



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

**ANÁLISIS DE PROYECTO FOTOVOLTAICO EN SYSTEM ADVISOR
MODEL PARA AEROPUERTO REGIONAL DE ATACAMA**

Profesor tutor: José Gómez Vega

Mario Araya Cortes

Jonathan Cortes Castro

Copiapó, Chile 2024



UNIVERSIDAD
DE ATACAMA

FACULTAD TECNOLÓGICA

DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA

**ANÁLISIS DE PROYECTO FOTOVOLTAICO EN SYSTEM ADVISOR
MODEL PARA AEROPUERTO REGIONAL DE ATACAMA**

Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos para obtener el título de
Ingeniería de Ejecución en Electricidad.

Profesor tutor: José Gómez Vega

Mario Araya Cortes

Jonathan Cortes Castro

Copiapó, Chile 2024

INDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general.	1
1.2 Objetivos específicos	2
1.3 Metodología.	2
CAPÍTULO II	3
MARCO TEÓRICO	3
2.1 Localización con explorador solar.	3
2.2 Sistema Fotovoltaico On-grid	4
2.3 Componentes Clave del Sistema Fotovoltaico On-Grid	4
2.4 Funcionamiento del Sistema Fotovoltaico On-Grid	5
2.5 Datos a considerar para calculo y diseño del sistema fotovoltaico	7
2.6 Factor de eficiencia.	8
2.7 Radiación Solar.	9
2.7.1 Radiación Directa.	10
2.7.2 Radiación Difusa.	11
2.8 Principales Leyes	11
2.8.1 Ley General de Servicio Eléctrico 20.571.	11
2.8.2 Principales Disposiciones de la Ley	11
2.8.3 Exportación de Excelencia de Energía	12
2.8.4 Ventajas Económicas y Ambientales	12
2.8.5 Reducción de la Necesidad de Almacenamiento	12
2.8.6 Ley General de Servicio Eléctrico 21.118.	13
2.8.7 Principales Modificaciones	13
2.8.8 Mantenimiento de Derechos Existentes	14
2.8.9 Ejemplos de aplicaciones	14
2.9 Degradación de la tecnología y ciclos de actualización.	15
2.9.1 Efectos del Envejecimiento	15

CAPÍTULO III	16
ESTUDIO DE VARIABLES ENERGETICAS EN LA ZONA DEL AEROPUERTO DESIERTO DE ATACAMA	16
3.1 Modelo generación fotovoltaica: Explorador Solar.	16
3.2 Orientación de paneles solares	18
3.2.1 Azimut ideal	18
CAPÍTULO IV	19
CÁLCULOS DE LA PLANTA FOTOVOLTAICAS AL 16,79% Y AL 32,57% DE LA POTENCIA CONSUMIDA PROMEDIO DEL AEROPUERTO.	19
4.1 Análisis de facturas Aeropuerto Atacama	19
4.2 Características de los paneles fotovoltaicos	20
4.3 Características del inversor	20
4.4 Calculo de planta fotovoltaica al 16.79% del consumo promedio anual.	21
4.5 Cálculos de diseño del sistema fotovoltaico.	21
4.5.1 Potencia nominal del arreglo.	21
4.5.2 Cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios.	22
4.5.3 Superficie que debe estar disponible para la instalación FV.	22
4.5.4 Potencia nominal del Inversor.	22
4.5.5 Número de paneles fotovoltaicos en serie	23
4.5.6 Voltaje por String en circuito abierto (Voc).	24
4.5.7 Mínimo número de paneles en serie.	25
4.5.8 Cantidad máxima de String en paralelo por entrada del inversor.	25
4.6 Cálculo o dimensionamiento de los cables o alambres eléctricos	26
4.6.1 Cálculo de corriente de string	26
4.6.2 Cálculo de corriente que soporta el conductor del string al inversor	26
4.6.3 Cálculo de caída de tensión del Alimentador (string hacia inversor)	26
4.6.4 Cálculo de caída de tensión del Alimentador (string hacia inversor)	27
4.6.5 Calculo de porcentaje de caída de tensión del cable seleccionado	28
4.7 Calculo de planta fotovoltaica al 32,57% del consumo promedio anual.	29
4.8 Cálculos de diseño del sistema fotovoltaico.	29

4.8.1	Potencia nominal del arreglo.	29
4.8.2	Cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios.	30
4.8.3	Superficie que debe estar disponible para la instalación FV.	30
4.8.4	Potencia nominal del Inversor.	30
4.8.5	Número de paneles fotovoltaicos en serie	31
4.8.6	Voltaje por String en circuito abierto (Voc).	32
4.8.7	Mínimo número de paneles en serie.	33
4.8.8	Cantidad máxima de String en paralelo por entrada del inversor.	33
4.9	Cálculo o dimensionamiento de los cables o alambres eléctricos	34
4.9.1	Cálculo de corriente de string	34
4.9.2	Cálculo de corriente que soporta el conductor del string al inversor	34
4.9.3	Cálculo de caída de tensión del Alimentador (string hacia inversor)	34
4.9.4	Cálculo de caída de tensión del Alimentador (string hacia inversor)	35
4.9.5	Calculo de porcentaje de caída de tensión del cable seleccionado	36
4.10	Protecciones del Sistema Fotovoltaico	37
4.10.1	Cálculo del disyuntor tetrapolar	37
4.10.2	Cálculo de protección por sobrecorriente del String	37
4.10.3	Cálculo de sobretensiones sistema del string, cálculo del seccionador	37
4.11	Exigencias para la conexión a la red	38
	CAPÍTULO V	39
	ANÁLISIS DE RESULTADOS CON EXPLORADOR SOLAR	39
5.1	Análisis de la planta fotovoltaica al 16,79% de generación	39
5.1.1	Análisis anual de sombras	40
5.2	Análisis de la planta fotovoltaica al 32,54% de generación	41
5.2.1	Análisis anual de sombras	42
	CAPÍTULO VI	43
	ANALISIS POR SOFTWARE SYSTEM ADVISOR MODEL (SAM)	43
6.1	Información del software SAM	43
6.1.1	Ingreso de datos	43
6.2	Demanda energética anual del Aeropuerto Desierto de Atacama	46

6.3 Precios a utilizar para modelamiento en SAM	47
6.3.1 Valor panel solar	47
6.3.2 Valor inversor	47
6.3.3 Valor Mano de Obra	47
6.3.4 Valor de CGE para la conexión del sistema ON-GRID.	48
6.4 Ingreso de datos a SAM	49
6.5 Resultados SAM al 16,79%.	62
6.6 Resultados SAM al 32.54%	62
6.7 Definición de cada parámetro	63
6.8 Análisis de los resultados finales en SAM	63
6.9 Efecto de la degradación de los paneles en 25 años a 16,79%	65
6.10 Efecto de la degradación de los paneles en 25 años a 32.54%	66
CAPÍTULO VII	67
CONCLUSIÓN	67
BIBLIOGRAFÍA	68

INDICE DE ILUSTRACIONES Y CUADROS

Figura N° 2.1: Coordenadas de ubicación del Aeropuerto.	3
Figura N° 2.2: Ubicación geográfica del Aeropuerto	3
Figura N° 2.3: Sistema fotovoltaico.	5
Figura N° 2.4: Factor de potencia máxima.	8
Figura N° 2.5: Radiación Solar.	10
Figura N° 3.1 Resultados generación eléctrica	17
Figura N° 4.1 Detalles de la boleta de consumo del Aeropuerto	19
Figura N° 5.1 Resultados de potencia instalada al 16,79% en Explorador Solar	39
Figura N° 5.2: Analisis anual de sombras	40
Figura N° 5.3 Resultados de potencia instalada al 32,54% en Explorador Solar	41
Figura N° 5.4 Analisis anual de sombras	42
Figura N°6.1 valores vigentes noviembre 2024 CGE	48
Figura N°6.2: Location And Resource (Ubicación y recursos)	49
Figura N°6.3: Location And Resource (Ubicación y recursos)	49
Figura N°6.4: Location And Resource (Ubicación y recursos)	50
Figura N°6.5: Location And Resource (Ubicación y recursos)	50
Figura N°6.6: Module (Módulo)	51
Figura N°6.7: Module (Módulo) Inserción de datos datasheet	51
Figura N°6.8: Inverter (inversor)	52
Figura N°6.9: Inverter (inversor)	52
Figura N°6.10: Inverter (inversor)	53
Figura N°6.11: System Design (Diseño del sistema)	54
Figura N°6.12: System Design (Diseño del sistema)	54
Figura N°6.13 Shading and layout (sombreado y diseño)	55
Figura N° 6.14: Losses (Perdidas)	56
Figura N°6.15 Grid Limits (límites de la red)	57
Figura N° 6.16: Lifetime and degradation (vida útil y degradación)	57
Figura N° 6.17: Installation Costs (Costo de instalación)	58

Figura N°6.18: Operating cost (Costos de operación)	59
Figura N°6.19 Financial Parameters (Parámetros financieros)	59
Figura N°6.21: Electricity rates (tarifas eléctricas)	60
Figura N° 6.22 electric load (cargas eléctricas)	61
Figura N° 6.21: Resultado de simulación SAM al 16,79%	62
Figura N° 6.22: Generación de energía eléctrica sistema fotovoltaico	65
Figura N° 6.23: Generación de energía eléctrica sistema fotovoltaico	66

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 6.1 Demanda de consumo energético del Aeropuerto	46
---	----

RESUMEN

El proyecto tiene como propósito analizar la viabilidad económica de implementar energía fotovoltaica en el aeropuerto del Desierto de Atacama, utilizando el software System Advisor Model (SAM) para evaluar la recuperación de la inversión. Se desarrollaron dos escenarios: el primero considera una planta fotovoltaica capaz de generar el 16.79% del consumo promedio anual, mientras que el segundo contempla una generación equivalente al 33.57% del mismo consumo.

Los resultados del estudio permitirán entender las implicancias económicas y ambientales de adoptar tecnologías fotovoltaicas en cualquier tipo de lugar en la región como también en todo el país, promoviendo iniciativas alineadas con la transición energética y la sostenibilidad.

El Capítulo II destaca la zona del proyecto, las leyes asociadas y se da énfasis en el tipo de instalación con los datos importantes a considerar para los cálculos.

El Capítulo III Modelación en explorador solar con datos estándar de la zona y orientación de paneles solares fotovoltaicos.

El Capítulo IV Se analizó los datos de consumo y datos a considerar para el dimensionamiento de la planta fotovoltaica completa, contemplando el inversor, los paneles, los cables.

El Capítulo V Se analizan los datos obtenidos en los cálculos en el explorador solar

El Capítulo VI Se modela con los datos obtenidos en el explorador solar y los datos de panel solar e inversor, para la obtención de los resultados finales.

El Capítulo VII Las conclusiones del proyecto en el cual se ve la comparación final de los resultados con los modelos de 16,79% y 32,54%.

ABSTRACT

The project aims to analyze the economic viability of implementing photovoltaic energy at the Atacama Desert airport, using the System Advisor Model (SAM) software to evaluate the return on investment. Two scenarios were developed: the first considers a photovoltaic plant capable of generating 16.79% of the average annual consumption, while the second contemplates a generation equivalent to 33.57% of the same consumption.

The results of the study will allow us to understand the economic and environmental implications of adopting photovoltaic technologies in any type of location in the region as well as throughout the country, promoting initiatives aligned with the energy transition and sustainability.

Chapter II highlights the project area, the associated laws, and emphasizes the type of installation with the important data to consider for the calculations.

Chapter III Modeling in solar explorer with standard data of the area and orientation of photovoltaic solar panels.

Chapter IV The consumption data and data to be considered for the sizing of the complete photovoltaic plant were analyzed, considering the inverter, the panels, the cables.

Chapter V The data obtained in the calculations in the solar explorer were analyzed.

Chapter VI Modeling with the data obtained in the solar explorer and the data of the solar panel and inverter, to obtain the final results.

Chapter VII The conclusions of the project in which the final comparison of the results with the 16.79% and 32.54% models is seen.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El panorama actual en Chile contempla una visión energética al futuro y esto es a través de la energía renovable, a fin de poder aportar al futuro. Se consideran en el proyecto, que tiene como objetivo, analizar los resultados obtenidos mediante el software System Advisor Model (SAM) en relación a la recuperación de la inversión de una planta fotovoltaica diseñada para el Aeropuerto del Desierto de Atacama. Se evaluaron dos escenarios: el primero considera una planta capaz de generar el 16.79% del consumo promedio anual, mientras que el segundo contempla una generación equivalente al 33.54% del mismo consumo promedio anual. Estos casos permiten explorar la viabilidad económica y técnica en la integración de proyectos de generación mediante energías renovables (solar) en instalaciones críticas como aeropuertos. La elección del software SAM se fundamenta en su capacidad para simular y optimizar proyectos fotovoltaicos entre otros, proporcionando datos precisos para tomar decisiones sobre el diseño y la rentabilidad de la planta fotovoltaica. Este análisis busca contribuir al desarrollo de soluciones energéticas más sustentables en cualquier parte que se necesite realizar los estudios de viabilidad energética y de retorno de caja.

Cabe destacar que el efecto del cálculo para el diseño de la planta fotovoltaica solo se realizó el de 16.79% y en SAM, se ejecuta el análisis de ambos casos en 16.79% y en 33.54%, ya que, en datos, solo se duplican los resultados necesarios en SAM.

1.1 Objetivo general.

Analizar los resultados obtenidos mediante el software System Advisor Model (SAM) para poder tomar decisiones en base a los resultados de recuperación de la inversión en dos escenarios de generación de energía fotovoltaica en el Aeropuerto del Desierto de Atacama bajo el D.S. 8/2019 del Ministerio de energía Ley 21.118 de Net-Billing, en 16.79% y en 33.54% de generación, en base a un valor de consumo promedio anual del Aeropuerto, contribuyendo al desarrollo de soluciones energéticas sostenibles y eficientes en la región.

1.2 Objetivos específicos

- Analizar consumos de energía para ver viabilidad técnica del proyecto.
- Calcular parámetros de diseño para la instalación y dimensionamiento de componentes eléctricos.
- Dimensionar el espacio físico donde se emplazará el sistema ERNC.
- Analizar en Explorador Solar los datos necesarios de irradiación solar.
- Diseñar el proyecto fotovoltaico bajo del D.S. 8/2019 del Ministerio de Energía y Ley Net-Billing 21.118.
- Evaluar la factibilidad económica en el tiempo con el software SAM.

1.3 Metodología.

Para realizar el proyecto se requiere evaluar en el lugar de emplazamiento la capacidad de generación requerida, dependiendo su ubicación geográfica, las necesidades energéticas, las limitaciones ambientales, las regulaciones y el capital disponible de inversión, considerando la recuperación dentro del plazo máximo de concesión (25 años). Estas variables combinadas permiten el diseñar el sistema fotovoltaico que cumpla con los requerimientos técnicos y económicos.

Para un buen diseño se debe considerar:

- ✓ Análisis de Consumo energético (Facturas de los últimos 12 meses).
- ✓ Diseño detallado del sistema fotovoltaico.
- ✓ Estudio de factibilidad económica (aplicando software SAM).
- ✓ Tiempo de recuperación de capital y funcionamiento del sistema.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Localización con explorador solar.

A través del Explorador Solar del Ministerio de Energía, se obtuvieron las siguientes coordenadas, que también se emplearán para registrar la irradiación en la región

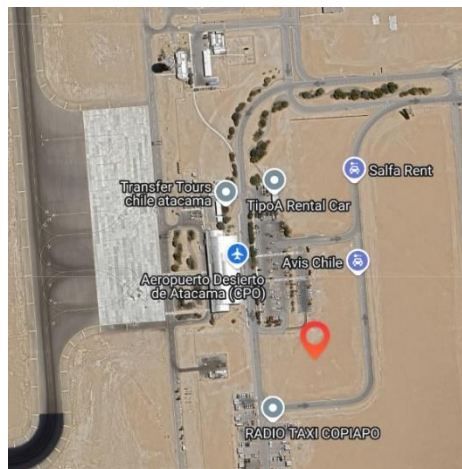
- Latitud: -27,2643.
- Longitud: -70,7740.

