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

ESTUDIO DE PREFACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE IMPLEMENTACIÓN Y MANTENIMIENTO DE UN SISTEMA FOTOVOLTAICO EN ESTACIÓN DE SERVICIOS SHELL EN COMUNA DE SAN FELIPE

Trabajo de Titulación para optar al Título de ING en MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Alumno:
Sr. Geremy Bastián Tapia Salinas

Profesor Guía:
Mg. Ing. Vanessa A. Mella Lorca

2021

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

KEYWORDS: INSTALACION FOTOVOLTAICA, ENERGÍAS RENOVABLES, RADIACIÓN SOLAR.

Los principales antecedentes que motivaron a la realización de esta memoria de título fueron el complementar los años de estudios en Ingeniería en mantenimiento industrial con las energías renovables, con el fin de aportar los conocimientos adquiridos para ayudar al medio ambiente, produciendo electricidad de manera autónoma y sin dejar residuos contaminantes en el proceso, potenciado con una correcta implementación del mantenimiento para que la instalación logre la mayor vida útil posible.

El objetivo de este trabajo está centrado en elaborar un estudio de prefactibilidad técnica y económica de la implementación del sistema fotovoltaico en la estación de servicios Shell, el dimensionamiento se realizará con el software Sunny Design SMA que mediante imágenes satelitales facilita el trabajo de la implementación.

Se ocupará una metodología centrada en tres etapas; la primera es realizar una evaluación energética y conocer la problemática en la estación; Etapa 2, tasación y cálculos de prefactibilidad; Etapa 3, validación del estudio.

En el primer capítulo se realizará la evaluación energética mediante el consumo anual de la estación, para posteriormente conocer la problemática que existe actualmente en cuanto a pago de electricidad.

Continuando en el segundo capítulo se definirá las posibles ubicaciones de la instalación fotovoltaica dentro de la estación, con los cálculos se define el número de paneles FV necesarios para satisfacer la demanda y se utilizará el software para la visualización del sistema.

Finalmente, en el tercer capítulo se planificará la operación y el mantenimiento de la instalación fotovoltaica, obteniendo la inversión total necesaria para poner en marcha el proyecto y verificando si es válido mediante un flujo de caja. Para terminar con el cálculo de emisiones de CO_2 que se dejarán de producir gracias a los paneles solares.

ÍNDICE

RESUMEN
SIGLAS

INTRODUCCIÓN 1
OBJETIVOS 2
OBJETIVO GENERAL 2
OBJETIVOS ESPECíFICOS 2
CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES 3
1. ANTECEDENTES GENERALES 5
1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA 5
1.1.1. Historia de Shell 6
1.1.2. Misión 7
1.1.3. Visión 7
1.2. METODOLOGIA 7
1.2.1. Problemática 9
1.3. ENERGÍA SOLAR 11
1.3.1. Tipos de energía solar 11
1.3.2. Radiación solar 12
1.3.3. Beneficios de la energía solar 12
1.3.4. Energía solar en el sistema eléctrico en Chile 13
1.4. SISTEMA FOTOVOLTAICO 14
1.4.1. Celda fotovoltaica 15
1.4.2. Equipo requerido para el sistema 16
1.4.3. Ley 20.571 20
CAPÍTULO 2: EVALUACIÓN SISTEMA FOTOVOLTAICO 21
2. EVALUACIÓN SISTEMA FOTOVOLTAICO 23
2.1. DIMENSIONAMIENTO SISTEMA FOTOVOLTAICO ON GRID 23
2.1.1. Demanda energética 25
2.1.2. Datos geográficos 26
2.1.3. Datos de Heliofanía y Radiación solar 27
2.1.4. Panel fotovoltaico 28
2.1.5. Inversor 30
2.2. CÁLCULOS DEL SISTEMA 32
2.2.1. Cálculos del sistema para abastecer el 100% de la demanda 32

2.2.2. Cálculos del sistema 24.19% de la demanda 36
2.2.3. Visualización del sistema 38
CAPÍTULO 3: EVALUACION ECONÓMICA Y MANTENIMIENTO. 41
3. EVALUACION ECONOMICA Y MANTENIMIENTO 43
3.1. MANTENIMIENTO INSTALACION FOTOVOLTAICA 43
3.1.1. Seguridad en el mantenimiento 44
3.1.2. Mantenimiento 47
3.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA 55
3.2.1. Inversiones del proyecto 55
3.2.2. Evaluación del proyecto 57
3.2.3. Cálculo de emisiones de CO_2 60
CONCLUSION 61
BIBLIOGRAFíA.....62
ANEXOS 63

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1 Consumo energética en la estación de servicios.
Gráfico 1-2 Electricidad generada mediante energías renovables en chile.
Gráfico 2-1 Radiación en la ciudad de San Felipe.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Estacion de servicios shell.
Figura 1-2 Evolución logotipo shell.
Figura 1-3 Vista satelital sucursal shell.
Figura 1-4 Componentes de la radiación solar.
Figura 1-5 Sistema Fotovoltaico aislado de la red
Figura 1-6 Componentes panel fotovoltaico
Figura 1-7 Panel monocristalino, policristalino y amorfo.
Figura 1-8 Regulador de carga.
Figura 1-9 Batería de ciclo profundo curtis.
Figura 1-10 Inversor solar 2000W.
Figura 1-11 Soporte panel fotovoltaico.
Figura 2-1 Ubicación del proyecto.
Figura 2-2 Instalación suelo.
Figura 2-3 Tejado seleccionado.
Figura 2-4 Panel fotovoltaico JINKO.
Figura 2-5 Inversor solar Sunny boy.
Figura 2-6 Vista frontal instalación FV.
Figura 2-7 Vista lateral instación FV.
Figura 2-8 Presupuesto diseño inversor.
Figura 3-1 Proteccion anticaídas.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Etapas de la investigación.

Tabla 2-1 Consumo energético estación de servicio.

Tabla 2-2 Heliofanía y Radiación solar.

Tabla 2-3 Características panel JINKO.

Tabla 2-4 Características inversor Sunny boy.

Tabla 2-5 Consumo eléctrico.

Tabla 2-6 Datos ambientales.

Tabla 2-7 Temperatura de las celdas solares.

Tabla 2-8 Términos técnicos panel FV.

Tabla 2-9 Datos técnicos para el cálculo.

Tabla 2-10 Cálculo número de paneles.

Tabla 2-11 Consumo eléctrico caso 2.

Tabla 2-12 Numero de paneles caso 2.

Tabla 2-13 Inversor ON GRID.

Tabla 2-14 Sistema instalado.

Tabla 3-1 Jerarquización de componentes.

Tabla 3-2 Planilla de inspección preventiva.

Tabla 3-3 Planilla de mantenimiento correctivo.

Tabla 3-4 Costos artículos solares.

Tabla 3-5 Costos mano de obra.

Tabla 3-6 Costos elementos de interconexión

Tabla 3-7 Costos de Mantenimiento.

Tabla 3-8 Presupuesto.

Tabla 3-9 Consumo y ahorro anual.

Tabla 3-10 Flujo de caja.

SIGLAS

mm	:	Milímetro.
ºC	:	Grado Celsius.
SEN	:	Sistema Eléctrico Nacional.
SEA	:	Sistema Eléctrico de Aysén.
SEM	:	Sistema Eléctrico de Magallanes.
TWh	:	Teravatio-hora.
MW	:	Megavatio-hora.
[m^2]	:	Metro cuadrado.
kW	:	Kilovatio.
SEC	:	Super intendencia de Electricidad y Combustibles.
CLP	:	Unidad de fomento chilena.
Msnm	:	Metros sobre el nivel del mar.
Hsol	:	Horas-sol.
V	:	Voltio.
A	:	Ampere.
Kg	:	Kilogramo.
CC	:	Corriente Continua.
CA	:	Corriente Alterna.
VOC	:	Voltaje a Circuito Abierto.
ISC	:	Corriente de Corto Circuito.
Vmpp	:	Voltaje a máxima potencia.
EPP	:	Equipo de Protección Personal.
[cm^2]	:	Centímetros cuadrados.

INTRODUCCIÓN

En pleno 2021 la crisis climática está en un punto donde cada acción que haga el ser humano es de suma importancia, aunque sea un cambio pequeño de mentalidad, un acto o simplemente la divulgación por conservar la naturaleza. Los últimos cinco años han sido los más calurosos jamás registrados y los niveles del mar son los más altos en la historia de la humanidad, a este paso las temperaturas del planeta aumentaran 3.2 grados Celsius para finales de siglo lo que significa eventos climáticos extremos en el planeta, esto significa prácticamente la desaparición de todos los arrecifes de coral del mundo que consigo arrastraría a toda una biodiversidad de especies consigo y un efecto en cadena catastrófico.

En el año 2019 la generación eléctrica mundial fue de 26.908 TWh, con prácticamente un 1.3 % más que el año 2018, de esto aproximadamente el 63% de la energía producida viene de combustibles fósiles (Carbón, Petróleo y Gas natural) seguido de las fuentes de energía renovables con 27% (hidroenergía 16%, eólica y solar 8% y geotermia 3%) y finalmente la energía nuclear con el 10%. Por lo que aun predomina con más de la mitad de la energía generada la extracción de recursos naturales desde la tierra, dejando la posibilidad hacia futuro el cambio hacia las energías renovables que si o si se tendrán que reemplazar.

En el siguiente trabajo se realizará un estudio de prefactibilidad técnica y económica sobre la implementación de un sistema de energía limpia mediante celdas fotovoltaicas conectadas a la red eléctrica para sustentar el consumo eléctrico de una estación de servicios Shell, por medio de diversas herramientas de evaluación financiera de proyectos, análisis de ahorro según el ambiente de la ciudad de San Felipe y la evaluación de los recursos disponibles acompañado con sus respectivas pautas de mantenimiento.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Elaborar un estudio de prefactibilidad técnica y económica para la implementación y el mantenimiento de un sistema fotovoltaico en una estación de servicios de la empresa Shell ubicada en la ciudad de San Felipe, a través de un software para la implementación con sus con respectivas pautas de mantenimiento normalizadas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Examinar los antecedentes generales de la energía fotovoltaica y la problemática existente en la estación de servicios, para la selección de la metodología a aplicar, esto mediante el levantamiento de información.

- Realizar el estudio técnico, por medio del software Sunny Design SMA. para el correcto dimensionamiento e implementación del sistema fotovoltaico en la empresa.

- Planificar la operación y mantenimiento de la instalación fotovoltaica mediante una evaluación económica para determinar la factibilidad del proyecto y cerciorarse de la validación del proyecto a través de un estudio económico.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES

En el siguiente capítulo se examinarán los antecedentes generales de la empresa Shell, conociendo su problemática actual y la metodología que se ocupará para darle una solución.

1.1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

Shell es una de las principales distribuidoras de combustibles y lubricantes, presente en todo Chile, con más de 450 estaciones de servicio a lo largo del país. El día 1° de junio de 2011, el Grupo Shell transfirió sus negocios en Chile a Quiñenco S.A., uno de los conglomerados de negocios más grande del país, con activos consolidados de aproximadamente $34 mil millones de dólares. Quiñenco es la entidad controladora de un número de empresas líderes en servicios industriales y financieros en diversos sectores de la economía chilena.

La estación de servicio Shell a estudiar está ubicada en la calle Encon #53, San Felipe, Región de Valparaíso. En la siguiente figura se muestra una de las cinco estaciones Shell existentes en la ciudad.

Fuente: Google

Figura 1-1. Estación de servicios Shell.

Cuenta con 5 trabajadores activos actualmente, los cuales van rotando sus horarios de trabajo semanalmente, ya que la estación ofrece el servicio las 24 horas.

Su disponibilidad de combustible es la siguiente:

- V-Power
- Gasolina 95 Octanos
- Gasonalina 93 Octanos
- Diesel Shell Regular
- Kerosene

Servicios y comodidades:

- Aire
- Shell Card Transporte
- Mi Copiloto
- Shell Card Taxi
- euroShell/Tarjeta Shell
- 24 horas
- Lavado de autos

1.1.1. Historia de Shell

La Royal Dutch Petroleum Company era una compañía neerlandesa fundada en 1890 por Jean Kessler, junto con Henri Deterding y Hugo Loudon, cuando un chárter real fue concedido por la reina neerlandesa Wilhelmina a una pequeña compañía de exploración petrolífera conocida como "Royal Dutch". La Shell Transport and Trading Company era una compañía británica fundada en 1897 por Marcus Samuel y su hermano Samuel Samuel.

En el 2005 fue catalogada por “Public Eye” a la peor empresa del planeta a causa de los daños ambientales que ha ocasionado en el río Níger. Otra vez en el 2013 ganó este “premio”, esta vez por sus plataformas en la Antártida lo cual perjudicaría el ambiente de este lugar, donde habitan varios animales en vías de extinción y también contribuiría al cambio climático. En la imagen de abajo (Fig. 1-2) se muestra la evolución del logotipo de la empresa.

Fuente: Shell.com.

Figura 1-2. Evolución logotipo Shell.

1.1.2. Misión

Nuestra misión es mantenernos como una estación de servicio líder, ofreciendo productos de alta calidad, estando siempre a la vanguardia en nuestros sistemas tecnológicos con el afán de mantener a nuestros clientes satisfechos e ir ganando participación en el mercado a través de novedosos productos y servicios.

1.1.3. Visión

Consolidarnos como la mejor estación de servicio del país.

1.2. METODOLOGIA

La metodología que se utilizará para el desarrollo de este estudio es introductoria para centrar el análisis en la prefactibilidad técnica y económica de la energía solar fotovoltaica aplicada en una estación de servicios Shell, ubicada en la ciudad de San Felipe. Esta investigación se centra en el entendimiento de la forma que se produce energía, tratando de disminuir el impacto ambiental y promoviendo el ahorro de energía.

Para realizar este estudio se seguirán unos pasos que son necesarios para conocer y estimar de manera cuantitativa la prefactibilidad de la implementación de los módulos fotovoltaicos con las siguientes variables.

- Un cálculo de diagnóstico inicial que permitirá ubicar de manera correcta el real consumo de energia electrica en la estación de servicios Shell ubicada en San Felipe, según su demanda energética.
- Realizar la propuesta económica de la implementación, el mantenimiento y el cálculo de los paneles necesarios para suministrar la cantidad de energía óptima para el proyecto.
- Evaluación final costo-beneficio en cuanto a monetización, tiempo en que se recupera la inversión y el ahorro de energía.

La metodología aplicada se dividirá en 3 etapas, las cuales se muestran en la tabla siguiente;

Tabla 1-1: Etapas de la investigación.

