas del país, cuenta con abundante flujo de viento el cual permite el uso de energía eólica para poder transformarla en electricidad, pero también en gran parte del norte del país hay abundante radiación solar, es porque se están desarrollando grandes proyecto del ámbito solar fotovoltaico y también es por eso que en este proyecto se usa este tipo de energía, ya que sus cielos despejados gran partes del año, permiten que sea de gran utilidad usar este recurso y permitir dar al sistema una estabilidad y confiabilidad lo más alta posible.

Los poblados de Chijo, Ancuaque y Ancovinto se encuentran en la pampa del norte de Chile, donde, como se menciona anteriormente, el recurso que más abunda es la radiación solar. Estos villorios se encuentran a casi los 4000 m.s.n.m. donde el factor de la altura genera grandes problemas en la parte eléctrica del sistema.

El aire al ser menos denso provoca que los niveles de enfriamiento de los devanados de un motor, que en este proyecto es la bomba de agua, sea menor, por lo tanto la vida útil de estos elementos se ve afectada, como también los inversores y reguladores de carga que necesitan de ventilación forzada para enfriar sus componente electrónicos. Estos últimos, el calor que generan los elementos internos es disipado por ventiladores, e igual que en el caso de bomba, el aire tiene menos poder de enfriamiento como a nivel del mar. Para solucionar este problema, según recomendaciones de la empresa ABB Motors, los motores no deben trabajar a potencia nominal si no reducirla en un 24%, es decir, si un motor de 1 [hp] debe ser calculado y que trabaje a solo 0,76[hp] como potencial nominal, así se reduce el esfuerzo y los devanados no se calientan como si lo hicieran a potencia nominal. A lo que se refiere a los elementos electrónicos se aplica el mismo método que a los motores, se reducen la potencia en un 76%, es por eso que a lo mejor, se ven algo sobre dimensionados los elementos, pero todo se basa en el principio de que el aire es menos denso a grandes altitudes y lograr que estos perduren en el tiempo, y deban ser reemplazados al corto o mediano tiempo, esto incrementaría de sobre manera el presupuesto total del proyecto.

Los elementos de consumo que se disponen son los que se necesitan para la potabilización del agua y están determinados para un correcto funcionamiento del sistema, en donde se agrega potencia extra en caso de algún mal uso del enchufe. Es importante mencionar que el enchufe disponible se dimensiona de acuerdo a lo que determina la norma Nch4/2003 donde se da un valor de 150[w] a un enchufe, no permitiendo el uso de grande consumo como puede ser un hervidor de agua, o soldadoras, elementos que puede hacer que el sistema colapse y las baterías se deterioren más rápido de lo que estima el proveedor.

Las necesidades de consumo son ingresadas al software PVSyst versión 6.66 , en el cual se deben entregar los datos de radiación, los que son extraídos del Explorador Solar, perteneciente al gobierno de Chile, luego se identifican las horas en que se utilizan los elementos, y es aquí donde se determina que es necesario el uso de baterías, ya que el potabilizador también funciona durante la noche, y la luz que también actúa de noche, además el uso del enchufe se estima que se ocupe en horarios donde la radiación es más alta, cercanas al medio día, estas son recomendaciones que se dejan en el uso del sistema. Una vez que el software entrega los datos de los elementos se procede a calcular y comprobar estos datos de forma manual, los cuales calzan de buena manera.

Los elementos como el inversor, las baterías, el inversor se ubican dentro de una caseta de 6 [m²] a construir, esto es para evitar que se dañen con el polvo, y el agua en momentos de lluvia. Esta caseta debe ser de madera. Los paneles fotovoltaicos se instalan sobre soporte que van fijados al suelo, ahí hay que hacer un cimientado y sobre él poner los soportes que van fijados mediante pernos que incluye el proveedor. Estos soportes están diseñados para dos paneles fotovoltaicos, entonces como en cada comunidades se necesitan 6 paneles fotovoltaicos de 250[wp] se ocupa 3 soportes dobles, estos se conectan mediante cable hacia la caseta donde se encuentran los elementos de regulación de carga y baterías.

Los materiales y elementos se adquieren en Santiago, los cuales deben ser transportados hasta la ciudad de Iquique y luego a la comuna de Colchane, que es la localidad más cerca a los villorios. Luego el personal especialista debe trasladar los elementos hasta cada comunidad, es por ello que la mano de obra tiene un valor tan elevado, considerando también que son lugares súper inhóspitos y alejados de las grandes ciudades.