Figura N° 2.1: Coordenadas de ubicación del Aeropuerto.

SITIO SELECCIONADO	
LATITUD	LONGITUD
-27,2643	-70,7740

El Aeropuerto Desierto de Atacama se ubica en Panamericana s/n km 860 Ruta 5 Caldera, Región de Atacama.

Figura N° 2.2: Ubicación geográfica del Aeropuerto



2.2 Sistema Fotovoltaico On-grid

Los sistemas fotovoltaicos se destacan por su capacidad para utilizar la radiación electromagnética del Sol y convertirla en energía eléctrica. El principal criterio para determinar la ubicación ideal de un sistema fotovoltaico es la cantidad de energía solar disponible por unidad de área y tiempo, medida en kilovatios-hora por metro cuadrado (kWh/m²). Esta métrica es fundamental para asegurar que el sistema sea lo más eficiente posible.

Un sistema fotovoltaico on-grid es una instalación solar diseñada para captar la energía del sol y convertirla en electricidad, la cual está conectada a la red eléctrica pública. Este tipo de sistema permite a los hogares y negocios aprovechar la energía solar para satisfacer parte o la totalidad de su demanda eléctrica, y gestionar cualquier excedente de energía producida, generando beneficios económicos en las siguientes facturaciones.

2.3 Componentes Clave del Sistema Fotovoltaico On-Grid

- Paneles solares: Placas con células que son capaces de captar la energía solar y transformarla en energía de C.C.
- Inversor: Es el encargado de recibir la energía de los paneles solares C.C y transformarla en C.A para el consumo.
- Medidor bidireccional: Este medidor registra tanto la energía consumida de la red como la energía que se inyecta a la red desde el sistema fotovoltaico.
- Estructura de soporte: Proporciona estabilidad y ángulo adecuado a los paneles para maximizar su exposición al sol. Puede ser fijo o ajustable, dependiendo del diseño y la ubicación.

2.4 Funcionamiento del Sistema Fotovoltaico On-Grid

- Captación de Energía Solar: Los paneles solares convierten la luz del sol en electricidad durante el día. Cuando hay luz solar suficiente, se genera energía.
- Conversión a Corriente Alterna: La electricidad generada (CC) se envía al inversor, donde se convierte en corriente alterna (CA) para ser utilizada en el hogar o negocio.
- Consumo Inmediato: La electricidad generada se utiliza de inmediato para alimentar los electrodomésticos y dispositivos eléctricos en el hogar. Si la producción es mayor que el consumo, el exceso de energía se inyecta a la red eléctrica.
- Medición y Compensación: El medidor bidireccional registra el flujo de energía de ida y vuelta. Si se produce un excedente, el propietario puede recibir créditos en su factura eléctrica, lo que se conoce como medición **neta** en muchas regiones.
- Uso de la Red: Durante la noche o en días nublados, cuando los paneles no generan suficiente electricidad, los usuarios pueden recurrir a la red eléctrica para satisfacer su demanda.

Figura N° 2.3: Sistema fotovoltaico.



Los sistemas fotovoltaicos ofrecen una variedad de beneficios tanto para usuarios domésticos como industriales:

- **Ahorro Económico:**

Reducir las facturas de electricidad, lo que puede resultar en un ahorro significativo a largo plazo.

Posibilidad de vender energía excedente a la red, generando créditos económicos.

- **Eco-amigable:**

Contribuye a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y disminuye la dependencia de combustibles fósiles.

Promueve el uso de energía renovable, ayudando a mitigar el cambio climático.

- **Menor costo de instalación:**

La ausencia de un sistema de almacenamiento (baterías) reduce considerablemente los costos de instalación inicial.

Existen incentivos fiscales y subsidios gubernamentales que pueden hacer que la inversión inicial sea más accesible.

- **Estabilidad de Precios:**

Al generar energía propia, los usuarios están menos expuestos a las fluctuaciones de los precios de la electricidad.

- **Contribución a la Red:**

Los excedentes de energía pueden ser vendidos a la red, generando ingresos adicionales.

2.5 Datos a considerar para calculo y diseño del sistema fotovoltaico

La potencia máxima que un módulo fotovoltaico puede suministrar, se establece bajo condiciones de prueba estándar, conocidas como STC (Standard Test Conditions). Estas condiciones incluyen:

- Radiación solar de 1000 W/m²: Esta es la intensidad de luz solar simulada a la que se exponen las células durante las pruebas.
- Temperatura de 25°C en el gabinete: Es la temperatura de operación interna del módulo, que difiere de la temperatura ambiente para asegurar consistencia en las pruebas.
- Masa de aire (AM=1,5): Representa el espesor atmosférico por el que pasa la luz solar, simulando condiciones típicas al nivel del mar y en latitudes medias.

Bajo estas condiciones, se miden dos parámetros clave:

- Corriente de cortocircuito (I_{sc}): Es la máxima corriente eléctrica, medida en amperios, que el panel puede producir cuando los terminales están conectados directamente, sin resistencia. Este valor es directamente proporcional a la superficie del panel y a la intensidad de la radiación solar.
- Voltaje de circuito abierto (V_{oc}): Representa el voltaje máximo que el panel puede generar cuando no hay ninguna carga conectada, es decir, en un circuito abierto. Este valor es crucial para determinar el potencial eléctrico máximo del panel.

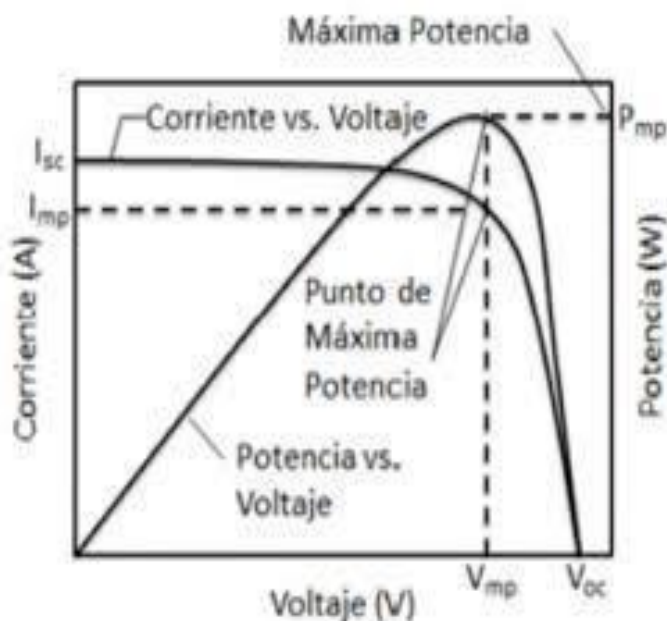
Estos parámetros son esenciales para evaluar el rendimiento y la eficiencia de los paneles fotovoltaicos. Un conocimiento detallado de estos aspectos permite optimizar la instalación y el uso de sistemas solares, maximizando la generación de energía limpia y renovable en diversas condiciones ambientales

2.6 Factor de eficiencia.

El rendimiento máximo que un panel fotovoltaico puede ofrecer se denomina potencia máxima (P_{mp}). Este punto se alcanza cuando tanto el voltaje como la corriente del panel llegan simultáneamente a sus valores óptimos. En el contexto de la curva característica del panel, este rendimiento máximo se visualiza como un rectángulo inscrito bajo la curva, cuyo pico representa el valor de P_{mp} .

Este punto es crucial para el diseño y la optimización de sistemas fotovoltaicos, ya que indica la máxima eficiencia del panel en condiciones ideales. Comprender y alcanzar este punto permite maximizar la producción de energía, asegurando que el sistema opere de manera eficiente y rentable.

Figura N° 2.4: Factor de potencia máxima.



Fuente: keeui.com/2021/03/17/factores-externos-de-desempeño-en-sistemas-fv/

2.7 Radiación Solar.

La radiación solar es la energía electromagnética que el Sol emite hacia la Tierra, desempeñando un papel crucial en el clima y los ecosistemas terrestres. Esta radiación varía significativamente según factores como la hora del día, las condiciones atmosféricas y la ubicación geográfica.

Se distinguen dos conceptos importantes:

- Radiación: Se refiere a la potencia solar incidente por unidad de superficie y se mide en vatios por metro cuadrado (W/m^2). Este valor es crucial para determinar la cantidad de energía disponible en un momento dado.
- Irradiación: Es la energía total recibida por unidad de superficie y se expresa en vatios-hora por metro cuadrado (Wh/m^2). Este término es esencial para evaluar la energía acumulada durante un período, como un día o un año.

La radiación que inicialmente llega a la atmósfera sin interactuar con ella se denomina constante solar. Esta tiene un valor promedio de $1354 \text{ W}/\text{m}^2$. Sin embargo, este valor no es fijo y varía en función de la posición de la Tierra en su órbita elíptica alrededor del Sol. En el perihelio, cuando la Tierra está más cerca del Sol, la constante solar puede alcanzar hasta $1395 \text{ W}/\text{m}^2$. Por el contrario, en el afelio, cuando la Tierra está más alejada, el valor desciende a $1308 \text{ W}/\text{m}^2$.

En la superficie terrestre, bajo condiciones óptimas, se considera que la radiación solar directa tiene un valor aproximado de $1000 \text{ W}/\text{m}^2$. Esta energía puede llegar a la superficie de dos maneras: de forma directa o difusa. La radiación directa es aquella que llega en línea recta desde el Sol, mientras que la difusa es dispersada en diversas direcciones por moléculas y partículas en la atmósfera.

En días despejados, la radiación directa es predominante, proporcionando una fuente intensa de energía solar. Esto es ideal para aplicaciones como la energía solar fotovoltaica, donde se maximiza la generación de electricidad. En cambio, en días nublados, la radiación directa es prácticamente nula, y la mayor parte de la energía proviene de la radiación difusa.

Esta situación es más desafiante para la generación de energía solar, pero, aun así, las celdas solares pueden captar parte de esta energía dispersa.

Los conceptos son fundamentales para el diseño de sistemas solares eficientes y para evaluar su rendimiento en diferentes condiciones climáticas y geográficas. Además, conocer estos aspectos ayuda a predecir el comportamiento del clima ya desarrollar estrategias para mitigar el cambio climático mediante el aprovechamiento de fuentes de energía renovables.

Figura N° 2.5: Radiación Solar.



2.7.1 Radiación Directa.

La radiación que llega directamente del Sol a un objeto o superficie, sin sufrir reflexiones o refracciones en su recorrido, se conoce como radiación directa. Este tipo de radiación es fundamental para aplicaciones solares, ya que puede ser reflejada o concentrada para su uso en sistemas como los paneles solares. Se caracteriza por producir sombras bien definidas de los objetos que interceptan su trayectoria, lo que indica su dirección precisa y su intensidad.

2.7.2 Radiación Difusa.

Se refiere a la radiación solar que altera su trayectoria al ingresar a la atmósfera. Esta radiación es dispersada por partículas de polvo, montañas, árboles, edificios y es parcialmente absorbida por las nubes. A diferencia de la radiación directa, no proyectan sombras definidas sobre los objetos en su camino. Las superficies horizontales reciben más radiación difusa, ya que pueden captar el cielo en todas las direcciones (180°), mientras que las superficies verticales reciben menos, ya que solo pueden ver la mitad del cielo (90°).

2.8 Principales Leyes

2.8.1 Ley General de Servicio Eléctrico 20.571.

El 22 de marzo de 2012, Chile aprobó la Ley 20.571, que entró en vigor el 22 de octubre de 2014. Esta ley se enmarca dentro de un esfuerzo más amplio del país por fomentar el uso de energías renovables y promover la sostenibilidad en el sector energético.

2.8.2 Principales Disposiciones de la Ley

La Ley 20.571 establece un marco regulatorio que permite a los clientes que generan energía renovable, ya sea a través de sistemas solares, eólicos u otras fuentes, tener la capacidad de exportar el excedente de energía no consumida a la red eléctrica. Este proceso es esencial para incentivar la producción de energía limpia y reducir la dependencia de fuentes fósiles.

2.8.3 Exportación de Excelencia de Energía

Los usuarios que producen energía renovable pueden inyectar el exceso de energía generada a la red eléctrica. La empresa distribuidora se encarga de calcular el precio de esta energía exportada, que se basa en la tarifa de consumo del cliente. Esta tarifa puede deducirse de la factura de electricidad, lo que permite que los generadores tengan un retorno económico por su producción.

2.8.4 Ventajas Económicas y Ambientales

Este sistema no sólo brinda beneficios económicos a los usuarios, al permitirles compensar sus costos de electricidad, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental. Al promover la generación de energía renovable, la ley busca reducir la huella de carbono del país y fomentar un uso más responsable de los recursos energéticos.

2.8.5 Reducción de la Necesidad de Almacenamiento

Una de las ventajas clave de esta legislación es que evita la necesidad de que los consumidores inviertan en costosos sistemas de almacenamiento de energía, como baterías. Al permitir la exportación del excedente a la red, los usuarios pueden aprovechar al máximo su capacidad de generación sin preocuparse por el almacenamiento a corto plazo. Esto hace que la transición hacia la energía renovable sea más accesible y económicamente viable para un mayor número de personas.

2.8.6 Ley General de Servicio Eléctrico 21.118.

La Ley 21.118, promulgada en Chile, introduce importantes modificaciones a la Ley General del Servicio Eléctrico (Ley 20.571) con el objetivo de aumentar los incentivos para que los usuarios desarrollen generadores de energía domiciliarios. Esta ley entró en vigor el 17 de noviembre de 2018 y representa un paso significativo hacia la promoción del autoconsumo de energía.

2.8.7 Principales Modificaciones

- **Aumento del Límite de Capacidad Instalada:** Uno de los cambios más destacados es el incremento del límite de capacidad instalada para los generadores domiciliarios, que se eleva de 100 kW a 300 kW. Este ajuste está diseñado para apoyar el desarrollo de proyectos de mayor escala, beneficiando especialmente a las actividades industriales y comerciales que requieren un mayor consumo energético. Con esta modificación, los usuarios pueden implementar sistemas de generación más eficientes y adaptados a sus necesidades energéticas.
- **Enfoque en el Autoconsumo:** La Ley 21.118 tiene como principal objetivo incentivar el autoconsumo de energía, en lugar de promover la comercialización de energía en el mercado. Esto significa que los usuarios pueden generar su propia energía y utilizarla para sus necesidades, sin tener que preocuparse por los marcos regulatorios aplicables a la venta de energía, que se rigen por un sistema diferente conocido como PMGD (Pequeños Medios de Generación Distribuida).

- **Transferencia de Saldos entre Instalaciones:** La ley permite la posibilidad de transferir saldos de energía generada a otras instalaciones del mismo propietario. Esto significa que si un usuario tiene múltiples instalaciones que consumen electricidad del mismo distribuidor, puede utilizar el excedente de energía generada en una instalación para deducirlo de las facturas de las otras. Esta flexibilidad es especialmente beneficiosa para empresas con varios puntos de consumo, ya que optimiza el uso de la energía generada.

2.8.8 Mantenimiento de Derechos Existentes

Es importante destacar que los cambios introducidos por la Ley 21.118 no eliminan el derecho de los usuarios a intercambiar suministros con la red a precios reducidos. El derecho a suministrar energía y recuperar su valor económico a través de reducciones en la factura eléctrica se mantiene en su forma legal actual. Esto asegura que los usuarios sigan disfrutando de los beneficios de la generación distribuida, al tiempo que amplían sus opciones de autoconsumo.