ETAPA		OBJETIVOS	TAREAS
Etapa 1	Problemática y evaluación energética. .	- Conocer la problemática en la estación. - Llevar a cabo una evaluación energética dentro de la instalación, para conocer de forma real el gasto en electricidad general.	Entregar una solución energética acorde a lo que el cliente solicite.
			Efectuar el cálculo de consumo eléctrico promedio anual.
			Conocer de manera detallada el espacio disponible para la instalación fotovoltaica.
Etapa 2	Tasación y cálculos de prefactibilidad	Materializar los cálculos de prefactibilidad de los módulos solares dentro de la instalación.	Definir la ubicación especifica dentro de la estación para la instalación fotovoltaica.
			Elección del panel y el inversor acorde a la instalación.
			Calcular la cantidad de paneles solares a usar, dependiendo de la energía a cubrir.
			Crear una visualización del sistema con el software Sunny Design.
Etapa 3	Validación del estudio	- Analizar la prefactibilidad del proyecto. - Planificar operación y mantenimiento de la instalación.	Realizar la planificación del mantenimiento.
			Comprobar el estado de ahorro de la energía eléctrica
			Cálculo de la inversión total.
			Costos totales.

Fuente: Elaboración propia.

1.2.1. Problemática

En la actualidad la sucursal Shell solo se abastece de electricidad por métodos convencionales, esto quiere decir, por medio del Sistema Eléctrico Nacional (SEN) que aún produce la mitad de su energía por medio de combustibles fósiles. La visión de esta sucursal contempla la disminución del pago mensual en electricidad como también el ayudar al medio ambiente produciendo la menor cantidad de contaminación posible, así mismo con la constante alza en el valor de la electricidad es uno de los factores que impacta al flujo de caja.

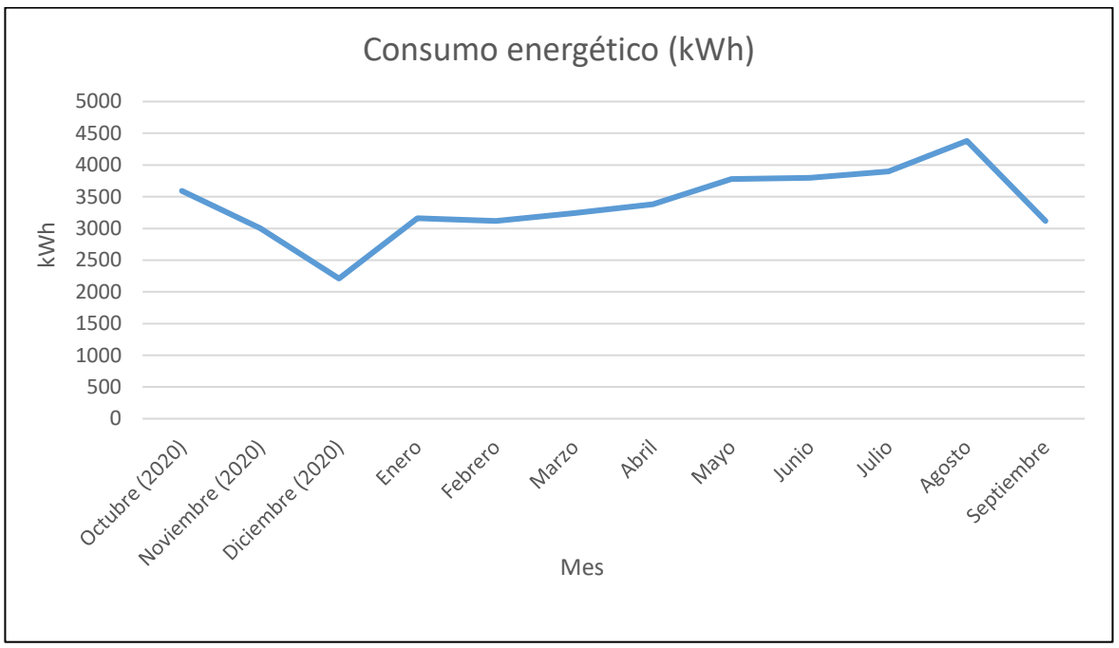
Uno de los métodos de generar electricidad limpia es mediante los sistemas fotovoltaicos, los que en los últimos 10 años su producción se ha incrementado notoriamente, el precio de instalación y/o mantenimiento ha disminuido y su eficiencia cada vez es más alta. Esta tecnología es la opción más fiable, añadiendo que la comuna de la ciudad de San Felipe tiene cielos despejados y una alta radiación la mayoría del año. A continuación, se presenta la vista satelital de la estación de servicios en la cual se desarrolla este proyecto (Fig. 1-3).

Fuente: Sunny Design.

Figura 1-3. Vista satelital sucursal Shell.

Antes de este proyecto en la estación de servicios no se trabajaba en ningún plan para suplir la alta demanda energética que han tenido a lo largo de los años, por lo que ahora se evaluará la prefactibilidad para la instalación de paneles fotovoltaicos.

La superficie total del terreno en el cual se encuentra la estación es de aproximadamente 1.027 m² incluyendo las construcciones, por lo que en los capítulos posteriores se realizara un dimensionamiento más específico. Para conocer en detalle el consumo energético en la estación de servicios, se presenta el siguiente gráfico.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico 1-1. Consumo energético en la estación de servicios.

En el gráfico 1-1 se puede apreciar que la época de más consumo energético es en los meses de invierno (Mayo – Agosto), y el mes con menos demanda energética es comenzando la época de verano (Diciembre).

1.3. ENERGÍA SOLAR

La energía solar es una energía renovable, obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación electromagnética procedente del Sol, la tierra recibe 120.000 teravatios de radiación solar entrante y aproximadamente el 70% es absorbido y reflejado por la tierra, nubes y océanos, mientras que el resto se refleja al espacio profundo. La cantidad de energía solar recibida en un año es tan descomunal que equivale a 20.000 veces más potencia de toda la energía que necesita la raza humana.

Las aplicaciones de la energía solar más conocidas y usadas son la energía fotovoltaica y la energía solar térmica, que se utilizan para la generación de electricidad y la producción de calor, respectivamente. A continuación, se presentan tipos de usos de la energía solar.

La energía proveniente del sol se puede aprovechar de dos formas principales, una es que proporciona calor mediante los rayos solares se reflejan en espejos en forma de paneles, los cuales se concentran en un receptor que alcanza los 1.000 grados Celsius. Este calor se utiliza para calentar un fluido hasta dejarlo en forma de vapor, el cual hace girar una turbina que produce electricidad. Los colectores solares térmicos absorben y concentran el calor mediante paneles o espejos para transferirlo a un fluido y conducirlo mediante cañerías para casas o edificios.

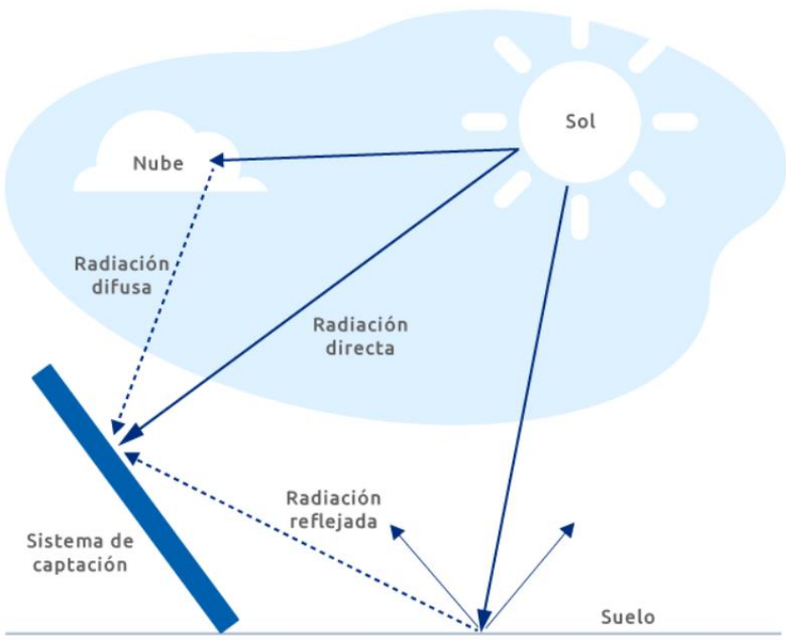
1.3.1. Tipos de energía solar

- Energia solar fotovoltaica: Las células solares fotovoltaicas convierten la luz del sol directamente en electricidad por el llamado efecto fotoeléctrico, por el cual determinados materiales son capaces de absorber fotones (partículas lumínicas) y liberar electrones, generando una corriente eléctrica.
- Energia solar termica: Una opción es que se usen colectores térmicos para absorver calor y transferirlo a un fluido para que éste sea aprovechado en edificios e instalaciones residenciales o de uso comercial. La segunda opción es que se usen espejos que concentren la radiación en un foco para calentar un fluido a altas temperaturas y éste sea utilizado para la generación de electricidad o en algún proceso industrial.
- Energia solar pasiva: La energía solar pasiva aprovecha directamente la energía directa procedente del sol sin transformarla. Por tanto, no precisan de ningún

dispositivo eléctrico para llevar a cabo la transformación de una corriente a otra.

1.3.2. Radiación solar

El sol es un cuerpo celeste formado mayormente por helio, hidrógeno y carbono, el que se comporta como un reactor de fusión nuclear que libera energía en forma de radiación solar, la cual llega a la Tierra. Esta radiación puede ser directa o difusa, la que es aprovechada por los paneles FV La radiación impacta en la inclinación de los paneles ya que define el ángulo que maximiza la eficiencia: será mayor mientras más orientados estén hacia el sol y menos obstáculos existan (nubes, arboles, etc.), asimismo también será mayor en los lugares que tengan mayor cantidad de horas de luz solar al año. La figura 1-4 muestra los tipos de radiación solar.



Fuente: Google.

Figura 1-4. Componentes de la radiación solar.

1.3.3. Beneficios de la energía solar

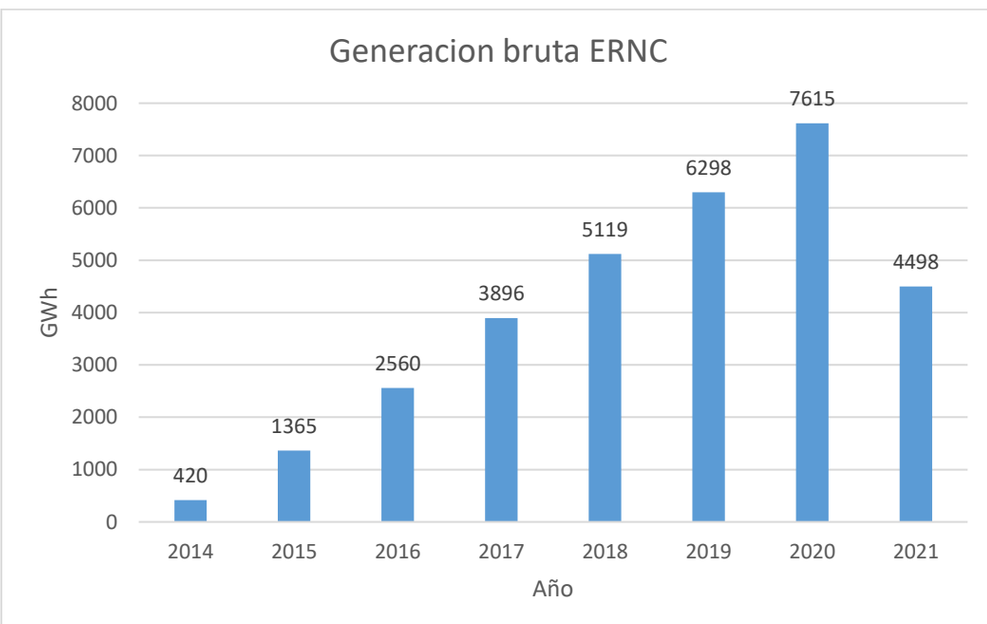
A continuación, se presentan ventajas

- Es inagotable y se renueva
- Contra el cambio climatico
- No contaminante
- Crecientemente competitivas
- Genera riqueza y empleo local
- Cada vez mas economica

1.3.4. Energía solar en el sistema eléctrico en Chile

La red eléctrica en Chile está compuesta por tres sistemas independientes:

- Sistema Eléctrico Nacional (SEN): Sistema que remplaza al Sistema Interconectado Central y al Sistema Interconectado del Norte Grande. Al 08/2021 la capacidad instalada era de 28.495 MW, donde el 46.7% provienen de fuentes termicas como (17.8% carbon, 17.6% gas natural, 11.3% petroleo), mientras que el 53.3% son de energias renovables (24,0% hidráulica; 17,8% solar; 9,9% eólico; 1,5% biomasa y 0,2% geotérmica).
- Sistema Eléctrico de Aysén (SEA): Sistema abastecedor de la region de Aysén. A agosto del 2021 tiene una capacidad de 68 MW, con un 62% diesel, 33% hidráulica y 5% eólica.
- Sistema Eléctrico de Magallanes (SEM): Sistema que abastece la región de Magallanes y la Antartica Chilena. A agosto de 2021 tiene una capacidad de 120 MW, con un 83% gas natural, 15% diésel y 2% eólica.



Fuente: Elaboración propia datos obtenidos de Energía Abierta.

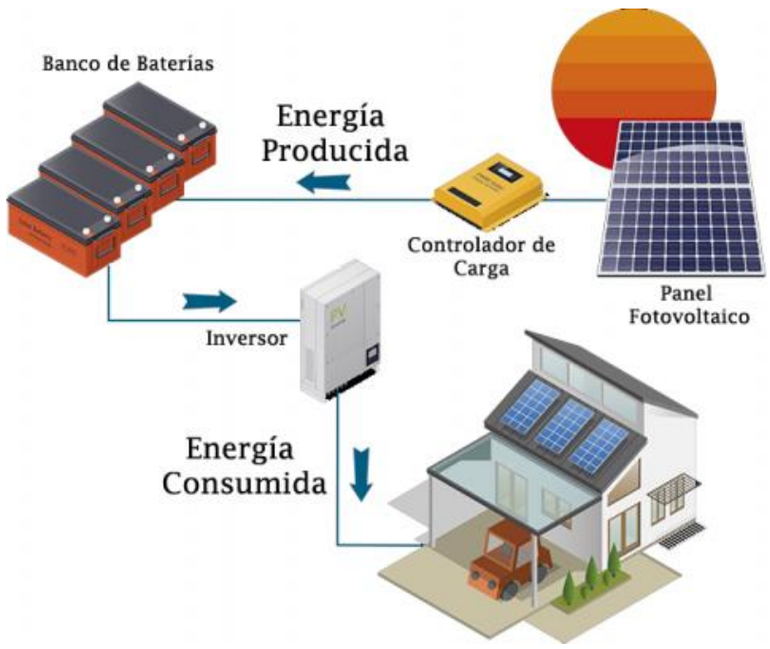
Gráfico 1-1. Electricidad generada mediante energías renovables en Chile.

En el gráfico anterior se puede observar que aproximadamente desde el año 2014 la producción de energía mediante sistemas fotovoltaicos y/o CSP ha aumentado periódicamente, ya que la tecnología necesaria para generarla es cada año más rentable y accesible. Cabe destacar que el año 2021 son datos tomados hasta el mes de junio por lo que de junio a diciembre ya se va a haber superado la cifra del año 2020.

