UNIVERSIDAD DE ATACAMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE SUMINISTRO ELÉCTRICO A TRAVÉS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA EL FUNDO PALO BLANCO DEL SECTOR AGRÍCOLA DE LA REGIÓN DE ATACAMA

Proyecto de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de Ingeniero de Ejecución Eléctrica.

Profesor guía: Sr. Juan Carlos Madrigal Lobos

Nancy Claudia Alejandra Fernández Mendieta

Juan Pablo Rivera Flores

Copiapó, Chile 2022

DEDICATORIA

Está tesis está dedicada a mi familia, especialmente a mis hermanos que son mi pilar fundamental y que son mi ejemplo de lucha para alcanzar mis metas. A mis sobrinos por su cariño incondicional y que me han dado la fuerza necesaria para poder salir adelante. A mis padres que siempre han estado a mi lado en todo este camino recorrido y que han marcado mis pasos con sus valores y principios. Y a todas las personas que han influenciado en mi vida de manera positiva, guiándome, y regalándome los mejores consejos para ser una mejor persona.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres principalmente, por ser quienes me dieron la vida, me formaron y siempre confiaron en mí y a quienes me he encomendado para salir adelante. A mis hermanos en general por ser la motivación, la fuerza y la inspiración para ser cada día mejor, al Fundo Palo Blanco por brindarnos su apoyo y abrirnos las puertas de sus predios, a los profesores por regalarme su experiencia, capacidad y su profesionalidad y a todas las personas y amigos que estuvieron alrededor colaborando de muchas e impensadas maneras para lograr la culminación de este proyecto.

DEDICATORIA

Este proyecto de tesis está dedicado a todas las personas que me han influenciado en mi vida, guiándome, dándome los mejores consejos, para ser una persona de bien.

Con todo mi cariño y afecto les dedico mi tesis a mis hijos Fernanda y Matías, que con su gran amor me ha dado la fuerza necesaria para poder salir adelante, a mi Señora Joscelyn por estar siempre presente en los momentos buenos y malos que nos traza la vida, apoyándome incondicionalmente. Gracias a Dios, gracias a mis padres, gracias a mi Hermano, gracias a quienes me aman y a los que amo, gracias a mis familiares, por el apoyo y la confianza constantes en mí.

AGRADECIMIENTOS

Primero que todo agradezco a Dios y a la vida por permitir contar con el apoyo de mis seres queridos, sin ellos no hubiese podido llevar la vida que llevo, ni haber podido cumplir mis principales metas, agradezco a mis familiares por brindarme el mejor de sus apoyos y darme la oportunidad y facilidad de seguir completando mis estudios, agradezco a mi Señora Joscelyn y a mis hijos Fernanda y Matías por darme el apoyo durante mi periodo de estudios y tesis. Además, agradezco a los profesores los cuales me entregaron la mejor de las enseñanzas para poder ser un buen profesional y poder desarrollarme en el ámbito laboral.

RESUMEN

El presente Proyecto de Título tiene como objetivo principal disminuir los costos en compra de energía eléctrica que consume el sistema de regadío de una plantación de parronales en la región de Atacama comuna de Copiapó. Para lo cual, se realizará un estudio de factibilidad técnica y económica del suministro eléctrico por medio de **ERNC** (Energías Renovables No Convencionales) enfatizándonos en la energía solar fotovoltaica, debido a las favorables condiciones que goza la zona norte de Chile. Este proyecto se llevará a cabo mediante el dimensionamiento fotovoltaico que sea capaz de suministrar la energía necesaria para alimentar la demanda de energía que consumen las bombas para el regadío.

Por lo cual, se estudiará y dimensionará dos sistemas fotovoltaicos, los cuales se compararán paralelamente con dos sistemas de energía convencional. Estas comparaciones nos permitirán conocer la factibilidad técnica de cada uno, considerando también las ventajas y desventajas de estos cuatro sistemas en general, y se compararán desde el punto de vista económico, escogiendo así el que sea más rentable para la plantación de los parronales.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Pag.

CAPÍTULO I……...1

INTRODUCCIÓN……...1

1.1 Objetivo general……. 2

1.2 Objetivos específicos……. 2

1.2.1 Levantar información del consumo eléctrico en el Fundo Palo Blanco……..2

1.2.2 Dimensionar los sistemas fotovoltaicos: ON-GRID y OFF-GRID…….2

1.2.3 Dimensionar un Generador Eléctrico a combustión interna……2

1.2.4 Comparar los 3 sistemas anteriores con la red eléctrica conectada actualmente…….…..…2

1.2.5 Evaluar económicamente el uso de paneles solares para generación eléctrica fotovoltaica para el Fundo Palo Blanco……..……...……..2

1.3 Glosario……...2

1.4 Metodología del trabajo……...4

CAPÍTULO II……..6

ENERGIAS RENOVABLES…… 6

2.1 Energía renovable no convencional (ERNC)……..6

2.2 Ventajas y desventajas de las energías renovables…… 8

2.3 Tipos de energías renovables…….....9

2.3.1 Energía geotérmica……..9

2.3.2 Energía biomasa…… 10

2.3.3 Energía eólica……10

2.3.4 Energía marina……...11

2.3.5 Energía hidroeléctrica……12

2.3.6 Energía solar……..12

2.4 El sol……..13

2.4.1 Intensidad de radiación solar (Is)……...15

2.4.2 Radiación solar (Gs)……..15

2.4.3 La radiación en la superficie terrestre……... 15
2.5 El movimiento terrestre…….16
2.5.1 Latitud (Lat.)……..17
2.5.2 Longitud…… 18
2.5.3 La Posición del Sol respecto a nuestra ubicación……. 18
2.5.4 Cartas de radiación solar…….…...21
2.5.4.1 Piranómetro……..…. 22
2.5.4.2 Pirheliómetro…….. 22
2.5.5 Incidencia de la radiación en la superficie terrestre…….. 22
2.5.6 Explorador solar…… 24
2.5.6.1 Formato de datos……... 25
2.5.7 Radiación en superficies inclinadas…….. 27
2.5.8 Condiciones climáticas…… 29
2.5.9 Aplicaciones y ventajas de la energía solar……...30
2.5.9.1 Aplicaciones…….. 30
2.5.9.2 Ventajas……31

CAPÍTULO III……..32
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS……32
3.1 Tipos de sistemas fotovoltaicos…… 32
3.1.1 Sistemas directos……... 32
3.1.2 Sistemas aislados……...33
3.1.3 Sistemas interconectados……...34
3.1.3.1 Características de su funcionamiento…… 34
3.1.4 Sistema híbrido……..36
3.2 Configuraciones eléctricas…… 37
3.2.1 Conexión serie……...37
3.2.2 Conexión paralelo……..38
3.2.3 Conexión mixta…… 38
3.3 Tipos de paneles solares……39
3.3.1 Atributos principales…… 40

3.3.2 Celdas fotovoltaicas……...41
3.4 Como elegir un panel fotovoltaico……43
3.5 Bancabilidad……..43
3.6 Ranking de marcas……44
3.7 Cálculo de energía generada por los paneles solares…… 44

CAPÍTULO IV……..47
LEYES REGULADORAS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA……... 47
4.1 Ley de generación distribuida Ley 20.571 modificada por la Ley 21.118 del 17 de noviembre de 2018……47
4.2 Objetivos……... 47
4.3 Marco legal regulatorio……54
4.4 Procedimiento para declarar un proyecto de ERNC (Energía Renovable No Convencionales)……...55
4.5 Proceso de inscripción de un sistema fotovoltaico……... 56

CAPÍTULO V……57
DISEÑO Y EJECUCIÓN DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS... 57
5.1 Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red……57
5.2 Estructura (Soporte y Fijación)……58
5.3 Módulos fotovoltaicos……...59
5.4 Arreglos y conexiones eléctricas……...60
5.5 Dimensionamiento de circuitos y corrientes……61
5.6 Conductores y canalización……...61
5.7 Inversores……..62
5.8 Protecciones…….. 63
5.9 Protección RI (Red e instalación)…… 64
5.10 Rotulación y señalización eléctrica……64
5.11 Baterías……65
5.12 Medidor……...65
5.13 Declaración de instalaciones fotovoltaicas…… 66

5.14 Inspección, ensayo y mediciones de terreno del generador……66
5.15 Revisión final……..66

CAPÍTULO VI……..68
ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO…… 68
6.1 Antecedentes del proyecto…… 68
6.2 Descripción del proyecto……...68
6.3 Ubicación geográfica del proyecto……69
6.4 Visita a terreno……...……...70
6.5 Consumo de energía del fundo Palo Blanco……72
6.6 Demanda de energía diaria……73
6.7 Ciclo de funcionamiento……... 74
6.8 Temporada baja o de invierno……...74
6.9 Temporada alta o de verano……..75
6.10 Demanda de energía año 2020……76
6.11 Simulación del sistema……77
6.12 Comparación de resultados……77

CAPÍTULO VII…….80
DIMENSIONAMIENTOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS……... 80
7.1 Sistema On Grid……80
7.2 Dimensionamiento de paneles fotovoltaicos…….80
7.3 Selección del inversor……... 83
7.4 Conductores……...88
7.5 Conductores C.C……... 88
7.6 Conductores C. A……..90
7.7 Canalizaciones……...91
7.8 Protecciones……...91
7.9 Medidor de energía bidireccional, set de barras y tablero…… 95
7.10 Área requerida para la instalación de los paneles……... 96
7.11 Decisión del diseño…….....98

7.12 Sistema Off Grid…….....99
7.13 Decisión del diseño……...100
7.14 Cálculo planta fotovoltaica N° 1……...101
7.14.1 Cálculo del número de paneles……. 101
7.14.2 Selección del inversor……... 102
7.14.3 Cálculo para la cantidad de baterías……...103
7.14.4 Cálculos para las conexiones serie y paralelo de las baterías……....104
7.15 Cálculo de la planta fotovoltaica N° 2……..104
7.15.1 Datos de consumo por horas…… 105
7.15.2 Cálculo para la cantidad de paneles.……..105
7.15.3 Selección del inversor N° 2……...106
7.15.4 Cálculo de cantidad de baterías……107
7.15.5 Cálculos para las conexiones serie y paralelo de las baterías……108
7.15.6 Área requerida para la instalación de los paneles……..108
7.16 Generador eléctrico……...109
7.16.1 Dimensionamiento de un sistema de generación Diésel……...110
7.16.2 Elección del generador……..110
7.17 Limitaciones……..113
7.18 Elección del generador para el proyecto……...113

CAPÍTULO VIII……114
ESTRUCTURA DE EVALUACIÓN……114
8.1 Introducción…… 114
8.2 Estructura de costos…….114
8.3 Valor actual neto (VAN) de los cuatro sistemas…….124
8.4 Tablas comparativas……125
8.5 Elección del suministro adecuado……...128

CAPÍTULO IX……129
CONCLUSIONES……...129

ÍNDICE FIGURAS

Pag.

Figura N° 2.1: Energías renovables…….. 8
Figura N° 2.2: Central geotérmica…… 9
Figura N° 2.3: Proceso de generación de energía biomasa……10
Figura N° 2.4: Sistemas de energía eólica……...11
Figura N° 2.5: Sistema basado en energía marina……...11
Figura N° 2.6: Generación de energía hidroeléctrica……..12
Figura N° 2.7: Irradiación Solar ……13
Figura N° 2.8: Fenómenos Climáticos……14
Figura N° 2.9: Movimiento terrestre……...16
Figura N° 2.10: Recorrido del sol……...… 17
Figura N° 2.11: Longitud y latitud……..18
Figura N° 2.12: Altura solar……19
Figura N° 2.13: Ángulo medido sobre el horizonte…… 20
Figura N° 2.14: Cartas de radiación solar……...21
Figura N° 2.15: Radiación en la superficie terrestre……...23
Figura N° 2.16: Explorador de energía solar…….. 24
Figura N° 2.17: Radiación en la superficie paralela a la tierra……... 25
Figura N° 2.18: Radiación en superficies inclinadas……..27
Figura N° 2.19: Radiación en figuras no orientadas directamente al norte…… 28
Figura N° 2.20: Radiación solar planos inclinados……29
Figura N° 2.21: Componentes de Radiación Solar, cielo despejado y cubierto……. 30
Figura N° 3.1: Sistema directo……33
Figura N° 3.2: Sistema aislado……34
Figura N° 3.3: Sistema fotovoltaico interconectado……... 35
Figura N° 3.4: Sistema On-Grid……..35
Figura N° 3.5: Sistema híbrido……... 36
Figura N° 3.6: Paneles fotovoltaicos en conexión serie……..37
Figura N° 3.7: Paneles fotovoltaicos en conexión paralelo…… 38

Figura N° 3.8: Paneles fotovoltaicos en conexión mixta……39
Figura N° 3.9: Tipos de paneles fotovoltaicos……40
Figura N° 3.10: Características eléctricas y mecánicas del panel solar Csun Solar... 45
Figura N° 4.1: Ley 20.571 con su Modificación Ley 21.118…….. 48
Figura N° 4.2: Proceso de conexión Ley N° 21.118……...51
Figura N° 4.3: Riesgos asociados a una instalación fotovoltaica……... 53
Figura N° 4.4: Daños asociados a una instalación fotovoltaica……..54
Figura N° 4.5: Marco Legal Regulatorio…….54
Figura N° 4.6: Tipos de Declaraciones Eléctricas para un ERNC……..55
Figura N° 6.1: Ubicación geográfica de la Sociedad agrícola "Fundo Palo Blanco". 69
Figura N° 6.2: Transformador eléctrico…….....70
Figura N° 6.3: Sala de control de Bombas……..71
Figura N° 6.4: Área de instalación de paneles……71
Figura N° 6.5: Demanda en temporada baja o invierno……..75
Figura N° 6.6: Demanda en temporada alta o verano…….75
Figura N° 6.7: Consumo anual de energía del Fundo Palo Blanco…….76
Figura N° 6.8: Perfil de Energía Solar para el Fundo Palo Blanco…….78
Figura N° 6.9: Generación fotovoltaica mensual promedio……78
Figura N° 7.1: Panel Fotovoltaico SUNPOWER SPR-P19-400-COM……...80
Figura N° 7.2: Jinko Cheetah HC 72M-V-400 W……...81
Figura N° 7.3: Panel Canadian Solar CS3W-390|395|400|405|410|415PB-AG……. 82
Figura N° 7.4: Inversor Ginlog Technologies Solis 30k…….83
Figura N° 7.5: Inversor Sunny Tripower 15000TL / 20000TL / 25000TL…… 85
Figura N° 7.6: Inversor Fronius Symo 25.0-3-S……86
Figura N° 7.7: Conductor Energyflex para instalaciones FV…… 90
Figura N° 7.8: Interruptor automático tetrapolar 3P 50A……... 92
Figura N° 7.9: Interruptor automático tripolar 300ª, 36kA, 380V……..93
Figura N° 7.10: Fusible Enertik para instalaciones FV……...95
Figura N° 7.11: Medidor de energía Schneider……...96
Figura N° 7.12: Grado en la inclinación de los paneles……..97
Figura N° 7.13: Área instalación paneles……97

Figura N° 7.14: Generación versus consumo anual……98
Figura N° 7.15: Conexión del campo generador On Grid……..99
Figura N° 7.16: Radiación Global Horizontal……...100
Figura N° 7.17: Bluesun 50kw Inversor Solar Trifásico Híbrido……102
Figura N° 7.18: ATESS HPS20000TL Inversor Solar Trifásico……. 106
Figura N° 7.19: Terreno disponible para la instalación de paneles y banco de baterías……...109
Figura N° 7.20: Grupo generador Vielco GA110CLD……110
Figura N° 7.21: Grupo Generador Cat Olympian GEP125-1……...111
Figura N° 7.22: Grupo Generador Kohler SDMO J110K…….112

ÍNDICE TABLAS

Pag.

Tabla N° 2.1: Ventajas y desventajas de las energías renovables……8
Tabla N° 2.2: Radiación global horizontal del Fundo Palo Blanco……26
Tabla N° 3.1: Tipos de células fotovoltaicas…….. 41
Tabla N° 3.2: Ranking de fabricantes de paneles solares 2020…….. 44
Tabla N° 6.1: Punto Geográfico "Fundo Palo Blanco"……...70
Tabla N° 6.2: Placa de los motores eléctricos de la sala de bomba del Fundo……...72
Tabla N° 6.3: Cuadro de cargas…….. 73
Tabla N° 6.4: Consumo anual de energía del Fundo Palo Blanco……..76
Tabla N° 7.1: Características del Panel Fotovoltaico SUNPOWER…….. 81
Tabla N° 7.2: Características del Panel Fotovoltaico JINKO SOLAR……...82
Tabla N° 7.3: Panel Canadian Solar CS3W-390|395|400|405|410|415PB-AG……...83
Tabla N° 7.4: Características del Inversor Solis – 30k……....84
Tabla N° 7.5: Características del Inversor Sunny Tripower 25000TL……85
Tabla N° 7.6: Características el inversor Fronius Symo 25 kW……87
Tabla N° 7.7: Características del conductor……89
Tabla N° 7.8: Interruptor automático tetra polar Ls……93
Tabla N° 7.9: Interruptor automático tripolar 300A, 36 kA, 380V…… 94
Tabla N° 7.10: Fusibles para cada rama del inversor de la instalación FV…… 94
Tabla N° 7.11: Características el inversor híbrido Bluesun 50kW……...103
Tabla N° 7.12: Consumos para el calculo de la planta FV N° 2……...105
Tabla N° 7.13: Características el inversor hibrido ATESS 20kW……107
Tabla N° 7.14: Características Generador Vielco Diésel modelo: GA110CLD…...111
Tabla N° 7.15: Características Generador Cat Olympian GEP125-1 ……...112
Tabla N° 7.16: Características Grupo Generador J110K……..113
Tabla N° 8.1: Costo económico del Generador Diesel ……115
Tabla N° 8.2: Costo económico mensual del Generador Diesel……...116
Tabla N° 8.3: Costo económico del Generador Diesel proyectada a 20 años……...117
Tabla N° 8.4 Costo económico del sistema Off – Grid……118

Tabla N° 8.5: Costo económico del sistema Off – Grid proyectada a 20 años…….120
Tabla N° 8.6: Costo económico del sistema On – Grid……121
Tabla N° 8.7: Costo económico del sistema On– Grid proyectada a 20 años……...123
Tabla N° 8.8: Valor Actual Neto (VAN) de los diferentes sistemas…….124
Tabla N° 8.9: Suministro de la red eléctrica …….125
Tabla N° 8.10: Sistema fotovoltaico On-Grid……...126
Tabla N° 8.11: Sistema fotovoltaico Off-Grid……..127

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha evolucionado en materia de energías renovables según el Informe especial sobre fuentes de energía renovable y mitigación del cambio climático y por la conciencia medioambiental creciente de la población mundial, lo que está provocando el aprovechamiento de las energías denominadas "limpias", y al existir lugares en el mundo que son privilegiados con favorables condiciones para generación de este tipo de energías, que son amigables con el medio ambiente y con el ser humano. Al contrario de los combustibles fósiles o convencionales que son recursos no renovables a corto plazo y que contribuyen a generar y potenciar el efecto invernadero, la lluvia ácida, la contaminación del aire, suelo y agua.

Una de las regiones que goza de condiciones privilegiadas para la generación de energía fotovoltaica es la zona norte de Chile que posee la mayor incidencia solar del mundo, lo que la transforma en un potencial a explotar en energías renovables.

En el norte de Chile se encuentra ubicada la región de Atacama que tiene como capital a la ciudad de Copiapó, esta cuenta con cuatro sectores preponderantes para su desarrollo económico: Sector Minero, Sector Agrícola, Sector Pesquero y el Sector de Turismo. Donde adquiere relevancia el sector Agrícola que es el segundo de importancia en la región, debido al clima que compensa su limitación de las pocas hectáreas que tiene para sembrar, las plantaciones más representativas son los Parronales en el Valle Del Río Copiapó, donde se producen uvas de mesa de exportación de diferentes cepas con sofisticada tecnología de riego por goteo y control computarizado. Cabe mencionar que aquí maduran las primeras uvas del país y que obtienen los mejores precios en el mercado internacional, por lo que estas tierras son las más apreciadas. Debido a lo mencionado anteriormente, nos hemos planteado evaluar una disminución de los costos por la compra de energía eléctrica que consume el regadío de los Parronales del **FUNDO PALO BLANCO,** para lo que hemos planteado realizar factibilidades técnicas y económicas para el suministro eléctrico.

Para ello se estudiarán y dimensionarán dos sistemas fotovoltaicos (sistema ON-GRID y sistema OFF-GRID), los cuales se compararán con dos sistemas convencionales (Generador a combustión interna y la red eléctrica conectada actualmente).

Estos dimensionamientos nos permitirán conocer las ventajas y desventajas de cada uno de estos sistemas, además se podrán comparar desde el punto de vista económico, para poder escoger el más rentable para el Fundo.

1.1 Objetivo general

Evaluar la viabilidad técnica-económica para el uso de generación eléctrica fotovoltaica, con el objetivo de disminuir los costos por la compra de energía eléctrica que se usa en el regadío de los parronales pertenecientes al Fundo Palo Blanco.

1.2 Objetivos específicos

1.2.1 Recopilar información del consumo eléctrico en el Fundo Palo Blanco.
1.2.2 Dimensionar los sistemas fotovoltaicos: ON-GRID y OFF-GRID.
1.2.3 Dimensionar un Generador Eléctrico a combustión interna.
1.2.4 Comparar los 3 sistemas anteriores con la red eléctrica conectada actualmente.
1.2.5 Evaluar económicamente el uso de paneles solares para generación eléctrica fotovoltaica para el Fundo Palo Blanco.

1.3 Glosario

El glosario nos ayudara a conocer el significado de los términos que se usaran en el desarrollo del proyecto.

a) **Arreglo:** Conjunto de módulos interconectados en serie o en asociaciones serie-paralelo con voltaje igual a la tensión nominal del generador.

b) **Batería:** son dispositivos que almacenan energía eléctrica en forma química y la liberan después como corriente continua de forma controlada. Todos los tipos de baterías contienen un electrodo positivo y uno negativo sumergidos en un electrolito, y el conjunto completo se encuentra dentro de un recipiente.

c) **CA:** Corriente Alterna.

d) **CC:** Corriente Continua.

e) **Caja de conexiones de string o junction box o tablero CC:** Caja en la que se conectan eléctricamente los strings entre sí.

f) **Célula solar o fotovoltaica:** Dispositivo que transforma la radiación solar en energía eléctrica.

g) **CIP:** Capacidad Instalada Permitida.

h) **Isc (STC):** Corriente de cortocircuito en condiciones de ensayo normalizadas.

i) **Diodo de Bloqueo:** Diodo utilizado para impedir el flujo inverso de corriente hacia la fuente del circuito fotovoltaico.

j) **Empalme:** Conjunto de elementos y equipos eléctricos que conectan la Unidad de Medida de la instalación del usuario o cliente a la red de distribución.

k) **EG:** Equipamiento de Generación.

l) **FV:** Fotovoltaico/a.

m) **IEC:** International Electrotechnical Commission, Comisión Electrotécnica Internacional.

n) **IEP:** Inyección de Excedente Permitida.

o) **MPPT:** Seguidor de punto de máxima potencia, conocido por sus siglas en inglés (Maximum Power Point Tracking).

p) **Netbilling:** Norma Técnica de Conexión y Operación de Equipamiento de Generación.

q) **RI:** Red e Instalación.

r) **RCMU:** Unidad de monitorización de corriente residual, conocido por sus siglas en inglés (Residual Current Monitoring Unit).

s) **String:** Circuito conformado por varios módulos fotovoltaicos conectados en serie.

t) **UG:** Unidad de generación.

u) **Voc stc:** Tensión en circuito abierto en condiciones de ensayo normalizadas.

1.4 Metodología del trabajo

Para lograr nuestro objetivo e implementar un sistema fotovoltaico en el **Fundo Palo Blanco,** deberemos conocer los conceptos generales de energía solar, comprender el efecto de la orientación y ángulo de la captación de energía de los paneles solares y los componentes que conforman un sistema fotovoltaico.

Paralelamente estudiaremos el área legal que regula a los clientes del sistema de distribución eléctrica para que dispongan de medios de generación renovables. Además de los procedimientos para la instalación de este tipo de sistemas.

Para la ejecución de las instalaciones Fotovoltaicas conectadas a la Red, se estudiarán las condiciones previas en virtud de la NCH Eléctrica 4/2003 (Instalaciones de consumo en baja tensión) y el Decreto Supremo 08 del año 2020 que Aprueba el Reglamento de Seguridad de las Instalaciones de Consumo de Energía Eléctrica. Continuando con la puesta en marcha del proyecto, se requerirá interiorizarnos con los aspectos técnicos del Fundo Palo Blanco como, por ejemplo, el consumo de energía eléctrica, la ubicación del fundo y las factibilidades de este tipo de proyecto en la zona, etc.

Consecutivamente realizaremos los dimensionamientos de los Sistemas fotovoltaicos OFF - GRID y ON - GRID. Asimismo, estudiaremos la viabilidad del suministro eléctrico mediante un Grupo Electrógeno, con los datos de la demanda calculada anteriormente.

En este punto se realizará una comparación de los tipos de suministros eléctricos y se considerará el área económica del proyecto, enfatizando en los análisis de cálculos económicos que determinarán la rentabilidad de cada proyecto, para elegir la mejor opción de suministro eléctrico a bajo costo para el Fundo Palo Blanco.

Finalmente, nos centraremos en las conclusiones del proyecto, si se logra bajar los costos de consumo de la energía eléctrica, la valoración de los tipos de sistemas estudiados y sus rentabilidades.

CAPÍTULO II
ENERGIAS RENOVABLES

2.1 Energía renovable no convencional (ERNC)

Las fuentes de energía renovable han sido aprovechadas por los seres humano desde hace mucho tiempo, básicamente acompañadas de la energía animal y su empleo continuo durante toda la historia, hasta la llegada de la "Revolución Industrial", con la aparición del carbón, que cuenta con una densidad energética muy superior al de la biomasa y debido a su menor precio la desplazó.

Posteriormente, el petróleo fue desplazando en muchas aplicaciones al carbón, debido a su mayor limpieza, mayor poder calorífico y su carácter fluido.

En el siglo XX aparece un nuevo recurso, más limpio y con mayores reservas, el gas natural, del que se dice será la energía del siglo XXI, con lo que se presume que también sufrirá una crisis a lo largo de este siglo.

En el transcurrir de los años, las energías fósiles se van agotando y la dependencia de muchos países al petróleo hace que progresivamente se vaya incrementando su valor, paralelamente se van incrementando los problemas medioambientales derivados de su explotación (transporte y consumo), por lo que se está produciendo un renacer de las energías renovables.

Las energías renovables son aquellas que se producen de manera continua y son inagotables a escala humana ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Además, tienen la ventaja adicional de poder complementarse entre sí, favoreciendo la integración entre ellas.

Son respetuosas con el medio ambiente, y aunque ocasionen efectos negativos sobre el entorno, son mucho menores que los impactos ambientales de las energías

convencionales: como combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón), energía nuclear, etc. Las energías renovables por el contrario son parte de la energía que el sol aporta a la Tierra en cada momento.

El Sol es la fuente de energía de la Tierra, se recibe en forma de radiación que retiene la atmósfera y permite que la tierra se mantenga una temperatura más o menos constante posibilitando que haya vida.

La radiación solar además de proporcionar luz, también se transforma en biomasa por medio del efecto de la fotosíntesis, en viento por los gradientes térmicos que se producen en la atmósfera o en la energía hidráulica por la evaporación de los mares.

En los últimos años, Chile ha evolucionado en materia de energías renovables debido a las favorables condiciones que goza a nivel mundial, especialmente en la zona norte del país, por su radiación solar que es la más alta del mundo y sus fuertes vientos de norte a sur que lo transforman en un potencial a explorar en este tipo de materias.

