

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

**INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA OFF GRID NORMALIZADA PARA CONSUMO
RURAL**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
Técnico Universitario en ELECTRICIDAD

Alumno:

Luis Sebastián Cuevas Ramírez

Profesor Guía:

Carlos Santander Molina

Profesor Correferente:

Javier Eguren Aspe

2024

RESUMEN

KEYWORD: PANELES SOLARES – SISTEMA OFF GRID – ZONAS AISLADAS

El presente trabajo de título tiene como objetivo principal brindar a una vivienda aislada ubicada en el norte del país en el sector de La Capilla, comuna de Illapel este sector y entorno son de carácter rural, en donde no se cuenta con el suministro eléctrico solo en el área más cercana al camino de tierra a pocos metros de él.

El diseño de la instalación fotovoltaica será en base a las condiciones geográficas en la región, que son bastantes favorables en el norte de Chile.

Para poder desarrollar este trabajo fue necesario investigar los diversos tipos de paneles solares existentes junto a la respectiva normativa vigente en Chile, los métodos de instalación existentes, la secuencia constructiva de instalación de los paneles, los materiales utilizados, los tipos de trabajos de mantenimiento necesarios para lograr un correcto funcionamiento de los paneles, las condiciones a las que estarán sometidos los paneles solares, entre otros, para en definitiva elaborar un plan de mantenimiento acertado y enfocado en el modelo instalado en la vivienda.

El trabajo se ha dividido en 3 capítulos. En el primero se aprecian datos del sector y conceptos básicos de la instalación. En el segundo se detalla la instalación, cálculos asociados a esta. En el tercero los costos que tendrá toda la instalación para una vivienda.

ÍNDICE

CONTENIDO

RESUMEN.....	
ÍNDICE DE FIGURAS.....	
ÍNDICE DE TABLAS.....	
SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS.....	
INTRODUCCIÓN.....	
OBJETIVOS.....	2
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1. CONCEPTOS GENERALES.....	4
1.1. UBICACIÓN.....	4
1.2. CONCEPTOS BÁSICOS.....	5
1.3. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....	6
1.3.1. Irradiancia solar:.....	7
1.3.2. Irradiación solar:.....	7
1.4. CAPTACIÓN DE LA RADIACIÓN.....	8
1.5. VIENTO EN LA ZONA.....	10
1.6. TEMPERATURA.....	11
1.7. INSTALACIÓN OFF GRID.....	11
1.7.1. Módulo fotovoltaico.....	12
1.7.2. Inversor.....	14
1.7.3. Controlador de carga.....	16
1.7.4. Banco de baterías.....	18
2. CARÁCTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN OFF GRID.....	22
2.1. ETAPAS DE DISEÑO INSTALACIÓN OFF GRID.....	22
2.1.1. Detalle de consumo de la vivienda.....	22
2.1.2. Dimensionado de banco de baterías.....	24
2.1.3. Dimensionado de paneles fotovoltaicos.....	26
2.1.4. Dimensionado del regulador de carga:.....	28

2.1.5.	Dimensionado del Inversor Off Grid	29
2.1.6.	Dimensionado de conductores de CC (corriente continua)	30
2.1.7.	Protecciones parte de CC.....	33
2.2.	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE.....	35
2.3.	PROTECCIONES BT AC 220V	36
2.4.	PUESTA A TIERRA.....	37
3.	COSTOS.....	40
3.1.	COSTOS DEL DISEÑO	40
3.2.	COSTOS DE LOS MATERIALES.....	41
3.2.1.	Cubicación.....	41
3.3.	MANO DE OBRA.....	43
3.4.	COSTO TOTAL DEL PROYECTO.....	43
3.5.	CARTA GANTT.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1-1 Imagen Satelital de la zona
- Figura 1-2 Irradiancia Solar en la zona
- Figura 1-3 Irradiación promedio mensual en la zona
- Figura 1-4. Valores de Irradiación promedio mensual en la zona.
- Figura 1-5 A) Orientación del módulo B) Inclinación del módulo
- Figura 1-6 Velocidad del viento mensual y diaria
- Figura 1-7 Temperatura promedio mensual y diaria
- Figura 1-8 Ejemplo de esquema sistema off grid
- Figura 1-9. Diagrama panel Fotovoltaico
- Figura 1-10. Tipos de panel fotovoltaicos más comunes
- Figura 1-11. Inversor Off Grid 10kVA marca victron
- Figura 1-12. Controlador MPPT 250/70
- Figura 2-1. Diagrama Conexión Banco de baterías
- Figura 2-2. Comparación de banco de baterías según tipos
- Figura 2-3. Generación con 4 paneles de 550 W
- Figura 2-4. Generación con 6 paneles de 550 W
- Figura 2-5: Datasheet panel 550 W
- Figura 2-6; Datasheet controladores Victron Energy
- Figura 2-7: Diagrama Protecciones Unidad de generación al controlador
- Figura 2-8: Diagrama tablero de CC
- Figura 2-9: Componente estructura de soporte
- Figura 2-10: Protecciones BT AC
- Figura 2-11: Barra copperweld y cámara de registro
- Figura 3-1: Presupuesto materiales parte 1
- Figura 3-2: Presupuesto materiales parte 2
- Figura 3-3: Presupuesto materiales parte 3
- Figura 3-4: Costo Final
- Figura 3-5: Carta Gantt del proyecto

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Algunos tipos de energía

Tabla 1.2: Comparativas baterías solares.

Tabla 2-1: Detalle de consumo estimado de la vivienda

Tabla 2-2: Resumen dimensionado de conductores

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

SIGLAS

CA: Corriente Alterna

CC: Corriente Continua

IVA: Impuesto de Valor Agregado

UF: Unidad de Fomento

HSP: hora solar punta u hora solar pico.

SIMBOLOGÍAS

Todas las unidades son derivadas del S.I. (Sistema Internacional)

msnm: metro sobre el nivel del mar

°: Grado

°C: Grados Celsius

%: Por ciento

m/s: Metro por Segundo

km: Kilometro

kWh: Kilowatt Hora

kW: Kilowatt

W: Watt

C: Conductividad eléctrica del material

MPPT: Seguidor de punto de máxima potencia

RIC: Reglamento de seguridad de las instalaciones de consumo de energía eléctrica aprobado por el Decreto Supremo N°8/2020 del Ministerio de Energía

INTRODUCCIÓN

Hoy en día la dependencia de la energía eléctrica es muy grande, se considera la cuenta eléctrica en la canasta básica de las familias. Es casi imposible vivir sin energía eléctrica en la actualidad ya sea para el uso recreativo como en consola de video juegos, computadores o para el uso de trabajo como por ejemplo en el uso de herramientas eléctricas, hornos entre otros objetos eléctricos. Se podría decir que es un bien de consumo básico.

La red eléctrica cubre casi en su totalidad las grandes regiones y las ciudades principales de estas, pero en sectores aislados como por ejemplo los cercanos a la cordillera no es posible encontrar postes y líneas eléctricas que les permitan conectarse a la red ya sea por los costos asociados que tendría llegar a esas zonas o por factibilidad técnica.

La demanda cada vez más creciente de esta energía llevó al desarrollo de fuentes eléctricas que no dependan de la red como por ejemplo el uso de la energía solar por medio de paneles fotovoltaicos los cuales son capaces de proveer electricidad de un recurso renovable como lo es la radiación solar.

Junto a otros tipos de energía renovable que son al igual que la solar, como la eólica son fuentes que no contaminan y son promovidas en la actualidad con la creciente contaminación global en la cual aportan algunas centrales eléctricas como las centrales nucleares y las termoeléctricas que generan impactos ambientales en las zonas en donde se encuentran.

Al tener mayor conocimiento de los cambios en el mundo ocasionados por la contaminación es común ver personas que deciden ir a vivir a lugares alejados lejos del smog y la contaminación y al llegar a estas zonas no se cuenta con redes eléctricas ya sea por falta de recursos o para intervenir la zona.

Como solución existen los sistemas fotovoltaicos off grid que permiten tener energía sin depender de la red, así no generan impacto en la zona y contribuyen a no generar contaminación.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar la instalación fotovoltaica para una vivienda aislada bajo la norma eléctrica vigente en Chile que proporcione una fuente de energía independiente y sostenible.

Determinar la factibilidad técnica y económica para la instalación de sistemas solares fotovoltaicos que permita satisfacer el consumo eléctrico total en iluminación y parte de éste en circuitos eléctricos internos,

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar y obtener información de la demanda energética y determinar las horas de sol (HSP) en la zona en donde se instalarán los paneles por medio de la página del gobierno el explorador solar
2. Dimensionamiento del sistema fotovoltaico: Determinar el número adecuado de paneles solares, tomando en cuenta la demanda energética de la instalación y las condiciones climáticas locales.
3. Evaluar los costos de la instalación fotovoltaica en la vivienda.
4. Elaborar un plan de mantenimiento para instalación fotovoltaica.

CAPÍTULO 1: CONCEPTOS GENERALES

1.2. CONCEPTOS BÁSICOS

Para comprender la aplicación del presente trabajo de título, es necesario conocer algunos conceptos básicos relativos a la energía y a la electricidad. Estos conceptos son los siguientes:

- La energía es la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos. Es decir, el concepto de energía se define como la capacidad de hacer funcionar las cosas.
- Algunos tipos de energía son los siguientes:

Tabla 1-1. Ejemplos de tipos de energía

Forma	Origen	Producción	Usos
Radiante	Sol. Radiación	Solar, electroquímica	Iluminación, electrodomésticos, etc.
Nuclear	Fisión de átomos	Central nuclear	Urbes, industria, etc.
Eléctrica	Movimiento de electrones, electromagnetismo	Centrales hidroeléctricas, eólicas entre otras	Usos variados hogar, industria, etc.

Fuente: Elaboración propia. Tipos de energía

- **Voltaje:** Es la cantidad de voltios que actúan en un aparato o en un sistema eléctrico. De esta forma, el voltaje, que también es conocido como tensión o diferencia de potencial, es la presión que una fuente de suministro de energía eléctrica o fuerza electromotriz ejerce sobre las cargas eléctricas o electrones en un circuito eléctrico cerrado. De esta forma, se establece el flujo de una corriente eléctrica. A mayor diferencia de potencial que ejerce

una fuente de suministro de energía eléctrica, mayor es el voltaje existente en el circuito al que corresponde ese conductor.