1.4. SISTEMA FOTOVOLTAICO

La energía solar fotovoltaica es un tipo de energía renovable para generar electricidad, ésta transforma de forma directa la radiación solar en electricidad mediante paneles solares compuestos por células fotovoltaicas. Una célula fotovoltaica está compuesta por un material semiconductor, la mayoría de las veces silicio, cuando tienen contacto con los fotones provenientes del sol genera una corriente eléctrica (efecto fotovoltaico).

Existen dos tipos de instalaciones fotovoltaicas dependiendo de su objetivo: las instalaciones conectadas a la red eléctrica, que se usan en el caso que se necesite generar un ahorro económico en el gasto energético, mayormente las plantas fotovoltaicas son de este tipo. Y el otro tipo son las aisladas de la red eléctrica que se emplean en viviendas o sectores rurales que no cuentan con suministro eléctrico (fig. 1-5).



Fuente: Exin.

Figura 1-5. Sistema fotovoltaico aislado de la red.

En la figura 1-5 se puede apreciar un sistema fotovoltaico aislado de la red eléctrica que requiere el uso de baterías para poder almacenar la energía generada durante el día y usarla al caer la noche. Este tipo de instalación sirve para todo tipo de casas particulares, incluyendo en la zona sur del país que la radiación solar es menor, pero sin antes realizar un cálculo acorde a la radiación solar del sector. Estos sistemas van acompañados de inversores de corriente, que

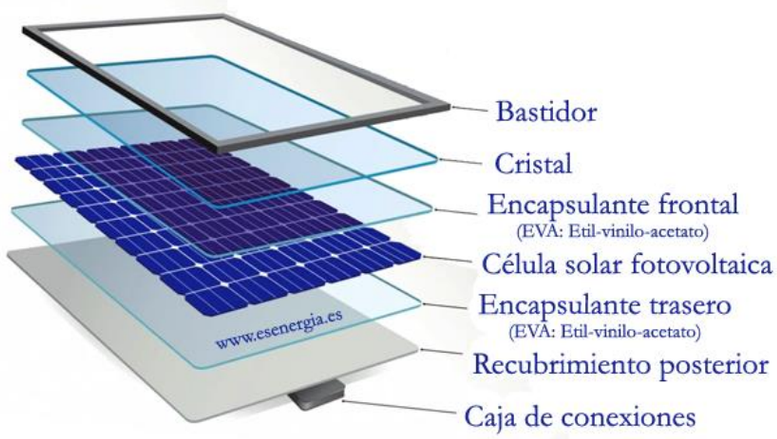
pueden pasar de corriente continua a alterna, reguladores de voltaje y por ultimo los bancos de baterías que almacenan la energía generada durante el día.

1.4.1. Celda fotovoltaica

La celda fotovoltaica es el componente principal del panel fotovoltaico, es una lámina semiconductora delgada con un espesor entre 0.25 mm y 0.35 mm con una superficie aproximada de 100 cm^2 y el es responsable de producir el efecto fotoeléctrico. En la actualidad el material con mejores prestaciones es el silicio monocristalino que presenta características superiores en cuanto a costo – eficiencia a cualquier otro material.

Otros materiales de celdas fotovoltaicas son:

- Celdas de silicio amorfo
- Celdas de silicio policristalino
- Celda tándem
- Celda multiunion



Fuente: Endesa energía.

Figura 1-6. Componentes panel fotovoltaico.

El silicio tiene dos ventajas muy grandes; es muy eficiente como semiconductor y es el más abundante sobre la tierra. además, la vida útil media utilizando el máximo rendimiento está previsto hasta aproximadamente los 25 años, después de este periodo la potencia entregada comienza a disminuir.

Una de las características a considerar de los paneles fotovoltaicos es que el voltaje de salida no depende del tamaño del panel, ya que la tensión (voltaje) se mantiene

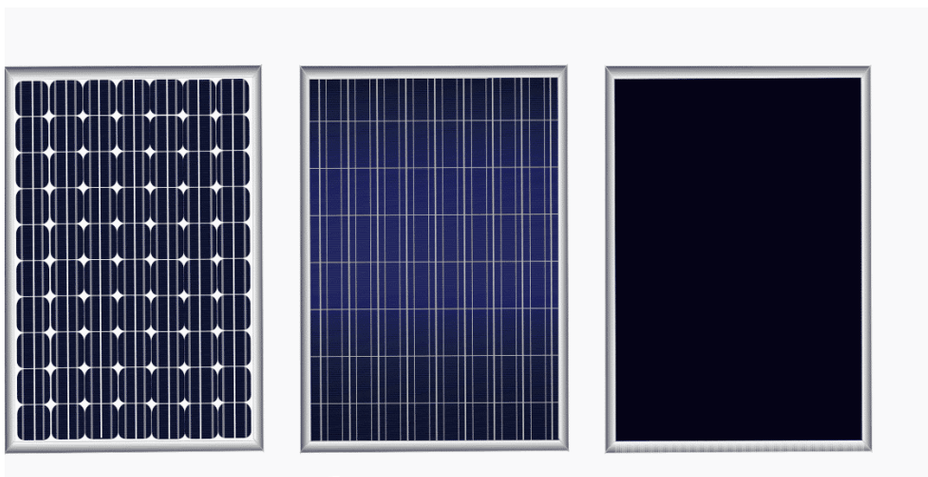
constante. No así la corriente, que es directamente proporcional al tamaño del panel y a la radiación solar.

1.4.2. Equipo requerido para el sistema

Existe un grupo de componentes esenciales a la hora de la instalación y el buen funcionamiento de los paneles fotovoltaicos. Cada uno de estos elementos es indispensable para poder transformar la energía solar en corriente alterna según las necesidades del cliente.

- Modulo fotovoltaico

Es el componente principal de la instalación porque es el responsable de convertir la energía solar electromagnética (fotones) en energía eléctrica (electrones). Cabe destacar que la tecnología más usada en la construcción de paneles es el silicio cristalino.

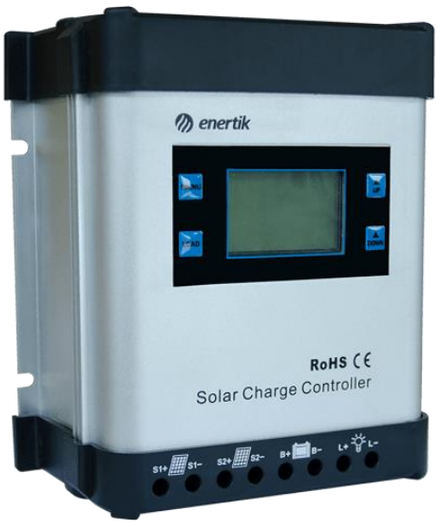


Fuente: Tritec intervento.

Figura 1-7. Panel monocristalino, policristalino y amorfo.

- Regulador de carga

Este aparato cumple una función fundamental para el correcto funcionamiento del sistema fotovoltaico, ya que regula el ciclo de carga hacia las baterías y las protege de algún caso de sobrecarga o descarga. Lo que produciría una baja en la vida útil de las baterías y en casos extremos riesgos de explosión o incendio. En caso de que se requiera resguardar las baterías, el regulador cierra el paso de corriente eléctrica desde y hacia las baterías para que se trabaje siempre en el punto de máxima eficiencia.



Fuente: Enertik.

Figura 1-8. Regulador de carga.

- Baterias de ciclo profundo

Las baterías son las encargadas de almacenar la energía producida por los módulos fotovoltaicos, para momentos en que los paneles no generan la energía para abastecer como en la noche o en las ocasiones de poca luminosidad. La vida útil de las baterías si se someten a una temperatura entre 20 ºC y 25 ºC puede ser de unos 10 años y su capacidad viene dada en amperios (A). Cabe mencionar que solo funcionan en instalaciones autónomas.

Fuente: Kuhn.cl.

Figura 1-9. Batería de ciclo profundo Curtiss 7AH, 12V.

- Inversor solar

Es el encargado de convertir la energía que viene del panel solar (corriente continua) en electricidad que podemos utilizar (corriente alterna), es de suma importancia que el inversor sea de buena calidad, ya que una de sus funciones secundarias es el supervisar el correcto funcionamiento de toda la instalación.

Fuente: Solarstore.

Figura 1-10. Inversor solar 2000W, 24V.

❖ Estructura de soporte

La estructura es la encargada de fijar de manera segura los modulos fotovoltaicos en la ubicación donde se deseen instalar. El diseño de la estructura va a depender del tipo de cubierta donde esté situado el sistema, en cubiertas planas, la estructura debe ser inclinada para maximizar la generacion de energia y ayudar con la autolimpieza.

Fuente: Solarstore.

Figura 1-11. Soporte panel fotovoltaico.

1.4.3. Ley 20.571

La ley 20.571 comenzó a regir desde el año 2014, formaliza el derecho a autoabastecer un consumo eléctrico para hogares, industrias, etc. Los llamados clientes con tarifas reguladas, todos los equipos que generen su propia energía e inyecten la excedente a la red de distribución eléctrica, recibirán una compensación económica por esta acción.

Todos los sistemas renovables no convencionales que generen su propia energía pueden acogerse a esta ley y conectarse a la red eléctrica, pero no deben superar los 100 kW de capacidad instalada.

El trámite “Comunicación de puesta en servicio de generadoras residenciales”, consiste en declarar a SEC todas las Puesta en Servicio de las Instalaciones Interiores Eléctricas que se quieran acoger a la Ley 20.571.

CAPÍTULO 2: EVALUACION SISTEMA FOTOVOLTAICO

2. EVALUACIÓN SISTEMA FOTOVOLTAICO

A continuación, se evaluará el sistema fotovoltaico on grid mediante el dimensionamiento y sus respectivos cálculos.

2.1. DIMENSIONAMIENTO SISTEMA FOTOVOLTAICO ON GRID

El área elegida para la realización del estudio de prefactibilidad de implementación de paneles fotovoltaicos está ubicada en la ciudad de San Felipe, región de Valparaíso, Chile. Uno de los aspectos más importante a la hora de llevar a cabo el proyecto es determinar el tamaño más conveniente, con la finalidad de seleccionar el modelo que más se adecúe al comportamiento del mercado y las limitaciones económicas. Cabe destacar que el sistema fotovoltaico a instalar será del tipo conectado a la red.

El tamaño del proyecto será plasmado en los costos e inversiones que se calculen, manifestando de manera cualitativa su rentabilidad. La información anterior se ve plasmada en la siguiente imagen.

Fuente: Maps.

Figura 2-1. Ubicación del proyecto.

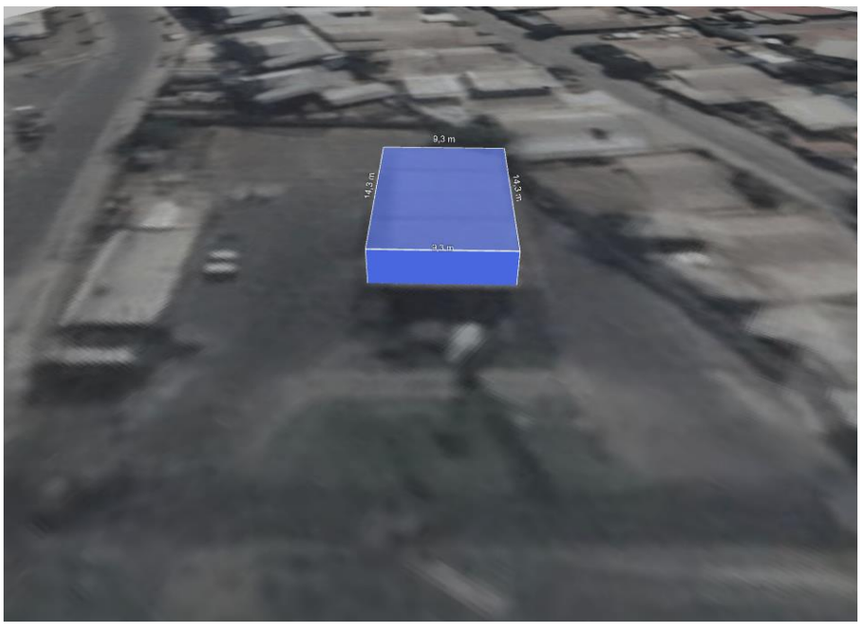
Se evaluaron dos espacios disponibles, el primero en el suelo (figura 2-2) que luego de un análisis por medio de observación se concluyó que recibe una gran cantidad de sombra por árboles, obstáculos de construcción de viviendas de dos pisos y el sentido hacia donde estarían

dirigidos los paneles no sería propicio para una eficiencia energética favorable la gran parte del día.

Fuente: Sunny Design.

Figura 2-2. Instalación suelo.

Por lo que el segundo espacio disponible dentro de la instalación recae sobre el tejado principal de la estación de servicios (Figura 2-3).



Fuente: Sunny Design.

Figura 2-3. Tejado seleccionado.

Dado lo anterior, la instalación fotovoltaica estará ubicada en el tejado principal de la estación de servicios como se puede ver en la figura 2-3, la techumbre principal es horizontal plano, que abarca una superficie total de 130 metros cuadrados, espacio justo para instalar 11 paneles fotovoltaicos en serie como se detallará más adelante.

2.1.1. Demanda energética

Para la demanda en la estación de servicios se obtuvieron los siguientes datos provenientes de la cuenta de electricidad.

Tipo de Tarifa	BT-3 PPP
Zona Tarifaria	Aéreo
Subestación	San Felipe
Potencia Conectada	50 KVA
Grupo Consumo	Chilquinta

En primer lugar, para dimensionar el tamaño del proyecto se necesitan los datos de consumo energético, los cuales nos entregarán información primordial para comenzar con los cálculos del proyecto. Para esto se realizó una tabla con el consumo energético anual, acompañado con sus respectivos costos mensuales (Tabla 2-1).

Tabla 2-1: Consumo energético estación de servicios.

2020 - 2021		
Mes	Consumo energético (kWh)	Costo energía (CLP)
Octubre (2020)	3594	$464.055
Noviembre (2020)	3005	$416.256
Diciembre (2020)	2210	$353.631
Enero	3160	$509.391
Febrero	3118	$511.570
Marzo	3240	$518.105
Abril	3380	$533.352
Mayo	3780	$578.749
Junio	3800	$573.630
Julio	3900	$611.719
Agosto	4380	$647.987
Septiembre	3118	$513.563
TOTAL ANUAL	40685	$6.232.008

Fuente: Elaboración propia boletas chilquinta.

En la tabla 2-1 se exponen los datos entregados por la administración de la estación de servicios Shell, donde se agrupa en la tabla Excel el consumo energético en kWh según el mes, acompañado del costo asociado a la tarifa contratada en este caso BT-3 PPP de la empresa Chilquinta. Los meses de más consumo son en la época de invierno (mayo, junio, julio y agosto) por el cambio de horario la noche tiene una mayor duración, por lo que hay que mantener más horas al día las luces funcionando.

2.1.2. Datos geográficos

A continuación, unos datos generales de la ciudad de San Felipe.

Latitud	-32. 75º
Longitud	-70. 73º
Altura	649 msnm
Temperatura ambiental promedio	15.6 ºC
Frecuencia de nubes	12 %

2.1.3. Datos de Heliofanía y Radiación solar

En la siguiente tabla se muestra los datos sobre las horas sol, radiación solar horizontal y radiación solar a 32º en la ciudad de San Felipe.

