



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

**PROYECTO DE INVERSIÓN DE PLANTA FOTOVOLTAICA EN
HOSPITAL COMUNITARIO DE HUASCO**

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

Profesor guía: Juan Carlos Madrigal Lobos

Rodrigo Ítalo Ballesteros Trichet

Copiapó, Chile 2023

DEDICATORIA

A Solangge, mi compañera de este camino, y a mi hija Javiera que llena nuestras vidas con su alegría, con quienes, junto a su incondicional amor, he atravesado esta nueva etapa universitaria, la cual me ha permitido profundizar conocimientos, madurar experiencias y mejorar capacidades.

A Elvira, mi madre que desde el cielo sé que me debe estar cuidando. A Enrique, mi padre quien siempre tiene algún consejo para el constante apoyo.

A mi familia, amigos y colegas, quienes siempre me demuestran cariño y aprecio a través de su ayuda inagotable y entretenidas conversaciones.

A los que ya no están y permitieron mi orientación a la Ingeniería; sé que estarían orgullosos.

Al Max y a la Mía, quienes acompañaron la mayor parte de estos escritos con sus travesuras diarias.

ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	3
1.2 Objetivos específicos.....	3
1.3 Metodología de trabajo.....	3
1.4 Resumen de capítulos.....	4
CAPÍTULO II.....	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Energía.....	6
2.2 Energía solar.....	7
2.3 Radiación solar.....	9
2.4 Movimiento solar.....	10
2.5 Energía solar fotovoltaica.....	11
2.6 Sistemas fotovoltaicos.....	11
2.7 Sistemas fotovoltaicos conectados a red.....	12
2.8 Clasificación de las instalaciones fotovoltaicas.....	13
2.9 Componentes de una instalación fotovoltaica conectada a red.....	14
2.10 Módulo fotovoltaico.....	14
2.11 Inversor.....	21
2.12 Estructura mecánica.....	22
2.13 Parámetros de una planta fotovoltaica.....	23
2.14 Parámetros de pérdida para generación fotovoltaica.....	24
2.15 Fases de desarrollo de una planta fotovoltaica.....	25
2.16 Fase de desarrollo.....	26
2.17 Fase de construcción.....	26
2.18 Fase de explotación.....	27

2.19 Fundamentos eléctricos aplicables.....	27
2.20 Explorador solar.....	29
2.20.1 Modelo monofacial básico	30
2.20.2 Modelo monofacial avanzado.....	30
2.20.3 Modelo bifacial.....	30
CAPÍTULO III.....	32
DEMANDA ENERGÉTICA DEL HOSPITAL COMUNITARIO DE HUASCO	32
3.1 Descripción general de la instalación	32
3.2 Descripción del sistema eléctrico	35
3.2.1 Detalle de empalme eléctrico	35
3.2.2 Detalle de la estructura eléctrica.....	35
3.3 Tarifa Eléctrica.....	37
3.4 Análisis del consumo eléctrico	38
3.5 Estimación por potencia instalada	38
3.5.1 Jornada administrativa	39
3.5.2 Jornada inhábil.....	40
3.6 Estimación por facturación.....	43
CAPÍTULO IV	47
CONFIGURACIÓN Y SIMULACIÓN DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA	47
4.1 Localización	47
4.2 Sombras.....	49
4.3 Estructura	50
4.3.1 Materiales.....	50
4.3.2 Análisis de cargas	50
4.3.3 Losas	51
4.4 Recursos climatológicos.....	51
4.4.1 Radiación incidente.....	51
4.4.2 Nubosidad	53
4.4.3 Temperatura.....	54

4.6 Diseño de la planta fotovoltaica	55
4.6.1 Configuración 1	56
4.6.2 Configuración 2	58
4.6.3 Configuración 3	61
4.6.4 Configuración 4	63
4.7 Análisis de resultados energéticos	65
4.8 Consideraciones de instalación del sistema fotovoltaico	68
4.8.1 Estructural	68
4.8.2 Eléctrica	69
CAPÍTULO V.....	71
ESTUDIO DE COSTOS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA	71
5.1 Costos de inversión sistema fotovoltaico On - Grid	71
5.1.1 Costos de Inversión Configuración 3.....	72
5.1.2 Costos de Inversión Configuración 4.....	73
5.2 Costos de Operación y Mantenimiento	74
5.2.1 Costos de Operación y Mantenimiento Configuración 3	74
5.2.2 Costos de Operación y Mantenimiento Configuración 4	75
5.3 Costos variables.....	76
5.4 Análisis de flujos de caja.....	76
5.4.1 Flujo de Caja Configuración 3	77
5.4.2 Flujo de Caja Configuración 4	79
5.5 Análisis de Sensibilidad	81
5.5.1 Sensibilidad respecto a la inversión inicial	82
5.5.2 Sensibilidad respecto al costo de energía	82
CAPÍTULO VI	84
CONCLUSIONES.....	84
BIBLIOGRAFÍA.....	86
ANEXO A	88

ANEXO B..... 92

ANEXO C..... 98

ANEXO D..... 99

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 2.1: Clasificación de instalación fotovoltaicas según potencia	13
Tabla N° 2.2: Clasificación de Paneles Fotovoltaicos	15
Tabla N° 3.1: Distribución Interna de Servicios en Hospital	33
Tabla N° 3.2: Información del empalme eléctrico del hospital.....	35
Tabla N° 3.3: Consideraciones del diseño del sistema eléctrico del Hospital	36
Tabla N° 3.4: Consideraciones del diseño del sistema eléctrico del Hospital	36
Tabla N° 3.5: Detalle de distribución de tableros eléctricos del hospital	37
Tabla N° 3.6: Consumo de energía diaria estimada en jornada administrativa.....	39
Tabla N° 3.7: Consumo de energía diaria estimada en jornada inhábil.....	40
Tabla N° 3.8: Detalle del porcentaje de incidencia energética anual por especialidad ...	42
Tabla N° 3.9: Consumo energético del hospital en el año 2023.....	43
Tabla N° 3.10: Consumo energético del hospital en el año 2023.....	44
Tabla N° 3.11: Consumo eléctrico (período marzo-junio 2023).....	46
Tabla N° 4.1: Radiación en el plano horizontal (kWh/m ² /día).....	51
Tabla N° 4.2: Radiación incidente en el plano con inclinación igual a la latitud del sitio (kWh/m ² /día)	51
Tabla N° 4.3: Frecuencia de la nubosidad mensual y diurna	53
Tabla N° 4.4: Temperatura media mensual y diurna	54
Tabla N° 4.5: Detalle de equipos seleccionados.....	56
Tabla N° 4.6: Características generales de los módulos fotovoltaicos	56
Tabla N° 4.7: Características generales de Inversor on grid.....	56
Tabla N° 4.8: Generación de energía fotovoltaica (Configuración 1).....	58
Tabla N° 4.9: Características generales de los módulos fotovoltaicos	59
Tabla N° 4.10: Características generales de inversor on grid	59
Tabla N° 4.11: Generación de energía fotovoltaica (Configuración 2).....	60
Tabla N° 4.12: Características generales de módulos fotovoltaicos.....	61
Tabla N° 4.13: Características generales de inversor on grid	61
Tabla N° 4.14: Generación de energía fotovoltaica (Configuración 3).....	63
Tabla N° 4.15: Características generales de los módulos fotovoltaicos	63

Tabla N° 4.16: Características generales de inversor on grid	63
Tabla N° 4.17: Generación de energía fotovoltaica (Configuración 4).....	65
Tabla N° 4.18: Resumen de las configuraciones fotovoltaicas.....	66
Tabla N° 4.19: Pérdidas totales del sistema fotovoltaico.....	66
Tabla N° 4.20: Resumen de los niveles energéticos anuales de producción.....	67
Tabla N° 4.21: Estimación de carga de techumbre.....	69
Tabla N° 4.22: Carga eléctrica de TDA y FB.2.....	70
Tabla N° 5.1: Resumen de configuraciones viables	71
Tabla N° 5.2: Resumen de parámetros para establecer flujos (configuración 3)	78
Tabla N° 5.3: Resumen de indicadores de proyecto (configuración 3).....	78
Tabla N° 5.4: Resumen de parámetros para establecer flujos (configuración 4)	79
Tabla N° 5.5: Resumen de indicadores de proyecto (configuración 4).....	80
Tabla N° 5.6: Resumen comparativo de indicadores de proyecto.....	80
Tabla N° 5.7: Comparativo de indicadores de proyecto respecto a la inversión inicial (configuración inicial).....	82
Tabla N° 5.8: Comparativo de indicadores de proyecto respecto al precio energético (configuración 4)	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Energías renovables y no renovables (BCN)	7
Figura N° 2.2: Formas de Energía Solar	8
Figura N° 2.3: Formas de Radiación Solar	10
Figura N° 2.4: Trayectoria Solar	10
Figura N° 2.5: Clasificación Sistemas Fotovoltaicos	12
Figura N° 2.6: Esquema de Sistema Fotovoltaico Conectado en Red.....	13
Figura N° 2.7: Componentes de un Sistema Conectado a Red	14
Figura N° 2.8: Conformación de un Panel Fotovoltaico	16
Figura N° 2.9: Curvas I-V y P-V de un panel fotovoltaico.....	17
Figura N° 2.10: Curva de tensión e intensidad en relación con la temperatura.....	18
Figura N° 2.11: Curva de tensión e intensidad para distintos niveles de irradiancia	19
Figura N° 2.12: Conexión en serie de paneles fotovoltaicos	20
Figura N° 2.13: Conexión en paralelo de paneles fotovoltaicos	20
Figura N° 2.14: Inversor solar trifásico on-grid.....	21
Figura N° 2.15: Estructura fija para Panel Fotovoltaico.....	23
Figura N° 2.16: Plataforma Explorador Solar.....	29
Figura N° 2.17: Plataforma Explorador Solar.....	31
Figura N° 3.1: Ubicación Hospital Comunitario de Huasco.....	32
Figura N° 3.2: Modelo Arquitectónico 3D Hospital	33
Figura N° 3.3: Modelo 3D, Zonificación Hospital Comunitarios de Huasco.....	34
Figura N° 3.4: Equipamiento Electromédico Instalado en Hospital	34
Figura N 3.5: Representación del consumo energético del Hospital.....	40
Figura N° 3.6: Representación del consumo energético del hospital.....	41
Figura N° 3.7: Detalle de porcentaje de incidencia energética anual por especialidad...	42
Figura N° 3.8: Consumo de energía (período marzo-junio 2023).....	44
Figura N° 3.9: Dda. Máx. leída (período marzo-junio 2023)	45
Figura N° 3.10: Dda Máx potencia hora punta (período marzo-junio 2023).....	45
Figura N° 4.1: Ubicación del Hospital Comunitario de Huasco	47
Figura N° 4.2: Techumbre disponible del hospital.....	48

Figura N° 4.3: Imagen satelital del hospital.....	49
Figura 4.4: Esquema referencial de la instalación de paneles.....	50
Figura N° 4.5: Radiación diaria directa, difusa y reflejada separada en componentes en un plano horizontal y en un plano inclinado igual a la latitud del sitio.....	52
Figura N° 4.6: Radiación diaria directa, difusa y reflejada separada en componentes en un plano horizontal y en un plano inclinado igual a la latitud del sitio.....	52
Figura N° 4.7: A) Ciclo anual de frecuencia de nubosidad diurna, B) Ciclo diario de nubosidad	53
Figura N° 4.8: A) Ciclo diario de la temperatura media, B) Ciclo anual de la temperatura media.....	55
Figura N° 4.9: Resultados de la simulación Explorador Solar	58
Figura N° 4.10: Resultados de la simulación Explorador Solar.....	60
Figura N° 4.11: Resultados de la simulación Explorador Solar.....	62
Figura N° 4.12: Resultados de la simulación Explorador Solar.....	65
Figura N° 4.13: Resumen comparativo de generación de energía	68
Figura N° 4.14: Esquema de instalación propuesto.....	69
Figura N° 4.15: Esquema de instalación de sistema solar fotovoltaico propuesto	70
Figura N° 5.1: Costos de inversión (Configuración 3).....	72
Figura N° 5.2: Costos de inversión (configuración 4).....	73
Figura N° 5.3: Costos de operación y mantenimiento (configuración 3).....	74
Figura N° 5.4: Costos de operación y mantenimiento (configuración 4).....	75

RESUMEN

El presente trabajo de título tiene por objetivo el estudio asociado al diseño de una planta fotovoltaica conectada a la red para generar energía eléctrica, aplicado al Hospital Comunitario de Huasco, en la comuna de Huasco. Inicialmente se desarrolla el marco teórico referido a la energía solar para facilitar la comprensión de los fenómenos que este tipo de energía utiliza, para luego dar paso a exponer las principales características, clasificaciones, componentes y parámetros relacionados con un sistema fotovoltaico conectado a red. Seguidamente, se procede a exponer las características y niveles de consumo energético de la instalación, para así determinar el tamaño y configuración del sistema fotovoltaico propuesto. Una vez determinada la planta fotovoltaica, se realizan simulaciones de operación por medio de la plataforma Explorador Solar y se comparan sus resultados energéticos. Finalmente, para las configuraciones de mejor desempeño energético, se realiza un análisis económico, mediante indicadores de proyecto que permitan seleccionar la mejor alternativa obtenida.

ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA - EFICIENCIA ENERGETICA -
ELECTRICIDAD

ABSTRACT

The objective of this work is the study associated with the design of a photovoltaic plant on grid to contribute to supply electrical energy in the Huasco Community Hospital. Initially, the theoretical framework related to solar energy will be developed to facilitate the understanding of the phenomena that this type of energy uses, and then give way to exposing the main characteristics, classifications, components and parameters related to a grid-connected photovoltaic system. Next, the characteristics and energy consumption levels of the installation will be explained, in order to determine the size and configuration of the photovoltaic system proposed. Once the photovoltaic plant has been determined, operation simulations are carried out through the Solar Explorer platform and their energy results are compared. Finally, for the configurations with the best energy performance, an economic analysis is carried out, using project indicators that allow selecting the best alternative obtained.

SOLAR PHOTOVOLTAIC ENERGY - ENERGY EFFICIENCY - ELECTRICITY

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Debido al nivel tecnológico alcanzado por la ingeniería eléctrica, en la actualidad, se ha desarrollado una alta importancia su aplicación en el aprovechamiento y explotación de fuentes energéticas renovables no convencionales. En este aspecto, este proyecto fomenta el estudio, interés y desarrollo respecto a la implementación de un sistema solar fotovoltaico On - Grid aplicado en el Hospital Comunitario de Huasco.

En relación con el Hospital Comunitario de Huasco, es necesario considerar que es un establecimiento de salud pública de baja complejidad perteneciente al Servicio de Salud Atacama que fue objeto de un proyecto de reposición en su infraestructura entre el periodo julio de 2019 a noviembre de 2022, con una superficie útil de 6.275,66 m² y que apunta a brindar prestaciones de atención primaria de salud, atenciones de urgencia y hospitalización, según la demanda asistencial de la Comuna de Huasco. En este sentido y en concordancia con la nueva infraestructura, instalaciones y equipamiento, el establecimiento presenta un avanzado cambio tecnológico y por consiguiente un aumento en su consumo energético.

Si bien el Hospital Comunitario de Huasco en su diseño y construcción presenta estrategias de eficiencia energética pasivas y activas las cuales responden a las nuevas políticas de infraestructura pública del país, este proyecto relativo al diseño y factibilidad de implementación de un sistema solar fotovoltaico viene a fortalecer las estrategias de eficiencia energéticas integradas y colaborar en la reducción de sus costos operacionales.

Inicialmente, este trabajo cuenta con el desarrollo de un marco teórico respecto a la tecnología solar aplicada, considerando los principales fundamentos y aspectos técnicos que se deben analizar para su correcto desarrollo.

Seguidamente, se procede a determinar los niveles de demanda energética de la instalación hospitalaria por medio de su facturación eléctrica y su tasa de ocupación, para así establecer la capacidad de generación de energía del sistema solar fotovoltaico.

La siguiente etapa contempla el proceso de diseño de la planta, ello utilizando inicialmente cuatro distintas configuraciones y las cuales son sometidas al proceso de simulación por medio de la plataforma explorador solar, herramienta que permite verificar sus rendimientos y producción energética en similares condiciones, de acuerdo con los equipos seleccionados en cada una de ellas. Es importante indicar que esta fase permite determinar las configuraciones que en similares condiciones obtienen mejores niveles de producción energética, y así favorecer el estudio de factibilidad propuesto.

Posteriormente, se realiza un análisis de costos de las configuraciones más favorables respecto a su nivel de producción energético considerando sus aspectos más generales para su eventual implementación. De similar forma, se procede a efectuar los flujos de caja en un periodo de proyección de 25 años de vida útil del proyecto, los que dan cuenta de los principales indicadores de inversión. Así también los resultados de la evaluación económica propuesta se complementan con un análisis de sensibilidad a factores tales como: costo de la inversión, precio de la energía. Según ello se presentan los principales resultados y sus análisis.

En función de los resultados obtenidos y las características del sistema solar fotovoltaico propuesto, se presentan las principales conclusiones asociadas a la factibilidad y pertinencia del proyecto presentado.

Finalmente, este trabajo integra los diferentes anexos que forman parte de la información que complementa su desarrollo y análisis.

1.1 Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es realizar el estudio de diseño y de factibilidad de implementación de un sistema de generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos que trabajen en red para el Hospital Comunitario de Huasco, ubicado en la comuna de Huasco, tercera región de Atacama.

1.2 Objetivos específicos

- ✚ Describir las fases de diseño, construcción, implementación, operación y mantenimiento de un sistema solar fotovoltaico destinada a la conversión de energía solar a eléctrica.
- ✚ Determinar la demanda energética asociada a las instalaciones del Hospital Comunitario de Huasco, para definir la capacidad de la instalación fotovoltaica.
- ✚ Realizar el estudio de costos de la instalación fotovoltaica.
- ✚ Evaluar económicamente la producción de electricidad de la instalación fotovoltaica mediante metodología de proyectos de inversión para infraestructura pública.
- ✚ Analizar los resultados respecto a factibilidad de implementación de un Sistema de solar fotovoltaico para el Hospital Comunitario de Huasco.

1.3 Metodología de trabajo

- ✚ Análisis y estudio respecto a materias relativas al funcionamiento e implementación de sistemas fotovoltaicos, considerando investigación y recopilación de información asociado a este tipo de sistemas y sus tecnologías.

- ✚ Efectuar estimaciones y cálculos que permitan determinar una óptima configuración de diseño, para así obtener el mayor rendimiento, en función del consumo energético del Hospital.
- ✚ Estudio y análisis del rendimiento de la planta solar fotovoltaica en base a la demanda energética esperada, por medio de la herramienta Explorador Solar para estimar su generación mediante el modelo monofacial avanzado.
- ✚ Efectuar estudio de costos de acuerdo con el diseño de la planta fotovoltaica.
- ✚ Desarrollar evaluación técnico económica del proyecto mediante metodología de inversión para infraestructura pública.
- ✚ Presentar y analizar los resultados obtenidos.

1.4 Resumen de capítulos

En el Capítulo II, fundamentalmente, se expone el marco teórico del desarrollo de este trabajo, considerando los principales conceptos y fenómenos relativos al proceso de operación de una planta fotovoltaica, así como sus principales elementos que la constituyen.

En el Capítulo III, se presenta la metodología y análisis de antecedentes que dan cuenta del comportamiento energético del Hospital Comunitario de Huasco durante el periodo de estudio, permitiendo así estimar la capacidad de la planta fotovoltaica proyectada.

En el Capítulo IV, se realiza el análisis del diseño de la planta fotovoltaica mediante simulaciones por medio de plataforma explorador solar para el Hospital Comunitario de Huasco, para cuatro configuraciones distintas, utilizando el modelo monofacial avanzado.

En el Capítulo V, se expone el estudio de costos y evaluación económica del proceso de generación de energía eléctrica solar fotovoltaica en estudio, aplicado a las configuraciones de planta más satisfactorias y da cuenta de la viabilidad económica del proyecto de inversión.

En el Capítulo VI, se muestran las principales conclusiones en función de los resultados logrados.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

La humanidad, a lo largo de su existencia y para su continuo desarrollo, ha necesitado comprender y utilizar energía. De acuerdo con ello, la energía se manifiesta en distintas maneras y se clasifica según los cambios que puede provocar en la materia. Con base en ello, las energías tradicionales más conocidas son: energía mecánica, energía eléctrica, energía térmica, energía electromagnética, energía química y energía nuclear.

Actualmente, la energía eléctrica es ampliamente utilizada en casi todas las actividades productivas y su disponibilidad o carencia afecta directamente en aspectos económicos, sociales y medioambientales, por lo cual uno de los grandes objetivos de la ingeniería actual es propiciar su uso adecuado y eficiente.

Sin embargo, el uso de energía proveniente de recursos fósiles tiene un carácter limitado y con efectos medioambientales irreversibles, por lo cual, y como solución a sus efectos se han desarrollado las energías renovables, consideradas limpias e inagotables.

Por ello, vital importancia ha tenido el desarrollo de este tipo de energías para la producción de electricidad, motivo que fundamenta el presente estudio.

2.1 Energía

Los tipos de fuentes generadoras se pueden clasificar en dos tipos, ver la Figura N° 2.1 [2].

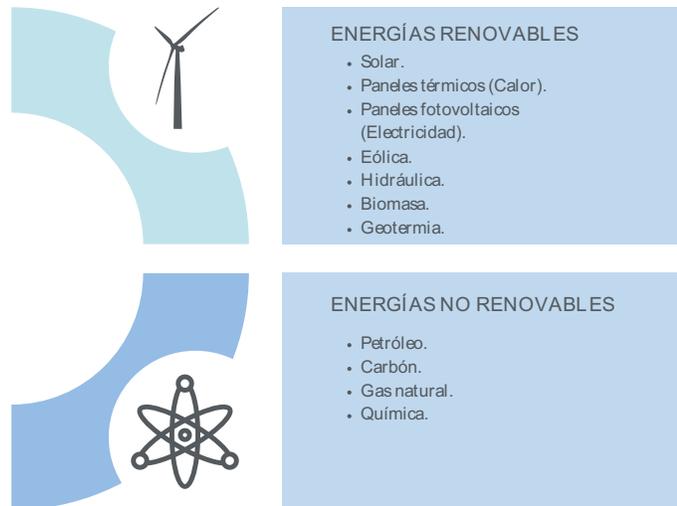


Figura N° 2.1: Energías renovables y no renovables (BCN).

Fuente: Elaboración Propia.

