



UNIVERSIDAD  
**DE ATACAMA**

**FACULTAD TECNOLÓGICA**  
**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍAS DE LA ENERGÍA**

**PROPUESTA DE PLANTA FOTOVOLTAICA PARA OFICINAS  
ADMINISTRATIVAS DE FUNDICIÓN HERNAN VIDELA LIRA**

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

Profesor Guía: Sr. Juan Carlos Madrigal Lobos

Danna Javiera Cicardini Correa  
Valeria Alejandra Aspee Sánchez

Copiapó, Chile 2024

## **AGRADECIMIENTOS**

A todos los funcionarios que nos ayudaron y facilitaron la realización de este proyecto en la Fundación Hernán Videla Lira, pese a los difíciles momentos por los que cada uno afrontaba debido al cierre causado por la modernización de la planta que fue su hogar por tantos años.

A nuestros familiares y amigos, quienes nos apoyaron y motivaron con una palabra de aliento para terminar este proyecto.

## ÍNDICE

<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Problema .....	1
1.2 Objetivo general .....	2
1.3 Objetivos específicos .....	2
1.4 Antecedentes del proyecto .....	2
1.5 Resumen de capítulo .....	3
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>4</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>4</b>
2.1 Energía fotovoltaica .....	4
2.1.1 Definición .....	4
2.1.2 Usos de la energía fotovoltaica .....	5
2.2 Explorador Solar .....	6
2.3 Eficiencia energética .....	7
2.3.1 Definición .....	7
2.4 RETScreen .....	8
2.5 Sunny Desing .....	9
2.6 Medidor de potencia.....	10
2.7 Pliegos técnicos RIC .....	11
<b>CAPÍTULO III</b> .....	<b>12</b>
<b>CONSUMO DE LAS OFICINAS ADMINISTRATIVAS</b> .....	<b>12</b>
3.1 Mediciones de potencia.....	12
3.2 Resumen de consumos diarios .....	13
<b>CAPÍTULO IV</b> .....	<b>15</b>

<b>DIMENSIONAMIENTO.....</b>	<b>15</b>
4.1 Conexionado actual.....	15
4.2 Ubicación del proyecto .....	17
4.3 Cálculo de los paneles solares fotovoltaicos.....	18
4.4 Resumen de la planta solar fotovoltaica.....	21
4.5 Conexionado de los equipos .....	22
4.5.1 Valores nominales del inversor y el panel solar fotovoltaico .....	23
4.5.2 Espacio disponible para la posible instalación .....	26
4.5.3 Distribución de la planta solar fotovoltaica.....	29
4.6 Cálculo de la sección del conductor.....	30
4.6.1 Cálculo para el conductor en CC.....	31
4.6.2 Cálculo para el conductor en CA .....	33
4.7 Comparación de datos con el software Sunny Desing .....	38
4.8 Dimensionamiento con software Sunny Desing .....	40
4.9 Cálculo de sección del conductor para la nueva planta solar fotovoltaica.....	43
4.9.1 Cálculo para el conductor en CC.....	44
4.9.2 Cálculo para el conductor en CA .....	46
4.10 Diseño de la planta solar fotovoltaica .....	47
<b>CAPÍTULO V.....</b>	<b>49</b>
<b>PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO .....</b>	<b>49</b>
5.1 Personal disponible para realizar el mantenimiento.....	49
5.2 Seguridad .....	49
5.2.1 Seguridad eléctrica .....	49
5.2.2 Seguridad en altura física .....	50
5.3 Mantenimiento preventivo .....	52

5.4 Mantenimiento correctivo .....	53
5.5 Mantenimiento predictivo .....	54
<b>CAPÍTULO VI .....</b>	<b>55</b>
<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS .....</b>	<b>55</b>
6.1 Recursos .....	55
6.2 Inversión aproximada.....	56
6.3 Análisis de costos.....	57
6.4 Beneficios económicos.....	61
6.5 Beneficios ambientales.....	61
<b>CAPÍTULO VIII.....</b>	<b>62</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>62</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>64</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>66</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 2.1: Esquema de energía solar fotovoltaica.....	5
Figura N° 2.2: Diagrama de celda fotovoltaica.....	6
Figura N° 2.3: Captura tomada del explorador solar. ....	7
Figura N° 2.4: Resumen norma ISO 50.001. ....	8
Figura N° 2.5: Pantalla principal de retscreen. ....	9
Figura N° 2.6: Pantalla principal de sunny desing.....	10
Figura N° 2.7: Medidor de potencia ABB, M1M 20. ....	10
Figura N° 4.1: Subestación 400 [kVA]. ....	15
Figura N° 4.2: Distribución de cargas en TDF de SS/EE 400 [kVA]. ....	17
Figura N° 4.3: Ubicación de la fundición, vista desde google earth.....	18
Figura N° 4.4: Parámetros geográficos de la ubicación del proyecto. ....	18
Figura N° 4.5: Ficha técnica panel fotovoltaico canadian solar 550 [W]. ....	19
Figura N° 4.6: Formulario de generación fotovoltaica del explorador solar. ....	20
Figura N° 4.7: Arreglo fotovoltaico y capacidad de inversor. ....	21
Figura N° 4.8: Resumen de generación de la planta solar fotovoltaica. ....	22
Figura N° 4.9: Ficha técnica inversor SMA, modelo sunny central 200. ....	23
Figura N° 4.10: Esquema del string fotovoltaico.....	25
Figura N° 4.11: Diagrama simplificado de un arreglo fotovoltaico. ....	26
Figura N° 4.12: Diagrama simplificado de la planta solar fotovoltaica.....	26
Figura N° 4.13: Vista aérea del taller de mantención. ....	27
Figura N° 4.14: Vista lateral del taller de mantención.....	28
Figura N° 4.15: Plano de distribución del taller de mantención. ....	28
Figura N° 4.16: Diagrama de distribución de la planta fotovoltaica. ....	30
Figura N° 4.17: Datos para dimensionamiento en software sunny desing. ....	38
Figura N° 4.18: Dimensionamiento del inversor. ....	39
Figura N° 4.19: Arreglos fotovoltaicos según software sunny desing.....	39
Figura N° 4.20: Pestaña de información de inversor discontinuado. ....	40
Figura N° 4.21: Listado de inversores disponibles en el mercado.....	40
Figura N° 4.22: Datos del inversor nuevo.....	41
Figura N° 4.23: Configuración de la planta solar fotovoltaica .....	42

con el nuevo modelo de inversor. ....	42
Figura N° 4.24: Configuración de un string fotovoltaico. ....	43
Figura N° 4.25: Conductor tipo H1Z2Z2-K cotizado. ....	45
Figura N° 4.26: Plano unilineal de la planta solar fotovoltaica. ....	48
Figura N° 5.1: Pasillo técnico y línea de vida. ....	51
Figura N° 5.2: Escalera tipo gato (vertical fija). ....	51
Figura N° 6.1: Pantalla principal del software retscreen.....	57
Figura N° 6.2: Datos meteorológicos entregados por retscreen.....	58
Figura N° 6.3: Datos de la planta solar fotovoltaica en retscreen. ....	59
Figura N° 6.4: Gastos energéticos asociados a la fundición HVL.....	60
Figura N° 6.5: Recuperación de inversión según retscreen. ....	60

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 3.1: Lecturas de consumo.....	12
Tabla N° 3.2: Consumos totales diarios.....	13
Tabla N° 3.3: Consumo semanal, mensual y diario.....	14
Tabla N° 4.1: Datos del inversor.....	24
Tabla N° 4.2: Datos del panel solar fotovoltaico.....	24
Tabla N° 4.3: Conexión de la planta solar fotovoltaica.....	25
Tabla N° 4.4: Dimensiones de paneles solares y techo taller mantención.....	29
Tabla N° 4.5: Extracto de tabla N°4.1 del pliego técnico normativo RIC N°04.....	32
Tabla N° 4.6: Extracto de tabla N° 4.2 del pliego RIC N° 04.....	33
Tabla N° 4.7: Extracto de tabla N° 4.2 del pliego RIC N° 04.....	35
Tabla N° 4.8: Extracto de los métodos de instalación del pliego RIC N° 04.....	36
Tabla N° 4.9: Extracto de tabla n° 4.4 del pliego técnico normativo RIC N° 04.....	37
Tabla N° 4.10: Extracto de tabla n° 4.1 del pliego técnico normativo RIC N° 04.....	44
Tabla N° 4.11: Corriente resistida por sección del conductor H1Z2Z2-K.....	45
Tabla N° 4.12: Extracto de tabla n° 4.4 del pliego técnico normativo RIC N° 04.....	47
Tabla N° 5.1: Plan de mantenimiento preventivo para la planta fotovoltaica.....	52
Tabla N° 5.2: Plan de mantenimiento correctivo para la planta fotovoltaica.....	53
Tabla N° 5.3: Plan de mantenimiento predictivo para la planta fotovoltaica.....	54
Tabla N° 6.1: Listado de recursos que se necesitan comprar.....	55
Tabla N° 6.2: Gasto de los artículos para armar la planta solar fotovoltaica.....	56

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. N° 4.1.....	34
Ec. N° 4.2.....	36

## **RESUMEN**

Paipote, Copiapó, región de Atacama, fue identificada como una de las zonas con los índices de radiación solar más altos del país. Dada esta condición, se propuso la instalación de una planta solar fotovoltaica para abastecer de energía a las oficinas administrativas de la Fundación Hernán Videla Lira, propiedad de ENAMI. El objetivo principal de este proyecto era implementar un sistema de generación fotovoltaica conectado a la red (On-Grid) que contribuyera a la sustentabilidad energética de la fundación. Se realizó un análisis exhaustivo del consumo energético de las instalaciones (antes de su cierre por modernización), seleccionando y dimensionando los paneles solares y equipos necesarios. Además, se desarrolló un plan de mantenimiento detallado. Para llevar a cabo este análisis, se utilizaron herramientas como el explorador solar, que permitió evaluar el potencial energético del sitio. Asimismo, se empleó un software especializado para dimensionar el sistema de manera óptima. El estudio financiero demostró que, a pesar de requerir una inversión inicial considerable, el proyecto ofrecía un retorno de inversión atractivo en un plazo razonable, gracias a los ahorros en costos energéticos y los beneficios ambientales asociados. Los beneficios económicos y medioambientales del proyecto fueron ampliamente discutidos, destacando los ahorros en los costos operativos y la contribución a la sustentabilidad energética.

**SOLAR FOTOVOLTAICA - ON - GRID - ENAMI**

## **ABSTRACT**

Paipote, Copiapó, Atacama region, was identified as one of the areas with the highest solar radiation rates in the country. Given this condition, the installation of a photovoltaic solar plant was proposed to supply energy to the administrative offices of the Hernán Videla Lira Foundry, owned by ENAMI. The main objective of this project was to implement a grid-connected photovoltaic generation system (On-Grid) that would contribute to the energy sustainability of the smelter. An exhaustive analysis of the energy consumption of the facilities was carried out (before their closure for modernization), selecting and sizing the solar panels and equipment needed. In addition, a detailed maintenance plan was developed. To carry out this analysis, tools such as the solar explorer were used, which made it possible to evaluate the energy potential of the site. Likewise, specialized software was used to size the system optimally. The financial study showed that, despite requiring a considerable initial investment, the project offered an attractive return on investment in a reasonable timeframe, thanks to the savings in energy costs and the associated environmental benefits. The economic and environmental benefits of the project were widely discussed, highlighting the savings in operating costs and the contribution to energy sustainability.