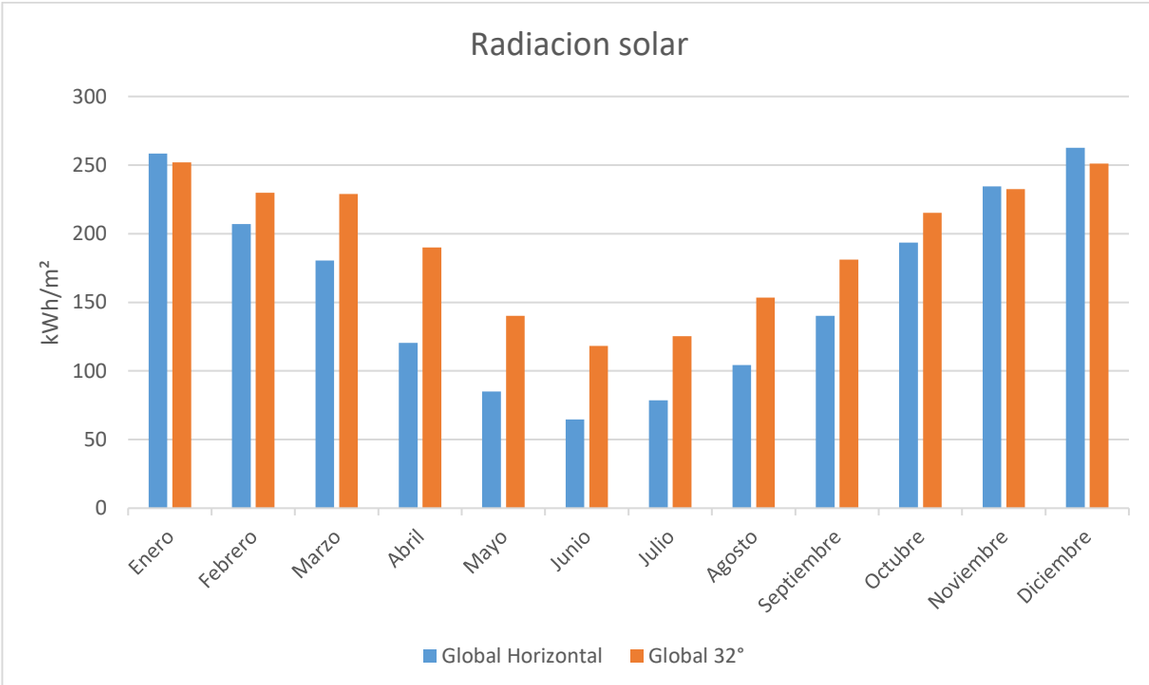
Tabla 2-2: Heliofanía y Radiación solar San Felipe.

Mes	Heliofanía (hsol/dia)	Radiación Solar Horizontal (kWh/m²)	Radiación Solar inclinado 32º (kWh/m²)
Enero	14,1	258,33	252,03
Febrero	13,3	207,12	229,88
Marzo	12,4	180,48	228,9
Abril	11,4	120,46	189,9
Mayo	10,9	84,98	140,12
Junio	10,1	64,55	118,2
Julio	10	78,59	125,24
Agosto	10,5	104,19	153,45
Septiembre	11,5	140,1	181,2
Octubre	12,5	193,61	215,14
Noviembre	13,5	234,45	232,5
Diciembre	14	262,61	251,1
Global Anual	12,02	1929,47	2317,66

Fuente: Elaboración propia explorador solar.

En la tabla 2-2 se agrupan los datos de hora sol, radiación solar horizontal y con una inclinación de 32º para la ciudad de San Felipe, para esto se obtuvieron los datos de la plataforma Explorador Solar de la Universidad de Chile.

Para conocer de manera más detallada la radiación solar en la ciudad, se presenta el siguiente grafico (Gráfico 2-1) con los kWh/m² de la radiación global horizontal y con el panel inclinado a 32º.



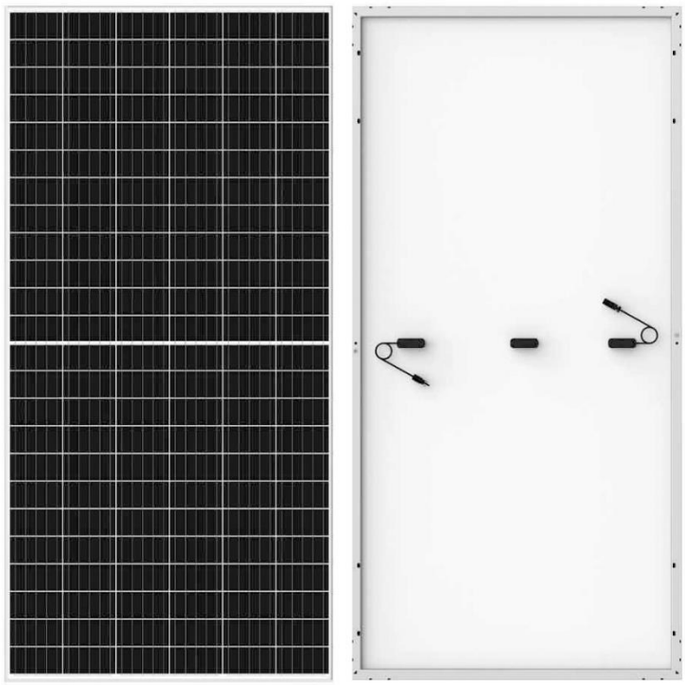
Fuente: Elaboración propia con datos del Explorador Solar.

Gráfico 2-1. Radiación en la ciudad de San Felipe.

Según los datos obtenidos anteriormente de la radiación solar, heliofanía y condiciones ambientales en la ciudad de San Felipe, se puede concluir que es un ambiente óptimo para la realización de una implementación de paneles fotovoltaicos. Cuenta con un índice de radiación elevado la gran parte del año excepto en la época de invierno en los meses de mayo, junio y julio, ya que la radiación baja su intensidad por la creación de nubes en la atmosfera.

2.1.4. Panel fotovoltaico

Ya realizado el análisis de consumo energético dentro de la estación de servicio Shell, junto con la recopilación de datos de radiación solar anual en la zona de San Felipe, se procede a la elección de los paneles fotovoltaicos con sus correspondientes cálculos de producción nominal de energía y el rendimiento por temperatura para llegar a la eficiencia real del sistema con sus respectivas pérdidas en temas de cableado, inversor, mantenimiento y el mismo panel.



Fuente: Casaedison.cl.

Figura 2-4. Panel fotovoltaico JINKO.

Para la elección del panel fotovoltaico se tomaron parámetros fundamentales con una potencia elevada pero económico, marca del fabricante, especificaciones técnicas adecuadas para el ambiente del valle de Aconcagua y el producto elegido es un panel tipo monocristalino de 445 Watts de potencia marca Jinko con los siguientes datos técnicos (tabla 2-3).

Tabla 2-3: Características panel JINKO.

Parámetro	Valor	Unidad
Modelo	JKM445M	
Potencia de salida	445	W
Rendimiento panel	20,62	%
Vmp	33,82	V
Imp	13,16	A
Isc	13,79	A
Longitud	1903	mm
Ancho	1136	mm
Profundidad	30	mm
Peso	24,2	kg

Fuente: Adaptado de ficha técnica módulo monocristalino JKM445M.

Se eligió el tipo de panel monocristalino por encima de los policristalinos y los amorfos por su alta eficiencia por metro cuadrado, ya que en la estación de servicios no se cuenta con una gran cantidad de espacio para una instalación abundante de paneles solares. Estos paneles de marca Jinko con 445 watts de potencia y de tipo monocristalinos son especiales para las zonas con poca área disponible, ya que entregarán mayor eficiencia y potencia en una menor superficie.

2.1.5. Inversor

Para la elección del inversor solar correcto se basó primero en la potencia instalada de los paneles fotovoltaicos, el inversor tiene que ser capaz de transformar toda la potencia que entregan los paneles (corriente continua) en corriente que se pueda utilizar en los aparatos o ampolletas (corriente alterna). En esta ocasión se utilizó un inversor de marca Sunny Boy de procedencia alemana, a continuación, se presenta su imagen (fig. 2-5) y sus características (tabla 2-4).

Fuente: Eolicasolar.cl.

Figura 2-5. Inversor solar Sunny Boy.

Tabla 2-4: Características inversor Sunny Boy

Parametro	Valor	Unidad
Modelo	Sunny boy 6.0	
Potencia máx. entrada	9000	W
Rendimiento europeo	96,5	%
Tensión de entrada máx.	600	V
Tensión de entrada min/inicio	100-125	V
Corriente de entrada máx. string	15	A
Potencia máx. CA	6000	W

Fuente: Adaptado de ficha técnica inversor solar Sunny boy

2.2. CÁLCULOS DEL SISTEMA

En este capítulo se dimensionará el sistema FV considerando dos situaciones. La primera es abasteciendo el 100% de la demanda energética y la segunda es abasteciendo de manera parcial la demanda.

2.2.1. Cálculos del sistema para abastecer el 100% de la demanda

En primer lugar, se realizarán los cálculos para satisfacer la totalidad de la demanda energética existente en la estación de servicio.

La realización de cálculos está destinada a conocer la cantidad de paneles FV e inversor(es) que requiere el sistema para satisfacer la demanda. En este caso se busca amortizar un porcentaje del total del consumo energético, por lo que a continuación se llevarán a cabo los cálculos.

- En la tabla 2-1 "Consumo energético estación de servicios" se aprecia el consumo eléctrico durante 12 meses con un total de 40.685 kWh/año, al dividirlo en 365 que son los días del año queda en 111.47 kWh/día, de esta forma se obtiene el consumo diario promedio.

Tabla 2-5: Consumo eléctrico.

Consumo Anual	40685	kWh/año
Consumo Diario	111,47	kWh/día

Fuente: Boletas Chilquinta.

- Luego se necesitan los datos ambientales de la ciudad de San Felipe, que es donde serán instalados. Estos datos se obtuvieron mediante el programa Exporador Solar de la Universidad de Chile.

Tabla 2-6: Datos ambientales.

Datos ambientales	Temperatura máxima	35	ºC
	Temperatura mínima	5	ºC
	Temperatura Promedio	14,2	ºC
	Irradiancia máxima	1000	W/m²
	Irradiancia promedio	800	W/m²

Fuente: Explorador Solar.

- Para determinar las temperaturas de las celdas fotovoltaicas se aplican las siguientes fórmulas establecidas:

$$\text{Tº Máxima} = \text{Temperatura máxima} + \text{Irradiancia máxima} \cdot \frac{(45-20)}{800} \quad \text{(ec.2-1)}$$

$$\text{Tº promedio} = \text{Temperatura promedio} + \text{Irradiancia promedio} \cdot \frac{(45-20)}{800} \quad \text{(ec.2-2)}$$

Los resultados se presentan en la (Tabla 2-7)

Tabla 2-7: Temperatura de las celdas solares.

Temperaturas de las Celdas solares	Tº Máxima	66,25	ºC
	Tº Minina	5	ºC
	Tº Promedio	39,2	ºC

Fuente: Planilla Excel.

- Desde la tabla 2-2 “Heliofanía y Radiación solar San Felipe” se obtiene la radiación solar global anual, para sacar la radiación diaria se divide en 365 días. Los términos de coeficiente de temperatura Pmax, Voc, Isc y STC se sacaron de la ficha técnica del panel.

Tabla 2-8: Términos técnicos panel FV.

Radiación solar global anual	2317,7	kWh/m2-año
Radiación solar global diaria	6,35	kWh/m2-dia
Horas solares	6,35	h/día
Producción de un panel nominal	6,35	kWh/día
Producción panel 445 w	2,83	kWh/día
Coef. Temp Pmax	-0,35%	%/ºC
Coef. Temp Voc	-0,28%	%/ºC
Coef. Temp Isc	0,048%	%/ºC
Temp STC	25	ºC

Fuente: Planilla Excel.

En tanto para la producción de energía de 445 W por fórmula dada se obtiene (ec.)

$$Producción\ panel\ 445\ W\ = \frac{445 \cdot Horas\ solares}{1000} \text{ (ec.2-3)}$$

- Para obtener la Potencia del Panel (Tprom=39.2ºC) se realiza mediante la formula;

$$\text{P panel FV} = \text{Potencia panel FV (25ºC)} + (\text{Tº promedio} - \text{Temp STC} \cdot \text{Coef Temp Pmax} \cdot \text{Potencia panel FV (25ºC)} \text{ (ec.2-4)}$$

$$\text{Rendimiento panel FV} = \frac{\text{P panel FV (39.2 ºC)}}{\text{Potencia Panel FV (25ºC)}} \text{ (ec.2-5)}$$

Tabla 2-9: Datos técnicos para el cálculo.

Potencia Panel FV (T=25ºC)	445	W
P Panel FV (Tprom = 39,2ºC)	422,88	W
Rendimiento Panel FV	95,0%	%
Eficiencia inversor	96,6%	%
Conductor CC	98,5%	%
Conductor CA	99,0%	%
Suciedad	98,0%	%
Mantenimiento	99,0%	%

Fuente: Planilla Excel.

La eficiencia del inversor y las pérdidas de CC y CA se obtiene de la ficha técnica del inversor elegido, en cambio la suciedad y mantenimiento va a depender del plan de mantenimiento a realizar. Mas adelante se abordará este tema.

- Por lo que el rendimiento global del sistema Fotovoltaico nos da como resultado;

$$\text{Rendimiento global del SFV} = \text{Rendimiento panel FV} \cdot \text{Eficiencia inversor} \cdot \text{Conductor CC} \cdot \text{Conductor CA} \cdot \text{Suciedad} \cdot \text{Mantenimiento (ec.2-6)}$$

Rendimiento global del SFV	86,85%	%

- En el caso de requerir cubrir el 100% de la demanda energetica de la estacion de servicios Shell, se obtienen las potencias correspondientes al sistema y el numero de paneles fotovoltaicos necesarios para satisfacer el 100% de la demanda energética y la potencia requerida.

Tabla 2-10: Cálculo número de paneles FV.

Numero de paneles	Potencia neta	17,55	kW
	Potencia bruta	20,21	kW
	Potencia bruta	20212	W
	Nº paneles FV	45,42	Paneles FV
	Nº paneles FV	46	Paneles FV
	Potencia instalada	20470	Wp

Fuente: Planilla Excel.

$$\text{Potencia neta} = \frac{\text{Consumo diario}}{\text{Producicon de un panel nominal}} \text{ (ec.2-7)}$$

$$\text{Potencia bruta} = \frac{\text{Potencia neta}}{\text{Rendimiento globaldel SFV}} \text{ (ec.2-8)}$$

$$\text{Nº paneles FV} = \frac{\text{Potencia bruta (W)}}{\text{Potencia panel FV (25ºC)}} \text{ (ec.2-9)}$$

$$\text{Potencia instalada} = \text{Nº paneles FV} \cdot \text{Potencia panel FV (25ºC)} \text{ (ec.2-10)}$$

Se escogió la opción de cubrir una parte de la demanda energética por el motivo de que para toda la demanda actual se necesitarían 46 paneles fotovoltaicos, el problema es que en la estación de servicios no hay espacio disponible para instalar esa cantidad de paneles. Por lo que a continuación se presentarán los cálculos con un porcentaje óptimo para el espacio disponible.