En este contexto se puede mencionar que ya existen inversiones en este tipo de energías, plantas fotovoltaicas situadas en el norte de Chile que son del sector minero y actualmente se está desarrollando programas de innovación abierta solar en conjunto con la ONU, con el objeto de ampliar el financiamiento de proyectos de energías limpias y renovables.

Dentro del marco de las energías renovables se pueden destacar las que tienen un mayor desarrollo tecnológico y por tanto mayores posibilidades de competir en el mercado. Es importante señalar que el Sol está presente en todas ellas (Ver la figura N° 2.1 y la tabla N° 2.1).

Figura N° 2.1: Energías renovables.

Fuente: https://www.renovablesverdes.com/wp-content/uploads/2018/04/Fuentes-de-energ%C3%ADas-renovables.jpg (19-06-2021).

2.2 Ventajas y desventajas de las energías renovables

A continuación, se enumerarán las ventajas y desventajas de las energías renovables:

Tabla N° 2.1: Ventajas y desventajas de las energías renovables.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
• Son amigables con el medio ambiente. • Su emisión de gases de efecto invernadero y otros contaminantes es muy baja. • Se pueden instalar en zonas rurales y aisladas. • Contribuyen a frenar el calentamiento global. • Reducen los costos de producción (por ejemplo: las tarifas de luz, agua y gas). • Ayudan a crear nuevos puestos de trabajos.	• Los sistemas de energía renovable pueden ocupar extensiones de tierra considerables, perturbar la vida marina, afectar los hábitats de las aves y flora / fauna, generar desechos, así como producir contaminación visual y ruido. • La obtención de energía renovable es irregular. • Diversidad geográfica de los recursos. • Requieren de una gran inversión inicial.

Fuente: https://mediterraneoglobal.es/energia/energia-alternativa-ventajas-desventajas/ (15 de agosto de 2020).

2.3 Tipos de energías renovables

La energía se manifiesta de diferentes maneras y según sus acciones:

- Geotérmica.
- Biomasa.
- Eólica.
- Marina.
- Hidroeléctrica.
- Solar.

2.3.1 Energía geotérmica

Este proceso consiste en el aprovechamiento del calor que emite el suelo, para que con estos atributos se logre climatizar y obtener recurso hídrico a objeto de darle uso sanitario (Ver la figura N° 2.2).

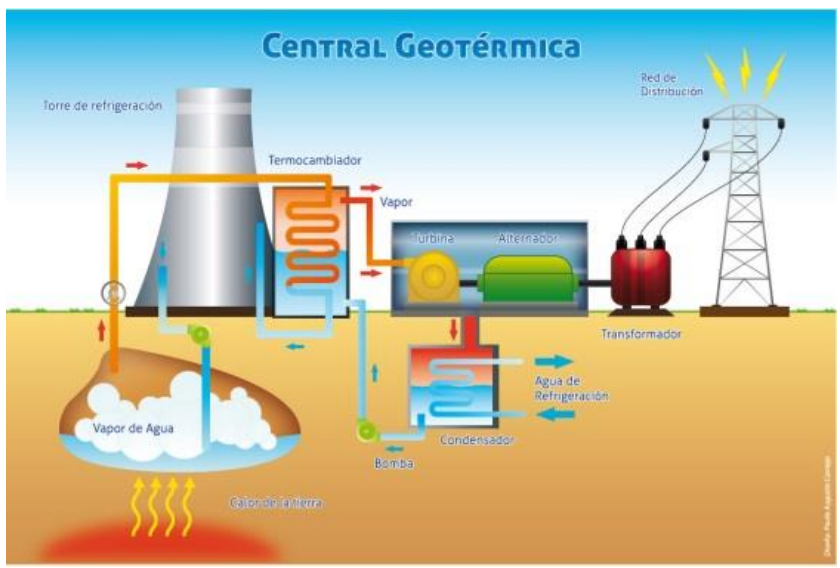


Figura N° 2.2: Central geotérmica

Fuente:https://www.lampadia.com/assets/uploads_images/images/Central_Geotermica.jpg (19-06-2021)

2.3.2 Energía biomasa

En lo referente a este tipo de energía se puede indicar que su obtención es a través del uso de compuestos orgánicos en procesos naturales (Ver la figura N° 2.3).

Figura N° 2.3: Proceso de generación de energía biomasa.

Fuente:https://geologiaweb.com/wp-content/uploads/2021/03/energia-biomasa-funcionamiento.jpg (19-06-2021)

2.3.3 Energía eólica

La energía eólica es la que utiliza la fuerza del viento para generar electricidad. El principal medio para obtenerla son los aerogeneradores, correspondiendo a "molinos de viento" de tamaño variable que transforman con sus aspas la energía cinética del viento en energía mecánica. La energía del viento puede obtenerse instalando los aerogeneradores tanto en suelo firme como en el suelo marino (Ver la figura N° 2.4).

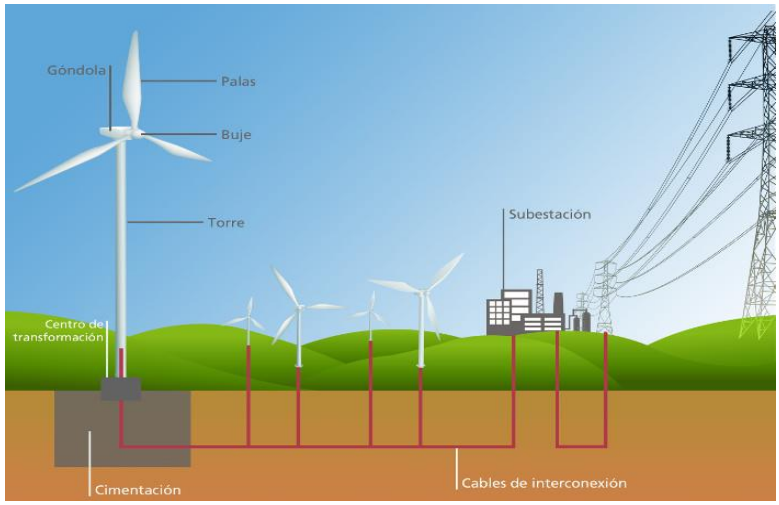


Figura N° 2.4: Sistemas de energía eólica.

Fuente: http://www.laenergiadelcambio.com (19-06-2021)

2.3.4 Energía marina

En el caso de la energía marina esta consiste en el aprovechamiento de las olas, las mareas, las corrientes y el delta que se produce por la oscilación de la temperatura de los océanos (Ver la figura N° 2.5).

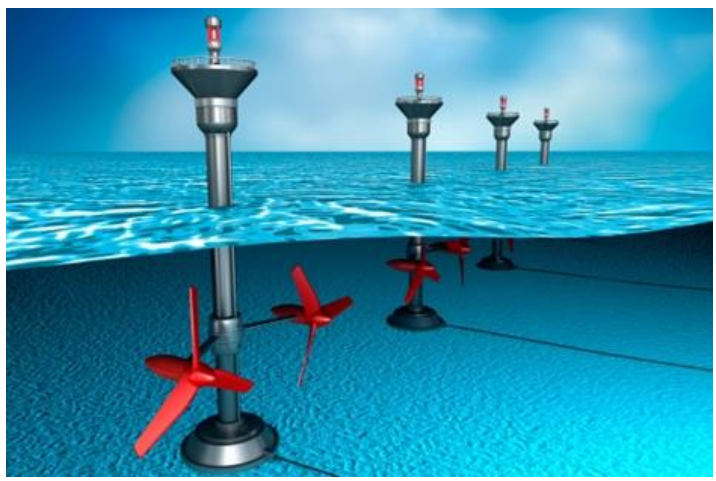


Figura N° 2.5: Sistema basado en energía marina.

Fuente: https://energyandcommerce.com.mx

2.3.5 Energía hidroeléctrica

Siguiendo la línea de energías renovables una de las más usadas a nivel global es la hidroeléctrica, que consiste en el estancamiento y movimiento del agua. Esta última activa a los generadores dando como resultado energía utilizable (Ver la figura N° 2.6).

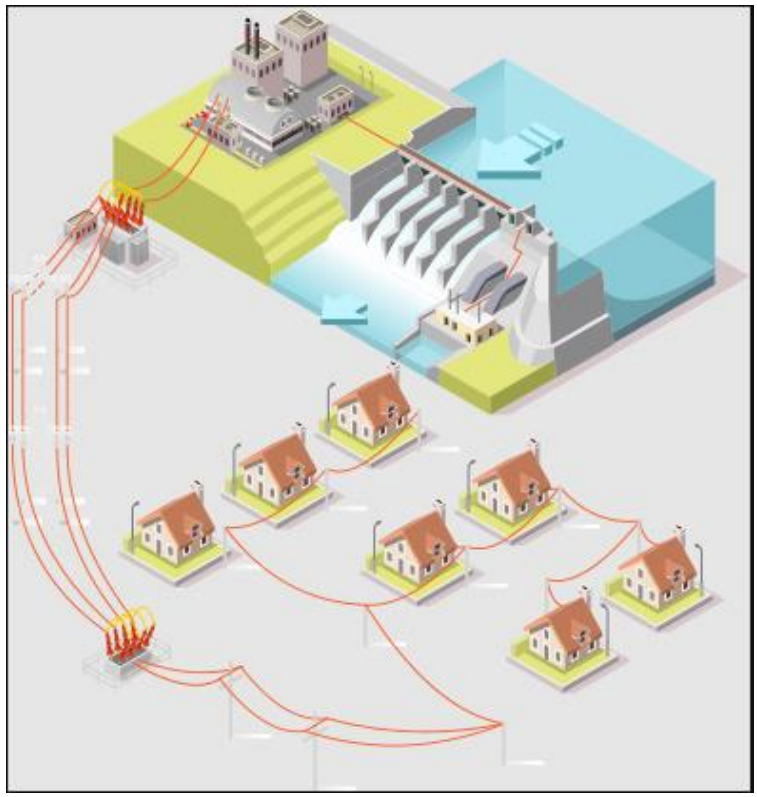


Figura N° 2.6: Generación de energía hidroeléctrica.

Fuente: http://generadoras.cl/images/947948af644569a97838c94e6aea79fd/original.png

2.3.6 Energía solar

La energía solar que llega a nuestro planeta depende de una gran variedad de factores que determinan la irradiancia, esta es una magnitud que describe la radiación solar que llega a la tierra o incide sobre la superficie terrestre, y se expresa en unidades de potencia por superficie, generalmente vatios por metro cuadrado.

Cuando hablamos de irradiación solar, nos referimos a la cantidad de irradiancia recibida en un tiempo determinado. Es uno de los principales factores que repercute en la cantidad de energía recibida en la atmósfera (ver la figura N° 2.7), ya que ella actúa como un filtro al flujo energético incidente.

Figura N° 2.7: Irradiación Solar.

Fuente: https://www.diario.eco/wp-content/uploads/2019/07/efecto-invernadero-resumen-grafico.jpg

Es importante señalar que el impacto medioambiental en la generación de electricidad de las energías convencionales es 31 veces superior, al de las energías renovables.

2.4 El sol

Es una fuente de energía segura de bajo impacto y es nuestra principal fuente de vida en nuestro planeta. La energía proveniente del Sol tiene como función primordial de proporcionar luz, calor y energía a la Tierra, no solo permite la existencia de organismos vivos, sino también de la supervivencia de nuestro planeta y es motor de distintos procesos en la naturaleza (Ver la figura N° 2.8).

- Los fenómenos climáticos.
- Las corrientes marinas.
- Diferentes ciclos de compuestos (H2O, C, N, entre otros).

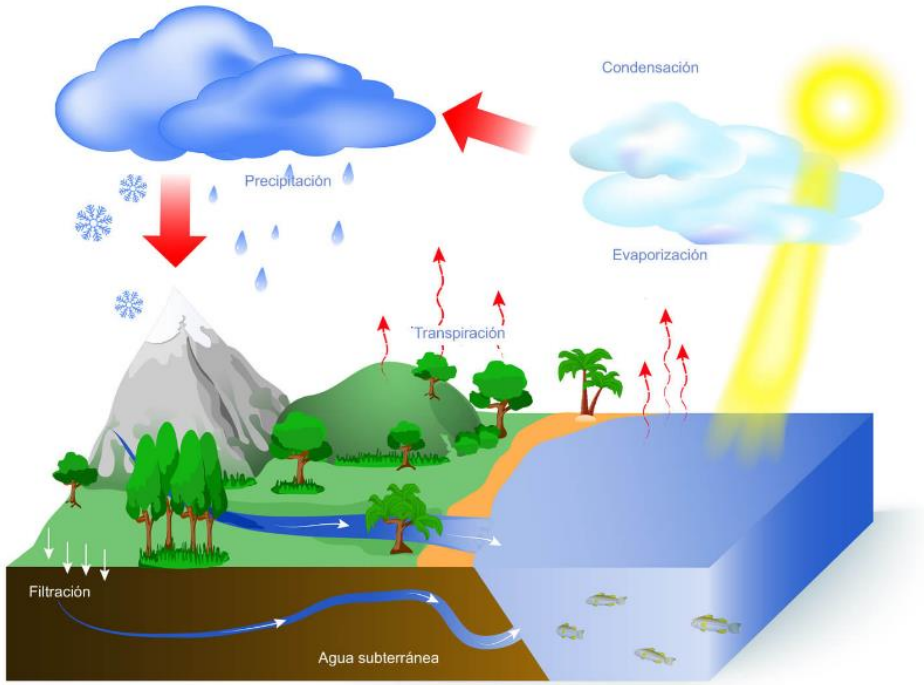


Figura N° 2.8: Fenómenos Climáticos.

Fuente: https://definicion.mx/wp-content/uploads/ecologia/Ciclo-del-Agua.jpg.

Como se indicó anteriormente la irradiación solar es la magnitud empleada para indicar el valor de la radiación incidente en una superficie. En el caso del Sol, se define como la energía solar recibida por cada metro cuadrado (m^2) en un segundo, en una superficie horizontal. Este, a lo largo de un día despejado va cambiando por la inclinación de los rayos solares, esta inclinación es mayor en invierno, disminuyendo entonces la irradiancia solar.

La Irradiación (Io) que llega al borde exterior de la atmosfera terrestre se llama constante solar y se describe como la intensidad de radiación solar (Watt/m^2). Su valor es de:

$$I_0 = 1353\left(\frac{\text{Watt}}{m^2}\right) \quad \textbf{(Ec. N° 2.1)}$$

De esta energía entre el 11 al 30 % es absorbida por las distintas capas de la atmosfera.

2.4.1 Intensidad de radiación solar (Is)

La intensidad de Radiación Solar es la potencia de radiación que llega a una superficie determinada. Esta se expresa de la siguiente manera y la designaremos con el símbolo (Is).

$$I_s = \left(\frac{\text{Watt}}{m^2}\right) \quad \textbf{(Ec. N° 2.2)}$$

2.4.2 Radiación solar (Gs)

Es la cantidad de irradiancia recibida en un lapso de tiempo. La radiación global es la suma de todos los valores de intensidad multiplicado por el tiempo. Por lo general se considera la radiación durante todo el día.

$$G_s = \frac{\text{watt x hora}}{m^2} \quad \textbf{(Ec. N° 2.3)}$$

2.4.3 La radiación en la superficie terrestre

Las características de nuestro planeta hacen que la energía solar que llega a superficie terrestre dependa de los factores geográficos, esta a su vez va variando en el transcurso del día, durante los meses, las estaciones del año, haciendo que el principal factor sea el movimiento terrestre.

2.5 Movimiento terrestre

La tierra gira sobre sí misma, alrededor de su eje. Este movimiento de la tierra se conoce como rotación y origina el día y la noche que tiene una duración de 24 horas.

La órbita de la Tierra alrededor del sol en el periodo de un año se conoce como traslación y en esta podemos destacar el punto más lejano del sol y el más cercano (Ver la figura N° 2.9).

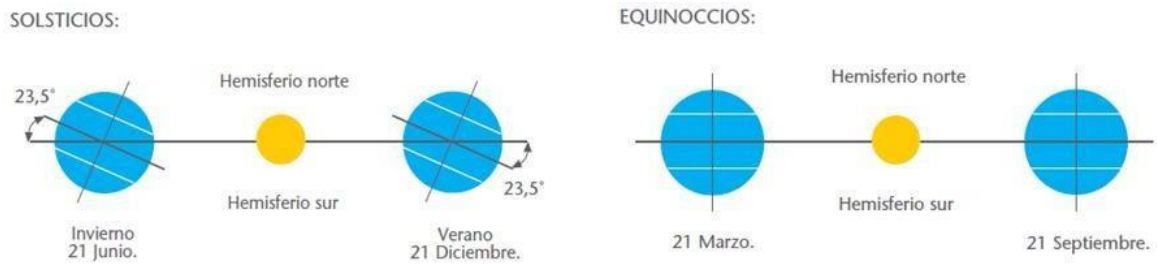


Figura N° 2.9: Movimiento terrestre.

Fuente:https://www.profesorenlinea.cl/imagengeografia/Solsticioss_Equinoccios_image018.jpg

Estos movimientos se traducen en diferentes recorridos del Sol durante el año. Los puntos del horizonte por donde sale y se pone el Sol varían en consecuencia, por lo que la altura del Sol a medio día y la energía solar que recibe el panel, varía durante todos los meses del año. Cabe mencionar que el 21 de diciembre es el día más largo en el hemisferio sur.

El Sol alcanza su máxima altura el 21 de junio que es el día más corto en el hemisferio sur, con la altura mínima del Sol (ver la figura N° 2.10).

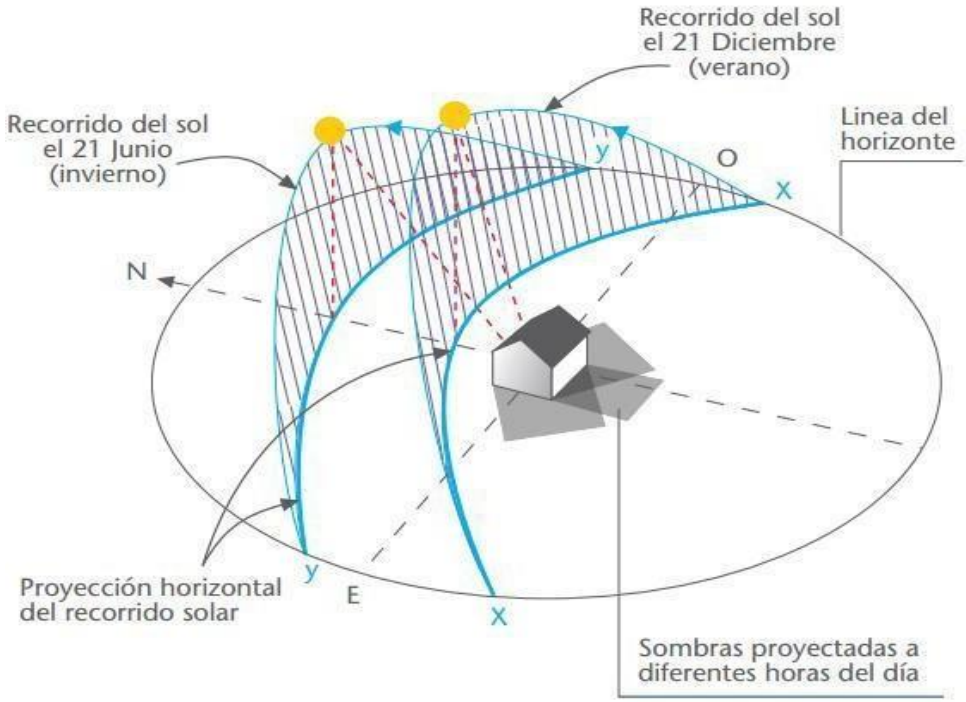


Figura N° 2.10: Recorrido del sol.

Fuente: https://www.aulafacil.com/uploads/cursos5959/20231_angulos-y-altura-en-la-trayectoria-del-sol.es.jpg (20-03-2021)

Este es el principal factor que afecta a la energía que recibe el panel fotovoltaico, pero también es el que de mejor manera puede predecirse.

Debido a que el movimiento terrestre ha sido estudiado desde tiempos ancestrales y existen ecuaciones que lo describen, lo que hace predecible su posición respecto de nuestra ubicación, y a su vez dependen de la Latitud geográfica en donde nos encontremos.

2.5.1 Latitud (Lat.)

Es la distancia medida en grados en dirección Norte o Sur desde el Ecuador. Por lo que tenemos la latitud Norte y la Sur. La Latitud va desde 0º hasta 90º (Ver la figura N° 2.11).

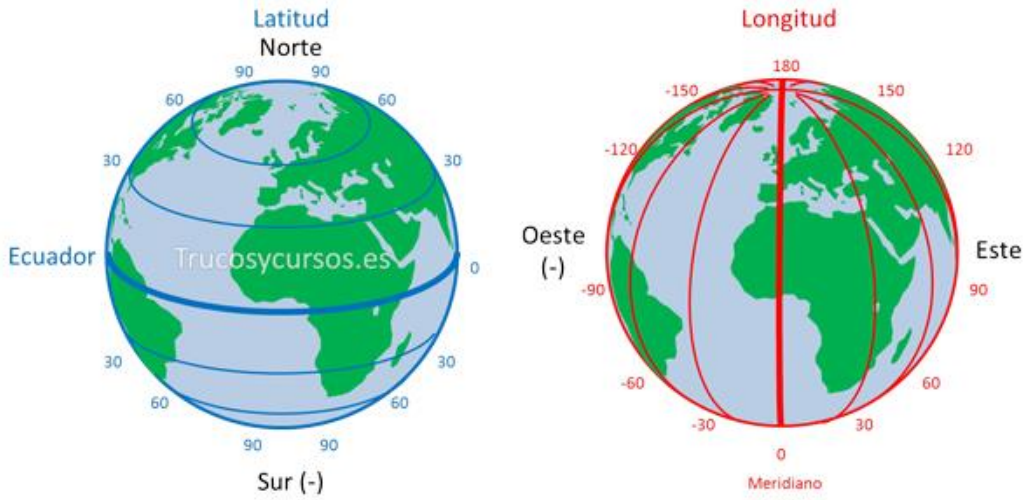


Figura N° 2.11: Longitud y latitud.

Fuente:https://concepto.de-wp-content/uploads/2019/04/latitud-y-longitud-e1556215912354.jpg (20-03-2021).

2.5.2 Longitud

La longitud es la distancia que existe entre un punto cualquiera y el Meridiano de Greenwich (Londres), medida sobre el paralelo que pasa por dicho punto. Al meridiano de Greenwich le corresponde la longitud de 0º. Los polos Norte y Sur no tienen longitud.

2.5.3 La Posición del Sol respecto a nuestra ubicación

La posición del sol en relación a nuestro punto de referencia se puede describir de manera trigonométrica. Los datos que podemos obtener son los siguientes: el Ángulo Cenital (θz), Altura Solar (α), Azimut Solar (ψ) y la Declinación Solar (δ).

- **Ángulo Cenital (θz):** Está formado por la vertical del lugar donde nos encontremos y la dirección hacia el sol. Ecuación que define el Ángulo Cenital (θz):

$$\cos(\theta_z) = \sin(\delta)\, x\, \sin(\emptyset) + \cos(\delta)\, x\, \cos(\emptyset)\, x\, \cos(\omega) = \sin(\alpha) \qquad \textbf{(Ec. N° 2.4)}$$

- **Altura Solar (α):** La altura solar es el ángulo formado por el sol respecto del plano horizontal. Cambia a lo largo del día y tiene su altura máxima al medio día. Esta altura máxima varía a lo largo del año entre el solsticio de invierno y el solsticio de verano (Ver la figura N° 2.12).

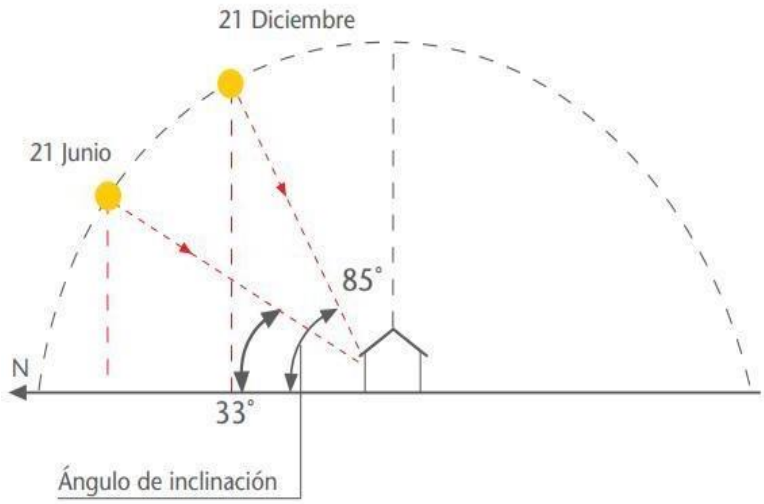


Figura N° 2.12: Altura solar.

Fuente:https://biuarquitectura.files.wordpress.com/2012/05_arquitectura_ecologica_casa_sostenible_protecciones_solares_02.jpg

- **Azimut Solar (ψ):** Corresponde al ángulo medido sobre el horizonte que forman el punto cardinal Norte y la proyección vertical del Sol sobre el horizonte. Toma el valor 0º cuando el sol esta exactamente en el norte geográfico, y va cambiando a lo largo del día, tiene un máximo de 360° (Ver figura N° 2.13).

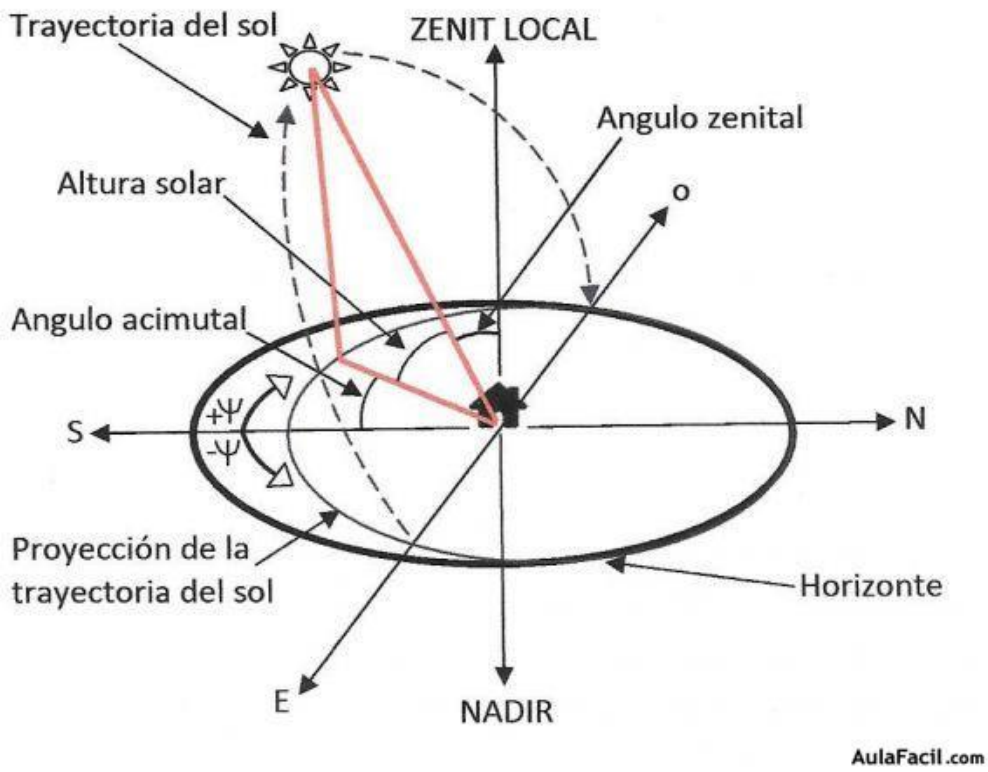


Figura N° 2.13: Angulo medido sobre el horizonte.