2.8.9 Ejemplos de aplicaciones

Los cambios a la ley pueden aplicarse en diversas situaciones. Por ejemplo, un usuario que instala un sistema solar en su hogar puede generar un excedente de energía que no consume. Gracias a la ley, puede transferir ese excedente a su negocio, reduciendo así la carga de su factura eléctrica. De igual manera, una empresa con varias sucursales puede optimizar su producción de energía y gestionar sus costos de manera más eficiente.

2.9 Degradación de la tecnología y ciclos de actualización.

El envejecimiento de la tecnología en los sistemas fotovoltaicos es un factor crítico que impacta tanto en la eficiencia como en la viabilidad económica de las instalaciones de energía solar a lo largo del tiempo. A medida que los componentes tecnológicos, como los módulos solares, inversores y sistemas de almacenamiento, envejecen, su rendimiento puede deteriorarse, lo que a menudo resulta en una disminución de la producción de energía y un aumento en los costos de mantenimiento.

2.9.1 Efectos del Envejecimiento

- **Degradación de Módulos:** Los módulos solares generalmente presentan una tasa de degradación anual que puede oscilar entre el 0,5% y el 1%. Con el tiempo, esta degradación acumulativa puede significar que un sistema fotovoltaico no alcance su capacidad nominal después de 20-25 años de operación.
- **Fallas de Inversores:** Los inversores, que convierten la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna utilizable, tienen una vida útil promedio de 5 a 15 años, dependiendo de la calidad y las condiciones de operación. Su fallo puede resultar en pérdidas significativas de producción.

CAPÍTULO III

ESTUDIO DE VARIABLES ENERGETICAS EN LA ZONA DEL AEROPUERTO DESIERTO DE ATACAMA

El análisis económico es una parte crucial del estudio, ya que se deben calcular los costos asociados con la instalación del sistema fotovoltaico. Esto no incluye solo el costo inicial de instalación, sino también los gastos operativos a largo plazo. Es importante comparar estos costos contra los ahorros esperados en consumo energético y evaluar la rentabilidad del proyecto. También se pueden considerar incentivos y subsidios disponibles para la implementación de energía, esto se evaluaría mediante la aplicación del programa System Advisor Model (SAM) el cual es un programa de software de licencia libre que ayuda a tomar decisiones en la industria de las energías renovables. SAM es un modelo económico que calcula el rendimiento y el costo de los sistemas de energía conectados a la red.

Finalmente, todos estos hallazgos se deben compilar en un informe que proporcione una visión general de la viabilidad del proyecto de energía solar en el Aeropuerto Desierto de Atacama. Este informe debe incluir recomendaciones sobre la implementación del sistema, proyecciones de producción de energía y un análisis de retorno de inversión, ofreciendo así una hoja de ruta clara para integrar energías renovables en las operaciones del aeropuerto. Este análisis integral permitirá no solo mejorar la eficiencia energética, sino también contribuir a un futuro más sostenible.

3.1 Modelo generación fotovoltaica: Explorador Solar.

El sitio web Solar Explorer del Departamento de Energía nos permite realizar mediciones en cualquier ubicación geográfica utilizando la ubicación del usuario, generando una serie de datos que podemos analizar utilizando el software de análisis técnico de exposición solar en esa zona.

Los siguientes datos son de la generación en la ubicación (ver Figura N° 2.2) en la que de forma experimental a 1 kW de potencia instalada podría generarse en el punto, dado que los cálculos de la planta real fotovoltaica se muestran en el siguiente capítulo.

Figura N° 3.1 Resultados generación eléctrica



3.2 Orientación de paneles solares

En Chile, la orientación e inclinación de los paneles fotovoltaicos deben considerarse en función de la latitud y las condiciones específicas de cada región. Aquí te doy algunas recomendaciones:

- Dirección Ideal: Los paneles deben orientarse hacia el norte, ya que Chile se encuentra en el hemisferio sur. Esto permitirá captar la máxima radiación solar durante el día.
- La inclinación óptima del panel fotovoltaico varía según la latitud y las estaciones del año.
- Latitud del norte de Chile (por ejemplo, Copiapó):
 - Inclinación ideal: 27° .
- Latitud central de Chile (por ejemplo, Santiago):
 - Inclinación ideal: 30° a 35° .
- Latitud del sur de Chile (por ejemplo, Puerto Montt):
 - Inclinación ideal: 35° a 40° .

3.2.1 Azimut ideal

- Paneles orientados al norte: En el hemisferio sur (como en Chile), lo ideal es que los paneles tengan un azimut de 27° , es decir, mirando directamente al norte.
- Variaciones: Dependiendo de la ubicación específica y las condiciones locales, se pueden tolerar variaciones de $\pm 15^\circ$ a $\pm 30^\circ$. Por ejemplo
 - Azimut de -15° (noroeste) o $+15^\circ$ (noreste) pueden ser aceptables, aunque el rendimiento óptimo se logra con paneles orientados directamente al norte.

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS DE LA PLANTA FOTOVOLTAICAS AL 16,79% Y AL 32,57% DE LA POTENCIA CONSUMIDA PROMEDIO DEL AEROPUERTO.

4.1 Análisis de facturas Aeropuerto Atacama

Al realizar el análisis de consumo del año 2024 (mes de Julio) de la boleta de consumo eléctrico, el consumo de la instalación es de 36.240 KWH; el cual representa un 100% del consumo energético. con opción de tarifa AT- 4.3 presente en punta -medición baja tensión.

✓ El consumo promedio es de 36.240 KWH.	36.240 KWH.
---	-------------

Figura N° 4.1 Detalles de la boleta de consumo del Aeropuerto

Detalle de mi cuenta

Servicio Eléctrico	
Administración del Servicio	\$ 824
Transporte de Electricidad	\$ 877.317
Cargo por Servicio Público	\$ 27.180
Cargo Fondo de Estabilización Ley 21.472	\$ 108.067
Electricidad Consumida (36.240 kWh)	\$ 4.741.315
Cargo por Demanda Máxima de Potencia Suministrada (117,84 kW)	\$ 410.035
Cargo Demanda Máxima Leída de Potencia en Horas Punta (84,72 kW)	\$ 883.384
Multa por Consumo Reactivo (13 %)	\$ 784.515
Interés	\$ 43.854
Otros Cargos	
Cargo Servicio Totalizador	\$ 42.341
Ajuste para Facilitar el Pago en Efectivo, Mes Anterior	\$ 19
Ajuste para Facilitar el Pago en Efectivo, Mes Actual	\$ - 87

Total exento	\$ 135.247
Total neto	\$ 7.741.244
19% IVA	\$ 1.470.836
Total Emisión	\$ 9.347.327
Otros	\$ 42.273
Saldo anterior	\$ 0
Total a pagar	\$ 9.389.600

4.2 Características de los paneles fotovoltaicos

Datos a considerar para los cálculos de la planta fotovoltaica.

- Marca: Yingli Soltar
- Dimensiones: 279x1134x35 mm
- Modelo: YLM-J 144 CELL (M10)
- Potencia Máxima: 0.55 kW
- Rendimiento: 22.5%
- Voltaje máximo de potencia (V_{mp}): 42 V
- Corriente de corto circuito (ISC): 13.97 A
- Numero de celdas: 144
- Peso: 28.6 kg

4.3 Características del inversor

Datos a considerar para los cálculos de la planta fotovoltaica.

- Marca: Sungrow
- Dimensiones: 1051x660x363 mm
- Modelo SG250HX
- Rango de voltaje DC de entrada: 50 – 1500 V
- Potencia Máxima de salida AC: 250 kVA (200 kW)
- Rendimiento máximo: 99%
- Peso; 99 kg
- Configurable: si

4.4 Calculo de planta fotovoltaica al 16.79% del consumo promedio anual.

La electricidad consumida promedio anual 2024 es de 36.240 kWh, el cual para realizar el primer arreglo fotovoltaico se determinó con el 16.79% de la carga consumida, realizando los siguientes cálculos y así ver las características favorables que la inserción de un sistema on-grid provocaría económicamente al Aeropuerto desierto de Atacama.

Electricidad consumida mensual	36240 kWh
16.79% del consumo promedio mensual	6084.7 kWh
16.79% del consumo promedio día	202.9 kWh
$\frac{kWh}{día} = 6084.7 \frac{kWh}{30} días$	

4.5 Cálculos de diseño del sistema fotovoltaico.

4.5.1 Potencia nominal del arreglo.

$$\text{Potencia del arreglo FV} = \frac{W_{\text{promedio día}}}{H @ \text{sol-1} * \eta_{\text{inv}} * \eta_{\text{cab}}}$$

$$\text{Potencia del arreglo FV} = \frac{202823.2W}{4 * 0.99 * 0.97}$$

$$\text{Potencia del arreglo FV} = 52802.0 [W]. = 52.8 [kW]$$

- $W_{\text{promedio día}}$: Energía diaria.
- $H @ \text{sol-1}$: Irradiación promedio anual. (hora solar pico)
- η_{inv} : Eficiencia del inversor en %.
- η_{cab} : Eficiencia del resto de los componentes del sistema en %.

4.5.2 Cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios.

$$N^{\circ} \text{ de módulos FV} = \frac{P_{arreglo}}{P_{mp_{módulo}}}$$

$$N^{\circ} \text{ de módulos FV} = \frac{52802.0}{550} = 96$$

- P Arreglo: Potencia arreglo.
- Pmp_modulo: Potencia individual del panel seleccionado.

La cantidad necesaria para abastecer 16.79% del consumo eléctrico del aeropuerto desierto de atacama 36.240 kWh, es de 96 paneles totales de 550 watt cada uno.

4.5.3 Superficie que debe estar disponible para la instalación FV.

$$S_{UArreglo} = \text{Módulos} * \text{submódulo}$$

$$S_{UArreglo} = 96 * 2,584386 \text{ m}^2$$

$$S_{UArreglo} = 248.10.1056 \text{ m}^2$$

- N módulos: número de módulos fotovoltaicos.
- Sup módulo: superficie del módulo a utilizar.

4.5.4 Potencia nominal del Inversor.

$$P_{inver} = F_{esc} * n * P_{modulo}$$

$$P_{inver} : 1,1 * 96 * 0.55 \text{ kW}$$

$$P_{inver} : 58.08 \text{ kW}$$

- Fesc: Factor de escalamiento del 10 %, potencia del inversor = 1,1.
En el factor está considerado lo que es energía de partida, etc.
- n: Cantidad de módulos fotovoltaicos.
- P módulo: potencia módulo.

Al considerar una potencia nominal del inversor = 58.08 kW, en caso de realizar mantenimientos es necesario desconectar completamente de la red de autoconsumo (sistema FV). Por esta razón, las instalaciones quedarían sin suministro eléctrico del sistema de autogeneración, por lo cual la estructura del sistema se compondrá de 4 string (secciones) de 24 paneles cada string.

$$\bullet \text{ Potencia del string} = \frac{58.08}{4} = 14.52 \text{ kW}$$

Se consideran 4 string de 24 paneles cada uno e inversor de 250 KVA que es equivalente 200 KW, equipo disponible en el mercado. Mediante artículos dispuestos en la página oficial de SEC (Superintendencia De Combustible y Electricidad), se realiza la investigación para seleccionar equipos Inversores que se acerquen lo máximo posible a las características calculadas. Pero no se encuentra en los datos de inversores de la SEC, pero en comercio si está disponible.

- Número de módulos totales = 96 para cuadratura de cada string.
- Número de módulos por string = $\frac{96}{4} = 24$

4.5.5 Número de paneles fotovoltaicos en serie

Cantidad de paneles fotovoltaicos que se deberán conectar como máximo para este inversor.

$$N_{\text{serie_Max}} = \frac{V_{in}}{F_{esc} * V_{oc}}$$

$$N_{\text{serie_Max}} = \frac{1500}{1,25 * 49.82}$$

$$N_{\text{serie_Max}} = 24$$

- Voc: voltaje máximo de circuito abierto para módulos o paneles.
- V_in_max_inversor: voltaje máximo de entrada de operación del inversor.
- F_esc: 1.25

4.5.6 Voltaje por String en circuito abierto (Voc).

Voltaje máximo por string en circuito abierto para el inversor.

$$V_{oc \text{ string}} = V_{oc \text{ panel}} * \text{Número de paneles en string}$$

$$V_{oc \text{ string}} = 49.82 * 24 = 1195.68 \text{ V}$$

- Con Factor de seguridad 1.25 (F_esc)

$$V_{oc \text{ string con F_esc}} = V_{oc \text{ string}} * F_{esc}$$

$$V_{oc \text{ string con F_esc}} = 1195.68 * 1.25 = 1494.6 \text{ V}$$

Este resultado es para cuando se seleccione el conductor mínimo deberá soportar este voltaje de circuito abierto 1494.6 volt.

Voltaje de potencia máxima ($V_{mp \text{ string}}$) = $V_{mp \text{ panel}} * \text{Número de paneles}$.

$$V_{mp \text{ string}} = 42 * 24 = 1008 \text{ V}$$

- Con Factor de seguridad 1.25 (F_esc)

$$V_{mp \text{ string con F_Esc}} = V_{mp \text{ string}} * F_{esc}$$

$$V_{mp \text{ string con F Esc}} = 1008 * 1.2 = 1260 \text{ V}$$

Este resultado es para cuando se seleccione el conductor mínimo deberá soportar este voltaje de potencia máxima 1260 volt.

4.5.7 Mínimo número de paneles en serie.

$$\text{Número de módulos_serie_Min} = \frac{V_{in_{inversor}}}{F_{esc} * V_{oc}}$$

$$\text{Número de módulos_serie_Min} = \frac{500}{1,25 * 49.82}$$

$$\text{Número de módulos_serie_Min} = 8.03 \approx 9$$

- $V_{in_{inversor}}$: voltaje mínimo de entrada de operación del inversor.
- V_{oc} : voltaje mínimo de circuito abierto para módulos o paneles.
- F_{esc} : factor de escalamiento (1.25)

Mínimo se deberán conectar 9 módulos en serie para el requerimiento del voltaje mínimo de funcionamiento del inversor.

4.5.8 Cantidad máxima de String en paralelo por entrada del inversor.

$$N_{string_paralelo} = \frac{I_{in}}{F_{Esc} * I_{sc}}$$

$$N_{string_paralelo} = \frac{30}{1,25 * 13.97}$$

$$N_{string_paralelo} = 1,7$$

I_{in} : corriente máxima de operación del inversor.

I_{sc} : corriente cortocircuito panel.

F_esc: factor de escalamiento

Por teoría debería conectarse un solo string en paralelo, ósea un solo string en una entrada del inversor.

4.6 Cálculo o dimensionamiento de los cables o alambres eléctricos

4.6.1 Cálculo de corriente de string

$$I_{TOTAL} = I_{SC_PANEL} = [A] I_{SC_string}$$

$$I_{TOTAL} = 13.97 I_{sc [A]} = I_{string}$$

$$I_{TOTAL} = 13.97 I_{sc [A]} string$$

- I_{total} : es la corriente total entregada por el string.
- I_{sc_panel} : es la corriente de cortocircuito de un panel solar individual.

Cada string del sistema fotovoltaico de autoconsumo entrega 13.97 [A] en corriente de corto circuito.

4.6.2 Cálculo de corriente que soporta el conductor del string al inversor

Se toma en consideración que para seleccionar el cable que transporta esta carga de corriente se debe multiplicar por un factor de seguridad de 1,25.