Es importante mencionar que Chile como país debe potenciar el uso de este tipo de energías, y por sobre todo en lugares donde las redes eléctricas no llegan, ya sea por su distancia o los grandes costos que estos se refieren. Si cada poblado obtuviera su propia energía eléctrica de acuerdo a los recursos que cerca de ahí se encuentren, ya no dependerían de las grandes empresas de distribución para poder satisfacer sus necesidades básicas, como es en este caso que es tener agua potable en el hogar y así podrían ellos mismos los recursos que la naturaleza les entrega. Ya que en varios lugares donde no llega la distribución eléctrica, para suplir esta falta hacen el uso de generadores diesel, los cuales contaminan y se deben estar recargando constantemente, lo que hace que el rendimiento de la instalación baje. Por otra parte el petróleo siempre va al alza por lo tanto, a medida que pasa el tiempo el costo de mantención de estos siempre se hace más caro, en cambio a lo que se refiere a un sistema fotovoltaico o un sistema

de generación eólica, son las fuentes primarias pertenecientes a la naturaleza por lo tanto son gratis, no se debe estar pagando a través del tiempo por el consumo de estas, sino se debe hacer un mantenimiento de mínimo de los equipo. Para sistemas de energía eléctrica fotovoltaicos, los paneles están determinados para una vida útil cercana a los 25 años, las baterías tienen una vida útil de 7 a 10 años a 20 °C según datos del fabricante, dependiendo el uso que se les dé, mientras menor sean sus ciclos de descarga mayor es su durabilidad. Los paneles fotovoltaicos necesitan una mantención periódica que permita limpiar del polvo, ya que esto reduce considerablemente su rendimiento. Es por lo expuesto que se deben usar las energías renovables no convencionales, con lo que también se ayuda a mejorar los niveles de contaminación con la que el mundo se ve afectado.

Bibliografía

- [1] A. T. Council, Earthquake damage evaluation data for California. Technical report, Seismic Safety Commission, Applied Technology Council (ATC), California, 1995.
- [2] S. Fingerhuth, «Integridad académica,» Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, Julio 2014. [En línea]. Available: <http://integridadacademica.cl/>. [Último acceso: 20 10 2015].
- [3] E. P. Wigner, «Theory of traveling wave optical laser,» *Phys. Rev.*, vol. 134, pp. A635-A646, 1965.
- [4] E. T. J. van Weert and R. K. Munro, «Informatics and the Digital Society: Social, ethical and cognitive issues: IFIP TC3/WG3.1&3.2 Open Conference on Social,» de *Ethical and Cognitive Issues of Informatics and ICT*, Dortmund, Germany, 2003.
- [5] M. Shell, «Preparation of papers for IEEE TRANSACTION and JOURNALS,» May 2007.
- [6] A. G. Tsipkin, V. Vodnev, G. G. Tsipkin y A. I. Samojv, Fórmulas matemáticas: álgebra, geometría, análisis matemático., Mir, 1998.
- [7] C. K. Alexander y M. Sadiku, Circuits, Fundamentals of Electric, McGraw-Hill College, 2003.
- [8] Oficina Internacional de Pesas y Medidas, «El Sistema Internacional de Unidades SI,» 2006. [En línea]. Available: http://www2.cem.es:8081/cem/es_ES/documentacion/generales/SIU8edes.pdf. [Último acceso: 2 January 2015].

A Electrobombas con rodete periférico

A.1 Campo De Prestaciones

- Caudal hasta 90 l/min (5.4 m³/h)
- Altura manométrica hasta 100 m.

A.2 Limites De Utilizo

- Altura de aspiración manométrica hasta 8 m
- Temperatura del líquido de -10 °C hasta +60 °C
- Temperatura ambiente hasta +40 °C (+45 °C para PK 60)
- Presión máx. en el cuerpo de la bomba:
- 6.5 bar para PK 60-65-70-80
- 10 bar para PK 90-100-200-300
- Funcionamiento continuo S1



Figura A-1: Motor Pedrollo

A.3 Ejecucion Y Normas De Seguridad

- EN 60335-1
- IEC 60335-1
- CEI 61-150
- EN 60034-1
- IEC 60034-1
- CEI 2-3

A.4 Utilización E Instalaciones

Son recomendadas para bombear agua limpia, sin partículas abrasivas y líquidos químicamente no agresivos con los materiales que constituyen la bomba. Por su confiabilidad, simplicidad en el uso y por su ventaja económica, son aptas para el uso doméstico y en particular para la distribución del agua acopladas a pequeños tanques de presión, para irrigación de huertos y jardines. La instalación se debe realizar en lugares cerrados o protegidos de la intemperie.

A.5 Garantia

2 años según nuestras condiciones generales de venta.