Fuente: https://www.aulafacil.com/uploads/cursos/5922/20208_angulos-y-altura-en-la-trayectoria-del-sol.es.jpg

Ecuación que define el Azimut Solar (ψ):

$$\cos(\psi) = \frac{\sin(\alpha)\ x\ \sin(\phi) + \sin(\delta)}{\cos(\alpha)\ x\ \cos(\phi)} \qquad \textbf{(Ec. N° 2.5)}$$

- **Declinación solar (δ):** Es la posición angular del sol a mediodía con respecto al plano del Ecuador. Y se determina con la ecuación de Cooper 1969.

$$\delta = 23{,}45\ x\ sin\left(360\ x\ \frac{284+n}{365}\right) \qquad \textbf{(Ec. N° 2.6)}$$

Donde “n” es el número del día del año al momento de la medición (se cuenta desde el primero de enero).

2.5.4 Cartas de radiación solar

Se puede resumir toda la información mencionada mediante las cartas de radiación (Ver la figura N° 2.14).

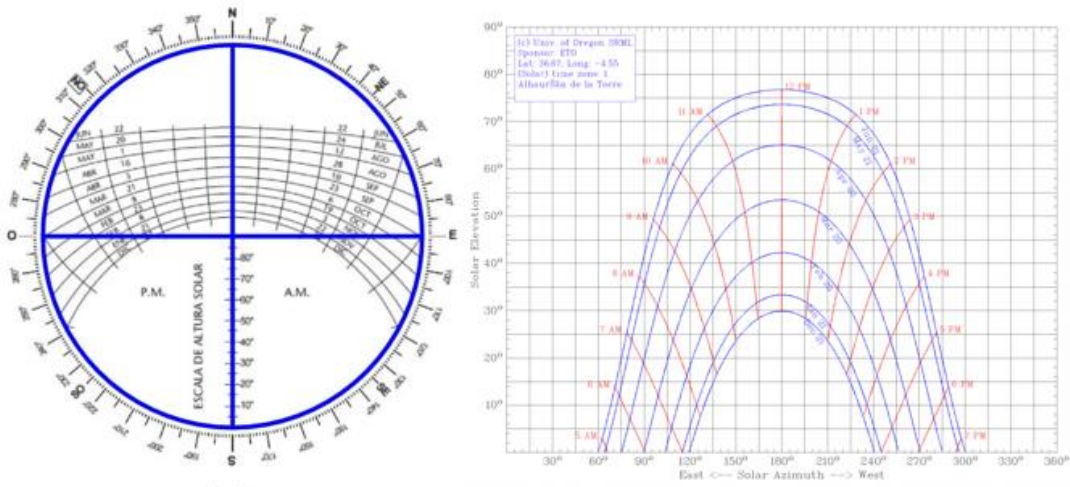


Figura N° 2.14: Cartas de radiación solar.

Fuente: https://scsarquitecto.cl/wp-content/uploads/2016/08/Ejes-principales.jpg y https://www.helioesfera.com/wp-content/uploads/2019/10/27868788-1024x752.png

Existen dos tipos de cartas solares; la primera es de Fisher o Estereográfica que es la más ocupada dada su facilidad, esta se basa en la proyección del recorrido del sol en una semiesfera, muy útil para el estudio de espacios abiertos exteriores.

La segunda, es la Carta Solar Cilíndrica, que como su nombre lo indica, basa su proyección en un cilindro cortado por la mitad. La ventaja de este último es que representa el horizonte real en torno al observador, lo que permite un estudio de fachadas directamente.

Para el diseño de los sistemas fotovoltaicos esta información puede ser de gran utilidad y sobre todo en casos que alrededor del emplazamiento de nuestra instalación existan objetos que entorpezcan la llegada de la radiación solar. Mediante esta información podemos estimar de buena manera la radiación en determinadas zonas geográficas del país. Esto se puede hacer a través de modelos matemáticos, entre los que podemos mencionar: Perrin de Brichambaut, Burridge & Gadd, Ashrae, Spokas & Forcella, etc. O a través de mediciones directas con instrumentos especializados como, por ejemplo: el piranómetro o el pirheliómetro.

2.5.4.1 El Piranómetro

El piranómetro o solarímetro, es un instrumento que permite conocer la potencia que tiene la luz solar en un punto específico, o sea mide la radiación solar global recibida desde todo el hemisferio celeste sobre una superficie horizontal terrestre. Su principio de funcionamiento es a través de termocuplas, las cuales, al calentarse por la radiación del sol, emiten una pequeña f.e.m. que es medida por otro instrumento. El valor indicado por el instrumento es proporcional a la radiación solar medida y su unidad de medida es watts por metro cuadrado [W/m2].

2.5.4.2 El Pirheliómetro

El pirheliómetro se utiliza para medir la radiación solar directa expresada en unidades de [W/m2], siendo necesario que esté constantemente orientado hacia el Sol, por lo que este debe tener un mecanismo de seguimiento de la trayectoria del Sol. Este instrumento se utiliza a menudo en la misma configuración con un piranómetro.

2.5.5 Incidencia de la radiación en la superficie terrestre

La radiación que llega a la superficie terrestre o la que reciben los paneles fotovoltaicos cuenta con tres componentes de la radiación, que son:

1. **La radiación directa (GD)**, corresponde a los rayos solares que provienen directamente del Sol. Este tipo de radiación se caracteriza por proyectar una sombra definida de los objetos opacos que la interceptan.
2. **La radiación difusa (GF),** es la parte de la radiación solar que pierde su dirección original, a consecuencia de los procesos de absorción, reflexión y refracción en la atmosfera, como por ejemplo en nubes y viene desde todas las direcciones.
3. **La radiación reflejada (GR),** es aquella reflejada por la superficie terrestre, también es conocida como albedo.

La Radiación Global (GG), corresponde simplemente a la suma de las tres radiaciones anteriores, debido a que la gran mayoría de los paneles fotovoltaicos aprovechan la radiación directa, difusa y reflejada.

Al contrario de aplicaciones que concentran los rayos solares, como, por ejemplo: las cocinas del tipo parabólicas o plantas de concentración que solo trabajan con la radiación directa (Ver la figura N° 2.15).

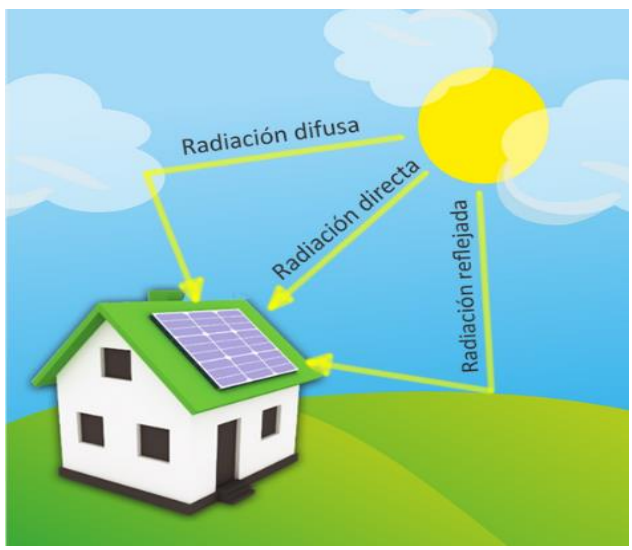


Figura N° 2.15: Radiación en la superficie terrestre.

Fuente: https://www.helioesfera.com/wp-content/uploads/2019/10/Componentes-radiaci%C3%B3n-solar.png

2.5.6 El Explorador solar

La radiación solar es una de las principales variables para el correcto diseño de un sistema fotovoltaico y de las múltiples herramientas que existen para la adquisición de estos datos de radiación podemos mencionar algunas que han sido diseñadas especialmente para Chile y que además entregan información detallada para todas sus latitudes.

Una de ellas es el Explorador Solar de la Universidad de Chile, que es una herramienta que entrega información sobre la radiación solar incidente en cualquier punto del país, con resolución espacial de 90 metros, para cada punto, se pueden obtener las series de radiación global y directa cada 30 minutos, en el período comprendido de los años 2004 al 2015. Esta es una aplicación web, accesible desde cualquier navegador y que permite conocer la variabilidad del recurso solar en el tiempo y así reducir la incertidumbre en la generación de energía a largo plazo (Ver la figura N° 2.16).

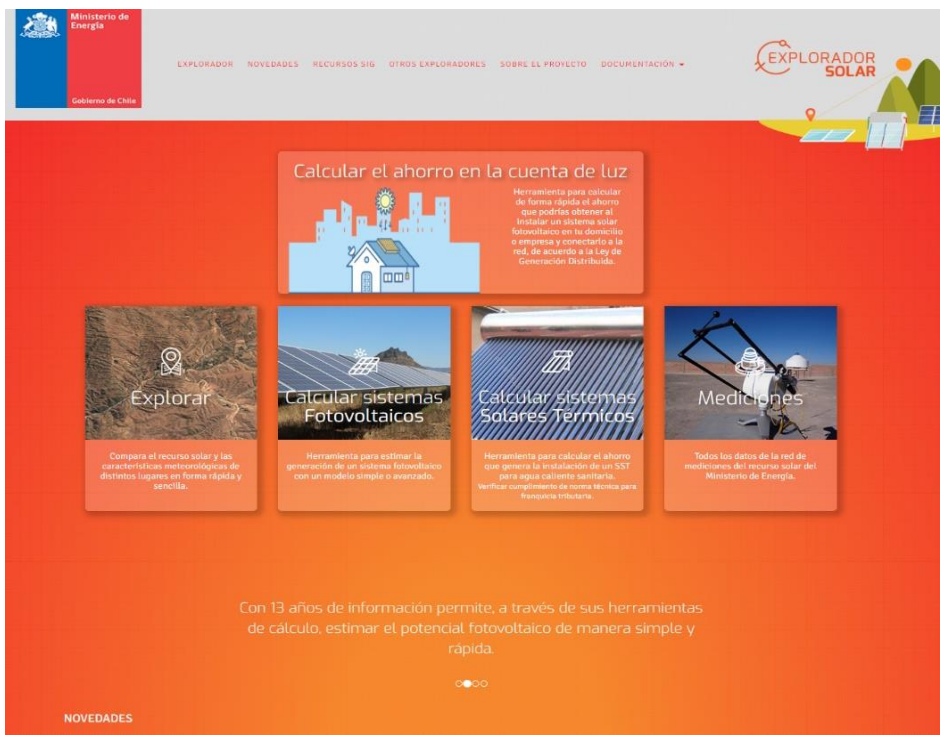


Figura N° 2.16: Explorador de energía solar

Fuente: https://www.indap.gob.cl/docs/default-source/default-document-library/ppt-3-recurso-solar.pdf?sfvrsn=0

Otra herramienta importante es el Registro Solarimetrico de la Universidad Técnica Federico Santa María. Este es un compendio de datos de radiación para diferentes ciudades de nuestro país. La principal característica de este compendio es que entrega datos para diferentes ángulos de inclinación y azimut.

El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), cuenta con más de 90 estaciones meteorológicas a lo largo de todo Chile, esta es otra herramienta que mediante una aplicación web puede consultar los datos de todas las estaciones. Entregar datos de radiación, valores de temperatura y precipitaciones acumuladas.

2.5.6.1 Formato de datos

Por lo general los sistemas mencionados (Ver la figura N° 2.17), entregan datos de radiación global horizontal (GHI), que es la radiación que llega paralela a la superficie del panel.

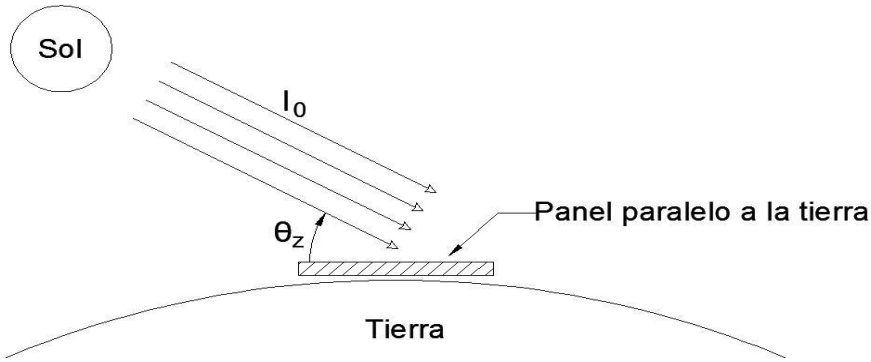


Figura N° 2.17: Radiación en la superficie paralela a la tierra.

Fuente:https://www.google.com/imgres?imgurl=x-rawimage:///0f51cd1328d26de6c5ac37a23d8c90f99188fc6aa

Al llegar la radiación de esta forma, el panel no es capaz de captar el cien por ciento de la radiación directa.

Para el desarrollo de nuestro proyecto la locación tendrá los siguientes datos de GHI (Ver la tabla N° 2.2).

- Fundo Palo Blanco ubicado en el valle de Copiapó, -27,872985 Latitud y -70,067305 Longitud.

Tabla N° 2.2: Radiación global horizontal del Fundo Palo Blanco

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
21.858	19.787	20.943	17.773	15.294	14.323	15.640	17.392	19.538	21.402	21.307	21.949

Fuente: Elaboración propia.

Mediante la ayuda de las herramientas mencionadas, podemos contar con los datos de radiación global horizontal (GHI), sin embargo, en las aplicaciones reales, estos datos no son los más eficientes debido a que el sol cambia su posición en el horizonte en latitudes distintas al ecuador (en meses), y también cambia su posición relativa en el horizonte durante el día (en horas).

En consecuencia, la intensidad de la radiación solar varía en el día y en las diferentes estaciones del año.

Para obtener un buen funcionamiento de los sistemas fotovoltaicos, es necesario la elección de un ángulo de inclinación que maximice la eficiencia de captación de energía, en función de las características de uso que se busque. Un ejemplo de esto es una casa de veraneo, que busca abastecer su demanda energética solo los meses de verano y el sistema fotovoltaico debe ser diseñado para aprovechar al máximo la energía en los meses de verano. Asimismo, hay casos en los cuales se deben considerar las condiciones climáticas del lugar de emplazamiento.

Por ejemplo, en lugares cercanos a la costa amanece generalmente nublado, despejándose en horas cercanas al medio día, en ocasiones como estas es conveniente una

orientación de los paneles en la dirección que aprovechen de mejor manera la radiación disponible.

2.5.7 Radiación en superficies inclinadas

Una superficie inclinada correctamente recibe los rayos solares de mejor forma, esto significa una mayor captación de energía solar (Ver la figura N° 2.18).

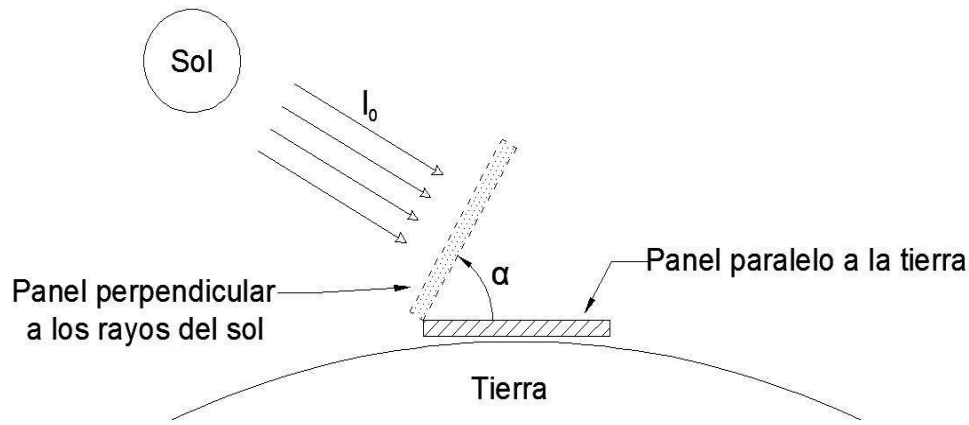


Figura N° 2.18: Radiación en superficies inclinadas.

Fuente:https://www.google.com/imgres?imgurl=xrawimage:///0f51cd1328d26de6c5ac37a23d8c90f99188fc6aaf97d2828f1c796e17c71ad1&imgrefurl=http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/3289/1/Constanzo%2520Z%25C3%25BA%25C3%25B1iga%252C%2520Rodrigo%2520Alejandro.pdf&tbnid=5m3SKBPNUQ93hM&vet=1&docid=ckgjtAb9YkU0RM&w=579&h=280&source=sh/x/im

En la instalación de los paneles solares en medio de una población o en un edificio, nos exige adaptarnos a la disposición de todos los elementos naturales o arquitectónicos presentes, debido a las sombras que se puedan provocar sobre los paneles y muchas veces debemos adaptarnos a la orientación de los tejados sobre los que se colocan los paneles. La inclinación de los paneles es uno de los parámetros más relevantes dentro del diseño de un sistema de generación fotovoltaica, ya que de ella depende la optimización del aprovechamiento de la radiación solar y consecuentemente la producción de energía.

Considerando que en las diferentes estaciones del año la posición del sol varía, la inclinación de los paneles respecto del sol tiene directa incidencia en el aprovechamiento de la radiación solar.

Esto significa que en la época de verano el ángulo de inclinación es menor, dada la ubicación más vertical que tiene el sol, situación que en invierno cambia ya que el sol está en una posición más baja respecto del horizonte y en este caso, el ángulo de inclinación es mayor.

Dado este escenario, el mayor aprovechamiento de la energía solar se logra con un ángulo de inclinación intermedio, el cual, para el caso del hemisferio sur se considera aceptable como criterio de inclinación, la latitud del lugar (-27° en el Valle de Copiapó), lo que permite aprovechar de la manera más uniforme posible el sistema fotovoltaico durante todo el año, en este caso debido al uso del Explorador Solar será: el ángulo de -27,872985 que corresponde a la latitud exacta del Fundo Palo Banco. Para el caso del hemisferio sur, el Angulo que optimiza el rendimiento del sistema fotovoltaico es de 0°, es decir, orientado al Norte (Azimut). (Ver las figuras N° 2.19 y 2.20).

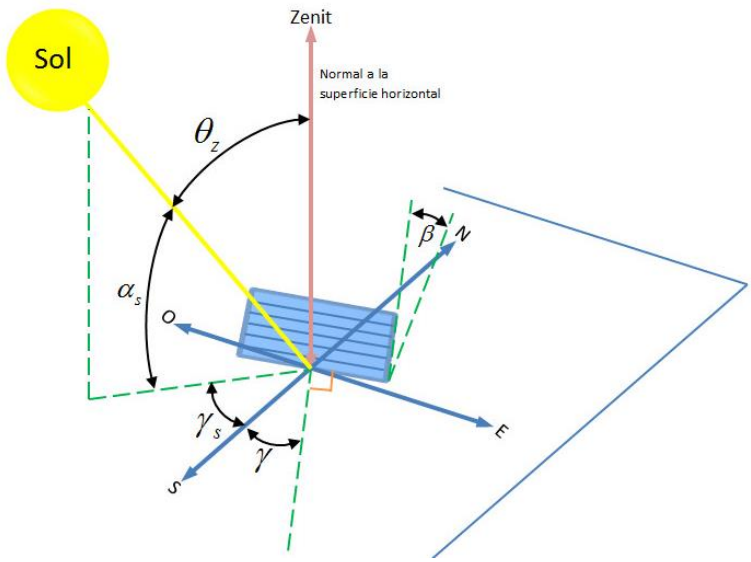


Figura N° 2.19: Radiación en figuras no orientadas directamente al norte.

Fuente: https://www.scipedia.com/wd/images/6/6b/Fig1-Sol.jpg

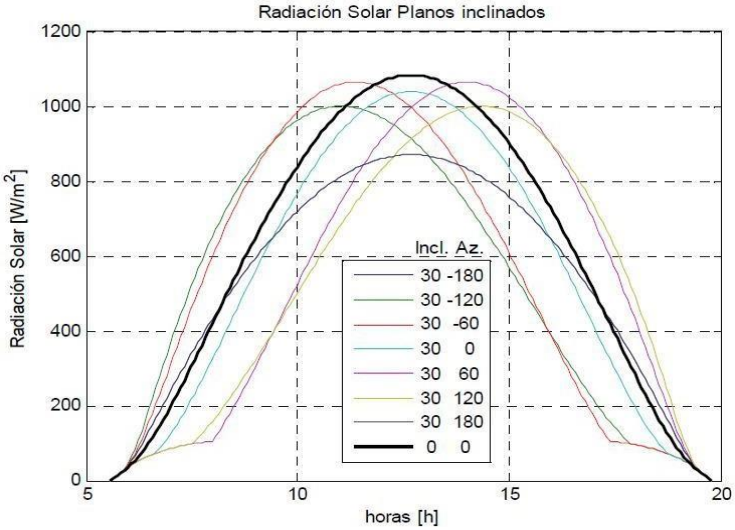


Figura N° 2.20: Radiación solar planos inclinados.

Fuente:https://www.labri.fr/perso/billaud/travaux/Helios/Helios2/resources/es02/chapter__2_ES.pdf

2.5.8 Condiciones climáticas

En un día despejado con cielo limpio, la radiación directa es preponderante sobre la radiación difusa. Por el contrario, en un día nublado casi no existe radiación directa y casi la totalidad de la radiación que incide es difusa. (Ver la figura N° 2.21).

La radiación solar varía mucho más por factores atmosféricos que por factores geográficos.

Para el tema de dimensionamiento, principalmente de sistemas aislados, se debe considerar la interacción del clima con el sistema fotovoltaico, ya que se podría dar el caso, en que una sucesión de días nublados se traduzca en poca energía acumulada.

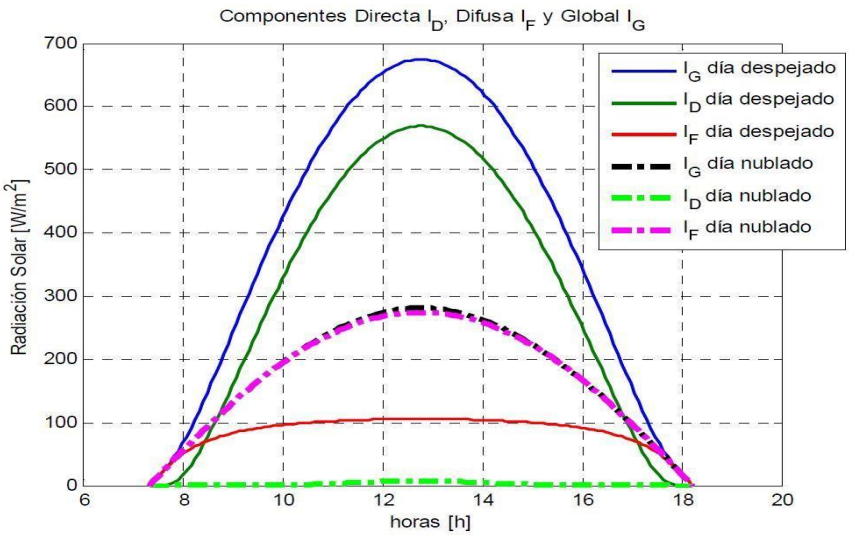


Figura N° 2.21: Componentes de Radiación Solar, cielo despejado y cubierto (agosto).

Fuente:file://D:/Descargas/DialnetCalculoEspectralDeLaIrradiacionSolarDirectaDifusaY-5381384.pdf

2.5.9 Aplicaciones y ventajas de la energía solar

Aunque la red convencional de suministro eléctrico se encuentra muy extendida, en muchos casos los generadores fotovoltaicos pueden competir con ella con gran margen de ganancia y distintos tipos de aplicaciones.

2.5.9.1 Aplicaciones

Generalmente es utilizada en zonas lejanas de la red de distribución eléctrica o de difícil acceso, permitiendo un trabajo de forma independiente o puede ser combinada con sistemas de generación eléctrica convencional para cubrir la demanda requerida. Sus principales aplicaciones son:

- Electrificación de Sistemas de bombas de agua, Repetidores de TV y Telefonía.
- Electrificación de edificaciones aisladas: alumbrado, pequeños electrodomésticos y consumos no destinados a calentamientos.

- Alumbrado público aislado como: aparcamientos y áreas de descanso.
- Balizado y señalización como: los marítimos, viales y antenas.
- Conexión a la red eléctrica de pequeñas centrales eléctricas que permiten disminuir las pérdidas en la red, debido a que el valor del consumo se acerca al valor de la generación. Actualmente esta solución es la que está generando el mayor desarrollo de este tipo de energía, debido a que se vende esta energía a la red a un precio conveniente.

2.5.9.2 Ventajas

- No producen polución, ni contaminación ambiental.
- Es silenciosa.
- Tiene una vida útil superior a 20 años.
- Resistente a condiciones climáticas extremas como granizos y viento.
- No requiere mantenimiento complejo, sólo limpieza del módulo solar y revisión del estado de las baterías.
- Se puede aumentar la potencia instalada y la autonomía de la instalación, incorporando nuevos módulos y baterías respectivamente.
- No consume combustibles fósiles.

CAPÍTULO III
SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

3.1 Tipos de sistemas fotovoltaicos

Según su complejidad y requisitos de funcionamiento los sistemas fotovoltaicos se dividen en:

- Sistemas directos.
- Sistemas aislados (Off- Grid).
- Sistemas interconectados (On-Grid).
- Sistemas híbridos.

3.1.1 Sistemas Directos

Las características principales de un sistema directo son los siguientes:

- Sistemas más sencillos.
- La potencia varía acorde a la luz solar, por lo que depende completamente de ella.
- No almacenan energía.
- Suelen usarse en sistemas de bombeo, ventilación y en aparatos que requieren poco voltaje.

En la figura N° 3.1, se puede observar la aplicación aislada de un sistema de bombeo de agua, el cual no requiere el uso de acumuladores, por lo tanto, funciona de manera continua siempre que haya sol.

Figura N° 3.1: Sistema directo.

Fuente:https://d3ugyf2ht6aenh.cloudfront.net/stores/005/906/products/81-3478b18a062723f3bc15208806977037-640-0.jpg

3.1.2 Sistemas aislados

La característica principal de los sistemas aislados es su necesidad de contar con un sistema de almacenamiento de energía, y tienen como objeto satisfacer total o parcialmente la demanda de energía eléctrica de aquellos lugares donde no existe red eléctrica de distribución o ésta es de difícil acceso.

Debido a que sólo pueden proporcionar energía durante el día y la demanda se produce a lo largo del día y de la noche.

Esto implica que el sistema fotovoltaico ha de estar dimensionado de forma que permita, durante las horas de insolación la alimentación de la carga y la recarga de las baterías de acumulación (Ver la figura N° 3.2).

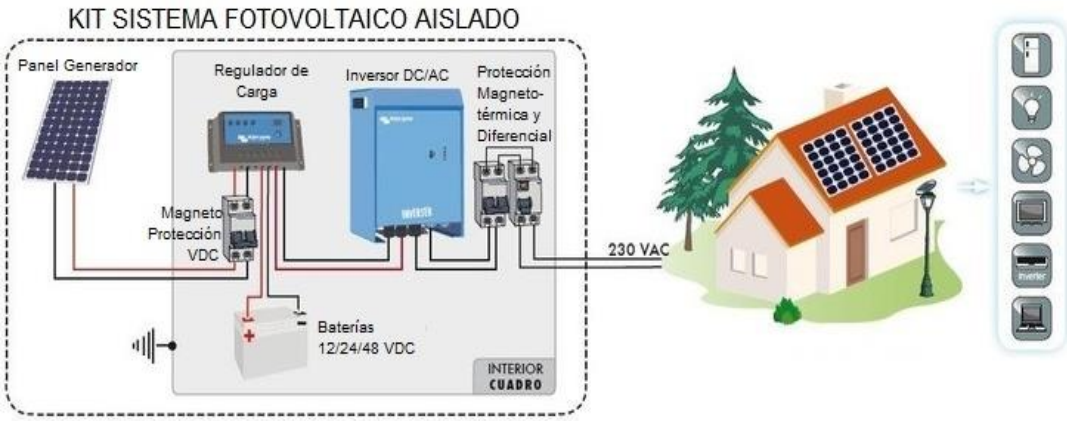


Figura N° 3.2: Sistema aislado.