SOLAR PHOTOVOLTAIC - ON - GRID - ENAMI

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La región de Atacama es una de las regiones con mejor radiación solar de nuestro país, esto hace que cada vez sea más factible la incorporación de tecnologías de generación de energía solar, para proveer el consumo de las comunidades, empresas, instituciones educativas, etc. de manera limpia y renovable.

Este tipo de instalaciones contribuyen en diferentes ámbitos de nuestra sociedad, entregando beneficios sociales, económicos y ambientales, los cuales nos permiten mejorar la calidad de vida de los sectores beneficiados.

Esta es la razón de porqué este tipo de proyectos se ha masificado a nivel país y además ha sido el impulso del presente proyecto.

Este trabajo tiene como finalidad dar a conocer los pasos, procedimientos y equipos necesarios que nos permitirán realizar la propuesta de un sistema de generación fotovoltaico, que servirá para abastecer las oficinas administrativas y talleres de Fundición HVL.

### **1.1 Problema**

ENAMI (Empresa Nacional de Minería), es una empresa del Estado de Chile, que contribuye al fomento y sustentabilidad de la pequeña y mediana minería a lo largo de todo el país. Su Fundición Hernán Videla Lira, es la encargada de comprar el concentrado de cobre que entregan tanto mineras como pirquineros, para procesarlo y entregar como producto final ánodos de cobre, que luego son vendidos, fomentando así la economía de Copiapó y de toda la región de Atacama.

Considerando su privilegiada ubicación en una zona de altos índices de radiación solar, surge la oportunidad de aprovechar este recurso con la implementación de un sistema fotovoltaico On-Grid, que pueda energizar el área de oficinas administrativas. Esto permitirá que la fundación cuente con respaldo energético para las mencionadas áreas, apoyar en la sustentabilidad en el ámbito energético.

## **1.2 Objetivo general**

Proponer una planta solar fotovoltaica, con capacidad para alimentar oficinas administrativas de fundación Hernán Videla Lira, para apoyar la sustentabilidad en el ámbito energético.

## **1.3 Objetivos específicos**

- ✚ Describir los consumos de energía de las oficinas administrativas de fundación Hernán Videla Lira.
- ✚ Dimensionar la planta fotovoltaica On-Grid para las oficinas administrativas de fundación Hernán Videla Lira.
- ✚ Elaborar el plan de mantenimiento para planta fotovoltaica y gestión de sus residuos.
- ✚ Analizar los resultados de la propuesta técnico-económica.

## **1.4 Antecedentes del proyecto**

Este proyecto consiste en el dimensionamiento de una planta fotovoltaica On-Grid, y realizar la trazabilidad, viabilidad del proyecto y pronta recuperación de la inversión. Contemplando la entrega de cálculos y propuestas de mercado, todo dentro del marco de la normativa de instalación eléctrica. También se presenta un plan de mantención para la planta fotovoltaica, debido a la alta concentración de material particulado en la zona.

## **1.5 Resumen de capítulo**

El proyecto se encuentra organizado en 8 capítulos, que se describen a continuación:

En el capítulo II, se describe el marco teórico que define y expone la información necesaria para facilitar la comprensión de los argumentos técnicos utilizados en el desarrollo del proyecto, tales como, energía fotovoltaica, explorador solar, eficiencia energética, software Sunny Desing, entre otros.

En el capítulo III, se habla del consumo de las oficinas administrativas donde se presentan las mediciones de los consumos diarios de las oficinas administrativas realizados durante una semana.

En el capítulo IV, Dimensionamiento, se describe la ubicación del proyecto, conexionado existente y los cálculos para el dimensionamiento de la planta solar fotovoltaica a través del explorador solar, incluyendo los datos técnicos de los equipos, uso del software Sunny Desing para respaldar la propuesta y cálculos para cableado.

En el capítulo V, propuesta plan de mantenimiento se analiza el personal disponible para realizar los mantenimientos preventivo, predictivo y correctivo, además de incluir medidas de seguridad eléctrica y de trabajos en altura física.

En el capítulo VI, análisis de resultados, se realiza una comparación de gastos en consumo eléctrico y propuesta de inversión, considerando el costo por compra del suministro al actual proveedor, realizando un análisis comparativo a través del software RETScreen.

En el capítulo VII, conclusiones, se entrega un resumen de los hallazgos y conclusiones del proyecto, destacando los beneficios y la viabilidad del sistema solar fotovoltaico propuesto.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

Para la elaboración de un proyecto fotovoltaico se encuentran distintas áreas a las que realizar estudio previo para lograr su dimensionamiento. Por esta razón, se vuelve importante definir algunos de los conceptos claves que envuelven esas áreas de interés, tales como medio ambiente, energía fotovoltaica, eficiencia energética, así como las normativas vigentes.

#### **2.1 Energía fotovoltaica**

##### **2.1.1 Definición**

La APPA (Asociación de empresas de energías renovables), entrega la siguiente definición para energía fotovoltaica:

“La energía fotovoltaica es la transformación directa de la radiación solar en electricidad. Esta transformación se produce en unos dispositivos denominados paneles fotovoltaicos. En los paneles fotovoltaicos, la radiación solar excita los electrones de un dispositivo semiconductor generando una pequeña diferencia de potencial. La conexión en serie de estos dispositivos permite obtener diferencias de potencial mayores.”

En consecuencia, la energía fotovoltaica es una energía renovable, ya que aprovecha un elemento natural, los fotones que componen la luz del sol, para generar una energía más limpia y con bajo impacto ambiental.

En la figura N° 2.1 se muestra un esquema del funcionamiento de la energía solar fotovoltaica.



**Figura N° 2.1: Esquema de energía solar fotovoltaica.**

Fuente: Smart wallboxes (2023)

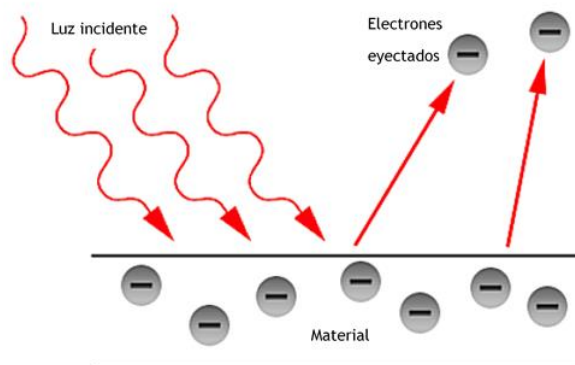
### **2.1.2 Usos de la energía fotovoltaica**

Según información entregada por el ministerio de energía:

“Desde tiempos remotos se han aprovechado los beneficios de la energía solar. Ya en 1830 el astrónomo británico John Herschel utilizó una caja con superficies reflectantes para cocinar alimentos durante una expedición en África.

En 1833, Fritts construyó la primera célula solar (posteriormente se llamó celda fotovoltaica), y en 1905 Einstein entregó la explicación teórica de su funcionamiento, conocida como efecto fotoeléctrico.”

En la figura N° 2.2 se observa el diagrama de funcionamiento de una celda fotovoltaica.



**Figura N° 2.2: Diagrama de celda fotovoltaica.**

Fuente: Seslab (2024)

Fue en los años 50 donde se empezaron a desarrollar estas celdas, generando su aplicación en satélites a finales de década, siendo el primero el satélite estadounidense “Vanguard I” (el más antiguo en órbita). Desde ahí, las celdas fotovoltaicas han ido perfeccionándose hasta lo que conocemos hoy en día.

En Chile, a partir del año 2012, se empezaron a ver los primeros proyectos fotovoltaicos y el país tiene una capacidad instalada a la red de 9.345 MW (según cifras entregadas por el Coordinador Eléctrico Nacional en febrero 2024).

## 2.2 Explorador Solar

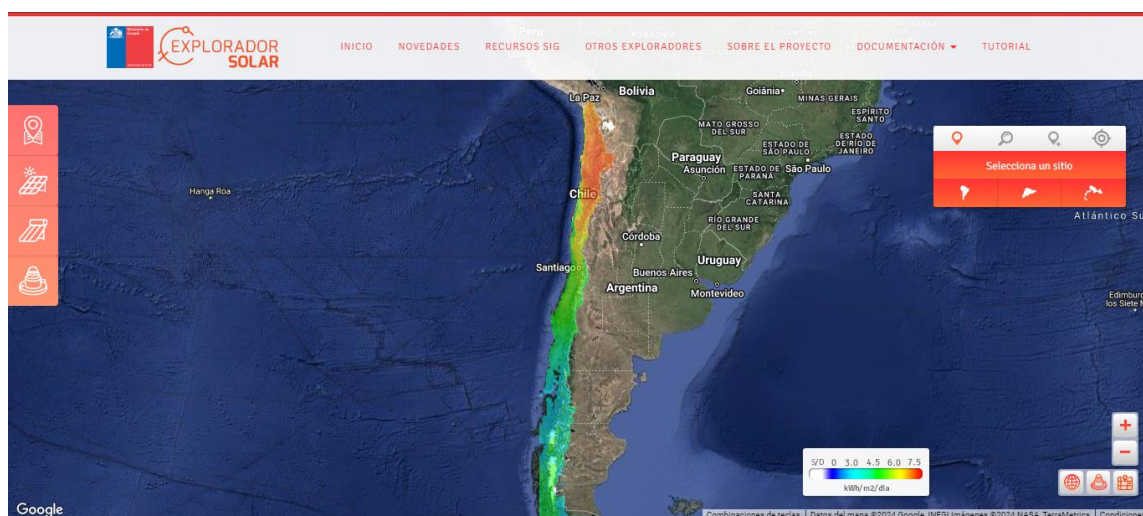
El ministerio de energía en conjunto con la Universidad de Chile, han puesto a disposición en línea y de manera gratuita, una herramienta geográfica llamada “Explorador Solar”.

Según la descripción del ministerio, esta “herramienta en línea destinada al análisis de los recursos renovables permiten, de manera gráfica, realizar una evaluación preliminar del potencial energético sobre cualquier sitio definido por el usuario”.

“En particular, el Explorador Solar presenta la información pública más detallada que existe actualmente sobre el recurso solar en Chile”.

“El Ministerio de Energía mantiene además una red de estaciones de medición de recursos meteorológicos, con fines energéticos, específicamente recurso eólico y solar”.

En la figura N° 2.3 se muestra la página web del Explorador Solar.