2.2.2. Cálculos del sistema 24.19% de la demanda

Por los problemas de espacio mencionados anteriormente, en este proyecto se efectuará la instalación de 11 paneles fotovoltaicos, cantidad justa para el espacio disponible. Con esta cantidad de paneles se cubre el 24.19% del consumo energético del total de la estación de servicios, los cálculos con 11 paneles, a continuación.

Tabla 2-11: Consumo eléctrico caso 2.

Consumo Anual	9840	kWh/año
Consumo Diario	26,96	kWh/dia

Fuente: Planilla Excel.

Por consiguiente, como se cambió el número total de paneles se procede a cambiar de igual forma el inversor, ya que no es necesario uno de mayor capacidad para esta cantidad de paneles. El inversor en este caso sigue siendo de marca Sunny Boy pero modelo 5.0, sus características a continuación.

Tabla 2-12: Número de paneles caso 2.

Numero de paneles	Potencia neta	4,25	kW
	Potencia bruta	4,89	kW
	Potencia bruta	4888	W
	Nº paneles FV	10,99	Paneles FV
	Nº paneles FV	11	Paneles FV
	Potencia instalada	4895	Wp

Fuente: Planilla Excel.

Tabla 2-13: Inversor ON GRID.

INVERSOR ON GRID	Tensión máx. CC	600	V
	Rango tensión MPP	175-500	V
	Tensión nominal	365	V
	Tensión de CC min/tensión inicial	100-125	V
	Corriente máx. de entrada	15	A
	Voc Panel FV	41,10	V
	Isc Panel FV	13,79	A
	Voc (Tmin)	43,40	V
	Isc (Tmax)	14,06	A

Fuente: Planilla Excel.

Estas características se obtuvieron de la ficha técnica del panel Sunny Boy 5.0, al igual que el Voc Panel FV y Isc Panel FV. En cambio, el Voc (Tmin) y el Isc (Tmax) se calculan de la siguiente manera.

$\mathrm{Voc(Tmin)} = \mathrm{Voc\ panel\ FV} + (\mathrm{T^{o}minima} - \mathrm{Temp\ STC}) \cdot \mathrm{Coef\ Temp\ Voc} \cdot \mathrm{Voc\ Panel\ FV}$ (ec.2-11)

$\mathrm{Isc(Tmax)} = \mathrm{Isc\ panel\ FV} + (\mathrm{T^{o}máxima} - \mathrm{Temp\ STC}) \cdot \mathrm{Coef\ Temp\ Isc} \cdot \mathrm{Isc\ Panel\ FV}$ (ec.2-12)

El término Voc nos ayuda a conocer el voltaje en circuito abierto que entregan los paneles a la mínima temperatura ambiental, mientras que el Isc nos entrega la corriente máxima que producirá el panel a la máxima temperatura.

- Finalmente se efectuarán los cálculos del sistema instalado para comprobar si es adecuado el inversor 5.0 de Sunny Boy para la cantidad de paneles FV.

Tabla 2-14: Sistema instalado.

Sistema instalado	Arreglo FV	11	Serie	
		1	Paralelo	
	Voc max string	477,4	V	600 V
	Isc max string	14,06	A	15 A
	Vmpp	33,82	V	
	Vmpp (T prom) 1 panel	32,48	V	
	Vmpp (T prom) 11 paneles	357,23	V	140-500 V
	Vmpp (T max) 1 panel	29,91	V	
	Vmpp (T max) 11 paneles	329,05	V	100-125 V

Fuente: Planilla Excel.

$$\mathrm{Voc\ max\ string} = \mathrm{Voc(Tmin)} \cdot 11\ \mathrm{paneles}\ \text{(ec.2-13)}$$

$$\mathrm{Isc\ max\ string} = \mathrm{Isc(Tmax)} \cdot 1\ \mathrm{paralelo}\ \text{(ec.2-14)}$$

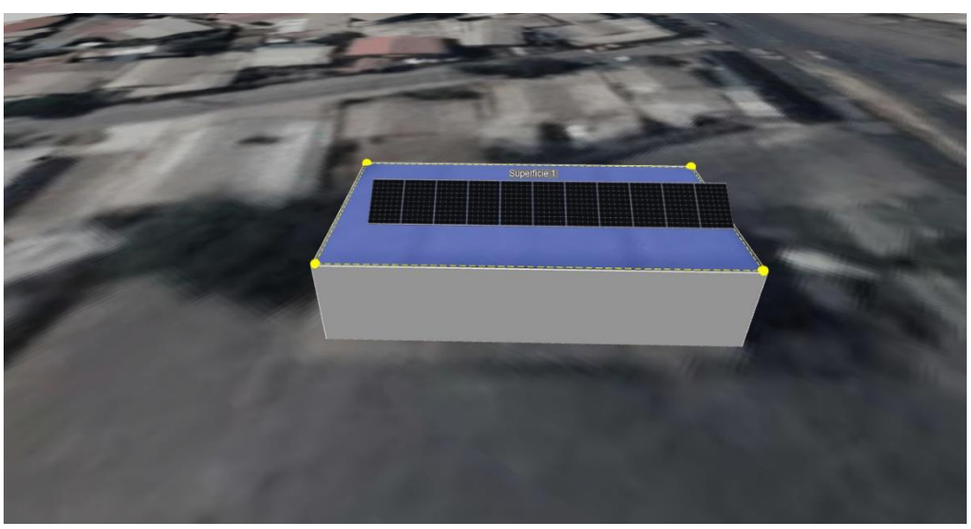
$\mathrm{Vmpp(Tprom)1\ panel} = \mathrm{Vmpp} + (\mathrm{T^{o}promedio} - \mathrm{Temp\ STC}) \cdot \mathrm{Coef\ Temp\ Voc} \cdot \mathrm{Vmpp}$ (ec.2-15)

$\mathrm{Vmpp(Tmax)1\ panel} = \mathrm{Vmpp} + (\mathrm{T^{o}máxima} - \mathrm{Temp\ STC}) \cdot \mathrm{Coef\ Temp\ Voc} \cdot \mathrm{Vmpp}$ (ec.2-16)

De acuerdo con los cálculos realizados del sistema instalado el voltaje en circuito abierto (Voc) máximo por string está dentro del límite de los 600 voltios que soporta el inversor. La corriente de corto circuito (Isc) máxima por string (ya que es solo un string) es menos de 15 amperes. El voltaje en potencia máxima en temperatura promedio (Vmpp Tprom) de los 11 paneles también están dentro del límite que permite el inversor. El ultimo valor a revisar es el voltaje en potencia máxima, pero en temperatura máxima (Vmpp Tmax) de los 11 paneles que sobrepasa el valor de funcionamiento y arranque del equipo, por lo que cumple con todas las especificaciones para su correcto uso.

2.2.3. Visualización del sistema

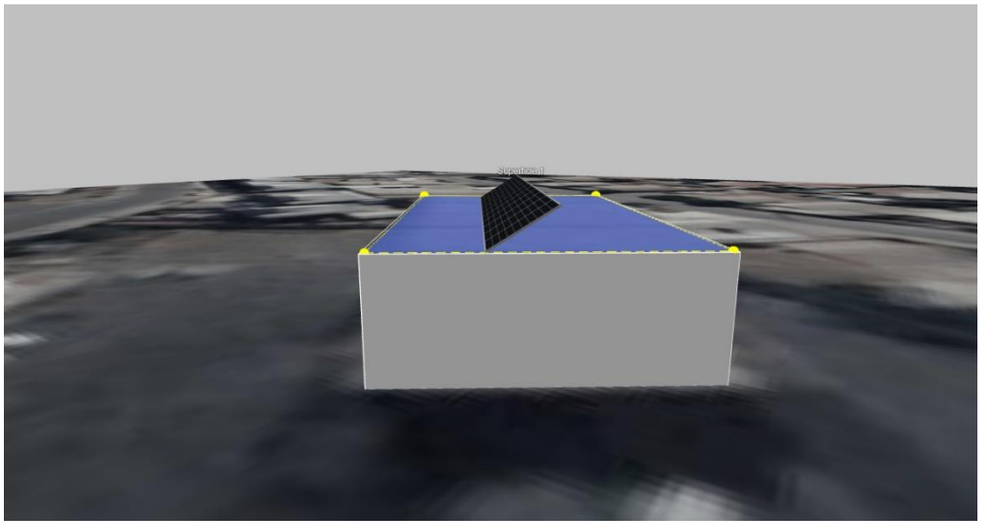
Para la visualización del sistema fotovoltaico se utilizó el software Sunny Design SMA, el cual permite mediante imágenes satelitales realizar un esquema 3D de los paneles FV instalados en la techumbre principal de la estación.



Fuente: sunnydesignweb.com

Figura 2-6. Vista frontal instalación FV.

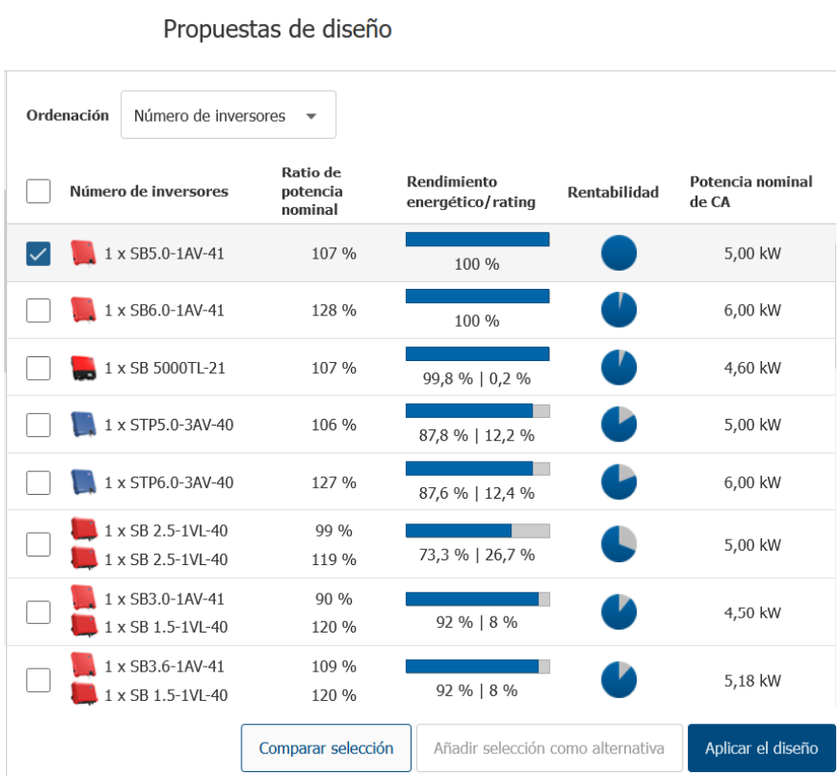
Los paneles fotovoltaicos estarán instalados los 11 paneles en serie con una inclinación de 32º en dirección noroeste con un campo de módulos de acimut de -146º.



Fuente: sunnydesignweb.com

Figura 2-7. Vista lateral instalación FV.

En la base de datos del software se encuentra una variada cantidad de productos distintos, donde se elige la marca y el modelo del panel solar con sus respectivos datos técnicos. Con esto, el mismo programa recomienda los tipos de inversores que son aptos para el proyecto. En este caso al igual que en los cálculos, el software recomienda el uso de un inversor Sunny boy 5.0 para el uso de los 11 paneles fotovoltaicos en string.



Propuestas de diseño

Ordenación: Número de inversores

Número de inversores	Ratio de potencia nominal	Rendimiento energético/rating	Rentabilidad	Potencia nominal de CA
1 x SB5.0-1AV-41	107 %	100 %		5,00 kW
1 x SB6.0-1AV-41	128 %	100 %		6,00 kW
1 x SB 5000TL-21	107 %	99,8 % | 0,2 %		4,60 kW
1 x STP5.0-3AV-40	106 %	87,8 % | 12,2 %		5,00 kW
1 x STP6.0-3AV-40	127 %	87,6 % | 12,4 %		6,00 kW
1 x SB 2.5-1VL-40 1 x SB 2.5-1VL-40	99 % 119 %	73,3 % | 26,7 %		5,00 kW
1 x SB3.0-1AV-41 1 x SB 1.5-1VL-40	90 % 120 %	92 % | 8 %		4,50 kW
1 x SB3.6-1AV-41 1 x SB 1.5-1VL-40	109 % 120 %	92 % | 8 %		5,18 kW

Comparar selección | Añadir selección como alternativa | Aplicar el diseño

Fuente: sunnydesignweb.com

Figura 2-8. Propuesta diseño inversor.

CAPÍTULO 3: EVALUACION ECONÓMICA Y MANTENIMIENTO.

3. EVALUACION ECONOMICA Y MANTENIMIENTO

En el tercer capítulo se llevará a cabo en primer lugar el mantenimiento de la instalación fotovoltaica con sus respectivas tareas y maniobras de seguridad, para continuar con la evaluación económica.

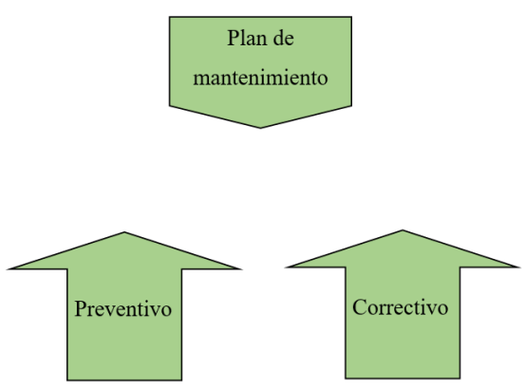
3.1. MANTENIMIENTO INSTALACION FOTOVOLTAICA

Los sistemas fotovoltaicos están diseñados para tener una vida útil de hasta 25 años funcionando de manera correcta, sin embargo, durante toda su vida útil están expuestos a la intemperie soportando cambios bruscos en la temperatura, lluvias, tormentas, radiación, etc. Pese a que los elementos y cada uno de sus componentes debe cumplir con las exigencias normativas para intemperie, se pueden presentar algunas fallas, algunas tan simples como un fusible defectuoso y para esto es necesario la mano de obra del mantenedor.

Algunos de los beneficios principales a la hora de realizar un mantenimiento a la planta FV son:

- Alarga la vida util de la instalacion fotovoltaica.
- Evita y/o reduce el tiempo inoperativo del sistema, incrementando la disponibilidad de la planta.
- Aumenta el rendimiento y con esto, la energia entregada durante la operación.

En la estación de servicios se realizará un plan de mantenimiento centrado en los siguiente 2 tipos de mantenimiento.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3-1. Plan de mantenimiento.

3.1.1. Seguridad en el mantenimiento

En el área del mantenimiento la seguridad es un aspecto primordial para los que realizarán las tareas. Existen dos aspectos fundamentales a la hora de efectuar mantenimiento en una instalación fotovoltaica, la seguridad eléctrica y la seguridad en el transcurso del montaje y el mantenimiento en altura.