Las energías no renovables provienen de recursos naturales del tipo fósil, las que presentan agotamiento y altos niveles de polución. En cambio, el tipo de energías renovables son consideradas inagotables y limpias, por provocar menores efectos de contaminación, encontrándose en grandes cantidades o pudiendo ser renovadas por la naturaleza (solar, eólica, etc.).

En Chile, los sistemas de generación energética basan su operación en el uso de energía del tipo No Renovable lo cual no permiten prolongar su vida útil indefinidamente. Es por esta razón que durante los últimos años la tendencia a utilizar y favorecer el uso de energías renovables se ha incrementado sostenidamente para disminuir efectos ambientales negativos y apoyar un desarrollo energético sustentable.

2.2 Energía solar

Este tipo de energía se obtiene directamente desde el sol y es un tipo de energía renovable y abundante. Habitualmente, se hace uso de ella en diversas formas, ya sea como energía lumínica o energía calorífica [2].

Dado el avance tecnológico hasta nuestros tiempos, es que ello ha permitido hoy en día convertirla en energía eléctrica. Hoy en día, se pueden señalar tres formas básicas de aprovechamiento para la energía solar [1], según:

- ✚ **Energía Solar Pasiva:** se obtiene directamente del sol sin realizar ningún tipo de transformación.
- ✚ **Energía Solar Térmica:** es la que se obtiene el beneficio térmico mediante colectores solares, utilizada para calentar fluidos en forma indirecta.
- ✚ **Energía Solar Fotovoltaica:** es la que por medio de paneles fotovoltaicos transforma la radiación solar en energía eléctrica.

Ver la figura N° 2.2.

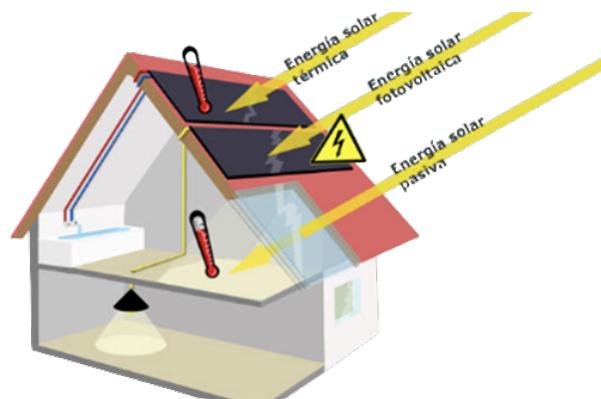


Figura N° 2.2: Formas de Energía Solar.

Fuente: Plataforma de educación Greenteach.

Si bien de las energías renovables, la energía solar ha conseguido mayor presencia en el mercado energético, ello por una serie de ventajas, destacándose:

- ✚ Bajo impacto ambiental y generación mínima de residuos.
- ✚ Fuente renovable y sostenible que permite independencia energética.

2.3 Radiación solar

La radiación solar proveniente del sol que llega a nuestro planeta y se manifiesta en nuestra superficie terrestre como luz de tres formas [2], a saber:

- ✚ **Radiación Solar Directa (B):** es aquella que alcanza la superficie terrestre directamente sin ser modificada en su trayectoria.
- ✚ **Radiación Difusa (D):** es aquella proveniente de los rayos dispersados en la atmósfera. Esta se encuentra disponible en los días mayormente nublados.
- ✚ **Radiación Reflejada o de Albedo (R):** es aquella radiación reflejada por la superficie receptora. Respecto a las demás radiaciones suele ser muy menor.

Ver la figura N° 2.3.

La suma de las radiaciones anteriores forma la radiación solar global (G). Es decir, la radiación total que recibe la superficie del receptor, donde:

$$G = B + D + R \quad (\text{Ec. N° 2.1})$$

Para medir la radiación solar se usan dos magnitudes [2], las cuales son:

- ✚ **Irradiancia:** es la radiación incidente o potencia por unidad de superficie. Se mide en Watts por superficie (W/m^2), nos indica la intensidad de la radiación.
- ✚ **Irradiación:** es la suma de las irradiancias en un cierto periodo de tiempo. Se trata de la cantidad de energía solar recibida a lo largo del tiempo. Usualmente se mide en kWh por superficie (kWh/m^2).



Figura N° 2.3: Formas de Radiación Solar.

Fuente: Sunfields Europe.

2.4 Movimiento solar

El sol presenta distintos recorridos durante las épocas del año, como lo muestra la figura N° 2.4, por lo cual, su movimiento es definido por un sistema de coordenadas angular [1], según:

- ✚ **Altura solar (α):** es el ángulo que tiene lugar cuando se conecta la horizontal del sitio y la posición aparente del sol.
- ✚ **Azimut solar (ψ):** es el ángulo formado por la posición del sol y la dirección del verdadero norte.

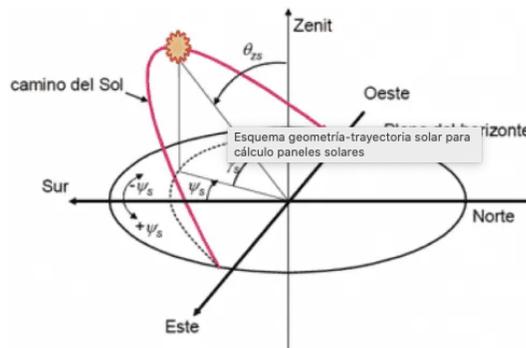


Figura N° 2.4: Trayectoria Solar.

Fuente: Sunfields Europe

2.5 Energía solar fotovoltaica

Es la energía renovable utilizada para producir energía eléctrica a partir de células fotovoltaicas. Estas células fotovoltaicas son dispositivos fabricados con elementos que reaccionan a la radiación solar incidente, y que mediante el efecto fotoeléctrico permiten la transformación de la energía solar en energía eléctrica [5].

Las células fotovoltaicas interconectadas entre sí dieron paso a la conformación del módulo fotovoltaico, utilizados hoy en día para la transformación de energía. Los materiales utilizados para su construcción son del tipo semiconductores, siendo los más comunes el silicio (Si) y el germanio (Ge).

La energía solar fotovoltaica puede presentar ventajas y desventajas, destacándose:

Ventajas:

- ✚ Gran potencial ya que no presenta limitaciones de captación.
- ✚ Alta versatilidad de generación modular, desde bajas hasta altas potencias.

Desventajas:

- ✚ Presenta generación discontinua de energía, dado por su naturaleza.
- ✚ Su costo de implementación inicial es aún elevado y de bajo rendimiento.

2.6 Sistemas fotovoltaicos

Un sistema fotovoltaico es aquel que está conformado por una serie de elementos eléctricos, mecánicos y electrónicos, los que en su conjunto permiten la captación de energía solar, su conversión a energía eléctrica y su acondicionamiento para suministro.

Independiente de su potencia y aplicación, los sistemas fotovoltaicos se pueden clasificar según muestra la figura N° 2.5 [3], en:

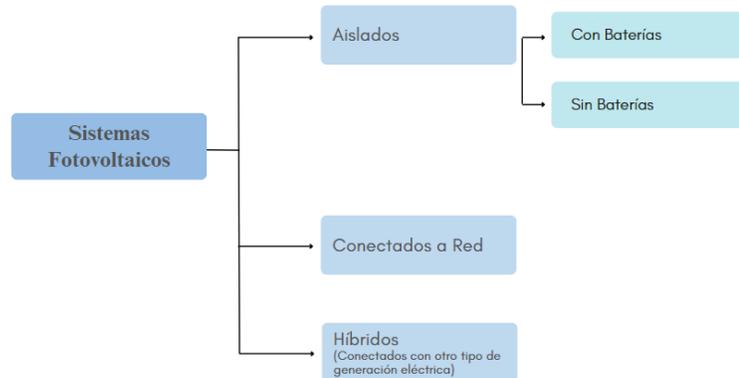


Figura N° 2.5: Clasificación Sistemas Fotovoltaicos.

Fuente: Elaboración Propia

Para efectos del estudio, solo se tratarán los sistemas fotovoltaicos conectados a red.

2.7 Sistemas fotovoltaicos conectados a red

Son aquellos donde la generación de energía se produce en las horas de sol y se inyecta a la red eléctrica, no almacenan energía y el inversor puede gestionar de manera eficiente la instalación, considerando la demanda energética de la red. Utiliza un medidor de energía bidireccional que permite medir tanto la energía inyectada como la consumida de la red, y así establecer su tarificación. Al no contar con sistema de almacenamiento es más económico de implementar considerando evitar la habilitación de espacios, adquisición de baterías, mantenimiento, mano de obra, etc., según se muestra en la figura N° 2.6.

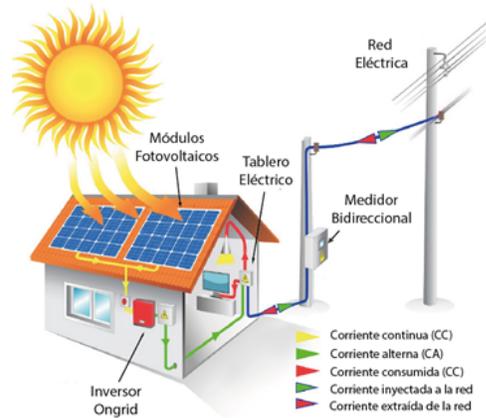


Figura N° 2.6: Esquema de Sistema Fotovoltaico Conectado en Red.

Fuente: Ayudelec

Entre las aplicaciones más comunes para este tipo de sistemas se encuentran:

- ✚ Centrales fotovoltaicas.
- ✚ Generación urbana distribuida.

2.8 Clasificación de las instalaciones fotovoltaicas

Las instalaciones fotovoltaicas se pueden clasificar según los niveles de potencia en:

Tabla N° 2.1: Clasificación de instalación fotovoltaicas según potencia.

Tipo	Características
Residencial	Aplicaciones domesticas con potencias entre 1 a 15 kWp.
Arquitectónica	Edificios o similares con potencia de 5 a 20kWp.
Central Fotovoltaica	Grandes aplicaciones con potencias de 100kWp a 10 MWp.

Fuente: [2] García, Marta. Diseño de una planta fotovoltaica de conexión a red (2015).

2.9 Componentes de una instalación fotovoltaica conectada a red

En estas instalaciones, se pueden distinguir sus principales componentes según muestra la figura N° 2.7 y que son: Módulo Fotovoltaico, Inversor de Tensión.

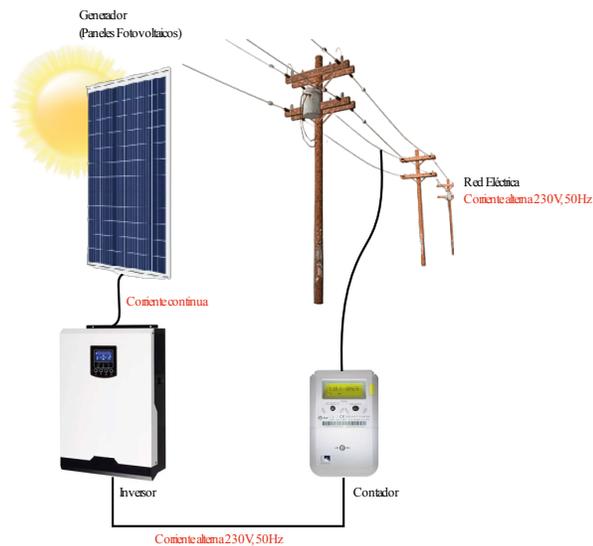


Figura N° 2.7: Componentes de un Sistema Conectado a Red.

Fuente: Areatecnología.

2.10 Módulo fotovoltaico

Son aquellos dispositivos conformados por células fotovoltaicas que permiten la transformación de energía solar en eléctrica. Dichas células generalmente fabricadas por materiales semiconductores del tipo silicio (Si) o germanio (Ge) están interconectadas entre sí, selladas e impermeabilizadas en distintas configuraciones.

Mientras la radiación solar incida sobre la superficie de la célula se generará electricidad y su intensidad será directamente proporcional a la cantidad de radiación recibida, inclusive si ésta es difusa.

Los paneles fotovoltaicos de Silicio (Si) se clasifican según su fabricación como se muestra en la tabla N° 2.2 [3], según:

Tabla N° 2.2: Clasificación de Paneles Fotovoltaicos.

PANEL SOLAR	SILICIO	RENDIMIENTO	CARACTERISTICAS
	MONOCRISTALINO	15-18%	Con estructura cristalina uniforme, están fabricados con silicio de alta pureza, de color oscuro y brillo metálico. Si bien son más caros y su rendimiento decae con altas temperaturas, su extensa vida útil puede hacer que éste sea recompensado.
	POLICRISTALINO	12-14%	De estructura cristalina no homogénea de color azul, con baja eficiencia de conversión debido a su coeficiente de temperatura.
	AMORFO	<10%	De color marrón presenta estructura cristalina no homogénea, aunque permiten lograr células muy delgadas, presentan una baja eficiencia. Además se caracterizan por una alta degradación que acorta su vida útil

Fuente: Elaboración Propia.

Las principales partes de un panel fotovoltaico se muestran en la figura N° 2.8 [4], a saber:

- ✚ **Cubierta Frontal:** fabricado en vidrio templado o resinas termoplásticas, brinda resistencia a condiciones climatológicas adversas.
- ✚ **Encapsulante:** evita el ingreso de humedad y polvo, así como reduce pérdidas de radiación por reflexión y presenta resistencia a esfuerzos mecánicos.
- ✚ **Célula Fotovoltaica:** es el elemento que permite la conversión de energía.
- ✚ **Cubierta Posterior:** fabricado de resina llamado Tedlar o vidrio templado, que permite a los paneles ser utilizados como fachadas semitransparentes.

- ✚ **Marco:** es la parte que envuelve al panel y se fabrica usualmente en aluminio o plástico y da la estructura para la posterior instalación.

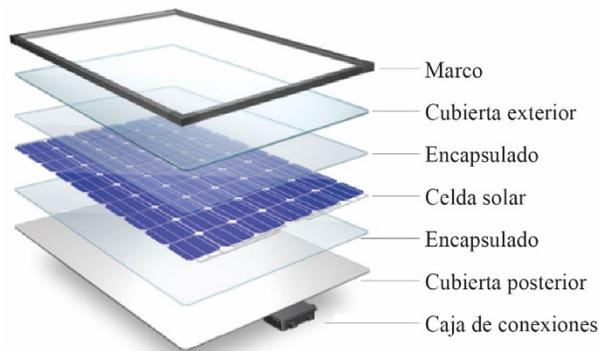


Figura N° 2.8: Conformación de un panel fotovoltaico.

Fuente: Tesla Energy.

Las principales características eléctricas de un panel fotovoltaico según [2] son:

- ✚ **P_{max} :** es la potencia máxima que el panel puede entregar. También se denomina potencia peak y es útil para estimar una instalación.
- ✚ **$I_{P_{max}}$:** es la corriente eléctrica a la máxima potencia entregada por el panel.
- ✚ **$U_{P_{max}}$:** es la tensión eléctrica a la máxima potencia entregada por el panel.
- ✚ **I_{SC} :** es la intensidad máxima que logra un panel, se obtiene en sus bornes cuando se produce un corto circuito.
- ✚ **V_0 :** es la tensión de vacío de un panel, se obtiene en sus bornes sin ninguna carga conectada.

Todo panel fotovoltaico tiene curvas características de intensidad - voltaje (I-V), y potencia - voltaje (P-V), las que permiten observar su comportamiento bajo ciertas condiciones [1]. Según la figura N° 2.9, se pueden observar estos parámetros y la curva de máxima eficiencia para regular su operación, es decir:

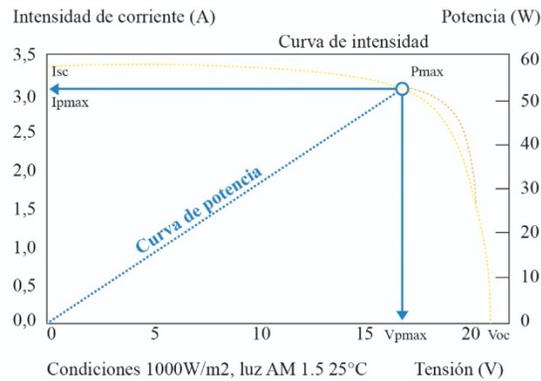


Figura N° 2.9: Curvas I-V y P-V de un panel fotovoltaico.

Fuente: Autosolar.

Las principales características constructivas de un panel fotovoltaico son:

Temperatura: debido a que los paneles fotovoltaicos se instalan frecuentemente bajo condiciones climatológicas adversas, este parámetro es de gran relevancia para establecer su relación de eficiencia. Bajo ciertas condiciones de medición estándar son establecidas sus curvas de comportamiento en fábrica, según se muestra en la figura N° 2.10, a saber:

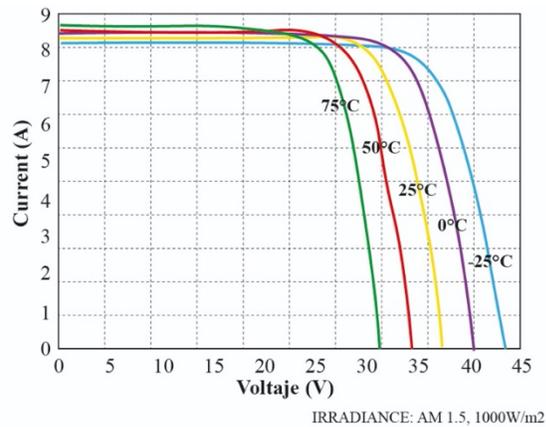


Figura N° 2.10: Curva de tensión e intensidad en relación con la temperatura.

Fuente: Tritec Inervento.

La relación entre la temperatura y el nivel de generación de energía es inversamente proporcional, es decir la temperatura actúa como un factor negativo en el rendimiento del panel. Por ello, los paneles entregan su mayor rendimiento en días fríos y soleados. Los paneles que no están fabricados con silicio no son afectados por este parámetro, toda vez que no son sensibles a la temperatura de exposición. Por estas razones, se recomienda instalar los paneles en lugares bien aireados para brindar la disipación de calor necesaria.

Irradiancia: Es el parámetro que afecta directamente las curvas de I-V de los paneles y modifica su punto de trabajo, afectando al rendimiento y la eficiencia del módulo. Entre los factores que puedan causar su variación se puede indicar:

- ✚ **Reducción de masas de aire:** fenómeno que permite un paso de luz más limpio, provocando un aumento de radiación solar sobre el panel.
- ✚ **Borde de nube:** fenómeno que provoca la reducción de intensidad de radiación solar sobre el panel por efecto de las sombras de las nubes.
- ✚ **Reflejo solar ambiente:** fenómeno que ocurre en cercanías de cuerpos brillantes tales como agua o nieve, lo que genera un aumento de radiación sobre el panel.

Bajo ciertas condiciones de medición estándar son establecidas sus curvas de comportamiento en fábrica, según muestra la figura N° 2.11 [1], teniéndose:

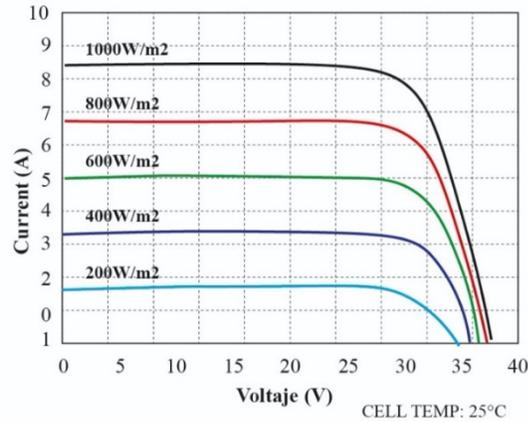


Figura N° 2.11: Curva de tensión e intensidad para distintos niveles de Irradiancia.

Fuente: Tritec Intervento.

Las condiciones estándar o STC (standard test conditions), para un panel fotovoltaico se tienen al contar con una temperatura de 25 °C, una radiación de 1000 W/m² a una presión de 1,5 Atm (atmosferas). Esto permite efectuar ensayos sobre los paneles para establecer su grado de eficiencia, aunque usualmente no trabajan en esas condiciones, por lo que su eficiencia variará.

Otro aspecto relevante en relación con el desempeño de los paneles fotovoltaicos es su eficiencia, lo cual se define como:

$$n = \frac{P_m}{E \cdot A_C} \quad (\text{Ec. N° 2.2})$$

Donde:

- ✚ P_m es la potencia máxima del panel medido en condiciones estándar.
- ✚ E es la radiación solar que alcanza el panel (W/m²)
- ✚ A_C corresponde al área de la célula (m²)

Para implementar paneles fotovoltaicos se tienen dos tipos de asociaciones, a saber:

Asociación Serie: denominada string, resulta al conectar los paneles fotovoltaicos en serie, según lo muestra la figura N° 2.12, lo que permite elevar el voltaje a una intensidad constante. La máxima cantidad de paneles a interconectar está dada por la tensión admitida por el inversor.

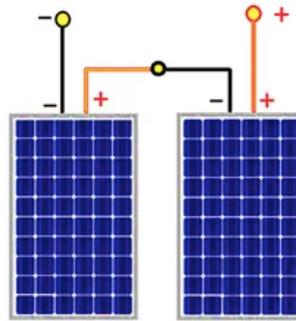


Figura N° 2.12: Conexión en serie de paneles fotovoltaicos.

Fuente: EDP Solar.

Asociación Paralelo: resulta al conectar en paralelo los paneles o strings, según lo muestra la Figura N° 2.13, lo que permite elevar la intensidad de corriente a tensión constante. La máxima cantidad de paneles que se pueden interconectar está dada por la corriente admitida por el inversor.

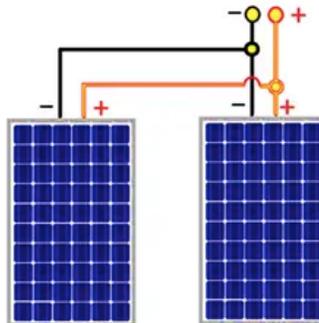


Figura N° 2.13: Conexión en paralelo de paneles fotovoltaicos.

Fuente: EDP Solar.

2.11 Inversor

Es un dispositivo electrónico de potencia que permite la conversión de corriente continua generada por los paneles fotovoltaicos en corriente alterna para inyectarla a la red eléctrica, según se muestra en la figura N° 2.14 [2]. Su funcionamiento se basa en el uso de semiconductores que permiten regular las formas de ondas de conversión.



Figura N° 2.1: Inversor solar trifásico On - Grid.

Fuente: Khun Solar.