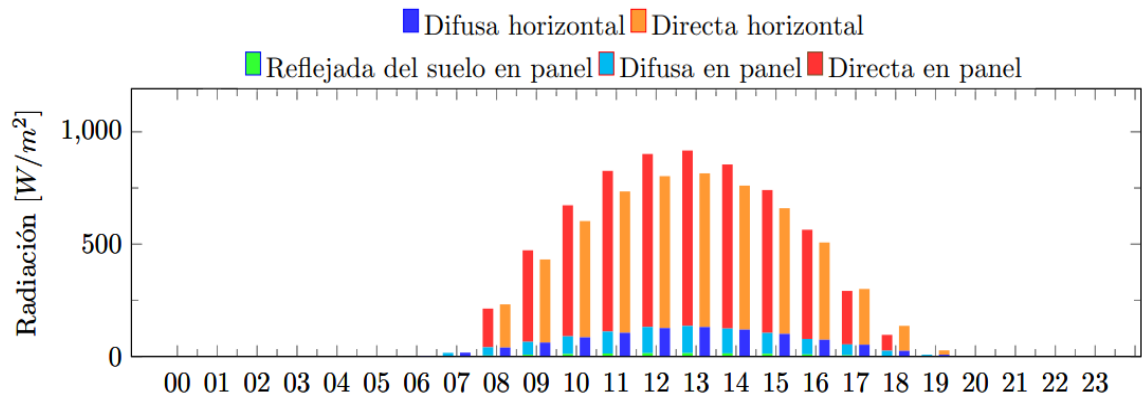
- **Amperaje:** El amperaje es, dicho de una forma sencilla, la cantidad de corriente eléctrica que pasa a través de un componente eléctrico, como por ejemplo un cable. Mide el número de electrones que pasan por un determinado punto en un segundo.
- **Watts o potencia eléctrica:** La potencia eléctrica es la proporción con la que la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico por unidad de tiempo, medida en vatios
- **Resistencia:** Es toda oposición que encuentra la corriente a su paso por un circuito eléctrico cerrado, atenuando o frenando el libre flujo de circulación de las cargas eléctricas o electrones. Cualquier dispositivo o consumidor conectado a un circuito eléctrico representa en sí una carga, resistencia u obstáculo para la circulación de la corriente eléctrica.

1.3. **ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA**

La energía solar fotovoltaica es la energía procedente del sol que se convierte en energía eléctrica de forma directa, sin ninguna conversión intermedia. Se produce mediante generadores fotovoltaicos compuestos por módulos fotovoltaicos conectados entre sí que a su vez están compuestos por unidades básicas denominadas células solares o fotovoltaicas. El conjunto de módulos fotovoltaicos que componen un generador forma una superficie plana que tiene que ser expuesta a la luz del Sol para producir energía eléctrica. La inclinación y la orientación adecuada de dicha superficie son fundamentales para conseguir una conversión eficiente de energía solar en energía eléctrica. Existen dos conceptos básicos que permiten entender la energía solar fotovoltaica: irradiancia e irradiación solares.

1.3.1. Irradiancia solar:

Es la magnitud que mide la potencia radiactiva incidente de la radiación solar por unidad de superficie. Su unidad de medida es el W/m² (watt-metro cuadrado). La irradiancia solar varía de acuerdo con la hora del día y al día del año.

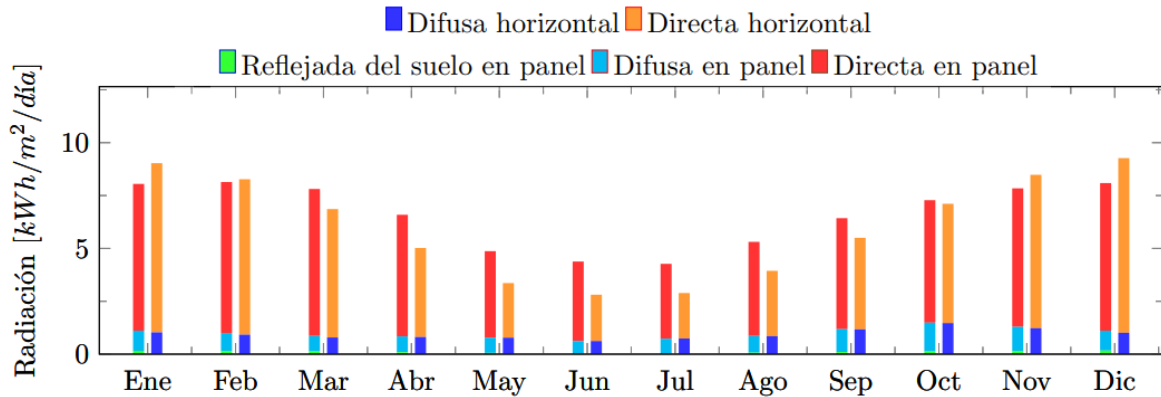


Fuente: solar.minenergia.cl/temp/reporteMeteo_ON6EOP7.pdf

Figura 1-2. Irradiancia Solar en la zona

1.3.2. Irradiación solar:

Es la magnitud que mide la integración de radiación solar (energía solar) incidente por unidad de superficie y en un periodo de tiempo dado, pudiendo ser por hora, día, mes o año. Se asocia al concepto de energía. Su unidad de medida es el kWh/m² (kilowatt-hora por metro cuadrado) en un determinado período.



Fuente: solar.minenergia.cl/temp/reporteMeteo_ON6EOP7.pdf

Figura 1-3. Gráfico de Irradiación promedio mensual en la zona.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Directa	6.94	7.14	6.95	5.75	4.09	3.76	3.54	4.45	5.25	5.79	6.55	6.98
Difusa	0.95	0.85	0.73	0.75	0.72	0.57	0.68	0.79	1.08	1.36	1.14	0.94
Suelo	0.16	0.15	0.13	0.09	0.06	0.05	0.05	0.07	0.1	0.13	0.15	0.17
Global	8.05	8.14	7.81	6.59	4.87	4.38	4.27	5.31	6.43	7.28	7.84	8.09

(b) Radiación incidente en un plano con inclinación igual a la latitud del sitio.

Fuente: solar.minenergia.cl/temp/reporteMeteo_ON6EOP7.pdf

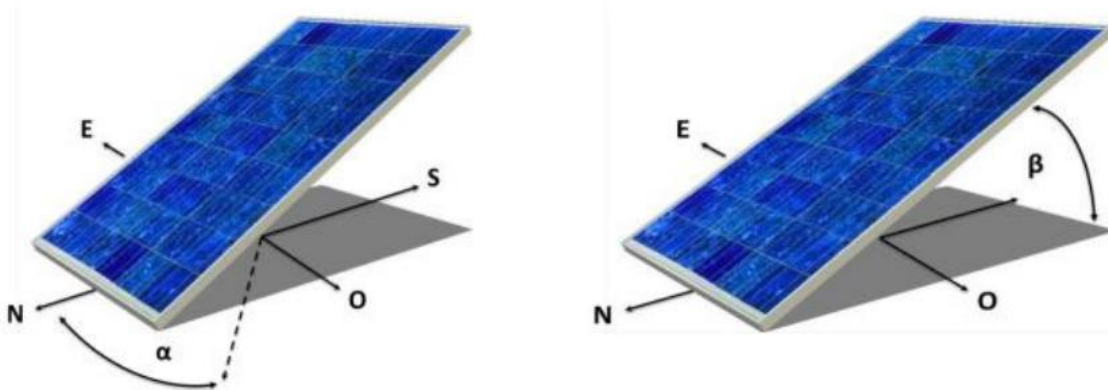
Figura 1-4. Valores de Irradiación promedio mensual en la zona.

1.4. CAPTACIÓN DE LA RADIACIÓN

La incidencia de la radiación solar sobre una superficie captadora es de suma importancia conocerla, pues la energía solar puede que se vea favorecida o desfavorecida con respecto a la energía absorbida en ciertos periodos del año. La mayoría de los datos disponibles de energía solar

están medidos en un plano horizontal. Por tanto, se deben corregir de acuerdo con la inclinación (β) y orientación (α) que se le dé al sistema captador; en este caso los módulos FV.

La radiación se puede medir en un plano horizontal, sin embargo, cuando los sistemas se inclinan y orientan para captar mejor la radiación, se define un componente β para “inclinación” y una α para “orientación”. La inclinación (β) puede ir de 0° a los 90° mientras que la orientación (α) tiene que ver con el azimut. El azimut 0° corresponde a un sistema mirando directamente al norte geográfico. Al analizar un diseño o realizar una instalación, es primordial corregir los datos de radiación solar horizontal de acuerdo con la inclinación y orientación con que el sistema captador se realice.



Fuente:

<http://biblioteca.esucomex.cl/RCA/Energ%C3%ADa%20solar%20fotovoltaica.%20Criterios%20b%C3%A1sicos%20para%20la%20evaluaci%C3%B3n%20t%C3%A9cnica%20de%20proyectos.pdf>

Figura 1-5. A) Orientación del módulo B) Inclinación del módulo.

La instalación del sistema de captación en cuanto a inclinación y orientación en un lugar determinado dato (latitud), debe ser realizada para optimizar la mayor captación de la radiación solar según el tipo de usuario. Definido lo anterior, se procede a utilizar la “Altura solar” para realizar los cálculos de pérdidas por sombras, debido a los mismos captadores o producidas por

otras obstrucciones naturales o artificiales (montañas, cerro, árboles, etc.). Para la ubicación de un sistema de captación solar, se debe tener en cuenta:

- En verano, el sol tiene una mayor altura, es decir, un mayor ángulo de elevación.
- En invierno, el sol tiene menor altura.
- En verano, las sombras son más cortas.
- En invierno, las sombras son más largas.
- La orientación óptima siempre será el norte geográfico, con una variación máxima de (+,-) 15° al este u oeste. •
- La salida y puesta del sol, variará en azimut todos los días del año. •

1.5. VIENTO EN LA ZONA

La velocidad del viento interviene en el enfriamiento de las celdas fotovoltaicas, y por lo tanto en su eficiencia, además puede afectar la integridad del montaje de los paneles. Las estimaciones de viento aquí presentadas corresponden a los resultados del explorador eólico para una altura de 5.5 metros, calculados con el modelo WRF a 1 [km] de resolución.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
<i>m/s</i>	2.76	2.66	2.35	2.06	1.76	1.94	2.12	2.19	2.28	2.59	2.66	2.82

(a) Promedio mensual de la magnitud del viento.

Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
<i>m/s</i>	1.45	1.54	1.61	1.71	1.75	1.83	1.81	1.64	1.29	1.49	2.13	3.01

Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
<i>m/s</i>	3.94	4.64	4.95	4.93	4.47	3.58	2.45	1.54	1.02	1.06	1.19	1.34

(b) Promedio de la magnitud del viento para cada hora.

Fuente: solar.minenergia.cl/temp/reporteMeteo_ON6EOP7.pdf

Figura 1-6. Velocidad del viento mensual y diaria.

1.6. TEMPERATURA

La temperatura ambiental afecta la eficiencia de las celdas fotovoltaicas. Las estimaciones de temperatura que se muestran en este capítulo están basadas en los resultados del Explorador Eólico, los cuales se basan en las simulaciones hechas con el modelo meteorológico WRF a 1 [km] de resolución para el año 2010.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
°C	20.55	20.31	19.43	16.85	14.71	12.91	11.94	12.51	13.76	15.27	17.27	19.13
(a) Temperatura promedio mensual.												
Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
°C	13.25	12.89	12.57	12.31	12.11	11.96	12.09	12.9	14.49	16.44	18.29	19.85
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
°C	21.09	21.91	22.1	21.59	20.65	19.4	18.04	16.63	15.55	14.82	14.23	13.65
(b) Temperatura promedio para cada hora.												

Fuente: solar.minenergia.cl/temp/reporteMeteo_ON6EOP7.pdf

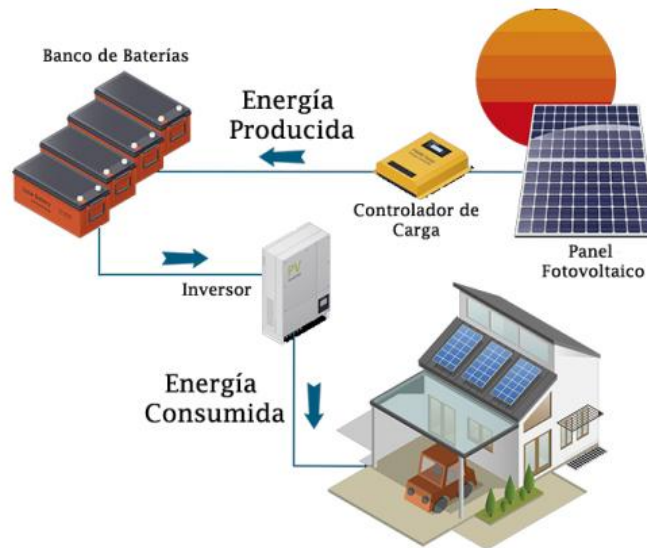
Figura 1-7. Temperatura promedio mensual y diaria.

1.7. INSTALACIÓN OFF GRID

Un sistema o instalación off grid, es un sistema que no se encuentra conectado a la red eléctrica, por ende, para proveer de energía en los consumos nocturnos como la iluminación es necesario poseer un banco de baterías. Estos sistemas satisfacen directamente la demanda

energética independientemente de la red eléctrica. Si deja de funcionar el generador FV, el consumo es cubierto por la batería.

Para el dimensionamiento de la Instalación off grid serán considerados los componentes que presentan mayores inversiones económicas, que corresponden a los módulos fotovoltaico, inversor, controlador de carga, banco de baterías y conductores.



Fuente: <https://www.exin.cl/sistema-a-islado-off-grid/>

Figura 1-8. Ejemplo de esquema sistema off grid.

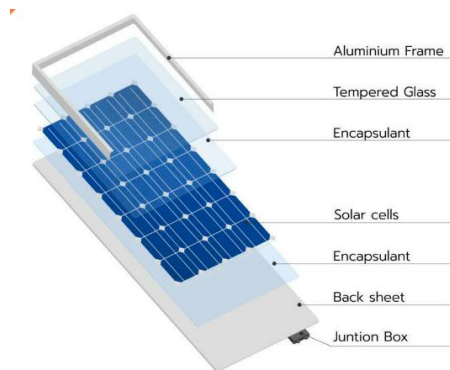
1.7.1. Módulo fotovoltaico

Al interconectar celdas fotovoltaicas se obtiene un módulo fotovoltaico. Es esencial que las celdas de un módulo estén bien hermanadas y sean idénticas. Comercialmente existen módulos con 36, 60 y 72 celdas conectadas en serie paralelo para generar un voltaje y corriente adecuado.

El módulo fotovoltaico habitualmente se forma por un marco de aluminio, y un vidrio templado anti reflectante, además de otra cubierta posterior de Etil vinilo acetato (EVA) como una segunda capa antirrefletores, en donde las células fotovoltaicas se encuentran selladas y

encapsuladas, para evitar cualquier tipo de oxidación en sus terminales al estar en contacto con la humedad ambiental.

En la parte posterior se utiliza una lámina de un polímero llamado Tedlar, que es un compuesto químico de Fluoruro de polivinilo, que tiene una muy buena resistencia a la intemperie y con alta resistencia al fuego. Adherido a la plancha de Tedlar, se encuentra la caja de conexiones, en donde llegan las conexiones terminales de las filas de celdas fotovoltaicas. En la caja de conexión también se incluyen diodos de protección o rectificadores, que protegen al módulo, de cualquier corriente inversa o de retorno que se pudiera producir por alguna falla en el sistema o cortocircuito que pueda producirse. En la caja también se encuentran los terminales de salida del módulo, con sus respectivos bornes positivo y negativo, para la conexión con otros módulos, o para la conexión con los otros componentes del sistema fotovoltaico.



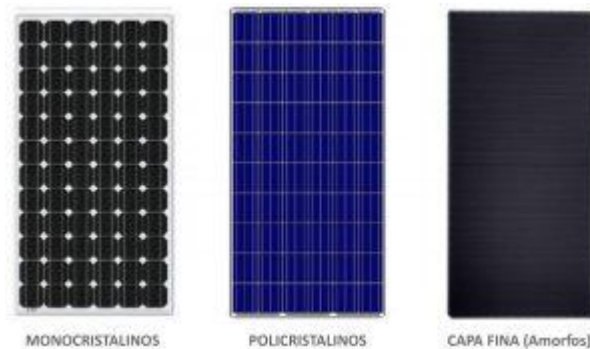
Fuente: <https://es.vecteezy.com/arte-vectorial>

Figura 1-9. Diagrama panel Fotovoltaico

Los tipos más comunes de módulos fotovoltaicos son el silicio monocristalino, policristalino y de capa fina:

- Silicio monocristalino: módulos de color azul oscuro, casi negro, cuyas células tienen unos bordes redondeados y están formadas por cristales de silicio monocristalino, todos orientados en la misma dirección. Con luz perpendicular garantizan una buena producción de energía, con una eficiencia de aproximadamente un 18-21 %.

- Silicio policristalino: módulos azules con tonos cambiantes compuestos por cristales de silicio orientados de manera no uniforme. Tienen una menor eficiencia (15-17 %) si reciben los rayos del sol perpendicularmente, pero su rendimiento es mayor a lo largo del día.
- Capa fina: módulos de menor eficiencia, que funcionan bien con luz difusa o a altas temperaturas



<https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>

Figura 1-10. Tipos de panel fotovoltaicos más comunes

1.7.2. Inversor

Otro componente importante en el sistema fotovoltaico es el inversor de carga, este dispositivo se encarga de suministrar corriente de tipo alterna, como el que se dispone de la red de suministro público, para el funcionamiento de los artefactos eléctricos del hogar que funcionen con este tipo de corriente, que corresponden a la gran mayoría. Por lo anterior, la principal función del inversor de carga es convertir la corriente de tipo continua que suministran las baterías, en corriente alterna, para poder entregar energía a las cargas alternas que se deseen energizar.

Los inversores fotovoltaicos se pueden dividir en tres grandes grupos principales, que son: inversores de conexión a red, los inversores híbridos y los inversores de conexión aislada.

El inversor de conexión a red convierte la energía CC de los módulos fotovoltaicos en CA para que esta pueda ser utilizada tanto para alimentar los consumos de las viviendas como para verter la energía excedente a la red. Puesto que tienen la capacidad de verter a la red, estos dispositivos deben estar conectados a ella para funcionar. En estos sistemas no es posible almacenar la energía y debe ser consumida al instante.

Por otra parte, si escogemos los inversores híbridos tendremos todas las funcionalidades de los inversores de conexión a red, pero, además, podremos contar con baterías para almacenar los excedentes de producción y poder usarlos en otro momento.

Si en cambio, la respuesta a la pregunta anterior es negativa y no disponemos de conexión a la red, necesitaremos un inversor de conexión aislada y, por supuesto, baterías, ya que sin las baterías el sistema no podría funcionar. Dentro de los inversores fotovoltaicos de conexión aislada hay que hacer una distinción entre los diferentes voltajes.

- Inversores 12V: Estos inversores fotovoltaicos son ideales para que sean conectados en paralelo con paneles que sean de su misma tensión y consiguen sacar un rendimiento que oscila entre los 100W y los 3000W.
- Inversores 24V: Su potencia máxima se encuentra entre los 100W y los 5000W y se recomienda ser instalado en sistemas de potencia media. Para evitar pérdidas de potencia, es recomendable instalar el inversor cerca de las baterías.
- Inversores 48V: Estos inversores fotovoltaicos están diseñados para convertir la energía solar en electricidad con tensión de 48V. Los inversores de 48V ofrecen mayor eficiencia que los de 12 o 24V, presentan mayor capacidad de salida, más flexibilidad a la hora de la configuración y sobre todo una más alta calidad de la energía, permitiendo así aprovechar al máximo la energía solar para alimentar sus equipos y dispositivos.