Fuente: https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/objetos/figutut192/fig5tut192.jpg

3.1.3 Sistemas interconectados

Los sistemas conectados a red no tienen sistemas de acumulación, ya que la energía producida durante las horas de insolación es canalizada a la red eléctrica (ver la figura N° 3.3). Estas instalaciones cuentan con un medidor bidireccional de energía eléctrica que son sistemas de seguimiento del estado de la tensión de la red de distribución, de manera que se garantice el correcto funcionamiento de estas en lo referente a la forma de entregar la energía, evitando situaciones peligrosas. Por otra parte, se eliminan las baterías que son la parte más cara y compleja de una instalación.

3.1.3.1 Características de su funcionamiento

Las principales características son:

- Son instalaciones pensadas para el autoconsumo.
- La energía eléctrica producida la consume el propio productor y el excedente se entrega a la red.
- El generador fotovoltaico inyecta directamente a la red de la casa.

Figura N° 3.3: Sistema fotovoltaico interconectado.

Fuente: https://image.slidesharecdn.com/sistemasolar-fotovoltaicosinyectadosalared-santiagojosrodriguez-hybryte-121130201229-phpapp01/85/sistema-solar-fotovoltaicos-inyectados-a-la-red-santiago-jos-rodriguezhybryte-34-638.jpg?cb=1354306493

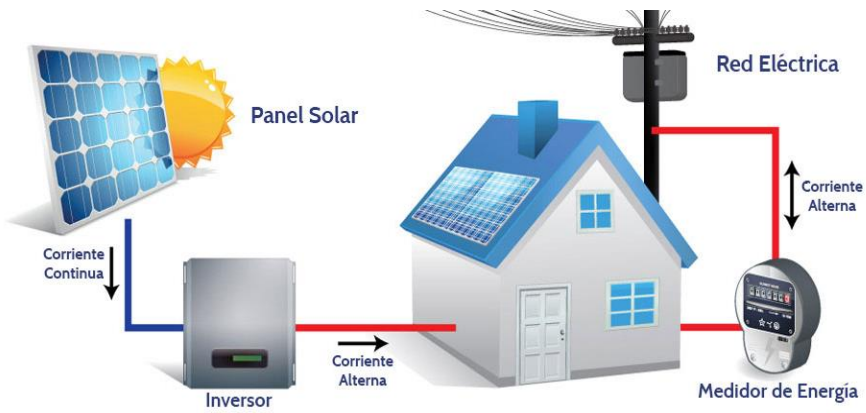


Figura N° 3.4: Sistema On-Grid.

Fuente: https://ipgquality.com/wp-content/uploads/2019/04/sistema-on-grid.jpg

3.1.4 Sistema híbrido

Estos sistemas son más complejos y caros, debido a que cuentan con baterías para almacenar energía y están interconectados a la red eléctrica. No son recomendables para instalaciones residenciales por los altos costos.

Los sistemas híbridos son los que cuentan con un sistema fotovoltaico aislado que es complementado con otro sistema, para garantizar la disponibilidad de electricidad debido a que éste no pueda mantener la demanda y esta no pueda ser interrumpida.

En la figura N° 3.5 se muestra un sistema híbrido con un generador diésel, donde se combina la energía solar fotovoltaica con la red y el generador.

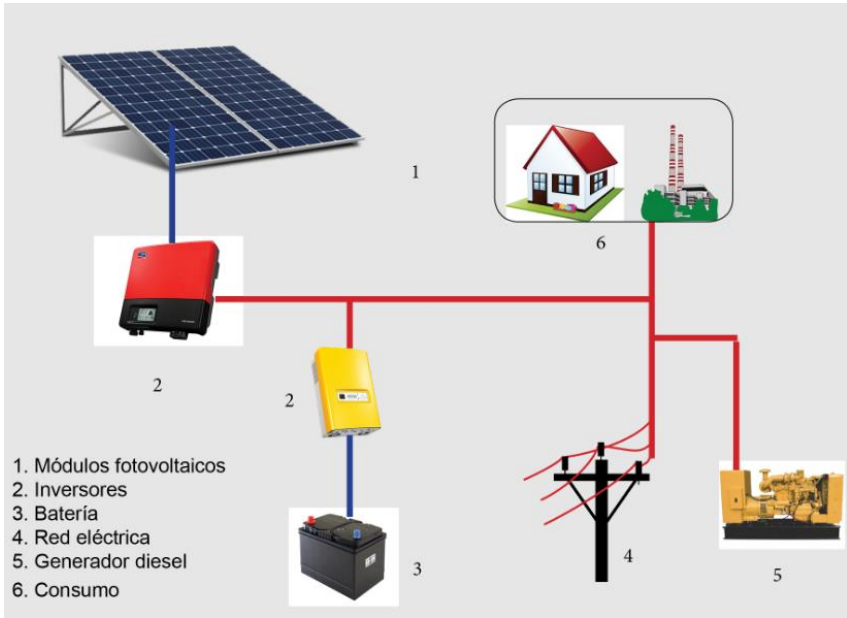


Figura N° 3.5: Sistema hibrido.

Fuente: http://www.sitecnosolar.com/wp-content/archivos/2014/12/CATALOGUE-SPANISH4.png

Estas combinaciones se usan para aprovechar el recurso energético localizado cerca de la instalación y para tener mayor fiabilidad en el suministro de energía. Normalmente la generación fotovoltaica es compatible con cualquier otra generación eléctrica.

La configuración de los sistemas híbridos puede ser variable, y depende del tipo de equipos que se empleen para adaptar la potencia necesaria.

3.2 Configuraciones eléctricas

Entre las instalaciones fotovoltaicas existen elementos que demandan configuraciones específicas de voltaje y corriente. Es por esto por lo que es necesario entender el concepto de las conexiones serie y paralelo.

3.2.1 Conexión serie

La agrupación de los paneles fotovoltaicos en forma de serie tiene como objetivo el sumar sus voltajes y la potencia de estos (ver la Figura N° 3.6), básicamente consiste en unir el positivo de un panel con el negativo de otro. Otra característica de este tipo de configuración es que, independiente de la cantidad de paneles conectados en serie, la corriente siempre será la misma y se mantendrá constante.

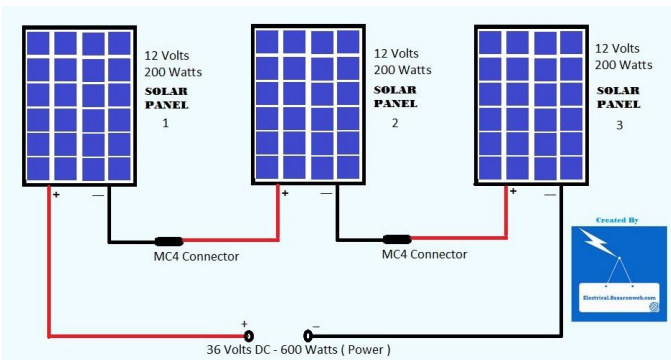


Figura N° 3.6: Paneles fotovoltaicos en conexión serie.

Fuente: https://energiasolarfotovoltaica.org/wp-content/uploads/2019/02/BN-1.jpg

3.2.2 Conexión paralelo

Agrupando los paneles fotovoltaicos en paralelo, se busca aumentar los niveles de corriente y potencia, manteniendo un voltaje constante (ver la Figura N° 3.7). Básicamente consiste en unir el positivo de un panel con el positivo de otro y se hace lo mismo con los negativos.

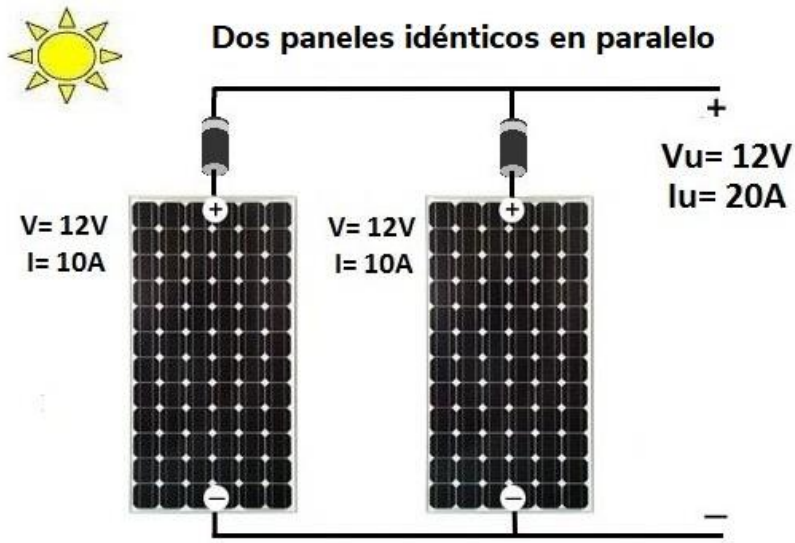


Figura N° 3.7: Paneles fotovoltaicos en conexión paralelo.

Fuente:https://www.mpptsolar.com/es/imagenes/guias/conexion-paneles-solares/dos-paneles-solares-en-paralelo.jpg

3.2.3 Conexión mixta

En la configuración mixta o serie y paralelo, se utilizan los mismos principios mencionados anteriormente, esta permite obtener un voltaje no demasiado alto y a su vez, multiplicar el amperaje total de la instalación. De esta forma, gracias a esta conexión se aumenta tanto el voltaje como la intensidad, la cual posteriormente mediante un regulador se adaptará a las características de las baterías (Ver la Figura N° 3.8).

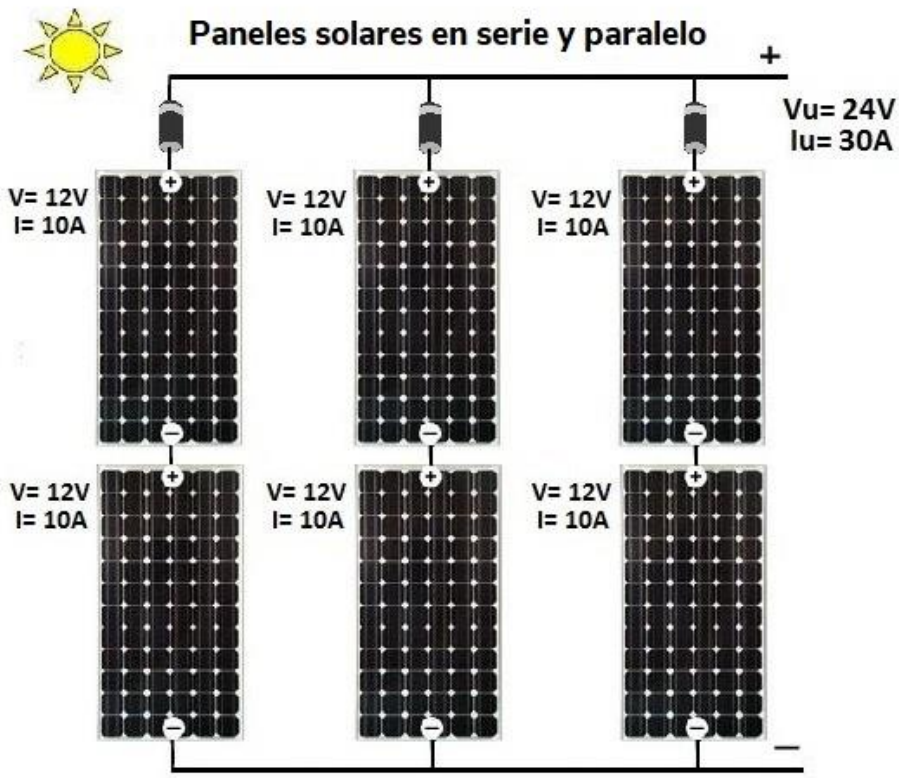


Figura N° 3.8: Paneles fotovoltaicos en conexión mixta.

Fuente:https://www.mpptsolar.com/es/imagenes/guias/conexion-panelessolares /paneles-solares-en-serie-paralelo.jpg

3.3 Tipos de paneles solares

Actualmente encontramos paneles fabricados con diferentes tecnologías para aumentar su eficiencia y reducir sus costos, sin embargo, el silicio sigue siendo el elemento fotosensible predominante en los paneles, por su capacidad de producir mayor electricidad.

Los paneles monocristalinos se fabrican a partir del silicio puro fundido y dopado con boro. Los policristalinos se fabrican de la misma forma, pero disminuyendo el número de fases de cristalización. Y los paneles de capa fina o amorfo, se producen de forma

diferente, depositando en forma de lámina delgada sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Los tipos de paneles más comunes en el mercado son tres: los monocristalinos, los policristalinos y los amorfos (Ver la Figura N° 3.9).

Figura N° 3.9: Tipos de paneles fotovoltaicos.

Fuente:https://tritec-intervento.cl/wp-content/uploads/2020/04/tipos-de-paneles-solares-686x414.jpg

3.3.1 Atributos principales

Entre los atributos principales encontramos:

- Generan corriente continua cuando están expuestos a la luz.
- No se pueden encender o apagar.
- No tienen piezas móviles.
- No generan emisiones o ruidos.
- Solo funcionan de día.
- Proporcionan resistencia mecánica.

- Cuentan con protección contra los agentes externos sobre las celdas fotovoltaicas.
- Aíslan eléctricamente las celdas fotovoltaicas.

3.3.2 Celdas fotovoltaicas

Para hacer las capas de las células fotovoltaicas se utilizan diferentes materiales y cada uno de ellos tiene sus ventajas y sus desventajas (Ver la Tabla N° 3.1).

Tabla N° 3.1: Tipos de células fotovoltaicas.

Tipo	Células de Silicio
Monocristalino	• Presenta una estructura completamente ordenada. • Su comportamiento uniforme lo hace buen conductor. • Es de difícil fabricación. • Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro. • Se reconoce por su monocromía azulada oscura y metálica. • Su rendimiento oscila entre 14 – 18 %.
Policristalino	• Presenta una estructura ordenada por regiones separadas. • Los enlaces irregulares de las fronteras cristalinas disminuyen el rendimiento de la célula. • Se obtiene de igual forma que la de silicio mono-cristalino, pero con menos fases de cristalización. • Su superficie está estructurada en cristales con distintos tonos de azules y grises metálicos. • Su rendimiento oscila entre 13 – 17 %.

Amorfo	• Presenta un alto grado de desorden. • Contiene un gran número de defectos estructurales y de enlaces. • Su proceso de fabricación es más simple que en los anteriores y menos costoso. • Se deposita en forma de lámina delgada sobre vidrio o plástico. • Son eficientes bajo iluminación artificial. • Tiene un color marrón homogéneo. • Su rendimiento es menor del 10 %.
	Otros tipos de células
Célula de película delgada	• Una de las células más desarrolladas de este tipo es la de sulfuro de cadmio (Cd S) y sulfuro cuproso (Cu2 S). • Están formadas por la unión de dos materiales. • Se necesita poco material activo. • Su proceso de fabricación es sencillo. • Los materiales utilizados están poco estudiados. • La tecnología para su obtención está poco desarrollada. • Tiene un rendimiento del 5 % aproximadamente.
Célula de Arseniuro de Galio (Ga As)	• Tiene buenos rendimientos con pequeños espesores. • Mantiene sus características a elevadas temperaturas. • Presenta tolerancia a radiaciones ionizantes. • Elevado coste de producción. • Material raro y poco abundante. • Tiene un rendimiento del 27 %.

Fuente: Elaboracion propia.

3.4 Como elegir un panel fotovoltaico

Actualmente, los paneles son los equipos más robustos dentro de una instalación fotovoltaica. La elección de estos ya no depende de las marcas o de los países de procedencia. La recomendación es elegir el módulo fotovoltaico por:

- Precio.
- Características constructivas.
- Años de garantía.
- Certificación Nacional SEC.

3.5 Bancabilidad

Actualmente, el mercado mundial de los paneles se maneja por las denominadas **"Marcas Bancables".** La bancabilidad es la capacidad que tiene un proyecto para ser financiable, siendo analizado antes de entregarles su confianza a los inversionistas y por ende el capital necesario para poner en marcha el proyecto.

Además, guarda relación con la garantía que los fabricantes puedan entregar y con los bancos que los financian. Principalmente lo que analizan es:

- Que la marca desarrolle productos de alta calidad.
- La estabilidad financiera de la marca.
- Factores de responsabilidad empresarial (Imagen).
- Capacidad de las fábricas de producción (economía de escala).
- Cantidad de proyectos realizados.

Por lo general, el fabricante entrega una garantía de 25 años, pero el comprador lo único que le puede dar certeza de que el fabricante siga existiendo dentro de los próximos 25 años, es que sea una marca "Bancable".

El gran abanico de avances tecnológicos a nivel de módulos, relacionado a la bajada de precio de estos y los altos volúmenes de inversión de muchas promociones, hace que las entidades financieras eleven de forma significativa sus exigencias de bancabilidad. Existen cinco aspectos que contribuyen en mayor o menor medida al aseguramiento de la bancabilidad: Tier 1 de Bloomberg, calificación Altman-Z de Bloomberg, la auditoría de fábrica, la supervisión de la producción y las pruebas en laboratorio independiente y acreditado según la ISO 17025 (Ver la Tabla N° 3.2)

3.6 Ranking de marcas

Tabla N° 3.2: Top 10 fabricante de paneles solares 2020.

Ranking	Fabricantes
1	Jinko Solar
2	Trina Solar
3	Canadian Solar
4	JA Solar
5	Hanwha Q-CELLS
6	GCL-SI
7	LONGI Solar
8	Risen Energie
9	Shunfeng (incl. Suntech)
10	Yingli Green

Fuente: https://pannellisolarifv.com/wp-content/uploads/2017/08/a.png

3.7 Calculo de energía generada por los paneles solares

Para este ejemplo de cálculos de estimación de energía, se empleará un panel de marca Csun Solar Tech 340-72P de 340 Watts como se muestra en la Figura N° 3.10. Estos datos

generalmente los entrega el fabricante y nos indican las características y funcionamientos del producto.

Electrical Characteristics at Standard Test Conditions (STC)

Module Type	CSUN 340-72P
Maximum Power - Pmpp (W)	340
Positive Power Tolerance	0~3%
Open Circuit Voltage - Voc (V)	46.6
Short Circuit Current - Isc (A)	9.41
Maximum Power Voltage - Vmpp (V)	38.1
Maximum Power Current - Impp (A)	8.93
Module Efficiency	17.55%

Electrical data relates to standard test conditions (STC) : irradiance 1000W /m² ; AM 1.5 ; cell temperature 25°C measuring uncertainty of power is within ±3%. Certified in accordance with IEC61215, IEC61730-1/2 and UL 1703

Mechanical Characteristics

Dimensions	1956 x 992 x 40 mm
Weight	22.3 kg
Frame	Anodized aluminum profile
Front glass	Toughened low iron glass, 3.2 mm
Cell Encapsulation	EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)
Back Sheet	Composite film
Cells	6x12 polycrstalline solar cells (4BB or 5BB 156.75 x 156.75 mm)
Junction Box	Rated current ≥13 A, IP ≥67, TUV & UL
Cable	Length 900 mm, 1 x 4 mm²
Connector	Compatiable with MC4

Figura N° 3.10: Características eléctricas y mecánicas del panel solar Csun Solar Tech 340-72P.

Fuente:https://puntosolar.cl/wpcontent/uploads/2019/04/PanelSolarFotovoltaicoCSUN340-72P-Solar-Module-Punto-Solar.pdf

La forma rápida de estimar la energía producida por un panel es:

$$\text{Energía} = \text{Eficiencia} \times \text{Superficie} \times \text{Radiación} \quad \textbf{(Ec. N° 3.1)}$$

La superficie del panel la obtenemos de las características mecánicas del fabricante.

$$\text{Superficie} = \text{Largo x Ancho.}$$

$$\text{Superficie} = 1{,}956 \text{ x } 0{,}992$$

$$\text{Superficie} = 1{,}940\ (\text{m}^2) \quad \textbf{(Ec. N° 3.2)}$$

La eficiencia del panel está dada en los parámetros eléctricos (en este caso es de 17,55%) y se hará uso de los datos de radiación que vimos en el primer capítulo (Tabla N° 2.2).

Con esos datos se podrá obtener la producción de energía promedio diario generado por un panel fotovoltaico [kWh]. Adicionalmente se deberá tener presente los horarios de generación de electricidad, que se encuentran acotados desde las 06:00 hasta las 20:00 horas aproximadamente.

CAPÍTULO IV
LEYES REGULADORAS DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA

4.1 Ley de generación distribuida Ley 20.571 modificada por la Ley 21.118 del 17 de noviembre de 2018

La Ley 20.571 de Generación Distribuida o Net Billing fue publicada en el Diario Oficial el 22 de marzo de 2012, su reglamento Decreto N° 71 fue publicado 06 de septiembre de 2014 y cuya vigencia de acuerdo con el artículo primero (transitorio) comienza una vez transcurridos 30 días hábiles desde su publicación. Por lo que, el Decreto entra en vigor el día 21 de octubre de 2014, fecha en que Chile ingresa al mecanismo de Generación Eléctrica Distribuida denominado también Net Billing.

La Ley General de Servicios Eléctricos, fue modificada con el fin de incentivar el desarrollo de las generadoras residenciales. Esta normativa brinda el derecho a los clientes de las empresas distribuidoras a producir su propia energía con el objetivo de impulsar la utilización de Energías Renovables No Convencionales (ERNC). En el año 2018 se hicieron modificaciones a esta ley, la cual fue reemplazada por la **Ley 21.118** que entra en vigor el 17 de noviembre de 2018, la cual entrega mayores garantías a los consumidores.

4.2 Objetivos

- Conocer la Ley 20.571 con su correspondiente modificación Ley 21.118.
- Conocer el procedimiento para conectar Sistemas Fotovoltaicos.
- Dar a conocer los riesgos asociados a las instalaciones fotovoltaicas.
- Dar a conocer el Proceso de Inscripción de los sistemas fotovoltaicos, mediante los formularios respectivos de la SEC.

La figura N° 4.1 explica de manera sencilla las leyes 20.571 y 21.118 respectivamente:

Figura N° 4.1: Ley 20.571 con su Modificación Ley 21.118.

Fuente: https://autoconsumo.minenergia.cl/wp-content/uploads/2019/07/Captura.png

La Ley 20.571 da derecho a **los clientes regulados** (que corresponden a pequeños y medianos consumidores), a generar su propia energía eléctrica, en base a energías renovables no convencionales o de cogeneración eficiente, auto consumirla y vender sus excedentes de energía a las empresas distribuidoras (hogares, clientes comerciales o industrias pequeñas, colegios. Etc.). Que cuenten con una capacidad conectada inferior a 500 kW y a aquellos con capacidad conectada entre los 500 y 5.000 kW que hayan optado por sujetarse al régimen de los clientes regulados y donde el sistema de generación con energías renovables tenga una potencia instalada menor a 100 kW nominal. Si la energía generada por el proyecto supera en algunos meses a la energía consumida por el cliente, la distribuidora estaba obligada a pagar ese diferencial al mismo precio que se comercializaba el **Cargo por Energía** de la empresa distribuidora.

La Modificación Ley 21.118 amplia los proyectos hasta los 300 kW nominales, (la potencia nominal se encuentra en los inversores), además la modificación hace aplicable sus disposiciones a todos los sistemas eléctricos del país y entrega las siguientes facilidades para los clientes:

- Traspasa el saldo de excedentes favorables a otra dirección (donde la boleta eléctrica esté con el mismo Rut para ambos lugares) y que esté en el área de concesión de la misma distribuidora eléctrica.
- El descuento de los excedentes a la boleta ahora es para todos los cargos de la distribuidora y no solamente a la energía consumida.
- Hace posible la existencia de sistemas de generación eléctrica para autoconsumo en comunidades o en propiedades conjuntas (edificios, condominios, comunidades en zonas rurales).

Para optar al pago de los excedentes de energía de un proyecto, se debe demostrar que este es netamente para autoconsumo (a través del perfil de consumo de la instalación). Esto limita los proyectos que buscan vender energía de excedentes durante la mayor parte del año, (es decir, hacer proyectos que superan su generación para el consumo de la misma

instalación) y beneficia a los consumidores que elijan este tipo de tecnologías para su autoconsumo.

En caso de que el cliente no cumpla con estas restricciones y no traspase sus excedentes de energía a otra instalación, la distribuidora después de 5 años de no poder descontar estos excedentes de la boleta los convertirá en un ahorro para todos los usuarios de la misma comuna.

La Ley 21.118 al igual que su antecesora la Ley 20.571, norman el uso del equipamiento autorizado para los sistemas fotovoltaicos a través de la **Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).**

En los siguientes links encontramos el detalle de los equipos autorizados en la página del SEC (https://www.sec.cl/energias-renovables-y-electromovilidad/ - **Generación Distribuida para Autoconsumo**, al lado izquierdo de la página encontraremos: la información concerniente a los propietarios y la información concerniente a las instaladoras (links de acceso a información) donde se podrá encontrar **los productos autorizados por la SEC**, los que además deben cumplir con otros requerimientos adicionales que exige la Norma Técnica e Instructivos TE4.

Es importante señalar que las empresas distribuidoras no podrán rechazar las solicitudes de conexión, ni imponer condiciones o requisitos no contemplados en la ley o en el reglamento. Sin embargo, se les permite solicitar correcciones o hacer notar que el sistema no cumple con los requisitos solicitados.

Para realizar los trámites de conexión, se debe contar con alguna Empresa o Profesional autorizado por la SEC, quien deberá ayudarnos con la instalación y el proceso de inscripción de nuestro proyecto (Ver la Figura N° 4.2). Diagrama de procedimiento de conexión:

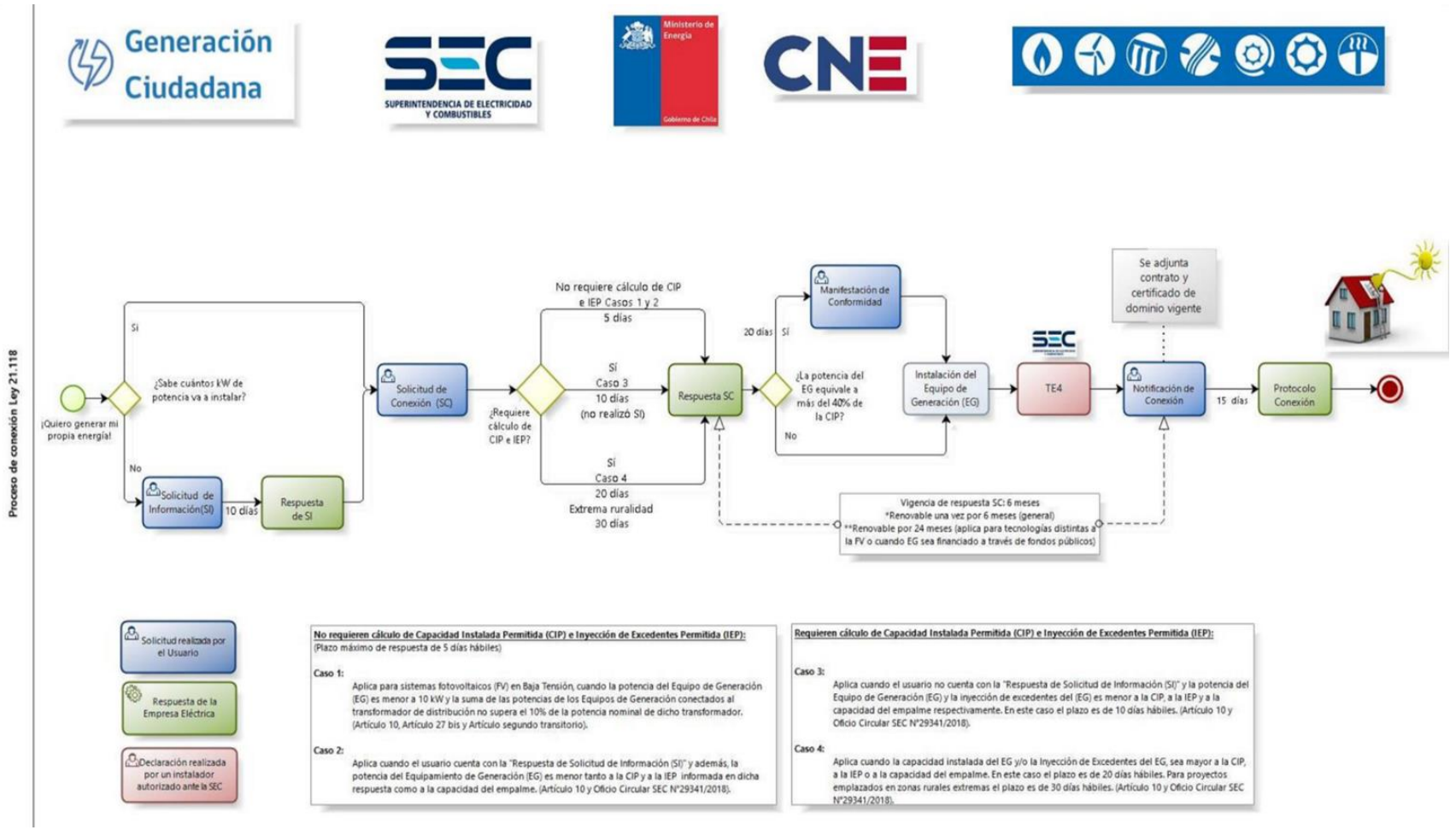


Figura N° 4.2: Proceso de conexión Ley N° 21.118.