Entre sus características más relevantes destacan:

- ✚ **Rendimiento:** se define como el cociente entre la potencia activa que suministra y la potencia continua que recibe y su valor oscila entre 90 y 95 %.
- ✚ **Calidad de Onda:** parámetro asociado a la calidad del equipo, para cumplir exigencias normativas de tensión, frecuencia, factor de potencia y THD.
- ✚ **Seguimiento del punto de máxima potencia:** es una estrategia de control por la cual el inversor intenta mantener el punto de máxima potencia de los paneles.

En cuanto a su potencia nominal, se pueden señalar las siguientes clasificaciones:

- ✚ **Microinversores:** equipos de baja potencia monofásicos de hasta 1 kW, utilizados para conversión de energía modulo a modulo.

- ✚ **Inversores de Baja Potencia:** van de potencias desde 1 kW hasta los 10 kW. Sus aplicaciones pueden ser para un string o multi-string.
- ✚ **Inversores Mediana Potencia:** son equipos de alta eficiencia utilizados en aplicaciones trifásicas con potencias entre 10 kW y < 100 kW.
- ✚ **Inversores Gran Potencia:** son equipos usados en potencias sobre los 100 kW, que permiten interconexión en paralelo para elevar potencias de salida.
- ✚ **Inversores en Solución Integrada:** son equipos integrados a transformador elevador de media tensión, incluye los elementos de protección en MT, generalmente integrados en una cabina o gabinete apta para intemperie.

La tecnología actual de los inversores permite una serie de ventajas, destacándose:

- ✚ Bajo Mantenimiento.
- ✚ Mayor seguridad, calidad y eficiencia.
- ✚ Flexibilidad de Interconexión.
- ✚ Gestión remota y registro de data.

2.12 Estructura mecánica

Las estructuras mecánicas soportantes de los paneles fotovoltaicos se clasifican en: Estructura Fija y Seguidor Solar. En este estudio, solo se explicará la primera:

Estructura Fija: usualmente es un emparrillado metálico de acero galvanizado o aluminio anodizado, que, con cierta inclinación, soporta los paneles, según se muestra en figura N° 2.15. Respecto al tipo de instalación que se trate, es decir, si los paneles estarán a nivel de suelo, en cubiertas o muros de edificaciones o viviendas, serán las exigencias a tener presente en su diseño e implementación, entre las que destacan:

- ✚ Uso de materiales resistentes a la corrosión y esfuerzos mecánicos.
- ✚ Asegurar buen contacto eléctrico, para protección frente a descargas eléctricas.
- ✚ Permitir variaciones en el ángulo de inclinación de los paneles.

La distancia entre filas tiene directa relación con la potencia de la instalación, ya que optimiza el uso de la superficie y evita la proyección de sombras entre paneles.



Figura N° 2.2: Estructura fija para panel fotovoltaico.

Fuente: Solarmat.

2.13 Parámetros de una planta fotovoltaica

Una planta fotovoltaica debe considerar una serie de parámetros [6], destacándose:

- ✚ **Potencia Peack:** se denomina potencia peack de una instalación a la suma de la potencia de todos los módulos fotovoltaicos en condiciones estándar.
- ✚ **Potencia Nominal:** corresponde a la suma de potencia de todos los inversores. Es la que regula el nivel de generación capaz de entregar por la planta.
- ✚ **Energía Producida:** corresponde a la energía conectada a la red en un intervalo de tiempo durante el funcionamiento de la planta fotovoltaica.
- ✚ **Factor de Planta:** parámetro que se calcula durante un periodo de tiempo y se lleva a cabo a través de una evaluación independiente de los siguientes parámetros:

$$\text{Factor de Planta} = \frac{E_p}{h * P_m} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 2.3})$$

Donde:

- ✓ E_p : energía producida (resultados de producción de energía neta).
- ✓ P_m : potencia teórica máxima (máxima potencia de producción de acuerdo con su capacidad).
- ✓ h : intervalo de tiempo considerado (usualmente en horas).

✚ **Producción específica:** representa la cantidad de energía obtenida por cada unidad de potencia peak instalada. Se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Produccion especifica} = \frac{E_p \text{ (kWh)}}{P_{\text{pico}} \text{ (kW)}} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 2.4})$$

✚ **Performance Ratio (PR):** parámetro que establece el rendimiento de la planta fotovoltaica. El PR usualmente para una planta fotovoltaica oscila entre un 70 % y un 80 %. Se calcula simplifícadamente como sigue:

$$\text{PR} = \frac{\text{Rendimiento Real leído de la Instalacion en kWh/año}}{\text{Rendimiento nominal calculado de la instalacion en kWh/año}} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 2.5})$$

- Rendimiento real en kWh se lee al final del periodo en el medidor.
- Rendimiento nominal del periodo se obtiene como sigue:

$$\text{Rend. Nominal} = \text{Irradiacion del año} \times \text{Rendimiento de MFV} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 2.6})$$

2.14 Parámetros de pérdida para generación fotovoltaica

Entre los principales parámetros de pérdida en generación que destacan [6], son:

- ✚ **Sombras:** ocasionadas por obstáculos diversos, desde edificaciones cercanas, geografía accidentada, especies arbóreas, nubosidades u otros que interfieren con la radiación incidente sobre los paneles. En el proceso de localización se tratan de evitar este tipo de condiciones, se estima una incidencia no superior al 5 %.
- ✚ **Pérdidas Angulares:** ocasionadas por el ángulo de incidencia de la radiación sobre los módulos. Si la radiación incide sobre los módulos con un ángulo distinto de 0° se producen pérdidas que aumenta según crece el ángulo.
- ✚ **Polución:** factor del entorno que afecta el rendimiento de generación, desde polvo a precipitaciones. Estas pérdidas disminuyen con el plan de mantenimiento y limpieza. Para climas desérticos se estiman entorno al 3,5 %.
- ✚ **Rendimiento de Dispositivos:** factor asociado a la eficiencia, calidad y condiciones de instalación, tales como la temperatura, radiación, etc.
- ✚ **Dispersión:** se debe a la no uniformidad de la radiación solar incidente sobre los módulos, presentando un efecto negativo en la curva I-V. Se suelen considerar valores del orden del 1 % de pérdidas por esta condición.
- ✚ **Pérdida por Cableado:** son producidas por las pérdidas óhmicas en el cableado de CC y CA utilizados, generalmente no superan el 1,5 %.

2.15 Fases de desarrollo de una planta fotovoltaica

Un proyecto fotovoltaico es un esfuerzo temporal que de manera segura, eficiente y rentable busca solucionar cierta necesidad energética. En el diseño del anterior, es necesario desarrollar una serie de fases que permiten brindar una secuencia lógica de implementación [2], destacándose:

2.16 Fase de desarrollo

En esta fase del proyecto, se desarrollan una serie de estudios. Estos son:

- ✚ **Estudio de Previabilidad:** se revisan aspectos técnicos asociados a la viabilidad del emplazamiento o terreno, considerando propiedad o arriendo. Además, se evalúa el recurso solar, la conexión a la red y el costo de construcción.
- ✚ **Estudio de viabilidad:** responde al análisis de selección de tecnología, elección de superficie, climatología, mano de obra, proveedores, garantías, etc.
- ✚ **Estudio de terreno:** se debe verificar disponibilidad de la superficie, para continuar con su proceso de habilitación y negociación si es requerido.
- ✚ **Estudio de documentos:** considera todas las autorizaciones exigidas.
- ✚ **Estudio de ingeniería:** considera el detalle de los sistemas y equipos, el diseño de la planta y consideraciones de instalación.
- ✚ **Estudio financiero:** considera el análisis financiero del proyecto, fuentes de financiamiento, seguros u otros asociados a la inversión.

2.17 Fase de construcción

Esta fase inicia con la construcción física de la instalación, adquisición de materiales, contratación de mano de obra, revisión de ingeniería, entre otras. También se realizan actividades de control de calidad de los componentes y sus costos.

En su término, generalmente, se realiza un certificado de recepción provisoria con la finalidad de dar por terminado el proceso de construcción frente a la entidad mandante.

En su entrega, se deben considerar todos los documentos asociados a la instalación, permisos y certificados, planimetrías as built, fichas de productos y equipos, manuales de operación y mantención, certificados de garantía, entre otros.

2.18 Fase de explotación

Esta fase es posible subdividirla en las siguientes dos etapas:

- ✚ **Periodo de garantía:** es donde convergen la puesta en marcha y operación, se pone a prueba la capacidad de generación, se corrigen problemas.
- ✚ **Periodo de explotación:** se extiende por toda la vida útil del proyecto, generalmente una duración de 20 a 30 años. En esta etapa se espera que se obtengan los beneficios económicos y/o energéticos según el proyecto.

2.19 Fundamentos eléctricos aplicables

En vista de considerar aspectos conceptuales para el tratado de este estudio, se exponen algunas definiciones y normativas que rigen a la industria eléctrica nacional [7], según:

- ✚ **Potencia instalada:** se obtiene del resultado de la suma de las potencias nominales de todos los aparatos consumidores de energía eléctrica instalados en el sistema. Usualmente expresada en kW o kVA.
- ✚ **Demanda:** corresponde al valor promedio de potencia requerida por una carga, medida en un periodo de tiempo.

$$\text{Demanda} = \frac{\int_0^{\Delta t} p(t)dt}{\Delta t} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 2.7})$$

✚ **Demanda peak:** es el valor máximo de todos los registros medidos en una carga. Este valor resulta de gran importancia dado que es utilizado para dimensionamientos y estimaciones de carga.

✚ **Factor de carga:** es la relación que existe entre la demanda promedio de un periodo y el peak de demanda durante el mismo periodo de tiempo. Con frecuencia es calculado dividiendo el total de la energía acumulada para el periodo de tiempo considerado y el resultado dividido por la demanda peak.

$$\text{factor de carga} = \frac{\text{Demanda promedio}}{\text{Demanda peak}} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 2.8})$$

De resultar un valor elevado, se interpreta que la demanda de la carga está cerca del peak la mayor parte del tiempo.

✚ **Factor de demanda:** se expresa como la relación entre la demanda máxima y la carga instalada. Este factor indica la fracción de la carga instalada que es utilizada simultáneamente en periodo, por lo que siempre su valor es menor a la unidad.

$$\text{factor de demanda} = \frac{\text{Demanda maxima}}{\text{Carga instalada}} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 2.9})$$

✚ **Factor de diversidad:** es la relación entre la suma de las demandas máximas individuales de las partes del sistema y la demanda máxima del sistema. Su cálculo estará basado en las características de la carga y su ciclo de operación, por lo que siempre es mayor que la unidad.

$$\text{factor de diversidad} = \frac{\sum \text{Demandas maximas individuales}}{\text{Demanda maxima sistema}} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 2.10})$$

Este factor es aplicable a distintos niveles de un mismo sistema, en ciertos casos se usa su valor reciproco conocido como factor de coincidencia.

- Densidad de carga:** es factor resultante entre el cociente de la demanda y la unidad de área referida. Se emplea tanto en proyectos residenciales, comerciales como industriales.

$$D_{\text{carga}} = \frac{\text{Demanda (kW)}}{\text{Unidad de Area (m}^2\text{)}} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 2.11})$$

2.20 Explorador solar

En la actualidad, para llevar a cabo estudios de instalaciones fotovoltaicas, se utilizan una serie de softwares los que presentan grandes ventajas tales como optimizar tiempos y resultados de cómputos, resolver geolocalización de terrenos, simular niveles de producción fotovoltaica u otras.

En nuestro país, existe una plataforma online denominada Explorador Solar, la cual es de acceso gratuito y corresponde a una potente herramienta que permite estimar sistemas fotovoltaicos considerando parámetros de producción y ahorro energético, todo ello bajo condiciones geográficas y climatológicas vinculadas a nuestro territorio. En general, la plataforma fomenta cálculos energéticos de sistemas solares fotovoltaicos y térmicos [9].



Figura N° 2.3: Plataforma explorador solar.

Fuente: Explorador solar.

En particular, el software es alimentado con datos de una red de estaciones de medición de recursos meteorológicos instalados a lo largo de Chile, con fines energéticos [9].

Para las aplicaciones que son de interés para este proyecto, se presenta una breve descripción:

- ✚ **Explorar:** herramienta que permite comparar el recurso solar y las características meteorológicas de cierto lugar de manera rápida y sencilla.
- ✚ **Calcular sistemas fotovoltaicos:** herramienta que permite estimar el nivel de producción de un sistema fotovoltaico, mediante modelos:

2.20.1 Modelo monofacial básico

- ✚ Permite especificar características del arreglo fotovoltaico
- ✚ Permite especificar características de la instalación
- ✚ Permite especifica perdidas de la instalación

2.20.2 Modelo monofacial avanzado

- ✚ Permite especificar características del panel fotovoltaico
- ✚ Permite especificar características del arreglo fotovoltaico
- ✚ Permite especificar características del inversor
- ✚ Permite especificar perdidas de la instalación

2.20.3 Modelo bifacial

- ✚ Permite especificar características del arreglo fotovoltaico
- ✚ Permite especificar características de la instalación
- ✚ Permite especificar características del panel fotovoltaico
- ✚ Permite especificar perdidas de la instalación

Para cada aplicación, la plataforma entrega resultados de forma gráfica y en reportes digitales, lo que potencia la calidad y la comprensión de la información entregada. Es relevante indicar que sus resultados son aceptados como memorias válidas para diseño de este tipo de sistemas [9].

3 Generación Fotovoltaica

3.1 Características del arreglo fotovoltaico

Las características del sistema ingresadas por el usuario para la simulación de la generación fotovoltaica y los resultados se presentan en esta sección.

Tabla 3: Características del sistema fotovoltaico

Configuración	Fijo Horizontal
Montaje	roof mount cell glassback
Inclinación	0°
Azimut	0°
Coef. Temperatura	-0.45 %/°C
Ef. Inversor	96.0 %
Pérdidas	14 %

3.2 Resultados de la generación eléctrica fotovoltaica

Tabla 4: Resultados de la generación fotovoltaica

Capacidad Instalada	27.3 kW
Total Diario	96.0 kWh
Total Anual	34.98 MWh
Factor de Planta	15.0 %

Tabla 5: Ciclo anual de la generación fotovoltaica.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
MWh	4.44	3.78	3.18	2.17	1.67	1.48	1.69	2.11	2.74	3.52	3.8	4.41

(a) Promedio de la generación total en cada mes.



Figura N° 2.4: Plataforma explorador solar.

Fuente: Explorador Solar.

CAPÍTULO III

DEMANDA ENERGÉTICA DEL HOSPITAL COMUNITARIO DE HUASCO

En este capítulo, se establece una metodología y un análisis que permiten estimar la demanda energética del Hospital Comunitario de Huasco, con base en la información existente asociada al consumo energético de la instalación.

En concordancia con la necesidad de mejorar la autogestión ambiental en entidades públicas, se proyecta disminuir los consumos de energía de la red, ya que una fracción de este consumo se considera auto abastecido por el sistema fotovoltaico propuesto [12].

3.1 Descripción general de la instalación

Se identifica al Hospital Comunitario de Huasco como un centro asistencial de baja complejidad, entregado a uso el 08 de noviembre del 2022, con una superficie construida de 6.368,36 m², ubicado en Calle Cautín N° 107 en Población Huasco III de la comuna de Huasco, región de Atacama. Ver la figura N° 3.1.

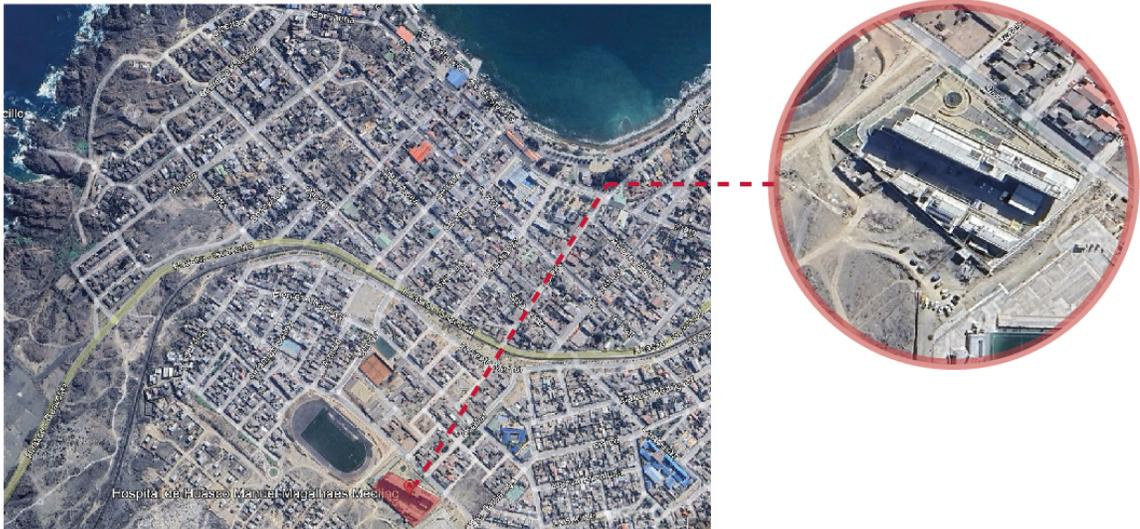


Figura N° 3.1: Ubicación Hospital Comunitario de Huasco.

Fuente: Google Earth.

El hospital se conforma principalmente por un edificio longitudinal y dos edificios menores, todos ellos emplazados privilegiando la orientación norte, tanto para la maximización del confort térmico como por el aprovechamiento de las vistas, por tratarse de una comuna en borde costero [8]. Su imagen referencial se muestra en la figura N° 3.2.



Figura N° 3.2: Modelo arquitectónico 3D Hospital.

Fuente: Expediente Proyecto Reposición Hospital Comunitario de Huasco.

El hospital se distribuye arquitectónicamente según la tabla N° 3.1, como sigue:

Tabla N° 3.1: Distribución interna de servicios en el hospital.

Edificio	Nivel	Servicios
Ed. A	3	Hospitalización
	2	Boxes médicos y atención ambulatoria
	1	Servicios de apoyo clínicos y logístico
Ed. B	3	Administración general
	2	Unidad central alimentación y laboratorio
	1	Urgencia
Ed. C	1	Bodegas generales y apoyo Industrial
Ed. D	1	Sala cuna

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura N° 3.3 se observa la zonificación del Hospital en donde la planta fotovoltaica proyectada estará contenida en techumbre del edificio B.

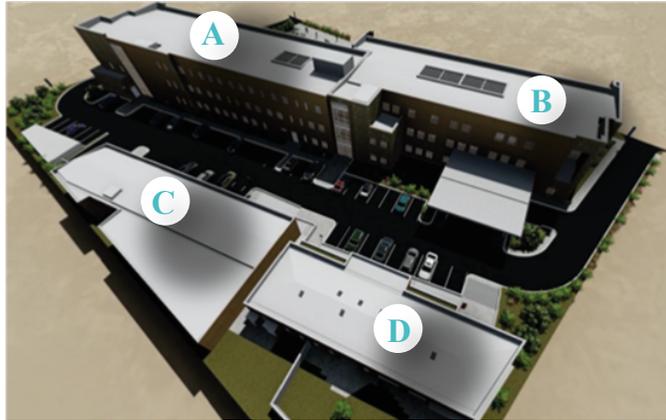


Figura N° 3.3: Modelo 3D, zonificación Hospital Comunitario de Huasco.

Fuente: Expediente Proyecto Reposición Hospital Comunitario de Huasco.

En complemento con su construcción, el hospital fue implementado con equipamiento electromédico. Entre los que destacan:

1. Equipo de rayos x digital.
2. Ecotomógrafo portátil.
3. Equipos de oftalmología.
4. Refrigeradores de medicamento.



Figura N° 3.4: Equipamiento electromédico instalado en el hospital.

Fuente: Expediente proyecto reposición hospital comunitario de Huasco.

La edificación también está integrada por diversas especialidades que completan el consumo energético de la instalación total, destacándose: climatización, electricidad, corrientes débiles y comunicaciones, instalaciones sanitarias, transporte vertical, etc.

Según potencia total declarada de 495 kW se trata de un cliente regulado, con único empalme eléctrico en media tensión con opción tarifa AT-4.3 contratada.

Su consumo energético si bien se establece en mayor medida en horarios de jornada administrativa, o sea, de lunes a viernes de 8:00 a 17:00 h, la edificación tiene un comportamiento de consumo 24/7 dado que, por tratarse de un recinto asistencial de salud, en su operación no se permiten interrupciones de servicio.

3.2 Descripción del sistema eléctrico

3.2.1 Detalle de empalme eléctrico

La tabla N° 3.2 muestra el detalle del empalme eléctrico, según se tiene:

Tabla N° 3.2: Información del empalme eléctrico del hospital.

Empalme N°	Potencia Instalada	Domicilio	Número Cliente	Sector Tarifario	Tarifa
1	495 kW	Cautín 107 Huasco	6496210	Stxb-1-a	AT-4.3

Fuente: Facturación eléctrica, hospital comunitario de Huasco.

3.2.2 Detalle de la estructura eléctrica

El Hospital Comunitario de Huasco se encuentra construido de acuerdo con normativa eléctrica NCh 4/2003, ello dado que su permiso de edificación fue aprobado anterior a la entrada en vigencia de la actual normativa vigente.

De acuerdo con ello, sus principales elementos de potencia fueron definidos de acuerdo con los factores de demanda y diversidad según muestra tabla N° 3.3 [8], como sigue:

Tabla N° 3.3: Consideraciones del diseño del sistema eléctrico del Hospital.

Tipo De Carga	Potencia Instalada (kVA)	Fator de Dda	Factor Diversidad	Potencia Consumida (kW)
Enchufes normales	99,3	0,6	1	59,6
Enchufes para computación	33,4	0,8	1	26,7
Luminarias	78,1	0,8	1	62,5
Fuerza	787	0,65	1,5	341
Total	997,8			490

Fuente: Expediente proyecto reposición hospital comunitario de Huasco.

Considerando que la potencia nominal o total instalada corresponde a la suma algebraica de las potencias, fue determinada la potencia del transformador y grupo electrógeno, según se observa en tabla N° 3.4, como sigue:

Tabla N° 3.4: Consideraciones del diseño del sistema eléctrico del Hospital.

Equipo	Potencia	Ubicación
Potencia nominal transformador	500 (kVA)	Empalme Aéreo
Potencia nominal generador	500 (kVA)	Sala Eléctrica

Fuente: Expediente proyecto reposición hospital comunitario de Huasco.

El hospital tiene un banco capacitivo de 180 kVAR para corregir su factor de potencia [8].