Fuente: http://www.digishop.cl/download/Victron_Datasheet-Quattro-3kVA-15kVA-ES.pdf

Figura 1-11. Inversor Off Grid 10kVA marca victron

1.7.3. Controlador de carga

El regulador es un dispositivo electrónico, que cumple con la importante función en el sistema fotovoltaico, de controlar y supervisar el proceso de carga y descarga de las baterías, para que estas no sufran de sobrecargas o sobre descargas, que afectarían en la eficiencia del sistema y acortarían drásticamente la vida útil de las mismas, los reguladores de carga son capaces de desconectar el consumo, cuando comprueba que la descarga de la batería ha superado cierto rango de la capacidad nominal de almacenamiento.

Otra característica importante del regulador es que controla el flujo de la corriente de carga desde de los paneles FV, hacia la batería, como también el flujo de la corriente de descarga desde la batería hacia los artefactos de consumo. El regulador detecta todos estos parámetros midiendo la tensión la batería en todo momento. Si la batería ya está cargada, el regulador interrumpe el paso de corriente de los módulos hacia ésta, y si la misma ha alcanzado su nivel máximo de descarga, el regulador interrumpe el paso de corriente desde la batería hacia los consumos, si el regulador censa un voltaje alto, cercano a los 13,8 volt en las baterías, corta la corriente del panel a la batería, de esta manera, no permite un aumento del voltaje y evita la sobrecarga de esta. Si el regulador censa un voltaje bajo, entre los 11,2 a 11,4 volt, desconecta el consumo de la batería evitando así

una descarga profunda, esto ocurre en horas de baja radiación incidente en los módulos fotovoltaicos o de noche.

Reguladores de carga enclavados Una de las principales funciones del regulador de carga es prevenir la sobre carga de la batería, para lograr esto existen reguladores que reducen la corriente de carga gradualmente utilizando una tecnología llamada “modulación de anchura de pulso” o “pulse width modulation (PWM)” como indican sus siglas en inglés, este tipo de reguladores administra la carga en fases, permitiendo alcanzar una tensión máxima segura para que la batería alcance la carga completa y luego disminuye para mantener la carga de la batería en una fase de flotación. Cabe señalar que estos reguladores tienen un óptimo funcionamiento en instalaciones de pequeño tamaño, además de tener un bajo costo.

Reguladores de carga con MPPT Los reguladores de carga con MPPT o “Maximun power point tracking” según sus siglas en inglés, funcionan realizando un seguimiento del punto de máxima potencia, estos reguladores censan la potencia de salida de los módulos fotovoltaicos y se ajustan a los puntos máximos de tensión y corriente. A diferencia con el regulador PWM que operan con la tensión de la batería y obligan a los módulos a trabajar en esta tensión, por ejemplo 12 V, el regulador MPPT censa la tensión del módulo en condiciones de radiación óptimas alcanzando por ejemplo 17 V, en resumen, lo que hace el regulador MPPT es independizar la tensión de la batería con la del módulo, logrando con esto un aumento en la intensidad de carga de la batería aumentando en un 30% la energía generada. Cabe señalar que estos reguladores operan mejor en instalaciones de mayor tamaño al ser más versátiles y soportar más tensión de entrada de los módulos, su desventaja es que pueden llegar a triplicar el precio de un regulador PWM



Fuente: <https://fusionenergiasolar.es/reguladores-solares-mppt/403-regulador-de-carga-victron-smartsolar-mppt>

Figura 1-12. Controlador MPPT 250/70

1.7.4. Banco de baterías

Debido a que en los sistemas fotovoltaicos la generación de energía es un recurso variable, dependiendo directamente de la radiación solar incidente, la que puede ser afectada por ejemplo en los días nublados, en donde la radiación baja considerablemente o en la noche, cuando el aporte energético es nulo, existe la opción de acumular la energía producida en baterías cuya principal función, es almacenar la energía eléctrica producida por el generador solar, durante el día, para poder entregar la energía cuando se requiera, en los periodos cuando no se disponga del recurso solar.

Como la principal función de la batería es acumular la energía eléctrica producida por el panel durante el día, la capacidad indica la cantidad de electricidad que se puede acumular o descargar, esta capacidad se mide en Ah (Ampere/hora). La capacidad de la batería no es constante y dependerá de la corriente de descarga.

- Baterías de plomo ácido abierto. Contienen seis compartimentos separados pero conectados en serie que están sumergidos en ácido sulfúrico. Las placas por las que está compuesta la batería contienen los electrodos polarizados positiva y negativamente que se

alternan dentro de la batería. Este tipo de batería se utilizan en instalaciones aisladas gracias al gran rendimiento que tienen y el bajo coste.

- **Baterías AGM.** AGM significa Absorption Glass Mat, una tecnología que permite a las placas de plomo de la batería absorber más rápido y mejor el ácido. Una de las principales características de estas baterías es que no requieren de mantenimiento gracias a su diseño sellado por lo que su transporte es más sencillo. Soportan un gran número de ciclos de forma que su uso es recomendable en instalaciones exigentes, aunque también están recomendadas para caravanas puesto que pueden utilizarse como batería de arranque. Cuentan con una larga vida útil, aunque sean sometidas a ciclos de descarga profunda, tienen un funcionamiento excelente y se pueden recargar.
- **Baterías GEL.** Este tipo de baterías contienen el electrolito gelificado y al estar selladas no desprenden gases nocivos por lo que podría instalarse en un lugar con poca ventilación. Puede tener ciclos de descarga profundos con hasta 800 ciclos de vida de ahí que sea una batería de gran durabilidad. Por otro lado, al ser una batería completamente sellada no requiere de mantenimiento pues no se producen evaporaciones y su cuidado se vuelve mucho más sencillo. baterías GEL están recomendadas para instalaciones medianas y pequeñas que necesitan una batería eficaz y con una funcionalidad extraordinaria.
- **Baterías estacionarias.** Estas baterías se caracterizan porque se mantienen cargadas constantemente. Contienen un regulador que alimenta el consumo y que recarga la batería cuando se produce una descarga. De este modo la batería se descarga con muy poca frecuencia. Dentro de las baterías estacionarias podemos encontrar las baterías estacionarias OPzV o baterías de electrolito absorbido, que son aquellas que no requieren de mantenimiento; o las baterías estacionarias OPzS o baterías de electrolito líquido que debe comprobarse los niveles de ácido periódicamente por lo que sí que requieren de mantenimiento.

- Batería de litio: carga más rápido que otros tipos, ofrecen más densidad energética y cuentan con una mayor vida útil. No tienen efecto memoria por lo que podrían descargarse al 100% o a la mitad sin que la batería sufriera. Las características físicas de las baterías de litio difieren de los demás tipos, pero obtienen mayor autonomía además son menos pesadas por lo que su transporte es más sencillo. No requiere mantenimiento ni emite gases por lo que pueden instalarse en un lugar sin ventilación. Son muy utilizadas en instalaciones fotovoltaicas exigentes del sector industrial, pero cada vez más a nivel doméstico.

Tabla 1-2: Comparativas baterías solares.

Tipo	Peso	Profundidad de descarga (DoD)	Nº ciclos según DoD	Mantenimiento	Fugas	Precio
Ácido-plomo FLA	Elevado	30%	2400	Sí	No	Muy bajo
Ácido-plomo VRLA AGM	Elevado	30%	1200	No	Sí	Bajo
Ácido-plomo VRLA de gel	Elevado	30%	1500	No	Sí	Bajo
Litio fosfato de hierro	Muy bajo	80%	3000	No	Sí	Elevado

Fuente: <https://www.direnergy.net/index.php/blog/4-tipos-baterias-solares/>

CAPÍTULO 2: CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN OFF GRID

2. CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN OFF GRID

2.1. ETAPAS DE DISEÑO INSTALACIÓN OFF GRID

A continuación, se mencionan una serie de etapas que se deben considerar para el diseño de una instalación fotovoltaica off grid o fuera de la red.

- Conocer la demanda y consumo de energía eléctrica en kWh que se quiere compensar
- Dimensionado de baterías, voltaje del sistema y capacidad de baterías que se requieren, tomando en cuenta las diferentes variables que implica la selección de las baterías
- Diseño del sistema de generación FV, potencia nominal según inclinación (latitud), azimut (= 0, porque corresponde a un módulo orientado al norte geográfico).
- Dimensionado de otros componentes, tales como: controlador de carga; inversor de corriente y voltaje; protecciones.
- Estimación de costos. Permite saber el período de retorno de la energía generada
- Se repiten los pasos anteriores, con el fin de llegar a una optimización del sistema.

2.1.1. Detalle de consumo de la vivienda

El proceso del cálculo del número de paneles fotovoltaicos y número de baterías es denominado dimensionado de una instalación fotovoltaica. Antes de comenzar por el proceso de dimensionado de una instalación es necesario conocer una serie de datos relacionados con el lugar y la instalación, como su consumo estimado y horas de uso.

Tabla 2-1: Detalle de consumo estimado de la vivienda

Ubicacion	Aparato	Cantidad	Potencia (W)	Potencia total(W)	Peak potencia	horas de uso	energia en uso (Wh)
dormitorio Principal	televisor	1	58	58	58	6	0,348
	reproductor	1	15	15	15	6	90
	notebook	1	20	20	20	8	160
	luminaria	1	7	7	7	6	42
Baño Principal	luminaria	1	9	9	9	4	36
	maquina de a	1	5	5	5	0,25	1,25
Baño secundario	luminaria	1	9	9	9	4	36
	secador de p	1	1500	1500	2000	0,2	300
dormitorio secundario	televisor	1	90	90	90	4	360
	notebook	1	48	48	48	12	576
	router	1	12	12	12	24	288
	equipo de au	1	55	55	55	4	220
	luminaria	1	7	7	7	8	56
dormitorio secundario	televisor	1	58	58	58	5	290
	luminaria	1	7	7	7	4	28
living	televisor	1	120	120	120	8	960
	aspiradora	1	1500	1500	4000	0,5	750
	cargador cel	4	20	80	80	0,25	20
	equipo de au	1	85	85	85	4	340
	lampara de n	1	9	9	9	4	36
	luminaria	2	9	18	18	6	108
cocina	refrigerador	1	34,9	34,9	34,9	12	418,8
	horno electri	1	1500	1500	1500	1	1500
	liquadora	1	700	700	2100	0,25	175
	luminaria	1	9	9	9	6	54
comedor	radio	1	30	30	30	2	60
	televisor	1	58	58	58	3	174
	luminaria	3	9	27	27	6	162
cuarto de lavado	lavadora	1	220	220	440	1	220
	plancha	1	1500	1500	1500	0,5	750
	luminaria	1	9	9	9	1	9
TOTAL				7799,9	12420		8220,398

Fuente: Elaboración propia con dato aportados por el propietario, Consumo.