Fuente: https://www.sec.cl/sitio-web/wp-content/uploads/2020/11/Proceso_Ley21118-2018.jpg.png

Las tarifas asociadas a la tramitación de los proyectos bajo la Ley 20.571 y su correspondiente modificación Ley 21.118 están disponibles en el "Portal de Generación Ciudadana" de la SEC, que mediante las empresas concesionarias de distribución instruyen el pago por la conexión y por el nuevo medidor Bidireccional (registra los consumos e inyecciones de energía). Estos valores pueden variar dependiendo de la región del país.

La SEC, tiene como objeto el uso de los recursos energéticos que no constituyan peligro para las personas y cosas.

Por lo tanto, resguarda el derecho de todos los actores, acentuándose en la protección de los derechos de los usuarios, contribuye con el desarrollo del sector desde la seguridad, calidad de los energéticos y fundamentalmente resuelve los reclamos y controversias entre usuarios finales, distribuidoras e instaladores (controversias en la tramitación, observaciones al momento de conectar o modificaciones no aceptadas).

Para realizar un proyecto eléctrico fotovoltaico, es necesario que al menos cuente con las condiciones mínimas de seguridad establecidas por las normativas vigentes debido a los riesgos asociados (Ver las figuras N° 4.3 y 4.4):

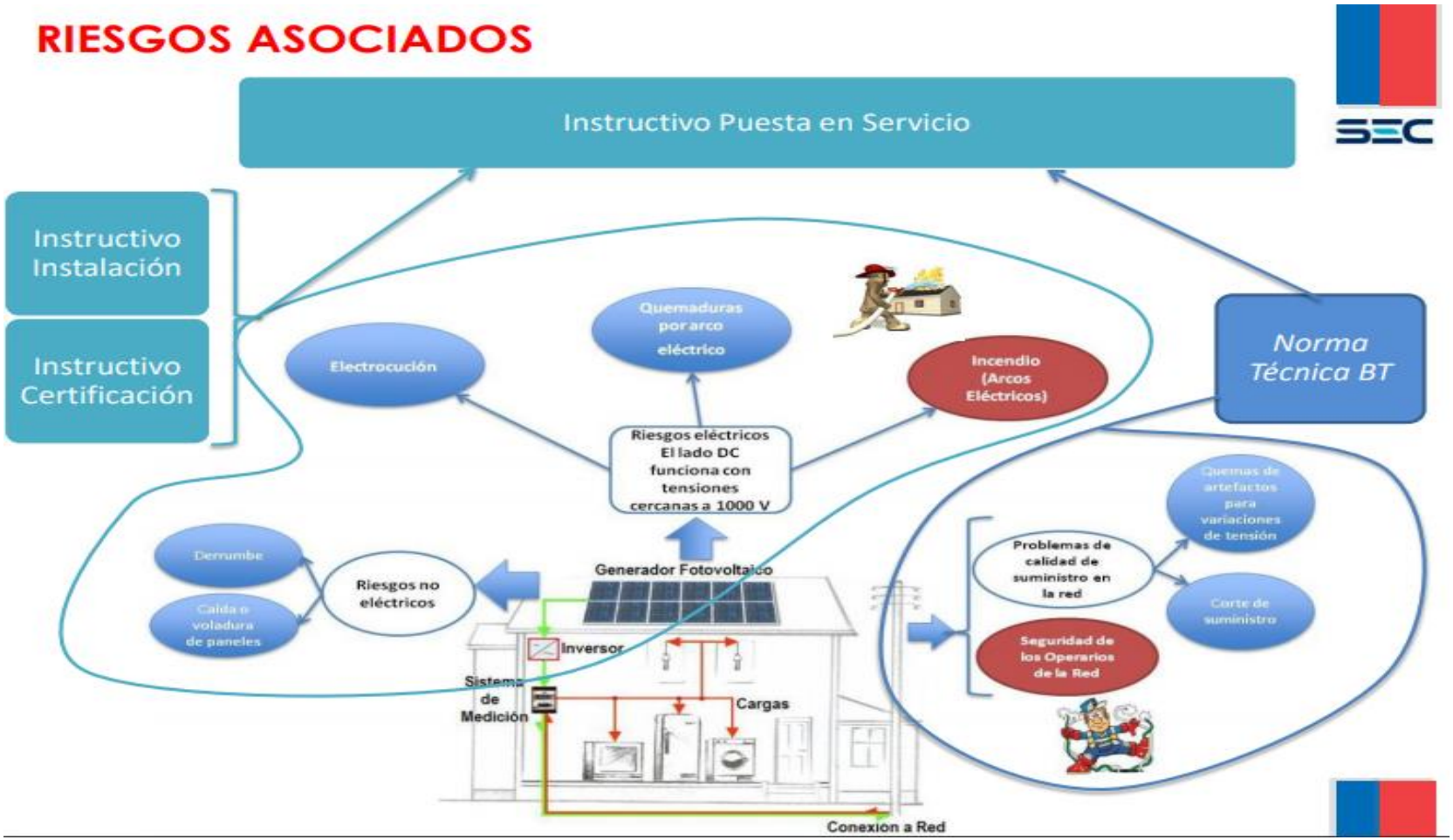


Figura N° 4.3: Riesgos asociados a una instalación fotovoltaica.

Fuente: https://www.electricistasdechile.cl/download/cursos/Colegio-de-Instaladores-v1.pdf

Figura N° 4.4: Daños asociados a una instalación fotovoltaica.

Fuente:https://www.solarweb.net/forosolar/fotovoltaica-sistemas-conectados-red/45318-peligros-vivir-bajo-placas-solares.html

En la figura N° 4.5 se observa la normativa vigente y necesaria para el Diseño de un Proyecto Eléctrico Fotovoltaico:

4.3 Marco legal regulatorio

Ley N°20.571	Ley de Generación Distribuida o Net Billing
Ley N°21.118	Modifica La Ley General de Servicios Eléctricos e Incentiva la Generación de Generadoras Residenciales

Figura N° 4.5: Marco Legal Regulatorio.

Fuente: https://www.sec.cl/gda/marco-regulatorio/

Los instructivos y la norma técnica son disposiciones aplicables al diseño, ejecución, inspección y mantenimiento de las instalaciones eléctricas fotovoltaicas conectadas a la red de distribución, cuya potencia máxima no sobrepase lo estipulado en la Ley N° 21.118.

4.4 Procedimiento para declarar un proyecto de ERNC (Energía Renovable No Convencionales)

Las instalaciones de generación eléctrica de Energías Renovables No Convencionales, por norma deben ser declaradas ante la SEC. Estas declaraciones son de dos tipos, las cuales se observan en la Figura N° 4.6, la primera corresponde a las instalaciones conectadas a la red de una concesionaria, este trámite es el "TE4" que es una Declaración de Puesta en Servicio de Generadoras Residenciales, la segunda es el "TE1" que es una Declaración de Instalación Eléctrica Interior, esta muestra dos casos diferentes: Los conectados a la red (On Grid), pero sin inyección a la red y los aislados de la red, lo importante es identificar el giro específico de los "TE-1" o indicar claramente a cuál de los dos casos pertenece. Es importante mencionar que estas declaraciones son realizadas a través de un Instalador Autorizado por la SEC.

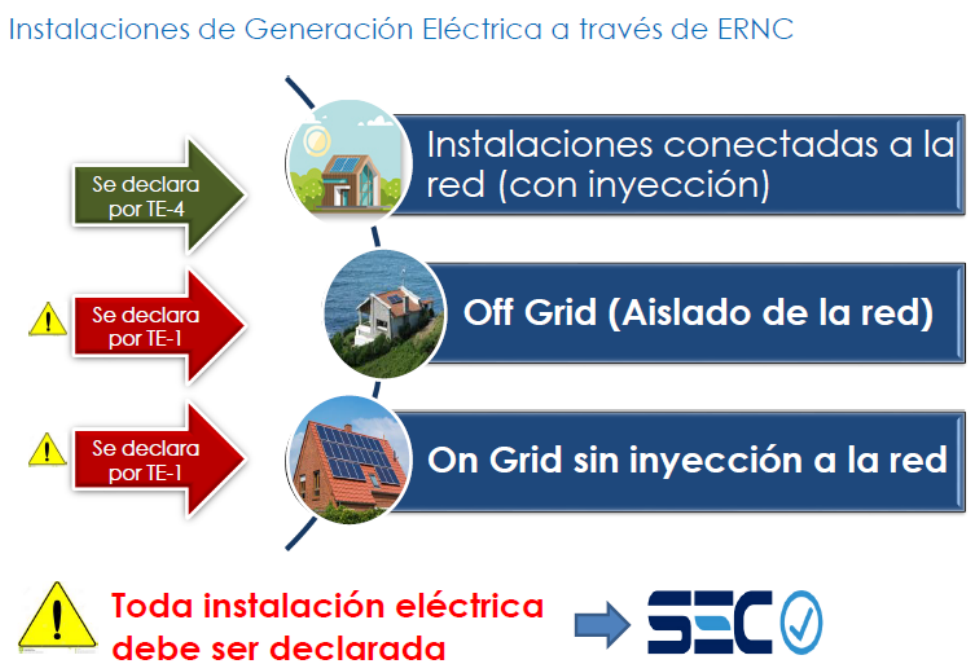


Figura N° 4.6: Tipos de Declaraciones Eléctricas para un ERNC.

Furente: https://www.sec.cl/sitio-web/wp-content/uploads/2019/07/420NE1.pdf

4.5 Proceso de inscripción de un sistema fotovoltaico

El proceso de inscripción se ha actualizado a partir del 06 de noviembre de 2020, en virtud a la Modificación Ley 21.118 y desde esa fecha podemos encontrar en la página del SEC, todos los Formularios y Anexos concernientes a los pasos para inscripción del sistema fotovoltaico https://www.sec.cl/formularios/#1562501598147-f0ad17b6-461d, el cual se inicia con la presentación de los diferentes formularios.

Para comenzar este proceso, el propietario del inmueble deberá entregar un **Poder Simple** a un tercero que vendría a ser el Instalador Autorizado por la Sec, para que en su representación realice los trámites relacionados con el procedimiento de instalación y puesta en servicio del equipamiento de generación (EG) del inmueble ante la empresa distribuidora, bajo el marco de la Ley N° 20.571 y su Modificación Ley 21.118 del Ministerio de Energía. En ejercicio del poder, el apoderado podrá ejercer las siguientes facultades: suscribir formularios, cartas, solicitudes, y otra que se le requiera, y que tenga por objeto permitir inyectar los excedentes de energía del equipamiento de generación a la red de distribución eléctrica, en especial, los relativos a la suscripción de los formularios que al efecto exija la SEC y la empresa distribuidora de energía eléctrica respectiva, u otra institución pública y/o privada directamente relacionada con el objeto de la presente solicitud (formato se encuentra en la página del SEC).

CAPÍTULO V
DISEÑO Y EJECUCIÓN DE LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS

5.1 Instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red

La instalación de un sistema fotovoltaico conectado a la red eléctrica de distribución debe ser proyectada y ejecutada bajo la supervisión de un Instalador Eléctrico (clase A o B), autorizado y acreditado ante la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).

Las condiciones para la instalación de los equipos o unidades de generación deben facilitar su mantenimiento, siguiendo las especificaciones del fabricante para no afectar al equipo fotovoltaico. Para facilitar el mantenimiento y reparación de la unidad de generación fotovoltaica, se instalarán los elementos de seccionamiento necesarios (como fusibles e interruptores), para la desconexión de los equipos como inversores, baterías, controladores de carga y similares de todos los conductores no puestos a tierra de todas las fuentes de energía de forma simultánea. Se excluyen al micro inversor.

Los conductores o cables de la unidad de generación fotovoltaica, los módulos fotovoltaicos, strings e inversor deberán ser seleccionados e instalados de forma que se reduzca al máximo el riesgo de falla a tierra o de cortocircuito. Además, la unidad de generación fotovoltaica deberá contar con las respectivas señaléticas de seguridad que clara y visiblemente indiquen:

“PRECAUCIÓN: PELIGRO DE DESCARGA ELÉCTRICA - NO TOCAR - TERMINALES ENERGIZADOS EN POSICIÓN DE ABIERTO – SISTEMA FOTOVOLTAICOS”

Las cajas de conexión o junction box de CC, deberán contar con un etiquetado de peligro indicando que las partes activas dentro de la caja están alimentadas por el

generador y que pueden estar energizadas tras su aislamiento o apagado del inversor y la red pública.

5.2 Estructura (Soporte y Fijación)

La estructura de soporte de la unidad de generación fotovoltaica deberá satisfacer la normativa vigente en Chile, en cuanto a edificación y diseño estructural. Debido a que debe ajustarse a la superficie de la instalación, está pueda ser horizontal o inclinada, y el método de anclaje deberá soportar las cargas de tracción, mantener la estructura firme y evitar posibles volcamientos por la acción de los sismos, viento o nieve.

La construcción de la estructura de la unidad de generación fotovoltaica y el sistema de fijación de los módulos deberá permitir las dilataciones térmicas necesarias, evitando transmitir cargas que puedan afectar a la integridad de los módulos fotovoltaicos, siguiendo las indicaciones del fabricante.

La totalidad de la estructura de la unidad de generación fotovoltaica se conectará a la tierra de protección.

Las instalaciones en techumbre que sean mayor o igual a 10 kW e inferior a 30kW deberán tener la infraestructura de acceso y cuerda de vida para permitir la mantención de la instalación fotovoltaica.

En el caso de las instalaciones en techumbre cuya potencia instalada sea mayor o igual a 30 kW deberán tener la infraestructura de acceso, pasillo técnico, cuerda de vida y vía de tránsito necesaria para permitir la mantención de la instalación fotovoltaica.

Aquellos proyectos fotovoltaicos a nivel de terreno deberán contar con algún medio de protección que impida el acceso a estas instalaciones a personas extrañas al servicio.

5.3 Módulos fotovoltaicos

Todos los módulos fotovoltaicos que formen parte de una unidad de generación deberán cumplir con la normativa técnica y deben ser autorizados por la Superintendencia para tales efectos.

Estos deben llevar una placa visible e indeleble, con la información técnica requerida en la certificación y con los siguientes valores:

- Tensión de circuito abierto.
- Tensión de operación.
- Tensión máxima admisible del sistema.
- Corriente de operación.
- Corriente de cortocircuito.
- Potencia máxima.

Todos los módulos fotovoltaicos deberán incluir diodos de derivación o bypass para evitar las posibles averías de las células y sus circuitos por sombreados parciales y tendrán un grado de protección IP65.

No se podrá utilizar módulos fotovoltaicos de distintas características técnicas, ni orientaciones diferentes en una unidad de generación fotovoltaica. Se excluirá de esta disposición a los módulos conectados a través de micro inversores.

Los módulos fotovoltaicos deberán instalarse de modo de asegurar una buena ventilación, y con una separación suficiente que permita las dilataciones térmicas y que garantice la disipación adecuada del calor de radiación solar local máxima. No se podrá instalar módulos fotovoltaicos que presenten defectos, producto de la fabricación o del traslado de estos, como roturas o fisuras.

5.4 Arreglos y conexiones eléctricas

Cada arreglo o string de la Unidad de Generación Fotovoltaica deberá conectarse al inversor fotovoltaico de la siguiente manera:

Conexión directa al inversor en forma independiente. Esta configuración será admitida en instalaciones que utilicen los denominados inversores string, donde cada string se conectará directamente al inversor en positivo y negativo, sin ninguna conexión intermedia.

Mediante una caja de conexiones de string o junction box. Se utilizará esta configuración para instalaciones que utilicen los denominados inversores centrales o para aquellas instalaciones en las que sea necesario agrupar en paralelo dos o más strings.

Todas las cajas de conexión, junction box o tableros de CC de las unidades de generación fotovoltaicas, deberán contar con los siguientes elementos de seguridad:

- Seccionador bajo carga.
- Descargadores de sobretensión tipo 2.
- Fusibles o interruptores automáticos en CC, polos negativos, por cada string.
- Fusibles o interruptores automáticos en CC, polos positivos, por cada string.
- Bornes de conexión CC para línea colectora hacia el inversor.
- Borne de conexión para conductor de puesta a tierra.
- El tablero CC deberá ser resistente a la radiación UV, tener un IP65, o mínimo IP54 cuando se ubique bajo techo.

Las cajas de conexión, junction box o tablero de CC, deberá ser instalados lo más cercanos posible de los arreglos fotovoltaicos, las conexiones ubicadas a la intemperie deberán ser instaladas de forma que todas sus canalizaciones y conductores ingresen por

la parte inferior, conservando su índice de protección IP y deberán contar con sus respectivos terminales.

5.5 Dimensionamiento de circuitos y corrientes

La corriente máxima será la suma de las corrientes de cortocircuito de los módulos fotovoltaicos en paralelo, multiplicada por 1,25 veces. La corriente de los circuitos de salida fotovoltaica: La corriente máxima será la suma de las corrientes máxima de los circuitos de las fuentes en paralelo multiplicado por 1,25 veces.

La corriente de los circuitos de salida del Inversor será la corriente máxima de salida del inversor de régimen continuo a una temperatura ambiente de 30°C.

Corriente de los circuitos de entrada del inversor: La corriente máxima será la corriente de entrada de régimen continuo del inversor cuando el inversor produzca su potencia nominal a la menor tensión de entrada. Las corrientes de los sistemas fotovoltaicos serán consideradas como de régimen continuo.

5.6 Conductores y canalización

Los circuitos de los sistemas fotovoltaicos y los circuitos de salida fotovoltaicos no se instalarán en las mismas canalizaciones con otros circuitos de otros sistemas, a menos que los conductores de los otros sistemas estén separados por una barrera del mismo material. El cableado de CC no debe instalarse ni pasar por tableros de CA.

Los conductores positivos y negativos en el lado de CC deberán ser canalizados en forma ordenada y separada. A excepción de los siguientes casos:

- En los casos que se utilice canalización metálica en los cuales podrá canalizarse en forma conjunta el positivo y negativo.

- En canalizaciones embutidas o pre-embutidas en muros de hormigón o lozas de una construcción solida se podrá llevar ambos conductores en tuberías no metálicas.

Los conductores y conexiones eléctricas deberán ser protegidos de la abrasión, tensión, compresión y esfuerzos mecánicos que puedan surgir de ciclos térmicos, viento y condiciones de la instalación, durante la instalación y durante la vida útil de la instalación.

Los conductores de la unidad de generación deberán tener una sección adecuada para evitar caídas de tensión y calentamientos.

Y se identificarán o marcarán de manera independiente: positivo, negativo y tierra de protección. Para esta identificación se podrán utilizar los siguientes colores: rojo para el conductor positivo, negro para el conductor negativo y verde o verde/amarillo para el conductor de tierra de protección, para el cableado de corriente alterna deberá seguir lo indicado en los 19 Pliegos Técnicos RIC (Reglamento de Instalaciones de Consumo de Electricidad) que reemplaza a la NCH Eléctrica 4/2003 mediante el Decreto Supremo N° 08, articulo N° 12.

5.7 Inversores

Los Inversores utilizados en los sistemas fotovoltaicos conectados a la red, deberán estar certificados en conformidad a los protocolos de ensayos establecido por la Superintendencia para estos efectos.

La instalación del inversor se deberá realizar según las especificaciones del fabricante, considerando la ventilación, anclaje, orientación, y el índice IP, entre otros aspectos. Es importante situar al inversor en un lugar con fácil acceso para el personal técnico. Los inversores no se pueden instalar en baños, cocinas, dormitorios o en recintos con riesgos de inundación.

Los inversores se instalarán a la intemperie siempre que cuenten con un grado de protección de al menos IP55 y con protección contra la radiación solar directa y aprobado por el fabricante.

5.8 Protecciones

Las instalaciones de un sistema fotovoltaico conectado a la red de distribución estarán equipadas con un sistema de protección que garantice su desconexión en caso de una falla en la red o fallas internas en la instalación del propio generador, de manera que no perturben el correcto funcionamiento de las redes a las que estén conectadas, tanto en su trabajo normal como durante un incidente.

Es importante indicar que las protecciones eléctricas para el lado de CC deberán contar con su tablero eléctrico de CC, mientras que las protecciones de CA estarán contenidas en su tablero eléctrico de CA. Los cuales deberán contar con puerta, cubierta cubre equipos y placa de identificación.

Los interruptores automáticos y seccionadores utilizados en el lado CC de las instalaciones fotovoltaicas, deberán ser capaces de extinguir arcos eléctricos en CC y deberán contar con protección por aislamiento de las partes activas clase II.

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red en el lado de CA, deberán contar con una protección diferencial e interruptor general magnetotérmico bipolar, para el caso de las instalaciones monofásicas o tetra polar en instalaciones trifásicas para una corriente de cortocircuito superior a la indicada por la empresa distribuidora en el punto de conexión, además la protección diferencial deberá estar protegida de la sobrecarga y el cortocircuito mediante una protección termomagnética.

Con respecto a la puesta a tierra, esta es fundamental ya que determinará el comportamiento y las propiedades de la red que influirán en los aspectos de su utilización:

- Seguridad del suministro o disponibilidad de la energía eléctrica.
- Complejidad de la instalación.
- Mantenimiento, tiempos de inactividad.
- Compatibilidad electromagnética.

Además, estas deberán conectar todas las partes metálicas de la instalación a la tierra de protección, incluyendo las estructuras de soporte, pasillos técnicos y las carcasas de los equipos.

Las instalaciones donde esté prevista una conexión equipotencial deben estar previstos de un borne principal de tierra con el fin de conectarlos a una tierra de protección o tierra de servicio.

5.9 Protección RI (Red e instalación)

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red deberán contar con una protección RI, la cual puede estar integrada al inversor o ser externa al inversor:

- Si la capacidad instalada del EG es mayor a 100 kW, se debe instalar una protección RI centralizada.
- Si la capacidad instalada del EG ≤ 100 kW, no se requiere de la protección RI centralizada, siempre y cuando se cuente con la protección RI integrada en el inversor. Asimismo, en el caso de EG sin inversores la protección RI deberá ser del tipo centralizada.

5.10 Rotulación y señalización eléctrica

La rotulación y señalética son herramientas muy útiles debido a que aportan información sobre los potenciales riesgos de un área determinada, por lo que, se deberá identificar claramente a todos los conductores provenientes del inversor o micro inversor

que ingresen a la barra de distribución de un tablero diferente al tablero fotovoltaico, la barra de distribución donde se conecte la generación, para diferenciar la del resto de barras de distribución que contenga el tablero eléctrico. También se rotularan todas las cajas de paso, unión o derivación empleadas entre el panel y el tablero eléctrico que contiene las protecciones fotovoltaicas, los interruptores, los terminales (conductores positivos y negativos) y alimentadores del EG, al igual que en el lado de CA, todos los equipos o materiales eléctricos deberán tener impresas en forma fácilmente visible e indeleble sus características dimensionales o de funcionamiento, indicaciones de tipo o clase y de la certificación de aprobación de uso al igual que todos los tableros deberán llevar estampada en forma visible, legible e indeleble la marca de fabricación, la tensión de servicio, la corriente nominal y el número de fases.

5.11 Baterías

De existir baterías en el equipamiento de generación, estos deberán ser considerados como los elementos más importantes de la instalación fotovoltaica aislada y que representa aproximadamente el 40% de la inversión inicial. Por lo que es fundamental escoger el modelo correcto para asegurar el correcto funcionamiento del sistema (diseño, montaje, operación, inspección) que se desea implementar, sin dejar de lado la debida mantención de forma regular. Las partes energizadas de los sistemas de baterías de las viviendas deben estar resguardadas para evitar el contacto accidental con personas u objetos, independientemente de la tensión o tipo de batería.

5.12 Medidor

Los generadores fotovoltaicos conectados a la red deberán contar con un único equipo de medida con registro bidireccional que permita diferenciar claramente las inyecciones y consumos de energía en forma independiente. Con el propósito de garantizar el correcto registro del consumo e inyección para la correspondiente facturación por parte de la empresa distribuidora.

5.13 Declaración de instalaciones fotovoltaicas

A partir de enero de 2020 se ha realizado una actualización de las Declaraciones TE4 en la página web de la SEC, esta incorpora mejoras internas con el objetivo de un mayor control en la revisión.

5.14 Inspección, ensayo y mediciones de terreno del generador

En este punto es importante mencionar las siguientes mediciones y ensayos:

- Informe de ensayos del generador (verificación Inicial)
- Medición empleada para verificar la continuidad de la estructura y partes metálicas de la unidad de generación, deberá indicar los puntos medidos y el instrumento utilizado.
- Mediciones de aislamiento.
- Ensayo de polaridad.
- Procedimiento de medición de puesta a tierra, se debe indicar el método y el instrumento utilizado.
- Para instalaciones fotovoltaicas deberá utilizarse el siguiente informe.

5.15 Revisión final

En la revisión en terreno, se debe solicitar la presencia del técnico o ingeniero a cargo de la ejecución del proyecto, y que este tenga las herramientas necesarias para revisar y verificar cada uno de los siguientes puntos.

- Cantidad de paneles.
- Potencia de los inversores.
- Tipo de estructura y orientación.
- Realizar inspección visual para daños visibles en los equipos.

- Revisar que el medidor bidireccional este dentro de las marcas homologadas.
- El técnico deberá demostrar y/o operar el medidor bidireccional con el objetivo de verificar que se cuenta con las 2 medidas de registro independientes.
- Se debe verificar la existencia de las camarillas de registro de las puestas a tierra.
- Comprobar en el tablero que el valor nominal de las protecciones se condice con las indicadas en el proyecto.
- Debe existir un cuadro explicativo indicando la acción de cada interruptor.
- Comprobará que la UG (Unidad de generación) cuenta en el tablero general o de distribución, con un protector diferencial destinado a la UG. (El protector diferencial para UG menores a 10 kW de 30 mA y para iguales o mayores a 10 kW no debe ser mayor a 300 mA).
- Revisará que se cumpla con el 25% de espacio libre en los tableros.
- Comprobará que la conexión a los interruptores se hace a través de terminales adecuados.
- Revisará si se utiliza regleta distribuidora para ordenar el cableado.
- Comprobará la existencia de una cubierta protectora que evite el contacto directo.
- Se deberá contar con un informe de medición de aislamiento de los conductores o en su defecto, el técnico a cargo deberá realizar la prueba de medición de aislamiento.
- Verificar que las conexiones de los módulos fotovoltaicos cuentan con conectores tipo MC4 o equivalentes.
- Solicitar al técnico a cargo realizar la prueba de desconexión.
- Verificar que la UG se desconecta y deja de inyectar energía.
- Solicitar al técnico a cargo realizar la prueba de reconexión.
- Verificar que la UG no se conecta inmediatamente luego de la energización del sistema.