La corriente que deberá soportar el conductor aproximadamente será de:

$$I_{cond} = I_{sc} * F_{esc}$$

$$I_{cond} = 13.97 * 1.25 = 17.46 \text{ A}$$

4.6.3 Cálculo de caída de tensión del Alimentador (string hacia inversor)

Este cálculo representa la caída de tensión que podría haber en el string de paneles hasta la ubicación del inversor.

Se considerará una caída de tensión máxima del 1.5% en CC. (según RGR 11.16)

Fórmula:

$$[S] = \frac{2 * I * \rho * L}{V (1.5\%)}$$

$$[S] = \frac{2 * (4 * 13.97) * 0.017 * 153}{17.9}$$

$$[S] = 16.2 \text{ mm}^2$$

I: corriente total del string.

L: longitud del cable desde el string hasta el inversor.

ρ : Resistividad del conductor, en este caso cobre, se consideró $0.017 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{Mt}}$.

S: es la sección transversal del cable en mm^2 , mínimo para el voltaje e 1.5%.

4.6.4 Cálculo de caída de tensión del Alimentador (string hacia inversor)

Basándonos en el resultado del punto 4.6.3, que es 16.2 mm^2 la sección mínima del conductor para obtener una caída de tensión como máximo de 1.5%, consideraremos un cable de mayor sección el cual se ve en la siguiente tabla:

Sección (mm^2)	Capacidad de corriente (A)
25	142

Fuente: <https://www.elandcables.com/cables/photovoltaic-solar-h1z2z2-k-cable>

$$[Vp] = \frac{2 * I * \rho * L}{S}$$

$$[Vp] = \frac{2 * (4 * 13.97) * 0.017 * 153}{25}$$

$$[Vp] = 11.62 V$$

El voltaje de pérdida con el cable de 25 mm² es 11,62V.

4.6.5 Calculo de porcentaje de caída de tensión del cable seleccionado

$$[V\%] = \frac{Vp * 100}{Vstring_{oc}}$$

$$[V\%] = \frac{11.62 * 100}{1195,68} = 0.97\%$$

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Vstring_oc voltaje del string en circuito abierto |
|---|

La caída de voltaje del cable seleccionado de 25 mm, resulta en 11.62 V, que corresponde al 0.97% de la caída de tensión total desde los string hasta el inversor.

Cabe destacar que en el capítulo se logra llevar a cabo los cálculos correspondientes para una planta solar fotovoltaica que pueda abastecer al menos el 16,79% del consumo promedio anual y ya con estos datos ya se puede realizar un diseño de una planta fotovoltaica y con los datos que se obtuvieron es posible realizar las pruebas en Explorador Solar y luego en SAM para finalmente analizar la viabilidad económica y el retorno de la inversión en corto o largo plazo.

4.7 Calculo de planta fotovoltaica al 32,57% del consumo promedio anual.

La electricidad consumida promedio anual 2024 es de 36.240 kWh, el cual para realizar el segundo arreglo fotovoltaico se determinó con el 32,57% de la carga consumida, realizando los siguientes cálculos y así ver las características favorables que la inserción de un sistema on-grid provocaría económicamente al Aeropuerto desierto de Atacama.

Electricidad consumida mensual	36.240 kWh
16.79% del consumo promedio mensual	11.803,3 kWh
16.79% del consumo promedio día	393,4 kWh
$\frac{kWh}{día} = 6084.7 \frac{kWh}{30} días$	

4.8 Cálculos de diseño del sistema fotovoltaico.

4.8.1 Potencia nominal del arreglo.

$$\text{Potencia del arreglo FV} = \frac{W_{\text{promedio día}}}{H @ \text{sol-1} * \eta_{\text{inv}} * \eta_{\text{cab}}}$$

$$\text{Potencia del arreglo FV} = \frac{393400W}{4 * 0.99 * 0.97}$$

$$\text{Potencia del arreglo FV} = 102415,91 [W]. = 102,41 [kW]$$

- $W_{\text{promedio día}}$: Energía diaria.
- $H @ \text{sol-1}$: Irradiación promedio anual. (hora solar pico)
- η_{inv} : Eficiencia del inversor en %.
- η_{cab} : Eficiencia del resto de los componentes del sistema en %.

4.8.2 Cantidad de módulos fotovoltaicos necesarios.

$$N^{\circ} \text{ de módulos FV} = \frac{P_{\text{arreglo}}}{P_{\text{mp}_{\text{módulo}}}}$$

$$N^{\circ} \text{ de módulos FV} = \frac{102415,91}{550} = 186 \approx 192 \text{ (para efecto de calculo)}$$

- P Arreglo: Potencia arreglo.
- Pmp_modulo: Potencia individual del panel seleccionado.

La cantidad necesaria para abastecer 32,54% del consumo eléctrico del aeropuerto desierto de atacama 36.240 kWh, es de 192 paneles totales de 550 watt cada uno.

4.8.3 Superficie que debe estar disponible para la instalación FV.

$$S_{U\text{Arreglo}} = \text{Módulos} * \text{submódulo}$$

$$S_{U\text{Arreglo}} = 192 * 2,58 \text{ m}^2$$

$$S_{U\text{Arreglo}} = 496,2 \text{ m}^2$$

- N módulos: número de módulos fotovoltaicos.
- Sup módulo: superficie del módulo a utilizar.

4.8.4 Potencia nominal del Inversor.

$$P_{\text{inver}}: F_{\text{esc}} * n * P_{\text{modulo}}$$

$$P_{\text{inver}} : 1,1 * 192 * 0,55 \text{ kW}$$

$$P_{\text{inver}}: 116,16 \text{ kW}$$

- Fesc: Factor de escalamiento del 10 %, potencia del inversor = 1,1.
En el factor está considerado lo que es energía de partida, etc.
- n: Cantidad de módulos fotovoltaicos.
- P módulo: potencia módulo.

Al considerar una potencia nominal del inversor = 116,16kW, en caso de realizar mantenimientos es necesario desconectar completamente de la red de autoconsumo (sistema FV). Por esta razón, las instalaciones quedarían sin suministro eléctrico del sistema de autogeneración, por lo cual la estructura del sistema se compondrá de 8 STRING (secciones) de 24 paneles cada string.

- Potencia del string = $\frac{P_{inv}}{N_{string}}$
- Potencia del string = $\frac{116,16}{8} = 14.52 \text{ kW}$

Se consideran 8 string de 24 paneles cada uno e inversor de 250 KVA que es equivalente 200 KW, equipo disponible en el mercado. Mediante artículos dispuestos en la página oficial de SEC (Superintendencia De Combustible y Electricidad), se realiza la investigación para seleccionar equipos Inversores que se acerquen lo máximo posible a las características calculadas. Pero no se encuentra en los datos de inversores de la SEC, pero en comercio si está disponible.

- Número de módulos totales = 192 para cuadratura de cada string.
- Número de módulos por string = $\frac{192}{8} = 24$

4.8.5 Número de paneles fotovoltaicos en serie

Cantidad de paneles fotovoltaicos que se deberán conectar como máximo para este inversor.

$$N_{serie_Max} = \frac{V_{in}}{F_{esc} * V_{oc}}$$

$$N_{serie_Max} = \frac{1500}{1,25 * 49.82}$$

$$N_{serie_Max} = 24$$

- Voc: voltaje máximo de circuito abierto para módulos o paneles.
- V_in_max_inversor: voltaje máximo de entrada de operación del inversor.
- F_esc: 1.25

4.8.6 Voltaje por String en circuito abierto (Voc).

Voltaje máximo por string en circuito abierto para el inversor.

$$V_{oc \text{ string}} = V_{oc \text{ panel}} * \text{Número de paneles en string}$$

$$V_{oc \text{ string}} = 49.82 * 24 = 1195.68 \text{ V}$$

- Con Factor de seguridad 1.25 (F_esc)

$$V_{oc \text{ string con F_esc}} = V_{oc \text{ string}} * F_{esc}$$

$$V_{oc \text{ string con F_esc}} = 1195.68 * 1.25 = 1494.6 \text{ V}$$

Este resultado es para cuando se seleccione el conductor mínimo deberá soportar este voltaje de circuito abierto 1494.6 volt.

Voltaje de potencia máxima ($V_{mp \text{ string}}$) = $V_{mp \text{ panel}} * \text{Número de paneles}$.

$$V_{mp \text{ string}} = 42 * 24 = 1008 \text{ V}$$

- Con Factor de seguridad 1.25 (F_esc)

$$V_{mp \text{ string con F_Esc}} = V_{mp \text{ string}} * F_{esc}$$

$$V_{mp \text{ string con F Esc}} = 1008 * 1.2 = 1260 \text{ V}$$

Este resultado es para cuando se seleccione el conductor mínimo deberá soportar este voltaje de potencia máxima 1260 volt.

4.8.7 Mínimo número de paneles en serie.

$$\text{Número de módulos_serie_Min} = \frac{V_{in_{inversor}}}{F_{esc} * V_{oc}}$$

$$\text{Número de módulos_serie_Min} = \frac{500}{1,25 * 49.82}$$

$$\text{Número de módulos_serie_Min} = 8.03 \approx 9$$

- $V_{in_{inversor}}$: voltaje mínimo de entrada de operación del inversor.
- V_{oc} : voltaje mínimo de circuito abierto para módulos o paneles.
- F_{esc} : factor de escalamiento (1.25)

Mínimo se deberán conectar 9 módulos en serie para el requerimiento del voltaje mínimo de funcionamiento del inversor.

4.8.8 Cantidad máxima de String en paralelo por entrada del inversor.

$$N_{\text{string_paralelo}} = \frac{I_{in}}{F_{Esc} * I_{sc}}$$

$$N_{\text{string_paralelo}} = \frac{30}{1,25 * 13.97}$$

$$N_{\text{string_paralelo}} = 1,7$$

I_{in} : corriente máxima de operación del inversor.

I_{sc} : corriente cortocircuito panel.

F_esc: factor de escalamiento

Por teoría debería conectarse un solo string en paralelo, ósea un solo string en una entrada del inversor.

4.9 Cálculo o dimensionamiento de los cables o alambres eléctricos

4.9.1 Cálculo de corriente de string

$$I_{TOTAL} = I_{SC_PANEL} = [A] I_{SC_string}$$

$$I_{TOTAL} = 13.97 I_{sc [A]} = I_{string}$$

$$I_{TOTAL} = 13.97 I_{sc [A]} string$$

- I_{total} : es la corriente total entregada por el string.
- I_{sc_panel} : es la corriente de cortocircuito de un panel solar individual.

Cada string del sistema fotovoltaico de autoconsumo entrega 13.97 [A] en corriente de corto circuito.

4.9.2 Cálculo de corriente que soporta el conductor del string al inversor

Se toma en consideración que para seleccionar el cable que transporta esta carga de corriente se debe multiplicar por un factor de seguridad de 1,25.

La corriente que deberá soportar el conductor aproximadamente será de:

$$I_{cond} = I_{sc} * F_{esc}$$

$$I_{cond} = 13.97 * 1.25 = 17.46 \text{ A}$$

4.9.3 Cálculo de caída de tensión del Alimentador (string hacia inversor)

Este cálculo representa la caída de tensión que podría haber en el string de paneles hasta la ubicación del inversor.

Se considerará una caída de tensión máxima del 1.5% en CC. (según RGR 11.16)

Fórmula:

$$[S] = \frac{2 * I * \rho * L}{V (1.5\%)}$$
$$[S] = \frac{2 * (8 * 13.97) * 0.017 * 153}{17.9}$$

$$[S] = 32,4 \text{ mm}^2$$

I: corriente total del string.

L: longitud del cable desde el string hasta el inversor.

ρ : Resistividad del conductor, en este caso cobre, se consideró $0.017 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{Mt}}$.

S: es la sección transversal del cable en mm^2 , mínimo para el voltaje e 1.5%.

4.9.4 Cálculo de caída de tensión del Alimentador (string hacia inversor)

Basándonos en el resultado del punto 4.9.3 que es $32,4 \text{ mm}^2$ la sección mínima del conductor para obtener una caída de tensión como máximo de 1.5%, consideraremos un cable de mayor sección el cual se ve en la siguiente tabla:

Sección (mm^2)	Capacidad de corriente (A)
35	176

Fuente: <https://www.elandcables.com/cables/photovoltaic-solar-h1z2z2-k-cable>

$$[Vp] = \frac{2 * I * \rho * L}{S}$$

$$[Vp] = \frac{2 * (8 * 13.97) * 0.017 * 153}{35}$$

$$[Vp] = 16,61 V$$

El voltaje de pérdida con el cable de 35 mm² es 16.61V.

4.9.5 Calculo de porcentaje de caída de tensión del cable seleccionado

$$[V\%] = \frac{Vp * 100}{Vstring_{oc}}$$

$$[V\%] = \frac{16,61 * 100}{1195,68} = 1.38\%$$

- Vstring_oc: voltaje del string en circuito abierto

La caída de voltaje del cable seleccionado de 35 mm, resulta en 16,61 V, que corresponde al 1,38% de la caída de tensión total desde los string hasta el inversor.

Cabe destacar que en el capítulo se logra llevar a cabo los cálculos correspondientes para una planta solar fotovoltaica que pueda abastecer al menos el 32,54% del consumo promedio anual y ya con estos datos ya se puede realizar un diseño de una planta fotovoltaica y con los datos que se obtuvieron es posible realizar las pruebas en Explorador Solar y luego en SAM para finalmente analizar la viabilidad económica y el retorno de la inversión en corto o largo plazo.

4.10 Protecciones del Sistema Fotovoltaico

4.10.1 Cálculo del disyuntor tetrapolar

La protección contra sobrecorriente de fase puede incluirse en el disyuntor.

Dispositivo de corte térmico magnético, multipolar, rendimiento correspondiente a la capacidad de la fuente de alimentación. En este caso el interruptor termomagnético será tetrapolar en el caso de instalación trifásica.

4.10.2 Cálculo de protección por sobrecorriente del String

$$I_p = I_{sc} * F_{esc} * F_{esc} =$$

$$I_p = 11.29 * 1.25 * 1.25 = 17.65 \text{ A}$$

I_p : corriente a considerar para la elección del disyuntor

I_{sc} : Corriente de corto circuito modulo FV

F_{esc} : Factor de escalamiento

4.10.3 Cálculo de sobretensiones sistema del string, cálculo del seccionador

Tensión: $V_{OC} * (N^\circ \text{ paneles en serie}) * F_{esc}$

Tensión: $46.7 * 24 * 1,25 = 1401 \text{ Voc}$

V_{oc} : Voltaje de circuito abierto

F_{esc} : Factor de escalamiento

4.11 Exigencias para la conexión a la red

Los sistemas de autogeneración que funcionen en paralelo con la red deberán contar con las siguientes funciones de protección (RIC N°9, 6.2):

- Protección por sobre corriente de fases.
- Protección por falla a tierra.
- Protección de red e instalación (RI), que deberá contar con las siguientes funciones:
 - ✓ Funciones de protección por sobre y baja tensión (Nema 59/ Nema 27).
 - ✓ Funciones de protección por sobre y baja frecuencia (Nema 81O/ Nema 81U).
 - ✓ Función de protección anti-Isla.
- Protección de potencia inversa: Corresponde al relé (Nema 32) con ajuste de pick up por potencia activa.
- Sistema de control de inyección cero.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS CON EXPLORADOR SOLAR

5.1 Análisis de la planta fotovoltaica al 16,79% de generación

Los siguientes datos son exclusivamente comprobados por el sitio web del explorador solar en Chile, por lo que se realizan las pruebas para el caso de generación fotovoltaica al 16,79% cuya potencia a simular es de 58,08 kW.