3.1.1.1. Seguridad eléctrica

En una instalación fotovoltaica se deben tener muy en cuenta los riesgos eléctricos al momento de la manipulación en el mantenimiento, entre los riesgos más comunes están

- Quemadura electricas
- Electrocucion
- Caidas de altura por choque electrico

Para la mitigación de los riesgos eléctricos se deben seguir las reglas y normas que impone la SEC para instalaciones eléctricas.

- Conexión a tierra de todas las partes metálicas.
- Usar dispositivos con proteccion de aislamiento.
- Abrir y bloquear los circuitos en la parte de trabajo (CC o CA).
- Verificar si los componentes están desenergizados por medio de instrumentos de medición.
- Los componentes que se encuentren energizados tienen que ser cubiertos para evitar contacto accidental.
- Antes de separar los conectores de los string apagar inversor.
- Los módulos no se pueden desenergizar durante el día, por ende no tocar partes que puedan llevar energía.

3.1.1.2. Seguridad en altura

Los paneles fotovoltaicos van instalados la mayor parte del tiempo sobre los tejados, por lo tanto, para la instalación y el mantenimiento se necesita trabajar en altura, esto exige condiciones y normas de seguridad para el trabajo en altura. Si el lugar de trabajo sobrepasa los 1,8 m y/o si el tejado tiene una inclinación mayor a 20º se deben ocupar los siguientes elementos.

- Protecciones anti caídas.
- Andamios, escalas y/o plataformas elevadoras.
- Equipo de proteccion personal (EPP).

Fuente: Workprotec

Figura 3-1. Protección anticaída.

De igual forma el personal de mantenimiento antes de realizar el trabajo deberá asegurar que se cumplan los siguientes requisitos.

- Establecer e identificar los peligros existentes.
- Entrenamientos y las condiciones físicas capaz para llevar a cabo el trabajo.
- Anclajes, arneses y el correcto uso de cuerdas de vida
- Contar con escaleras de mano, plataformas elevadoras, andamios y plataformas.

3.1.1.3. Equipo de proteccion personal (EPP)

El uso de EPP para trabajos de mantenimiento en altura y con equipos energizados deben ser específicos para proteger de una manera correcta al trabajador, por ende, se recomienda.

- Casco clase A.
- Guantes de seguridad.
- Guantes aislantes clase 0 (hasta 1kv).
- Proteccion visual.
- Zapatos de seguridad de tipo eléctricos.
- Careta facial con proteccion anti arco eléctrico.
- Ropa de trabajo ignifuga (recomendado de algodón).

3.1.1.4. Seguridad antes del mantenimiento

Antes de realizar el mantenimiento es muy importante considerar algunas medidas de seguridad.

- Leer las instrucciones de limpieza del fabricante.
- Ocupar los EPP necesarios para el trabajo.
- Asegurar que el circuito esté desconectado del inversor.
- No caminar sobre los módulos.
- Verificar que la temperatura del módulo no tenga mucha diferencia con la temperatura del agua.
- No usar limpiador de alta presión.
- No usar agua destilada.
- Usar agua pobre en cal.

3.1.2. Mantenimiento

Al realizar un mantenimiento preventivo en la instalación fotovoltaica se está buscando evitar o disminuir considerablemente las posibles fallas en el sistema y de cada uno de sus componentes, con esto, aumentar la disponibilidad, alargar la vida útil de la planta limitando los costos del mantenimiento para que no sobrepasen a los beneficios que otorga.

3.1.2.1. Contexto operacional

El contexto operacional en el cual trabaja este sistema FV parte desde la ubicación geografica de la ciudad de San Felipe presentado con más detalle en el capítulo dos, las horas de funcionamiento del sistema son mientras haya luz del sol.

Propósito proceso/equipo

El propósito de un sistema fotovoltaico ONGRID es generar energía eléctrica a través de la radiación del sol para abastecer el total del consumo o una parte de éste. Con este sistema se busca obtener energía ilimitada, sin residuos contaminantes y al mismo tiempo disminuir la factura de la cuenta eléctrica.

Descripción del proceso

El proceso de obtención de energía limpia mediante una instalación fotovoltaica tiene los siguientes pasos; en primer lugar ocurre en los paneles solares los cuales transforman la energía solar (radiación) en corriente continua (CC), para posteriormente mediante los cables de CC llevar la energía hasta el inversor de corriente que convierte la corriente continua en corriente alterna para poder ser utilizada por el consumidor tanto en un sistema conectado a la red o como en un sistema aislado, que en este último caso la energía se puede almacenar en baterías solares para ser utilizada cuando se necesite. Todo este proceso se lleva a cabo con el sistema fotovoltaico a la intemperie con las condiciones ambientales presentadas en los capítulos anteriores de la ciudad de San Felipe.

Ítems mantenibles y/o reemplazables (estructura escalonada ISO 14.224)

Clase de equipo

Panel Fotovoltaico

Inversor de corriente

Estructura

Unidad de equipo

Panel Fotovoltaico

Componentes

Celdas solares

Marco de aluminio

Cristal de cubierta

Caja de conexiones

Clase de equipo

Panel Fotovoltaico

Inversor de corriente

Estructura

Unidad de equipo

Inversor de corriente

Componentes

Terminal de entrada CC

Terminal de salida CA

Sistema de ventilación

Filtro de aire

Tubo de extracción de aire

ANALISIS FUNCIONAL E-F-S

A continuación, se presenta el análisis funcional de Entrada-Proceso-Salida del sistema FV ubicado en la ciudad de San Felipe.

ENTRADAS	PROCESO	SALIDAS
Panel Fotovoltaico Inversor solar Material de interconexión Estructura	El proceso comienza en el panel fotovoltaico donde llega la energía en forma de radiación solar, el panel lo transforma a corriente continua para mediante los componentes de interconexión llevar la corriente hasta el inversor solar, el cual transforma la corriente continua en corriente alterna para finalmente poder ser consumida por el cliente. Produciendo una energía total de 9840 kWh/año.	Corriente alterna producida por el sistema FV de manera limpia, sin residuos tóxicos, para poder alimentar un 24,19% de la demanda energética de la estación de servicios Shell, esto quiere decir que el sistema FV produce 26,96 kWh/día en las condiciones ambientales actuales.

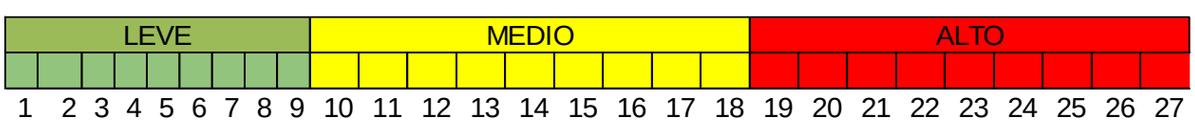
ANALISIS DE MODOS, EFECTO Y CRITICIDAD DE FALLOS

Para realizar un óptimo plan de mantenimiento que se adecúe al actual sistema FV es necesario realizar una jerarquización de componentes, la cual se presenta en la tabla 3-1.

Tabla 3-1. Jerarquización de componentes

Sistema/Subistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Severidad	Ocurrencia	Detectabilidad	Riesgo
INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA	1	Transforma la radiación solar en corriente alterna, con una temperatura ambiente promedio de 15.6°C y una inclinación de los paneles de 32°.	1.1	Incapacidad total de producir energía	1.1.1	Daño mecánico en el ventilador del inversor solar	Evidente Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Detención del sistema Acción correctiva: Cambio del inversor.	8	1	3	24
					1.1.2	Acumulación de polvo y suciedad en el sistema de ventilación del inversor	Evidente Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Aumento de temperatura. Acción correctiva: Limpieza.	3	6	1	18
					1.1.3	Conexión electrica mal ejecutada	No evidente Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Incapacidad de poner en marcha el sistema. Acción correctiva: Corregir problemas en conexiones	6	2	2	24
			1.2	Rendimiento por debajo del 86%	1.2.1	Cables de interconexión presentan picaduras.	Evidente Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Detención del sistema Acción correctiva: Reemplazo de cables	5	1	2	10
					1.2.2	Deterioro en uno o varios módulos solares.	Evidente Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Disminucion de eficiencia Acción correctiva: Cambio de módulo	7	1	1	7
					1.2.3	Material de interconexión incompatible	No evidente Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Baja en la eficiencia Acción correctiva: Cambio de material de interconexión.	2	1	4	8
					1.2.4	Acumulación de polvo y suciedad en los paneles Fotovoltaicos.	Evidente Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Disminución de la producción Acción correctiva: Limpieza	2	6	1	12
					1.2.5	Objeto produce sombra en los paneles.	Evidente Afecta SHA: No Efecto operacional (síntomas): Disminución de la eficiencia Acción correctiva: Cortar obtáculos	2	1	1	2

Fuente: Elaboración propia.



En base al análisis de modo, efecto y criticidad anterior se procede a realizar las planillas de inspección preventiva y correctiva, con esto se logra obtener un mejor resultado en el mantenimiento de la instalación fotovoltaica ubicada en la V Región, ciudad de San Felipe.

Tabla 3-2. Planilla de inspección preventiva.

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA			Marca panel e inversor					Dimensión sistema (m)
			Jinko Sunny Boy					13,4
COMPONENTE	TRABAJO	TAREA	FRECUENCIA					OBSERVACIONES
			M	BM	SM	A	BA	
PANEL FV	Limpieza	Quitar la acumulación de polvo y excremento			X			Usar utensilios de cerdas suaves como esponja, tela o algodón. Junto con agua des ionizada a una presión de 50 a 70 libras por pulgada cuadrada.
	Inspección Visual	Chequear que no hayan objetos que produzcan sombras al panel			X			En caso de un árbol, cortar exceso.
		Comprobar que los módulos no estén rotos			X			
		Revisar conexiónes y contactos			X			
		Degradación de los módulos			X			Inspección mediante termografía.
		Delaminación			X			
		Diodos bypass			X			Medición de corriente.
		Humedad en el módulo			X			
INVERSOR	Inspección Visual	Verificar que el área de ubicación del inversor se mantenga limpia, seca y con ventilación.			X			Si se encuentra alguna plaga de insectos en el inversor, llamar a especialistas.
		Luces de advertencia			X			Revisar que las luces estén aseguradas.
		Marcas y etiquetas			X			El estado de las marcas y etiquetas es bueno.
		Ventilación			X			El aire acondicionado o sistema de ventilación es bueno.
		Fijación de cables			X			Comprobar que los clabes estén firmes y no muestren holgura.
		Conectores			X			El estado de los conectores es bueno y no muestra corrosión.
		Fusibles			X			
	Limpieza	Limpiar ventilador y filtro para la entra de aire			X			Apagar sistema desde los interruptores de desconexión del lado CA y CC, esperar unos minutos hasta que el capacitador interno se descargue.
		Comprobar que el tubo de escape no esté obstruido			X			
ESTRUCTURA	Control	Valores de torque				X		Reapriete de elementos de roscado.
		Corrosión				X		
		Bordes afilados				X		
		Daños mecánicos				X		
		Fijación de los módulos				X		Revisar las grapas de sujecion
		Revestimiento				X		La capa galvanizada no muestra daños.
		Integridad estructural				X		La estructura no se ve comprometida.
INSTALACIÓN FV	Inspección	Fusibles			X			No se observa decoloración, degradación, daños mecánicos, cable
		Conectores			X			Revisar daños mecánicos, humedad, corrosión y exceso de polvo.
		Fijación de cables			X			La fijación a la bandeja y/o a la estructura es buena.
		Resistencia a tierra			X			inspeccionar con multitester.
		Comprobar que no exista cortocircuito			X			Inspección visual o multitester.
		Etiquetado			X			Las etiquetas pueden verse claramente.
		Tubos protectores			X			Los tubos no presentan daños visibles.
		Radio de curvatura			X			El radio de curvatura de los cables es correcto.
		Puntos de conexión			X			No hay elementos sueltos en los puntos de anclaje.

Fuente: Elaboración propia en base a Planilla de inspección preventiva.

Cuando ocurren fallas imprevistas que necesitan reparación por medio de la sustitución de componentes para que el sistema funcione nuevamente, a esto se le llama mantenimiento correctivo. Esta es una tarea que requiere una acción inmediata.

Tabla 3-3. Planilla de Mantenimiento correctivo.

INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA			Marca panel e inversor					Dimensión (m)
			Jinko Sunny Boy					13,4
COMPONENTE	TRABAJO	TAREA	FRECUENCIA					OBSERVACIONES
			M	BM	SM	A	BA	
MÓDULO FV	CORRECTIVO	Rotura del módulo						Rotura por impacto mecánico
		Decoloración						Puede suceder por incompatibilidad de materiales, laminado viejo, impureza del vidrio.
		Delaminado						
		Soldadura interna defectuosa						
INTERCONEXIóN	CORRECTIVO	Interconexión rota						
		Caja de conexión quemada						Quemado por sobretensión, detectar con camara termográfica.
		Alta temperatura en celda						
		Aislamiento de cable defectuoso						
		Conectores quemados						
		Microroturas visibles						
INVERSOR	CORRECTIVO	Falla de los ventiladores						Por exceso de material particulado
		Corriente CC demasiada alta						Inversor incorrecto

Fuente: Elaboración propia en base a Planilla de inspección correctiva.

3.1.2.2. Uso de planillas de inspección

Las planillas anteriores se elaboran con el objetivo de obtener la información necesaria para el mantenimiento preventivo y correctivo de la instalación fotovoltaica. Cabe mencionar que estas tareas son efectuadas por el personal encargado del mantenimiento.

Símbolos utilizados en planilla:

- M: Mensual.
- BM: Bimensual.
- SM: Semestral.
- A: Anual.
- BA: Bianual.

3.1.2.3. Pauta de trabajo I

- Instalación fotovoltaica.
- Frecuencia de inspeccion.
- Tipo de inspección: Correctiva.

I) Módulo
- ✓ Reemplazar modulo fotovoltaico.
- ✓ Reemplazar celda de módulo.

II) Interconexión
- ✓ Cambio de caja de conexión.
- ✓ Reemplazo de cable con aislamiento.
- ✓ Reemplazo de conectores.
- ✓ Cambio de fusible.

III) Inversor
- ✓ Cambio de ventiladores
- ✓ Reemplazo de inversor

3.1.2.4. Pauta de trabajo II

- Instalacion Fotovoltaica
- Frecuencia de inspeccion: Anual
- Tipo de inspeccion: Preventiva

I) Esrtuctura

- ✓ Reapriete de tornillos y fijaciones
- ✓ Cmabiar estructura si existe corrosión masiva

3.1.2.5. Pauta de trabajo III

- Instalación fotovoltaica.
- Frecuencia de inspeccion: Bimensual.
- Tipo de inspección: Preventiva.

I) Panel Fotovoltaico

- ✓ Realizar limpieza del módulo fotovoltaico.
- ✓ Secado del módulo por alta humedad.

3.1.2.6. Pauta de trabajo IV

- Instalación fotovoltaica
- Frecuencia de inspección: Semestral.
- Tipo de inspección: Preventiva.