El detalle de la distribución de tableros eléctricos se presenta en la tabla N° 3.5 [8], según:

Tabla N° 3.5: Detalle de distribución de tableros eléctricos del Hospital.

Ítem	Tablero Eléctrico	Ubicación
1	TGBT	Ed. C Sala Eléctrica
2	TDA y F A.1	Ed. A 1er Nivel
3	TDA y F A.2	Ed. A 2do Nivel
4	TDA y F A.3	Ed. A 3er Nivel
5	TDA y F B.1	Ed. B 1er Nivel
6	TDA y F B.2	Ed. B 2do Nivel
7	TDA y F B.3	Ed. B 3er Nivel
8	TDA y F C.1	Ed. C Sala Eléctrica
9	TDA y F D.1	Ed. D Sala Cuna
10	TDF CL1	Ed. C Sala Térmica
11	TDF CL2	Ed. A Piso Mecánico
12	TDF BOMBAS	Sala de Bombas AP
13	TDF RX	Sala Rayos X
14	TDA y F Asc Ed. A	Ed. A Caja Escala Ascensor
15	TDA y F Asc Ed. B	Ed. B Caja Escala Ascensor
16	TDF VACIO	Ed. C Sala Compresor Vacío
17	TDF AIRE	Ed. C Sala Compresor Aire

Fuente: Expediente proyecto eléctrico reposición hospital comunitario de Huasco.

Para el respaldo energético del Hospital el grupo electrógeno cubre la totalidad del suministro de la instalación, por medio de tablero de transferencia automático integrado.

3.3 Tarifa Eléctrica

El Hospital cuenta con tarifa AT-4.3 contratada, con una estructura de cobro según:

- a) Cargo fijo mensual.
- b) Cargo único por uso del sistema troncal.
- c) Cargo mensual por consumo de energía.
- d) Cargo mensual por demanda máxima leída de potencia en horas punta.
- e) Cargo mensual por demanda máxima de potencia suministrada.

Considérese que el periodo de horas punta está establecido por:

- ✚ Periodo comprendido entre los meses de abril y septiembre, entre 18 y las 23 h.
- ✚ Lo anterior para cada día exceptuándose los domingos, festivos y sábados inmediatamente siguientes o anteriores a un día laboral festivo de dichos meses.

La empresa eléctrica que abastece al Hospital es CGE, en cuya tarifa AT-4.3 el valor de energía en junio 2023 es de \$ 73,00 (pesos por kilowatt hora, IVA incluido).

3.4 Análisis del consumo eléctrico

Al tener la exigencia de reconocer la demanda eléctrica de la instalación para un correcto diseño fotovoltaico, se debe considerar que el uso definitivo de las instalaciones comenzó en marzo 2023 junto a empalme definitivo en la opción tarifaria AT-4.3.

3.5 Estimación por potencia instalada

En este punto, se expone una breve descripción del consumo eléctrico del Hospital y su distribución según las características de las cargas atendidas. De ello, se identifican principales incidencias en el consumo energético según:

- ✚ Climatización (calefacción, refrigeración, ventilación, UMAS, ACS).
- ✚ Computación (equipos TIC'S).
- ✚ Iluminación.
- ✚ Equipos Industriales (agua potable, ascensores, gases clínicos, etc.).

- ✚ Equipos Electromédicos.
- ✚ Otros Equipos (electrodomésticos, corrientes débiles, etc.)

En relación con el uso del hospital se consideran las jornadas de funcionamiento, según:

- ✚ Jornada Administrativa: responde al uso entre las 8:00 y las 17:00 h de lunes a viernes, con la mayor tasa de ocupación de trabajadores y pacientes.
- ✚ Jornada Inhábil: si bien comprende las 24 h, se considerará como el horario que complementa las atenciones de salud (sábados, domingos y festivos) y en el cual operan los servicios de Hospitalización y Urgencias Médicas.

3.5.1 Jornada administrativa

En la tabla N° 3.6, se observa distribución de consumo energético, como sigue:

Tabla N° 3.6: Consumo de energía diaria estimada en jornada administrativa.

Especialidad	Energía (KWH/DIA)	% Incidencia Energética
Climatización	1594,5	51%
Computación	166,5	5%
Iluminación	175,6	6%
Equipos Industriales	798	26%
Equipos Médicos	284,4	9%
Otros Equipos	96,7	3%
TOTALIZADO	3.116	100%

Fuente: Elaboración Propia

En la figura N° 3.5, se observa el consumo energético diario distribuido, según:

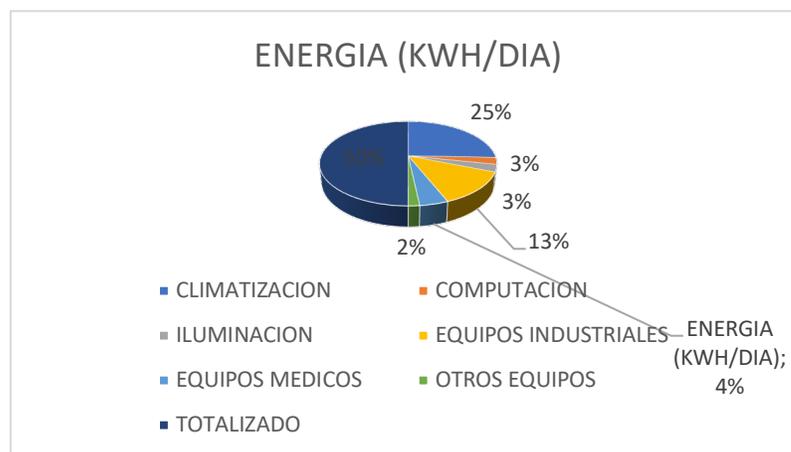


Figura N° 3.5: Representación del consumo energético del Hospital.

Fuente: Elaboración propia.

De esto se extrae que la especialidad de climatización es la que requiere mayor consumo energético con un 51 %, seguida de los equipos industriales con un 26 %, para luego estar el consumo de los equipos médicos con un 9 %.

3.5.2 Jornada inhábil

En la tabla N° 3.7, se observa la distribución de consumo energético, como sigue:

Tabla N° 3.7: Consumo de energía diaria estimada en jornada inhábil.

Especialidad	Energía (KWH/DIA)	% Incidencia Energética
Climatización	1351,3	63%
Computación	67,5	3%
Iluminación	104,3	5%
Equipos industriales	402,6	19%
Equipos médicos	134,3	6%
Otros equipos	101,6	5%
TOTALIZADO	2.162	100%

Fuente: Elaboración propia

En la figura N° 3.6 se observa el consumo energético diario se distribuye como sigue:

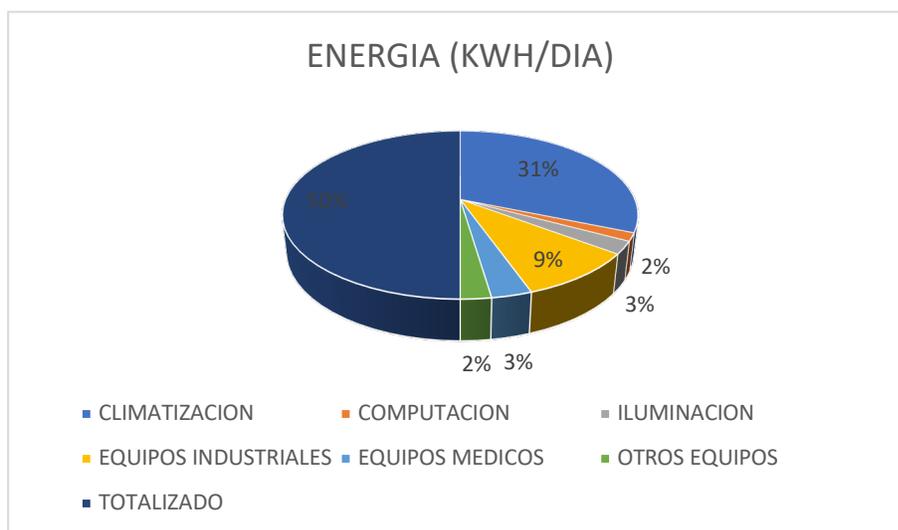


Figura N° 3.6: Representación del consumo energético del Hospital.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que climatización presenta la mayor exigencia energética del sistema con un 63 %, seguida de los equipos industriales con un 19 %, para luego estar el consumo de los equipos médicos con un 6 %. Considerar que en este caso se refleja menor consumo energético cercano al 31 %, esto dado por la menor demanda asistencial.

A través de ambas jornadas es posible complementarlas entre ellas y así permitir elaborar un perfil semanal, lo cual permitirá una proyección de demanda anual.

De lo anterior, en la Tabla N° 3.8, se observa un consumo energético anual, según:

Tabla N° 3.8: Detalle del porcentaje de incidencia energética anual por especialidad.

Especialidad	Energía (KWH/DIA)	% Incidencia energética
Climatización	555.096	54%
Computación	50.310	5%
Iluminación	56.498	5%
Equipos industriales	249.350	24%
Equipos médicos	85.063	8%
Otros equipos	38.552	4%
TOTALIZADO	1.034.870	100%

Fuente: Elaboración Propia.

En la figura N° 3.7, se observa que el consumo energético anual se distribuye según:

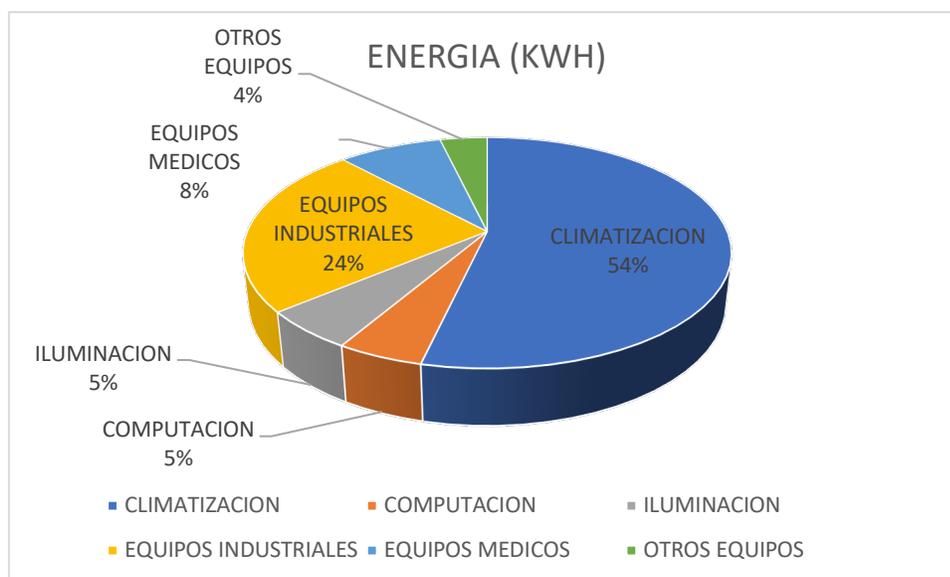


Figura N° 3.7: Detalle de porcentaje de incidencia energética anual por especialidad.

Fuente: Elaboración propia.

De lo anterior, se estima un consumo promedio anual energético de **1.034.870 kWh/año**

Se precisa que esta estimación está condicionada a factores operacionales, destacando:

- ✚ Modificación de horarios de trabajo o exigencias sanitarias que se demanden.
- ✚ Reprogramación de control operacional de equipos y/o sistemas.
- ✚ Aumento del inventario de bienes y/o equipos, eléctricos y/o electrónicos.
- ✚ Factores climáticos que afecten parámetros térmicos de edificios.

Si bien esta información se debe ir evaluando en la medida que el hospital logre sus condiciones operacionales nominales en una mayor cantidad de periodos, asociado a su demanda asistencial total de la población comunal. Ello nos permite establecer un comportamiento estimado de acuerdo con los requerimientos energéticos, en los cuales debiera situarse su consumo según la potencia instalada y factor de uso.

3.6 Estimación por facturación

Al verificar el consumo eléctrico del Hospital desde su puesta en marcha, se tienen los siguientes periodos de facturación a la vista en Tabla N° 3.9, según:

Tabla N° 3.9: Consumo energético del hospital en el año 2023.

Servicio eléctrico	PERIODO			
	Marzo	Abril	Mayo	Junio
Electricidad consumida	54150	63750	66900	64500
Cargo DDA máx. leída POT suministrada	134,7	144,375	153,525	153,525
Cargo DDA máx. PHP	93,3	125,7	126,3	100,95

Fuente: Elaboración Propia.

Los consumos energéticos de la instalación se tienen en la tabla N° 3.10, según:

Tabla N° 3.10: Consumo energético del hospital en el año 2023.

Antecedentes instalación	Cantidad	Unidad
Energía promedio (marzo-junio 2023)	62.325	kWh/Mes
Potencia conectada (boleta)	457.25	kW

Fuente: Elaboración Propia.

De lo anterior, se estima un consumo promedio anual energético de **747.900 kWh/año**.

Gráficamente, se presentan los niveles de consumos en las figuras N° 3.8, N° 3.9 y N° 3.10 como sigue:

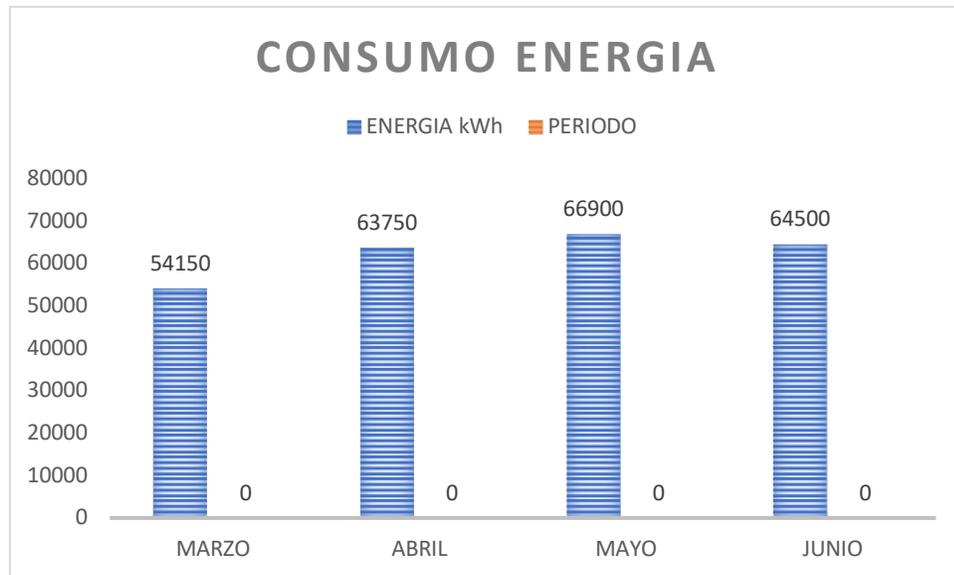


Figura N° 3.8: Consumo de energía (período marzo-junio 2023).

Fuente: Elaboración Propia.

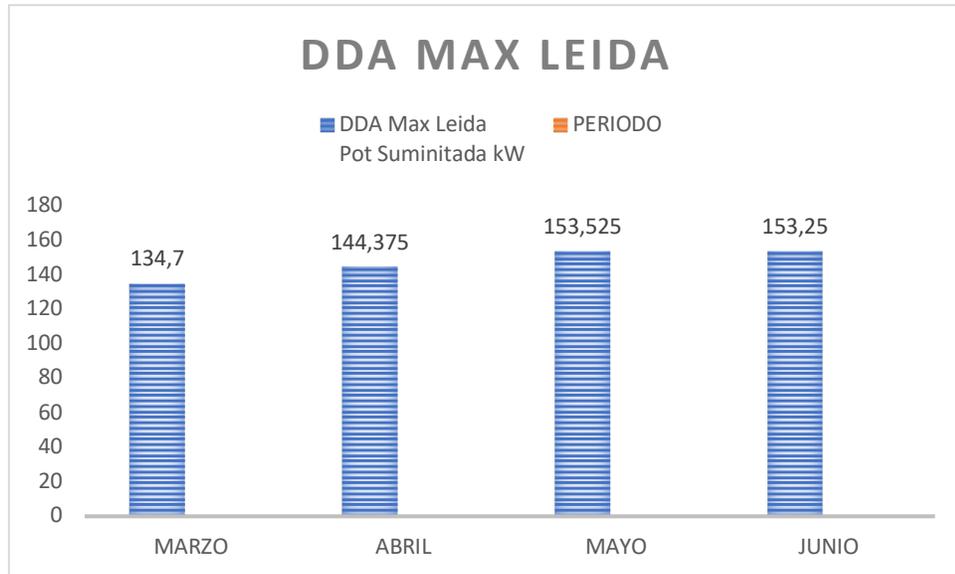


Figura N° 3.9: DDA Máx. leída (período marzo-junio 2023).

Fuente: Elaboración propia.

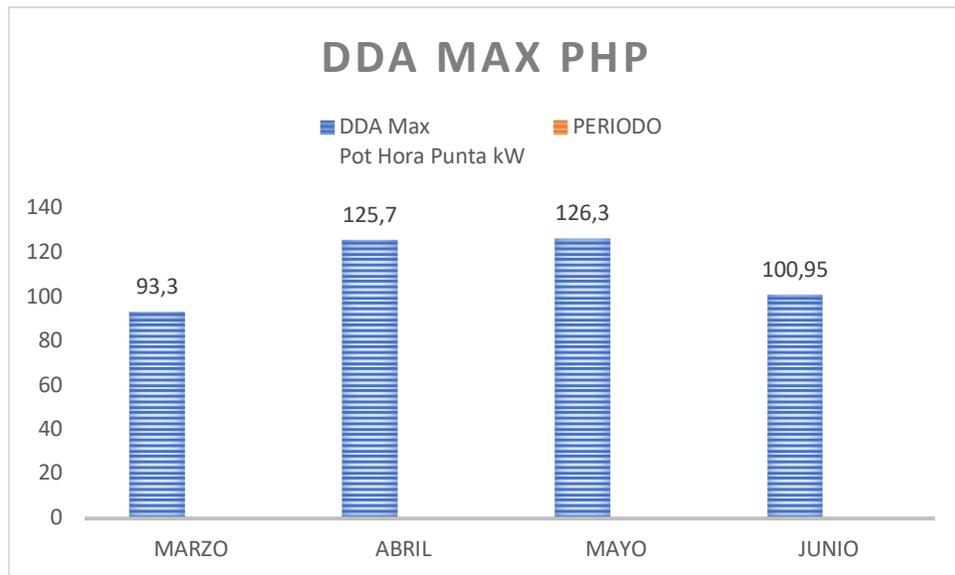


Figura N° 3.10: DDA Máx. potencia hora punta (período marzo-junio 2023).

Fuente: Elaboración propia.

Respecto al consumo de energía eléctrica para el hospital, se presenta lo siguiente:

- ▣ Método asociado a potencia eléctrica instalada: si bien presenta resultados menos favorables respecto al consumo energético, es necesario indicar que las estimaciones demuestran un comportamiento en donde tanto la especialidad de climatización y equipos industriales resultan la mayor ponderación energética.
- ▣ Método asociado a facturación eléctrica: si bien refleja el consumo efectivo de la instalación, nos da cuenta de la existencia de un alza sostenida en los consumos producto de la puesta en marcha del hospital. A medida que transcurran más periodos se podrá precisar de mejor forma el consumo anual de la instalación.

De lo anterior y para efectos de análisis del requerimiento de generación fotovoltaica, se consideran los parámetros de la tabla N° 3.11, a efectos de mejoramiento:

Tabla N° 3.11: Consumo eléctrico (período marzo-junio 2023).

Energía (kWH/año)	Cargo DDA Máx. leída potencia suministrada (kW)	Cargo DDA Máx. potencia hora punta (kW)
747.900	153	126

Fuente: Elaboración Propia.

Como propuesta de mejora energética, se determina el tamaño del sistema fotovoltaico para este estudio de 25 kWp. Ello considerando la superficie en techumbre disponible para la instalación del sistema solar fotovoltaico y el consumo anual del hospital [10].

Por lo anterior se espera que la planta de generación eléctrica fotovoltaica logre reducir la demanda energética de la red de distribución en al menos un **5 %**, lo cual se traducirá en un ahorro directo en la facturación mensual de la institución.

CAPÍTULO IV

CONFIGURACIÓN Y SIMULACIÓN DE LA PLANTA FOTOVOLTAICA

En este capítulo, se establece una metodología y un análisis que permitan determinar las características asociadas a dimensionar una planta fotovoltaica On - Grid, su configuración y estimación de producción aplicada en el hospital comunitario de Huasco. Esto se realizará mediante herramienta de simulación “Explorador Solar”, implementado por el Ministerio de Energía para tales fines.

El nivel de producción energética conveniente será el establecido previamente y en consideración a los parámetros de la instalación establecida.

4.1 Localización

Este proyecto se propone su desarrollo en el Hospital Comunitario de Huasco, el cual está ubicado al sur de la Región de Atacama en la provincia del Huasco, con una superficie de 1601,4 km² y posee una población de 10.149 habitantes [fuente: censo 2017]. Para referenciar su ubicación en la comuna ver figura N° 4.1, según:



Figura N° 4.1: Ubicación del Hospital Comunitario de Huasco.

Fuente: Google Earth.

La localización mediante coordenadas de la edificación corresponde a:

- ✚ Latitud: 28,4703 °S
- ✚ Longitud: 71,2239 °O

La ubicación de la planta fotovoltaica se proyecta sobre techumbre del Edificio B, según se muestra en la figura N° 4.2, a saber:

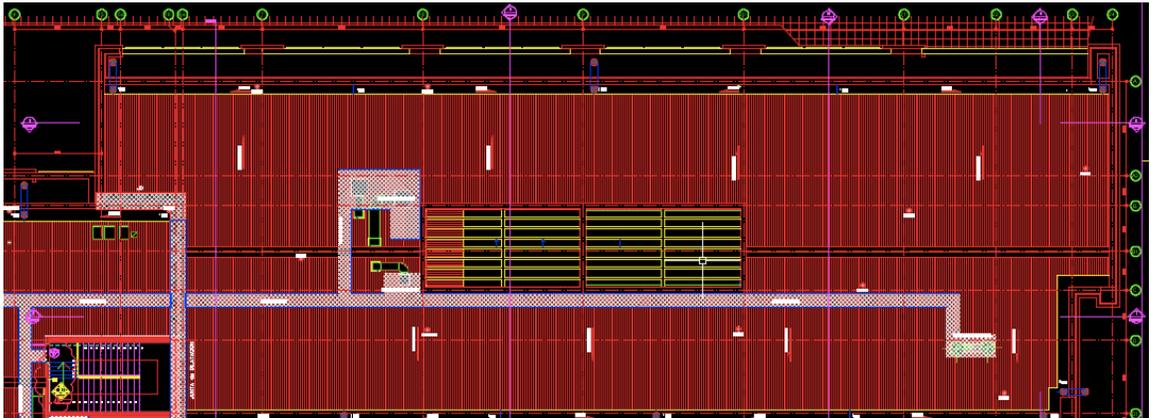


Figura N° 4.2: Techumbre disponible del Hospital.