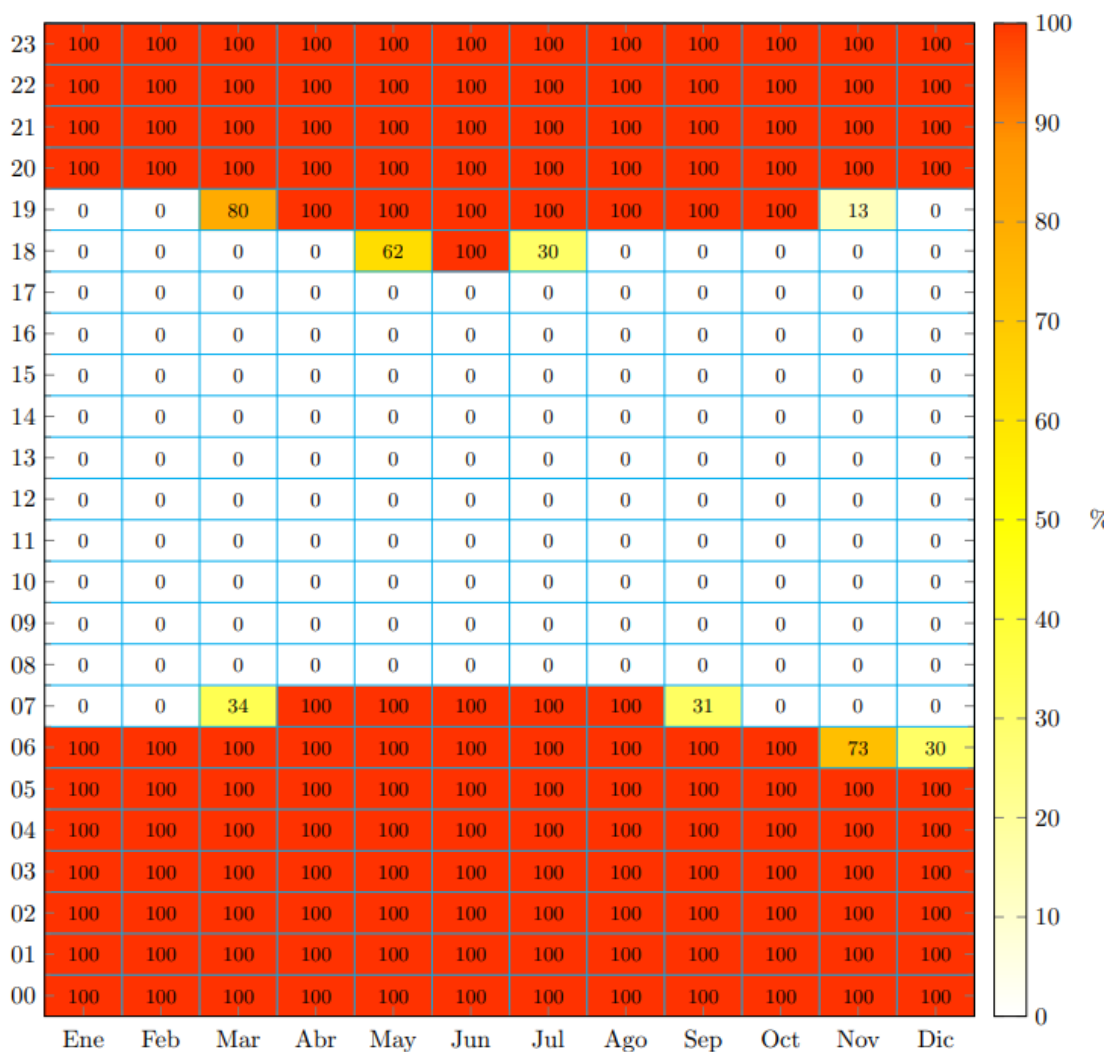
Figura N° 5.1 Resultados de potencia instalada al 16,79% en Explorador Solar



5.1.1 Análisis anual de sombras

El Eje “y” es la hora y el eje “x” es el mes, por lo que el grafico analiza los horarios mas favorables y desfavorables para la generacion de energia en % en cuanto a sombras. Con esto se puede evaluar si el lugar es optimo para la construccion de una planta solar fotovoltaica en el sector.

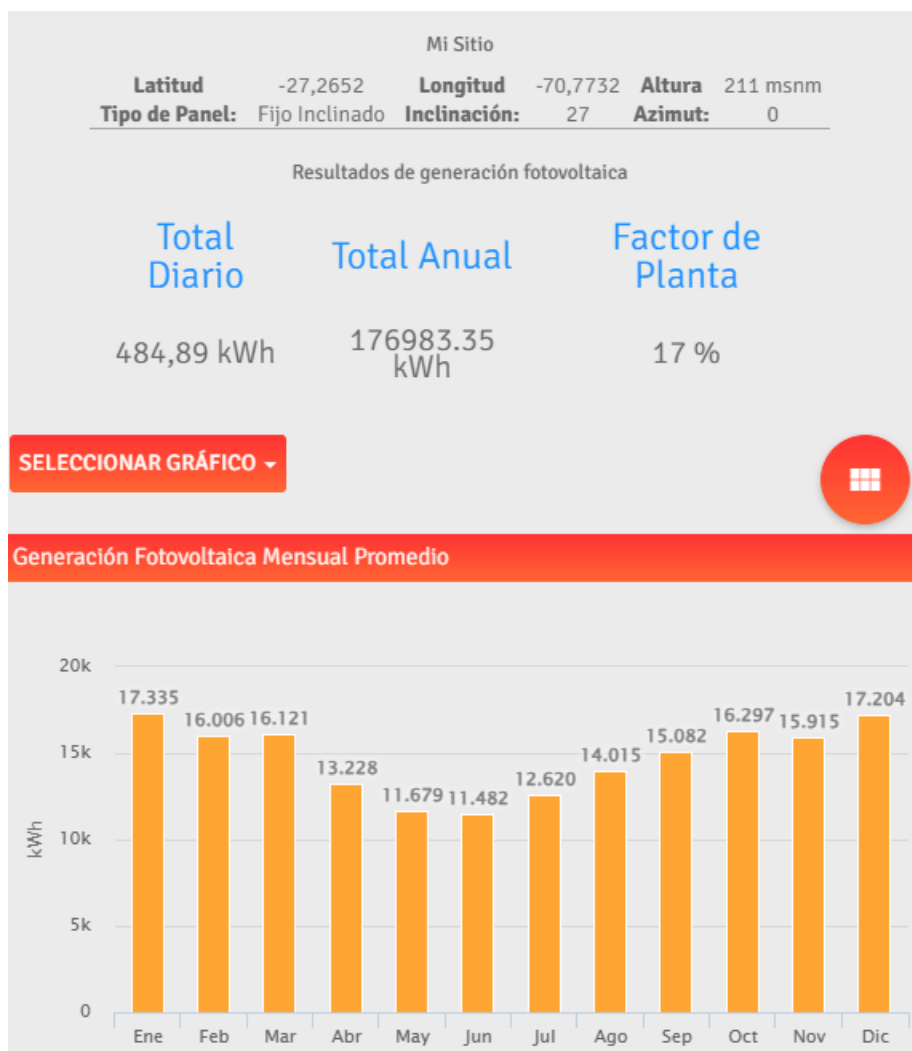
Figura N° 5.2: Analisis anual de sombras



5.2 Análisis de la planta fotovoltaica al 32,54% de generación

Los siguientes datos son exclusivamente comprobados por el sitio web del explorador solar en Chile, por lo que se realizan las pruebas para el caso de generación fotovoltaica al 32,54% cuya potencia a simular es de 116,16 kW.

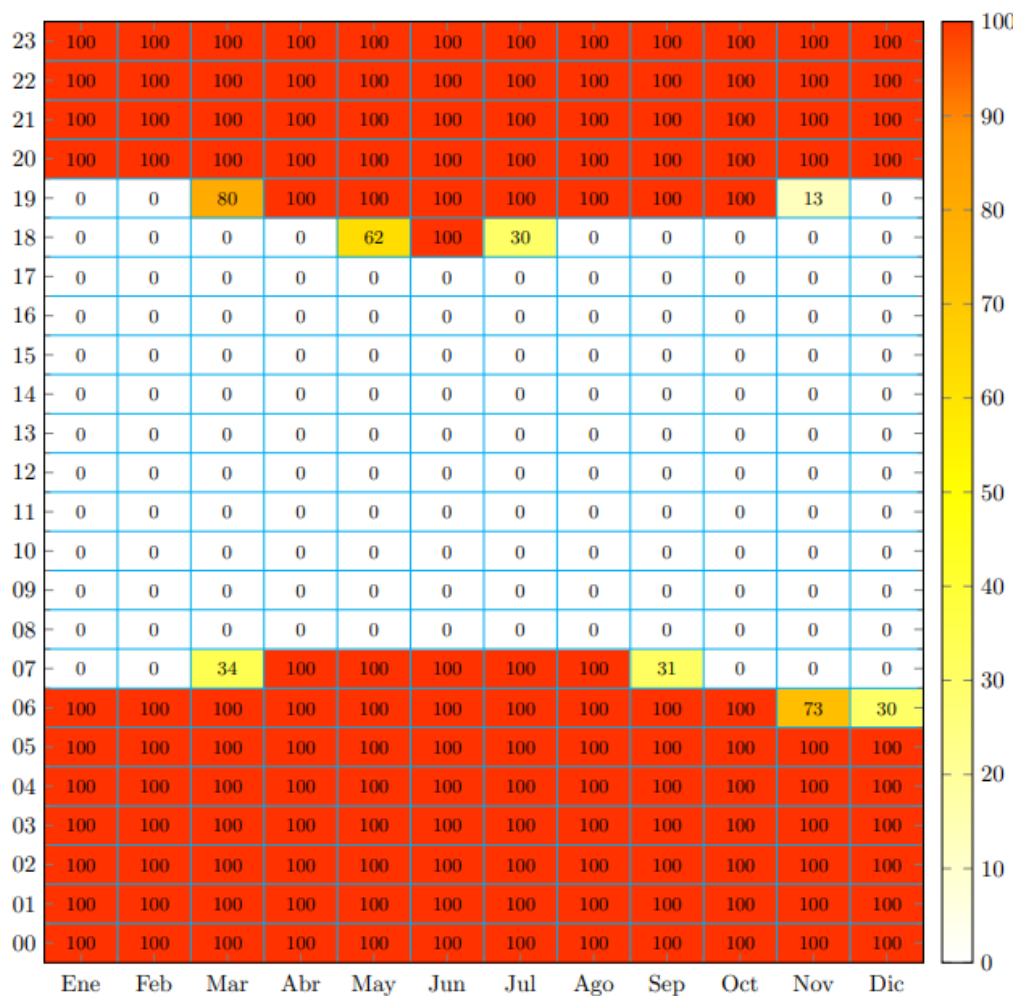
Figura N° 5.3 Resultados de potencia instalada al 32,54% en Explorador Solar



5.2.1 Análisis anual de sombras

El Eje “y” es la hora y el eje “x” es el mes, por lo que el grafico analiza los horarios mas favorables y desfavorables para la generacion de energia en % en cuanto a sombras. Con esto se puede evaluar si el lugar es optimo para la construccion de una planta solar fotovoltaica en el sector.

Figura N° 5.4 Analisis anual de sombras



CAPÍTULO VI

ANÁLISIS POR SOFTWARE SYSTEM ADVISOR MODEL (SAM)

6.1 Información del software SAM

System Advisor Model (SAM) es un software desarrollado por el Laboratorio Nacional de Energías Renovables (NREL) de EE. UU. para modelar y analizar financieramente proyectos de energía renovable. Es ampliamente utilizado para evaluar la viabilidad de sistemas de energía fotovoltaica, térmica, eólica, biomasa y otros tipos de energías renovables.

SAM permite a los usuarios modelar la producción de energía según datos específicos de diseño, clima e ingeniería. Sobre esa base, el programa calcula indicadores como la eficiencia energética, la tasa interna de retorno (TIR), el valor actual neto (VAN), el costo nivelado de la energía (LCOE), así como otros indicadores importantes que ayudan a los desarrolladores de proyectos e inversores a evaluar la rentabilidad.

Además, SAM es capaz de integrar escenarios financieros complejos, lo que la convierte en una herramienta versátil tanto para ingenieros como para analistas financieros. Los usuarios pueden ajustar variables como costos de capital, costos de mantenimiento, precio de venta de energía (PPA), incentivos fiscales y otros parámetros que afectan la rentabilidad del proyecto.

El programa es gratuito y se actualiza continuamente, lo que lo convierte en una herramienta confiable y accesible para planificar proyectos de energía renovable.

6.1.1 Ingreso de datos

Solar Explorer le permite descargar datos climáticos específicos de la ubicación de su proyecto. Estos datos incluyen variables como la radiación solar, la temperatura ambiente, la velocidad del viento y otros parámetros meteorológicos. Los archivos descargados suelen estar en formato TMY3 (año meteorológico típico) o CSV (valores separados por comas).

Ingreso a SAM:

Seleccionar el programa SAM y se crea un nuevo proyecto, seleccionando el tipo de instalación que se requiere modelar (p. ej. instalación fotovoltaica, instalación solar). En la sección Ubicaciones y recursos, importa el archivo de datos climáticos descargado de Solar Explorer. SAM utiliza estos datos para modelar la producción de energía del sistema a lo largo del año. Configuración del sistema:

Se configuran los detalles del sistema, como la fuente de energía instalada, el tipo de panel solar, el inversor, el ángulo de inclinación, la orientación y otras especificaciones. SAM permite adaptar muchos aspectos del diseño del sistema a las condiciones reales del proyecto. Simular la producción de energía:

SAM utiliza datos climáticos importados y especificaciones del sistema para simular la producción de energía por hora. Calcular la energía producida por un sistema fotovoltaico o térmico para cada hora del año, teniendo en cuenta factores como el sombreado, la pérdida de temperatura, la eficiencia del inversor, etc. Analizar resultados:

Una vez modelado, SAM proporciona una serie de métricas y gráficos que muestran la generación de energía, el rendimiento del sistema y el impacto de las condiciones climáticas en la producción de energía. Puede analizar los resultados anualmente, mensualmente, diariamente e incluso cada hora. Evaluación financiera:

SAM también le permite realizar análisis financieros detallados, donde puede ingresar costos de instalación, operación y mantenimiento, precio de venta de energía, créditos fiscales y más. Calcular métricas financieras como el costo nivelado de energía, el valor actual neto (VAN), la tasa interna de rendimiento (TIR) y otras métricas financieras lo ayudarán a evaluar el examen de viabilidad del proyecto. Beneficios de utilizar datos de Solar Explorer en SAM:

- **Precisión:** el uso de datos climáticos específicos del sitio mejora la precisión de los modelos de producción de energía.
- **Personalización:** puede ajustar los parámetros del sistema según las condiciones reales del sitio, lo que le permite optimizar el diseño del sistema y mejorar las ganancias.
- **Análisis detallado:** SAM proporciona análisis financieros y técnicos detallados para ayudar a los desarrolladores de proyectos e inversores a tomar decisiones informadas.

En general, la integración de datos de Solar Explorer con SAM es un proceso que mejora significativamente la precisión y usabilidad del modelado y análisis de proyectos de energía renovable, proporcionando una base sólida para la planificación y evaluación de proyectos.

- Datos ingresados – Panel solar características datasheet.
- Datos ingresados – Inversor solar características datasheet.
- Datos seleccionados – Información climatológica del explorador solar.