**Figura N° 2.3: Captura tomada del explorador solar.**

Fuente: Explorador solar (2024)

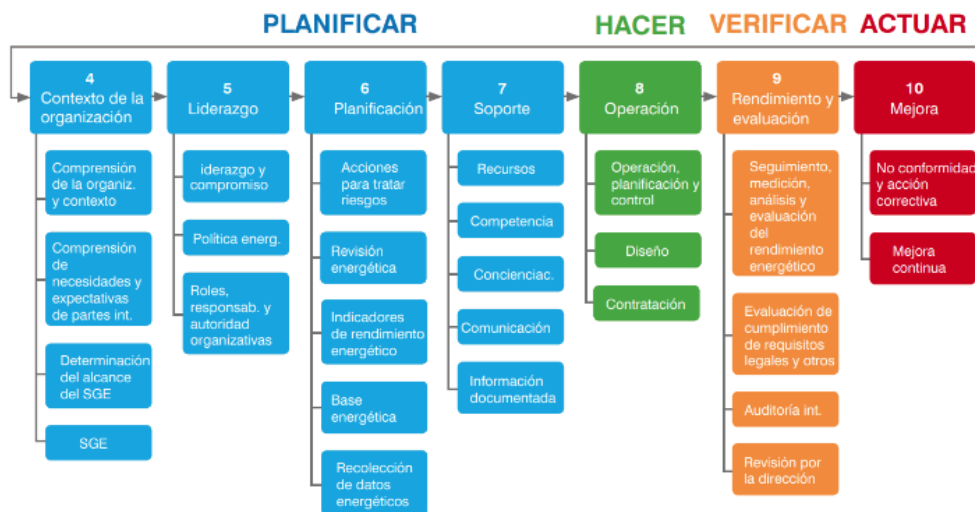
## 2.3 Eficiencia energética

### 2.3.1 Definición

EL Ministerio de Energía define la eficiencia energética como “Hacer un buen uso de la energía, utilizando menos energía para producir el mismo servicio o producto” ... “Usar eficientemente la energía, significa también no emplearla en actividades innecesarias y realizar lo que requiramos con el mínimo de consumo posible”.

Un ejemplo de esto sería el de incorporar un sistema de gestión energético en las empresas, de acuerdo con la normativa nacional e internacional ISO 50.001, reduciendo el impacto ambiental y alcanzando un desarrollo más sustentable.

En la figura N° 2.4 se muestra un esquema tipo resumen de cómo se aplica la norma ISO 50.001.



**Figura N° 2.4: Resumen Norma ISO 50.001.**

Fuente: Savvy data systems (2024)

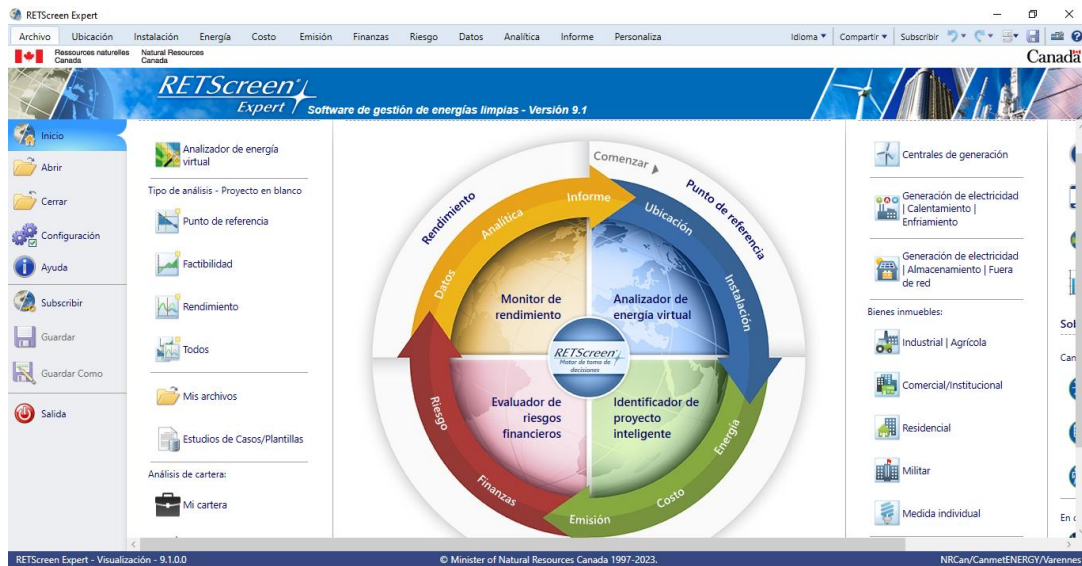
## 2.4 RETScreen

RETScreen es un software de gestión de energías limpias para el análisis de viabilidad de proyectos de eficiencia energética, energías renovables y cogeneración, así como para el análisis del rendimiento energético operativo.

RETScreen permite a los profesionales y los directivos identificar, evaluar y optimizar de forma rápida la viabilidad técnica y financiera de proyectos potenciales de energías limpias.

Esta plataforma de software experta inteligente de toma de decisiones también permite a los directivos medir y verificar fácilmente el rendimiento real de las instalaciones y facilita la detección de oportunidades adicionales de producción y ahorro de energía.

En la figura N° 2.5 se muestra la página principal del software RETScreen.



**Figura N° 2.5: Pantalla principal de RETScreen.**

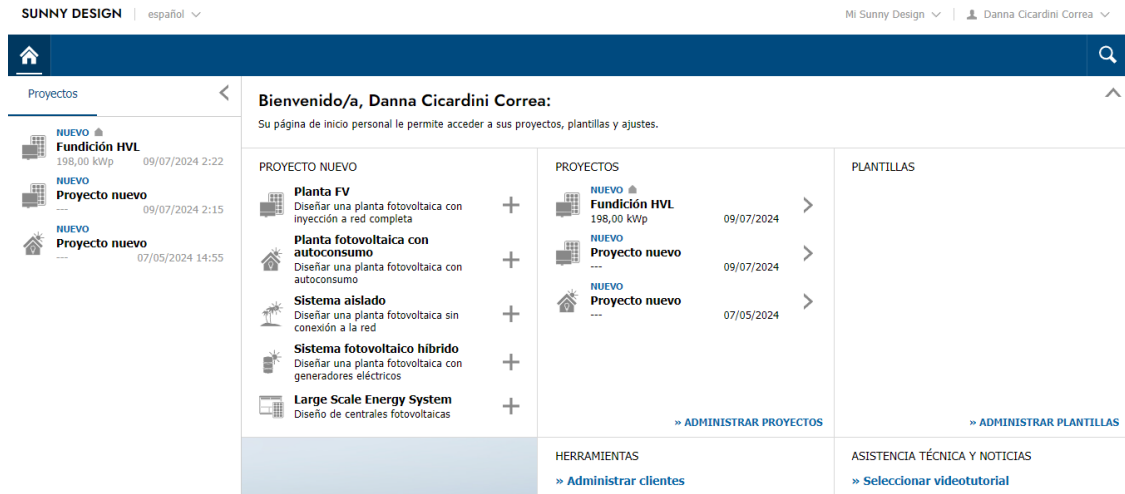
Fuente: Imagen propia.

## 2.5 Sunny Desing

Sunny Desing es un software de planificación para plantas solares fotovoltaicas, el cual emplea la gestión inteligente de la energía, ya sea que la planta se encuentre conectada o a la red, con o sin baterías.

También realiza la gestión de la movilidad eléctrica o sistemas híbridos, ya que cuenta con los requerimientos técnicos de cada uno de los componentes y permite evaluar los datos relevantes para la presentación económica de la instalación.

En la figura N° 2.6 se muestra la pantalla principal del software Sunny Desing.



**Figura N° 2.6: Pantalla principal de Sunny Desing.**

Fuente: Imagen propia.

## 2.6 Medidor de potencia

El equipo instalado de la marca ABB, modelo M1M 20, es un medidor de energía que se usa para aplicaciones básicas de análisis de calidad de la energía, como la gestión del factor de potencia, el control de la generación de energía local y que además tiene la capacidad de mostrar el valor de consumo, en [kWh], acumulado.



**Figura N° 2.7: Medidor de potencia ABB, M1M 20.**

Fuente: New ABB (2024)

## **2.7 Pliegos técnicos RIC**

Los pliegos de normas técnicas RIC, fueron dictados por la superintendencia de electricidad y combustible (SEC), previa aprobación de la Comisión Nacional de Energía, los cuales entregan los lineamientos para realizar instalaciones eléctricas en diferentes ámbitos, teniendo un total de 19 pliegos.






**CAPÍTULO III**  
**CONSUMO DE LAS OFICINAS ADMINISTRATIVAS**

**3.1 Mediciones de potencia**

Las oficinas correspondientes a la Fundación Hernán Videla Lira son energizadas desde un TDF (Tablero de fuerza), trifásico, por lo que se realizaron mediciones de consumo en terreno, utilizando un medidor de potencia instalado en el mismo tablero.

Estas mediciones fueron realizadas durante ocho días, yendo a leer el equipo en terreno, cada 24 horas, como se muestra en la tabla N° 3.1.

**Tabla N° 3.1: Lecturas de consumo.**

Fecha	Registro	Imagen	Consumo
Lunes 08/04/2024	278.356,3 [kWh]		
Martes 09/04/2024	279.451,3 [kWh]		1.095 [kWh]
Miércoles 10/04/2024	280.556,1 [kWh]		1.104,8 [kWh]
Jueves 11/04/2024	281.632 [kWh]		1.075,9 [kWh]
Viernes 12/04/2024	282.692,5 [kWh]		1.060,5 [kWh]

Sábado 13/04/2024	283.559,2 [kWh]		866,7 [kWh]
Domingo 14/04/2024	284.475 [kWh]		915,8 [kWh]
Lunes 15/04/2024	285.125,4 [kWh]		650,4 [kWh]

Fuente: Propia.

### 3.2 Resumen de consumos diarios

Una vez reunidos todos los datos de consumo diario, se procede a ordenarlos para su análisis. En la tabla N° 3.2 se aprecia un resumen de los valores de consumos diarios.

**Tabla N° 3.2: Consumos totales diarios.**

Día de medición	Consumo total kWh
Lunes	1.095
Martes	1.104,8
Miércoles	1.075,9
Jueves	1.060,5
Viernes	866,7
Sábado	915,8
Domingo	650,4
<b>Consumo semanal</b>	<b>6769,1</b>

Fuente: Propia.

Para el dimensionamiento de una planta solar fotovoltaica, se debe realizar un análisis más certero del consumo diario, para ello se deben promediar todos los consumos, como se explica a continuación.

En la tabla N° 3.3 se muestran los siguientes valores:

- ✚ El valor de consumo semanal, que es la sumatoria de las mediciones mostradas anteriormente.
- ✚ El valor de consumo mensual, que es el consumo promedio diario, multiplicado por 30 días.
- ✚ Y el valor de consumo diario, que es el promedio de consumo por día.

**Tabla N° 3.3: Consumo semanal, mensual y diario.**

Consumo semanal	Consumo mensual	Consumo diario
6.769,1 [kWh]	29.010,43 [kWh]	967,014 [kWh]

Fuente: Propia.

Para efectos de este estudio, se utilizará el valor promedio diario de consumo.

Una vez analizadas las mediciones y determinado el consumo promedio de las cargas, se procede a dimensionar la planta solar fotovoltaica.

## **CAPÍTULO IV**

### **DIMENSIONAMIENTO**

Se deben evaluar distintas variables para realizar el dimensionamiento de una planta solar fotovoltaica, estas se detallan a continuación.

#### **4.1 Conexionado actual**

Actualmente desde la subestación denominada SS/EE 400 [kVA], se alimentan las oficinas administrativas más importantes (Planificación, superintendencia y gerencia), además del taller de mantenimiento, policlínico, y alumbrado exterior. Esta subestación tiene una tensión de 400 [V] y cuenta con un interruptor de 1000 [A].