Fuente: Expediente proyecto reposición hospital comunitario de Huasco.

La superficie útil destinada a admitir dicha instalación aproximadamente es de 200 m².

Es relevante señalar que la región de Atacama en los últimos años por sus excelentes condiciones de radiación solar ha propiciado el desarrollo de múltiples proyectos de generación eléctrica fotovoltaica, presentando en la actualidad una matriz energética con un 69 % de producción basada en energías limpias.

4.2 Sombras

De acuerdo con el emplazamiento ubicado en techumbre se tiene una altura relativa de 14.0 m, y que al considerar la topografía del sector dentro de un radio de 1.0 km se tiene que no se observan sombras proyectadas por obstáculos en su entorno. Ver la figura N° 4.3.

La techumbre cuenta con una pendiente de 15 % hacia el norte, lo cual se tendrá en atención para que la distribución evite generar sombras entre paneles.

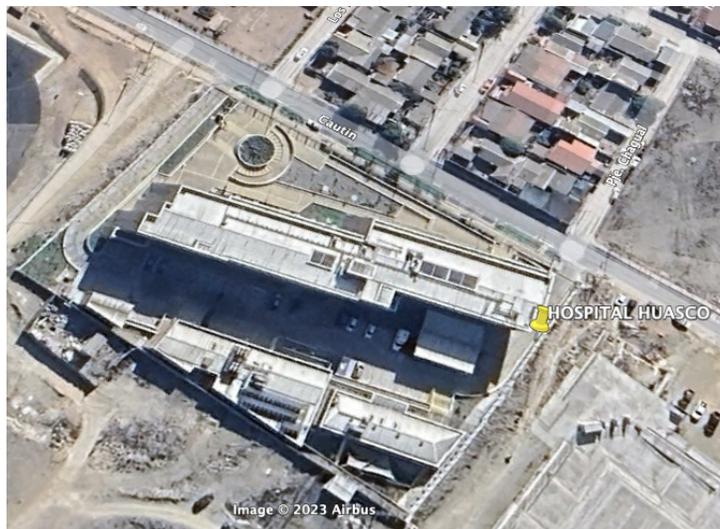


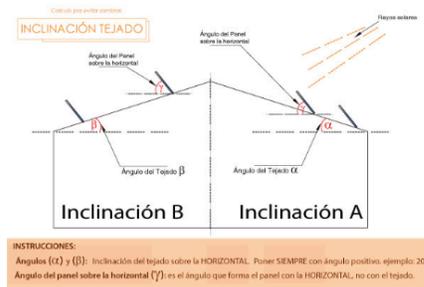
Figura N° 4.3: Imagen satelital del Hospital.

Fuente: Google Earth.

En este estudio, se propone realizar el cálculo de distancia mínima entre paneles por medio de aplicación online que considera inclinación de superficie e inclinación de paneles [autor: monsolar.net]. Dicha solución se adaptará a cubierta de techumbre del Hospital propuesta para ubicación del sistema fotovoltaico [8].

Esquemáticamente, se presenta la figura N° 4.4, teniéndose lo siguiente:

1.- Esquema INCLINACION tejado



2.- Esquema SEPARACIÓN filas de paneles

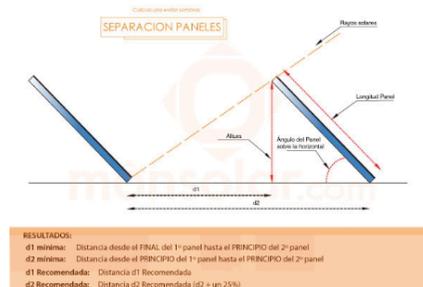


Figura N° 4.4: Esquema referencial de la instalación de paneles.

Fuente: Monsolar.

Para este caso se considera inclinación A.

4.3 Estructura

En este punto se da cuenta de las condiciones estructurales del edificio asociada a su techumbre [8], para la correcta sujeción del sistema fotovoltaico, según se tiene:

4.3.1 Materiales

Los materiales de la ejecución estructural del edificio se basan en hormigón armado H-35 y acero estructural, elementos que presentan altas propiedades mecánicas.

4.3.2 Análisis de cargas

Para cargas muertas en las losas de piso se le asignaron 300 kg/m^2 de peso propio adicional y para cargas vivas se le asignaron 500 kg/m^2 , en todos los recintos.

4.3.3 Losas

La cubierta de losa del Ed. B presenta un espesor de 18 cm, y sus requerimientos de servicialidad de los elementos se encuentran aprobados según análisis de deformaciones.

4.4 Recursos climatológicos

Los resultados del estudio solar en plataforma Explorador Solar en la localización son:

4.4.1 Radiación incidente

Se presentan valores promedios mensuales de la radiación global, directa y difusa incidente sobre un plano horizontal y sobre un plano orientado hacia el norte, con una inclinación similar a la latitud del sitio. De ello ver las tablas N° 4.1 y N° 4.2 y las figuras N° 4.5 y N° 4.6.

Tabla N° 4.1: Radiación en el plano horizontal (kWh/m²/día).

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Directa	6.2	6.08	3.93	2.61	1.87	1.73	1.88	2.3	3.25	4.1	4.48	5.75
Difusa	1.73	1.42	1.56	1.19	0.92	0.81	0.91	1.19	1.5	1.92	2.33	2.09
Global	7.93	7.5	5.49	3.8	2.79	2.54	2.79	3.49	4.75	6.02	6.81	7.84

Fuente: Explorador solar.

Tabla N° 4.2: Radiación incidente en el plano con inclinación igual a la latitud del sitio (kWh/m²/día).

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
Directa	5.41	5.85	4.35	3.42	2.83	2.82	2.95	3.18	3.82	4.13	4.0	4.85
Difusa	1.63	1.34	1.47	1.12	0.87	0.76	0.86	1.12	1.41	1.81	2.2	1.96
Suelo	0.11	0.11	0.08	0.05	0.04	0.04	0.04	0.05	0.07	0.08	0.1	0.11
Global	7.15	7.3	5.9	4.59	3.74	3.62	3.85	4.35	5.3	6.02	6.3	6.92

Fuente: Explorador Solar

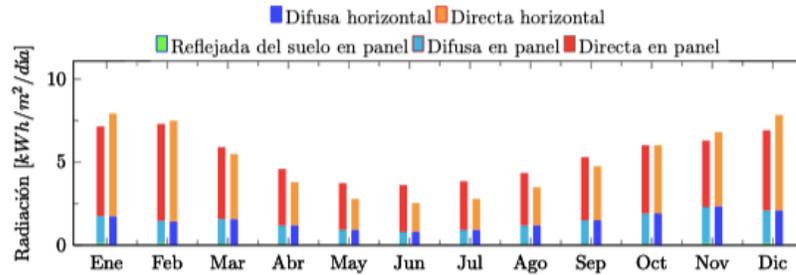


Figura N° 4.5: Radiación diaria directa, difusa y reflejada separada en componentes en un plano horizontal y en un plano inclinado igual a la latitud del sitio.

Fuente: Explorador solar.

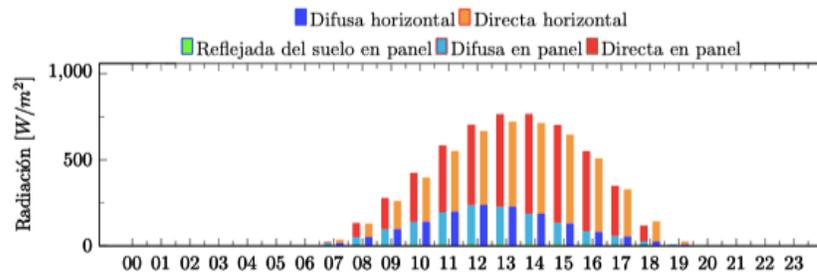


Figura 7: Promedio horario de la radiación global instantánea incidente en un plano horizontal y en un plano inclinado, separada en sus componentes directa, difusa y reflejada en el suelo.

Figura N° 4.6: Radiación diaria directa, difusa y reflejada separada en componentes en un plano horizontal y en un plano inclinado igual a la latitud del sitio.

Fuente: Explorador solar.

De lo anterior, se observa fundamentalmente lo siguiente:

- ✚ La radiación global promedio en el plano horizontal anual es 5,1 [kWh/m²/día].
- ✚ La radiación global promedio en el plano inclinado igual a latitud del sitio es 5,4 [kWh/m²/día].

4.4.2 Nubosidad

La nubosidad es el principal factor que condiciona la radiación incidente sobre la superficie, ya que las nubes absorben gran cantidad de radiación atenuándola gracias a su capacidad de reflexión. Sin embargo, se presentan a continuación la estimación de nubosidad en frecuencia mensual de acuerdo con el análisis de la plataforma Explorador Solar. De ello, ver la tabla N° 4.3 y la figura N° 4.7, según:

Tabla N° 4.3: Frecuencia de la nubosidad mensual y diurna.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
%	16.59	13.26	21.45	22.3	22.53	21.08	21.41	22.44	22.95	22.85	27.12	21.59
Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.87	38.13	62.73	62.8	60.06	56.51
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
%	53.01	46.86	38.95	29.3	23.46	19.46	6.83	0.02	0.0	0.0	0.0	0.0

Fuente: Explorador solar.

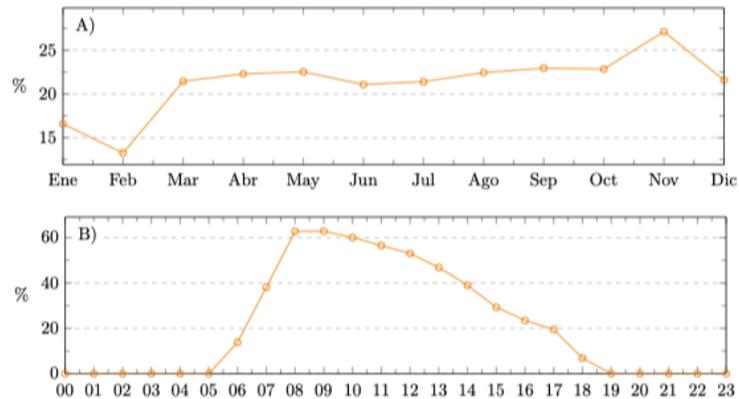


Figura 12: A) Ciclo anual de frecuencia de nubosidad diurna, B) Ciclo diario de frecuencia de nubosidad.

**Figura N° 4.7: A) Ciclo anual de frecuencia de nubosidad diurna,
B) Ciclo diario de nubosidad.**

Fuente: Explorador solar.

De lo anterior, se observa lo siguiente:

- La nubosidad promedio diurna mensual es 21,3 %.
- La nubosidad promedio diaria mensual es 22,3 %.

4.4.3 Temperatura

Como la temperatura afecta negativamente la eficiencia de los paneles fotovoltaicos se presentan las estimaciones de la plataforma Explorador Solar, realizadas en base a simulaciones de modelo meteorológico WRF.

De ello, ver la tablas N° 4.4 y la figura N° 4.8.

Tabla N° 4.4: Temperatura media mensual y diurna.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
°C	18.62	18.67	16.87	14.35	12.1	10.41	10.13	11.0	12.23	13.31	14.99	16.85
Hora	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
°C	12.19	11.88	11.56	11.28	11.02	10.77	10.62	11.0	11.97	13.35	14.78	16.04
Hora	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
°C	17.1	17.86	18.31	18.39	18.14	17.48	16.37	15.13	14.2	13.54	13.0	12.55

Fuente: Explorador solar.

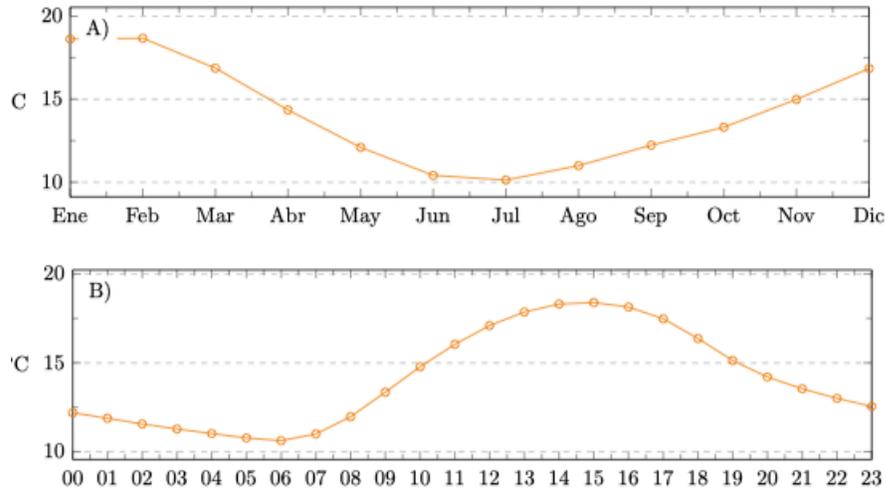


Figura 15: A) Ciclo diario de la temperatura media, B) Ciclo anual de la temperatura media.

**Figura N° 4.8: A) Ciclo diario de la temperatura media,
B) Ciclo anual de la temperatura media**

Fuente: Explorador solar.

De lo anterior se observa fundamentalmente que:

- ✚ La temperatura promedio mensual es 14,1°C.
- ✚ La temperatura promedio diaria es 14,1°C.

4.6 Diseño de la planta fotovoltaica

Se presentan cuatro distintas configuraciones del sistema fotovoltaico para generación de energía eléctrica conectado a la red. Ello para cubrir el 5 % mínimo del requerimiento energético y apoyar la reducción de la demanda máxima leída. Respecto a los equipos seleccionados se pueden observar en la tabla N° 4.5, según:

Tabla N° 4.5: Detalle de equipos seleccionados.

Equipo	Marca	Modelo	Res. SEC	Estado
MFV	CANADIAN SOLAR	CS7N-650MS	6557	VIGENTE
MFV	RISEN ST	RSM144-9-550M	15788	VIGENTE
INVERSOR	G T SOLIS	S5-GC25K	13994	VIGENTE
INVERSOR	FRONIUS	FRONIUS SYMO 10-3-M	15238	VIGENTE

Fuente: SEC.

A continuación, se presentan los resultados de las simulaciones en cada configuración:

4.6.1 Configuración 1

Para una potencia de 25 kW para sistema fotovoltaico On - Grid, se presentan las características técnicas de los principales componentes seleccionados en las tablas N° 4.6 y N° 4.7, como sigue:

Tabla N° 4.6: Características generales de los módulos fotovoltaicos.

Panel Fotovoltaico Monocristalino					
Marca	Modelo	Potencia panel	Eficiencia	Dimensiones (largo x ancho x grosor)	Peso
Risen	RSM144-9-550M	550 Wp	21,30%	2279 x 1134 x 35 mm	27,8 kg

Fuente: Ficha técnica módulo fotovoltaico.

Tabla N° 4.7: Características generales de Inversor On - Grid.

Inversor On Grid					
Marca	Modelo	Potencia nominal AC	Potencia máxima DC	# seguidores MPPT/fila por MPPT	Tensión nominal
Fronius	Symo Advanced	12,5 kW	18,8 kW	02/03	220/380 V

Fuente: Ficha Técnica Inversor on grid

Según la configuración, se presentan las consideraciones para el desarrollo de las simulaciones:

- ✚ **Modelo de generación:** monofacial modelo avanzado.
- ✚ **Tipo de arreglo:** fijo inclinado.
- ✚ **Tipo de montaje:** estructura aislada.
- ✚ **Optimizar ángulos:** si (Inclinación 29°, Azimut -44°).
- ✚ **Factor de pérdidas del sistema fotovoltaico:** 11 %.

Al estimar la distancia entre paneles y así evitar sombreado entre ellos, se tiene:

- ✚ D1 = 0.88 (m), (D1: distancia entre final del 1er panel y el principio del 2do panel)
- ✚ D2 = 3.20 (m), (D2: distancia entre el principio del 1er panel y el del 2do panel)

Al estimar la superficie total requerida por el sistema fotovoltaico se tiene lo siguiente:

D1: distancia entre paneles

Area de Planta = (Area Panel x Cantidad de Paneles + d1 x cantidad de paneles)

$$A_p = 124 \text{ (m}^2\text{)}$$

Con base en la simulación realizada en la figura N° 4.9, se observan los niveles de producción de energía:



Figura N° 4.9: Resultados de la simulación explorador solar.

Fuente: Resultados simulación explorador solar.

En la Tabla N° 4.8, se presentan los resultados de generación de energía, a saber:

Tabla N° 4.8: Generación de energía fotovoltaica (Configuración 1).

Total Diario	Total Anual	Factor de Planta
85,86 kWh	31.338 kWh	14,0%

Fuente: Resultados Simulación Explorador Solar

4.6.2 Configuración 2

Para una potencia de 25 kW para sistema fotovoltaico On - Grid, se presentan las características técnicas de los principales componentes seleccionados en la tabla N° 4.9 y N° 4.10, como sigue:

Tabla N° 4.9: Características generales de los módulos fotovoltaicos.

Panel fotovoltaico monocristalino					
Marca	Modelo	Potencia panel	Eficiencia	Dimensiones (largo x ancho x grosor)	Peso
Canadian Solar	Hiku7 Mono PERC CS7N-650	650 Wp	20,90%	2384 x 1303 x 35 mm	34,4 kg

Fuente: Ficha Técnica Modulo Fotovoltaico

Tabla N° 4.10: Características generales de inversor On - Grid.

Inversor On Grid					
Marca	Modelo	Potencia nominal AC	Potencia máxima DC	# seguidores MPPT/fila por MPPT	Tensión nominal
Fronius	Symo Advanced	12,5 kW	18,8 kW	02/03	220/380 V

Fuente: Ficha Técnica Inversor On - Grid

Según configuración, se presentan las consideraciones para el desarrollo de las simulaciones:

- ✚ Modelo de generación: monofacial modelo avanzado.
- ✚ Tipo de arreglo: fijo inclinado.
- ✚ Tipo de montaje: estructura aislada.
- ✚ Optimizar ángulos: si (inclinación 29°, Azimut -44°).
- ✚ Factor de pérdidas del sistema fotovoltaico: 11 %.

Al estimar la distancia entre paneles y así evitar sombreado entre ellos, se tiene:

- ✚ $D1 = 0.84$ m, (D1: distancia entre final del 1er panel y el principio del 2do panel)
- ✚ $D2 = 3.10$ m, (D2: distancia entre el principio del 1er panel y el del 2do panel)

Al estimar la superficie total requerida por el sistema fotovoltaico se tiene:

D1: distancia entre paneles coplanares

Area de Planta = (Area Panel x Cantidad de Paneles + D1 x cantidad de paneles)

$A_p = 124 \text{ (m}^2\text{)}$

Con base en la simulación realizada en la figura N° 4.10, se observan los niveles de producción de energía:

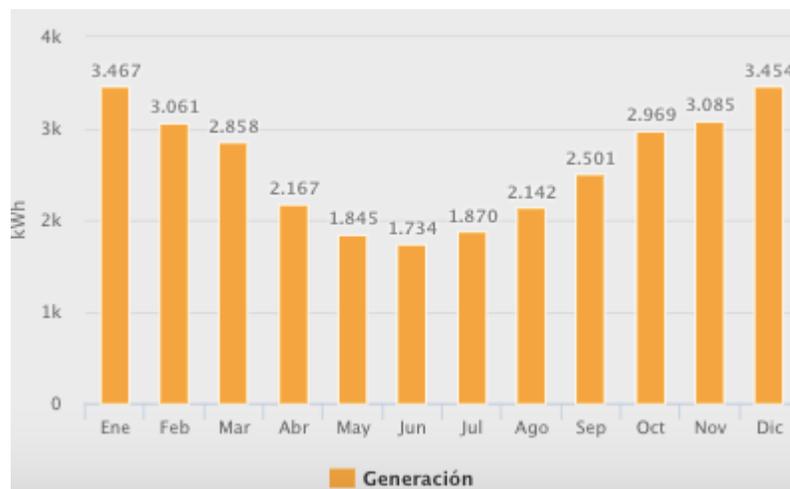


Figura N° 4.10: Resultados de la simulación explorador solar.

Fuente: Resultados simulación explorador solar.

En la Tabla N° 4.11, se presentan los resultados de generación de energía, a saber:

Tabla N° 4.11: Generación de energía fotovoltaica (Configuración 2).

Total diario	Total anual	Factor de planta
85,34 kWh	31.151 kWh	14,0%

Fuente: Resultados Simulación Explorador Solar

4.6.3 Configuración 3

Para una potencia de 25 kW para sistema fotovoltaico On - Grid, se presentan las características técnicas de los principales componentes seleccionados se muestran en la Tabla N° 4.12 y N° 4.13, como sigue:

Tabla N° 4.12: Características generales de módulos fotovoltaicos.

Panel fotovoltaico monocristalino					
Marca	Modelo	Potencia panel	Eficiencia	Dimensiones (largo x ancho x grosor)	Peso
Risen	RSM144-9-550M	550 Wp	21,30%	2279 x 1134 x 35 mm	27,8 kg

Fuente: Ficha Técnica Modulo Fotovoltaico

Tabla N° 4.13: Características generales de inversor On - Grid.