A.6 Curvas Y Datos De Prestaciones

50 Hz n= 2900 1/min HS= 0 m

A Electrobombas con rodete periférico

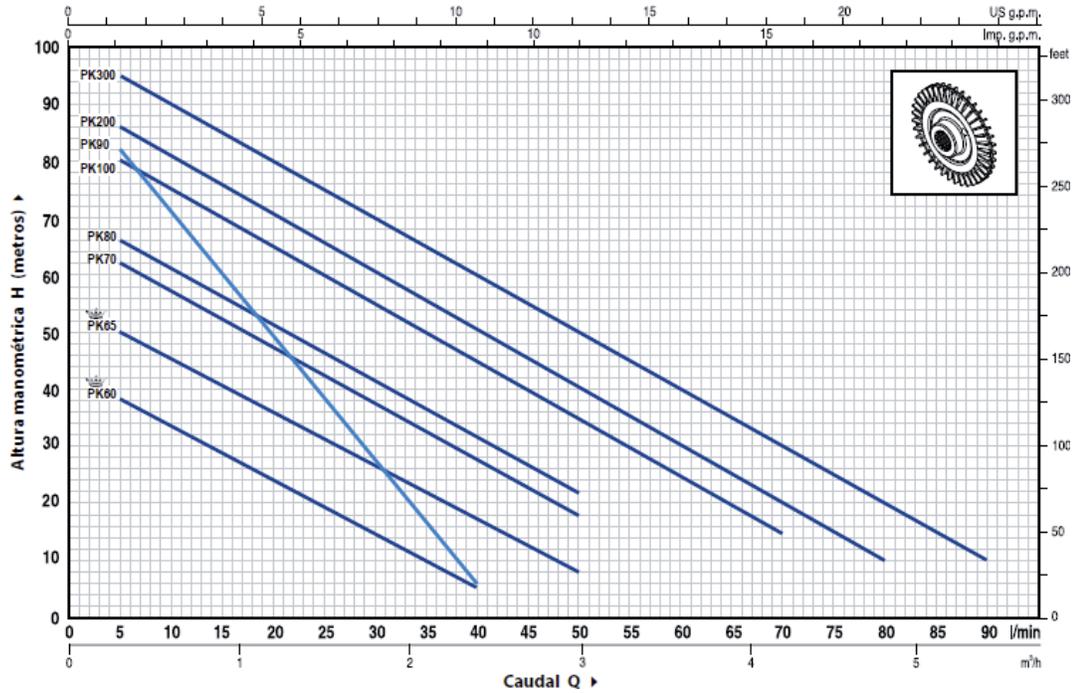


Figura A-2: Curvas de los distintos tipos de bombas presentadas por el fabricante.

MODELO		POTENCIA		Q	m ³ /h														
Monofásica	Trifásica	kW	HP		0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	
				l/min	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	
PKm 60®	PK 60®	0.37	0.50	H metros	40	38	33.5	29	24	19.5	15	10	5						
PKm 65	PK 65	0.50	0.70		55	50	45.5	40.5	36	31	27	22	17	8					
PKm 70	PK 70	0.60	0.85		65	62	57	52	47	42	37	32	27	18					
PKm 80	PK 80	0.75	1		70	66	61	56	51	46	41	36.5	31	22					
PKm 90	PK 90	0.75	1		90	82	71	60	49	38	27	17	5						
PKm 100	PK 100	1.1	1.5		85	80	75	70	65	60	55	50	45	35	25	15			
PKm 200	PK 200	1.5	2		90	86	81	76	71	65.5	60	55	50	40	30	20	10		
-	PK 300	2.2	3		100	95	90	85	80	75	70	65	60	50	40	30	20	10	

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 App. A.

Figura A-3: Características de los diferentes modelos presentados por el fabricante