2.1.2. Dimensionado de banco de baterías

Para realizar el cálculo, primero se debe conocer la energía necesaria por el usuario, es decir la demanda energética diaria. Según los valores de la TABLA 2-2, para la instalación off grid la demanda diaria real corresponde a 8220,40 Wh. La tensión de diseño en el banco de baterías corresponde a 48V debido a la alta potencia de consumo en la vivienda. El siguiente dato son los días de autonomía que se tendrá en caso de ausencia de radiación solar. Debido al costo que implica un banco de acumulación calculado para un elevado número de días de autonomía se seleccionará 1 día. Por último, se determina la profundidad de descarga de las baterías, es decir, el porcentaje máximo de utilización de la batería, que para este caso será de un 50%. La siguiente ecuación define la capacidad total del banco de baterías que incluye los parámetros antes seleccionados.

$$CAP \text{ baterías} = \frac{Consumo_{Diario} \times D_{aut}}{P_d \times V_{Banco} \times Ef}$$

Dónde:

Consumo Diario. = Potencia consumida al día [Wh]

Daut = Días de autonomía.

Pd = Profundidad de descarga [fracción]

V. Banco = Tensión del banco de baterías [V]

Ef = Eficiencia del tipo batería

$$CAP \text{ baterías Acido} = \frac{8220,40 \times 1}{0,5 \times 48 \times 0,85} = 402,96 [Ah]$$

El número de baterías que compone el banco está directamente relacionado con la CAPbaterías calculada anteriormente también con el voltaje de diseños del banco de baterías y con

las capacidades de las baterías que se encuentran comercialmente. Siendo el número de baterías en paralelo expresado mediante el cociente

$$\text{Número de batería en paralelo} = \frac{CAP \text{ baterías}}{CAP \text{ Batería}} = \frac{402,96}{250} = 1,61$$

Para el banco se utilizarán un total de 8 baterías, 4 de ellas en serie para alcanzar los 48V de diseño las que estarán en paralelo a las otras 4 baterías. Como no existen baterías de 489,5 A se aproximará a al entero mayor por ende se utilizará un banco de 500 Ah.



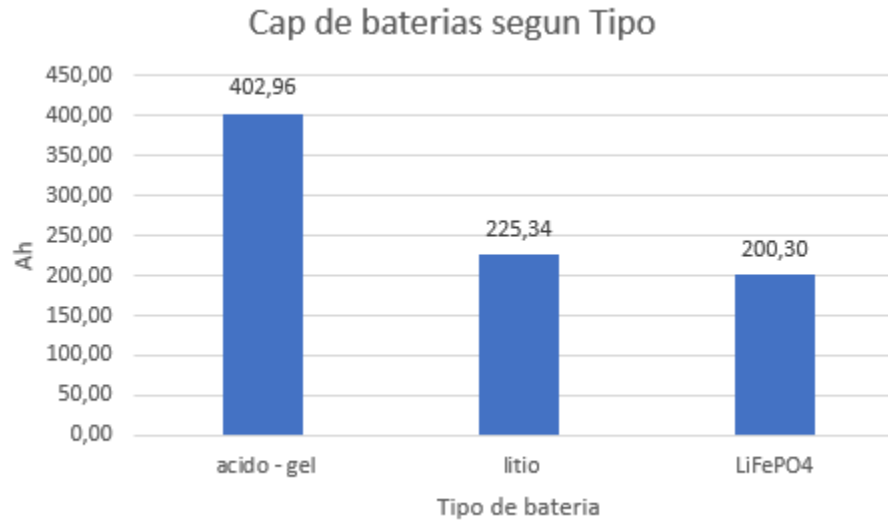
Fuente: <https://tritec-intervento.cl/calculo-y-diseño-de-un-banco-de-baterías/>

Figura 2-1. Diagrama Conexión Banco de baterías.

Para baterías de litio o LiFePO4 el cálculo es similar solo que cuentan con una eficiencia del 85% y profundidad de descarga del 95%, esto permite un banco de baterías más pequeño y con corrientes menores lo que significaría un ahorro en el dimensionado del cable y las protecciones.

$$CAP \text{ baterías Litio} = \frac{8220,40 \times 1}{0,8 \times 48 \times 0,95} = 225,34 [Ah]$$

Como dato aparte y favor de las baterías de litio están encapsuladas y no requieren de ningún tipo de mantenimiento, además debemos destacar que la huella de carbono de las baterías de litio es menor. Las baterías de ácido permiten 1.500 ciclos de vida, mientras que la tecnología de las baterías de litio ofrece una duración de hasta 2.500 ciclos.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-2. Comparación de banco de baterías según tipos.

2.1.3. Dimensionado de paneles fotovoltaicos

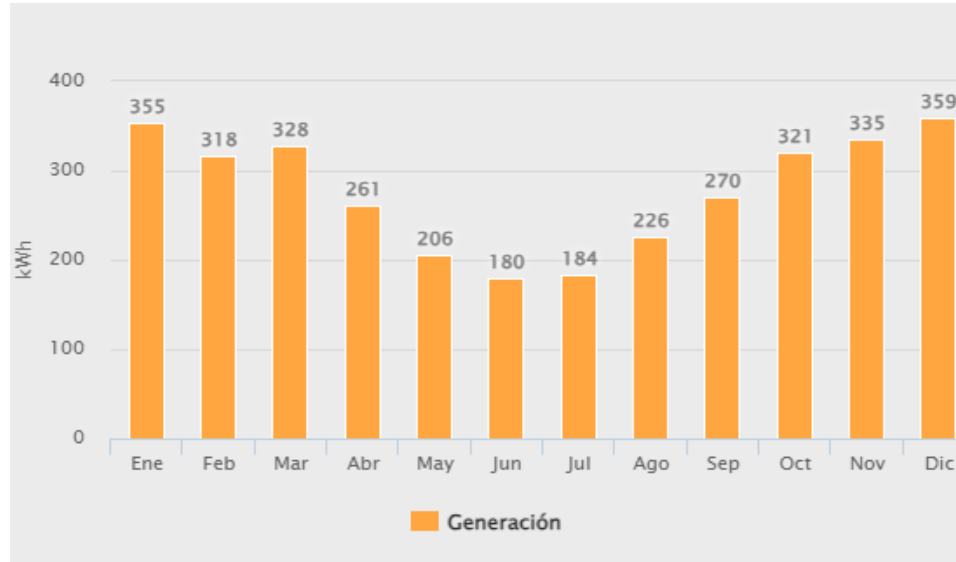
Se asume como dato base para el dimensionamiento de los módulos solares la radiación sup. inclinada del peor mes en el periodo anual de la Figura 1-4, sería igual a 4.27 HSP, Esto se ha fijado así ya que el estudio busca el análisis técnico-económico de un sistema autosuficiente mediante la energía eléctrica entregada por una instalación fotovoltaica, que funcionaría sin energía aportada por el Sistema Interconectado Central. Por lo tanto, en este tipo de instalación es necesario proveer el 100% de energía en las peores condiciones de radiación, ya que el sistema de iluminación debe poseer la energía suficiente almacenada en el banco de baterías.

Para la instalación fotovoltaica se utilizarán paneles de 550W

$$NP = \frac{\text{Consumo Diario [kWh]}}{\text{Potencia panel [kW]} \times \text{HSP [kW/m}^2 \text{ /dia]}} = \frac{8,3}{0,55 \times 4,27} = 3,53$$

Según estos datos serian 4 paneles para satisfacer la demanda, pero este sería el caso en condiciones óptimas, no se consideran factores como el ambiente y la eficiencia del inversor entre

otras, para un cálculo más preciso existe la página del explorador solar que es gratuita a libre disposición de cualquier usuario.

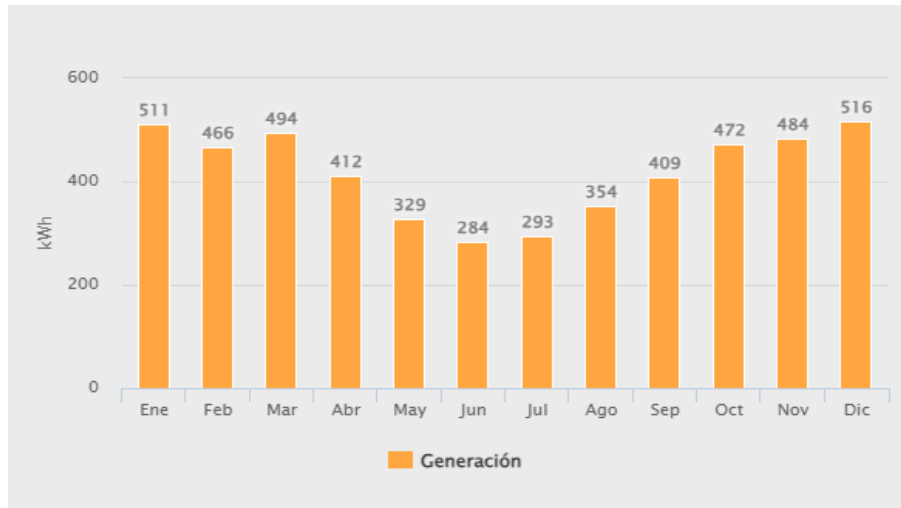


Fuente: <https://solar.minenergia.cl/fotovoltaico>

Figura 2-3. Generación con 4 paneles de 550 W

Según la figura 2-8 la generación mensual es de 180 kWh y esto al dividirlo por 30, da una generación diaria de 6 kWh lo cual no satisface la demanda de la Vivienda.

Al aumentar el número de paneles a 6 la generación de energía aumenta a 284 kWh y al dividirlo por 30 que es el número de días de un mes da como resultado 9,4 kWh diarios, con esto logramos satisfacer el consumo.