CAPÍTULO VI
ANTECEDENTES GENERALES DEL PROYECTO

6.1 Antecedentes del proyecto

Uno de los aspectos fundamentales para la elaboración de un sistema de generación es la evaluación de la demanda existente, contando con esta información es posible realizar un dimensionamiento adecuado para los distintos equipos a alimentar y así diseñar un sistema eficiente, confiable y óptimo.

En la estimación de la demanda de energía, se levantarán los datos los cuales se incluirán en el cuadro de carga que analizará el comportamiento de cada consumo, horas de uso y la potencia consumida. El levantamiento considerara los meses de máxima demanda de energía, que en este caso serían los meses de octubre a marzo que es la temporada alta, por lo que la temporada baja sería de abril a septiembre.

6.2 Descripción del proyecto

El Fundo Palo Blanco (el sitio) se encuentra ubicado en el Valle de Copiapó en las coordenadas -27.872985 Latitud Sur, -70.067305 Longitud Oeste (ver la figura 6.1) de la comuna de San Antonio en la Tercera Región de Atacama.

Este sitio cuenta con una potencia conectada de 65,82 kW (dato verificado), con el que suministra energía eléctrica a un sistema de regadío compuesto por una bomba principal con cuatro bombas auxiliares que impulsan el riego a las distintas hectáreas de la plantación y una mezcladora de productos químicos, todas estas se encuentran en la sala de máquinas y componen el grueso de las demandas de energía del Fundo.Sin embargo, se contabiliza la iluminación exterior e interior y los enchufes para diferentes propósitos del predio.

El objetivo principal es bajar el valor de las boletas mensuales y paralelamente cuidar el medio ambiente, por lo que se plantean los siguientes dimensionamientos, de los cuales

se elegirá la mejor opción que ayude a alcanzar el objetivo planteado. Para esto se realizarán los siguientes dimensionamientos:

- Instalación fotovoltaica Off-Grid.
- Instalación fotovoltaica On-Grid.
- Generación con grupo electrógeno.
- Empalme trifásico que nos suministra la red (Existente).

De estos cuatro sistemas, podremos obtener la mejor opción para el Fundo (ver la figura N° 6.1 y la tabla N° 6.1), y que cumpla con las siguientes características: que sea económico y/o rentable en el tiempo, de fácil mantenimiento y cuente con una gran vida útil, además de conocer las ventajas y desventajas de cada uno de los sistemas.

6.3 Ubicación geográfica del proyecto

Figura N° 6.1: Ubicación geográfica de la Sociedad agrícola Fundo Palo Blanco.
Fuente: solar.minenergia.cl/exploración

Tabla N° 6.1: Punto Geográfico Fundo Palo Blanco.

Ubicación	
Latitud	-27.872985
Longitud	-70.067305

Fuente: Elaboracion propia.

6.4 Visita a terreno

Se realizaron visitas al Fundo para conocer las instalaciones, el sistema de regadío, la sala de bombas y revisar el tipo de suministro eléctrico existente, por lo que se obtiene la siguiente información:

- Transformador de alimentación de la sala de bombas (Ver Figura N° 6.2).

Figura N° 6.2: Transformador eléctrico.

Fuente: Elaboración propia.

- Sala de bombas (Ver Figura N° 6.4)

Figura N° 6.3: Sala de bombas.

Fuente: Elaboración propia.

- Área disponible para la instalación de paneles (Ver Figura N° 6.5).

Figura N° 6.4: Área de instalación de paneles.

Fuente: Elaboración propia

6.5 Consumo de energía del Fundo Palo Blanco

En las visitas realizadas, se puede recabar la siguiente información de cada motor de la Sala de Bombas del Fundo, y cuyo detalle se muestra en la tabla N° 6.2.

Tabla N° 6.2: Placa de los motores electricos de la sala de bomba del Fundo.

Ubicación	Modelo	Voltaje (V)	Potencia	Conexión	Cos (ϕ)
Bomba Principal	High Thrust	380	60 Hp/45 kW	Trifásica	0,92
Bomba Aux. A	Weg	380	25 Hp/18,5 kW	Trifásica	0,91
Bomba Auxiliar B – C	Siemens	380	25 Hp/18,5 kW	Trifásica	0,91
Bomba Aux. D	Weg	380	20 Hp/15 kW	Trifásica	0,92
Mezcladora	Asaki	220/240	1,5 Hp/1,1 kW	Monofásica	

Fuente: Elaboración propia.

Alumbrado exterior.

- Equipo Fluorescente de 1x40 W.

Alumbrado interior.

- Equipo Fluorescente de 2x40 W.

Otros.

- Enchufe para soplador o una aspiradora.

Para realizar los cálculos de consumo de energía y potencia, se solicitó ayuda al capataz del predio quien amablemente proporciono la siguiente información, comentó

que el sistema de riego tiene un comportamiento uniforme según la temporada y muestra el mismo comportamiento de consumo diario. Cada temporada es de 6 meses y se dividen en temporada baja (de abril a septiembre) y temporada alta (de octubre a marzo).

6.6 Demanda de energía diaria

Según la información levantada in situ y entregada por el capataz del Fundo, se obtiene la tabla N° 6.3 de cargas según temporada:

Tabla N° 6.3: Cuadro de cargas.

Cargas	Potencia		Hrs. de Funcionamiento.		Energía diaria Requerida.	
			Verano (Oct-Mar)	Invierno (Abr-Sep.)	Verano (Oct-Mar)	Invierno (Abr-Sep.)
	[KW]	[W]	[Horas/Diarias]		[kWh/Diarios]	
Bomba pral.	45	45000	17	10	765	450
Bomba A	18,5	18500	4	3	74	55,5
Bomba B	18,5	18500	5	3	92,5	55,5
Bomba C	18,5	18500	4	2	74	37
Bomba D	15	15000	4	2	60	30
Mezcladora	1,1	1100	4	4	4,4	4,4
Alumbrado exterior	0,04	40	1	2	0,04	0,08
Alumbrado interior	0,08	80	2	4	0,16	0,32
Otros (enchufe)	0,5	500	2	2	1	1
Total	117	117220			1071	634

Fuente: Elaboración propia.

6.7 Ciclo de funcionamiento

El ciclo de funcionamiento del sistema de riego está compuesto por la bomba principal que trabaja todo el día en la temporada alta y medio día en temporada baja, está será acompañada por las cuatro bombas auxiliares que trabajan de forma intercalada a lo largo del día y la mezcladora de productos químicos que trabaja de manera intermitente, pero por periodos de una hora, para cada una de las bombas.

Se desconoce el ciclo de funcionamiento de las luminarias y enchufes, aunque cuenta con un bajo consumo se calculará también en el sistema fotovoltaico.

La potencia peak que se exigirá al sistema, se dimensionará mediante el funcionamiento de la bomba principal en conjunto a una de las bombas auxiliares, esto para evitar posibles fallas o errores (ya sean de origen humano y/o eléctrico).

Para el encendido y apagado de estas últimas, además de la mezcladora, esto se traducirá en una potencia peak de 64,6 kW.

Esta potencia se alcanzará en el momento de máximo consumo diario en época de verano y de invierno, pero en invierno las horas de funcionamiento de las bombas serán menores.

6.8 Temporada baja o de invierno

El riego en temporada baja o en invierno se realiza acorde a las necesidades de la plantación y el criterio del capataz a cargo, por lo que: de lunes a viernes comenzaran de las 10:00 hasta las 19:00 horas y los sábados de 09:00 a 14:00 horas (Ver figura N° 6.6).

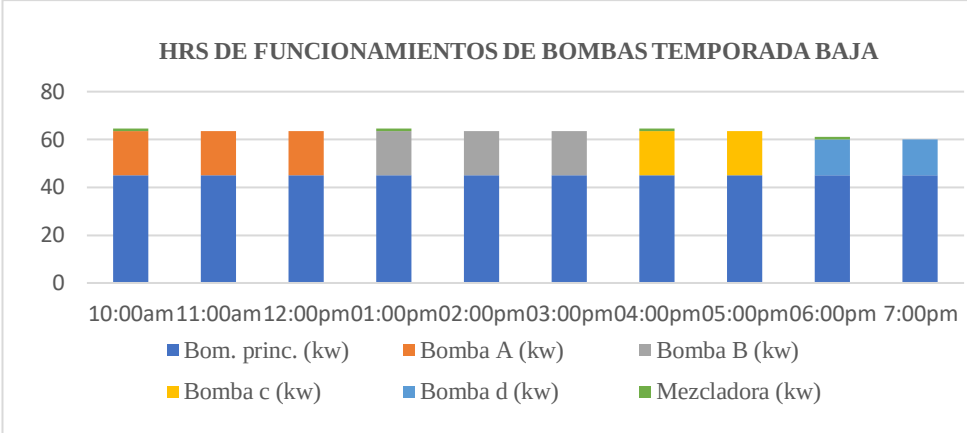


Figura N° 6.5: Demanda en temporada baja o invierno.

Fuente: Elaboración propia.

6.9 Temporada alta o de verano

El riego en temporada de verano se realiza acorde a las necesidades de la plantación y el criterio del capataz a cargo, estas serán de lunes a viernes por 17 horas al día aproximadamente y los días sábados se regará de 08:00 a 14:00 horas (Ver la figura N° 6.7).

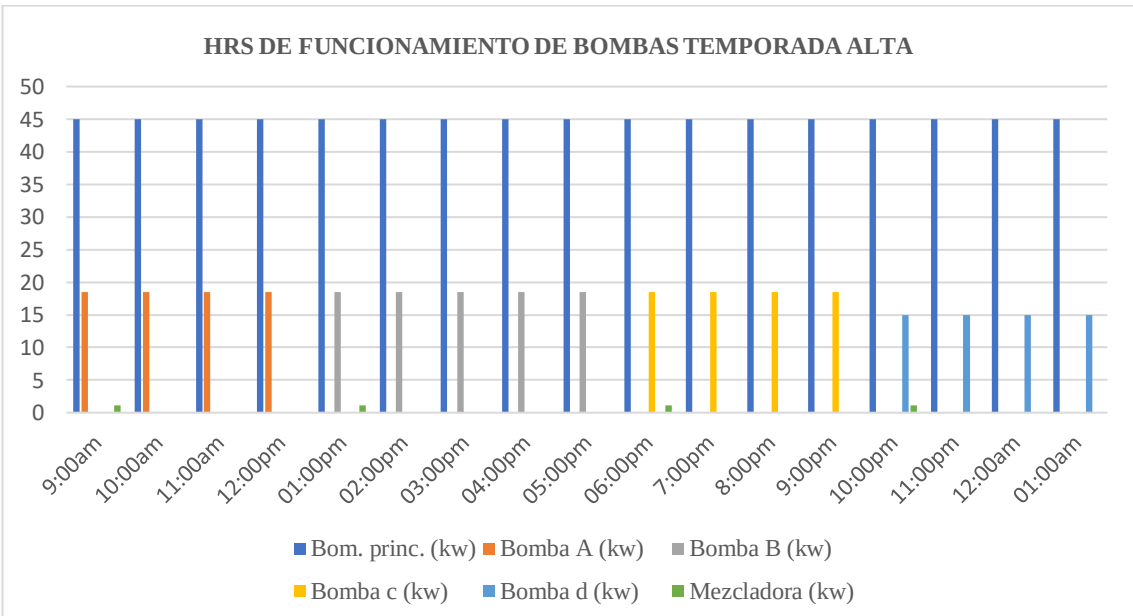
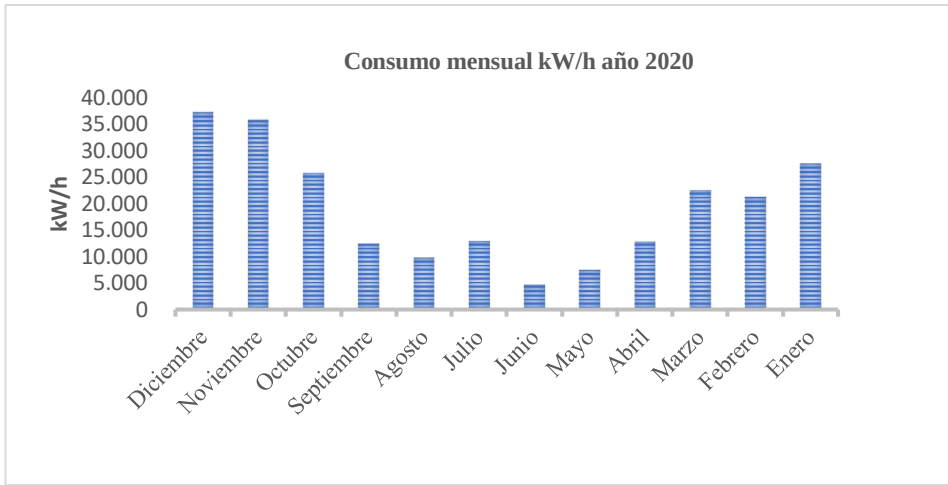


Figura N° 6.6: Demanda en temporada alta o verano.

Fuente: Elaboración propia.

6.10 Demanda de energía año 2020

El consumo anual de la demanda de energía eléctrica se determinó a partir de los antecedentes aportados por el Fundo Palo Blanco, en este caso la facturación eléctrica de todo este año (Ver figura N° 6.8 y la tabla N° 6.4).



.

Figura N° 6.7: Consumo anual de energía del Fundo Palo Blanco.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 6.4: Consumo anual de energía del Fundo Palo Blanco.

N°	Año	Mes	Consumo
1	2020	Diciembre	37.170
2	2020	Noviembre	35.640
3	2020	Octubre	25.650
4	2020	Septiembre	12.450
5	2020	Agosto	9.780
6	2020	Julio	12.840
7	2020	Junio	4.680
8	2020	Mayo	7.470
9	2020	Abril	12.750
10	2020	Marzo	22.470
11	2020	Febrero	21.270
12	2020	Enero	27.450
TOTAL			**229.620**
PROMEDIO ANUAL			**19.135**

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla N° 6.4, el consumo total del año 2020 es de 229.620 [kWh/año], con este dato se obtiene el promedio anual, que es de 19.135 [kWh/mes], con este valor se podrá estimar el tamaño de la instalación fotovoltaica, para que cumpla con la demanda de energía del Fundo Palo Blanco.

6.11 Simulación del sistema

La simulación es una de las herramientas más importantes dentro de un proceso de validación debido a que el usuario define la estructura y el programa de simulación, del cual se obtendrá el comportamiento dinámico del proyecto que se está diseñando. En este caso nos permitirá obtener los datos de generación y rendimiento del sistema en general, además de comparar nuestros cálculos con los obtenidos de la simulación.

Se comenzará con la estimación de la energía consumida durante los 12 meses del año 2020, el cálculo total se promediará entre el número de los meses y se obtendrá una estimación de la energía, que nos indicará el límite de la futura planta fotovoltaica.

Mediante estos cálculos y el planteamiento de este proyecto de regadío y basándonos en el levantamiento de los datos de consumos del Fundo, podremos obtener el dimensionamiento de la futura planta de generación fotovoltaica para el abastecimiento del circuito de bombas que necesitará de 125 kW.

6.12 Comparación de resultados

Para la comparación de los datos, elegimos el simulador adecuado para este efecto, en este caso el Explorador Solar del Ministerio de Energía de Chile; que se ha puesto a disposición del público de forma gratuita (online), esta herramienta está destinada al análisis de los recursos renovables que permiten de manera gráfica realizar una evaluación preliminar del proyecto. La cual permite realizar simulaciones de generación, “ideales”, es decir, con parámetros estandarizados y optimizados para una ubicación especifica.

Mediante esta herramienta realizamos la simulación, como se muestra en las siguientes figuras N° 6.9 y 6.10, con todos los parámetros del proyecto ingresados y sus correspondientes resultados.

Figura N° 6.8: Perfil de Energía Solar para el Fundo Palo Blanco.

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 6.9: Generación fotovoltaica mensual promedio.

Fuente: Explorador Solar

La planta por instalar es de 125 kWp y los paneles fotovoltaicos elegidos para el proyecto tendrán una potencia nominal de 400 Wp, con estos datos se puede calcular el número de paneles a utilizar en la futura planta, el factor diario de consumo promediando el consumo anual potencia total.

CAPÍTULO VII
DIMENSIONAMIENTOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

7.1 Sistema On Grid

Debido al consumo peak detallado en la tabla N° 6.3, se requerirá un arreglo de inversores con una potencia de 125 kW, debido a los consumos máximos de la bomba principal y su correspondiente motor auxiliar, este cálculo satisface correctamente a las necesidades de las máquinas y los reactivos serán suministrados por la Red.

7.2 Opciones de paneles a seleccionar

Para elegir adecuadamente los paneles fotovoltaicos, debemos contar con la potencia a satisfacer, que en nuestro caso es de 125 KWp. Las principales características para seleccionar los paneles son: calidad, garantía de funcionamiento y eficiencia, con el fin de garantizar la correcta operación del sistema a largo plazo.

Los paneles Sunpower, que en su modelo SPR-P19-400-COM cuenta con las características requeridas, además tienen una eficiencia del 19,4% (Ver la figura N° 7.1 y la tabla N° 7.1)

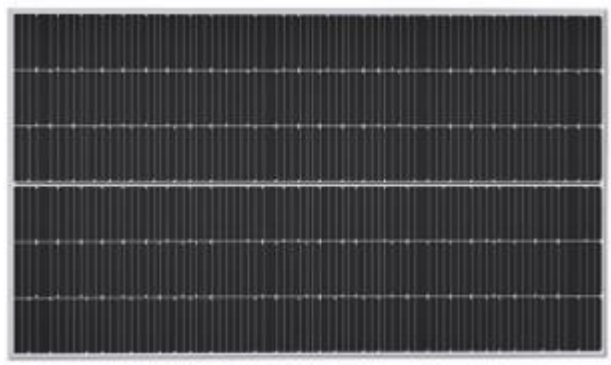


Figura N° 7.1: Panel SunPower SPR-P19-400-COM

Fuente: sunpower.maxeon.com/es/sites/default/files/2019-11

Tabla N° 7.1: Características del Panel Fotovoltaico SUNPOWER.

Model	SPR-P19-400-COM
Nominal Power	400W
Efficiency	19,4%
Rated Voltaje (Vmpp)	43.4V
Rated Current (Immp)	9,22A
Open-Circuit volt (Voc)	52,7V
Short-Circuit Curr (Isc)	9,80A

Fuente: Elaboración propia.

Los paneles Jinko Solar ofrecen el modelo Cheetah HC 72M-V-400 W, producto que también cuentan con las características requeridas además de una eficiencia del 19,88% (Ver figura N° 7.2 y la tabla N° 7.2).

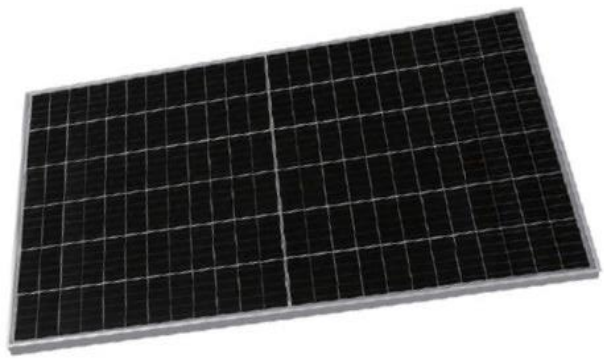


Figura N° 7.2: Jinko Cheetah HC 72M-V-400 W.

Fuente: www.jinkosolar.com

Tabla N° 7.2: Características del Panel Fotovoltaico JINKO SOLAR.

Modelo	Cheetah HC 72M-V-400 Watt
Nominal Power	400W
Efficiency	19,88%
Rated Voltaje (Vmpp)	41.7V
Rated Current (Immp)	9,60A
Open-Circuit volt (Voc)	49,8V
Short-Circuit Curr (Isc)	10,36A

Fuente: Elaboración propia.

La empresa Canadian Solar ofrece un panel de la serie Hibiku CS3W-390|395|400|405|410|415PB-AG que cuenta con tecnología PERC bifacial de doble celda de alta potencia (Poly & Mono), además está aprobada por la SEC (Ver la figura N° 7.3 y sus características se encuentran en la tabla N° 7.3).

Figura N° 7.3: Panel Canadian Solar CS3W-390|395|400|405|410|415PB-AG

Fuente: Canadian_Solar-Datasheet-BiHiKu_CS3W-PB-AG_EN (1).pdf

Tabla N° 7.3: Características del Panel Fotovoltaico Hibiku CS3W.

Modelo	Hibiku CS3W-400|405|410|415PB-AG
Nominal Power	292 - 310 W
Efficiency	17,5 – 18.3 %
Rated Voltaje (Vmpp)	35,8 – 36,7 V
Rated Current (Immp)	8,15 – 8,45 A
Open-Circuit volt (Voc)	44,1 – 45,0 V
Short-Circuit Curr (Isc)	8,66 – 8,98 A

·

Fuente: Elaboración propia.

Considerando las características técnicas y la oferta existente en el mercado nacional, se eligieron para el proyecto los paneles **Jinko Solar** por su eficiencia de 19,88%.

7.3 Selección del inversor

En el mercado chileno y con certificación SEC, existen diferentes marcas de inversores que cumplen con las características que se necesitan y que cuentan con excelente calidad y seguridad como el Inversor Ginlog Technologies (Ver figura N° 7.4 y sus características en la tabla N° 7.4):

Figura N° 7.4: Inversor Ginlog Technologies Solis 30k

Fuente: www.solisinverters.com.au/product/solis-20-33-k-solis-30-k-mx/

Tabla N° 7.4: Características del Inversor Solis – 30k.

Model	Solis-30k
Input DC	
Max. Dc input Power (kW)	40
Max. Dc input voltage (V)	1000
Nominal Dc Voltage (V)	600
MPPT voltage range (V)	200-800
Max. Input currient (A/B/C/D)	18A+18A+18A+18A
Max. Short Circuit currient for each MPPT	23,4A+23,4A+23,4A+23,4A.
MPPT number/Max input strings number	4/8
Output AC	
Rated output power (kW)	30
Rated grid voltage (V)	400
Rated grid frecuency (Hz)	50/60
Rated grid output current(A)	43,3
Max. Output current (A)	50
Power Factor	0,8
Efficiency	
Max. Efficiency	98,6%
EU efficiency	98,3%
MPPT efficiency	>99,9%

Fuente: Elaboración propia.

Otra opción que se encuentra es el inversor Sunny Tripower de la empresa SMA Energy System que es ideal para plantas de gran tamaño y que a través de su concepto de multistring combinado con un amplio rango de tensión de entrada ofrece una alta flexibilidad de diseño y compatibilidad con muchos paneles fotovoltaicos disponibles en el mercado chileno (Ver la figura N° 7.5 y sus características en la tabla N° 7.5).

Figura N° 7.5: Inversor Sunny Tripower 15000TL / 20000TL / 25000TL

Fuente:https://www.sma.de/es/productos/inversor-fotovoltaico/sunny-tripower-15000tl-20000tl-25000tl.html

Tabla N° 7.5: Características del Inversor Sunny Tripower 25000TL

Modelo	Sunny Tripower 25000TL
Input DC	
Max. Dc input Power (kW)	35
Max. Dc input voltage (V)	1000
Nominal Dc Voltage (V)	600
MPPT voltage range (V)	200-800
Max. Input currient (A/B/C/D)	18A+18A+18A+18A
Max. Short Circuit currient for each MPPT	23,4A+23,4A+23,4A+23,4A.
MPPT number/Max input strings number	4/8
Output AC	
Rated output power (kW)	25
Rated grid voltage (V)	400
Rated grid frecuency (Hz)	50/60
Rated grid output current(A)	43,3
Max. Output current (A)	50
Power Factor	0,8

Efficiency	
Max. Efficiency	98,6%
EU efficiency	98,3%
MPPT efficiency	>99,9%

Fuente: Elaboración propia.

También se puede mencionar, al **Inversor Fronius Symo**, que es uno de los más usados en Chile por sus características y al igual que los anteriores está certificado por la SEC (Ver la figura N° 7.6 y la tabla N° 7.6).

Figura N° 7.6: Inversor Fronius Symo 25.0-3-S

Fuente:https://tritec-center.cl/wp-content/uploads/2018/07/Fronius-Eco-27.0-3-S-27000VA-trifasico-1-MPPT-Light.pdf

Tabla N° 7.6: Características del inversor Fronius Symo 25 kW.

Modelo	Fronius Symo 25.0-3-S
Input DC	
Max. Dc input Power (kW)	35,7 kW
Max. Dc input voltage (V)	1000
Nominal Dc Voltage (V)	580
MPPT voltage range (V)	580-850
Max. Input currient	42,2
Max. Short Circuit currient for each MPPT	71,6
MPPT number/Max input strings number	6
Output AC	
Rated output power(kW)	25
Rated grid voltage(V)	380
Rated grid frecuency (Hz)	50/60
AC output current (Iac nom)	37,9A/ 36,2A
Power Factor	0-1 ind. /cap.
Efficiency	
Max. Efficiency	98,2%
EU efficiency	98,0%
MPPT efficiency	>99,9%

Fuente: Elaboración propia.

Se eligió para el proyecto el inversor **FRONIUS SYMO 25 kW**, que trabajará con un arreglo de 5 inversores, cada uno cubrirá un 25% de la potencia máxima proyectada de 125 kW para 380V. Con ello, ante una eventual falla de alguno de los inversores, el otro continuará produciendo electricidad, es un equipo que tiene buenas referencias en términos de durabilidad, eficiencia, modularidad y facilidad de mantenimiento, además cumple con la normativa SEC. La tecnología que posee adicionalmente cuenta con un

algoritmo para rastrear el MPPT (Máximum Power Point Tracking) o también llamado "Seguidor de Punto de Máxima Potencia", lo que le permite seguir el comportamiento dinámico de la planta fotovoltaica en tiempo real, con esto consigue maximizar la producción de energía suministrada a los equipos, en este caso las bombas de regadío.

7.4 Conductores

Para la selección de un buen conductor, ya sea para corriente continua o corriente alterna, se debe considerar su buen funcionamiento en el sistema fotovoltaico, por lo que, la principal característica será el amperaje en ambos casos.

Los dos fenómenos que debemos considerar para tener un cableado bien dimensionado son: el Efecto Joule y la Caída de la Tensión:

- **El efecto Joule,** puede generar un sobrecalentamiento del cable, pudiendo llegar a temperaturas que derritan el material aislante del conductor, provocando situaciones de riesgo como electrocuciones o incendios.
- **La Caída de Tensión** en un cable se traduce en que el voltaje de llegada a la carga sea tan bajo que este funcione deficientemente, o no funcione o se dañe.

Estos fenómenos se pueden evitar, con el correcto dimensionamiento del conductor eléctrico o cable.

7.5 Conductores C.C

En los conductores de Corriente Continua, la sección mínima que debe tener el conductor viene dada por:

$$s = \frac{2 \text{ x } l \text{ x } Isc}{u \text{ x } C} \ (mm^2) \quad \textbf{(Ec. N° 7.1)}$$

Dónde:

- S es la sección teórica del conductor, en mm2.
- L es el largo del conductor, en metros.
- Isc es la corriente máxima de cortocircuito que va a circular por el conductor y es la del módulo en condiciones estándares de medida.
- U es la caída de tensión (V) que deben tener como máximo los conductores. De acuerdo a la instrucción técnica RGR N° 02/2014 [9], el máximo permitido es 1,5%.
- C es la conductividad del material que forma el conductor. En este caso se utiliza del cobre y su conductividad es de 56 m/Ωxmm2.