A.7 Dimensiones Y Pesos

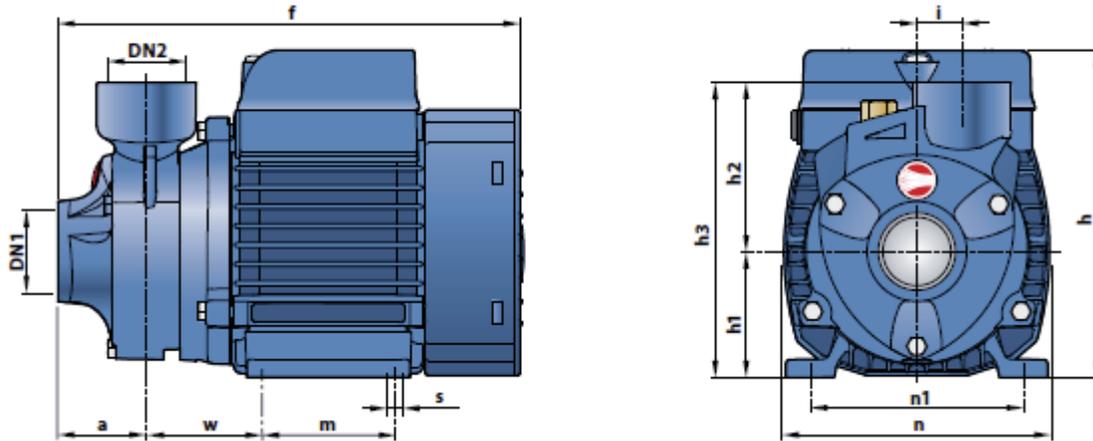


Figura A-4: Dimensiones de una bomba

MODELO		BOCAS		DIMENSIONES mm												kg		
Monofásica	Trifásica	DN1	DN2	a	f	h	h1	h2	h3	i	m	n	n1	w	s	1~	3~	
PKm 60*	PK 60*	1"	1"	39	207	145	56	75	131	20	55	118	96	7	53	5.2	5.2	
PKm 65	PK 65			232	152	63	138		80		100		6.6			6.1		
PKm 70	PK 70			55	285	180	71	85	156		90	140	112			62	10.0	9.9
PKm 80	PK 80			3/4"	3/4"	46	278	84	155		19	90	140			112	62	10.0
PKm 90	PK 90	3/4"	3/4"	46	278	84	155	19	90	140	112	62	10.3	10.0				
PKm 100	PK 100	1"	1"	55	350	212	80	94	174	20	100	164	125	85	9	14.4	12.4	
PKm 200	PK 200			55	350	212	80	94	174	20	100	164	125	85	9	15.5	13.4	
-	PK 300			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.6

Figura A-5: Dimensiones para los distintos tipos de bombas presentadas por el fabricante

A.8 CONSUMO EN AMPERIOS

MODELO	TENSION (monofásica)			MODELO	TENSION (trifásica)				
	230 V	240 V	110 V		230 V	400 V	690 V	240 V	415 V
Monofásica				Trifásica					
PKm 60*	2.5 A	2.4 A	5.5 A	PK 60*	2.0 A	1.15 A	-	1.9 A	1.1 A
PKm 65	3.7 A	3.4 A	7.4 A	PK 65	3.0 A	1.7 A	-	2.8 A	1.6 A
PKm 70	5.2 A	4.8 A	10.8 A	PK 70	3.8 A	2.2 A	-	3.3 A	1.9 A
PKm 80	5.2 A	4.8 A	10.8 A	PK 80	3.8 A	2.2 A	-	3.3 A	1.9 A
PKm 90	5.6 A	5.1 A	11.5 A	PK 90	4.0 A	2.3 A	-	3.8 A	2.2 A
PKm 100	9.0 A	8.2 A	18.0 A	PK 100	6.2 A	3.6 A	2.05 A	5.7 A	3.3 A
PKm 200	11.5 A	11.0 A	24.0 A	PK 200	7.6 A	4.4 A	2.5 A	7.0 A	4.0 A
				PK 300	9.3 A	5.4 A	3.15 A	8.7 A	5.0 A

Figura A-6: Consumo de las diferentes bombas presentadas por el fabricante.

B Sistema Aislado: Parámetros de Simulación Ancovinto

B.1 Proyecto: Ancovinto

- Lugar Geográfico Ancovinto
- País: Chile
- Ubicación Latitud: -19.40° S Longitud: -68.59° W
- Hora definida como Hora Legal: Huso hor. UT-4
- Altitud: 3715 m
- Datos climatológicos: Ancovinto Meteonorm 7.1 (1991-2010), Sat=100% - Síntesis

B.2 Parámetros de la simulación

B.2.1 Orientación Plano Receptor

- Inclinación: 19°
- Acimut: 0°

B.2.2 Características generador FV

- Módulo FV: Si-poly Modelo AS-P605-250
- Original PVsyst database: Fabricante AEG
- N° total de módulos FV N°: módulos 6 Pnom unitaria: 250 Wp
- Potencia global generador Nominal (STC):1500 Wp. En cond. funciona. 1340 Wp (50°C)
- Caract. funcionamiento del generador (50°C): Vmpp= 27 V Impp= 50 A
- Superficie total Superficie módulos: 9.8 m² Superf. célula 8.8 m²

B.3 Factores de pérdida Generador FV

- Factor de pérdidas térmicas: Uc (const) 29.0 W/m²K Uv (viento): 0.0 W/m²K / m/s
- Pérdida Óhmica en el Cableado: Res. global generador 9.2 mOhm
- Fracción de Pérdidas: 1.5 % en STC

B Sistema Aislado: Parámetros de Simulación Ancovinto

- Pérdida Diodos en Serie Caída de Tensión: 0.7 V STC Fracción de Pérdidas: 2.3 % en STC
- Pérdida Calidad Módulo Fracción de Pérdidas -0.5 %
- Pérdidas Mismatch Módulos MPP Fracción de Pérdidas 1.0 % en MPP
- Strings Mismatch loss Fracción de Pérdidas 0.10 %
- Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE IAM = 1 - bo (1/cos i - 1) Parám. bo 0.05

B.4 Batería

- Modelo Volta 6SB100
- Fabricante Volta
- Características del banco de baterías Tensión 24 V
- Capacidad Nominal 400 Ah
- N° de unidades 2 en serie x 4 en paralelo
- Temperatura Fijo (20°C)