En la figura N° 4.1 se muestra dicha subestación.



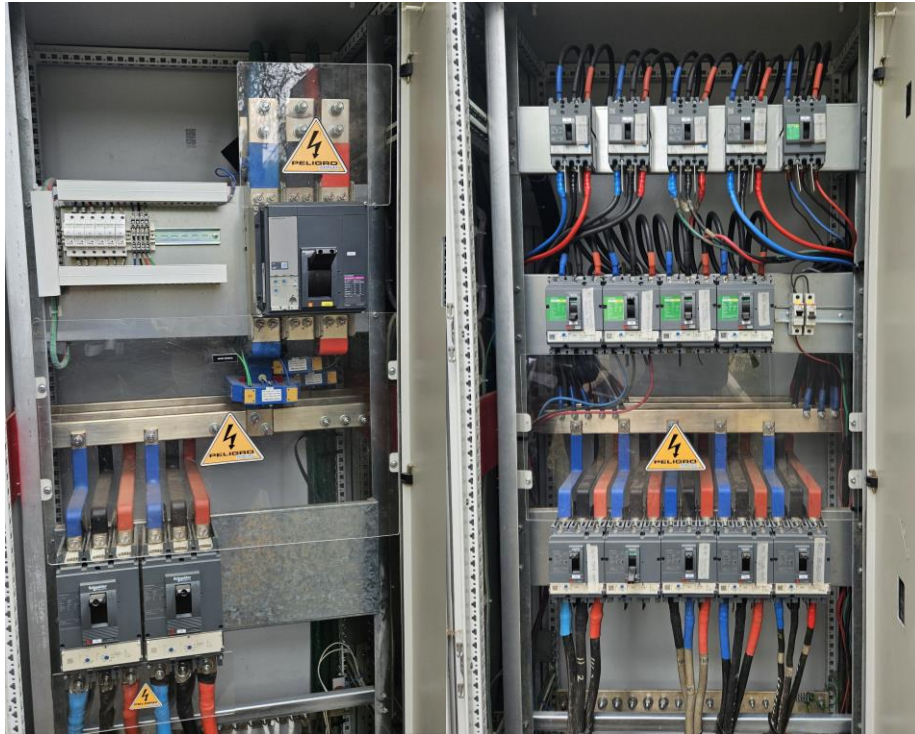
**Figura N° 4.1: Subestación 400 [kVA].**

Fuente: Imagen propia.

En cuanto a las cargas de la subestación, su distribución se encuentra en la siguiente lista:

- ✚ **Q1:** El consumo en el Pique 8 es de alumbrado, ya que esa área se encuentra fuera de servicio.
  
- ✚ **Q2:** El consumo del TDF 3 de mantención eléctrica se debe más al uso de enchufes en el taller y a alguna que otra prueba de motores.
  
- ✚ **Q3:** Como su nombre indica, su consumo es el del alumbrado de todo el exterior del taller.
  
- ✚ **Q4:** El policlínico tiene un consumo más ligado a equipos de oficina, exceptuando por el equipo de refrigeración de medicamentos.
  
- ✚ **Q6:** En planificación el consumo es de equipos de oficina.
  
- ✚ **Q9:** El consumo de la superintendencia también es de equipos de oficina.
  
- ✚ **Q12 y Q15:** El consumo de los TDF de mantención mecánica son en su mayoría de máquinas soldadoras y herramientas de corte.
  
- ✚ **Q16:** En gerencia también se tiene un consumo de equipos de oficina.

En la figura N° 4.2 se puede apreciar la distribución en terreno de las cargas mencionadas en la tabla N° 4.1.



**Figura N° 4.2: Distribución de cargas en TDF de SS/EE 400 [kVA].**

Fuente: Imagen propia.

## **4.2 Ubicación del proyecto**

La Fundación Hernán Videla Lira, se encuentra en la comuna de Copiapó, región de Atacama.

Su ubicación en el norte del país, le da una ventaja para la generación de energía solar fotovoltaica, ya que la zona en donde se encuentran posee unas de las radiaciones más altas del país.

La figura N° 4.3 muestra una imagen satelital de la ubicación de la Fundación H.V.L.



**Figura N° 4.3: Ubicación de la fundición, vista desde Google Earth.**

Fuente: Google Earth (2024)

En la figura N° 4.4 se muestran las coordenadas geográficas de la ubicación exacta donde irá la planta solar fotovoltaica, estas coordenadas servirán para extraer los datos de radiación desde el explorador solar

LATITUD	LONGITUD
-27,4183	-70,2588

**Figura N° 4.4: Parámetros geográficos de la ubicación del proyecto.**

Fuente: Explorador Solar (2024)

### 4.3 Cálculo de los paneles solares fotovoltaicos

Para el cálculo de la cantidad de paneles solares, se utilizará el explorador solar en la sección de generación fotovoltaica.

Para ello, primero se identifica qué panel solar se va a utilizar. Se considerará la siguiente opción de mercado, CanadianSolar, panel monocristalino de 550 [W].

En la figura N° 4.5, se muestra la hoja de datos del panel solar fotovoltaico y se resaltan los datos que solicita el explorador solar para calcular la planta.

Además, indica que los paneles entregan una tensión de 41,7 [V] y una corriente de 13,2 [A], esos datos se usarán después para definir el tipo de conexionado y el arreglo.

ELECTRICAL DATA   STC*						
CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS	555MS
Nominal Max. Power (Pmax)	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W	555 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	40.9 V	41.1 V	41.3 V	41.5 V	41.7 V	41.9 V
Opt. Operating Current (Imp)	12.96 A	13.02 A	13.08 A	13.14 A	13.20 A	13.25 A
Open Circuit Voltage (Voc)	48.8 V	49.0 V	49.2 V	49.4 V	49.6 V	49.8 V
Short Circuit Current (Isc)	13.80 A	13.85 A	13.90 A	13.95 A	14.00 A	14.05 A
Module Efficiency	20.7%	20.9%	21.1%	21.3%	21.5%	21.6%
Operating Temperature	-40°C ~ +85°C					
Max. System Voltage	1500V (IEC/UL) or 1000V (IEC/UL)					
Module Fire Performance	TYPE 1 (UL 61730 1500V) or TYPE 2 (UL 61730 1000V) or CLASS C (IEC 61730)					
Max. Series Fuse Rating	25 A					
Application Classification	Class A					
Power Tolerance	0 ~ + 10 W					

\* Under Standard Test Conditions (STC) of irradiance of 1000 W/m<sup>2</sup>, spectrum AM 1.5 and cell temperature of 25°C.

MECHANICAL DATA	
Specification	Data
Cell Type	Mono-crystalline
Cell Arrangement	144 [2 x (12 x 6)]
Dimensions	2261 × 1134 × 30 mm (89.0 × 44.6 × 1.18 in)
Weight	27.6 kg (60.8 lbs)
Front Cover	3.2 mm tempered glass with anti-reflective coating
Frame	Anodized aluminium alloy
J-Box	IP68, 3 bypass diodes
Cable	4 mm <sup>2</sup> (IEC), 12 AWG (UL)
Cable Length (Including Connector)	410 mm (16.1 in) (+) / 290 mm (11.4 in) (-) or customized length*
Connector	T6 or MC4-EVO2
Per Pallet	35 pieces
Per Container (40' HQ)	700 pieces

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

ELECTRICAL DATA   NMOT*						
CS6W	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS	555MS
Nominal Max. Power (Pmax)	397 W	401 W	405 W	409 W	412 W	416 W
Opt. Operating Voltage (Vmp)	38.3 V	38.5 V	38.7 V	38.9 V	39.1 V	39.3 V
Opt. Operating Current (Imp)	10.38 A	10.42 A	10.47 A	10.52 A	10.55 A	10.59 A
Open Circuit Voltage (Voc)	46.1 V	46.3 V	46.5 V	46.7 V	46.9 V	47.1 V
Short Circuit Current (Isc)	11.13 A	11.17 A	11.21 A	11.25 A	11.29 A	11.33 A

\* Under Nominal Module Operating Temperature (NMOT), irradiance of 800 W/m<sup>2</sup> spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s.

TEMPERATURE CHARACTERISTICS	
Specification	Data
Temperature Coefficient (Pmax)	-0.34 % / °C
Temperature Coefficient (Voc)	-0.26 % / °C
Temperature Coefficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominal Module Operating Temperature	41 ± 3°C

**Figura N° 4.5: Ficha técnica panel fotovoltaico Canadian Solar 550 [W].**

Fuente: Tritec Center (2024)

Una vez seleccionado el panel solar fotovoltaico, se procede a llenar el formulario en el explorador solar, esto se muestra en la figura N° 4.6.

**GENERACIÓN ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA**

FORMULARIO    RESULTADOS Y GRÁFICOS    DESCARGAR RESULTADOS

**SELECCIONE MODELO DE GENERACIÓN**

Monofacial Modelo Básico

Monofacial Modelo Avanzado

Bifacial

**CARACTERÍSTICAS DEL PANEL FOTOVOLTAICO**

Datos paneles fotovoltaicos SEC

Ingresar datos paneles fotovoltaicos

Número de celdas por panel:

Voltaje de Máxima Potencia (Vmp):  V

Corriente de Máxima Potencia (Imp):  A

Coefficientes de temperatura

Voltaje de circuito abierto (Voc):  V     %/°C     mV/°C

Corriente de cortocircuito (Isc):  A     %/°C     mA/°C

**Figura N° 4.6: Formulario de generación fotovoltaica del Explorador Solar.**

Fuente: Explorador Solar (2024)

En la figura N° 4.7, se muestra el resultado del arreglo fotovoltaico, además de indicar la capacidad de potencia del inversor que sirve para este sistema solar fotovoltaico.

Por lo tanto, esta planta de generación fotovoltaica consistirá en 360 paneles con una potencia de generación de 550 [W] y un inversor de 200 [kW] de capacidad.

The screenshot shows a web application interface for solar calculations. At the top, there is a red header with the text 'GENERACIÓN ELÉCTRICA FOTOVOLTAICA' and a question mark icon. Below the header, there are three tabs: 'FORMULARIO' (selected), 'RESULTADOS Y GRÁFICOS', and 'DESCARGAR RESULTADOS'. The main content area is divided into sections:

- CARACTERÍSTICAS DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO:**
  - Número total de paneles: 360
  - Capacidad total instalada: 198,16 kW
  - Tipo de Montaje: Estructura Aislada
  - Inclinación (°): 27
  - Azimut (°): 0
  - Button: OPTIMIZAR ÁNGULOS
- INVERSOR:**
  - Capacidad del inversor (kW): 200
  - Eficiencia del Inversor (%): 96
- PÉRDIDAS:**
  - Factor de Pérdidas del sistema fotovoltaico (%): 14

**Figura N° 4.7: Arreglo fotovoltaico y capacidad de inversor.**

Fuente: Explorador Solar (2024)

#### 4.4 Resumen de la planta solar fotovoltaica

El explorador solar también entrega un resumen de la planta de generación solar fotovoltaica, donde se observa que la generación total diaria es de 983,93 [kWh], lo que conlleva una generación anual de 359.134 [kWh].