Inversor On - Grid					
Marca	Modelo	Potencia nominal AC	Potencia máxima DC	# seguidores MPPT/fila por MPPT	Tensión nominal
GT Solis	S5-GC25K	25 kW	37,5 kW	03/06	220/380 V

Fuente: Ficha Técnica Inversor On - Grid

Según configuración, se presentan las consideraciones para el desarrollo de las simulaciones:

- Modelo de generación: monofacial modelo avanzado
- Tipo de arreglo: fijo inclinado
- Tipo de montaje: estructura aislada
- Optimizar ángulos: si (inclinación 29°, Azimut -44°)
- Factor de pérdidas del sistema fotovoltaico: 11%

Al estimar la distancia entre paneles y así evitar sombreado entre ellos, se tiene lo siguiente:

- D1=0.88 (m), (D1: distancia entre final del 1er panel y el principio del 2do panel)
- D2=3.20 (m), (D2: distancia entre el principio del 1er panel y el del 2do panel)

Al estimar la superficie total requerida por el sistema fotovoltaico se tiene:

D1: distancia entre paneles coplanares

Area de Planta = (Area Panel x Cantidad de Paneles + D1 x cantidad de paneles)

• $A_p = 124 \text{ (m}^2\text{)}$

Con base en la simulación realizada en la Figura N° 4.11, se observan los niveles de producción de energía:

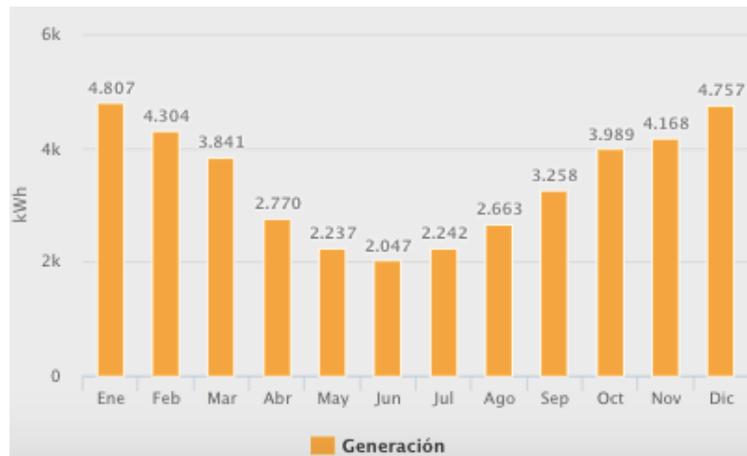


Figura N° 4.11: Resultados de la simulación Explorador Solar

Fuente: Resultados Simulación Explorador Solar

En la tabla N° 4.14, se presentan los resultados de generación de energía, a saber:

Tabla N° 4.14: Generación de energía fotovoltaica (Configuración 3).

Total diario	Total anual	Factor de planta
112,55 kWh	41.079 kWh	18,0%

Fuente: Resultados Simulación Explorador Solar

4.6.4 Configuración 4

Para una potencia de 25 kW para sistema fotovoltaico On - Grid, se presentan las características técnicas de los principales componentes seleccionados en la tabla N° 4.15 y N° 4.16, como sigue:

Tabla N° 4.15: Características generales de los módulos fotovoltaicos.

Panel fotovoltaico monocristalino					
Marca	Modelo	Potencia panel	Eficiencia	Dimensiones (largo x ancho x grosor)	Peso
Canadian Solar	Hiku7 Mono PERC CS7N-650	650 Wp	20,90%	2384 x 1303 x 35 mm	34,4 kg

Fuente: Ficha técnica modulo fotovoltaico.

Tabla N° 4.16: Características generales de inversor On - Grid.

Inversor On Grid					
Marca	Modelo	Potencia nominal AC	Potencia máxima DC	# seguidores MPPT/fila por MPPT	Tensión nominal
GT Solis	S5-GC25K	25 kW	37,5 kW	03/06	220/380 V

Fuente: Ficha Técnica Inversor On - Grid.

Para revisar fichas técnicas en detalle revisar Anexo A.

Según configuración, se presentan las consideraciones para el desarrollo de las simulaciones:

- ✚ Modelo de generación: monofacial modelo avanzado.
- ✚ Tipo de arreglo: fijo inclinado.
- ✚ Tipo de montaje: estructura aislada.
- ✚ Optimizar ángulos: si (Inclinación 29°, Azimut -44°).
- ✚ Factor de pérdidas del sistema fotovoltaico: 11 %.

Al estimar la distancia entre paneles y así evitar sombreado entre ellos, se tiene:

- ✚ $D1=0.84$ (m), (D1: distancia entre final del 1er panel y el principio del 2do panel).
- ✚ $D2=3.10$ (m), (D2: distancia entre el principio del 1er panel y del 2do panel).

Al estimar la superficie total requerida por el sistema fotovoltaico se tiene:

D1: distancia entre paneles coplanares.

Area de Planta = (Area Panel x Cantidad de Paneles + D1 x cantidad de paneles)

- ✚ $A_p = 124$ (m²)

Con base en la simulación realizada en la figura N° 4.12, se observan los niveles de producción de energía:



Figura N° 4.12: Resultados de la simulación Explorador Solar

Fuente: Resultados Simulación Explorador Solar

En la Tabla N° 4.17, se presentan los resultados de generación de energía, a saber:

Tabla N° 4.17: Generación de energía fotovoltaica (Configuración 4).

Total diario	Total anual	Factor de planta
111,05 kWh	40.533 kWh	18,0%

Fuente: Resultados Simulación Explorador Solar

Respecto a su configuración eléctrica solar revisar Anexo C.

4.7 Análisis de resultados energéticos

Con base en las configuraciones definidas, se efectuaron las simulaciones de funcionamiento de la planta por medio de la plataforma Explorador Solar. Según los resultados obtenidos se procede a comparar niveles de producción, para así determinar cuál es la configuración óptima para el desarrollo de este proyecto, en relación con los aspectos técnicos tenidos a la vista sobre emplazamiento, condiciones meteorológicas, selección de equipos y niveles de producción más favorables.

Un resumen de las configuraciones dispuestas se muestra en la tabla N° 4.18.

Tabla N° 4.18: Resumen de las configuraciones fotovoltaicas.

CONFIGURACION	INVERSOR	# MPPT / # ENTRADAS	# MFV ENTRADA	# MFV x MPPT	# MFV TOTAL	Potencia MFV	POTENCIA INVERSOR UNITARIA	POTENCIA TOTAL
1	12,5 KW	2/3	4/1 4/2 4/3	24	48	550 Wp	12,5 kW	25 KW
	12,5 KW	2/3	4/1 4/2 4/4	24		550 Wp	12,5 kW	
2	12,5 KW	2/3	10/1 10/2	20	40	650 Wp	12,5 kW	25 KW
	12,5 KW	2/3	10/1 10/2	20		650 Wp	12,5 kW	
3	25 KW	3/6	16/1 16/2 16/3	16	48	550 Wp	25 kW	25 KW
4	25 KW	3/6	14/1 13/1 13/1	1*14/2*13	40	650 Wp	25 kW	25 KW

Fuente: Elaboración propia.

De las consideraciones tenidas en las simulaciones se puede destacar que, en su mayoría, se mantuvieron constantes, solo en el caso del módulo fotovoltaico de potencia 550 Wp hubo que aumentar su cantidad para mantener los niveles de potencia requeridos. Respecto a la ubicación del sistema, esta se proyecta sobre techumbre en línea en series coplanares, para así lograr una radiación homogénea en cada módulo. Además, en todos los casos el factor de pérdidas fue considerado de un 11 % constante, según la Tabla N° 4.19:

Tabla N° 4.19: Pérdidas totales del sistema fotovoltaico.

Pérdidas	
Polvo y suciedad	2,00%
Imperfecciones de fábrica	2,00%
Cableado	2,00%
Conectores eléctricos	0,50%
Degradación de celdas	1,50%
Tiempo apagado	2,00%
Diferencia entre valores de laboratorio y terreno	1,00%
	11,00%

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 4.19 es relevante indicar que, respecto al emplazamiento del sistema fotovoltaico propuesto, no se considera la afectación de pérdidas por sombras cercanas, dado que el edificio no presenta obstáculos en su radio cercano.

Al verificar y comparar los niveles energéticos de producción, se consideran los niveles anuales alcanzados según se observa en la tabla N° 4.20.

Tabla N° 4.20: Resumen de los niveles energéticos anuales de producción.

Config.	Potencia Peack (kWp)	Potencia Nominal (kW)	Superficie MFV (m2)	Rendimiento Inversor (%)	Energía producida (kWh/año)	Factor de Planta
1	26,41	25 kW	124	97,8	31.338	14%
2	26,01	25 kW	124	97,8	31.151	14%
3	26,41	25 kW	124	98,5	41.079	18%
4	26,01	25 kW	124	98,5	40.533	18%

Fuente: Elaboración propia.

Respecto a la superficie, se puede observar que todas las configuraciones tienen un área similar de captación, para satisfacer requerimiento energético.

En las configuraciones en las que se tiene la aplicación de dos equipos inversores, estas resultan menos eficientes respecto a las configuraciones en las que se cuenta con uno solo. Esto se basa en el uso de equipos con rendimiento menor, afectando así el nivel de producción.

De los factores de planta obtenidos, se puede verificar que para ambas configuraciones en que se consideraron dos equipos inversores, éstos fueron menores, afectando así dicha configuración y los rendimientos de los equipos directamente a la producción del sistema.

De acuerdo con la producción de energía total por año, se observa que, tanto la configuración 3 como la 4, cumplen la estimación de al menos generar un **5%** de la energía promedio consumida. Si bien la configuración 3 presenta la producción energética más elevada, también es la que mayor número de paneles fotovoltaicos tiene.

En la figura N° 4.13, se observa el nivel de producción comparado entre configuraciones:

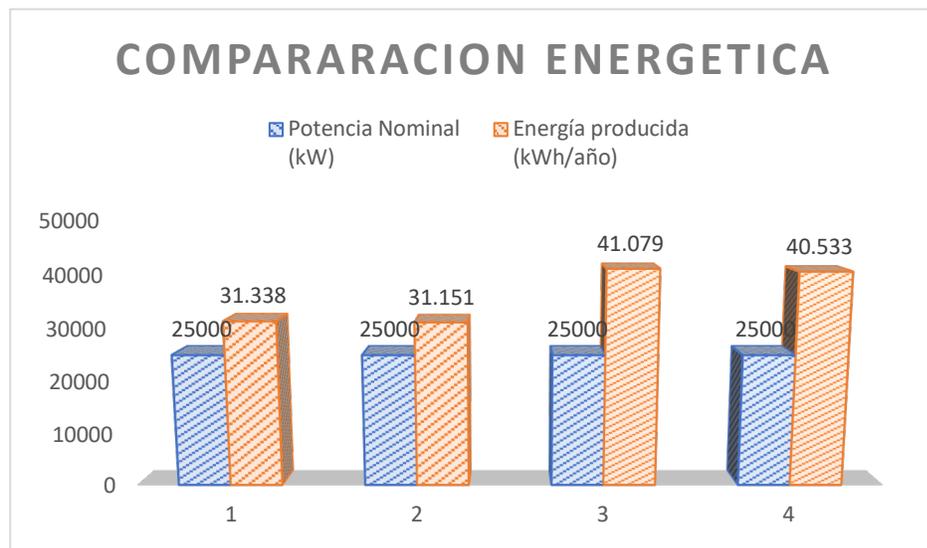


Figura N° 4.13: Resumen comparativo de generación de energía.

Fuente: Elaboración propia.

4.8 Consideraciones de instalación del sistema fotovoltaico

En relación con la factibilidad de instalación del sistema fotovoltaico se tiene:

4.8.1 Estructural

La carga estimada asociada a cada configuración se presenta en la Tabla N° 4.21, según:

Tabla N° 4.21: Estimación de carga de techumbre.

Config.	Peso unitario MFV (kg)	Área MFV (m2)	Carga estructura unitaria (kg/ml)	Dimensión estructura M2 (ml)	Carga estimada por área (kg/m2)
1	34,4	3,11	1,05	10	22
2	27,8	2,58	1,05	10	21
3	34,4	3,11	1,05	10	22
4	27,8	2,58	1,05	10	21

Fuente: Elaboración propia

Respecto a techumbre existente, se puede señalar que está estructurada con material metalcon y cubierta PV4. De ello, en la figura N° 4.14, se observa el esquema de estructura propuesto, según:



Figura N° 4.14: Esquema de instalación propuesto.

Fuente: Programa Techos Solares, Ministerio Energía.

4.8.2 Eléctrica

En cuanto al sector considerado para la instalación de equipos inversores, punto de conexión y trazado de canalizaciones se tiene lo siguiente:

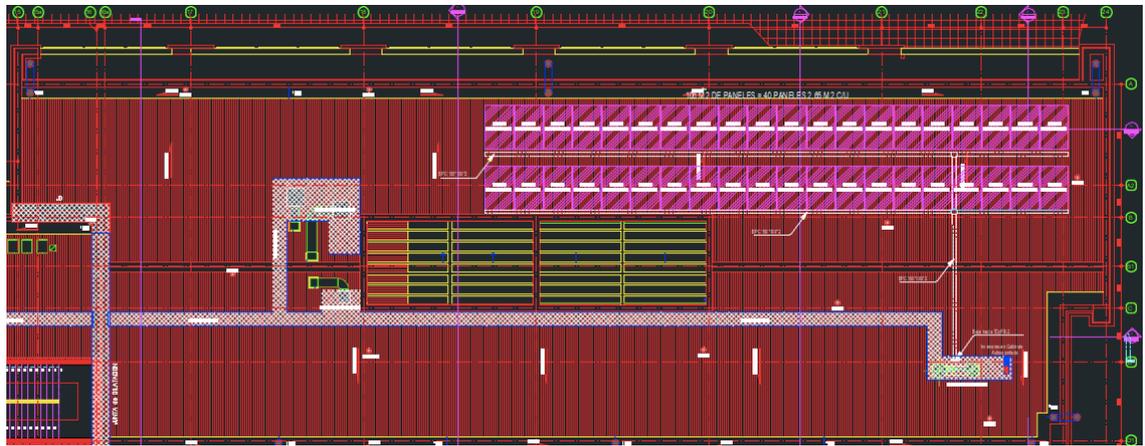


Figura N° 4.15: Esquema de instalación de sistema solar fotovoltaico propuesto.

Fuente: Elaboración Propia

Respecto a superficie referencial de instalación, revisar Anexo D.

De acuerdo con la ubicación propuesta del sistema fotovoltaico en estudio se proyecta su interconexión eléctrica en tablero TDA y F B.2 ubicado en el segundo nivel del Ed. B [8], del cual se presenta una breve descripción de cargas eléctricas atendidas en la Tabla N° 4.22, a saber:

Tabla N° 4.22: Carga eléctrica de TDA y FB.2.

Cargas alimentadas	Servicios
Circuitos de alumbrado	Central de alimentación
Circuitos de fuerza	Laboratorio clínico
Circuitos de equipos industriales	Oftalmología
Circuitos de computación con UPS	
Circuitos de climatización	

Fuente: Elaboración propia

Dado lo anterior y según requerimientos de interconexión eléctrica del sistema fotovoltaico propuesto, no se tienen observaciones según la capacidad de carga tratada.

CAPÍTULO V

ESTUDIO DE COSTOS Y EVALUACIÓN ECONÓMICA

En este capítulo, se establece una metodología y análisis que permite determinar los costos asociados a los principales factores que influyen en la implementación de un sistema fotovoltaico On - Grid, además de presentar resultados de los flujos de caja y análisis de sensibilidad respecto a variables que pueden afectar la viabilidad financiera del proyecto. Para efectos de cálculos la unidad monetaria utilizada es el peso chileno (CLP).

En este sentido, se consideran las dos configuraciones de diseño del sistema fotovoltaico que satisfacen la exigencia de al menos cubrir el 5 % del consumo energético anual del hospital, en donde sus rendimientos se observan en la tabla N° 5.1, según:

Tabla N° 5.1: Resumen de configuraciones viables.

Config.	Potencia Panel	# Paneles Fotovoltaicos	Potencia Inversor	# Inversores	Energía Producida (kWh/año)	Energía Promedio Anual de la Instalación
3	550 Wp	48	12,5 kW	2	41.079	5,48%
4	650 Wp	40	25 kW	1	40.533	5,41%

Fuente: Elaboración propia

5.1 Costos de inversión sistema fotovoltaico On - Grid

Representan los costos más relevantes de este proyecto y consideran el suministro y construcción del sistema fotovoltaico, incluyendo su ingeniería y pruebas. En este tipo de costos, se pueden identificar los siguientes ítems: sistema estructural de montaje, sistema y componentes eléctricos, mano de obra.

5.1.1 Costos de Inversión Configuración 3

En la figura N° 5.1, se presenta presupuesto estimado de implementación, a saber:

SISTEMA FOTOVOLTAICO 25 KW HCH CONFIGURACION 3					
ITEM	PARTIDAS	UNIDAD	CANTIDAD	\$ UNITARIO	\$ TOTAL
BRACKETS	ANCLAJE A TECHO HEXAGONAL # 12 2 1/2"	GL	2	\$ 12.000	\$ 24.000
BRACKETS	CONECTOR TIPO MC4	GL	1	\$ 20.000	\$ 20.000
BRACKETS	KIT FIJACION CENTRAL MID CLAMP	UD	90	\$ 1.105	\$ 99.450
BRACKETS	AS, RIEL ALUMINIO 5000 MM -VERSION PRO	UD	22	\$ 35.496	\$ 780.912
BRACKETS	AS, CONECTOR DE RIEL	UD	20	\$ 1.539	\$ 30.780
BRACKETS	AS, GROUND CLIP PUESTA A TIERRA	UD	90	\$ 200	\$ 18.000
BRACKETS	AS KIT FIJACION LATERAL END CLAMP	UD	4	\$ 1.189	\$ 4.756
BRACKETS	AS, ANCLAJE PUESTA A TIERRA ALUMINIO	UD	2	\$ 965	\$ 1.930
CABLEADO	CABLE COBRE DESNUDO AWG 6	ML	40	\$ 1.672	\$ 66.880
CABLEADO	CABLE CON AISLACION VERDE (EVA) 4MM2	ML	40	\$ 992	\$ 39.680
CABLEADO	CABLE RV-K 3X6MM2 (CA)	ML	100	\$ 703	\$ 70.300
CABLEADO	CABLE SOLAR 4MM2 (CC)	ML	75	\$ 992	\$ 74.400
CABLEADO	CABLE INTERC TIERRA SOLAR CON TERMINAL 10 AWG	UD	40	\$ 285	\$ 11.400
CABLEADO	TERMINALES FERROLE Y TERMINALES DE OJO	GL	1	\$ 10.000	\$ 10.000
CANALIZACION	CAG 40 MM	ML	15	\$ 4.198	\$ 62.970
CANALIZACION	CAJA DE AGRUPACION	UD	1	\$ 11.321	\$ 11.321
CANALIZACION	CAJA GALVANIZADA	UD	4	\$ 1.827	\$ 7.308
CANALIZACION	EMT 40 MM	ML	20	\$ 1.497	\$ 29.940
CANALIZACION	TUBERIA FLEXIBLE LIBRE HALOGENO 40MM	ML	10	\$ 1.394	\$ 13.940
FERRETERIA	FUNGIBLES DE MONTAJE (TORNILLERIA, TAPA GOTERAS, ETC)	UD	1	\$ 100.000	\$ 100.000
INVERSOR	CASETA CUBRE EQUIPO	UD	2	\$ 100.000	\$ 200.000
INVERSOR	INVERSOR SOLAR ON GRID TRIFASICO 12,5 KW IP 65	UD	2	\$ 2.059.968	\$ 4.119.936
MODULOS	PANEL SOLAR 550 Wp	UD	48	\$ 150.000	\$ 7.200.000
TABLERO	AUTOMATICO BIPOLAR 3X40 A CURVA C	UD	2	\$ 26.756	\$ 53.512
TABLERO	DIFERENCIAL CLASE A 3X40 A 30 mA	UD	2	\$ 61.739	\$ 123.478
TABLERO	GABINETE SOBREPUESTO METALICO IP65	UD	1	\$ 89.090	\$ 89.090
TABLERO	REPARTIDOR TETRAPOLAR	UD	1	\$ 9.200	\$ 9.200
MANO DE OBRA	SUPERVISOR ELECTRICO SEC	DIAS	30	\$ 45.000	\$ 1.350.000
MANO DE OBRA	AYUDANTE 1	DIAS	30	\$ 30.000	\$ 900.000
MANO DE OBRA	AYUDANTE 2	DIAS	30	\$ 30.000	\$ 900.000
TRAMITACION	TRAMITACION COMPAÑIA ELECTRICA	GL	1	\$ 120.000	\$ 120.000
TRAMITACION	JUEGO DE PLANOS Y MEMORIAS (TE-4)	GL	1	\$ 180.000	\$ 180.000
				NETO	\$ 16.723.183
	GASTOS GENERALES		15%		\$ 2.508.477
	UTILIDADES		10%		\$ 1.672.318
				SUBTOTAL NETO	\$ 20.903.979
				IVA 19%	\$ 3.971.756
				TOTALIZADO	\$ 24.875.735

Figura N° 5.1: Costos de inversión (Configuración 3).

Fuente: Elaboración propia.

La inversión inicial asciende a \$ 24.875.735 e involucra todos los aspectos asociados al suministro e instalación del proyecto. En este caso, no se considera reinversión debido a que los componentes tienen una vida útil de 25 años, similar al horizonte de evaluación.