B.5 Regulador

- Modelo Universal controller with MPPT converter
- Tecnología MPPT converter Coef. temp. -5.0 mV/°C/elem.
- Eficiencias Máx. y EURO 97.0/95.0 %
- Umbrales de Regulación Baterías Threshold commands as SOC calculation
- Carga SOC = 0.90 / 0.75 i.e. approx. 26.7 / 25.1 V
- Descarga SOC = 0.20 / 0.45 i.e. approx. 23.6 / 24.4 V
- Necesidades de los usuarios : Cons. domésticos diarios Constante durante el año
- media 8.0 kWh/Día

B.6 Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario

B.6.1 Parámetros principales del sistema

- Tipo de sistema: Aislado
- Orientación Campos FV
- Inclinación: 19° acimut: 0°
- Módulos FV
- Modelo: AS-P605-250 Pnom: 250 Wp
- Generador FV
- N° de módulos: 6 Pnom: total 1500 Wp
- Batería
- Modelo: Volta 6SB100
- banco de baterías
- N° de unidades: 8 Tensión/Capacidad: 24 V / 400 Ah

Valores anuales

	Número	Potencia	Utilización	Energía
Potabilizador	1	150 W/lámpara	12 h/día	1800 Wh/día
Iluminación	1	100 W/art.	2 h/día	200 Wh/día
Enchufe	1	150 W/art.	2 h/día	300 Wh/día
Otros	1		2 Wh/día	600 Wh/día
Bomba	1	567 W total	5 h/día	2835 Wh/día
Consumidores en espera			24 h/día	24 Wh/día
Energía total diaria				5759 Wh/día

Figura B-1. Valores anuales de energía consumida.

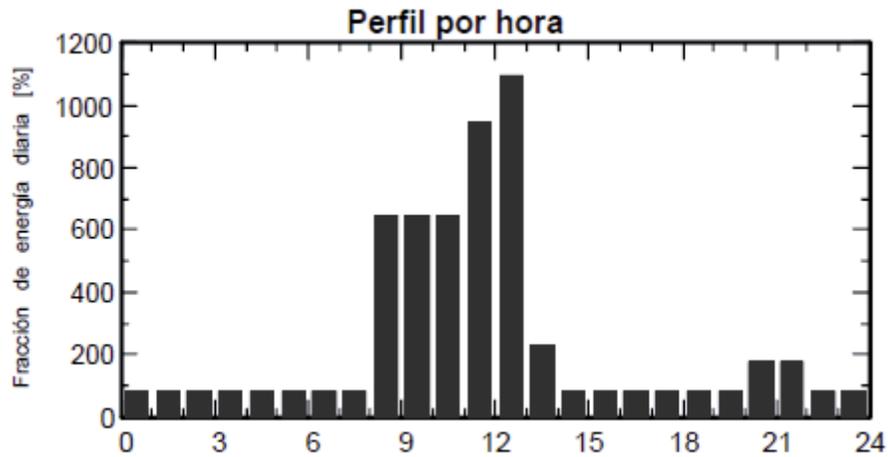


Figura B-2: Perfil por hora

B.7 Resultados Principales de la Simulación

B.8 Producción del Sistema

- Energía disponible: 3236 kWh/año
- Produc. Específico: 2158 kWh/kWp/año
- Energía utilizada: 2093 kWh/año
- Exced. (inutilizado): 1086 kWh/año

B Sistema Aislado: Parámetros de Simulación Ancovinto

Nueva variante de simulación Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
Enero	211.7	189.3	244.7	63.7	5.200	173.3	178.5	0.971
Febrero	176.3	165.6	215.1	50.4	3.799	157.5	161.3	0.976
Marzo	214.3	217.9	277.6	95.6	0.000	178.5	178.5	1.000
Abril	188.9	211.6	273.2	96.8	0.000	172.8	172.8	1.000
Mayo	160.8	192.9	253.4	70.7	0.000	178.5	178.5	1.000
Junio	145.2	179.3	237.2	59.8	0.000	172.8	172.8	1.000
Julio	164.2	202.3	267.5	85.1	0.000	178.5	178.5	1.000
Agosto	193.0	222.7	290.5	107.2	0.000	178.5	178.5	1.000
Septiembre	217.0	230.7	296.5	117.8	0.000	172.8	172.8	1.000
Octubre	252.9	245.8	312.9	128.7	0.000	178.5	178.5	1.000
Noviembre	261.5	236.0	301.3	124.1	0.000	172.8	172.8	1.000
Diciembre	236.5	206.0	266.5	85.6	0.000	178.5	178.5	1.000
Año	2422.3	2499.9	3236.3	1085.7	8.999	2093.0	2102.0	0.996

Leyendas:	GlobHor	Irradiación global horizontal	E Miss	Energía faltante
	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	E User	Energía suministrada al usuario
	E Avail	Energía Solar Disponible	E Load	Necesidad de energía del usuario (Carga)
	EUnused	Pérdida de energía no utilizada (batería plena)	SolFrac	Fracción solar (EUtilizada/ECarga)