Además, se muestra un gráfico con los valores de generación mensuales.

Véase la figura N° 4.8.



**Figura N° 4.8: Resumen de generación de la planta solar fotovoltaica.**

Fuente: Explorador Solar (2024)

Si bien en el capítulo anterior se calculó un consumo diario aproximado de 967,014 [kWh], el que la planta solar fotovoltaica entregue 983 [kWh] no correspondería a un sobredimensionamiento, debido a que el tablero deriva a otros equipos (además de las oficinas), por lo que la potencia generada se puede desviar a la carga más grande.

#### 4.5 Conexionado de los equipos

Para el conexionado se deben establecer los valores nominales entregados por los paneles, considerar los valores de input y output del inversor, el espacio disponible para una posible instalación, la distribución de los paneles y el dimensionamiento del cable a utilizar.

### 4.5.1 Valores nominales del inversor y el panel solar fotovoltaico

Para el inversor trifásico se propone utilizar el de la marca SMA, modelo Sunny Central 200, esto debido a que es una de las marcas líderes del mercado. Su ficha técnica se muestra en la figura N° 4.9.

Datos técnicos	Sunny Central 200
<b>Valores de entrada</b>	
Potencia nominal de CC	210 kW
Potencia máxima de CC	230 kWp <sup>1)</sup>
Rango de tensión MPP	450 V - 820 V <sup>5)</sup>
Tensión máx. de CC	880 V
Corriente continua máx.	472 A
No. de entradas de CC	5
<b>Parámetros de salida</b>	
Potencia nominal de CA	200 kW
Potencia máx. de CA	200 kW
Tensión nominal de CA	400 V
Corriente nominal de CA	289 A
Frecuencia de red de CA 50 Hz	●
Frecuencia de red de CA 60 Hz	●
Máx. cos φ	> 0,98
Coefficiente de distorsión máx.	< 3 %
<b>Consumo de potencia</b>	
Autoconsumo en funcionamiento	< 1000 W
Consumo en stand-by	< 70 W
Tensión auxiliar externa	230 V, 50/60Hz
Fusible de entrada exterior para alimentación auxiliar	B 16 A, 1 polos
<b>Dimensiones y peso</b>	
Altura	2120 mm <sup>4)</sup>
Ancho	2000 mm
Profundidad	850 mm
Peso	1600 kg

**Figura N° 4.9: Ficha técnica inversor SMA, modelo Sunny Central 200.**

Fuente: SMA (2024)

En la tabla N° 4.1 se muestran de forma resumida, los valores necesarios del inversor, para poder dimensionar la planta solar fotovoltaica.

**Tabla N° 4.1: Datos del inversor.**

Inversor SMA Sunny Central 200			
	Potencia [kW]	Voltaje	Corriente
Entradas (5)	210	450 - 820 [V]	472 [A] máx
Salida	200	400 [V]	289 [A]

Fuente: Propia.

Los datos de la tabla N° 4.1, muestran que el inversor cuenta con 5 entradas de CC, cada entrada puede ser ocupada por un arreglo fotovoltaico. También indica que los arreglos fotovoltaicos no pueden generar menos de 450 [V] ni más de 820 [V], además, tampoco pueden entregar más de 472 [A].

Los paneles solares fotovoltaicos fueron mostrados anteriormente, por lo que a continuación se muestra una tabla con un resumen de los datos necesarios para armar los arreglos.

La tabla N° 4.2 indica la cantidad de paneles solares fotovoltaicos necesarios y la tensión, corriente y potencia

**Tabla N° 4.2: Datos del panel solar fotovoltaico.**

Paneles			
Cantidad	Voltaje (Vmp) [V]	Corriente (Imp) [A]	Potencia [W]
360	41,7	13,2	550

Fuente: Propia.

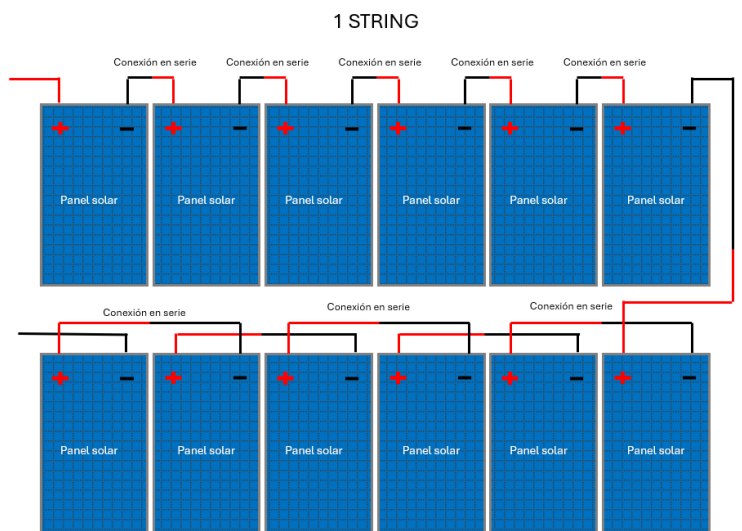
Con los datos anteriores se llega a la conclusión de que la planta solar fotovoltaica quedará ordenada como se muestra en la tabla N° 4.3:

**Tabla N° 4.3: Conexión de la planta solar fotovoltaica.**

Conexión planta solar fotovoltaica			
String	6	Paneles por String	12
Arreglos	5	Paneles por arreglo	72
Total de paneles conectados		360	
Corriente total en CC		79,2 [A]	
Voltaje total en CC		500 [V]	

Fuente: Propia.

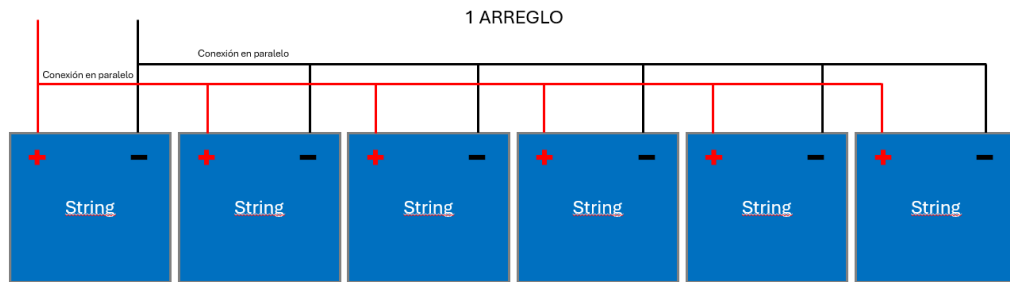
En otras palabras, primero se conectarán 12 paneles solares fotovoltaicos en serie, formando 1 string, como se muestra en la figura N° 4.10, cada string entregará 13,2 [A] y 500 [V] en CC.



**Figura N° 4.10: Esquema del string fotovoltaico.**

Fuente: Imagen propia.

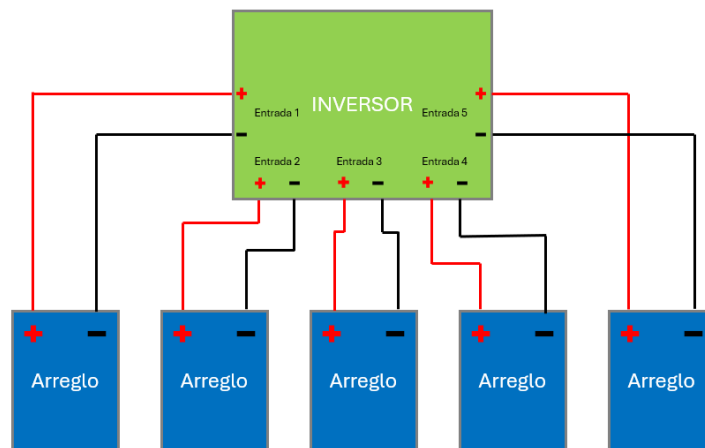
Luego, se conectarán 6 string en paralelo, formando 1 arreglo fotovoltaico, como se muestra en la figura N° 4.11, cada arreglo entregará 79,2 [A] y 500 [V] en CC.



**Figura N° 4.11: Diagrama simplificado de un arreglo fotovoltaico.**

Fuente: Imagen propia.

Finalmente, la planta solar fotovoltaica contará con 5 arreglos, uno para cada entrada del inversor. Esto se muestra en la figura N° 4.12.



**Figura N° 4.12: Diagrama simplificado de la planta solar fotovoltaica.**

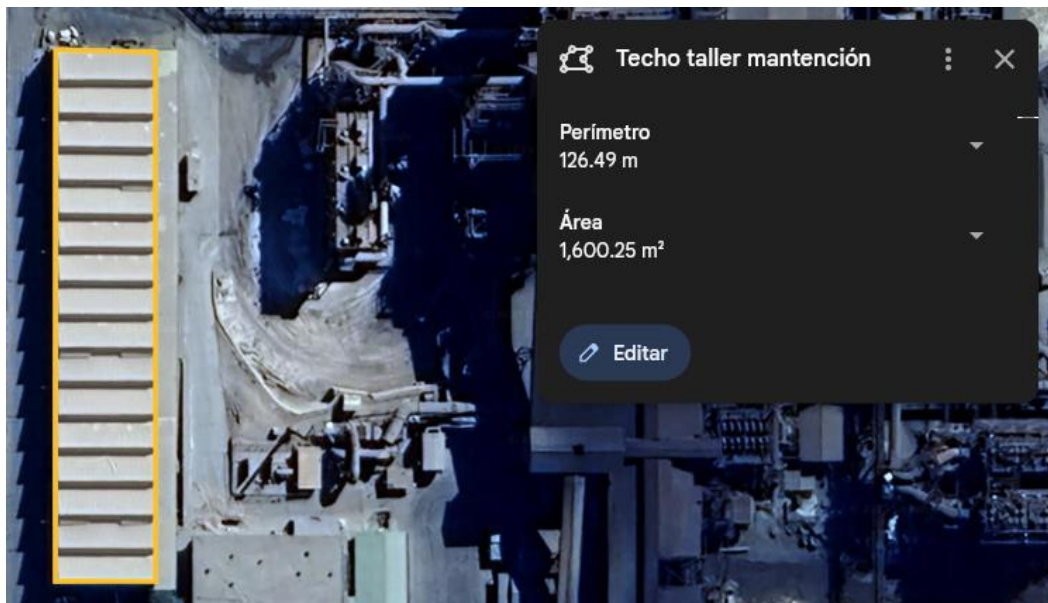
Fuente: Imagen propia.

#### 4.5.2 Espacio disponible para la posible instalación

Como se mencionó en capítulos anteriores, se planea instalar la planta solar fotovoltaica en el techo del taller de mantenimiento.

Esta elección se debe a la cercanía de la Subestación de 400 [kVA], área disponible, diseño del techo (con inclinación), dirección de éste mismo (dirección norte), y al tipo de material que está construido, ya que está compuesto puramente de metal, con vigas firmes que soportan el peso de más de 6 toneladas, que es lo que soporta el puente grúa disponible en este mismo taller.

En la figura N° 4.13 se aprecia una vista aérea del taller de mantención y el área disponible para una futura construcción. Además, se observa que el taller tiene unas estructuras en el techo, las que son perfectas para una planta solar fotovoltaica.