En la instrucción técnica de instalaciones FV, se solicita utilizar conductores del tipo fotovoltaico que cumpla con los requisitos para este tipo de sistemas, en conformidad a la norma TUV 2 pfg 1169/08.2007. Estos pueden ser: PV, PV1-F, Exzhellent Solar ZZ-F (AS), Energyflex, XZ1FA3Z-K (AS) o equivalente.

El tipo de conductor a utilizar se especificará en la tabla N° 7.4 y se puede observar en la figura N° 7.4:

Tabla N° 7.7: Características del conductor.

Marca	**Energyflex [10]**
Tensión	0,6/1kV
Rango de temperatura de funcionamiento	-40° a 90°C

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 7.7: Conductor Energyflex para instalaciones FV.

Fuente: ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn192.html

7.6 Conductores C.A

En tanto, para los conductores de CA, el cálculo es distinto. Teniendo en cuenta que la salida de cada uno de los inversores es trifásica, los conductores serán dimensionados para un sistema trifásicos. Para obtener la sección de este tipo de conductores, se aplica la siguiente ecuación.

$$\mathrm{I}ca = \frac{1{,}25\ x\ Imax}{\mathrm{N\ x\ Fn\ x\ Ft}}\ (A) \quad \textbf{(Ec. N° 7.2)}$$

Dónde:

- Ica es la corriente con la cual se dimensionará el conductor.
- Imax. es la corriente máxima de salida del inversor.
- N es el número de conductores por fase.
- Fn es el factor de corrección de acuerdo al número de conductores por ducto, según NCh.4-2003 [11] (tabla 8.8). En este caso Fn es 1.
- Ft es el factor de corrección por temperatura ambiente, según Nch.4-2003 (tabla 8. 9A). Rango de temperatura a considerar 31-35 °, por tanto, Ft = 0,96.

Luego de obtener el valor de corriente una vez aplicado todos los factores, se selecciona el tipo de conductor, el cual debe cumplir con las exigencias de la instalación, de acuerdo a la NCh.4-2003.

7.7 Canalizaciones

Con el fin de realizar de manera segura la conducción de la corriente, se debe asegurar que los conductores no sufran daños al quedar expuestos a las condiciones del lugar en donde están instalados. Para ello se tomarán en cuenta los dos tramos que abarcan los conductores de corriente alterna, estos son:

- **Tramo 1:** Desde la salida de cada inversor hasta el tablero de conexión de la instalación.
- **Tramo 2:** Desde el tablero de conexión de la instalación hasta el tablero general de la empresa.

El primer tramo viajara bajo tierra, teniendo en cuenta la cantidad de conductores y debido a que circulan vehículos. Para ello, se utilizará un tramo recto, constituido por cámaras en el cual se llevarán los conductores de todos los inversores, hasta llegar a la sala de máquinas.

El segundo tramo, permitirá unir el tablero de la instalación FV con el tablero general de la empresa, para así poder inyectar la energía generada en la red.

7.8 Protecciones

Toda instalación se debe proteger ante posibles fallas o fugas de corrientes, además de proteger a las personas y a los equipos, en el caso de las protecciones correspondientes a los conductores de C.A que van hacia la barra del tablero eléctrico se conectaran un disyuntor y un diferencial trifásico.

a) Interruptor automático magnetotérmico por inversor.

La elección correcta de la protección de sobre corriente, viene dada por:

$$\text{I Disyuntor} = 1{,}25\ \text{Inom.}$$

$$\text{I Disyuntor} = 1{,}25 \text{ x } 38\ (\text{A})$$

$$\text{I Disyuntor} = 47{,}5\ (\text{A}) \qquad \textbf{(Ec. N° 7.3)}$$

Dónde:

- I magnetotérmico, es la corriente de referencia con la cual se dimensionará la protección. Dicho elemento, se debe seleccionar con una corriente mayor a esta.
- I nom, es la corriente nominal de cada conductor, por fase.

Teniendo en cuenta dicha corriente, se seleccionó el siguiente interruptor para los 5 inversores (ver la figura N° 7.8), descritos en la tabla N° 7.8.

Figura N° 7.8: Interruptor Automático tetrapolar 3P 50A.

Fuente: Interruptor Automático 3P 50A C 15kA S203P - ABB (eecol.cl)

Tabla N° 7.8: Interruptor automático tetra polar Ls.

Marca	LS
Modelo	S203P-C50
Corriente Nominal	50A
Capacidad de Ruptura:	15kA (380V)

Fuente: Elaboración propia.

b) Interruptor automático magnetotérmico general.

El interruptor diferencial asegurar la protección de las personas ante descargas eléctricas. La elección correcta de la protección de sobre corriente, viene dada por:

$$\text{I Disyuntor} = 1{,}25 \text{ Inom.}$$
$$\text{I Disyuntor} = 1{,}25 \text{ x } 237{,}5 \text{ (A)}$$
$$\text{I Disyuntor} = 297\text{(A)} \quad \textbf{(Ec. N° 7.4)}$$

Teniendo en cuenta dicha corriente, se seleccionó el siguiente interruptor general (ver la figura N° 7.9), y sus características están descritas en la tabla N° 7.9.

Figura N° 7.9: Interruptor automático tripolar 300A, 36 kA, 380V.

Fuente: https://rhona.cl/producto/1166/interruptor-automatico-tripolar.html

Tabla N° 7.9: Características Interruptor Automático Tripolar 300 A, 36 kA, 380V

Marca	**MITSUBISHI ELECTRIC**
Modelo	NF400-CW
Corriente	300 A
Capacidad de ruptura	36 kA
Numero de polos	3

Fuente: Elaboración propia.

En el lado de la C.C., también se debe proteger la instalación, por fallas internas producida por los paneles. Para esto, se debe utilizar un fusible por cada rama, exclusivo para instalaciones fotovoltaicas y para la correcta selección de estos se debe tener en cuenta la corriente máxima del circuito que circula por cada rama, el cual viene dado por 1,2 veces de aquel valor, ver la tabla N° 7.10 y la figura N° 7.10.

Tabla N° 7.10: Fusibles para cada rama del inversor de la instalación FV

Conexión	**Corriente Nominal de Fusible**	**Tensión de Funcionamiento**	**Curva**
1 rama	15 A	1000 Vdc	gPV
2 ramas	15 A	1000 Vdc	gPV
3 ramas	15 A	1000 Vdc	gPV
4 ramas	15 A	1000 Vdc	gPV
5 ramas	15 A	1000 Vdc	gPV
6 ramas	15 A	1000 Vdc	gPV

Fuente: Elaboración propia.

Figura N° 7.10: Fusible Enertik para instalaciones FV.

Fuente: enertik.cl/fusible-solar-10x38mm-gpv-1000v-15a

El fusible que cumple con las características requeridas para este proyecto es el Enertik que es especial para instalaciones fotovoltaicas.

Otro medio de protección que se debe incluir en cada rama o agrupación de paneles es el diodo de bloqueo Schottky. Esto, con motivo de evitar que circulen corrientes inversas producto de grandes sombras que afecten a una rama fotovoltaica determinada.

Por lo cual, se usará un diodo en cada rama que sea capaz de soportar dos veces la corriente de cortocircuito y 2 veces el voltaje de circuito abierto de la misma rama en donde se instalará.

7.9 Medidor de energía bidireccional, set de barras y tablero

El medidor bidireccional es muy parecido al medidor tradicional, lo que lo diferencia es que gira en ambos sentidos. Esta gira al revés, cuando los paneles solares generan electricidad, así la energía que se produce se resta del recibo y debe ir instalado entre el tablero general FV y el tablero general de la empresa. Para ello, se seleccionó un medidor trifásico, marca Schneider (Ver la figura N° 7.11).

Figura N° 7.11: "Medidor de energía Schneider"

Fuente: Schneider-electric-medidor-energía-ratingen (Fecha: 25/03/2020).

Sus principales características:

- Rango de tensión 230 - 400 V.
- Rango de corriente ajustable de 40 - 6000 A.
- Frecuencia 50 - 60 Hz.

Una vez que los conductores llegan a la sala de máquinas, se deben conectar a un tablero general de la instalación FV, en cual tendrá un set de barras para cada una de las fases, el medidor de potencia y las respectivas protecciones mencionadas anteriormente.

7.10 Área requerida para la instalación de los paneles

En la industria se utiliza un ángulo de inclinación para los paneles, que es equivalente a la latitud en la que se encuentra ubicado el sitio. Sin embargo, producto del cambio en la elevación de la eclíptica solar durante el año, se debe considerar la mínima elevación para determinar la distancia mínima entre las líneas de los paneles, así se evitará la proyección de sombra sobre una línea que se encuentra posterior.

Para el sitio en cuestión el sol tiene una elevación de 51,31°. Adicionalmente, los paneles tienen un área de 1.96 x 0.992 m² (ver la figura N° 7.12). Por trigonometría básica se tiene que la distancia es:

$$b = 0.992, \gamma_s = 51.31°, \beta = 27.873$$

$$d_{min} = 1.24 + 5\% \approx 1.31$$

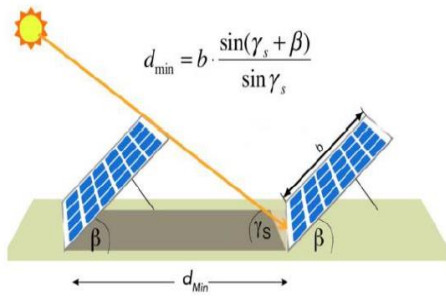


Figura N° 7.12: Grado en la inclinación de los paneles.

Fuente: Elaboración propia.

Cada panel requerirá de un área de 6,25 m², para un total de 420 paneles se requerirá un área de 781,25 m². Revisando el predio desde la herramienta Google Earth, podemos observar que el fundo cuenta con una zona disponible, orientada al norte con un área aproximada de 1.800 m² y que se encuentra en condiciones óptimas para la instalación de los paneles (ver la figura N° 7.13).

Figura N° 7.13: Área instalación paneles.

Fuente: Google Earth, elaboración propia.

En la figura N° 7.14, observamos el perfil de generación versus el consumo del año.

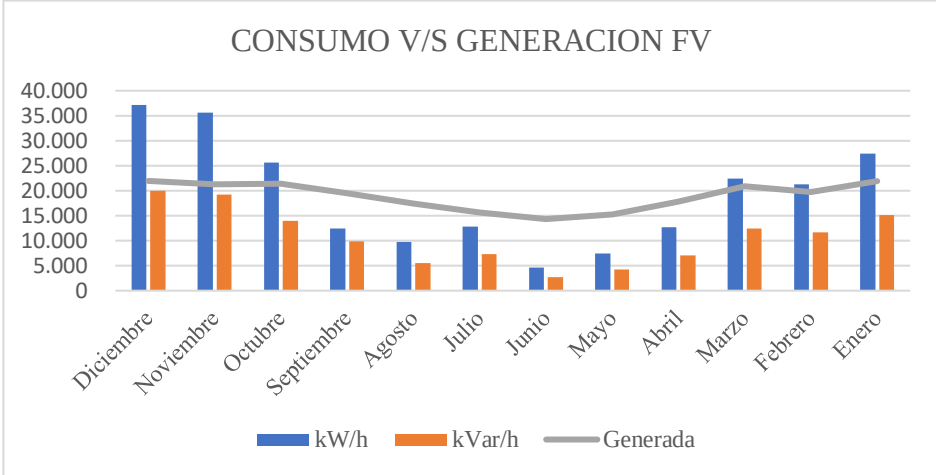


Figura N° 7.14: Generación versus consumo anual.

Fuente: Elaboración propia.

La generación fotovoltaica se hará cargo de los requerimientos de potencia de la planta con algunos excedentes, sin embargo, para lograr una mejora significativa de la potencia reactiva debe ser compensada por la red e idealmente junto a un banco de condensadores.

7.11 Decisión del diseño

La cantidad de paneles solares necesarios para este proyecto es de 420 unidades, y serán distribuidas de forma uniforme en 6 arreglos de 14 paneles por cada uno de los 5 inversores, para llegar a la potencia requerida de 125 kW, esto debido a las características del inversor (máximo 6 strings por MPPT, que regula la salida de los voltajes de los paneles) con una corriente de operación de 9,6 A por MPPT.

La corriente de operación requiere de un voltaje de 583,8 Volts, los que se obtendrán de los 6 **strings** de 14 paneles solares cada uno, recordemos que se consideran cinco inversores para el proyecto, como se muestra en la figura N° 7.15.

$$\text{Arreglo del strings por voltaje: } 14 \text{ x } 41{,}7 = 583{,}8 \text{ Volt.} \quad \textbf{(Ec. N° 7.5)}$$

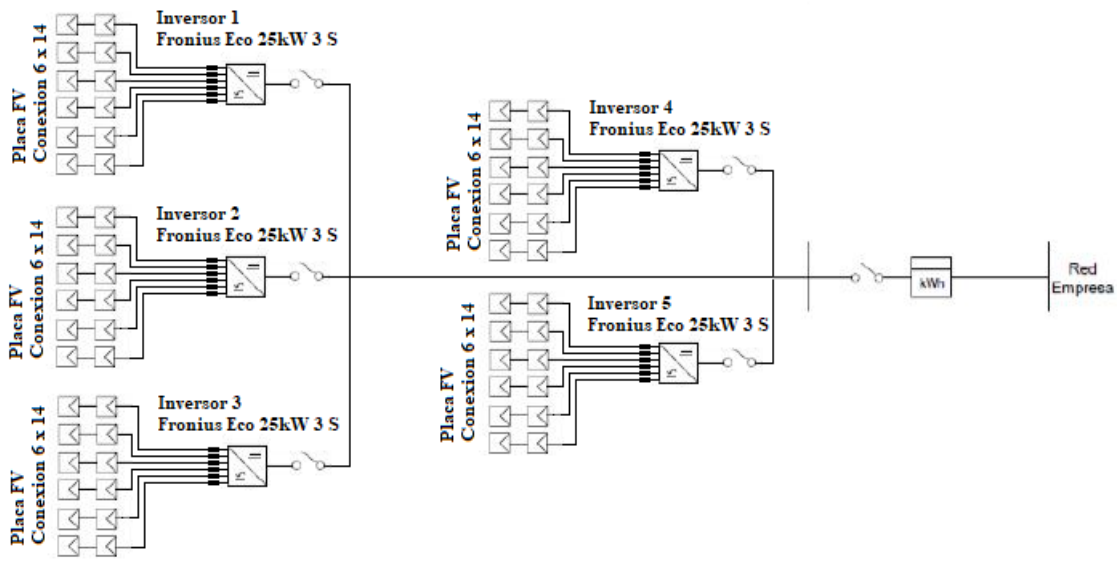


Figura N° 7.15: Conexión del campo generador On Grid.

Fuente: Elaboración propia.

La potencia total suministrada por los 84 paneles para cada inversor es de:

$$41{,}7\ \text{V x } 9{,}6\ \text{A x } 84 = 33{,}63\ \text{kW} \quad \textbf{(Ec. N° 7.6)}$$

Considerando la eficiencia de los paneles y del inversor, se tiene una potencia de salida:

$$33{,}63 \text{ x } 0{,}98 \text{ x } 0{,}988 = 32{,}562\ \text{kW} \quad \textbf{(Ec. N° 7.7)}$$

7.12 Sistema Off Grid

En un sistema off-grid, se deberá considerar la insolación correspondiente al peor mes, para el diseño de los arreglos de los paneles fotovoltaicos que en este caso sería el mes de junio para asegurar que los requerimientos de la carga puedan ser cumplidos.

Se usará el consumo más alto de los motores y la secuencia del trabajo, para lo que se requerirá de dos arreglos de inversores para la bomba principal y las bombas auxiliares,

en base a estos datos y los recabados en el Explorador Solar se realizarán los cálculos necesarios para el sistema fotovoltaico autónomo.

7.13 Decisión del diseño

Para el diseño off grid, se tomará el valor de radiación global más bajos del año 2021 (ver la figura N° 7.16), además se considerarán dos inversores para este proyecto:

Uno para la bomba principal y el segundo para las bombas auxiliares, es importante mencionar que se utilizarán los mismos paneles del sistema On grid.

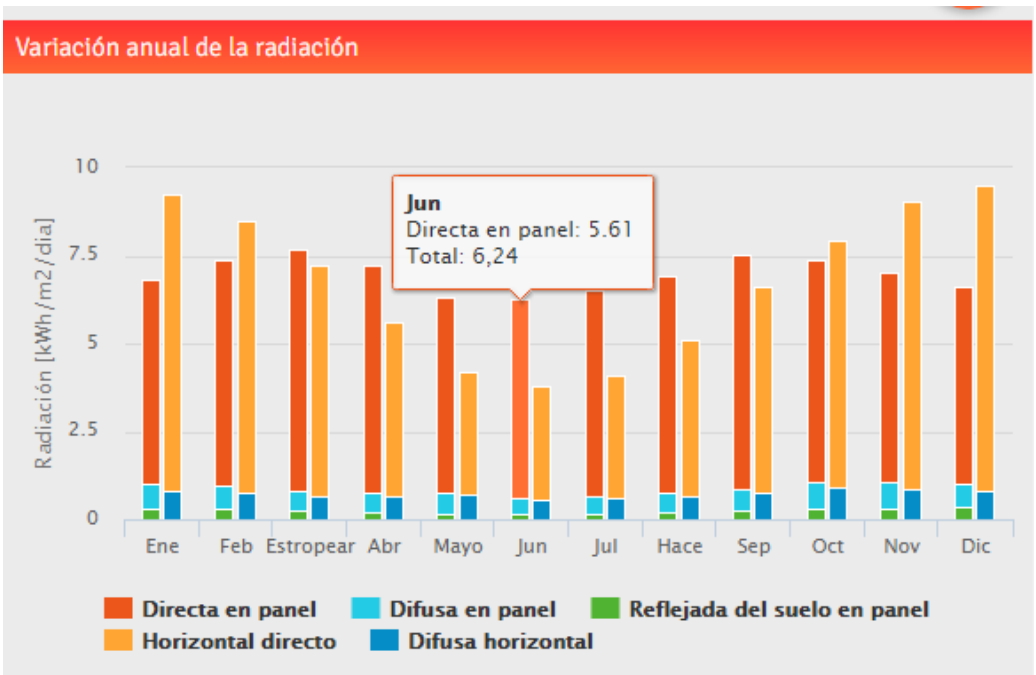


Figura N° 7.16: Radiación Global Horizontal.

Fuente: Explorador solar

Mediante los datos obtenidos por el Explorador Solar que se observan en la figura N° 7.13, se puede calcular la potencia del arreglo del sistema.

7.14 Cálculo planta fotovoltaica N° 1

Para el cálculo de la planta fotovoltaica N° 1, se considerará la potencia diaria que utiliza el motor de bomba principal de 45 kW (ver la tabla N° 6.3 del Capítulo VI), este dato se tomara de las horas de mayor uso, que es en la temporada de verano.

$$\text{Potencia arreglo FV (W)} = \text{Potencia principal x hrs.}$$

$$\text{Potencia arreglo } FV\ (W) = 45.000\ W\ x\ 17hrs$$

$$\text{Potencia arreglo FV (W)} = 765.000\ W \quad \textbf{(Ec. N° 7.8)}$$

7.14.1 Cálculo del número de paneles

Una de las decisiones del proyecto es trabajar con los mismos paneles FV y la potencia que se obtuvo en el sistema On grid.

Para obtener la cantidad de paneles para el sistema Off grid, debemos realizar el siguiente calculo:

- A1 = Cantidad de paneles FV.
- Pa = Potencia arreglo FV (W).
- Fr = Radiación mes de junio.
- Pfv = Potencia Panel fotovoltaico

$$\text{A1} = \frac{\text{1.2 x Pa}}{\text{Fr x Pfv}}$$

$$A1 = \frac{1.2 \text{ x } 765.000}{6.24 \text{ x } 400} = 368 \qquad \textbf{(Ec. N° 7.9)}$$

Según este cálculo con 368 paneles, se logrará cubrir el consumo diario para la bomba principal.

7.14.2 Selección del inversor

Se elegio el inversor Hibrido Bluesun 50 kW, que cumple con las necesidades del consumo de la bomba principal, y cuenta con la última tecnología. Este producto está aprobado por la ISO9001/14001, TUV, UL, CE& CSA (Ver la figura N° 7.17 y la tabla N° 7.11).

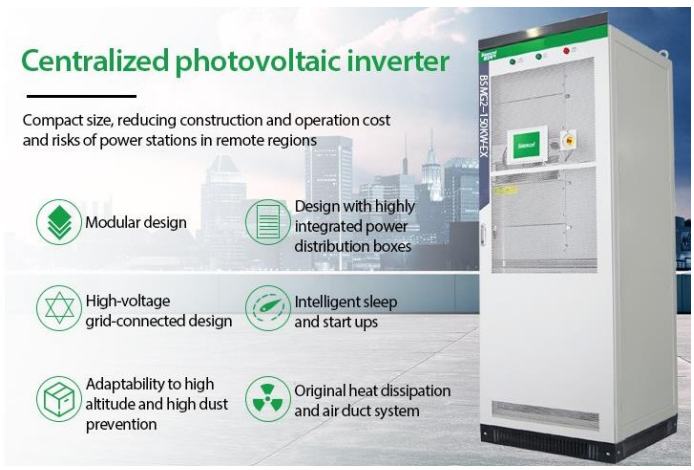


Figura N° 7.17: Bluesun 50kw Inversor Solar Trifásico Híbrido

Fuente: https://es.bluesunpv.com/bluesun-good-quality-50kw-solar-inverter-3-phase-industrial-on-off-grid-hybrid-inverter_p286.html

Tabla N° 7.11: Características el inversor hibrido Bluesun 50kW.

Modelo	Bsmg2-50k-ex
Rango de voltaje de la batería	250 ~ 520 V
Batería dc max current	150 A
Rango de voltaje de PV	520 ~ 900 V (Mppt 520 V ~ 800 V)
PV dc. corriente máxima	192 A
Voltaje de salida de CA	400v (± 10% configurable)
Corriente de salida de ca	72 A (Máx. 79 A)
Potencia nominal de salida ac	50 kW
Ac pf	0.8 ~ 1 adelantado o retrasado (controlable)
Frecuencia de CA	50 / 60 Hz
Tamaño (w * h * d)	800 * 2160 * 800 mm
Peso	520 Kg / 750 Kg

Fuente: Elaboración propia.

7.14.3 Cálculo para la cantidad de baterías

Para el cálculo de las baterías, lo primero es determinar el tipo de baterías que se necesitan, en este caso se usaran baterías de ciclo profundo, dato necesario para el diseño del proyecto.

Ah = Es la capacidad nominal de la batería. Indica que puede suministrar un determinado número de amperios durante una hora hasta descargarse por completo.

- Consumo bomba principal = 765 (kW/h).
- Voltaje de diseño = 385 Vdc.
- Amperaje de la batería = 150 Ah.

Cálculos:

$$\text{Cantidad de batería arreglo} = \frac{\text{Consumo x Día}}{\text{Voltaje de diseño x Amperaje de bateria}}$$

$$\text{Cantidad de batería arreglo} = \frac{765.000\ \text{W}}{385\ \text{V x}\ 150\ \text{Ah}}$$

$$\text{Cantidad de batería arreglo} = 13 \qquad \textbf{(Ec. N° 7.10)}$$

7.14.4 Cálculos para las conexiones serie y paralelo de las baterías

$$\text{Conexión en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje batería}} = \frac{385\ \text{V}}{12\ \text{V}} = 32\ \text{Baterias.}$$

$$\text{Conexión en Paralelo} = \text{Batería serie x Cantidad de batería del arreglo}$$

$$\text{Conexión en paralelo} = 32\ \text{x}\ 13 = 416 \qquad \textbf{(Ec. N° 7.11)}$$

El banco de baterías de ciclo profundo deberá abastecer la carga consistente con la capacidad energética requerida, las baterías en este caso no serán capaces de absorber el pick de partida del motor de la bomba principal, por lo cual, se integrará al sistema de conexión de encendido del motor por un variador de frecuencia de 60 Hp, para minimizar el pick de partida de la bomba.

7.15 Cálculo de la planta fotovoltaica N° 2

El objetivo de la planta fotovoltaica N° 2, es abastecer las potencias de las bombas auxiliares, según las secuencias de trabajo de cada bomba sin olvidar la bomba del aditivo, para esto se considerará el tiempo de trabajo diario de la bomba de mayor potencia según

se detalle en la tabla N° 6.3 (Capítulo VI), se tomarán las horas de mayor uso, que se dan en la temporada de verano.

7.15.1 Datos de consumo por horas

Estos datos se utilizarán para realizar el cálculo la planta fotovoltaica N° 2 (Ver la tabla N° 7.12)

Tabla N° 7.12: Consumos para el calculo de la planta FV N° 2.

Tipo de bombas	Capacidad (W)	Hrs	Total, uso en W/h
Bomba auxiliar B	18.500 W	5 Hrs	92.500 W/h
Bomba aditiva	1.100 W	1 Hrs	1.100 W/h
Potencia arreglo FV		**Total**	**93.600 W/h**

Fuente: Elaboración propia

7.15.2 Cálculo para la cantidad de paneles

Como ya se mencionó, se trabajará con los paneles FV y la potencia que se obtuvo en el sistema On grid.

Para obtener la cantidad de paneles para el sistema fotovoltaico N° 2, se debe realizar el siguiente calculo:

- A2 = Cantidad de paneles FV.
- Pa = Potencia arreglo FV (W/h).
- Fr = Radiación mes de junio.
- Pfv = Potencia Panel fotovoltaico (W)

$$A2 = \frac{1.2 \text{ x } Pa}{Fr \text{ x } Pfv}$$

$$A2 = \frac{1.2 \text{ x } 93.600}{6.24 \text{ x } 400} = 45 \qquad \textbf{(Ec. N° 7.12)}$$

Con este cálculo, se obtuvo 45 paneles lo cuales lograrán cubrir el consumo diario para las bombas auxiliares.

7.15.3 Selección del inversor N°2:

Se eligió un inversor que cumpla con todas las necesidades de los consumos de las bombas auxiliares, además de contar con una gran calidad y seguridad, la que es brindada por el Inversor Híbrido ATESS HPS20000TL (Ver la figura N° 7.18 y la tabla N° 7.13).

Figura N° 7.18: ATESS HPS20000TL Inversor Solar Trifásico.

Fuente: https://www.atesspower.com/Product/Energy/Hybrid/156.html

Tabla N° 7.13: Características el inversor híbrido ATESS 20kW.

Modelo	HPS20000TL
Apparent power	25 kVA
Rated power	20 kW
Rated voltage	400 V
Rated current	28.8 A
Rated frequency	50/60 Hz
Max. PV Open-circuit voltage	1000 V
PV MPPT voltage range	230V – 850 V
Battery voltage range	230 ~ 720 V
Max. charge/discharge power	30 kW
Max. charge/discharge current	50 A
Dimension (W/H/D)	600/975/305 mm

Fuente: Elaboración propia

7.15.4 Cálculo de cantidad de baterías

Para el cálculo de las baterías, ya sabemos que lo primero es determinar el tipo de baterías que se necesitan, al igual que el punto anterior se usaran las baterías de ciclo profundo.