I) Panel fotovoltaico

- ✓ Cortar objetos que produzcan sombras al panel.
- ✓ Inspeccionar que los módulos no estén rotos.
- ✓ Inspeccionar conexiones y contactos de los paneles.
- ✓ Inspeccionar degradación.
- ✓ Inspeccionar delaminación de módulo.
- ✓ Inspeccionar diodos.

II) Inversor

- ✓ Limpiar ventilador.
- ✓ Limpiar tubo de escape de la ventilacion.
- ✓ Limpiar área de ubicación del inversor.

III) Instalacion FV

- ✓ Revisar estado de fusbles.
- ✓ Inspeccionar conexiones.
- ✓ Inspeccionar cables.
- ✓ Inspeccionar resistencia a tierra.
- ✓ Inspeccionar si existe corto circuito.

3.2. EVALUACIÓN ECONÓMICA

Para los efectos de este trabajo, se evaluarán los costos que requiere poner en marcha el proyecto. Un sistema fotovoltaico se estima rentable partiendo de que la fuente de energía (el Sol) es ilimitado y gratuito, por lo que, los costos más considerables será la inversión inicial y el mantenimiento.

Al aplicarse un correcto mantenimiento, se tiene en consideración que la vida útil de los paneles fotovoltaicos y la estructura de soporte es aproximadamente 25 años y para el inversor y los sistemas auxiliares (cableado, cajas de conexión y material eléctrico), de 20 años.

En Chile existe una amplia variedad de precios en cuanto a los costos por mantenimiento, pero según referencias internacionales los costos de mantenimiento varían entre un 0,5% y 2% de la inversión inicial del sistema.

3.2.1. Inversiones del proyecto

Estos son los recursos invertidos en la partida del proyecto, se comenzará a recibir beneficios una vez se recupere la inversión.

Respecto a los costos de los principales componentes del sistema solar FV se realizó una cotización a varios proveedores, donde los precios más económicos en relación de tiempo de entrega y valoración se presentan en la tabla 3-4.

Tabla 3-4. Costos artículos solares.

CANTIDAD	ARTÍCULOS SOLARES	VALOR UF
11	Panel solar jinko 445M	$ 57,80
1	Inversor Sunny boy 5.0	$ 46,94
3	Estructura, soporte	$ 13,23
TOTAL		$ 117,97

Fuente: Elaboración propia en base a distribuidores.

Sobre la mano de obra necesaria para la instalación del sistema, el costo se presenta en la tabla 3-5, se incluye un técnico y un ingeniero.

Tabla 3-5. Costos mano de obra.

CANTIDAD	MANO DE OBRA	VALOR UF
1	Técnico certificado	$ 29,98
1	Ingeniero	$ 37,87
TOTAL		$ 67,85

Fuente: Datos de salario estimados.

Se seleccionaron tres estructuras con una inclinación de 30º, dos estructuras para 4 paneles y una para 3, los que en total soportan 11 paneles. Los materiales de interconexión incluyen los cables fotovoltaicos con sus respectivos accesorios (incluidos).

Tabla 3-6. Costos elementos de interconexión.

ELEMENTOS DE INTERCONEXIÓN	VALOR UF
Material de interconexión	$ 1,55
Interruptor diferencial	$ 0,66
Otros	$ 1,46
TOTAL	$ 3,67

Fuente: Datos obtenidos de distribuidores.

Por medio de cotización se consideró un costo de mantenimiento anual equivalente a 1,5% de la inversión, considerando 2 mantenciones al año. La tabla 3-7 presenta el valor.

Tabla 3-7, Costos de Mantenimiento.

MANTENIMIENTO	VALOR UF
Costo mantenimiento anual	$ 2,84
TOTAL	$ 2,84

Fuente: Datos obtenidos con la inversión total.

La tabla 3-8 muestra el resumen de costos asociados al proyecto, incluyendo el equipamiento del sistema FV, material eléctrico, mano de obra y mantenimiento anual.

Tabla 3-8. Presupuesto.

PRESUPUESTO 4,89 kW					
%			CANTIDAD	PRECIO UNITARIO (UF)	PRECIO TOTAL (UF)
	MATERIALES SOLAR				
62%	Placas FV JKM445M		11	$ 5,25	$ 57,80
	Inversor Sunny boy 5.0		1	$ 46,94	$ 46,94
	Estructura para modulo		3	$ 4,41	$ 13,23
	INSTALACION ELECTRICA				
2%	Elementos de interconexion			$ 3,67	$ 3,67
	MANO DE OBRA				
36%	Mano de obra técnica		1	$ 29,98	$ 29,98
	Mano de obra profesional		1	$ 37,87	$ 37,87
	TOTAL 1				$ 189,49

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Evaluación del proyecto

Para una correcta evaluación del proyecto y de la inversión, se efectuará un estudio de rentabilidad tomando como indicadores los métodos de VAN, TIR y un periodo de recuperación (PAY-BACK), todo esto en un formato Excel.

Antes de llevar a cabo el flujo de caja se deja en claro la energía real consumida por la estación de servicios entre octubre de 2020 y septiembre de 2021 con su costo en CLP, de igual manera se muestra el consumo energético en kWh y el ahorro que serán entregados por la instalación fotovoltaica.

Tabla 3-9. Consumo y ahorro anual.

	Consumo energético (kWh)	Costo energía (CLP)	Costo energía (UF)
CONSUMO TOTAL ANUAL	40685	$6.232.008	196,63
AHORRO TOTAL ANUAL	9840	$1.507.262	47,56

Fuente: Elaboración propia.

En el flujo de caja se tomó la tasa de descuento con un 9.85% que es la tasa que indicó la sucursal Shell para el proyecto.

Las ecuaciones utilizadas para los cálculos, como ejemplo para el año 2 son.

$$\text{Ingreso (ahorro)N2} = (1.507.262 \cdot 0.01) + 1.507.262 = 1.522.335$$

$$Mantencion\ anual\ N2 = (-90.034 \cdot 0.03) + (-90.034) = -92.735$$

$$Flujo\ neto\ \ N2 = (1.522.335) + (-92.735) = 1.429.600$$

$$Flujo\ acumulado\ \ N2 = (1.429.600) + (-4.585.015) = -3.155.415$$

Tabla 3-10. Flujo de caja.

AÑO	INGRESO (AHORRO)	MANTENCION ANUAL	INVERSION	FLUJO NETO	FLUJO ACUMULADO
0	0	0	-6.002.243	-6.002.243	-6.002.243
1	$ 1.507.262	$ -90.034		1.417.228	-4.585.015
2	$ 1.522.335	$ -92.735		1.429.600	-3.155.415
3	$ 1.552.781	$ -95.517		1.457.264	-1.698.151
4	$ 1.583.837	$ -98.383		1.485.454	-212.697
5	$ 1.615.514	$ -101.334		1.514.180	1.301.483
6	$ 1.647.824	$ -104.374		1.543.450	2.844.933
7	$ 1.680.780	$ -107.505		1.573.275	4.418.208
8	$ 1.714.396	$ -110.730		1.603.666	6.021.873
9	$ 1.748.684	$ -114.052		1.634.632	7.656.505
10	$ 1.783.658	$ -117.474		1.666.184	9.322.689
11	$ 1.819.331	$ -120.998		1.698.333	11.021.021
12	$ 1.855.717	$ -124.628		1.731.089	12.752.111
13	$ 1.892.832	$ -128.367		1.764.465	14.516.575
14	$ 1.930.688	$ -132.218		1.798.470	16.315.046
15	$ 1.969.302	$ -136.185		1.833.118	18.148.163
16	$ 2.008.688	$ -140.270		1.868.418	20.016.582
17	$ 2.048.862	$ -144.478		1.904.384	21.920.965
18	$ 2.089.839	$ -148.812		1.941.027	23.861.992
19	$ 2.131.636	$ -153.277		1.978.359	25.840.351
20	$ 2.174.269	$ -157.875		2.016.394	27.856.745
21	$ 2.217.754	$ -162.611		2.055.143	29.911.888
22	$ 2.262.109	$ -167.490		2.094.619	32.006.507
23	$ 2.307.351	$ -172.514		2.134.837	34.141.344
24	$ 2.353.498	$ -177.690		2.175.808	36.317.152
25	$ 2.400.568	$ -183.021		2.217.548	38.534.700
VAN	8.993.391				
TIR	25%				
PAYBACK	$ 4,1				

Fuente: Elaboración propia.

Los ahorros por gasto en electricidad se calcularon con un 1% de reajuste anual, de acuerdo con la variación del porcentaje del kW.

Los gastos de mantención anual se reajustaron al 3% que corresponden al valor del IPC anual.

El VAN fue calculado con la opción VNA de Excel a una tasa de descuento de 9.85%.

$$VAN = (VNA(Tasa\ de\ descuento; I11{:}I35) + inversión$$

Con,

I11=1.417.228

I35=2.217.548

3.2.3. Cálculo de emisiones de CO_2

Además de los cálculos acerca de la compra, instalación y mantenimiento del sistema solar fotovoltaico, se calculó el CO_2 producido por el consumo energético de la estación de servicios Shell y cuanto dejará de producir al instalar este sistema de energía renovable.

Como se menciona en la Tabla 2-1 el consumo anual de la estación de servicios es de 40.685 kWh, la producción de CO_2 del sistema interconectado SEN en el año 2021 fue de 0.3966 Toneladas por MWh, por lo tanto, serían 396.6 Kg CO_2 por 1.000 kWh. El sistema Fotovoltaico instalado cubre un 24.19% de la demanda, equivalente a 9.840 kWh anual que dejarán de producir CO_2 a la atmosfera. Esto quiere decir que se dejará de producir;

Kilogramos que se dejan de producir:

Kg CO_2		kWh
396.6	→	1000
X	→	9.840

$$(\mathbf{396.6}\ \boldsymbol{Kg}\mathbf{CO^2})\ (\mathbf{9.84}\boldsymbol{kWh}) = \mathbf{3.902}\ \boldsymbol{Kg}\mathbf{CO_2}$$

Por lo tanto, el 24.19% menos de emisiones de CO_2 corresponden a 3.902 Kg CO_2 anualmente. Lo que ayuda con un grano de arena al medio ambiente y el calentamiento global y al mismo tiempo motiva para seguir progresando hacia un futuro sin contaminación y sin destrucción de nuestro hogar.

CONCLUSIÓN

En los últimos años las energías renovables han estado en constante evolución para disminuir sus costos de producción, así como también para aumentar su eficiencia. Actualmente en Chile se usa una gran cantidad de energía proveniente de combustibles fósiles, los cuales generan la mayor cantidad de gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera, los cuales afectan al medio ambiente y todo su ecosistema. Existe una meta energética que es llegar al año 2050 con un 70% de la generación eléctrica del país provenga de energías renovables. Esta es una gran oportunidad ya que son energías limpias que no producen desechos tóxicos y además son inagotables.

Por medio del presente estudio se llevó a cabo las maneras tanto técnicas como económicas a la hora de ejecutar una correcta implementación de sistemas fotovoltaicos conectados a la red, presentando los pasos a seguir en el dimensionamiento del sistema por medio del software Sunny Desing Sma, la inversión necesaria para su puesta en marcha, el ahorro que se logra en la cuenta anual de la luz como también la ayuda al medio ambiente a través del cálculo de emisiones de CO_2. Aprovechando las cualidades ambientales muy favorables de la ciudad de San Felipe para los sistemas Fotovoltaicos, ya que cuenta con una alta cantidad de radiación por metro cuadrado y la gran cantidad de días al año despejado.

En el caso de la estación de servicios Shell, la implementación del sistema fotovoltaico conectado a la red es viable según la evaluación económica a través del flujo de caja, el sistema cubre un 24.19% de la demanda total anual de la estación, lo que corresponde a 9.840 kWh de los 40.685 kWh, a primera vista no es muy rentable que la inversión cubra solo un porcentaje del consumo, pero obteniendo los beneficios tributarios, el emprendimiento muestra una mejor rentabilidad. Al emplear las herramientas financieras como el VAN, PAY BACK y TIR se concluye que la inversión inicial se recupera al cuarto año desde la puesta en marcha, con una vida útil del sistema Fotovoltaico de 25 años y mantenciones periódicas dos veces al año.

Cabe mencionar que aun cuando el sistema solo entregue energía durante el día, de igual forma contribuye a una disminución en la tarifa eléctrica y a una progresión paulatina de la manera en que se abastece la sucursal. Por lo tanto, los resultados obtenidos en este trabajo de título resultan una alternativa muy viable y conveniente para la estación de servicios Shell, así también cumpliendo con cada uno de los objetivos propuestos al inicio.

BIBLIOGRAFÍA

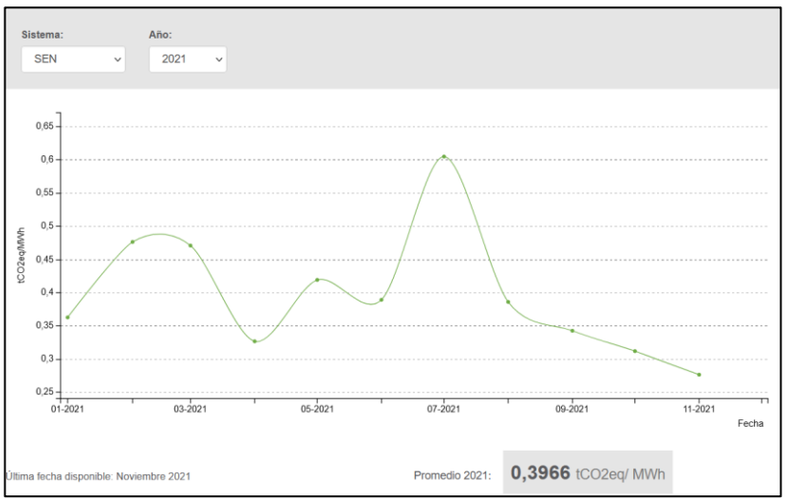
- Ministerio de Energía, Educar Chile, Aprende con Energía.
- Emisión de CO_2 por el sistema de distribución SEN 2021 http://energiaabierta.cl/visualizaciones/factor-de-emision-sic-sing/
- Distribuidores de productos Fotovoltaicos www.rbrenergy.cl
- Indicadores ambientales – Factor de emisiones del sistema eléctrico nacional, https://energia.gob.cl/indicadores-ambientales-factor-de-emisiones-gei-del-sistema-electrico-nacional.
- Norma Técnica que determina algoritmo para la verificación de la contribución solar mínima de los Sistemas Solares acogidos a la franquicia tributaria de la Ley Nº 20.365
- Dimensionamiento Sistema Fotovoltaico, Sunny Design SMA, www.sunnydesignweb.com/
- Distribuidor panel Fotovoltaico, https://www.casaedison.cl/producto/panel-solar-monocristalino-445w-jinko-half-cell/2019
- Explorador solar, https://solar.minenergia.cl/inicio
- Ley 20.571: Formaliza el derecho a autoabastecer un consumo eléctrico conectado a la red.
- Ministerio de energía, Política energética en chile.
- NAMA Facility, Guia de Operación y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos
- Ministerio de Energía, Gobierno de Chile, Guia de Operación y Mantenimiento de Sistemas Fotovoltaicos, Programa de techos solares públicos.