Fuente: <https://solar.minenergia.cl/fotovoltaico>

Figura 2-4. Generación con 6 paneles de 550 W

2.1.4. Dimensionado del regulador de carga:

Para el dimensionado de controlador de carga es necesario conocer el voltaje de circuito abierto (V_{oc}) y la corriente de cortocircuito (I_{sc}) del arreglo fotovoltaico, el controlador o regulador debe ser capaz de resistir estos valores en caso de fallas.

Según los datos de la figura 2-10, el panel Mono Anhui Sine Solar de 550W su voltaje de circuito abierto es 49,83 V y su corriente de corto circuito es de 13,78 A para un solo panel

Electrical Specification (STC*)

Maximum Power - P_{max} (W) :	530W	535W	540W	545W	550W	555W
Maximum Power Voltage- V_{mp} (V):	40.73	40.88	41.03	41.18	41.33	41.48
Maximum Power Current- I_{mp} (A):	13.02	13.10	13.17	13.24	13.31	13.38
Open Circuit Voltage - V_{oc} (V):	49.23	49.38	49.53	49.68	49.83	49.98
Short Circuit Current- I_{sc} (A):	13.46	13.54	13.63	13.71	13.78	13.87
Module Efficiency - η_m (%):	20.45	20.64	20.83	21.02	21.30	21.49
Power Output Tolerance (W):	0+5W					

STC:Irradiance:1000W/m², Module Temperature:25°C,Air Mass:1.5

Fuente: <https://www.solarstore.cl/wp-content/uploads/2021/11/SN-530W-555W%EF%BC%89-144M.pdf>

Figura 2-5: Datasheet panel 550 W

La tensión máxima de la unidad de generación fotovoltaica en lado de corriente continua (cc), no deberá ser superior a 1kV (5.7 RGR N° 02/2014). Tensión máxima en circuito abierto:

$$V_{OC} = NP_{serie} \times Voc = 3 \times 49,83 = 149,49 \text{ V}$$

$$I_{SC} = NP_{paralelo} \times Isc = 2 \times 13,78 = 27,56 \text{ A}$$

Debido a que la corriente de cortocircuito (I_{sc}) es 27,56 A y el voltaje de circuito (V_{oc}) abierto es 149,49 V se seleccionará un controlador de carga MPPT 250/70 el cual aguanta un V_{oc} de 250 V y una I_{sc} de 35 A el cual permitirá aumentar la cantidad de paneles de ser necesario en el futuro.

Controlador de carga SmartSolar	250/60	250/70	250/85	250/100
Tensión de la batería	Ajuste automático a 12, 24 ó 48 V (Se precisa una herramienta de <i>software</i> para ajustar el sistema en 36 V)			
Corriente de carga nominal	60A	70A	85A	100A
Potencia FV nominal, 12V 1a,b)	860W	1000W	1200W	1450W
Potencia FV nominal, 24V 1a,b)	1720W	2000W	2400W	2900W
Potencia FV nominal, 36V 1a,b)	2580W	3000W	3600W	4350W
Potencia FV nominal, 48V 1a,b)	3440W	4000W	4900W	5800W
Máxima corriente de corto circuito FV 2)	35A (máx. 30A por conector MC4)		70A (máx. 30A por conector MC4)	
Tensión máxima del circuito abierto FV	250 V máximo absoluto en las condiciones más frías 245 V en arranque y funcionando al máximo			
Eficacia máxima	99%			

Fuente: www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-SmartSola

Figura 2-6; Datasheet controladores Victron Energy

2.1.5. Dimensionado del Inversor Off Grid

Se debe dimensionar el inversor necesario de acuerdo con la potencia total de la vivienda según la tabla 2-1. Como es una vivienda que necesita una gran potencia se seleccionara un inversor de 10 kVA. El cual da una Potencia de 8 kW

En el mercado existen Inversores Bidireccionales los que permiten conectarle una fuente de energía extra ya sea un generador o otra fuente de energía renovable.

En el puerto CA puede conectarse un generador o la red. Se requiere de medidores de energía externos y una adecuada configuración para evitar la inyección de energía a la red. Pueden incorporar un puerto “bypass CA” que se habilita solo ante la presencia de la red o generador.

Como es posible hoy en día encontrar estos tipos de inversores que son capaces de estar aislados o la red se considerara la instalación de estos, evaluar los costos.

2.1.6. Dimensionado de conductores de CC (corriente continua)

Corriente de los circuitos fotovoltaicos o corriente de la unidad de generación fotovoltaica: La corriente máxima será la suma de las corrientes de cortocircuito de los módulos fotovoltaicos en paralelo, multiplicada por 1.25 veces (10.1 RGR N° 02/2014).

$$I_{msc} = I_{sc} \times 1,25 = A$$

$$I_{msc} = 27,56 \times 1,25 = 34,45 A$$

La interconexión de los módulos fotovoltaicos de la unidad de generación fotovoltaica deberá realizarse mediante conectores que deberán cumplir con los siguientes requisitos: Deberán ser a prueba de agua tipo MC4 u equivalente, diseñado para aplicaciones de energía fotovoltaica, que cumpla con los requerimientos técnicos de la instalación, en conformidad a la norma IEC 60998-1 (9.2.1 RGR N° 02/2014).

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 % (11.8 RGR N° 02/2014).

Los conductores del lado corriente continua deberán ser dimensionados para una corriente no inferior a 1,25 veces la máxima intensidad de corriente obtenida del cálculo indicado en este punto y/o para soportar la corriente inversa máxima que se puede generar en la unidad de generación (11.9 RGR N° 02/2014).

Para determinar la sección del cable conductor en milímetros cuadrados se utiliza una fórmula que requiere de la siguiente información: saber el material a utilizar, el largo del cable, la caída de voltaje y la corriente que circulara por éste.

$$s(mm^2) = \frac{L(m) \times I(A)}{C\left(\frac{m}{m\Omega \times mm^2}\right) \times \Delta V(V)}$$

S: Sección del conductor eléctrico

I: Intensidad de corriente en amperios.

C: Conductividad eléctrica del material.

ΔV : Caída de tensión desde el principio hasta el final de la línea.

L: Longitud cable Parámetros a evaluar:

Debido a que la Instalación tiene un máximo de 2 string no es necesaria una caja de conexión de arreglos las protecciones pueden estas directamente en los conectores MC4 con porta fusible o en la entrada del regulador.

Selección de los conductores Arreglos strings-regulador de carga:

S: Sección del conductor eléctrico

I: Intensidad máxima de cortocircuito I_{sc} por 1,25.

C: Conductividad eléctrica del material $56 \frac{m}{m\Omega \times mm^2}$. a 20 C°

ΔV : 1,5 % del voltaje V_{mp} del string

L: Longitud cable 10 metros.

$$(mm^2) = \frac{2 \times 10 \times (27,56 \times 1,25)}{56 \times (0,015 \times 123,99)} = 6,61 mm^2$$

Selección de los conductores salida reguladores de carga-banco de baterías

S: Sección del conductor eléctrico

I: Intensidad de corriente máxima 68,75 (A) por 1,25.

C: Conductividad eléctrica del material $56 \frac{m}{m\Omega \times mm^2}$

ΔV : 1,5 % de 48 V

L: Longitud cable 2 metros

$$(mm^2) = \frac{2 \times 2 \times (68,75 \times 1,25)}{56 \times (0,015 \times 48)} = 8,52 mm^2$$

. Selección de los conductores salida baterías-inversor:

I: Intensidad de corriente máxima del inversor por 1,25.

C: $56 \frac{m}{m\Omega \times mm^2}$. a 20 C°

ΔV : Caída de tensión

L: Longitud cable 2 metros.

$$I_{max} \text{ inversor } 10 \text{ kva: } I_{max} \text{ inversor} = \frac{8000 W}{48V} = 166,67 A$$

$$I_{max} \text{ por } 1,25: 166,67 A \times 1,25 = 208,33 A$$

$$(mm^2) = \frac{2 \times 2 \times (208,33)}{56 \times (0,015 \times 48)} = 20,56 mm^2$$

Tabla 2-2: Resumen dimensionado de conductores

Tramo	Seccion(mm2) calculada	Seccion(mm2) comercial
Unidad de generacion - regulador de carga	6,61	10
Regulador de carga - Banco de bateria	8,52	10
Baterias al Inversor	20,56	25

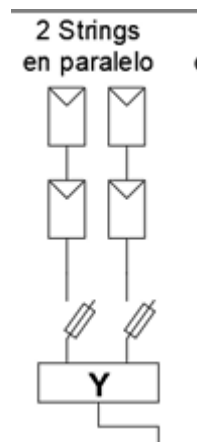
Fuente: Elaboración propia con datos calculados en este punto.

2.1.7. Protecciones parte de CC.

Según el pliego normativo publicado por la SEC (Superintendencia de electricidad y combustible)

14.1 Las instalaciones de un sistema fotovoltaico aislado estarán equipadas con un sistema de protección que garantice su desconexión en caso de una falla interna de la unidad de generación o de la red eléctrica aislada a la que se acople, de manera que no perturben el correcto funcionamiento de la instalación de consumo a las que estén conectadas, tanto en la explotación normal como durante el incidente

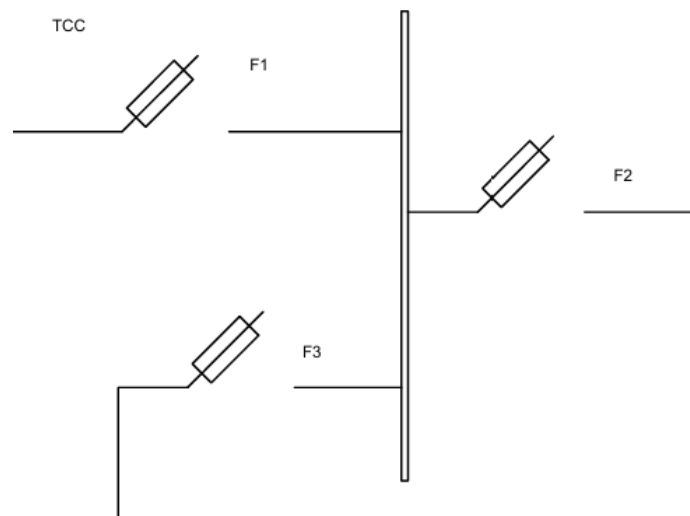
Según el Punto 9.5 del pliego técnico RIC al ser una instalación con 2 string no es necesario usar una caja de arreglo fotovoltaico las protecciones pueden estar en los conectores MC4 tipo Y según figura 2-12 a modo de ejemplo, o en caso de ser de un solo string ir directamente al controlador en cuyo caso la protección debe estar a la entrada del controlador.