Cálculos:

- Consumo bomba principal = 93,6 (kW/h).
- Voltaje de diseño = 475 Vdc.
- Amperaje de la batería = 50 Ah.

$$\text{Cantidad de batería arreglo} = \frac{\text{Consumo x Día}}{\text{Voltaje de diseño x Amperaje de batería}}$$

$$\text{Cantidad de batería arreglo} = \frac{93.600\ \text{W}}{475\ \text{V x}\ 50\ \text{Ah}}$$

$$\text{Cantidad de baterías por arreglo} = 4 \qquad \textbf{(Ec. N° 7.13)}$$

7.15.5 Cálculos para las conexiones serie y paralelo de las baterías

$$\text{Conexion en serie} = \frac{\text{Voltaje del sistema}}{\text{Voltaje batería}} = \frac{475\ \text{V}}{12\ \text{V}} = 39\ \text{Baterías.}$$

$$\text{Conexion en Paralelo} = \text{Batería serie x cantidad de batería del arreglo}$$

$$\text{Conexion en paralelo} = 39\ \text{x}\ 4 = 156 \qquad \textbf{(Ec. N° 7.14)}$$

El banco de baterías de ciclo profundo deberá abastecer la carga consistente con la capacidad energética requerida, el ciclo de las baterías no será capaz de absorber el pick de partida de los 4 motores de las bombas auxiliares, por lo cual, se integrará al sistema de conexión del encendido del motor un variador de frecuencia de 25 Hp para minimizar el pick de partida de cada bomba auxiliar.

7.15.6 Área requerida para la instalación de los paneles

El área necesaria por panel, que no produzca sombra sobre filas anteriores, es de 2.57 m², por lo tanto, se requiere de un terreno de 2.698,5 m² para la instalación de los paneles solares. Mediante la aplicación de **Google Earth** se puede observar un terreno disponible aproximado de 3.740 m², debido a las dimensiones del Fundo es posible la instalación de esta planta generación.

Figura N° 7.19: Terreno proyectado para la instalación de los paneles y banco de baterías.

Fuente: Google Earth.

7.16 Generador eléctrico

Uno de los recursos naturales renovables con mayor abundancia en la Región de Atacama es el sol, sin embargo, también disponemos de alternativas de generación de energía que pueden ayudar al Fundo a bajar el consumo de electricidad de la red, como los generadores de electricidad a diésel.

Un generador es una máquina eléctrica rotativa que transforma energía mecánica en energía eléctrica mediante la combustión a diésel. No es una energía limpia, pero ayudaría a lograr el objetivo del Fundo.

7.16.1 Dimensionamiento de un sistema de generación Diésel

Cálculo y diseño de una instalación de generación de energía eléctrica por medio de un generador diésel para alimentar los consumos ya mencionados anteriormente. Este

sistema nos ayudara a generar electricidad mediante la combustión a Diésel, por periodos de 10 horas por día en invierno y 17 horas por día en verano.

7.16.2 Elección del generador

Para elegir el grupo generador se debe conocer la potencia demandada por el sistema, el consumo del combustible (litros por hora), los repuestos disponibles, el servicio técnico disponible en la región y la oferta existente en el mercado nacional.

Una de las opciones encontradas, es un generador modelo GA110CLD, Marca Vielco a diésel, con las siguientes características (Ver la figura N° 7.20 y la tabla N° 7.14):

Figura N° 7.20: Grupo generador Vielco GA110CLD

Fuente: vielco.com/chile/generadores/209-generador-gs110clc.html

Tabla N° 7.14: Características Generador Vielco Diésel modelo GA110CLD

Marca motor a diésel	Cummins
Frecuencia Hz	50
Potencia Max. (kVA/kW)	100/80
Tensión nominal (V)	400
Capacidad estanque	250 lts
Consumo (L/H)	18
Numero de fase	Trifásica – 380 V

Fuente: Elaboración propia.

Los grupos electrógenos Olympian ofrecen soluciones de energía confiables para todas las empresas y necesidades. Ofrecen energía confiable, limpia y económica, incluso en las condiciones más exigentes (Ver la figura N° 7.21 y las tabla N° 7.15).

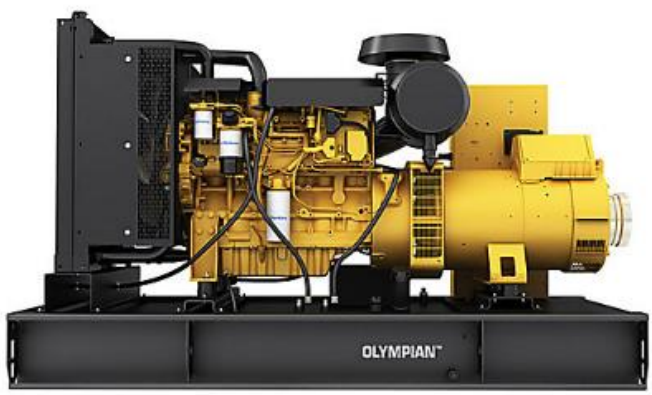


Figura N° 7.21: Grupo Generador Cat Olympian GEP125-1

Fuente:https://www.cat.com/es_MX/products/new/power-systems/electric-power/olympian-generator-sets/1000021272.html

Tabla N° 7.15: Características Generador Cat Olympian GEP125-1

Marca motor a diésel	Perkins™ 1104C-44TAG2
Frecuencia Hz	50
Potencia Max. (kVA/kW)	110/88
Velocidad	1500/1800 rpm
Tensión nominal (V)	380/220
Capacidad Estanque (Lts.)	250
Consumo (L/H)	30
Numero de fase	Trifásica

Fuente: Elaboración propia.

Los grupos electrógenos KOHLER-SDMO Power Products ofrecen una respuesta energética a todas las necesidades de electricidad entre 7.5 y 4200 kVA. Y estan destinados a un uso industrial, abarcan un amplio campo de aplicación y ofrecen una vasta paleta de opciones y equipos adicionales para adaptarse perfectamente a cualquier configuración (ver la figura N° 7.22 y la tabla N° 7.16).

Figura N° 7.22: Grupo Generador Kohler SDMO J110K

Fuente: https://lureye.cl/producto/grupo-generador-j110k/

Tabla N° 7.16: Características Grupo Generador J110K

Marca motor a diésel	John Deere 4045HF120
Frecuencia Hz	50
Potencia Max. (kVA/kW)	110/88
Tensión nominal (V)	380/220
Capacidad Estanque (Lts.)	190
Consumo (L/H)	16,5
Numero de fase	Trifásica

Fuente: Elaboración propia.

7.17 Limitaciones

Los generadores diésel tiene limitación de funcionamiento continuo de hasta aproximadamente de 500 Hrs al año (igual a 20,83 días) de los cuales no más de 300 horas serán de uso continuo (igual a 12,5 días) en condiciones operativas y con intervalos de mantención establecidos por el fabricante.

El consumo de combustible varia por los lts/hora, y sus capacidades de estanque varían de 190 a 250 lts y cuenta con autonomía de aproximadamente 13,8 Hrs continuas.

7.18 Elección del generador para el proyecto

Una vez realizado el estudio de las características de los grupos generadores se puede elegir la mejor opción para el proyecto, que en este caso sería: el generador marca Vielco GA110CLD.

CAPITULO VIII

ESTRUCTURA DE EVALUACIÓN

8.1 Introducción

Realizado el estudio de la demanda y los dimensionamientos correspondientes, entonces podemos indicar que contamos con la proyección del consumo para cada año. Por lo que, con estos datos podemos calcular las necesidades de generación para cada sistema, estimando su inversión, costos de operación y mantenimiento para cada sistema a lo largo de 20 años, que es el tiempo recomendado para este tipo de proyectos. Con una tasa de descuento del 10%, se calcula el costo total actualizado de las diferentes alternativas.

8.2 Estructura de costos

Para el inicio del proyecto se estima un costo de inversión y a lo largo de los años se calculan costos de operación y mantenimiento, así como nuevas inversiones dependiendo de la vida útil de cada equipo o artefacto. Por lo que, para los 3 sistemas se estima lo siguiente:

- **Costo Inversión:** Costo de la inversión necesaria a lo largo del tiempo de evaluación.
- **Costo Mantenimiento del Sistema:** Costo que principalmente se refiere al uso del generador Diésel, tomando en cuenta un 20 % del costo total del generador sin IVA repartidos durante su vida útil.
- **Sueldo Operario:** Se considera el sueldo mínimo, el cual para fines de nuestros cálculos no se consideran ya que los 4 sistemas dependen de un operario. Este operario es el capataz del fundo, el cual administra el sistema de riego, por lo que no genera diferencias en los costos de operario entre cada sistema.

- **Costo Diésel:** El costo del combustible Diesel se toma inicialmente a $624 / litro (15/06/21) con una tasa de incremento anual del 2%.

Tabla N° 8.1: Costo económico del Generador Diesel.

EMPRESA	EQUIPOS	CANT.	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
Vielco	Modelo GA110CLD a Diésel	1	$10.781.400	$ 10.781.400
			IVA 19%	$ 2.048.466
			TOTAL, A PAGO	**$ 12.829.866**
SUB-TOTAL A PAGAR			$	12.829.866
IMPREVISTOS (2% del subtotal)			$	256.597
TOTAL, A PAGAR POR EL SIST DEL GEN. Diesel			**$**	**13.086.463**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 8.2: Costo económico mensual del Generador Diesel.

Mes	Generación de energía kWh.	Litros de combustible (L)	Gastos en combustibles $ x L
Enero	364	10706	$ 6.680.544
Febrero	364	10706	$ 6.680.544
Marzo	364	10706	$ 6.680.544
Abril	220	6471	$ 4.037.904
Mayo	220	6471	$ 4.037.904
Junio	220	6471	$ 4.037.904
Julio	220	6471	$ 4.037.904
Agosto	220	6471	$ 4.037.904
Septiembre	220	6471	$ 4.037.904
Octubre	364	10706	$ 6.680.544
Noviembre	364	10706	$ 6.680.544
Diciembre	364	10706	$ 6.680.544
TOTAL	**3504**	**103062**	**$ 64.310.688**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 8.3: Costo económico del Generador Diesel proyectada a 20 años.

AÑO	CONSUMO kWh	INVERSION	COSTO MANTENCION ANUAL	CONSUMO DIESEL	PRECIO DIESEL (Incremento 2%)	COSTO ANUAL DIESEL	VALOR TOTAL
0	0	$13.086.463	$ 238.400	0	$ 624,00	$ -	$ 13.324.863
1	3504		$ 2.856.000	103062	$ 636,48	$ 65.596.902	$ 68.452.902
2	3504		$ 2.856.000	103062	$ 649,21	$ 66.908.840	$ 69.764.840
3	3504		$ 6.704.960	103062	$ 662,19	$ 68.247.017	$ 74.951.977
4	3504		$ 2.856.000	103062	$ 675,44	$ 69.611.957	$ 72.467.957
5	3504		$ 2.856.000	103062	$ 688,95	$ 71.004.196	$ 73.860.196
6	3504		$ 6.704.960	103062	$ 702,73	$ 72.424.280	$ 79.129.240
7	3504		$ 2.856.000	103062	$ 716,78	$ 73.872.766	$ 76.728.766
8	3504		$ 2.856.000	103062	$ 731,12	$ 75.350.221	$ 78.206.221
9	3504		$ 6.704.960	103062	$ 745,74	$ 76.857.225	$ 83.562.185
10	3504		$ 2.856.000	103062	$ 760,65	$ 78.394.370	$ 81.250.370
11	3504		$ 2.856.000	103062	$ 775,87	$ 79.962.257	$ 82.818.257
12	3504		$ 6.704.960	103062	$ 791,38	$ 81.561.502	$ 88.266.462
13	3504		$ 2.856.000	103062	$ 807,21	$ 83.192.732	$ 86.048.732
14	3504		$ 2.856.000	103062	$ 823,35	$ 84.856.587	$ 87.712.587
15	3504		$ 6.704.960	103062	$ 839,82	$ 86.553.719	$ 93.258.679
16	3504		$ 2.856.000	103062	$ 856,62	$ 88.284.793	$ 91.140.793
17	3504		$ 2.856.000	103062	$ 873,75	$ 90.050.489	$ 92.906.489
18	3504		$ 6.704.960	l103062	$ 891,23	$ 91.851.499	$ 98.556.459
19	3504		$ 2.856.000	103062	$ 909,05	$ 93.688.529	$ 96.544.529
20	3504		$ 2.856.000	103062	$ 927,23	$ 95.562.299	$ 98.418.299

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 8.4: Costo económico del sistema Off – Grid.

EMPRESA	EQUIPOS	CANT.	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
Tritec	Panel Jinko solar 400w	413	$ 138.540	$ 57.217.020
Bluesen	Inversor Hibrido solar 50kW Trifásico Industrial. (proyecto 1)	1	$ 9.718.374	$ 9.718.374
Atess	Inversor Hibrido ATESS HPS 20000TLS 20kW (Proyecto n°2)	1	$ 3.887.350	$ 3.887.350
Punto solar	Batería AGM – Ultracell - 12volt 200Ah	416	$ 294.000	$122.304.000
Punto solar	Batería AGM – Curtiss – 12volt 150Ah	156	$ 205.000	$ 31.980.000
Natura Energy	Kit de estructura (para 28 Paneles) 400 W	15	$ 999.990	$ 14.999.850
			TOTAL, A PAGAR CON IVA INCLUIDO	**$240.106.594**

EMPRESA	MONTAJE, MATERIALES Y PROTECCIONES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
Heliplat	Cable Solar 4MM² x mts	350	$ 880	$ 308.000
Comercial Larrain	Cable Superflex 1AWG 1KV Negro	240	$ 4.476	$ 1.074.240
Vitel Energy	Fusible 25A gp	40	$ 713	$ 28.520
Rhona	Diferencial	2	$ 273.000	$ 546.000
Rhona	Interruptor Automático General	2	$ 990.990	$ 1.981.980
Rhona	Interruptor Automático por Inversor	2	$ 94.990	$ 189.980
Eecol	Variador 45 kW	1	$ 2.224.602	$ 2.224.602
Eecol	Variador 18,5 kW	3	$ 249.000	$ 747.000
			TOTAL, IVA INCLUIDO	**$ 7.100.322**

SERVICIOS PRESTADOS	DIÁS	MONTO
Costos mano de obra y otros	30	$ 3.000.000
IVA 19%		$ 570.000
TOTAL, A PAGAR		**$ 3.570.000**

SUB-TOTAL A PAGAR	**$**	**250.776.916**
IMPREVISTOS (2% del sub-total)	**$**	**5.015.538**
UTILIDADES DEL INSTALADOR (15% del sub-total)	**$**	**37.616.537**
TOTAL, A PAGAR POR EL SISTEMA FOTOVOLTAICO	**$**	**293.408.992**

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 8.5: Costo económico del sistema Off – Grid proyectada a 20 años.

AÑO	CONSUMO - kWh	GASTO ANUAL DE ENERGIA	INVERSION	RECUPERACION INVERSION FV OFF - GRID
0			$ 293.408.992	
1	229620	31327986		$ 262.081.006
2	229620	31954546		$ 230.126.460
3	229620	32593637		$ 197.532.823
4	229620	33245509		$ 164.287.314
5	229620	33910420		$ 130.376.894
6	229620	34588628		$ 95.788.266
7	229620	35280401		$ 60.507.866
8	229620	35986009		$ 24.521.857
9	229620	36705729		$ -12.183.871
10	229620	37439843	$ 154.284.000	$ 104.660.286
11	229620	38188640		$ 66.471.645
12	229620	38952413		$ 27.519.232
13	229620	39731461		$ -12.212.229
14	229620	40526090		$ -52.738.319
15	229620	41336612		$ -94.074.931
16	229620	42163344		$ -136.238.276
17	229620	43006611		$ -179.244.887
18	229620	43866744		$ -223.111.631
19	229620	44744078		$ -267.855.709
20	229620	45638960	$ 293.408.992	$ -20.085.677

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N° 8.6: Costo económico del sistema On – Grid.

EMPRESA	EQUIPOS	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
Tritec	Inversor Fronius Eco 25kw	5	$ 3.859.867	19.299.335
Kuhn	Panel Jinko solar 400w	325	$ 149.391	48.552.075
Natura Energy	Kit estructura (para 28 paneles) de 400 W	12	$ 999.990	$11.999.880
			TOTAL, A PAGAR CON IVA INCLUIDO	**$79.851.290**

EMPRESA	MONTAJE, MATERIALES Y PROTECCIONES	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
Heliplat	Cable solar 4MM²	300	$ 880	$ 264.000
Comercial Larrain	CABLE RV-K MULTI 4X 8 AWG 1KV	250	$ 6.315	$ 1.578.750
Rhona	Interruptor Automático Tripolar 300A 36kA 380V	1	$ 314.452	$ 314.452
Eecol	Interruptor Automático 3P 50A C 15kA S203P - ABB	5	$ 89.782	$ 448.910
Rhona	Relé diferencial Vigerex RH tipo	1	$ 204.104	$ 204.104
Aquito Solar	Medidor de energía bidireccional 0 a 600A trifásico	1	$ 339.605	$ 339.605
Dartel	Tablero general Schneider 1000x800x500	1	$ 353.000	$ 353.000
Dartel	Tablero 400x300x200	4	$ 25.990	$ 103.960
Comercial Larrain	Pvc conduitc 2 ¼	60	$ 9.233	$ 553.980
Dmu Energy	Proteccion de CC 32ª	5	$ 13.990	$ 69.950
Vitel Energy	Fusible 25ª	30	$ 713	$ 21.390
			TOTAL, IVA INCLUIDO	**$ 4.252.101**

	TRAMITES DE LEGALIZACION DEL SISTEMA	UF	PESOS
CGE	Tramites y puesta en servicio (Iva incluido)	3,46	$ 102.104
		TOTAL	**$ 102.104**

SERVICIOS PRESTADOS		DIÁS	MONTO
Costos mano de obra y otros		10	$ 3.000.000
		IVA 19%	$ 570.000
		TOTAL, A PAGAR	**$ 3.570.000**

SUB-TOTAL A PAGAR	**$**	**87.775.495**
IMPREVISTOS (2% del sub-total)	**$**	**1.755.510**
UTILIDADES DEL INSTALADOR (15% del sub-total)	**$**	**13.166.324**
TOTAL, A PAGAR POR EL SISTEMA FOTOVOLTAICO	**$**	**102.697.329**

COSTO DEL EMPALME TRIFASICO	**$**	**847.426**
COSTO TOTAL IMPLEMENTACION SISTEMA ON-GRID	**$**	**103.544.755**

Fuente: Elaboracio propia.

Tabla N° 8.7: Costo económico del sistema On– Grid proyectada a 20 años.

AÑO	CONSUMO - kWh	INVERS RED MAS INVERSION FOTOVOLTAICA	GASTO ANUAL DE ENERGIA DE RED ELECTRICA	GASTO ANUAL DE ENERGIA C/APORTE FV	VALOR TOTAL
0		$ 103.544.755			
1	229620	$ 88.745.142	$ 31.327.986	$ 14.799.613	$16.528.373
2	229620	$ 73.649.537	$ 31.954.546	$ 15.095.605	$16.858.940
3	229620	$ 58.252.020	$ 32.593.637	$ 15.397.517	$17.196.119
4	229620	$ 42.546.552	$ 33.245.509	$ 15.705.468	$17.540.042
5	229620	$ 26.526.975	$ 3.910.420	$ 16.019.577	$17.890.842
6	229620		$ 4.588.628	$ 16.339.969	$18.248.659
7	229620		$ 35.280.401	$ 16.666.768	$18.613.633
8	229620		$ 35.986.009	$ 17.000.103	$18.985.905
9	229620		$ 36.705.729	$ 17.340.105	$19.365.623
10	229620		$ 37.439.843	$ 17.686.908	$19.752.936
11	229620		$ 38.188.640	$ 18.040.646	$20.147.994
12	229620		$ 38.952.413	$ 18.401.459	$20.550.954
13	229620		$ 39.731.461	$ 18.769.488	$20.961.973
14	229620		$ 40.526.090	$ 19.144.878	$21.381.213
15	229620		$ 41.336.612	$ 19.527.775	$21.808.837
16	229620		$ 42.163.344	$ 19.918.331	$22.245.014
17	229620		$ 43.006.611	$ 20.316.697	$22.689.914
18	229620		$ 43.866.744	$ 20.723.031	$23.143.712
19	229620		$ 44.744.078	$ 21.137.492	$23.606.587
20	229620		$ 45.638.960	$ 1.560.242	24.078.718

Fuente: Elaboración propia.

8.3 Valor actual neto (VAN) de los cuatro sistemas

Tabla N° 8.8: Valor Actual Neto (VAN) de los diferentes sistemas.

SISTEMA	VALOR ACTUAL NETO (VAN)
Generador Diesel	$ 13.086.463
Off – Grid	$293.408.992
On - Grid	$103.544.755
Red (Existente anual)	$ 31.327.986

Fuente: Elaboración propia

8.4 Tablas comparativas

Tabla N° 8.9: Suministro de la red eléctrica.

SUMINISTRO RED ELECTRICA.	
VENTAJAS	**DESVENTAJAS**
• Bajo costo de contratación de este servicio, puesto que, en este caso, contamos con que la red de media tensión de la compañía cruza por en medio del fundo Palo Blanco, por lo que la inversión en mínima. • Una vez contratado el servicio de la compañía eléctrica CGE, derechos de conexión S/E compañía y empalme trifásico, solo se necesita pagar el costo de consumo para mantener el servicio mes a mes. • No necesita mantenimiento por parte del cliente. • El suministro de la compañía es fijo y constante, no suelen haber cortes de suministro.	• Aunque nuestro calendario de regadío anual, hay meses donde no tenemos consumos, sé debe pagar un monto mínimo (cago fijo más el despacho postal). • No existen mayores desventajas.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8.10: Sistema fotovoltaico On-Grid

SISTEMA FOTOVOLTAICO ON-GRID	
VENTAJAS	**DESVENTAJAS**
• Al estar conectado a la Red, tenemos las mismas ventajas de esta. • Su principal ventaja es el ahorro, mientras que este sistema genera, lo que genera lo dejamos de consumir, por lo que requerimos de la compañía solo es el complemento de lo que nosotros generamos. • En las horas que este sistema no genere o no genere lo suficiente, contamos con el suministro de la red en todo momento. • En horas o épocas de no regadío, la energía que se genera se le vende a la compañía. • Aunque se tarda 5 años, se recuperan los altos costos de inversión. • Al ser una ERNC, ayuda a disminuir la huella de carbono, esto le otorga un plus al producto (uva) lo que expande el mercado en el extranjero de este.	• Depende de un empalme, debe de estar conectado a la Red. Por lo tanto, se le suman los costos de conexión al servicio. • Altos costos de inversión en los equipos de este sistema. • Se tarda unos años en recuperar la inversión. • Necesita mantención de parte del cliente para mantener la superficie de los paneles limpia (aunque la limpieza es fácil de hacer y no tiene costos marginales).

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8.11: Sistema fotovoltaico Off-Grid.

SISTEMA FOTOVOLTAICO OFF-GRID	
VENTAJAS	**DESVENTAJAS**
• Al ser una instalación aislada (o en isla) no necesita o no depende de un suministro (la red) por lo que no tiene costos asociados a esto. • La mayor ventaja que presenta este sistema es la completa independencia de la compañía eléctrica, el suministro eléctrico es completamente propio e independiente. • Al ser una ERNC, ayuda a disminuir la huella de carbono, esto le otorga un plus al producto (Uva) lo que expande el mercado en el extranjero.	• La mayor desventaja es el alto costo de inversión, aún más que el sistema On-Grid, puesto que los equipos cuestan más y se debe considerar el banco de baterías, que llega a ser un costo considerable. • Las baterías son el punto débil de estos sistemas, puesto que su vida útil es de 10 años aproximadamente, por lo que se debe hacer un recambio de banco de baterías en este periodo. • La mantención de este sistema es la misma que del sistema anterior, mantener limpio los paneles fotovoltaicos, pero también la inspección visual de los terminales de las baterías, controlando la sulfatación, pero se mantiene como un costo de mantenimiento marginal. • Se demora varios años en recuperar los altos costos de la inversión.

Fuente: Elaboración propia

8.5 Elección del suministro adecuado

El objetivo de estudiar cada uno de estos cuatro sistemas, fue el disminuir los costos asociados al consumo eléctrico de la demanda del sistema de regadío ya existente, basándose solo en este criterio, y como podemos observar en los resultados que arroja el análisis económico, es claro que el Sistema Fotovoltaico On-Grid es el más adecuado, ya que es el más económico en los 20 años proyectados (casi 25 años aprox.).

En relación del criterio de las ventajas y desventajas de estos cuatro sistemas propuestos, también se elige al Sistema Fotovoltaico On-Grid, por todas sus ventajas asociadas:

- Fiabilidad del suministro (cuenta con el respaldo de la red eléctrica en todo momento).
- Bajo mantenimiento.
- Se recupera los costos de inversión en él tiempo.

Por lo mencionado es la mejor opción desde el punto de vista de ambos criterios. La mayor ventaja que se obtiene es la red existente en el fundo, esto hace que la inversión en los servicios de conexión sea mínima. En caso contrario, si el fundo hubiese quedado muy apartado de la red, el costo se habría elevado en proporción a la distancia que los separa. En ese caso, los análisis de costo de las propuestas de sistema On-Grid y Suministro de la Red, arrojaría ser mucho menos económicas, y habrían dado lugar a que los Sistemas Off-Grid y Generador Diesel sean más factibles (económicamente).

CAPITULO IX
CONCLUSIONES

Realizados los estudios para lograr el objetivo del Fundo Palo Blanco podemos establecer que el Norte Chileno, específicamente la ciudad de Copiapó presenta las características idóneas para la implementación, aprovechamiento y desarrollo de la energía solar fotovoltaica.

Logramos evidenciar que el valor del precio de inyección de energía fotovoltaica entregada a la red eléctrica es siempre menor al valor del precio de compra. Por lo que, es más conveniente concentrar la mayor cantidad de demanda energética fotovoltaica en las horas de sol, cuando el sistema está en operación, en vez de venderla a la empresa eléctrica.

Además, se pudo conocer en profundidad todo lo relacionado a los sistemas fotovoltaicos, desde la base de la generación, hasta el dimensionamiento de un sistema completo y adaptándose a las necesidades de la carga, además se pudo estudiar las ventajas y desventajas de cada sistema.

Una de las desventajas que se tuvo que enfrentar, fue la elección del inversor híbrido para el sistema Off-Grid, debido a la cantidad de potencia requerida (50kW), por lo que se observó que en el mercado internacional existe limitación con respecto a la cantidad de empresas que fabrican este tipo inversores.

El objetivo principal era conocer cuál es el sistema más económico para el regadío del Fundo Palo Blanco, sin embargo, en la facturación observamos cobros extras por concepto de potencias reactivas, para bajar las mismas se propone el uso de variadores de frecuencia para todas las bombas (principal y auxiliares), para así evitar la sobre carga en los peak de partida de cada motor.

Al mismo tiempo, se determina que el factor más importante del proyecto es el tiempo, ya que en la medida que van pasando los años se va pagando la inversión realizada, recordemos que la vida útil de los equipos (paneles, inversores híbridos, etc., exceptuando las baterías) dadas por los fabricantes, son superiores a los 20 años (de 20 a 25 años aprox.).

En conclusión, el sistema más factible económicamente y de fiabilidad de trabajo constante para el fundo “Palo Blanco”, es el Sistema Fotovoltaico On-grid, por todas sus características y sus ventajas descritas.

BIBLIOGRAFÍA

- https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/srren_report_es-1.pdf
- Inicio de soporte (custhelp.com) miércoles 2 de marzo de 2020.
- https://www.se.com/cl/es/product-category/1500-contactores-y-rel%C3%A9s-de-protecci%C3%B3n/?filter=business-4-distribuci%C3%B3n-el%C3%A9ctrica.
- https://emea.mitsubishielectric.com/es/products-solutions/factory-automation/index.html
- https://www.heliplast.cl/
- Ley Netbilling 21.118 en reemplazo de la Ley 21.571, https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1125560
- Nuevo Reglamento de seguridad de las instalaciones de consumo de energía eléctrica – DS 08, antigua Norma Eléctrica NCH Elec. 4/2003.
- Página Web de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC), https://www.sec.cl/
- Instrucción Técnica RGR N°02/2020, Diseño y Ejecución de las Instalaciones Fotovoltaicas Conectadas a Redes de Distribución.
- Explorador Solar, página Web https://solar.minenergia.cl/inicio