6.2 Demanda energética anual del Aeropuerto Desierto de Atacama

Tabla N° 6.1 Demanda de consumo energético del Aeropuerto

MESES	KW/H
ENERO	40560
FEBRERO	40080
MARZO	34560
ABRIL	37680
MAYO	32280
JUNIO	32040
JULIO	36240
AGOSTO	35040
SEPTIEMBRE	29760
OCTUBRE	34440
NOVIEMBRE	32160
DICIEMBRE	32760
TOTAL	417.600

6.3 Precios a utilizar para modelamiento en SAM

6.3.1 Valor panel solar

Se consideró un panel el cual no se encontraba dentro de los archivos predeterminados del programa, por lo que se procedió con la inserción manual del panel escogido el cual es un YUNGLI SOLAR YLM -J44 CELL (M10) DE 550W (Capitulo IV, 4.2)

Se cotizó panel en empresa distribuidora el cual nos arrojó un valor de \$138.659 Iva incluido

6.3.2 Valor inversor

Se consideró un inversor de 200 kW el cual se encuentra sus especificaciones técnicas (Capitulo IV, 4.3) de este informe, este inversor fue elegido considerando una proyección de ampliación del parque fotovoltaico a futuro, esto debido a que en él cuenta con 12 entradas y una gran potencia, en la primera simulación del 16.79% se utiliza 4 de esas entradas y en la segunda simulación 32.579% se utiliza 8 de estas entradas.

El inversor esta cotizado en <https://tritec-center.cl/>, el cual su precio comercial es \$14.845.476.

6.3.3 Valor Mano de Obra

Para la ejecución de los trabajos de ingeniería, se consultó a la cámara chilena de la construcción, los valores de instalación de paneles fotovoltaicos, con el fin de tener una referencia más fiable de esto, en el cual nos arrojó un valor entre los \$800.000. a \$1.500.000.- x KW de potencia instalado, estos valores son sin considerar la magnitud, distancia entre otros antecedentes importante para la elaboración de este proyecto.

6.3.4 Valor de CGE para la conexión del sistema ON-GRID.

CGE, proporciona los valores para interconectar los medidores bidireccionales para los sistemas on-grid, además de los valores a los cuales son asociados la realización de este servicio.

Figura N°6.1 valores vigentes noviembre 2024 CGE



Vigente desde el 1 noviembre 2024

Ítem	Actividades	Precio en UF C/IVA
1	Respuesta a Solicitud de Información (Formulario 2)	1,08
2	Respuesta a Solicitud de Conexión (Formulario 4)	
2.1	Solicitud cumple con condiciones para conectarse a través del Proceso Expeditivo	1,15
2.2	Solicitud con Capacidad Instalada del EG menor o igual al CIP e IEP	1,34
2.3	Solicitud con Capacidad Instalada del EG mayor o igual al CIP e IEP NO requiere adecuaciones y obras adicionales y/o con inyecciones limitadas	2,5
2.4	Solicitud con Capacidad Instalada del EG mayor o igual al CIP e IEP, SI requiere adecuaciones u obras adicionales	31,48
2.5	Emisión de informe de Estudios de conexión a solicitud del cliente o usuario.	18,13
3	Cambio de medidor a medidor bidireccional (no incluye equipo de medida). El precio es asimilado al servicio regulado de esta actividad.	
3.1	Cambio de medidor bidireccional Monofásico	0,68
3.2	Cambio de medidor bidireccional Trifásico BT sin indicación de demanda	1,22
3.3	Cambio de medidor bidireccional Trifásico BT con indicación de demanda.	1,36
3.4	Cambio de Medidor bidireccional Trifásico MT	2,92
3.5	Costos de reprogramación de medidor trifásico unidireccional a bidireccional	0,26
4	Supervisión puesta en servicio Equipo de Generación.	0,97

Costos no consideran la provisión del medidor

Fuente: CGE sitio WEB

A lo cual se determinó un valor de 5,15 UF más IVA para la realización de la interconexión de este proyecto.

6.4 Ingreso de datos a SAM

Como ejemplo se ingresan datos del modelamiento al 16,79%, por lo que el modelamiento al 32,54% solo quedaran publicados los resultados ya que el procedimiento es el mismo, solo se cambian los valores.

Figura N°6.2: Location And Resource (Ubicación y recursos)

The default library comes with only a few weather files to help you get started. Use the download tools below to build a library of locations you frequently model. Once you build your library, it is available for all of your work in SAM.

Filter: Name

Name	Latitude	Longitude	Time zone	Elevation	Station ID	Source
imperial_ca_32.835205_-115.572398_psmv3_60_tmy	32.85	-115.58	-8	-20	72911	NSRDB
phoenix_az_33.450495_-111.983688_psmv3_60_tmy	33.45	-111.98	-7	358	78208	NSRDB
tucson_az_32.116521_-110.933042_psmv3_60_tmy	32.13	-110.94	-7	773	67345	NSRDB
DHTMY_SAM_E_L1K04T 16%	-27.26...	-70.7729	-4	211	00000	ExpSolar
DHTMY_SAM_E_L1K04T 16%	-27.26...	-70.7729	-4	211	00000	ExpSolar

SAM scans the following folders on your computer for valid weather files and adds them to your Solar Resource library. To use weather files stored on your computer, click Add/remove Weather File Folders and add folders containing valid weather files.

C:\Users\jcart\OneDrive\Escritorio
C:\Users\jcart\OneDrive\Escritorio

Add/remove weather file folders...
Refresh library

Fuente: S.A.M

Figura N°6.3: Location And Resource (Ubicación y recursos)

EXPLORAR RECURSO SOLAR Y DATOS METEOROLÓGICOS

RESUMEN DEL SITIO GRÁFICOS DESCARGAS

Nombre	Formato	Descargar
Datos Horarios 2004 - 2016	csv	
Datos Horarios TMY	csv	
Datos Horarios TMY PVSol	dat	
Datos Horarios TMY SAM	csv	
Datos Horarios PVSystem	csv	
Tablas resumen	xlsx	
Reporte	pdf	

Fuente: Explorador Solar

En este punto de partida del programa SAM, se debe cargar el archivo descargado desde el explorador solar, en el cual indica dato de georeferenciación del lugar donde se emplaza el arreglo fotovoltaico.

Figura N°6.4: Location And Resource (Ubicación y recursos)

Weather Data Information

The following information describes the data in the highlighted weather file from the Solar Resource library above. This is the file SAM will use when you click Simulate.

Weather file:


-Header Data from Weather File

Latitude	<input type="text" value="-27.2615"/> degrees	Location	<input type="text" value="00000"/>
Longitude	<input type="text" value="-70.7729"/> degrees	Data Source	<input type="text" value="ExpSolar"/>
Time zone	<input type="text" value="GMT -4"/>	For NSRDB data, the latitude and longitude shown here from the weather file header are the coordinates of the NSRDB grid cell and may be different from the values in the file name, which are the coordinates of the requested location.	
Elevation	<input type="text" value="211"/> m		
Time step	<input type="text" value="60"/> minutes		

-Annual Averages Calculated from Weather File Data

Global horizontal	<input type="text" value="5.50"/> kWh/m ² /day	-Optional Data	
Direct normal (beam)	<input type="text" value="7.12"/> kWh/m ² /day	Maximum snow depth	<input type="text" value="0.000"/> cm
Diffuse horizontal	<input type="text" value="1.00"/> kWh/m ² /day	Annual albedo	<input type="text" value="NaN"/>
Average temperature	<input type="text" value="15.0"/> °C	*NaN indicates missing data.	
Average wind speed	<input type="text" value="2.9"/> m/s		

Figura N°6.5: Location And Resource (Ubicación y recursos)

 **EXPLORAR RECURSO SOLAR Y DATOS METEOROLÓGICOS** ? <

RESUMEN DEL SITIO
GRÁFICOS
DESCARGAS

LATITUD	LONGITUD	ALTURA	
-27,26°	-70,77°	211 msnm	
RADIACIÓN ANUAL			
Global Horizontal <small>(kWh/m²/día)</small>	Global Inclinado 27° <small>(kWh/m²/día)</small>	Directa Normal <small>(kWh/m²/día)</small>	Difusa Horizontal <small>(kWh/m²/día)</small>
5,50	5,94	7,16	0,99
INFORMACIÓN METEOROLÓGICA			
Frecuencia de Nubes <small>(%)</small>	Temperatura Ambiental <small>(°C)</small>	Velocidad del viento <small>(m/s)</small>	
17	15,1	2,9	

Estos datos deben coincidir con lo indicado en header data from weather file, con los datos del explorador solar y se carga presionando view data. Cargando el archivo del explorador solar, estos pueden variar debido a que el explorador solar trabaja con menor decimales.

Figura N°6.6: Module (Módulo)

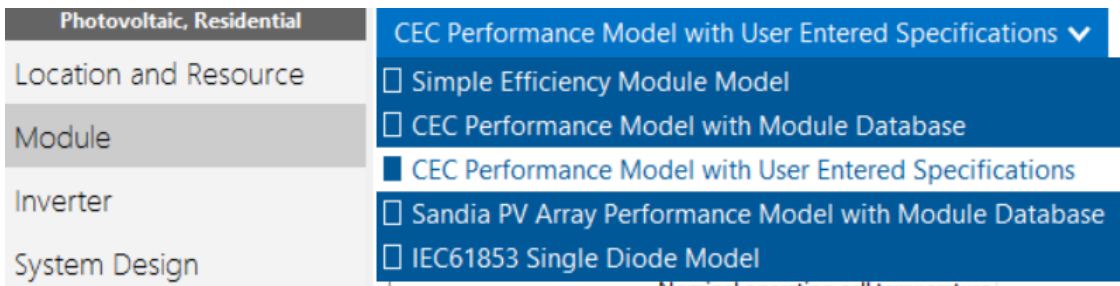
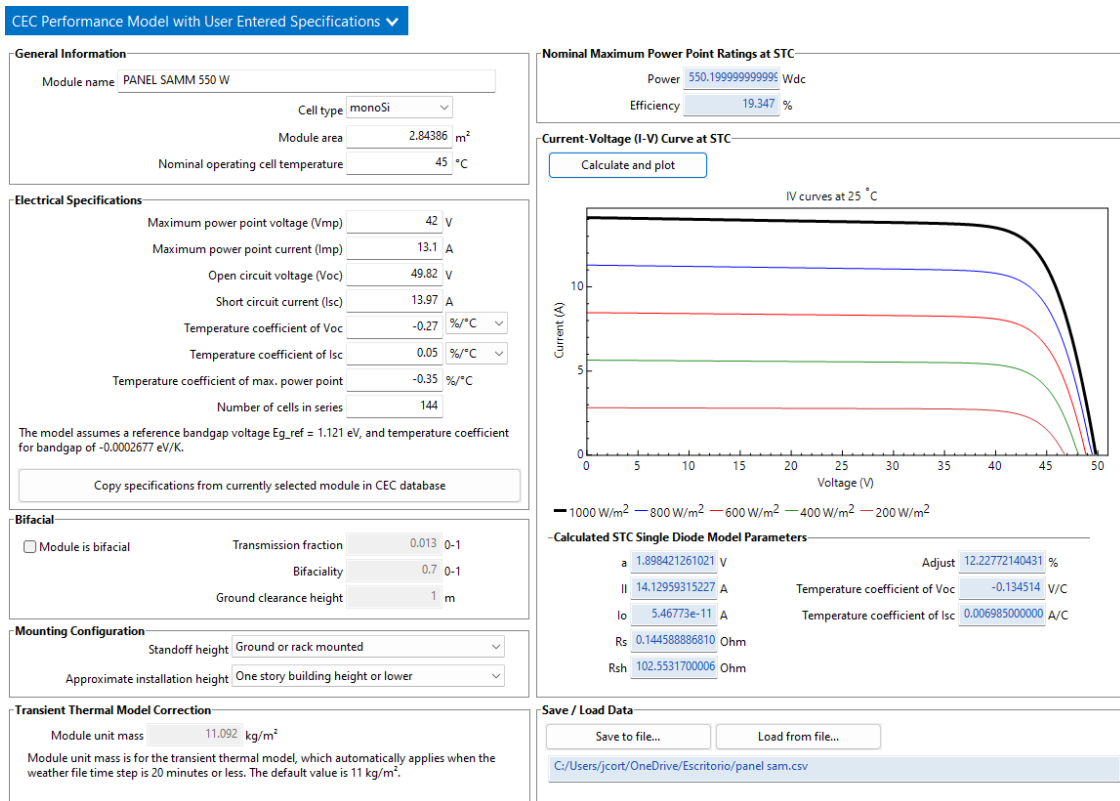


Figura N°6.7: Module (Módulo) Inserción de datos datasheet



En este punto, se hace selección del panel solar que se proyectará, en este caso no se encontró un panel acorde en el programa por lo que se necesitó insertar uno manualmente y para eso se selecciona CEC Performance Model With User Entered especificaciones, en el

cual se anotan manualmente las especificaciones técnicas del panel utilizando el datasheet. Como se muestra en la Figura N°6.6.

Figura N°6.8: Inverter (inversor)

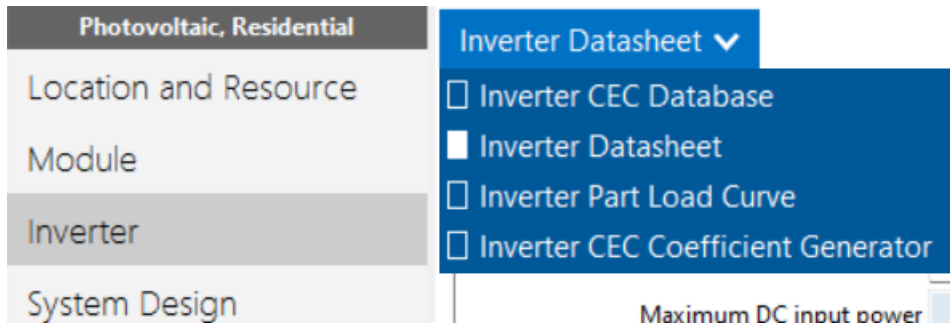


Figura N°6.9: Inverter (inversor)

Inverter Datasheet ▾

Power Ratings

Maximum AC output power: 200000 Wac

Weighted efficiency: 99 %
 Manufacturer efficiency: 99 %

Maximum DC input power: 202020.202 Wdc

You can specify either a weighted or nominal efficiency. The weighted efficiency can be either CEC or European. The manufacturer efficiency can be either peak or nominal. See Help for details.

Operating Ranges

Nominal AC voltage: 800 Vac
 Maximum DC voltage: 1500 Vdc
 Maximum DC current: 50 Adc

Minimum MPPT DC voltage: 500 Vdc
 Nominal DC voltage: 1160 Vdc
 Maximum MPPT DC voltage: 1500 Vdc
 Number of MPPT inputs: 4

Losses

Power consumption during operation: 10 Wdc
 Power consumption at night: 0.6 Wac

Suggested value

1600.000
50.000

If the datasheet does not specify loss values, you can use the suggested values to approximate the losses. See Help for details.

If you are modeling a system with microinverters or DC power optimizers, see the Losses page to adjust the system losses accordingly.

Copy Inverter Specifications from Current Library Selection

Click Copy Specifications to copy inverter data from the inverter currently selected for the Inverter CEC Database option.

Copy specifications

Save / Load Data

Save data to file... Load data from file...

Figura N°6.10: Inverter (inversor)

Losses

			Suggested value
Power consumption during operation	10	Wdc	1600.000
Power consumption at night	0.6	Wac	50.000

If the datasheet does not specify loss values, you can use the suggested values to approximate the losses. See Help for details.

If you are modeling a system with microinverters or DC power optimizers, see the Losses page to adjust the system losses accordingly.

Copy Inverter Specifications from Current Library Selection

Click Copy Specifications to copy inverter data from the inverter currently selected for the Inverter CEC Database option.

Save / Load Data

Inverter Temperature Derate Curves

	Vdc(V)	Tstart(C)	Slope(1/C)	Tstart(C)	Slope(1/C)
1300	50	-0.02	53	-0.47	

Rows:

Cols:

Table supports up to four temperature - slope pairs per row.