5.1.2 Costos de Inversión Configuración 4

En la figura N° 5.2, se presenta presupuesto estimado de implementación, a saber:

SISTEMA FOTOVOLTAICO 25 KW HCH CONFIGURACION 4					
ITEM	PARTIDAS	UNIDAD	CANTIDAD	\$ UNITARIO	\$ TOTAL
BRACKETS	ANCLAJE A TECHO HEXAGONAL # 12 2 1/2"	GL	2	\$ 12.000	\$ 24.000
BRACKETS	CONECTOR TIPO MC4	GL	1	\$ 20.000	\$ 20.000
BRACKETS	KIT FIJACION CENTRAL MID CLAMP	UD	80	\$ 1.105	\$ 88.400
BRACKETS	AS, RIEL ALUMINIO 5000 MM -VERSION PRO	UD	22	\$ 35.496	\$ 780.912
BRACKETS	AS, CONECTOR DE RIEL	UD	20	\$ 1.539	\$ 30.780
BRACKETS	AS, GROUND CLIP PUESTA A TIERRA	UD	90	\$ 200	\$ 18.000
BRACKETS	AS KIT FIJACION LATERAL END CLAMP	UD	4	\$ 1.189	\$ 4.756
BRACKETS	AS, ANCLAJE PUESTA A TIERRA ALUMINIO	UD	2	\$ 965	\$ 1.930
CABLEADO	CABLE COBRE DESNUDO AWG 6	ML	40	\$ 1.672	\$ 66.880
CABLEADO	CABLE CON AISLACION VERDE (EVA) 4MM2	ML	40	\$ 992	\$ 39.680
CABLEADO	CABLE RV-K 3X6MM2 (CA)	ML	100	\$ 703	\$ 70.300
CABLEADO	CABLE SOLAR 4MM2 (CC)	ML	75	\$ 992	\$ 74.400
CABLEADO	CABLE INTERC TIERRA SOLAR CON TERMINAL 10 AWG	UD	40	\$ 285	\$ 11.400
CABLEADO	TERMINALES FERROLE Y TERMINALES DE OJO	GL	1	\$ 10.000	\$ 10.000
CANALIZACION	CAG 40 MM	ML	15	\$ 4.198	\$ 62.970
CANALIZACION	CAJA DE AGRUPACION	UD	1	\$ 11.321	\$ 11.321
CANALIZACION	CAJA GALVANIZADA	UD	4	\$ 1.827	\$ 7.308
CANALIZACION	EMT 40 MM	ML	20	\$ 1.497	\$ 29.940
CANALIZACION	TUBERIA FLEXIBLE LIBRE HALOGENO 40MM	ML	10	\$ 1.394	\$ 13.940
FERRERIA	FUNGIBLES DE MONTAJE (TORNILLERIA, TAPA GOTERAS, ETC)	UD	1	\$ 100.000	\$ 100.000
INVERSOR	CASETA CUBRE EQUIPO	UD	1	\$ 100.000	\$ 100.000
INVERSOR	INVERSOR SOLAR ON GRID TRIFASICO 25 KW IP 66	UD	1	\$ 2.150.000	\$ 2.150.000
MODULOS	PANEL SOLAR 650 Wp	UD	40	\$ 199.586	\$ 7.983.440
TABLERO	AUTOMATICO BIPOLAR 3X40 A CURVA C	UD	2	\$ 26.756	\$ 53.512
TABLERO	DIFERENCIAL CLASE A 3X40 A 30 mA	UD	2	\$ 61.739	\$ 123.478
TABLERO	GABINETE SOBREPUESTO METALICO IP65	UD	1	\$ 89.090	\$ 89.090
TABLERO	REPARTIDOR TETRAPOLAR	UD	1	\$ 9.200	\$ 9.200
MANO DE OBRA	SUPERVISOR ELECTRICO SEC	DIAS	30	\$ 45.000	\$ 1.350.000
MANO DE OBRA	AYUDANTE 1	DIAS	30	\$ 30.000	\$ 900.000
MANO DE OBRA	AYUDANTE 2	DIAS	30	\$ 30.000	\$ 900.000
TRAMITACION	TRAMITACION COMPAÑIA ELECTRICA	GL	1	\$ 120.000	\$ 120.000
TRAMITACION	JUEGO DE PLANOS Y MEMORIAS (TE-4)	GL	1	\$ 180.000	\$ 180.000
				NETO	\$ 15.425.637
	GASTOS GENERALES		15%		\$ 2.313.846
	UTILIDADES		10%		\$ 1.542.564
				SUBTOTAL NETO	\$ 19.282.046
				IVA 19%	\$ 3.663.589
				TOTALIZADO	\$ 22.945.635

Figura N° 5.2: Costos de inversión (configuración 4).

Fuente: Elaboración propia

La inversión inicial asciende a \$ 22.945.635 que involucra todos los aspectos asociados al suministro e instalación del proyecto. En este caso, no se considera reinversión debido a que los componentes tienen una vida útil de 25 años, similar al horizonte de evaluación.

5.2 Costos de Operación y Mantenimiento

El sistema fotovoltaico respecto a su operación y mantenimiento de sus componentes presenta la ventaja de tener una baja exigencia, ya que principalmente se deben considerar tareas de inspección visual, limpieza, medición de parámetros eléctricos y chequeo básico, con una frecuencia que dependerá de la polución del entorno (polvo, lluvia, etc.).

Con base en ello, los costos de mantenimiento generalmente son bajos, pero no despreciables, ya que de no contar con ello pudiera provocar una baja en el rendimiento general del sistema y disminución de la vida útil de ciertos componentes.

5.2.1 Costos de Operación y Mantenimiento Configuración 3

En la figura N° 5.3, se presenta presupuesto estimado de operación y mantención, a saber:

SISTEMA FOTOVOLTAICO 25 KWH HCH CONFIGURACION 3				
ESPECIFICACION MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
INSUMOS DE LIMPIEZA GRAL	GL	1	\$ 2.500	\$ 2.500
A) TOTAL MATERIAL \$				\$ 2.500
MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIMIENTO	VALOR HD (\$)	TOTAL (\$)
TECNICO MANTENCION 1	1	1,0	\$ 14.773	\$ 14.773
LEYES SOCIALES	%	0,29	\$ 17.728	\$ 5.141
B) TOTAL MANO DE OBRA \$				\$ 19.914
MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	RENDIMIENTO	VALOR (\$)	TOTAL (\$)
HERRAMIENTAS MENORES	%	0,20	\$ 3.771	\$ 754
C) TOTAL MAQUINARIAS \$				\$ 754
TOTAL COSTO A + B + C (\$)				\$ 25.668

Figura N° 5.3: Costos de operación y mantenimiento (configuración 3).

Fuente: Elaboración propia.

La atención de mantenimiento y limpieza se realiza con personal técnico propio del Hospital. Como periodicidad de ejecución de rutinas se considera una frecuencia 2 veces/mes. Por lo tanto, se considera un valor anual por este concepto de \$ 616.032.

5.2.2 Costos de Operación y Mantenimiento Configuración 4

En la figura N° 5.4, se presenta presupuesto estimado de operación y mantención, a saber:

SISTEMA FOTOVOTAICO 25 KWH HCH CONFIGURACION 4				
ESPECIFICACION MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	P.U. (\$)	TOTAL (\$)
INSUMOS DE LIMPIEZA	GL	1	\$ 5.000	\$ 5.000
A) TOTAL MATERIAL \$				\$ 5.000
MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIMIENTO	VALOR HD (\$)	TOTAL (\$)
TECNICO MANTENCION 1	1	0,8	\$ 14.773	\$ 11.818
LEYES SOCIALES	%	0,29	\$ 11.818	\$ 3.427
B) TOTAL MANO DE OBRA \$				\$ 15.246
MAQUINARIA Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	RENDIMIENTO	VALOR (\$)	TOTAL (\$)
HERRAMIENTAS MENORES	%	0,20	\$ 3.771	\$ 754
C) TOTAL MAQUINARIAS \$				\$ 754
TOTAL COSTO A + B + C (\$)				\$ 21.000

Figura N° 5.4: Costos de operación y mantenimiento (configuración 4).

Fuente: Elaboración propia.

La atención de mantenimiento y limpieza se realiza con personal técnico propio del hospital. Como periodicidad de ejecución de rutinas se considera una frecuencia 2 veces/mes. Por lo tanto, se considera un valor anual por este concepto de \$ 504.000.

5.3 Costos variables

Serán aquellos que varíen en el tiempo de proyección. En este caso, se considera el costo de energía eléctrica, el cual usualmente presenta una tendencia al alza, por tanto, por motivos de esta evaluación, se considera el precio de compra del periodo 2023 en análisis de 73 \$/kWh y que, por motivos de variabilidad económica, se estimará una tasa de incremento anual promedio del 3% en el horizonte de proyección.

En este sentido, la variabilidad del precio de compra podría representar un aumento del ahorro en la facturación eléctrica por conceptos de consumo.

5.4 Análisis de flujos de caja

Teniendo en cuenta que en todo proyecto se persigue la maximización de utilidades es que, a continuación, se presentan los flujos de caja que dan cuenta de la proyección económica considerada en este caso de estudio. Aunque si bien esta iniciativa no busca maximizar utilidades, si considera otros tipos de beneficios como son:

- ✚ Generar un nivel de ahorro en facturación eléctrica del hospital.
- ✚ Favorecer el uso de ERNC según políticas públicas.
- ✚ Contribuir al medio ambiente y disminuir la huella de carbono.

En cuanto a los principales indicadores utilizados para evaluar la rentabilidad del proyecto se consideran:

El valor actual neto o VAN, el cual corresponde al valor presente de los flujos de caja neto proyectados para una inversión [13]. Para su cálculo se utilizará la expresión:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (\text{Ec. N}^\circ \text{ 5.1})$$

Donde:

- Ft : son los flujos de dinero en cada periodo t.
- I₀ : es la inversión realizada en el momento inicial (t=0).
- n: es el número de periodos de tiempo.
- k: es el tipo de descuento o tipo de interés exigido a la inversión.

Adicionalmente, se consideran utilizar como indicadores de factibilidad del proyecto al VAE o valor anual equivalente, así como el indicador que nos proporcione el periodo de recuperación de la inversión o payback y la tasa de interés de retorno o TIR que se asocia a este proyecto.

El periodo de evaluación será acotado a la vida útil de los paneles fotovoltaicos, periodo en el cual se espera cumplan con los niveles de operación y rendimiento según lo indicado en catálogos, que es de 25 años.

Es importante que, según los periodos proyectados, se cuente con conocimiento de los gastos o ingresos relacionados al proyecto y considerar su comportamiento en el periodo de evaluación para obtener una más efectiva estimación posible.

5.4.1 Flujo de Caja Configuración 3

Una vez determinado los costos de inversión, mantenimiento, energía, tasa de descuento social, se cuenta con toda la información necesaria para realizar el flujo de caja y obtener los valores de indicadores VAN, VAE, payback y TIR, ello considerando una tasa de descuento social del 6 %.

Al considerar los periodos de proyección se considera una tasa de crecimiento anual del costo de la energía proveniente de la red de un 3 % constante.

Respecto a la evaluación económica del proyecto es necesario determinar los principales parámetros que determinaran sus flujos, lo que se observa en la tabla N° 5.2.

Tabla N° 5.2: Resumen de parámetros para establecer flujos (configuración 3).

Ítem	Valor	Observación
Inversión	\$ 24.875.735	Periodo inicial
Reinversión	\$ 0	No considerada
Mantenimiento	5%	Ajuste por IPC promedio
Tasa crecimiento Precio energía	3%	Ajuste anual

Fuente: Elaboración propia

Al realizar el flujo de caja asociado a la evaluación económica del sistema fotovoltaico propuesto para un horizonte de 25 años en esta configuración, se observan sus resultados en la tabla N° 5.3. De ello, se puede inferir que para este caso base su VAN es \$ 14.736.254, su VAE es \$ 1.945.947, con una TIR de 11 % y un periodo de recuperación de la inversión o payback de 9,11 años, según se observa en la tabla N° 5.3.

Tabla N° 5.3: Resumen de indicadores de proyecto (configuración 3).

Indicador	Valor
VAN	\$ 14.736.254
VAE	\$ 1.945.947
Payback en años	9,11
TIR	11%

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 5.3 se puede indicar, que al obtenerse un VAN positivo se puede inferir que el proyecto produciría beneficios sobre la inversión inicial que se requiere, por lo tanto es una buen alternativa de inversión, además al obtenerse una TIR mayor a la tasa social de descuento, ello indica que el proyecto tiene una rentabilidad mayor, por lo cual es recomendable realizar la inversión.

5.4.2 Flujo de Caja Configuración 4

Una vez determinado los costos de inversión, mantenimiento, energía, tasa de descuento social, se cuenta con toda la información necesaria para realizar el flujo de caja y obtener los valores de indicadores VAN, VAE, payback y TIR, ello considerando una tasa de descuento social del 6 %.

Al considerar los periodos de proyección se considera una tasa de crecimiento anual del costo de la energía proveniente de la red de un 3 % constante.

Respecto a la evaluación económica del proyecto, es necesario determinar los principales parámetros que determinaran sus flujos, lo que se observa en la Tabla N° 5.4.

Tabla N° 5.4: Resumen de parámetros para establecer flujos (configuración 4).

Ítem	Valor	Observación
Inversión	\$ 22.945.635	Periodo inicial
Reinversión	\$ 0	No considerada
Mantenimiento	5%	Ajuste por IPC promedio
Tasa crecimiento Precio energía	3%	Ajuste anual

Fuente: Elaboración propia.

Al realizar el flujo de caja asociado a la evaluación económica del sistema fotovoltaico propuesto para un horizonte de 25 años en esta configuración, se observan los resultados expuestos en la tabla N° 5.5. De ello se puede inferir que, para este caso base, su VAN es \$ 18.358.033, su VAE es \$1.794.962, con una TIR de 13 % y un periodo de recuperación de la inversión o payback de 8,22 años, según se observa en la tabla N° 5.5.

Tabla N° 5.5: Resumen de indicadores de proyecto (configuración 4).

Indicador	Valor
VAN	\$ 18.358.033
VAE	\$ 1.794.962
Payback en años	8,22
TIR	13%

Fuente: Elaboración propia

De forma similar a la configuración 3, los resultados de los indicadores de la Configuración 4, presentados en la tabla 5.5 indican un VAN positivo, por lo cual produciría beneficios por sobre la inversión inicial y al contar con una TIR mayor a la tasa social de descuento, ello indica que el proyecto tiene una rentabilidad mayor, por lo cual esta configuración también es una opción recomendable para realizar la inversión.

Al comparar resultados de ambas configuraciones propuestas en condiciones normales respecto a su generación energética definida, se puede observar la tabla N° 5.6, según:

Tabla N° 5.6: Resumen comparativo de indicadores de proyecto.

Indicador	Configuración 3 (5,48%)	Configuración 4 (5,41%)
VAE	\$ 1.945.947	\$ 1.794.962
VAN	\$ 14.736.254	\$ 18.358.033
TIR	11%	13%
Payback en años	9,11	8,22
ROI	233%	279%

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los cálculos obtenidos para ambas situaciones del sistema fotovoltaico se demuestra que la configuración 4 resulta recomendable con un VAN de \$ 18.358.033 y sus demás indicadores superiores en cada caso, con una TIR de 13 %, payback de 8,22 años y un VAE de \$ 1.794.962. Esto se relaciona con que esta configuración de proyecto presentará mayores beneficios al final del periodo de estimación proyectado para análisis.

Respecto al detalle de los flujos financieros, éstos son presentados en Anexo B.

5.5 Análisis de Sensibilidad

Una vez obtenidos los resultados para las configuraciones tratadas y luego de seleccionar la mejor alternativa de solución se procede a realizar un análisis de sensibilidad, el cual permitirá determinar cómo se comporta la rentabilidad del proyecto frente a distintas variaciones económicas, y así dar cuenta de su solidez frente a la inversión propuesta.

Para el análisis de sensibilidad se presentan dos variables de riesgo las cuales se estiman puedan afectar los niveles de rentabilidad del proyecto, las cuales son:

- ✚ **Inversión Inicial:** para este factor se considera un aumento y disminución del 10 % de su valor. Ello representa un grado de variabilidad en el mercado de materiales y equipos, así como de la mano de obra asociada.

- ✚ **Precio de la energía:** representa el principal factor de riesgo, dado que respecto a su valor se comprometen los ahorros futuros del proyecto. Se considerará un grado de aumento y disminución del 10 % de su valor inicial, representando la variación del mercado energético.

5.5.1 Sensibilidad respecto a la inversión inicial

Al realizar los flujos financieros con las variaciones de mercado propuestas respecto al costo de la inversión inicial y su afectación en índices de rentabilidad, se observa que en el caso en donde el costo de la inversión inicial aumenta el VAN no se hace negativo, pero refleja menor rentabilidad respecto al caso base.

El caso contrario ocurre cuando la inversión inicial disminuye sus costos, se observa un alza de rentabilidad respecto al caso base lo cual también afecta positivamente demás indicadores con un menor periodo de retorno de inversión o payback en 7,47 años.

En general, para análisis propuesto, el proyecto mantiene índices de rentabilidad positivos por lo cual frente a este escenario es aún recomendable su implementación, según se observa en la tabla N° 5.7.

Tabla N° 5.7: Comparativo de indicadores de proyecto respecto a la inversión inicial (configuración inicial).

SENSIBILIDAD RESPECTO A INVERSION INICIAL			
PARAMETRO	CASO -10%	CASO BASE	CASO +10%
INVERSION INICIAL	\$ 20.651.072	\$ 22.945.635	\$ 25.240.199
TIR	14%	13%	11%
PAYBACK EN AÑOS	7,47	8,22	8,96
VAE	\$ 1.615.466	\$ 1.794.962	\$ 1.947.458
VAN	\$ 20.651.596	\$ 18.358.033	\$ 16.063.469

Fuente: Elaboración propia

5.5.2 Sensibilidad respecto al costo de energía

Al realizar los flujos financieros con las variaciones de mercado propuestas respecto al costo de la energía y su afectación en índices de rentabilidad, se observa que en el caso en donde el precio de la energía disminuye el VAN no se hace negativo, pero refleja menor rentabilidad sobre el caso base.

Caso contrario ocurre cuando el precio de la energía aumenta, dado que su variación muestra un fuerte incremento en el índice de rentabilidad respecto al caso base del orden del 28,2 %.

En este sentido, también disminuyen el periodo de retorno de la inversión a 7,41 años respecto al caso base y una TIR del 14 %. En resumen, el proyecto mantiene índices de rentabilidad positivos y en su caso de un aumento de precio de venta de la energía que representa el caso más favorable frente a los ahorros futuros, demostrando un alto grado de afectación, por lo cual frente a este escenario el proyecto es recomendable, según se observa en la Tabla N° 5.8.

Tabla N° 5.8: Comparativo de indicadores de proyecto respecto al precio energético (configuración 4).

SENSIBILIDAD RESPECTO AL PRECIO DE LA ENERGIA			
PARAMETRO	CASO -10%	CASO BASE	CASO +10%
PRECIO DE LA ENERGIA	\$ 65,7	\$ 73,0	\$ 80
TIR	11%	13%	14%
PAYBACK EN AÑOS	9,24	8,22	7,41
VAE	\$ 1.794.962	\$ 1.794.962	\$ 1.794.962
VAN	\$ 13.164.307	\$ 18.358.033	\$ 23.551.759

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES

En la actualidad, la tecnología asociada a la generación eléctrica a partir de energía solar impulsa vigorosamente el desarrollo de este tipo de proyectos en Chile, dada las condiciones climatológicas que tiene. Con ello, se presentan diversas opciones para diversificar la matriz energética, tanto soluciones domésticas como industriales, lo que va en directa relación con el fortalecimiento de la generación distribuida para autoconsumo fomentada en nuestro país durante los últimos años.

Un significativo avance propone la plataforma de simulación Explorador Solar, impulsada por el Ministerio de Energía para estudiar y evaluar la implementación de sistemas solares fotovoltaicos a lo largo de nuestro territorio. Esto permite, de forma gratuita, el uso de distintas herramientas que favorecen el uso de ERNC con resultados confiables, que pueden ser aplicados inclusive para validación financiera de proyectos energéticos.

Este estudio permite comprender los principales criterios técnicos de diseño en un sistema fotovoltaico, asociados a restricciones de superficie, ángulos de incidencia solar, condiciones climatológicas de localización, características y niveles de eficiencia de componentes, y sus grados de influencia en su funcionamiento global.

En el estudio de factibilidad económica, este trabajo dio cuenta de la evaluación y selección de la mejor configuración técnica en cuanto al nivel de rentabilidad de proyecto obtenida. De acuerdo con ello y mediante distintos indicadores, se permitió seleccionar la mejor alternativa respecto a sus beneficios, entre los cuales también se incluyeron los análisis de sensibilidad de costos para verificar la afectación frente a distintas fluctuaciones del mercado respecto a la inversión.

En cuanto a la iniciativa de implementar un sistema fotovoltaico para el Hospital Comunitario de Huasco que permita generar parte de la energía consumida se tiene que es factible y demuestra una iniciativa de mejora energética a la instalación, permitiendo además ser más respetuosos con el medioambiente y aprovechar las condiciones naturales de la zona en el cual se encuentra ubicado.

Finalmente, los resultados indican que el sistema fotovoltaico de 25 kW dedicado al autoconsumo seleccionado permite la producción energética mínima propuesta del 5 % del consumo promedio anual del hospital con un factor de planta del 18 %, considerando la disponibilidad del recurso solar, la superficie disponible y factibilidad de interconexión a la red eléctrica de la instalación.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Grijalva, Carlos, & Vélez, Félix. Estudio e Implementación de un Sistema Fotovoltaico Aplicado a Luminarias: Caso de Estudio Unidad Educativa Dr. Francisco Falquez Ampuero, Trabajo de Titulo, Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, 2020.
- [2] García, Marta. Diseño de una planta fotovoltaica de conexión a red. Proyecto fin de grado, Universidad Carlos III de Madrid. España 2015.
- [3] Méndez, J., Cuervo, R., & S.A.U., E.I. (2007). Energía Solar Fotovoltaica. Fundación Confemetal, FC.
- [4] Portabela, Ixtebe. “Proceso de creación de una planta solar fotovoltaica conectada a red”. Memoria de Titulación, Universitat Politècnica de Catalunya. España 2010.
- [5] Orellana, Matías. Evaluación técnico-económica de proyecto solar fotovoltaico de 300 KW dedicada al autoconsumo a base de inversión económica por modelo ESCO. Memoria de Titulación, Universidad de Chile, Santiago 2022.
- [6] De la peña, Javier. Estudio y desarrollo de una planta fotovoltaica. Trabajo de fin de grado, Universidad politécnica de Madrid.
- [7] Hildebrandt Planconsult, Diseño de Arquitectura, Ingeniería y Especialidades de la Reposición del Hospital Comunitario Huasco. Chile, 2017.
- [8] Ministerio de Energía. Explorador Solar [En línea]. Disponible en: <https://solar.minenergia.cl/inicio>
- [9] Ministerio de Energía. “Guía de evaluación inicial de edificios para instalación de sistemas fotovoltaicos”. Disponible en: <https://techossolares.minenergia.cl/>

- [10] SEC, Instrucción Técnica RGR 02/2020 [En línea]. Disponible en:
<https://www.sec.cl/sitio-web/>
- [11] Ministerio de Medio Ambiente. “Manual de Estado Verde”. Disponible en:
<https://estadoverde.mma.gob.cl/Manual-Estado-Verde.pdf>
- [12] Ministerio de Desarrollo Social y Familia, SNI. “Metodología de Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Electrificación Rural” [En línea]. Disponible en:
<https://sni.gob.cl/storage/>
- [13] <https://ematchile.com>. Catálogo EMAT 2023 [En Línea]. Disponible en:
<https://ematchile.com/catalogo/>
- [14] <https://vitelenergia.com/>. Catálogo VITEL 2023 [En Línea]. Disponible en:
<https://vitelenergia.com/es/energias-renovables>

ANEXO A

FICHAS TÉCNICAS DE EQUIPOS



HiKu7 Mono PERC

640 W ~ 665 W
CS7N-640 | 645 | 650 | 655 | 660 | 665MS

MORE POWER

- Module power up to 665 W
Module efficiency up to 21.4 %
- Up to 3.5 % lower LCOE
Up to 5.7 % lower system cost
- Comprehensive LID / LeTID mitigation technology, up to 50% lower degradation
- Compatible with mainstream trackers, cost effective product for utility power plant
- Better shading tolerance

MORE RELIABLE

- 40 °C lower hot spot temperature, greatly reduce module failure rate
- Minimizes micro-crack impacts
- Heavy snow load up to 5400 Pa, wind load up to 2400 Pa*

- 12 Years** Enhanced Product Warranty on Materials and Workmanship*
- 25 Years** Linear Power Performance Warranty*

1st year power degradation no more than 2%
Subsequent annual power degradation no more than 0.55%

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

MANAGEMENT SYSTEM CERTIFICATES*

ISO 9001:2015 / Quality management system
ISO 14001:2015 / Standards for environmental management system
ISO 45001: 2018 / International standards for occupational health & safety

PRODUCT CERTIFICATES*

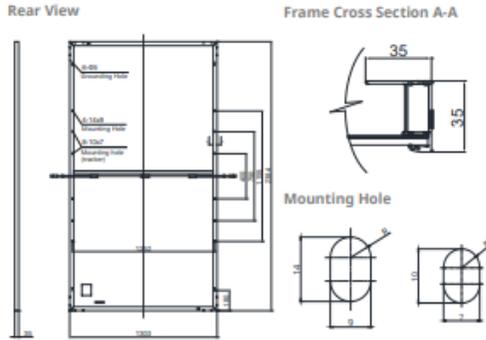
* The specific certificates applicable to different module types and markets will vary, and therefore not all of the certifications listed herein will simultaneously apply to the products you order or use. Please contact your local Canadian Solar sales representative to confirm the specific certificates available for your Product and applicable in the regions in which the products will be used.