Fuente: <https://www.sec.cl/sitio-web/wp-content/uploads/2021/05/ITG-RIC-N9.1-2021.pdf>

Figura 2-7: Diagrama Protecciones Unidad de generación al controlador

Según lo anterior el valor debe ser Según el I_{sc} de cada string que es de 13,78 A el Valor del Fusible debería ser de 15 A.



Fuente: elaboración propia tablero de cc

Figura 2-8: Diagrama tablero de CC

El fusible 1 corresponde al del tramo del regulador de carga al tablero de CC. Se utilizará el fusible. Victron MIDI 100A 58V para 48V.

$$I_{fusible1} = I_{M.tramo} \times 1,25 = 70 A \times 1,25 = 87,5 A$$

El fusible 2 y Fusible 3 tienen el mismo valor que se calcula según la potencia del peak del inversor que para este caso es de 8000 W luego se divide por el voltaje del sistema de 48 V. Dando como resultado 166,66 A esto se multiplica 1,25 que es el factor de seguridad dando como resultado 208,33 A.

También se puede La tensión nominal del Inversor Quattro 48V 10KVA 140A, se tomaría el valor de 140 A y se multiplica por el factor de seguridad dando 175 A.

Se utilizará un fusible de 200 A como protección.

2.2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DE SOPORTE

Las estructuras de soporte deben ser capaces de resistir, como mínimo, 20 años de exposición a la intemperie (8.1.1 NCh2896).

La estructura de soporte de la unidad de generación fotovoltaica deberá satisfacer la normativa vigente en Chile, en cuanto a edificación y diseño estructural para los efectos del viento, nieve y sísmicos (7.1 RGR N° 02/2014).

La estructura deberá ser metálica y se protegerá contra la acción de los agentes agresivos en el ambiente y/o corrosivos, garantizando la conservación de todas sus características mecánicas y de composición química. Para efectos de la estructura metálica sólo se considerarán el aluminio anodizado, el acero galvanizado en caliente y acero inoxidable.

Imagen Referencial	Código	Descripción	2 Paneles	3 Paneles	6 Paneles	8 Paneles	10 Paneles	12 Paneles	14 Paneles
	4703061	Riel Aluminio 2100 mm	2	-	2	-	2	-	2
	4703062	Riel Aluminio 3400 mm	-	2	-	-	-	-	-
	4703063	Riel Aluminio 4200 mm	-	-	2	4	4	6	6
	4703064	Unin Riel de Aluminio	-	-	2	2	4	4	6
	4703073 ó 4703074	Conector Terminal Placa 35 o 40 mm	4	4	4	4	4	4	4
	4703065 ó 4703066	Conector Unión Placa 35 o 40 mm	2	4	10	14	18	22	26
	4703071	Base Ajustable Tipo L	2	3	6	8	10	12	14
	4703072	Soporte Ajustable 15 - 30°	2	3	6	8	10	12	14
	4703070	Conector a Tierra	2	2	3	4	5	6	7

Fuente: [Home - Tecnored S.A.](#)

Figura 2-9: Componente estructura de soporte

2.3. PROTECCIONES BT AC 220V

Las instalaciones fotovoltaicas, en el lado de corriente alterna, deberán contar con una protección diferencial, e interruptor general magnetotérmico bipolar con una corriente de cortocircuito adecuada a la potencia de salida del inversor.

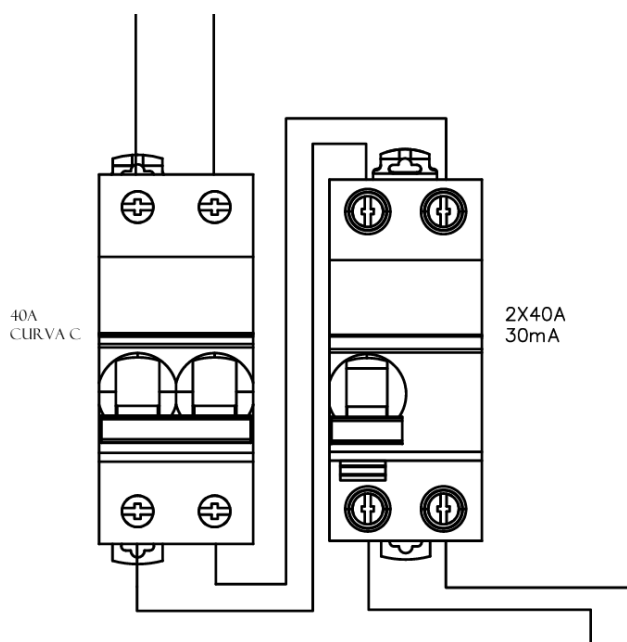
La protección diferencial del lado de corriente alterna, que se instale en el sistema fotovoltaico aislado deberá ser del tipo A.

Este tablero deberá ser instalado tan cerca como sea posible del inversor, pero a no más de 2 m de distancia.

Según los datos del inversor marca Victron tiene una potencia de salida a 25 C° de 8000 W con este valor se calcula las protecciones para la parte de corriente alterna

$$Corriente = \frac{8000 \text{ W}}{230 \text{ V}} = 34,78 \text{ A}$$

Por lo tanto, la corriente nominal de salida del inversor será alrededor de 35 A. se seleccionará un disyuntor de 40 A como mínimo.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 2-10: Protecciones BT AC

2.4. PUESTA A TIERRA

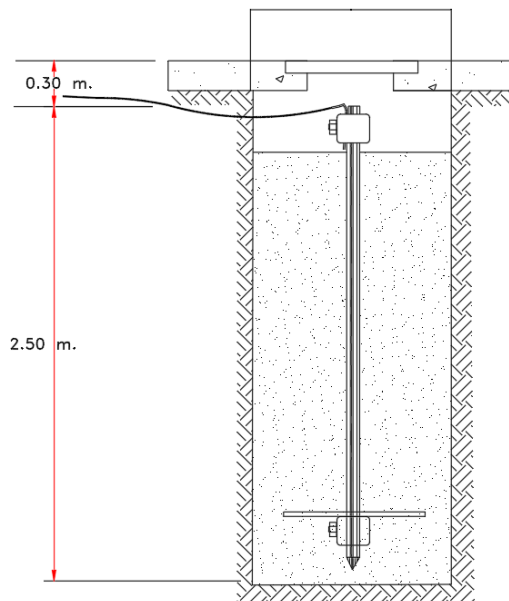
El sistema de puesta a tierra es una parte básica de cualquier instalación eléctrica, y tiene como objetivo. Limitar la tensión que presentan las masas metálicas respecto a tierra, asegurar actuación de las protecciones y eliminar o disminuir el riesgo que supone una avería en el material eléctrico utilizado.

Deberán estar conectadas todas las partes metálicas de la instalación a la tierra de protección. Esto incluye las estructuras de soporte, las carcasas de los equipos.

Los conductores que conectan el sistema de puesta a tierra a las instalaciones deberán ser, en lo posible, del mismo material que los electrodos que se emplean. Su sección mínima será de 25 mm², cuando el conductor sea de cobre.

Para verificar que las características del electrodo de puesta a tierra y su unión con la red se deberán dejar puntos de conexión y medición accesibles e inspeccionables al momento de la medición. Cuando para este efecto se construyan cajas de inspección, sus dimensiones deberán ser como mínimo de 30 x 30 cm, o de 30 cm de diámetro si es circular, y su tapa deberá ser removible

Para el caso de este proyecto no contamos con los equipos necesarios para realizar las mediciones y tener una medida exacta de la resistencia del terreno. A futuro cuando se realicen las mediciones correspondientes se tiene que llegar a un valor óptimo de resistencia el que tendrá que ser inferior a 20 Ohm, ya que la instalación propuesta representa un sistema de Baja Tensión.



Fuente: Elaboración Propia

Figura 2-11: Barra copperweld y cámara de registro.

CAPÍTULO 3: COSTOS

3. COSTOS

3.1. COSTOS DEL DISEÑO

El trabajador encargado del diseño y dimensionado de la instalación, encargada por el cliente es un profesional que cuenta con la experiencia y experticia necesaria para cubrir las necesidades solicitadas en la vivienda, cuenta con los títulos y acreditación necesaria para el cargo en cuestión.

Estará a cargo de elaborar el informe de diseño el proyectista de la empresa el cual trabajará 8 horas diarias durante 2 días para hacer un total de 16 horas en el diseño y dimensionado de la instalación. El primer día será para cálculos y elaboración de un pre-informe. El segundo día será para cualquier modificación que quiera realizar el cliente.

El costo estará dado al valor de la mitad de una UF (unidad de fomento), multiplicada por el número de horas utilizadas en el diseño.

El Valor de la unidad de fomento con fecha 23 de agosto del año 2024, es de 37678,09 pesos por lo tanto el costo total del diseño estaría dado por la siguiente fórmula.

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{diseño}} &= (UF \times 0,5) \times \text{horas}_{\text{diseño}} = 301.425 \text{ pesos} \\ \text{Costo}_{\text{diseño}} &= (37678,09 \times 0,5) \times 16 = 301.425 \text{ pesos} \end{aligned}$$

3.2. COSTOS DE LOS MATERIALES

Para ejecutar todo tipo de proyecto se debe realizar un presupuesto, el cual consta en identificar todos los gastos que se realizará en la implementación del proyecto fotovoltaico, con el propósito de poder evidenciar la viabilidad económica del proyecto.