Al igual que con los módulos paneles fotovoltaicos, en este punto se selecciona el inversor para diseñar el arreglo fotovoltaico, por lo que el inversor utilizado en este proyecto no se encontraba en los registros de sam, se inserta manualmente en invertir Datasheet. Como se muestra en la Figura N°6.8.

Figura N°6.11: System Design (Diseño del sistema)

Photovoltaic, Residential

- Location and Resource
- Module
- Inverter
- System Design**
- Shading and Layout
- Losses
- Grid Limits
- Lifetime and Degradation
- Installation Costs
- Operating Costs
- Financial Parameters
- Incentives
- Electricity Rates

AC Sizing

Number of inverters:
 DC to AC ratio:

Size the system using modules per string and strings in parallel inputs below.

Estimate Subarray 1 configuration

Sizing Summary

Nameplate DC capacity	52.819 kWdc	Number of modules	96
Total AC capacity	200.000 kWac	Number of strings	4
Total inverter DC capacity	202.020 kWdc	Total module area	273.011 m ²

System and subarray capacity and voltage ratings are at module reference conditions shown on the Module page.

DC Sizing and Configuration

To model a system with one array, specify properties for Subarray 1 and disable Subarrays 2, 3, and 4. To model a system with up to four subarrays connected in parallel to a single bank of inverters, for each subarray, check Enable and specify a number of strings and other properties.

	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Electrical Configuration		<input checked="" type="checkbox"/> Enable	<input checked="" type="checkbox"/> Enable	<input checked="" type="checkbox"/> Enable
Modules per string in subarray	24	24	24	24
Strings in parallel in subarray	1	1	1	1
Number of modules in subarray	24	24	24	24
String Voc at reference conditions (V)	1,195.7	1,195.7	1,195.7	1,195.7
String Vmp at reference conditions (V)	1,008.0	1,008.0	1,008.0	1,008.0
Multiple MPPT Inputs	<input type="text" value="1"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="text" value="4"/>

Set MPPT inputs when Number of MPPT Inputs on the Inverter page is greater than 1.

Figura N°6.12: System Design (Diseño del sistema)

Inverter

- System Design
- Shading and Layout
- Losses
- Grid Limits
- Lifetime and Degradation
- Installation Costs
- Operating Costs
- Financial Parameters
- Incentives
- Electricity Rates
- Electric Load

Tracking & Orientation

Set MPPT inputs when Number of MPPT inputs on the inverter page is greater than 1.

Azimuth
 N = 0
 W 270
 E 90
 S 180

Tilt
 90° Vert.
 Horiz. 0°

	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Tilt	<input checked="" type="radio"/> 1 Axis	<input checked="" type="radio"/> 1 Axis	<input checked="" type="radio"/> 1 Axis	<input checked="" type="radio"/> 1 Axis
	<input type="radio"/> 2 Axis	<input type="radio"/> 2 Axis	<input type="radio"/> 2 Axis	<input type="radio"/> 2 Axis
	<input type="radio"/> Azimuth Axis	<input type="radio"/> Azimuth Axis	<input type="radio"/> Azimuth Axis	<input type="radio"/> Azimuth Axis
	<input type="radio"/> Seasonal Tilt	<input type="radio"/> Seasonal Tilt	<input type="radio"/> Seasonal Tilt	<input type="radio"/> Seasonal Tilt
	<input type="checkbox"/> Tilt=latitude	<input type="checkbox"/> Tilt=latitude	<input type="checkbox"/> Tilt=latitude	<input type="checkbox"/> Tilt=latitude
Tilt (deg)	27	27	27	27
Azimuth (deg)	0	0	0	0
Ground coverage ratio (GCR)	0.3	0.3	0.3	0.3
Tracker rotation limit (deg)	0	0	0	0
Backtracking	<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable	<input type="checkbox"/> Enable
Terrain slope (deg)	0	0	0	0
Terrain azimuth (deg)	0	0	0	0

Ground coverage ratio is used (1) to determine when a one-axis tracking system will backtrack, (2) in self-shading calculations for fixed tilt or one-axis tracking systems on the Shading page, and (3) in the total land area calculation. See Help for details.

Electrical Sizing Information

En la Figura N°6.11 AC Sizing (Number of inverters): se selecciona los números de inversores a utilizar para el arreglo fotovoltaico.

En la Figura N°6.11 (electrical Configuration): Se realiza la configuración eléctrica según string (cabe mencionar que este programa solo deja realizar una modelación como máximo 4 string) por lo que en nuestro diseño se realiza una modelación con 24 paneles por string (4)

En la Figura N°6.12 (Tracking y orientation): Se selecciona la posición de los paneles solares según grado de inclinación y azimuth del arreglo fotovoltaico.

Figura N°6.13 Shading and layout (sombreado y diseño)

Photovoltaic, Residential

Location and Resource

Module

Inverter

System Design

Shading and Layout

Losses

Grid Limits

Lifetime and Degradation

Installation Costs

Operating Costs

Financial Parameters

Incentives

Electricity Rates

Electric Load

Simulate >

Parametrics Stochastic

Uncertainty Macros

External Shading

External shading is shading of beam and diffuse incident irradiance by nearby objects such as trees and buildings. Shading losses apply in addition to any soiling losses on the Losses page.

-3D Shade Calculator-

Automatically generate shade data from a drawing of the array and shading objects.

Open 3D shade calculator...

-Shade Loss Tables-

Edit and import shade data. Data may be entered by hand, imported from shade analysis software and devices, or generated by the 3D shade calculator.

Subarray 1

Edit shading...

Subarray 2

Edit shading...

Subarray 3

Edit shading...

Subarray 4

Edit shading...

Self Shading for Fixed Subarrays and One-axis Trackers

Self shading is shading of modules in the array by modules in a neighboring row.

Self shading | None | None | None | None

Array Dimensions for Self Shading, Snow Losses, and Bifacial Modules

The product of number of modules along side and bottom and number of rows should be equal to the number of modules in subarray.

Module orientation	Portrait	Portrait	Portrait	Portrait
Number of modules along side of row	2	2	2	2
Number of modules along bottom of row	7	9	9	9

-Calculated System Layout-

	1.71428571428571	1.33333333333333	1.33333333333333	1.33333333333333
Number of rows	1.71428571428571	1.33333333333333	1.33333333333333	1.33333333333333
Modules in subarray from System Design page	24	24	24	24
Length of side (m)	4.398	4.398	4.398	4.398
GCR from System Design page	0.3	0.3	0.3	0.3
Row spacing estimate (m)	14.658	14.658	14.658	14.658

Module aspect ratio	1.7
Module length	2.199 m
Module width	1.293 m
Module area	2.84386 m ²

row spacing = length of side + GCR

row spacing = length of side + GCR

En la Figura sam N°6.13 este punto es automático en el cual se indica según el diseño, dimensionamiento y posicionamiento, el efecto sombra, esta sirve para el proceso de la ingeniería estructural con el fin de tener una mejor eficiencia.

Figura N° 6.14: Losses (Perdidas)

Photovoltaic, Residential

- Location and Resource
- Module
- Inverter
- System Design
- Shading and Layout
- Losses**
- Grid Limits
- Lifetime and Degradation
- Installation Costs
- Operating Costs
- Financial Parameters
- Incentives
- Electricity Rates
- Electric Load

Irradiance Losses
Losses apply to the total solar irradiance incident on each subarray. SAM applies these losses in addition to any losses on the Shading and Snow page.

	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Monthly soiling loss	Edit values...	Edit values...	Edit values...	Edit values...
Average annual soiling loss (%)	5	5	5	5
Bifacial rear soiling (%)	0	0	0	0
Bifacial rack shading (%)	0	0	0	0

DC Losses
DC losses apply to the electrical output of each subarray and account for losses not calculated by the module performance model.

	Subarray 1	Subarray 2	Subarray 3	Subarray 4
Module mismatch (%)	2	2	2	2
Diodes and connections (%)	1.6	1.6	1.6	1.6
DC wiring (%)	6.5	6	6	6
Tracking error (%)	0	0	0	0
Nameplate (%)	0	0	0	0
Bifacial electrical mismatch (%)	0	0	0	0
DC power optimizer loss (%)	1	All four subarrays are subject to the same DC power optimizer loss.		
Total DC power loss (%)	10.738	10.260	10.260	10.260

Total DC power loss = 100% * [1 - the product of (1 - loss/100%)]

Default DC Losses
Apply default losses to replace DC losses for all subarrays with default values.


Apply default losses for: Central inverters Microinverters DC optimizers

AC Losses
AC losses apply to the electrical output of the inverter and account for losses not calculated by the inverter performance model.

AC wiring % of AC output

Transformer Losses
The transformer loss model is intended for distribution or substation transformers in large PV systems. Losses apply to the electrical output of the inverter and assume a power factor of 1. The transformer capacity is equal to the total inverter AC power rating.

Transformer no load loss % of inverter AC capacity

Simulate > 

Parametrics Stochastic
Uncertainty Macros

En la Figura N° 6.14 se pueden registrar las pérdidas en % para considerar en los resultados finales.

Figura N°6.15 Grid Limits (límites de la red)

The image shows two sections of a software interface. The first section, titled "Grid Interconnection Limit", contains a checked checkbox for "Enable interconnection limit" and a text box for "Grid interconnection limit" set to "300 kWac". A descriptive text states: "The grid interconnection limit is a negotiated limit beyond which the system is not allowed to export power. Any AC power generated above the grid interconnection limit is curtailed." The second section, titled "Grid Curtailment", contains a text box for "Curtailment" and a button labeled "Edit array...". A descriptive text states: "Click Edit Array to enter values in the curtailment schedule table. SAM limits the system power output to the MW power values in the table. Curtailed power is not compensated."

En la Figura N° 6.15 se mencionan los límites de potencia máxima para los arreglos fotovoltaicos, En Chile, el límite de potencia máxima para los proyectos fotovoltaicos de energía renovable es de 300 kW. Esta limitación se establece en la Ley 21.118, también conocida como Ley NetBilling

Figura N° 6.16: Lifetime and degradation (vida útil y degradación)

The image shows a section titled "Annual Degradation for Multi-year Simulation". It features a text box for "Annual DC degradation rate" set to "0.5 %/year". A small dropdown menu is visible above the text box, with "Value" selected and "Schedule" as an alternative. A descriptive text states: "In Value mode, the degradation rate is applied linearly starting in Year 2. In Schedule mode, each year's rate applies to the Year 1 value. See Help for details." Below the text box, it says "Applies to the photovoltaic array's DC output in each time step."

En la Figura N° 6.16 se indica la degradación que el arreglo fotovoltaico tendría por año de servicio, en el caso nuestro le otorgamos un 0.5 por ciento de degradación anual.

Figura N° 6.17: Installation Costs (Costo de instalación)

Photovoltaic, Residential		PV Capital Costs				
Direct Capital Costs						
Module	96 units	0.6 kWdc/unit	52.8 kWdc	138,659.00	\$/Unit	\$ 13,311,264.00
Inverter	1 units	200.0 kWac/unit	200.0 kWac	14,845,476.00	\$/Unit	\$ 14,845,476.00
				\$	\$/Wdc	\$/m ²
	Balance of system equipment	0.00		0.00		\$ 0.00
	Installation labor	42,240,000.00	+	0.00	+	0.00 = \$ 42,240,000.00
	Installer margin and overhead	0.00		0.00		\$ 0.00
						Subtotal \$ 70,396,740.00
	Contingency			Contingency	3 % of subtotal	\$ 2,111,902.20
						Total direct cost \$ 72,508,642.20
Indirect Capital Costs						
		% of direct cost		\$/Wdc		\$
	Permitting and environmental studies	0		0.00		\$ 0.00
	Engineering and developer overhead	0	+	0.00	+	4,400,000.00 = \$ 4,400,000.00
	Grid interconnection	0		0.00		\$ 196,520.00
	Land Costs					
	Land area	0.337 acres				
	Land purchase	\$ 0/acre	+	0	+	0.00 = \$ 0.00
	Land prep. & transmission	\$ 0/acre	+	0	+	0.00 = \$ 0.00
						Total indirect cost \$ 4,596,520.00
Sales Tax						
	Sales tax basis, percent of direct cost	49 %		Sales tax rate	19.0 %	\$ 6,750,554.59
Total Installed Cost						
	The total installed cost is the sum of the indirect, sales tax, and direct costs. Note that it does not include any financing costs from the Financial Parameters page.			Total installed cost		\$ 83,855,716.79
				Total installed cost per capacity		\$ 1,587.60/Wdc

En la Figura N° 6.17 se indican los datos asociados a costos tanto en materiales, insumos, mano de obra, impuestos, porcentaje de amortización en caso de contingencia entre otros.

Figura N°6.18: Operating cost (Costos de operación)

Photovoltaic, Residential		Operation and Maintenance Costs		Escalation rate	In Value mode, SAM applies both inflation and escalation to the first year cost to calculate out-year costs. In Schedule mode, neither inflation nor escalation applies. See Help for details.	
Location and Resource		First year cost				
Fixed annual cost	<input type="text" value="0"/> \$/yr					<input type="text" value="0"/> %
Fixed cost by capacity	<input type="text" value="29"/> \$/kW-yr					<input type="text" value="0"/> %
Variable cost by generation	<input type="text" value="0"/> \$/MWhac			<input type="text" value="0"/> %		

Cost by capacity units are kWdc-yr for PV systems and kWac-yr for CSP, wind, and other systems.

En la Figura N°6.18 se dejan los valores por defecto.

Figura N°6.19 Financial Parameters (Parámetros financieros)

Photovoltaic, Residential		Residential Loan Type	
Location and Resource		<input checked="" type="radio"/> Standard loan	Standard loan interest payments are not tax deductible.
Module		<input type="radio"/> Mortgage	Mortgage interest payments are tax deductible.
Loan Parameters			
Debt fraction	<input type="text" value="100"/> %	Net capital cost	<input type="text" value="83,855,716.79"/> \$
Loan term	<input type="text" value="25"/> years	Debt	<input type="text" value="83,855,716.79"/> \$
Loan rate	<input type="text" value="4"/> %/year	WACC	<input type="text" value="4.00"/> %
The weighted average cost of capital (WACC) is displayed for reference. SAM does not use the value for calculations. For a project with no debt, set the debt fraction to zero.			
Analysis Parameters			
Analysis period <input type="text" value="25"/> years		Inflation rate <input type="text" value="2.5"/> %/year	
		Real discount rate <input type="text" value="6.4"/> %/year	
		Nominal discount rate <input type="text" value="9.06"/> %/year	
Project Tax and Insurance Rates			
-Income Tax-		Property Tax	
Federal income tax rate	<input type="text" value=""/> %/year	Assessed percentage	<input type="text" value="100"/> % of installed cost
State income tax rate	<input type="text" value=""/> %/year	Assessed value	<input type="text" value="83,855,716.79"/> \$
-Sales Tax and Insurance-		Annual decline	<input type="text" value="0"/> %/year
Insurance rate (annual)	<input type="text" value="0"/> % of installed cost	Property tax rate	<input type="text" value="0"/> %/year
Sales tax	<input type="text" value="19"/> % of total direct cost	The sales tax rate applies to the total direct cost on the Installation Costs page.	
Salvage Value			
Net salvage value <input type="text" value="0"/> % of installed cost		End of analysis period value <input type="text" value="0.00"/> \$	

En la Figura N° 6.20 se pone el dato de IVA en Sales Tax and Insurance Rates.

Figura N°6.21: Electricity rates (tarifas eléctricas)

OpenEI U.S. Utility Rate Database
 Download rate structures for electric utility companies included in the OpenEI Utility Rate Database. After downloading a rate structure, compare the inputs below with a copy of the rate sheet to verify that the information is correct.