CSI Solar Co., Ltd. is committed to providing high quality solar products, solar system solutions and services to customers around the world. Canadian Solar was recognized as the No. 1 module supplier for quality and performance/price ratio in the IHS Module Customer Insight Survey, and is a leading PV project developer and manufacturer of solar modules, with over 50 GW deployed around the world since 2001.

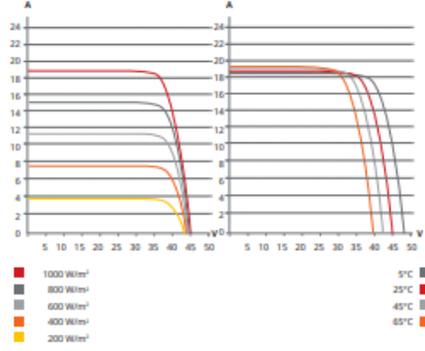
* For detailed information, please refer to the Installation Manual.

CSI Solar Co., Ltd.
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

ENGINEERING DRAWING (mm)



CS7N-650MS / I-V CURVES



ELECTRICAL DATA | STC*

CS7N	640MS	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS
Nominal Max. Power (Pmax)	640 W	645 W	650 W	655 W	660 W	665 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	37.5 V	37.7 V	37.9 V	38.1 V	38.3 V	38.5 V
Opt. Operating Current (Imp)	17.07 A	17.11 A	17.16 A	17.20 A	17.24 A	17.28 A
Open Circuit Voltage (Voc)	44.6 V	44.8 V	45.0 V	45.2 V	45.4 V	45.6 V
Short Circuit Current (Isc)	18.31 A	18.35 A	18.39 A	18.43 A	18.47 A	18.51 A
Module Efficiency	20.6%	20.8%	20.9%	21.1%	21.2%	21.4%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC) or 1000V (IEC)					
Module Fire Performance	CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	30 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ +10 W					

* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m², spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

ELECTRICAL DATA | NMOT*

CS7N	640MS	645MS	650MS	655MS	660MS	665MS
Nominal Max. Power (Pmax)	478 W	482 W	486 W	489 W	493 W	497 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	35.0 V	35.2 V	35.4 V	35.6 V	35.8 V	36.0 V
Opt. Operating Current (Imp)	13.66 A	13.70 A	13.73 A	13.75 A	13.78 A	13.81 A
Open Circuit Voltage (Voc)	42.0 V	42.2 V	42.4 V	42.6 V	42.8 V	43.0 V
Short Circuit Current (Isc)	14.77 A	14.80 A	14.84 A	14.87 A	14.90 A	14.93 A

* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

MECHANICAL DATA

Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	132 [2x(11 x 6)]
Dimensions	2384 x 1303 x 35 mm (93.9 x 51.3 x 1.38 in)
Weight	34.4 kg (75.8 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass
Frame	Anodized aluminium alloy, crossbar enhanced
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm² (IEC)
Cable Length (Including Connector)	460 mm (18.1 in) (+) / 340 mm (13.4 in) (-) or customized length*
Connector	T4 series or H4 UTX or MC4-EVO2
Per Pallet	31 pieces
Per Container (40' HQ)	527 pieces

* For detailed information, please contact your local Canadian Solar sales and technical representatives.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS

Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	42 ± 3°C

PARTNER SECTION



* The specifications and key features contained in this datasheet may deviate slightly from our actual products due to the on-going innovation and product enhancement. CSI Solar Co., Ltd. reserves the right to make necessary adjustment to the information described herein at any time without further notice. Please be kindly advised that PV modules should be handled and installed by qualified people who have professional skills and please carefully read the safety and installation instructions before using our PV modules.

CSI Solar Co., Ltd.
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

January 2021. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V1.4_EN

S5-GC(25-40)K

Inversores Solis trifásicos

>> Modelo:

S5-GC25K

S5-GC30K

S5-GC33K

S5-GC36K

S5-GC40K



Vista 360°



Eficiente

- 98.7% de eficiencia máxima
- Corriente de string hasta **16 A**
- Diseño de 3/4 MPPT, soporta el diseño de sistema con múltiples orientaciones
- Función de recuperación PID por la noche, que aumenta rendimiento del sistema (opcional)
- Amplio rango de voltaje y bajo voltaje de arranque

Inteligente

- Soporta el control de exportación de potencia
- Monitorización inteligente de strings, análisis inteligente de curvas I-V
- Soporta RS485, WiFi, GPRS
- Escanea para registrar en SolisCloud, soporta la actualización y control remoto

Seguro

- IP66
- Protección AFCI, reduce activamente el riesgo de incendio
- Componentes de marca reconocidos mundialmente para una mayor vida útil
- Ventilador redundante inteligente

Económico

- Soporta comunicación GPRS/WiFi con menos cable, reduciendo costos de instalación
- > Ratio DC/AC del 150 %
- Soporta módulos de alta potencia para costos de instalación más bajos
- Soporta cable de aluminio para reducir costos de material

Hoja de datos

S5-GC(25-40)K

Modelo	25K	30K	33K	36K	40K
Entrada (DC)					
Potencia FV máxima de entrada recomendada	37.5 kW	45 kW	49.5 kW	54 kW	60 kW
Voltaje máximo de entrada	1100 V				
Voltaje nominal	600 V				
Voltaje de arranque	180 V				
Rango de voltaje MPPT	200-1000 V				
Corriente máxima de entrada	32 A / 32 A / 32 A			4*32 A	
Corriente máxima de cortocircuito	40 A / 40 A / 40 A			4*40 A	
Número de MPPT/Número máximo de cadenas de entrada	3/6			4/8	
Salida (AC)					
Potencia nominal de salida	25 kW	30 kW	33 kW	36 kW	40 kW
Potencia aparente máxima de salida	27.5 kVA	33 kVA	36.3 kVA	39.6 kVA	44 kVA
Potencia máxima de salida	27.5 kW	33 kW	36.3 kW	39.6 kW	44 kW
Voltaje nominal de la red	3/N/PE, 220 V / 380 V, 230 V / 400 V				
Frecuencia nominal de la red	50 Hz / 60 Hz				
Corriente nominal de salida de red	38.0 A / 36.1 A	45.6 A / 43.3 A	50.1 A / 47.6 A	54.7 A / 52.0 A	60.8 A / 57.7 A
Corriente máxima de salida	41.8 A	50.2 A	55.1 A	60.2 A	66.9 A
Factor de potencia	>0.99 (0.8 capacitivo a 0.8 inductivo)				
THDi	<3%				
Eficiencia					
Eficiencia máxima	98.5%		98.6%		98.7%
Eficiencia EU	98.1%		98.2%		98.3%
Protección					
Protección contra polaridad inversa DC	Sí				
Protección contra cortocircuito	Sí				
Protección de sobrecorriente de salida	Sí				
Protección contra sobretensiones	DC Tipo II / AC Tipo II				
Monitoreo de red	Sí				
Protección Anti-ísla	Sí				
Protección de temperatura	Sí				
Monitoreo de cadenas	Sí				
Escaneo de curvas I/V	Sí				
AFCI integrado (Protección de falla de arco DC)	Sí ⁽¹⁾				
Recuperación PID integrada	Opcional				
Interruptor de DC integrado	Opcional				
Datos generales					
Dimensiones (longitud*altura*ancho)	647*629*252 mm				
Peso	37 kg				
Topología	Sin Transformador				
Consumo propio (noche)	<1 W				
Rango de temperatura de funcionamiento	-25 ~ +60°C				
Humedad relativa	0-100%				
Nivel de protección	IP66				
Enfriamiento	Ventilador redundante inteligente				
Altitud máxima de funcionamiento	4000 m				
Estándar de conexión de red	G99, VDE-AR-N 4105 / VDE V 0124, EN 50549-1, VDE 0126 / UTE C 15 / VFR2019, RD 1699 / RD 244 / UNE 206006 / UNE 206007-1, CEI 0-21, C10/11, NRS 097-2-1, EIFS 2018.2, IEC 62116, IEC 61727, IEC60068, IEC 61683, EN 50530				
Estándar de seguridad / EMC	IEC/EN 62109-1/-2, IEC/EN 61000-6-1/-2/-3/-4				
Características					
Conexión de DC	Conector MC4				
Conexión de AC	Terminal OT				
Pantalla	LCD				
Comunicación	RS485, Opcional: Wi-Fi, GPRS				

(1) Activación necesaria.

ANEXO B

FLUJOS DE CAJA

B.1 Flujo Base Configuración 3

Periodo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Ahorro Costo Energético		3.081.656	3.174.106	3.269.329	3.367.409	3.468.431	3.572.484	3.679.659
Costo Mantenimiento		616.032	646.834	679.175	713.134	748.791	786.230	825.542
Inversión	24.875.735							
Flujo Neto	-24.875.735	2.465.624	2.527.272	2.590.154	2.654.275	2.719.640	2.786.254	2.854.117

Periodo	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16
Ahorro Costo Energético	3.790.048	3.903.750	4.020.862	4.141.488	4.265.733	4.393.705	4.525.516	4.661.281	4.801.120
Costo Mantenimiento	866.819	910.160	955.668	1.003.451	1.053.624	1.106.305	1.161.620	1.219.701	1.280.686
Inversión									
Flujo Neto	2.923.229	2.993.590	3.065.194	3.138.037	3.212.109	3.287.400	3.363.896	3.441.580	3.520.434

Periodo	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25
Ahorro Costo Energético	4.945.153	5.093.508	5.246.313	5.403.703	5.565.814	5.732.788	5.904.772	6.081.915	6.264.372
Costo Mantenimiento	1.344.721	1.411.957	1.482.554	1.556.682	1.634.516	1.716.242	1.802.054	1.892.157	1.986.765
Inversión									
Flujo Neto	3.600.433	3.681.551	3.763.759	3.847.021	3.931.297	4.016.546	4.102.718	4.189.758	4.277.608

VAN ₅	14.736.254
TIR	11%
PAYBACK	9,11
VAE	1.945.947

B.2 Flujo Base Configuración 4

Periodo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Ahorro Costo Energético		3.042.292	3.133.561	3.227.567	3.324.395	3.424.126	3.526.850	3.632.656
Costo Mantenimiento		504.000	529.200	555.660	583.443	612.615	643.246	675.408
Inversión	22.945.635							
Flujo Neto	-22.945.635	2.538.292	2.604.361	2.671.907	2.740.952	2.811.511	2.883.604	2.957.247

Periodo	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16
Ahorro Costo Energético	3.741.635	3.853.884	3.969.501	4.088.586	4.211.244	4.337.581	4.467.708	4.601.739	4.739.792
Costo Mantenimiento	709.179	744.638	781.869	820.963	862.011	905.112	950.367	997.886	1.047.780
Inversión									
Flujo Neto	3.032.457	3.109.247	3.187.631	3.267.623	3.349.232	3.432.469	3.517.341	3.603.854	3.692.012

Periodo	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25
Ahorro Costo Energético	4.881.985	5.028.445	5.179.298	5.334.677	5.494.718	5.659.559	5.829.346	6.004.226	6.184.353
Costo Mantenimiento	1.100.169	1.155.177	1.212.936	1.273.583	1.337.262	1.404.125	1.474.331	1.548.048	1.625.450
Inversión									
Flujo Neto	3.781.817	3.873.268	3.966.362	4.061.094	4.157.456	4.255.434	4.355.015	4.456.178	4.558.903

VAN_s	18.358.033
TIR	13%
PAYBACK	8,22
VAE	1.794.962

B.3 Flujo con análisis sensibilidad inversión inicial, Configuración 4

C.1 AUMENTO DEL 10%

Periodo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Ahorro Costo Energético		3.042.292	3.133.561	3.227.567	3.324.395	3.424.126	3.526.850	3.632.656
Costo Mantenimiento		504.000	529.200	555.660	583.443	612.615	643.246	675.408
Inversión	25.240.199							
Flujo Neto	-25.240.199	2.538.292	2.604.361	2.671.907	2.740.952	2.811.511	2.883.604	2.957.247

Periodo	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16
Ahorro Costo Energético	3.741.635	3.853.884	3.969.501	4.088.586	4.211.244	4.337.581	4.467.708	4.601.739	4.739.792
Costo Mantenimiento	709.179	744.638	781.869	820.963	862.011	905.112	950.367	997.886	1.047.780
Inversión									
Flujo Neto	3.032.457	3.109.247	3.187.631	3.267.623	3.349.232	3.432.469	3.517.341	3.603.854	3.692.012

Periodo	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25
Ahorro Costo Energético	4.881.985	5.028.445	5.179.298	5.334.677	5.494.718	5.659.559	5.829.346	6.004.226	6.184.353
Costo Mantenimiento	1.100.169	1.155.177	1.212.936	1.273.583	1.337.262	1.404.125	1.474.331	1.548.048	1.625.450
Inversión									
Flujo Neto	3.781.817	3.873.268	3.966.362	4.061.094	4.157.456	4.255.434	4.355.015	4.456.178	4.558.903

VAN _s	16.063.469
TIR	11%
PAYBACK	8,96
VAE	1.974.458

B.4 Flujo con análisis sensibilidad inversión inicial, Configuración 4

C.2 DISMINUCION DEL 10%

Periodo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Ahorro Costo Energético		3.042.292	3.133.561	3.227.567	3.324.395	3.424.126	3.526.850	3.632.656
Costo Mantenimiento		504.000	529.200	555.660	583.443	612.615	643.246	675.408
Inversión	20.651.072							
Flujo Neto	-20.651.072	2.538.292	2.604.361	2.671.907	2.740.952	2.811.511	2.883.604	2.957.247

Periodo	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16
Ahorro Costo Energético	3.741.635	3.853.884	3.969.501	4.088.586	4.211.244	4.337.581	4.467.708	4.601.739	4.739.792
Costo Mantenimiento	709.179	744.638	781.869	820.963	862.011	905.112	950.367	997.886	1.047.780
Inversión									
Flujo Neto	3.032.457	3.109.247	3.187.631	3.267.623	3.349.232	3.432.469	3.517.341	3.603.854	3.692.012

Periodo	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25
Ahorro Costo Energético	4.881.985	5.028.445	5.179.298	5.334.677	5.494.718	5.659.559	5.829.346	6.004.226	6.184.353
Costo Mantenimiento	1.100.169	1.155.177	1.212.936	1.273.583	1.337.262	1.404.125	1.474.331	1.548.048	1.625.450
Inversión									
Flujo Neto	3.781.817	3.873.268	3.966.362	4.061.094	4.157.456	4.255.434	4.355.015	4.456.178	4.558.903

VAN_s	20.652.596
TIR	14%
payback	7,47
VAE	1.615.466

B.5 Flujo con análisis sensibilidad precio de la energía, Configuración 4

D.1 AUMENTO DEL 10%

Periodo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Ahorro Costo Energético		3.346.521	3.446.917	3.550.324	3.656.834	3.766.539	3.879.535	3.995.921
Costo Mantenimiento		504.000	529.200	555.660	583.443	612.615	643.246	675.408
Inversión	22.945.635							
Flujo Neto	-22.945.635	2.842.521	2.917.717	2.994.664	3.073.391	3.153.924	3.236.289	3.320.513

Periodo	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16
Ahorro Costo Energético	4.115.799	4.239.273	4.366.451	4.497.445	4.632.368	4.771.339	4.914.479	5.061.913	5.213.771
Costo Mantenimiento	709.179	744.638	781.869	820.963	862.011	905.112	950.367	997.886	1.047.780
Inversión									
Flujo Neto	3.406.620	3.494.635	3.584.582	3.676.482	3.770.357	3.866.227	3.964.112	4.064.028	4.165.991

Periodo	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25
Ahorro Costo Energético	5.370.184	5.531.289	5.697.228	5.868.145	6.044.189	6.225.515	6.412.280	6.604.649	6.802.788
Costo Mantenimiento	1.100.169	1.155.177	1.212.936	1.273.583	1.337.262	1.404.125	1.474.331	1.548.048	1.625.450
Inversión									
Flujo Neto	4.270.015	4.376.112	4.484.292	4.594.562	4.706.927	4.821.390	4.937.949	5.056.601	5.177.338

VAN_s	23.551.759
TIR	14%
PAYBACK	7,41
VAE	1.794.962

B.6 Flujo con análisis sensibilidad precio de la energía, Configuración 4

D.2 DISMINUCION DEL 10%

Periodo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7
Ahorro Costo Energético		2.738.063	2.820.205	2.904.811	2.991.955	3.081.714	3.174.165	3.269.390
Costo Mantenimiento		504.000	529.200	555.660	583.443	612.615	643.246	675.408
Inversión	22.945.635							
Flujo Neto	-22.945.635	2.234.063	2.291.005	2.349.151	2.408.512	2.469.099	2.530.919	2.593.982

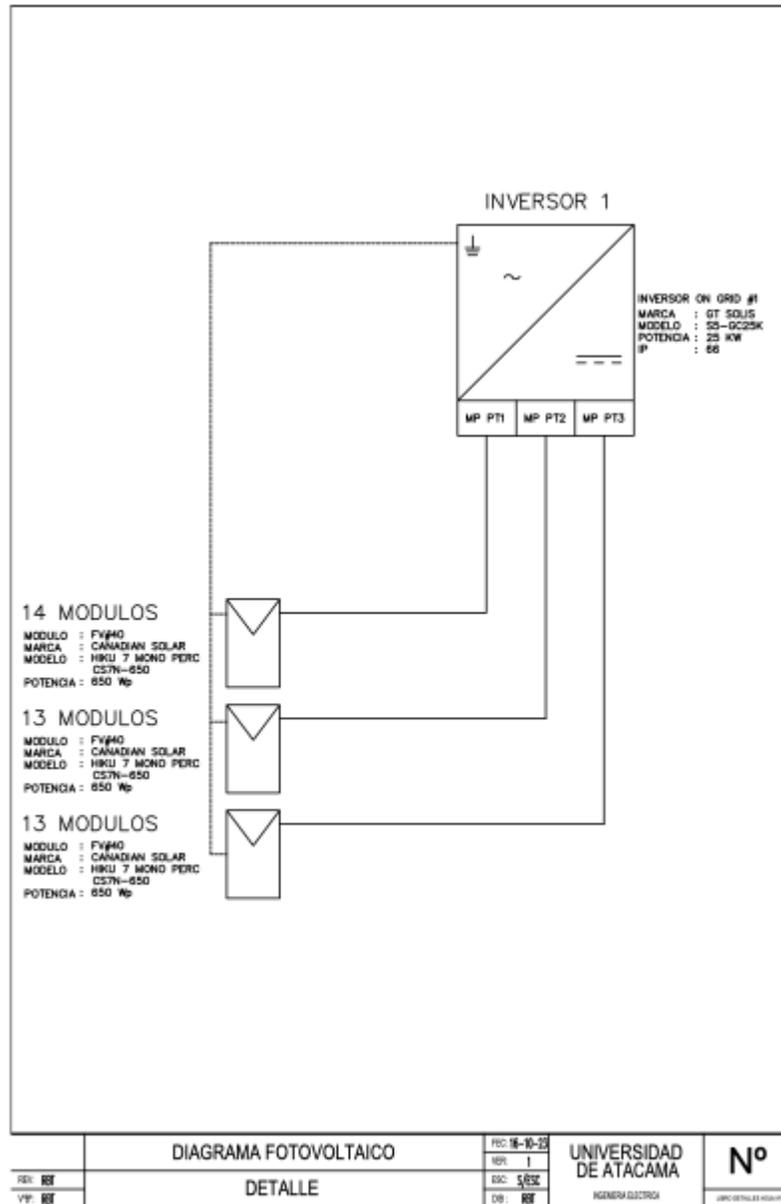
Periodo	Año 8	Año 9	Año 10	Año 11	Año 12	Año 13	Año 14	Año 15	Año 16
Ahorro Costo Energético	3.367.472	3.468.496	3.572.551	3.679.727	3.790.119	3.903.823	4.020.937	4.141.566	4.265.813
Costo Mantenimiento	709.179	744.638	781.869	820.963	862.011	905.112	950.367	997.886	1.047.780
Inversión									
Flujo Neto	2.658.293	2.723.858	2.790.681	2.858.764	2.928.108	2.998.711	3.070.570	3.143.680	3.218.033

Periodo	Año 17	Año 18	Año 19	Año 20	Año 21	Año 22	Año 23	Año 24	Año 25
Ahorro Costo Energético	4.393.787	4.525.600	4.661.369	4.801.210	4.945.246	5.093.603	5.246.411	5.403.804	5.565.918
Costo Mantenimiento	1.100.169	1.155.177	1.212.936	1.273.583	1.337.262	1.404.125	1.474.331	1.548.048	1.625.450
Inversión									
Flujo Neto	3.293.618	3.370.423	3.448.432	3.527.627	3.607.984	3.689.478	3.772.080	3.855.756	3.940.467

VAN_s	13.164.307
TIR	11%
payback	9,24
VAE	1.794.962

ANEXO C

CONFIGURACIÓN FOTOVOLTAICA SELECCIONADA



ANEXO D
UBICACIÓN SISTEMA FOTOVOLTAICO TECHUMBRE