3.2.1. Cubicación

La cotización de materiales se realizó de manera online, puede estar sujeta a cambios ya sea por falta de material o cambios en los precios



PRESUPUESTO ELÉCTRICO

PROYECTO :	INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA OFF GRID NORMALIZADA PARA CONSUMO RURAL				
UBICACIÓN :	ILLAPEL				
U. TÉCNICA:	UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA				
FECHA:	26/08/2024				
Ítem	Partida	Unidad	Cantidad	P/Unit. (\$)	P/Total (\$)
1.	SISTEMA OFF GRID				
1.1.	Paneles Fotovoltaicos 550 W	Unidad.	6	139.990	839.940
1.2.	Inversor (Victron Inversor/Cargador Quattro 48V 10000VA)	Unidad.	1	3.389.990	3.389.990
1.3.	Victron SmartSolar MPPT 250/70	Unidad.	1	565.990	565.990
1.4.	Kaise Bateria GEL 12V 250Ah	Unidad.	8	390.000	3.120.000
2.	Conductores Y Canalizaciones				
2.1.	Conectores MC4 LEADER 1000 volt	Unidad.	18	2.490	44.820
2.2.	Cable Solar PV 10mm	mts.	20	2.690	53.800
2.3.	Cable para Baterías Super Flexible 25mm	mts.	10	6.990	69.900
2.7.	Tira Conduit EMT 20MM 3 Metros Espesor 0.7mm	Unidad	6	6.000	36.000
2.8.	Terminal Conduit EMT 20MM	Unidad	4	600	2.400
2.9.	Caja Galvanizada A11 100x100x65mm	Unidad	1	5.990	5.990
2.10.	Curva Conduit EMT 20MM	Unidad	4	1.300	5.200
2.11.	Abrazadera Caddy con Perno 20mm	Unidad.	20	490	9.800
2.12.	Terminal para Conduit PVC 50mm	Unidad	6	2.500	15.000
2.13.	Tubería Conduit PVC 50mm 3 Metros	Unidad	8	7.500	60.000
3.	Tablero de conexión Fotovoltaico				

Fuente: <https://www.solarstore.cl/> - <https://www.naturaenergy.cl/>

Figura 3-1: Presupuesto materiales parte 1

3. Tablero de conexión Fotovoltaico					
3.1.	Tablero Sobrepuesto 5 Circuitos Estanco Ip65	Unidad.	1	6.490	6.490
3.2.	Interruptor termomagnético bipolar 40 A	Unidad.	1	13.923	13.923
3.2.	Interruptor diferencial tipo A 40 A	Unidad.	1	99.990	99.990
4. Parte de CC protecciones					
4.2.	Tablero Eléctrico 1 a 4 Espacios Puerta Transp	Unidad.	1	4.110	4.110
4.3.	Fusible MEGA 500A 70V	Unidad.	2	5.600	11.200
4.4.	Porta Fusible para MIDi Fuse	Unidad.	1	8.990	8.990
4.5.	Victron Fusible MIDI 100A 58V para 48V	Unidad.	1	9.000	9.000
4.6.	Fusible MC4 15A	Unidad.	4	10.990	43.960
4.7.	Automático DC 200A 500V para Sistema Solar Fotovoltaico	Unidad.	2	93.900	187.800
5. Puesta a Tierra					
5.1.	Barra de toma tierra 5/8" acero 2,5 m	Unidad.	1	3.330	3330
5.2.	Conector de barra 5/8" bronce laminado	Unidad.	1	1.058	1058
5.3.	Tubo de 160 mm	mts.	1	1.661	1661
6. Estructura de soporte					
6.1.	Riel de aluminio 4200mm	Unidad.	2	20.720	41.440
6.2.	Riel Aluminio 2100	Unidad.	2	9.415	18.830
6.3.	Unin riel de aluminio	Unidad.	2	1.177	2.354
6.4.	Conector terminal placa 35 o 40 mm	Unidad.	4	513	2.052
6.5.	Conector Union placa 35 o 40 mm	Unidad.	10	655	6.550
6.6.	Soporte ajustable 15° a 30°	Unidad.	6	4.879	29.274
6.7.	Conector a Tierra	Unidad.	3	951	2.853
6.8.	Base ajustable tipo L	Unidad.	6	2472	14.832

Fuente: <https://www.solarstore.cl> - <https://www.naturaenergy.cl/>

Figura 3-3: Presupuesto materiales parte 2

7. Generalidades						
7.2.	Limpieza, señalización			86.890	86.890	
7.3.	Tramitacion sec TE-1			301.990	301.990	
7.2.	Ferreteria (canalizacion, tornillos, terminales,prensas, otros)			216.000	216.000	
				Total General	\$	\$ 9.333.407

Fuente: <https://www.sec.cl/>

Figura 3-3: Presupuesto materiales parte 3

3.3. MANO DE OBRA

Otro punto importante en la realización del proyecto es la mano de obra, son las personas que estarán encargadas Montar, transportar, Instalar y poner en marcha la instalación,

Serán personas capaces de resolver los problemas que se les pudiera llegar a presentar en terreno, ya que cuentan con experiencia en la instalación de estos sistemas.

Para llevar a cabo el proyecto se contará con un supervisor, dos maestros y un ayudante.

Costos de mano de obra			
Personal	Días trabajado	Costo diario	Costo total
Supervisor	5	\$45.000	\$ 225.000
Maestro N°1	5	\$40.000	\$ 200.000
Maestro N°2	5	\$40.000	\$ 200.000
Ayudante N°	5	\$30.000	\$ 150.000
COSTO TOTAL MANO DE OBRA			\$775.000

Fuente: laborum.com

Figura 3-4: Costo mano de obra

3.4. COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Los costos finales del proyecto pueden parecer elevados a primera vista, pero a largo plazo se recupera la inversión y hoy en día el estado da subvenciones a este tipo de proyectos lo cual ayuda a aliviar el alto coste.

COSTOS DEL PROYECTO	Costo total en pesos	
	Costo del diseño	\$
Costo de materiales	\$	9.333.407
Gestión de compra de materiales	\$	466.670
Costos de mano de obra	\$	775.000
Subtotal	\$	10.876.502
Imprevisto (5%)	\$	543.825
Total Bruto	\$	11.420.327
IVA (19%)	\$	2.169.862
TOTAL DEL PROYECTO	\$	13.590.190

Fuente: elaboración propia

Figura 3-4: Costo Final

3.5. CARTA GANTT

Carta Gant de Ejecución del Proyecto de la Instalación Fotovoltaico se contabilizan 24 puntos en la ejecución del proyecto, las cuales en primer lugar se permita conocer e identificar los componentes, equipos como también elementos externos que ayudaran en la realización del proyecto fotovoltaico, realizando las respectivas inspecciones de acuerdo con la programación y organización.

			CARTA GANTT														
N°	Actividad	Personal	SEMANA 1							SEMANA 2							
			L	M	M	J	V	S	D	L	M	M	J	V	S	D	
1	Estudio de la zona 1 día	Proyectista	■														
2	Dimensionado y cálculos de instalación 1 día	Proyectista	■														
3	Cotización de materiales	Electricistas	■														
4	Informe de instalación fotovoltaica (entrega a Propietario)	Electricistas		■													
5	Compra de materiales (1 semana aprox.)	Electricistas			■	■	■	■	■	■							
6	Transporte de materiales	Electricistas			■	■	■	■	■								
7	Instalacion de estructura de soporte (1 o 2 días)	Electricistas								■							
8	Instalación de paneles fotovoltaicos	Electricistas								■	■						
9	Montaje de estructura para las baterias y controlador	Electricistas										■	■				
10	Montaje del inversor off grid	Electricistas										■	■				
11	Instalacion de tableros de CC y de coneccion Fotovoltaica	Electricistas										■	■				
12	Instalación de Canalización	Electricistas										■	■				
13	Instalación de camara de registro y barra cooper	Electricistas										■	■				
14	Cableado de todo el sistema	Electricistas										■	■				
15	Limpieza del lugar	Electricistas												■			
16	Pruebas y ensayos de la instalación	Electricistas												■			
17	Tramitacion de puesta en servicio TE 1	Proyectista													■		
18	Puesta en marcha de la instalacion	Electricistas													■		
22	Instruir a Propietario sobre la instalación	supervisor														■	
23	Explicación y entrega de plan de matenimiento de la instalacion	supervisor														■	
24	Entrega de proyecto	Supervisor														■	

Fuente: elaboración propia

Figura 3-5: Carta Gantt del proyecto

CONCLUSIONES

El presente trabajo ha demostrado la viabilidad técnica de la implementación de un sistema fotovoltaico off grid en una vivienda rural en el sector de La Capilla, comuna de Illapel, Región de Coquimbo. A través de un análisis detallado de las condiciones geográficas y climáticas de la zona por medio del explorador solar, se ha logrado diseñar un sistema que no solo cumple con los requerimientos energéticos diarios de la vivienda, sino que también asegura la disponibilidad de energía durante la noche mediante el almacenamiento en baterías.

Como posibilidad para optimizar el sistema mediante la sustitución del inversor por uno híbrido, lo que permitiría una mayor flexibilidad en el uso y almacenamiento de energía, y la integración de baterías de litio en lugar de las convencionales. Este cambio no solo mejoraría la eficiencia del sistema, sino que también reduciría los costos de mantenimiento y prolongaría la vida útil del sistema de almacenamiento energético.

El estudio concluyó que, aunque la inversión inicial puede ser significativa, la implementación de tecnologías avanzadas como las baterías de litio y los inversores híbridos, junto con las posibles subvenciones gubernamentales, hacen de este proyecto una solución sostenible y rentable para zonas aisladas sin acceso a la red eléctrica.

Finalmente, el sistema propuesto no solo ofrece independencia energética, sino que también contribuye a la reducción del impacto ambiental, alineándose con las tendencias globales hacia el uso de fuentes de energía renovable y la disminución de las emisiones contaminantes. La implementación de este tipo de soluciones es un paso adelante hacia la sostenibilidad energética en áreas rurales y podría servir como modelo para futuros proyectos similares en el país.

BIBLIOGRAFIA

Sine Energy. (2023). Obtenido de <https://www.solarstore.cl/wp-content/uploads/2021/11/SN-530W-555W%EF%BC%89-144M.pdf>

Superintendencia de Electricidad y Combustibles. (2019). *mienergia*. Obtenido de https://www.mienergia.cl/sites/default/files/1.3_tomo_iii_guia_estudiante.-.pdf

Superintendencia de Electricidad y Combustibles. (2021). *EXIGENCIAS TÉCNICAS DE INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS AISLADAS-ITG* . Obtenido de RIC N°9.1: <https://www.sec.cl/off-grid/>

Universidad de Chile. (2017). *Explorador solar*. Obtenido de <https://solar.minenergia.cl/>