Search for rates... [Go to Open EI Utility Rate Database website...](#)

Save / Load Rate Data
 Save rate to file... Load rate from file...

Metering and Billing
 Net energy metering
 Net energy metering with 5 credits
 Net billing
 Net billing with carryover to next month
 Buy all / sell all

Compensation rate for net excess generation: 0 \$/kWh Roll over net excess compensation to future bills
 Month for end of true-up period: Dec
 Use hourly (subhourly) sell rates instead of TDU rates
 Hourly (subhourly) sell rates: Edit array... \$/kWh
 Use hourly (subhourly) buy rates instead of TDU rates
 Hourly (subhourly) buy rates: Edit array... \$/kWh

Fixed Charge
 Fixed monthly charge: 28004 \$

Minimum Charges
 Monthly minimum charge: 0 \$
 Annual minimum charge: 0 \$

Annual Escalation
 Electricity bill escalation rate: 0 %/yr
 In Value mode, enter a rate in real terms because SAM applies both escalation and inflation to the total first-year electricity bill to calculate the annual electricity bill in later years. In Schedule mode, enter rates in nominal terms because inflation does not apply. See Help for details.

Description and Applicability
 Energy Charges

Rates for Energy Charges

Import...	Period	Tier	Max. Usage	Max. Usage Units	Buy (\$/kWh)	Sell (\$/kWh)
Export...	1	1	1e+30	kWh	130.83	0
Copy	2	1	1e+30	kWh	130.83	10.4271
Paste	3	1	0	kWh	10427.1	0

Number of entries: 3

Weekday

Month	12am	1am	2am	3am	4am	5am	6am	7am	8am	9am	10am	11am	12pm	1pm	2pm	3pm	4pm	5pm	6pm	7pm	8pm	9pm	10pm	11pm
Jan	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	
Feb	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	
Mar	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	
Apr	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	
May	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	
Jun	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	
Jul	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	
Aug	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	
Sep	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	
Oct	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	
Nov	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	
-	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	

Simulate > Parametrics Stochastic Uncertainty Macros

En la Figura N°6.21 se puede identificar las tarifas eléctricas según corresponda en la factura a evaluar, en el caso nuestro es una tarifa 4.3 la cual tiene un valor presente en punto por lo que diseña de la siguiente manera:

En el recuadro 1: se coloca el costo de consumo general cobrado por la empresa distribuidora \$130.83 kW/h

En el recuadro 2: se coloca el mismo valor de consumo general pero además se coloca el valor de venta ya que entre ese horario el sistema fotovoltaico estaría suministrando energía a la red para amortiguar el costo.

En el recuadro 3: se coloca los mese y los horarios de la cual se encuentra la presente en punta con el valor de \$10.427.1 kW/h.

Figura N° 6.22 electric load (cargas eléctricas)

Photovoltaic, Residential

Input Time Series Load Data

Electric Load Data

Electric load data describes the electricity usage of a building or facility for electricity bill calculations. Enter or import an hourly or subhourly load profile and use the adjustment options to scale the profile or to account for annual load growth. See Help for details.

Hourly or Subhourly Load Profile

Electric load power kW ⓘ

Electric load scaling factor (optional) ⓘ

Electric load annual growth rate %/yr ⓘ

Adjust Load Profile to Monthly Usage

Scale electric load profile to monthly usage

Monthly electricity usage for scaling kWh ⓘ

Download

Click Download Electric Load Data to run a macro that downloads modeled hourly load data. See Help for details.

Monthly Load Summary

These monthly and annual values are calculated from the hourly or subhourly load profile and shown here for reference.

	Energy (kWh)	Peak (kW)
Jan	40,560.00	99.98
Feb	40,080.00	109.84
Mar	34,560.00	96.95
Apr	37,680.00	134.35
May	32,280.00	111.52
Jun	32,040.00	112.69
Jul	36,240.00	97.82
Aug	35,040.00	105.55
Sep	29,760.00	107.36
Oct	34,440.00	104.85
Nov	32,160.00	86.09
Dec	32,760.00	83.91
Annual	417,600.00	134.35

En la Figura N° 6.22 se deben cargar los valores de carga vistos en el histórico de las boletas del lugar a proyectar, por lo que se procede a presionar el botón edit values y ahí se desplegará una tabla de los meses enero a diciembre por lo que se procede a anotar los consumos de las boletas.

6.5 Resultados SAM al 16,79%.

Figura N° 6.21: Resultado de simulación SAM al 16,79%

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	92,015 kWh
DC capacity factor in Year 1	19.9%
Energy yield in Year 1	1,742 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.80
LCOE Levelized cost of energy nominal	6073.17 ¢/kWh
LCOE Levelized cost of energy real	4849.39 ¢/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$706,887,296
Electricity bill with system (year 1)	\$691,809,664
Net savings with system (year 1)	\$15,077,574
Net present value	\$120,897,184
Simple payback period	5.3 years
Discounted payback period	7.5 years
Net capital cost	\$83,855,720
Equity	\$0
Debt	\$83,855,720

6.6 Resultados SAM al 32.54%

Figura N° 6.22; Resultado de simulacion SAM al 32,54%

Metric	Value
Annual AC energy in Year 1	184,075 kWh
DC capacity factor in Year 1	19.9%
Energy yield in Year 1	1,743 kWh/kW
Performance ratio in Year 1	0.80
LCOE Levelized cost of energy nominal	3986.68 ¢/kWh
LCOE Levelized cost of energy real	3183.33 ¢/kWh
Electricity bill without system (year 1)	\$706,887,296
Electricity bill with system (year 1)	\$678,775,424
Net savings with system (year 1)	\$28,111,822
Net present value	\$255,590,432
Simple payback period	3.8 years
Discounted payback period	4.8 years
Net capital cost	\$110,101,704
Equity	\$0
Debt	\$110,101,704

6.7 Definición de cada parámetro

- Energía anual de CA al año.
- Factor de capacidad de CC en el año 1.
- Rendimiento energético en el año 1.
- Relación de rendimiento en el año 1.
- LCOE costo nivelado de energía nominal.
- LCOE Costo nivelado de la energía real.
- La factura de electricidad sin sistema (año1).
- La factura de electricidad con sistema (año1).
- Ahorro neto con sistema (año1).
- Valor actual neto.
- Periodo de recuperación simple.
- Periodo de amortización Con descuento.
- Costo neto de la capital.
- Justicia.
- Deuda.

6.8 Análisis de los resultados finales en SAM

La Figura N° 6.21, es el resultado financiero de la simulación N°1, de la cual se indica lo siguiente:

- El costo neto del capital (VAN), para la elaboración de este proyecto sería de \$83.855.720.
- Tiempo de recuperación, En el caso nuestro, aplica solamente el periodo de recuperación simple, que sería de 5.3 años, esto considerando que el aeropuerto desierto de atacama, requiere de implementación de energía renovable por lo cual cuenta con capital propio para realizar un proyecto.
- El ahorro Neto con sistema al año 1 sería de \$15.077.574 pasando de una facturación anual de \$706.887.296. a \$691.809.664.

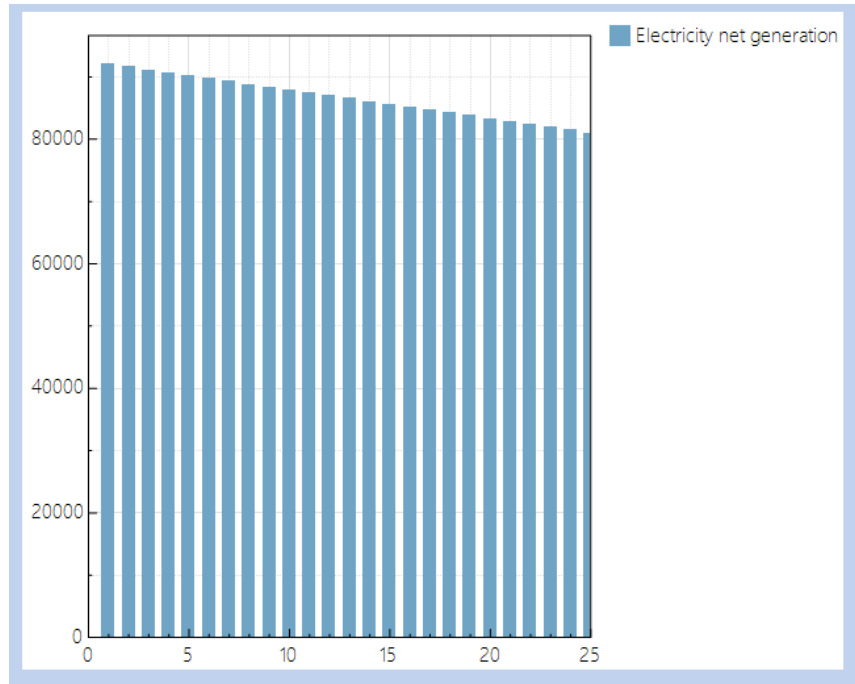
- Por lo cual se puede determinar que con esta simulación el ahorro económico es alto, considerando la gran magnitud de la elaboración de este proyecto, por lo que puede ser muy viable ya que el tiempo de recuperación sería de 5.3 años, considerando la degradación y vida útil de los equipos que sería de 25 años.

La Figura N° 6.22, es el resultado financiero de la simulación N°2, de la cual se indica lo siguiente:

- El costo neto del capital (VAN), para la elaboración de este proyecto sería de \$110.101.704.
- Tiempo de recuperación, En el caso nuestro, aplica solamente el periodo de recuperación simple, que sería de 3,8 años, esto considerando que el aeropuerto desierto de atacama, requiere de implementación de energía renovable por lo cual cuenta con capital propio para realizar un proyecto.
- El ahorro Neto con sistema al año 1 sería de \$28.111.822 pasando de una facturación anual de \$706.887.296. a \$678.775.424.
- Por lo cual se puede determinar que con esta simulación el ahorro económico es alto, considerando la gran magnitud de la elaboración de este proyecto, por lo que puede parecer aún más viable que la simulación N°1 ya que el tiempo de recuperación sería de 3,8 años, considerando la degradación y vida útil de los equipos que sería de 25 años.

6.9 Efecto de la degradación de los paneles en 25 años a 16,79%

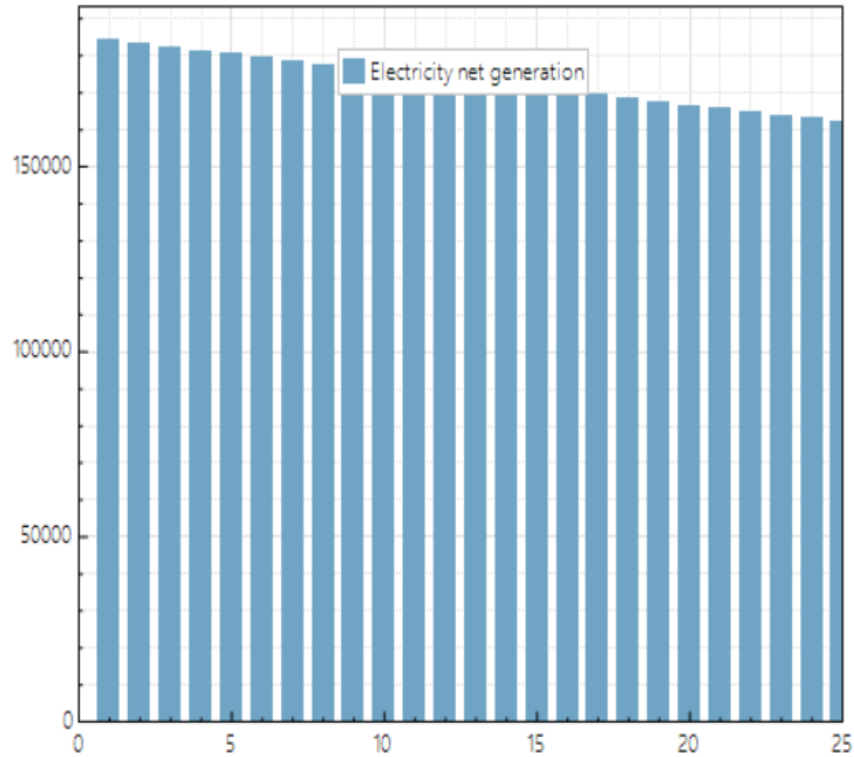
Figura N° 6.22: Generación de energía eléctrica sistema fotovoltaico



Se puede apreciar en la Figura N° 6.22, la caída en la producción de energía eléctrica producida por los paneles. La producción al año 25 sería de 80.967 kW/h la cual representaría un 87.9% de la producción inicial, esto quiere decir que tiene una degradación para esa cantidad de año, de un 12.1%, la cual es baja debido la ganancia económica final.

6.10 Efecto de la degradación de los paneles en 25 años a 32.54%

Figura N° 6.23: Generación de energía eléctrica sistema fotovoltaico



Se puede apreciar en la Figura N° 6.23, la caída en la producción de energía eléctrica producida por los paneles. La producción al año 25 sería de 162.550 kWh la cual representaría un 88.3% de la producción inicial, esto quiere decir que tiene una degradación para esa cantidad de año, de un 11.7%, la cual es baja debido la ganancia económica final.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIÓN

Dado el dimensionamiento a través de los cálculos se logró obtener una base sólida para posterior a eso poder modelar de una forma segura y que los datos sean sincrónicos con la realidad de la zona, para esto se apoyó con la plataforma del Explorador solar, con el cual se obtuvieron los datos necesarios para poder hacer el modelamiento final, el cual fue el objetivo principal de la presente tesis.

Analizando los resultados en el software SAM, se puede decir que en el primer análisis que es del 16,79% la respuesta del análisis respecto a los datos entregados por explorador solar, cálculos fotovoltaicos, datos de módulos, datos de inversor, la inversión podría comenzar a recuperarse en aproximadamente poco más de 5,3 años, por lo que considerando la vida útil de los paneles que es considerada como 25 años, se puede decir que la ganancia es mayor a largo plazo y que el proyecto si puede ser una buena opción para innovar con una planta de energías renovables para las instalaciones del Aeropuerto del Desierto de Atacama.

Se destaca por sobre el modelo N°1 al modelo N°2 que corresponde al 32,54% ya que se obtiene un nivel de ahorro aproximado al doble, lo que a largo plazo puede ser aún más beneficioso, en este caso la inversión se recupera en aproximadamente 3,8 años, por lo que también es muy viable poder ejecutar un proyecto con este nivel de generación.

Como ultimo punto, el foco de la generación de energía limpia cada vez gana mas apoyo por parte de las políticas internas de nuestro país, hasta el punto en que se deba por obligación mantener una fuente de energía renovable en los establecimientos para asi lograr el objetivo como país y eso es contribuir al medio ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

- Eland Cables. (2024). Recuperado el 2024, de <https://www.elandcables.com/cables/photovoltaic-solar-h1z2z2-k-cable>
- Instrucción Técnica General RIC N°9.1/2021. (2021). *sec*. Recuperado el 2024, de <https://www.sec.cl/sitio-web/wp-content/uploads/2021/05/ITG-RIC-N9.1-2021.pdf>
- Instrucción Técnica RGR N°02/2020. (2020). *SEC*. Recuperado el 2024, de <https://www.sec.cl/sitio-web/wp-content/uploads/2020/11/RGR-N-01-2020-v3-1.pdf>
- Ministerio de Energía. (2017). *Explorador Solar*. Recuperado el 2024, de <https://solar.minenergia.cl/fotovoltaico>
- National Renewable Energy Laboratory. (2007). *System Advisor Model (SAM)*. Recuperado el 2024, de <https://sam.nrel.gov/>