**Figura N° 4.13: Vista aérea del taller de mantención.**

Fuente: Google Earth (2024)

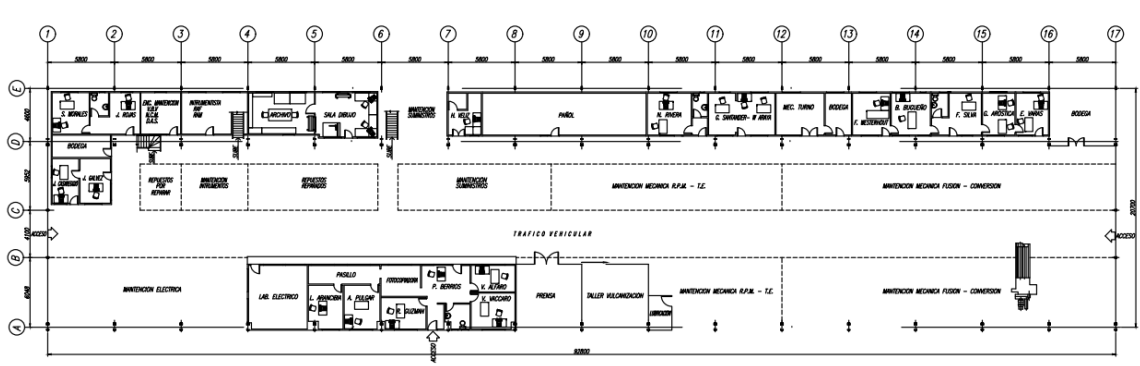
Como se aprecia en la figura N° 4.14, el techo del taller cuenta con 16 estructuras triangulares, formadas por ventanas en la cara sur y calaminas por la cara norte, lo que le da la forma perfecta para instalar paneles solares fotovoltaicos.



**Figura N° 4.14: Vista lateral del taller de mantención.**

Fuente: Imagen propia.

Cada uno de estos “triángulos” miden de largo 5,80 [m] y de ancho 20,70 [m] (lo mismo que el ancho del taller), lo que da un área de 120,06 [m<sup>2</sup>] (por cada triángulo), para la instalación de los paneles, esto se puede observar en la figura N° 4.15.



**Figura N° 4.15: Plano de distribución del taller de mantención.**

Fuente: Unidad de ingeniería de la Fundición HVL.

### 4.5.3 Distribución de la planta solar fotovoltaica

En este punto, se necesita ordenar de la manera más eficiente el conexionado de los paneles, para que quepan todos en el lugar designado para su posible instalación. En la tabla N° 4.4 se muestran las dimensiones necesarias para ello.

**Tabla N° 4.4: Dimensiones de paneles solares y techo taller mantención.**

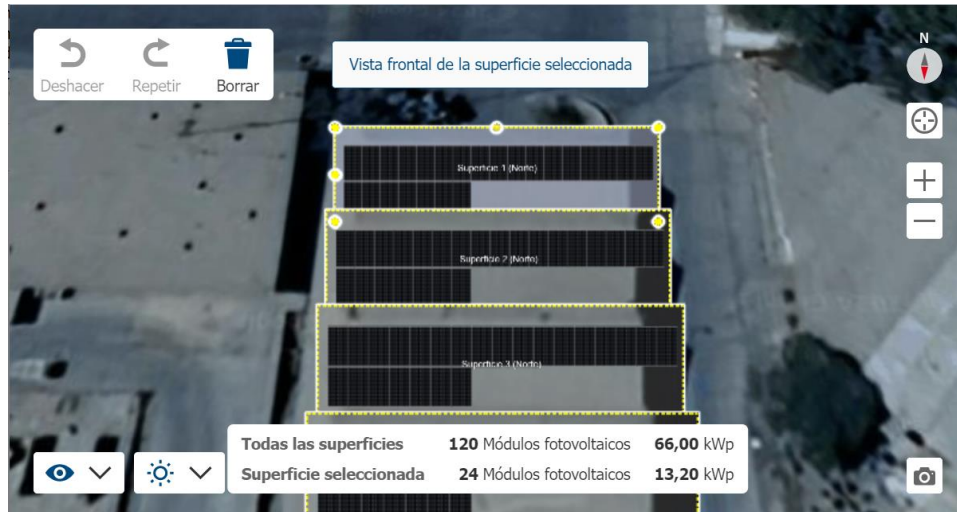
DIMENSIONES	
Panel solar	Techo
2,26 [m] x 1,13 [m]	20,7 [m] x 5,8 [m]

Fuente: Propia.

Estas dimensiones se utilizarán en el software Sunny Desing, para dibujar una figura a escala del techo del taller de mantención, donde se instalarán (también a escala), los paneles solares fotovoltaicos. Esto arrojará una imagen representativa de la distribución de la planta solar fotovoltaica.

Teniendo en cuenta que el techo del taller de mantención cuenta con 16 estructuras disponibles para instalar los paneles solares fotovoltaicos, si se conectan 24 paneles por cada estructura (o como string, 2 de estos por estructura), como se muestra en la figura N° 4.16, se tendrán que usar 15 de estas para completar el total de 360 paneles solares fotovoltaicos con los que cuenta la planta.

Cabe destacar que el software no permite dibujar más de 5 estructuras, por lo que la cantidad total de módulos fotovoltaicos y la potencia total representados en la figura N° 4.16 no son el total del proyecto completo.



**Figura N° 4.16: Diagrama de distribución de la planta fotovoltaica.**

Fuente: Sunny Design (2024)

#### 4.6 Cálculo de la sección del conductor

Para transportar la energía desde los arreglos fotovoltaicos hasta el inversor y desde este hacia la subestación, se necesita saber la sección de cable para la parte de CC y CA del sistema solar fotovoltaico.

Para ello, se utilizan como guía las Instrucciones Técnicas RGR N°05 “Diseño y ejecución de las instalaciones de cogeneración eficiente conectadas a redes de distribución”.

En este instructivo, en el punto 10, se habla de los conductores y canalización donde indica, en la sección 10.1, que “todos los conductores deberán ser canalizados en conformidad a los métodos establecidos en el Pliego Técnico Normativo RIC N°04”.

Para generalidades, en el Pliego RIC N°04, punto 6, se habla de conductores.

#### 4.6.1 Cálculo para el conductor en CC

Para calcular la sección de conductor necesaria para transportar la energía desde los arreglos fotovoltaicos hasta el inversor, se utilizará la ecuación N°4.1, que muestra cómo calcular la sección de un conductor en la parte de corriente continua. La fórmula utilizada es la misma que se usa para un cálculo de cable monofásico.

$$S = \frac{2 * L * I * \rho_{cu}}{V_p} \quad (\text{Ec. N}^\circ 4.1)$$

Donde:

- ✚ S es la sección de cable a calcular [mm<sup>2</sup>].
- ✚ L corresponde a la longitud por fase del cable necesario [m].
- ✚ I: es la corriente entregada por el arreglo fotovoltaico C.C. [A].
- ✚ V<sub>p</sub>: es la tensión de pérdida, en este caso se considera un 2 % de la suministrada, ya que en el Instructivo Técnico RGR, punto 10.6 sugiere una pérdida inferior al 3 % para todo el sistema solar.
- ✚ ρ<sub>cu</sub>: corresponde a la constante de resistividad del material del conductor, en este caso 0,018 para el cobre.

Reemplazando en la ecuación N° 4.1:

$$S = \frac{2 * 43,5 * 79,2 * 0,018}{10} = 12,40 \text{ [mm}^2\text{]}$$

De acuerdo con el resultado, el cable mínimo necesario es de 12,40 [mm<sup>2</sup>].

Al revisar el Pliego Técnico Normativo RIC N°04, tabla N°4.1, la sección más cercana es de 13,3 [mm<sup>2</sup>] para cables AWG, como se aprecia en la tabla N° 4.5.

**Tabla N° 4.5: Extracto de tabla N°4.1 del Pliego Técnico Normativo RIC N°04.**

Sección nominal [mm²]	Sección en sistema americano [AWG] ó [kcmil]	Resistencia eléctrica máxima en corriente continua a 20 °C [ohm/km]		
		Conductores sólidos (a)	Conductores concéntricos, comprimidos o compactados (a)	Conductores flexibles (b)
1,31	16	13,5	13,7	14,9
1,5	-	12,1	12,1	13,3
2,08	14	8,45	8,62	9,58
2,5	-	7,41	7,41	7,98
3,31	12	5,31	5,43	5,98
4	-	4,61	4,61	4,95
5,26	10	3,34	3,41	3,76
6	-	3,08	3,08	3,30
8,37	8	2,10	2,14	2,28
10	-	1,83	1,83	1,91
13,3	6	-	1,35	1,46
16	-	-	1,15	1,21
21,1	4	-	0,85	0,92
25	-	-	0,73	0,78
26,7	3	-	0,67	0,73

Fuente: Pliego Técnico Normativo RIC N°04. (2021)

Por lo tanto, se usarán dos conductores de 6 AWG (positivo y negativo) para la transmisión de energía desde los arreglos fotovoltaicos hacia el inversor.

En cuanto a las características constructivas del conductor, se utilizará el cable H1Z2Z2-K, que es específico para instalaciones solares fotovoltaicas y apto para corriente continua.

Este cable es descrito en la tabla N° 4.2 del Pliego Técnico Normativo RIC N° 04, que se muestra a continuación en la tabla N° 4.6.

**Tabla N° 4.6: Extracto de tabla N° 4.2 del pliego RIC N° 04.**

Características constructivas	Letras de identificación	Condiciones de uso	Máxima temperatura de servicio [°C]	Espesor de aislamiento		Tensión de servicio [V]	Material aislamiento	Material cubierta exterior
				Sección nominal [mm <sup>2</sup> ]	Espesor [mm]			
Cables para instalaciones solares fotovoltaicas que han sido diseñados para resistir las exigentes condiciones ambientales que se producen en cualquier tipo de instalación fotovoltaica, ya sea fija, móvil, sobre tejado o de integración arquitectónica, conductor de cobre electrolítico estañado, clase 5 flexible, aislación libre de halógenos, cubierta ignífuga, resistencia a los impactos, a las grasas y aceites, resistencia a abrasión, resistencia a temperaturas ambientales extremas, rayos ultravioletas y al agua, No propagación de la llama Resistencia a los ataques químicos, Temperatura mínima de servicio: -40°C Temperatura máxima del conductor: 120°C Temperatura máxima en cortocircuito: 250°C (máximo 5 s)	H1Z2Z2-K	Cables flexibles aptos para servicios móviles y para instalación fija en tejado o de integración arquitectónica. Adecuados para la conexión entre paneles fotovoltaicos y desde los paneles al inversor de corriente continua a alterna. No puede ser usado en instalaciones Subterráneas	90	1x1,5	4,3	1800 V DC 600/1000 V AC	Elastómero termoestable libre de halógenos (Z) o Goma libre de halógenos (tipo XLEVA según UL / tipo EI6 según TÜV).	Elastómero termoestable libre de halógenos (Z) o Goma ignífuga (tipo XLEVA según UL / tipo EM8 según TÜV).
				1x2,5	5			
				1x4	5,8			
				1x6	6,6			
				1x10	8			
				1x16	8,8			
				1x25	10,5			
				1x35	11,8			

Fuente: Pliego Técnico Normativo RIC N° 04. (2021)

Entre las características más importantes, este conductor soporta voltaje máximo de 1800 [VDC], es apto para instalaciones en techumbre, resistente para diversas condiciones ambientales, aislación libre de halógenos, su cubierta es ignífuga, resistente a temperaturas ambientales extremas, rayos UV y agua, con un soporte máximo de temperatura de servicio de 120°C.