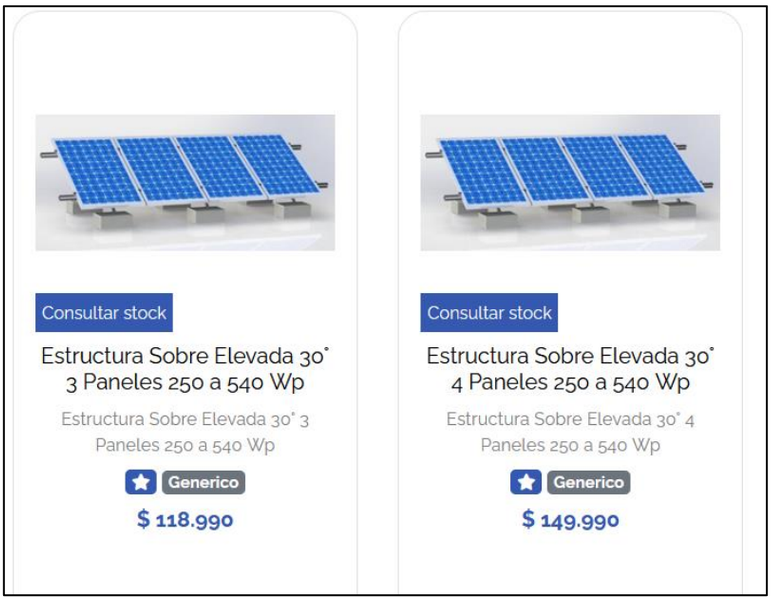
ANEXOS

Energía Fotovoltaica
Iluminación Solar LED
Bombeo Solar
Otras Soluciones
Material Eléctrico
Ofertas
Botón Pago
Cable Solar 6mm TOPSOLAR ZZ-F Rojo
SKU: AD5632
Top Cable
Stock por sucursal
Disponible
Precio Neto c/u
$ 1.084.-
I.V.A. c/u
$ 206.-
Precio Final c/u
$ 1.290.-
1
Agregar al carro
TOP CABLE TOPSOLAR

Cables Solares para corriente continua y uso a la intemperie
Cableado Solar para corriente continua (DC) y uso a la intemperie (uso interior y exterior). Alta aislación. Para instalaciones solares fotovoltaicas. Disponibles en Chile por DMU Energy.
Lista
Cuadrícula
Compara producto (0)
Ordenar por:
Precio (Menor > Mayor)
Mostrar:
20
Cable Solar y baterías 4 mm2 1500V Máx. H1Z2Z2-K EN-50618 HIS HIKRA (01 MT) (especial para sistemas solares)
$1.300 IVA Incluido
Este cable ha sido diseñado para el uso en instalaciones solares fotovoltaicas de acuerdo a la IE...
Añadir al carro
Añadir a la lista de deseos
Comparar
Cable Solar y baterías 6 mm2 1500V Máx. H1Z2Z2-K EN-50618 HIS HIKRA (01 MT) (especial para sistemas solares)
$1.700 IVA Incluido
Este cable ha sido diseñado para el uso en instalaciones solares fotovoltaicas de acuerdo a la IE...
Añadir al carro
Añadir a la lista de deseos
Comparar
Cable Solar y baterías 10 mm2 1500V Máx. H1Z2Z2-K EN-50618 HIS HIKRA (01 MT) (especial para sistemas solares)

Caja Pre-Galvanizada 100x65x65mm
SKU: AD5025
Stock por sucursal
Disponible
Precio Neto c/u
$ 1.597.-
I.V.A. c/u
$ 303.-
Precio Final c/u
$ 1.900.-
1
Agregar al carro
Caja Pre-Galvanizada 100x65x65mm con tapa y empaquetadura para realizar uniones o derivaciones de conductores eléctricos. Cotiza y compra online con pago WebPay.

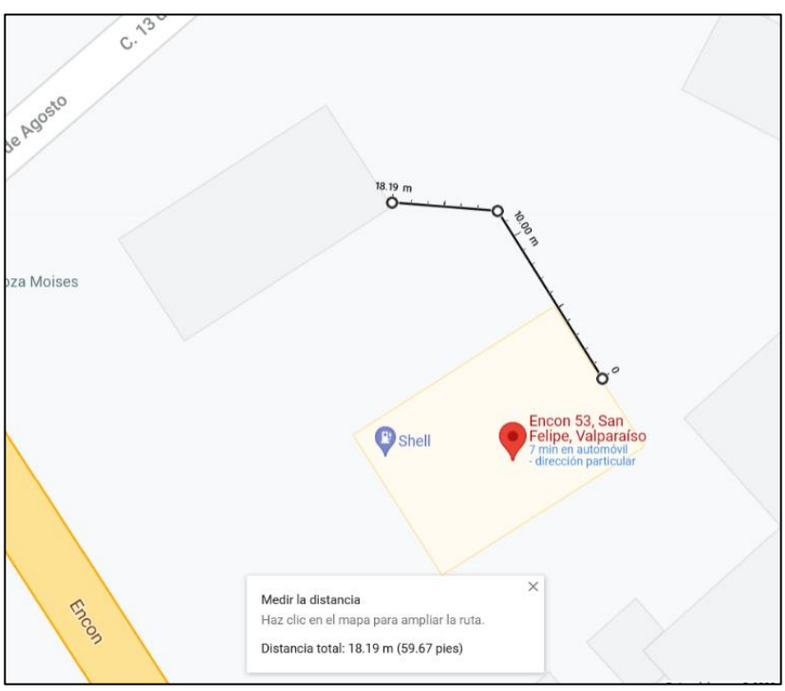

Sistema:
SEN
Año:
2021
tCO2eq/MWh
0,65
0,6
0,55
0,5
0,45
0,4
0,35
0,3
0,25
01-2021
03-2021
05-2021
07-2021
09-2021
11-2021
Fecha
Última fecha disponible: Noviembre 2021
Promedio 2021:
0,3966 tCO2eq/ MWh


Consultar stock
Estructura Sobre Elevada 30° 3 Paneles 250 a 540 Wp
Estructura Sobre Elevada 30° 3 Paneles 250 a 540 Wp
Generico
$ 118.990
Consultar stock
Estructura Sobre Elevada 30° 4 Paneles 250 a 540 Wp
Estructura Sobre Elevada 30° 4 Paneles 250 a 540 Wp
Generico
$ 149.990

EXPLORAR RECURSO SOLAR Y DATOS METEOROLÓGICOS
RESUMEN DEL SITIO
GRÁFICOS
DESCARGAS
LATITUD
LONGITUD
ALTURA
-32,74°
-70,73°
643 msnm
RADIACIÓN ANUAL
Global Horizontal (kWh/m²/día)
Global Inclinado 32° (kWh/m²/día)
Directa Normal (kWh/m²/día)
Difusa Horizontal (kWh/m²/día)
5,87
6,40
8,16
0,97
INFORMACIÓN METEOROLÓGICA
Frecuencia de Nubes (%)
Temperatura Ambiental (°C)
Velocidad del viento (m/s)
12
15,5
1,5
El Encon
San Felipe

INVERSOR SMA SUNNY BOY 5.0
SB5.0-IAV-41 (ON-GRID)
$1.487.500
MARCAS: SMA
DESCRIPCIÓN:
SMA SUNNY BOY 5.0
POTENCIA 5.0 KW
Compacto
• Montaje por parte de una sola persona gracias al bajo peso de 17,5 kg
• Mínima necesidad de espacio gracias al diseño compacto
Cómodo
• Instalación 100 % plug & play

C. 13 de Agosto
4.03 m
0
Shell


18.19 m
10.00 m
0
Shell
Encon 53, San Felipe, Valparaíso
7 min en automóvil
- dirección particular
Encon
Medir la distancia
Haz clic en el mapa para ampliar la ruta.
Distancia total: 18.19 m (59.67 pies)

ANEXO III - Radiación Solar Global Sobre Superficie Horizontal [kWh/m^2] - Media Mensual y Media Anual

Id	Comuna	Media Mensual (R_{Gm})												Media Anual (R_{Ga})
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
274	Río Negro	183,59	157,10	116,64	75,94	46,93	33,63	40,57	62,50	90,23	124,13	148,55	178,64	1258,46
275	Río Verde	145,02	100,54	82,18	42,79	22,53	12,25	15,85	27,06	63,84	95,33	140,11	152,02	899,54
276	Romeral	239,32	201,88	166,18	111,56	76,33	48,80	60,99	77,92	109,37	146,16	185,30	223,31	1647,13
277	Saavedra	196,66	163,28	138,25	87,41	54,41	40,84	46,56	71,41	100,97	140,38	166,38	192,78	1399,31
278	Sagrada Familia	216,41	175,32	150,36	95,16	56,28	38,10	51,19	74,14	108,21	152,29	189,34	211,34	1518,14
279	Salamanca	257,41	219,17	179,97	134,97	103,20	70,88	85,74	104,23	137,29	185,62	223,47	271,74	1973,69
280	San Antonio	197,62	153,62	135,72	89,36	61,46	48,00	57,45	80,01	109,46	148,36	178,72	198,17	1457,95
281	San Bernardo	245,18	195,42	170,01	110,74	75,57	57,01	69,57	92,50	126,74	179,94	221,02	248,34	1792,04
282	San Carlos	219,74	171,77	148,86	97,25	57,25	44,25	50,55	75,25	111,79	160,24	190,59	212,01	1539,54
283	San Clemente	232,48	195,67	163,53	108,33	72,40	46,01	57,32	76,04	106,10	142,64	175,77	218,20	1594,47
284	San Esteban	240,19	205,18	170,54	124,29	94,60	64,95	79,74	98,25	128,29	167,67	202,89	243,38	1819,98
285	San Fabián	241,13	201,70	166,04	109,56	71,42	48,49	54,84	75,26	105,94	159,02	195,52	230,63	1659,54
286	San Felipe	258,33	207,12	180,48	120,46	84,98	64,55	78,59	104,19	140,10	193,61	234,45	262,61	1929,47
287	San Fernando	237,99	200,72	164,48	112,43	78,67	50,67	62,80	80,24	111,26	146,56	186,96	224,04	1656,82
288	San Gregorio	173,10	120,21	96,94	51,19	26,90	15,07	19,53	32,68	75,52	115,08	167,77	179,34	1073,33
289	San Ignacio	218,05	168,46	147,40	96,35	56,70	44,00	49,35	74,00	111,00	160,70	189,05	209,70	1524,78
290	San Javier	217,66	174,71	150,60	96,26	57,31	40,55	51,57	74,93	110,57	156,12	191,72	212,55	1534,57
291	San Joaquín	253,00	203,00	176,00	116,00	79,00	60,00	73,00	98,00	132,00	188,00	230,00	258,00	1866,00
292	San José de Maipo	231,38	203,63	166,89	117,18	88,06	56,14	70,33	84,77	111,65	142,60	171,69	218,64	1662,97
293	San Juan de la Costa	193,15	164,16	122,91	79,41	49,55	35,42	42,46	65,71	93,99	129,67	157,13	189,33	1322,87
294	San Miguel	252,80	202,80	175,85	115,85	78,90	59,93	72,90	97,85	131,85	187,80	229,78	257,75	1864,08
295	San Nicolás	219,21	169,00	148,11	97,11	57,11	44,11	50,00	75,21	112,11	161,32	190,21	212,21	1535,71
296	San Pablo	187,73	159,71	118,94	77,81	48,66	34,16	40,99	63,81	91,81	126,64	151,90	182,86	1285,01
297	San Pedro	206,11	161,62	142,04	92,93	62,87	48,23	58,60	80,92	111,49	152,82	185,51	205,94	1509,09

Detección	Criterios: Probabilidad de detección de un modo de falla	Ranking
Casi imposible	No existen controles disponibles para detectar el modo de falla	10
Muy remota	Muy remota probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	9
Remota	Remota probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	8
Muy baja	Muy baja probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	7
Baja	Baja probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	6
Moderada	Moderada probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	5
Moderadamente alta	Moderadamente alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	4
Alta	Alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	3
Muy alta	Muy alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla	2
Casi cierta	Los actuales controles son casi certeros para detectar el modo de falla. Detección confiable	1

Probabilidad de falla	Posible tasa de falla	Ranking
Muy alta: La falla es casi inevitable	≥ 1 en 2	10
	1 en 3	9
Alta: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previos, que presentan fallas con frecuencia	1 en 8	8
	1 en 20	7
Moderada: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previos que experimentan fallas ocasionales, pero no en mayores proporciones	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 en 2.000	4
Bajas: Fallas aisladas asociadas con procesos similares	1 en 15.000	3
Muy baja: Solo fallas aisladas asociadas con procesos casi idénticos	1 en 150.000	2
Remota: La falla es poco probable. No se repiten las fallas de procesos casi idénticos	≤ 1 en 1.500.000	1

Efecto	Criterio: Severidad del efecto	Ranking
Peligros sin advertencia	Pone en peligro la seguridad del operario. Muy alto ranking de severidad, cuando el modo de falla afecta la seguridad operativa y/o envuelve el no cumplimiento de regulaciones gubernamentales. La falla no se advierte al ocurrir.	10
Peligros con advertencia	Pone en peligro la seguridad del operario. Muy alto ranking de severidad, cuando el modo de falla afecta la seguridad operativa y/o envuelve el no cumplimiento de regulaciones gubernamentales. La falla se advierte al ocurrir.	9
Muy alto	Perturbación grave a la línea productiva. Las perdidas pueden alcanzar al 100% del producto. Equipo inoperable, pérdida de la función primaria. Cliente muy insatisfecho.	8
Alto	Perturbación menor en la línea productiva. La producción puede tener que ser ordenada y una parte desechada (menor al 100%). Equipo operable, pero con un nivel de calidad reducido. Cliente insatisfecho.	7
Moderado	Perturbación menor en la línea productiva. Una porción (menor al 100%) puede tener que ser desechada (no ordenada). Equipo operable, pero con algunos ítems de confort inoperables. El cliente experimenta insatisfacción.	6
Bajo	Perturbación menor en la línea productiva. 100% del producto tiene que ser adaptado. Equipo operable, pero con algunos ítems de confort con un nivel de calidad reducido. El cliente experimenta algo de insatisfacción.	5
Muy bajo	Perturbación menor en la línea productiva. El producto puede ser ordenado y una porción (menor al 100%) adaptado. Ajustes y terminaciones y sonido en el ítem no están en conformidad. Defecto notado por la mayoría de los clientes.	4
Menor	Perturbación menor en la línea productiva. Una parte (menor al 100%) puede ser modificada en línea, pero fuera de la estación. Se presentan desajustes y chirridos que no están en conformidad. Defecto notado por el promedio de los clientes.	3
Muy menor	Perturbación menor en la línea productiva. Una parte (menor al 100%) puede ser modificada en línea, pero fuera de la estación. Se presentan desajustes y pequeñas vibraciones en el ítem que no están en conformidad. Defecto notado por la minoría de los clientes.	2
Ninguno	Sin efectos	1