Figura B-3: Balances y resultados principales

C Sistema Aislado: Parámetros de Simulación Chijo

C.1 Proyecto: Chijo

- Lugar Geográfico: Chijo
- País: Chile
- Ubicación Latitud: -19.44° S Longitud: -68.63° W
- Hora definida como Hora Legal: Huso hor. UT-4
- Altitud: 3746 m
- Datos climatológicos: Ancovinto Meteonorm 7.1 (1991-2010), Sat=100% - Síntesis

C.2 Parámetros de la simulación

C.2.1 Orientación Plano Receptor

- Inclinación: 19°
- Acimut: 0°

C.2.2 Características generador FV

- Módulo FV: Si-poly Modelo AS-P605-250
- Original PVsyst database: Fabricante AEG
- N° total de módulos FV N°: módulos 6 Pnom unitaria: 250 Wp
- Potencia global generador Nominal (STC):1500 Wp. En cond. funciona. 1340 Wp (50°C)
- Caract. funcionamiento del generador (50°C): Vmpp= 27 V Impp= 50 A
- Superficie total Superficie módulos: 9.8 m² Superf. célula 8.8 m²

C.3 Factores de pérdida Generador FV

- Factor de pérdidas térmicas: Uc (const) 29.0 W/m²K Uv (viento): 0.0 W/m²K / m/s
- Pérdida Óhmica en el Cableado: Res. global generador 9.2 mOhm
- Fracción de Pérdidas: 1.5 % en STC

C Sistema Aislado: Parámetros de Simulación Chijo

- Pérdida Diodos en Serie Caída de Tensión: 0.7 V STC Fracción de Pérdidas: 2.3 % en STC
- Pérdida Calidad Módulo Fracción de Pérdidas -0.5 %
- Pérdidas Mismatch Módulos MPP Fracción de Pérdidas 1.0 % en MPP
- Strings Mismatch loss Fracción de Pérdidas 0.10 %
- Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE IAM = 1 - bo (1/cos i - 1) Parám. bo 0.05

C.4 Batería

- Modelo Volta 6SB100
- Fabricante Volta
- Características del banco de baterías Tensión 24 V
- Capacidad Nominal 400 Ah
- N° de unidades 2 en serie x 4 en paralelo
- Temperatura Fijo (20°C)

C.5 Regulador

- Modelo Universal controller with MPPT converter
- Tecnología MPPT converter Coef. temp. -5.0 mV/°C/elem.
- Eficiencias Máx. y EURO 97.0/95.0 %
- Umbrales de Regulación Baterías Threshold commands as SOC calculation
- Carga SOC = 0.90 / 0.75 i.e. approx. 26.7 / 25.1 V
- Descarga SOC = 0.20 / 0.45 i.e. approx. 23.6 / 24.4 V
- Necesidades de los usuarios: Cons. domésticos diarios Constante durante el año
- media 8.0 kWh/Día

C.6 Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario

C.6.1 Parámetros principales del sistema

- Tipo de sistema: Aislado
- Orientación Campos FV Inclinación: 19° acimut: 0°
- Módulos FV Modelo: AS-P605-250 Pnom: 250 Wp
- Generador FV N° de módulos: 6 Pnom: total 1500 Wp
- Batería Modelo: Volta 6SB100
- banco de baterías N° de unidades: 8 Tensión/Capacidad: 24 V / 400 Ah

C Sistema Aislado: Parámetros de Simulación Chijo

Valores anuales

	Número	Potencia	Utilización	Energía
Potabilizador	1	150 W/lámpara	12 h/día	1800 Wh/día
Iluminación	1	100 W/art.	2 h/día	200 Wh/día
Enchufe	1	150 W/art.	2 h/día	300 Wh/día
Otros	1		2 Wh/día	600 Wh/día
Bomba	1	567 W total	5 h/día	2835 Wh/día
Consumidores en espera			24 h/día	24 Wh/día
Energía total diaria				5759 Wh/día

Figura C-1. Valores anuales de energía consumida.