#### 4.6.2 Cálculo para el conductor en CA

Para calcular la sección de conductor que se necesita para transportar la energía desde el inversor hasta la subestación, se utilizará la ecuación N° 4.2, que muestra cómo calcular la sección de un conductor en la parte de corriente alterna.

La fórmula utilizada es la misma que se usa para un cálculo de cable trifásico.

$$S = \frac{L * I * \rho_{cu}}{V_p} \quad (\text{Ec. N° 4.2})$$

Donde:

- ✚ S es la sección de cable a calcular [mm<sup>2</sup>].
- ✚ L corresponde a la longitud por fase del cable necesario [m].
- ✚ I: es la corriente entregada por el inversor en C.A. [A].
- ✚ V<sub>p</sub>: es la tensión de pérdida, en este caso se considera un 2 % de la suministrada, ya que en el Instructivo Técnico RGR, punto 10.6 sugiere una pérdida inferior al 3 % para todo el sistema solar.
- ✚ ρ<sub>cu</sub>: corresponde a la constante de resistividad del material del conductor, en este caso 0,018 para el cobre.

Reemplazando en la ecuación N° 4.2:

$$S = \frac{150 * 289 * 0,018}{8} = \Rightarrow 97,54 \text{ [mm}^2\text{]}$$

De acuerdo con el resultado, el cable necesario es de 97,54 [mm<sup>2</sup>].

Antes de pasar a revisar la tabla con las secciones, se debe identificar el tipo de cable en cuanto a las características constructivas de este, por lo tanto, se utilizará el cable RZ1-K, que es apto como alimentador de circuitos de baja tensión y para ser usado en lugares de reunión de personas, esto más que nada porque el cable debe pasar por el taller de mantención y por fuera del casino

Este cable es descrito en la tabla N° 4.2 del Pliego Técnico Normativo RIC N° 04, que se muestra a continuación en la tabla N° 4.7.

**Tabla N° 4.7: Extracto de tabla N° 4.2 del pliego RIC N° 04.**

Características constructivas	Letras de identificación	Condiciones de uso	Máxima temperatura de servicio [°C]	Espesor de aislamiento		Tensión de servicio [V]	Material aislamiento	Material cubierta exterior
				Sección nominal [mm²]	Espesor [mm]			
Conductor eléctrico unipolar o multipolar, sin armadura ni pantalla, retardante a la llama, no propagador de incendio, con baja emisión de gases tóxicos, baja opacidad de humos y bajo índice de acidez de los gases de combustión; construido de cobre recocido, desnudo o recubierto de una capa metálica; cableado, con aislación de polietileno reticulado (XLPE) y cubierta de material termoplástico tipo ST8, libre de halógenos.	RZ1	Apto para ser usado en lugares de reunión de personas. Puede ser instalado en ductos, en bandejas, en escalerillas, en canastillo, al aire libre y subterráneo. En circuitos de distribución en baja tensión, como alimentador o subalimentador.	90	1,5 a 16	0,7	600/1000	XLPE	Termoplástico libre de halógenos, retardante a la llama, de baja emisión de humos.
				21,2 a 35	0,9			
				42,2 a 53,5	1,0			
				67,4 a 95	1,1			
				107 a 127	1,2			
				150	1,4			
				177 a 185	1,6			
				240 a 253	1,7			
				300	1,8			
				380 a 400	2,0			
500 a 630	2,2							
Conductor eléctrico unipolar o multipolar, sin armadura ni pantalla, retardante a la llama, no propagador de incendio, con baja emisión de gases tóxicos, baja opacidad de humos y bajo índice de acidez de los gases de combustión; construido de cobre recocido, desnudo o recubierto de una capa metálica; flexible clase 5, con aislación de polietileno reticulado (XLPE) y cubierta de material termoplástico tipo ST8, libre de halógenos.	RZ1-K	Apto para ser usado en lugares de reunión de personas. Puede ser instalado en ductos, en bandejas, en escalerillas, en canastillo, al aire libre y subterráneo. En circuitos de distribución en baja tensión, como alimentador o subalimentador flexible para instalación fija.	90	1,5 a 16	0,7	600/1000	XLPE	Termoplástico libre de halógenos, retardante a la llama, de baja emisión de humos.
				21,2 a 35	0,9			
				42,2 a 53,5	1,0			
				67,4 a 95	1,1			
				107 a 127	1,2			
				150	1,4			
				177 a 185	1,6			
				240 a 253	1,7			
				300	1,8			
				380 a 400	2,0			
500 a 630	2,2							

Fuente: Pliego Técnico Normativo RIC N° 04. (2021)

Entre las características más importantes, este conductor soporta voltaje máximo de 1000 [V], tiene aislación de polietileno reticulado y cubierta de termoplástico, adecuado para usarse al aire libre, soporta una temperatura máxima de servicio de 90°C y es retardante de llamas, no propagador de incendio y de baja emisión de gases.

Luego, se debe definir el método de instalación según sus características, esto se muestra en la tabla N° 4.8.

**Tabla N° 4.8: Extracto de los métodos de instalación del pliego RIC N° 04.**

Método de instalación A1:	Hasta tres conductores monopolares con carga, instalados en ductos embutidos en paredes.
Método de instalación A2:	Cables multiconductores (3 conductores con carga) instalados en ductos embutidos en paredes.
Método de instalación B1:	Hasta tres conductores monopolares instalados en ductos o en bandejas adosadas a paredes.
Método de instalación B2:	Cables multiconductores (3 conductores con carga) instalados en ductos o en bandejas adosadas a paredes.
Método de instalación D1:	Cables monoconductores o multiconductores (3 conductores con carga) instalados en ductos enterrados.
Método de instalación D2:	Cables con cubierta, monoconductores o multiconductores (3 conductores con carga) instalados directamente enterrados.
Método de instalación E:	Cables multiconductores (3 conductores con carga) instalados libremente al aire, en escalerillas porta conductores o en canastillos porta conductores o en bandejas perforadas.
Método de instalación F:	Cables monoconductores (3 conductores con carga), en contacto y en disposición plana, instalados libremente al aire, en escalerillas porta conductores o en canastillos porta conductores o en bandejas perforadas. Para instalaciones enterradas se considera una profundidad de 0,7 metros y una resistividad térmica del suelo de 1 K*m/W.

Fuente: Pliego Técnico Normativo RIC N° 04. (2021)

De acuerdo con lo visto con anterioridad y a lo analizado en la descripción de la tabla mostrada, se utilizará el método de instalación E, que es para multiconductores, de hasta 3 conductores, instalados al aire libre.

Ahora si, al tener definido el tipo de conductor y su método de instalación, se puede revisar el Pliego Técnico Normativo RIC N° 04, en la tabla N° 4.4, donde señala que el tipo de cable es el RZ1-K.

Para la sección calculada de 94,7 [mm<sup>2</sup>], la dimensión más cercana es de 107,2 [mm<sup>2</sup>] para cables AWG, como se aprecia en la tabla N° 4.9.

**Tabla N° 4.9: Extracto de tabla N° 4.4 del Pliego Técnico Normativo RIC N° 04.**

CABLES PARA TENDIDO FIJO TEMPERATURA DE SERVICIO 90°C. APLICA a THHN, RV, RV-K, RZ1, RZ1-K.					
Sección nominal [mm <sup>2</sup> ]	Sección en sistema americano [AWG] o [kcmil]	D1	D2	Method E	Method F
		Método de instalación D1. Temp. ambiente 20°C	Método de instalación D2. Temp. ambiente 20°C	Método de instalación E. Temp. ambiente 30°C	Método de instalación F. Temp. ambiente 30°C
1,5	-	19	23	19	-
2,08	14	30	31	28	-
2,5	-	33	38	32	-
3,31	12	38	39	38	-
4	-	42	59	42	42
5,26	10	48	69	50	50
6	-	52	74	54	55
8,37	8	63	89	67	68
10	-	68	98	75	77
13,3	6	80	114	89	93
16	-	89	126	100	105
21,1	4	103	147	114	126
25	-	113	161	127	141
26,7	3	117	167	133	147
33,6	2	132	189	154	172
35	-	136	194	158	176
42,4	1	150	216	178	200
50	-	159	230	192	216
53,5	1/0	170	245	207	234
67,4	2/0	192	278	240	273
70	-	197	282	246	279
85	3/0	218	315	278	318
95	-	232	339	298	342
107,2	4/0	248	362	322	371
120	-	263	386	346	400
126,7	250	270	396	358	415
150	-	296	431	399	464

Fuente: Pliego Técnico Normativo RIC N°04. (2021)

Por lo tanto, se usarán tres conductores de 4/0 AWG para la transmisión de energía desde el inversor hacia la subestación.

A continuación, para asegurarse de que el cable seleccionado se encuentra bien dimensionado, hay que fijarse en la misma tabla, en la columna que diga “Método de instalación E”.

Ahí nos indica que el conductor soporta hasta 322 [A], por lo que no es necesario hacer más cálculos, como se indica en el punto 6.2.6 del Pliego Técnico RIC N° 04.

## 4.7 Comparación de datos con el software Sunny Desing



Para corroborar que los cálculos de dimensionamiento estén correctos, se utilizará el software Sunny Desing, de la empresa SMA.

Este programa se encuentra de manera online y gratuita, a través de la página web de la misma empresa y permite calcular una planta solar fotovoltaica conectada a la red. Para ello, se introduce la potencia a instalar, el modelo de panel solar, la ubicación del proyecto, el inversor (de la marca), entre otros datos.

En la primera parte se introduce el modelo de panel solar fotovoltaico y la potencia necesaria a instalar, como se muestra en la figura N° 4.17.

**Generadores FV** (1 Generador(es) fotovoltaico(s), 360 módulo(s) fotovoltaico(s), 198 kWp) ^

Aquí puede realizar el diseño de generadores fotovoltaicos a través de una planificación visual del tejado o llevar a cabo una planificación manual.