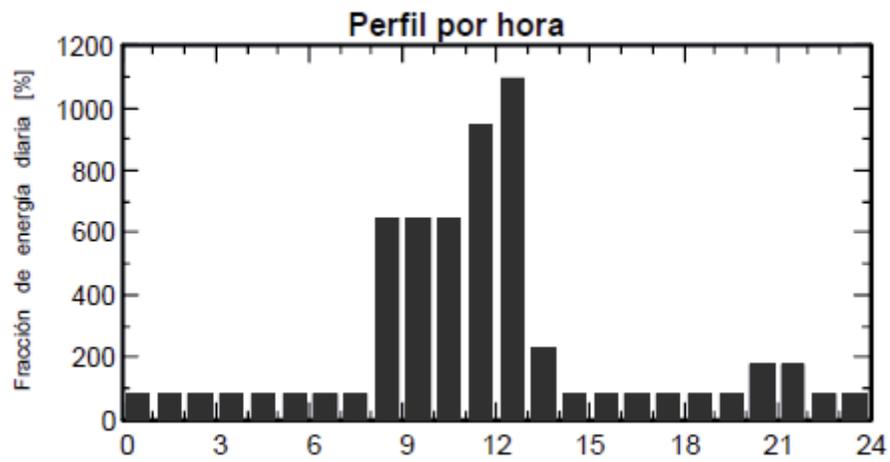


Figura C-2: Perfil por hora

C.7 Resultados Principales de la Simulación

C.7.1 Producción del Sistema

- Energía disponible: 3236 kWh/año
- Produc. Específico: 2158 kWh/kWp/año
- Energía utilizada: 2093 kWh/año
- Exced. (inutilizado): 1086 kWh/año

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
Enero	211.7	189.3	244.7	63.7	5.200	173.3	178.5	0.971
Febrero	176.3	165.6	215.1	50.4	3.799	157.5	161.3	0.976
Marzo	214.3	217.9	277.6	95.6	0.000	178.5	178.5	1.000
Abril	188.9	211.6	273.2	96.8	0.000	172.8	172.8	1.000
Mayo	160.8	192.9	253.4	70.7	0.000	178.5	178.5	1.000
Junio	145.2	179.3	237.2	59.8	0.000	172.8	172.8	1.000
Julio	164.2	202.3	267.5	85.1	0.000	178.5	178.5	1.000
Agosto	193.0	222.7	290.5	107.2	0.000	178.5	178.5	1.000
Septiembre	217.0	230.7	296.5	117.8	0.000	172.8	172.8	1.000
Octubre	252.9	245.8	312.9	128.7	0.000	178.5	178.5	1.000
Noviembre	261.5	236.0	301.3	124.1	0.000	172.8	172.8	1.000
Diciembre	236.5	206.0	266.5	85.6	0.000	178.5	178.5	1.000
Año	2422.3	2499.9	3236.3	1085.7	8.999	2093.0	2102.0	0.996

Leyendas: GlobHor Irradiación global horizontal E Miss Energía faltante
 GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados E User Energía suministrada al usuario
 E Avail Energía Solar Disponible E Load Necesidad de energía del usuario (Carga)
 EUnused Pérdida de energía no utilizada (batería plena) SolFrac Fracción solar (EUtilizada/ECarga)

Figura C-3: Balances y resultados principales

D Sistema Aislado: Parámetros de Simulación Ancuaque

D.1 Proyecto: Ancuaque

- Lugar Geográfico: Ancuaque
- País: Chile
- Ubicación Latitud: -19.52° S Longitud: -68.72° W
- Hora definida como Hora Legal: Huso hor. UT-4
- Altitud: 3953 m
- Datos climatológicos: Ancovinto Meteonorm 7.1 (1991-2010), Sat=100% - Síntesis

D.2 Parámetros de la simulación

D.2.1 Orientación Plano Receptor

- Inclinación: 19°
- Acimut: 0°

D.2.2 Características generador FV

- Módulo FV: Si-poly Modelo AS-P605-250
- Original PVsyst database: Fabricante AEG
- N° total de módulos FV N° módulos: 4 Pnom unitaria: 250 Wp
- Potencia global generador Nominal (STC):1000 Wp. En cond. funciona. 893 Wp (50°C)
- Caract. funcionamiento del generador (50°C): Vmpp= 54 V Impp= 17 A
- Superficie total Superficie módulos: 6.5 m² Superf. célula 5.8 m²

D.3 Factores de pérdida Generador FV

- Factor de pérdidas térmicas: Uc (const) 29.0 W/m²K Uv (viento): 0.0 W/m²K / m/s
- Pérdida Óhmica en el Cableado: Res. global generador 220 mOhm
- Fracción de Pérdidas: 6.0 % en STC

D Sistema Aislado: Parámetros de Simulación Anclaque

- Pérdida Diodos en Serie Caída de Tensión: 0.7 V STC Fracción de Pérdidas: 1.2 % en STC
- Pérdida Calidad Módulo Fracción de Pérdidas -0.5 %
- Pérdidas Mismatch Módulos MPP Fracción de Pérdidas 1.0 % en MPP
- Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE IAM = $1 - b_o (1/\cos i - 1)$ Parám. b_o 0.05

D.4 Batería

- Modelo Volta 6SB100
- Fabricante Volta
- Características del banco de baterías Tensión 24 V
- Capacidad Nominal 200 Ah
- N° de unidades 2 en serie
- Temperatura Fijo (20°C)

D.5 Regulador

- Modelo Universal controller with MPPT converter
- Tecnología MPPT converter Coef. temp. -5.0 mV/°C/elem.
- Eficiencias Máx. y EURO 97.0/95.0 %
- Umbrales de Regulación Baterías Threshold commands as SOC calculation
- Carga SOC = 0.90 / 0.75 i.e. approx. 26.7 / 25.1 V
- Descarga SOC = 0.20 / 0.45 i.e. approx. 23.6 / 24.4 V
- Necesidades de los usuarios: Cons. domésticos diarios Constante durante el año
- media 8.0 kWh/Día

D.6 Sistema Aislado: Necesidades detalladas del usuario

D.6.1 Parámetros principales del sistema

- Tipo de sistema: Aislado
- Orientación Campos FV Inclinación: 19° acimut: 0°
- Módulos FV Modelo: AS-P605-250 Pnom: 250 Wp
- Generador FV N° de módulos: 4 Pnom: total 1000 Wp
- Batería Modelo: Volta 6SB100
- banco de baterías N° de unidades: 2 Tensión/Capacidad: 24 V / 100 Ah

D Sistema Aislado: Parámetros de Simulación Ancuaque

Valores anuales

	Número	Potencia	Utilización	Energía
Potabilizador	1	150 W/lámpara	13 h/día	1875 Wh/día
Iluminación	1	100 W/art.	2 h/día	200 Wh/día
Enchufe	1	150 W/art.	2 h/día	300 Wh/día
Otros	1		1 Wh/día	300 Wh/día
Consumidores en espera			24 h/día	24 Wh/día
Energía total diaria				2699 Wh/día

Figura D-1. Valores anuales de energía consumida.

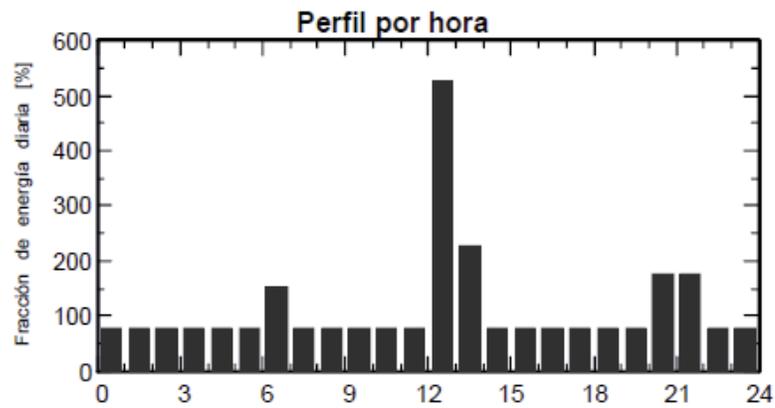


Figura D-2: Perfil por hora

D.7 Resultados Principales de la Simulación

D.7.1 Producción del sistema

- Energía disponible: 2161 kWh/año
- Produc. Específico: 2161 kWh/kWp/año
- Energía utilizada: 979 kWh/año
- Exced. (inutilizado): 1087 kWh/año
- Factor de rendimiento (PR): 37.87 %
- Fracción solar: SF 99.34 %

Balances y resultados principales

	GlobHor kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	E Avail kWh	EUnused kWh	E Miss kWh	E User kWh	E Load kWh	SolFrac
Enero	212.4	190.1	164.4	76.8	2.204	81.46	83.67	0.974
Febrero	177.4	166.8	144.7	66.3	1.758	73.81	75.57	0.977
Marzo	215.6	221.4	187.6	96.1	0.000	83.67	83.67	1.000
Abril	189.8	211.2	181.0	92.7	0.000	80.97	80.97	1.000
Mayo	161.2	193.3	168.8	77.8	0.000	83.67	83.67	1.000
Junio	144.9	180.1	159.4	73.1	0.424	80.55	80.97	0.995
Julio	164.2	202.1	178.2	85.9	0.000	83.67	83.67	1.000
Agosto	193.3	223.5	193.5	101.1	0.000	83.67	83.67	1.000
Septiembre	217.1	231.0	197.8	107.1	0.000	80.97	80.97	1.000
Octubre	254.9	248.7	209.8	114.5	0.000	83.67	83.67	1.000
Noviembre	261.5	236.6	199.0	108.0	0.000	80.97	80.97	1.000
Diciembre	236.0	205.6	176.5	87.1	2.080	81.59	83.67	0.975
Año	2428.3	2510.4	2160.8	1086.6	6.467	978.67	985.13	0.993

Leyendas:	GlobHor	Irradiación global horizontal	E Miss	Energía faltante
	GlobEff	Global efectivo, corr. para IAM y sombreados	E User	Energía suministrada al usuario
	E Avail	Energía Solar Disponible	E Load	Necesidad de energía del usuario (Carga)
	EUnused	Pérdida de energía no utilizada (batería plena)	SolFrac	Fracción solar (EUtilizada/ECarga)

Figura D-3: Balances y resultados principales.