Nombre	Fabricante/Módulo fotovoltaico/Equipo electrónico de módulos	Número de módulos FV/potencia pico	Orientación/tipo de montaje
1 Generador FV 1	Canadian Solar Inc. CS6W-550MS HiKu6 (1000V) (UL) (01/2021)	360 módulos FV 198,00 kWp	 0° 45° 

[+ Añadir un generador](#)

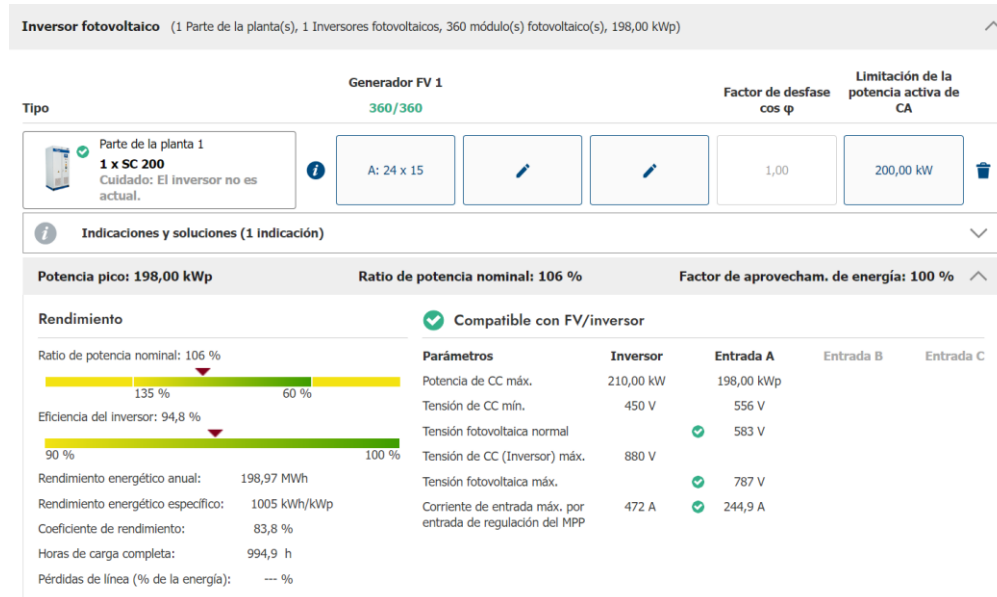
**Figura N° 4.17: Datos para dimensionamiento en software Sunny Desing.**

Fuente: Sunny Design. (2024)

Como se puede apreciar, en comparación con los cálculos realizados por el explorador solar, estos son correctos en cuanto a la cantidad de paneles solares fotovoltaicos necesarios (360 paneles), para la generación de aproximadamente 200 [kWh].

A continuación, buscando el modelo de inversor calculado, el software arrojará los arreglos de paneles solares fotovoltaicos, además de corroborar si el inversor está bien calculado.

En la figura N° 4.18 se muestra el dimensionamiento del inversor fotovoltaico.



**Figura N° 4.18: Dimensionamiento del inversor.**

Fuente: Sunny Design. (2024)

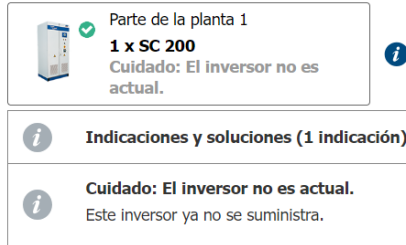
El software arroja que el inversor Sunny Central 200 se encuentra bien dimensionado para la planta solar fotovoltaica. Además, los paneles solares fotovoltaicos se deben ordenar de la siguiente manera, como se muestra en la figura N° 4.19.

Entrada	Generador FV	Strings	Módulos fotovoltaicos	Total
A	Generador FV 1	< 24 > (1...35)	X < 15 > (12...16)	360

**Figura N° 4.19: Arreglos fotovoltaicos según software Sunny Desing.**

Fuente: Sunny Design. (2024)

Lamentablemente, el software informa que el inversor que se consideró en un principio para el dimensionamiento se encuentra discontinuado, como se muestra en la figura N° 4.20.



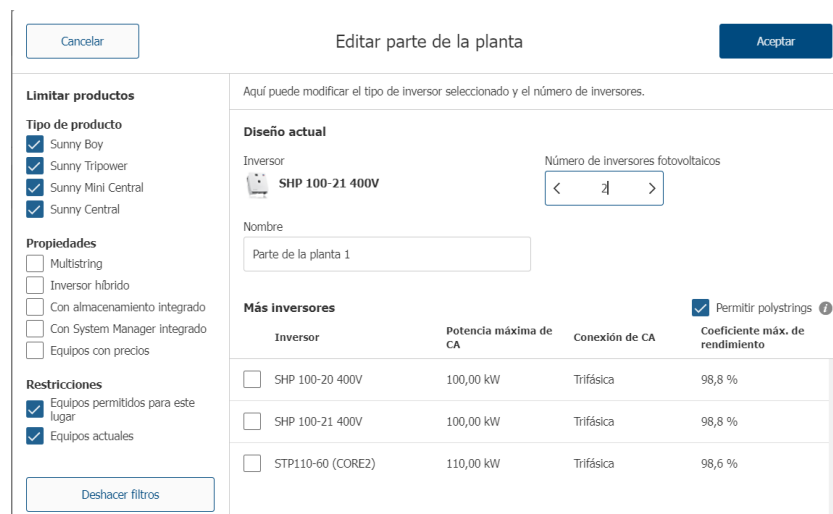
**Figura N° 4.20: Pestaña de información de inversor descontinuado.**

Fuente: Sunny Design. (2024)

Es por esto por lo que se evaluará otra opción, que entrega el mismo software Sunny Desing, con inversores actuales.

#### 4.8 Dimensionamiento con software Sunny Desing

Para dimensionar la planta solar fotovoltaica desde el software, se continuará con la misma marca y cantidad de paneles solares fotovoltaicos calculados anteriormente (CanadianSolar CS6W-550MS), y se empezará desde la búsqueda de un inversor que se encuentre en el mercado. Como se muestra en la figura N° 4.21.



**Figura N° 4.21: Listado de inversores disponibles en el mercado.**

Fuente: Sunny Design. (2024)

Como se puede apreciar, el inversor seleccionado es el SHP 100-21 400V. Ahora, el software arrojará los datos técnicos de este, que se muestran en la figura N° 4.22.

X

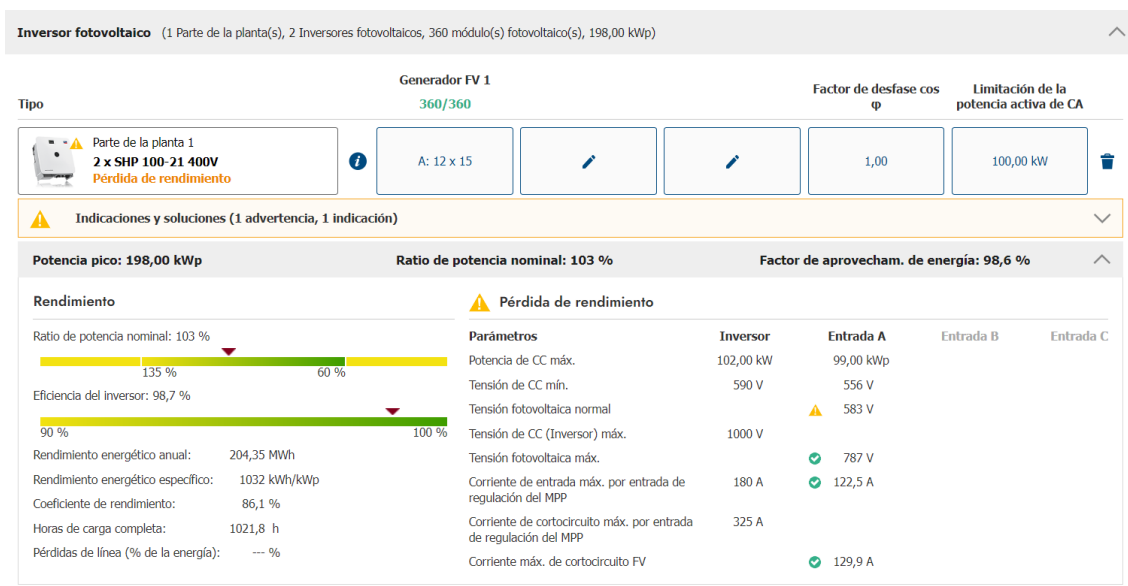
Información del inversor			
Inversor	SHP 100-21 400V	Valores de entrada	
<b>Datos generales</b>		Potencia máxima de CC	102,00 kW
Clase de protección	IP65	Potencia del generador fotovoltaico máx.	150,00 kW
Anchura	770 mm	Tensión de entrada máx.	1000 V
Altura	833 mm	Tensión asignada de entrada	590 V
Fondo	444 mm	Tensión de entrada mín.	570 V
Peso	98,0 kg	Tensión de arranque	625 V
<b>Rendimiento</b>		Tensión máx. del MPP	1000 V
Coefficiente máx. de rendimiento	98,8 %	Corriente de entrada máx. por entrada de regulación del MPP	180 A
Rendimiento europeo	98,6 %	Corriente de cortocircuito máx. por entrada de regulación del MPP	325 A
		Strings por entrada del MPP	9999
		<b>Valores de salida</b>	
		Potencia aparente de CA máx.	100,00 kVA
		Potencia activa máx. de CA	100,00 kW
		Potencia asignada	100,00 kW
		Factor de desfase mín. (cantidad)	0,0
		Rango de tensión nominal de CA	304–477 V
		Frecuencia de red de CA	44–66 Hz
		Fases de inyección	3

**Figura N° 4.22: Datos del inversor nuevo.**

Fuente: Sunny Design. (2024)

De igual forma, como se mostró con anterioridad, el software arroja el modelo de inversor, que es el Sunny Highpower Peak 3. Pero como este modelo entrega una potencia de 100 [kW], para una planta solar fotovoltaica de 200 [kW], se deben considerar 2.

Además, el software permite elegir la mejor opción para los arreglos de los paneles solares fotovoltaicos, esto se observa en la figura N° 4.23.



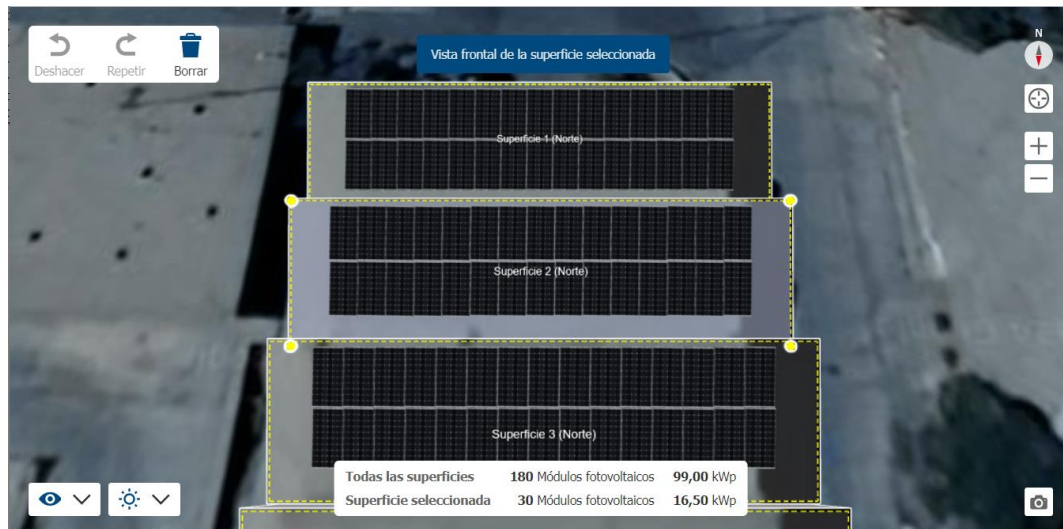
**Figura N° 4.23: Configuración de la planta solar fotovoltaica con el nuevo modelo de inversor.**

Fuente: Sunny Design. (2024)

La conexión de la planta solar fotovoltaica será de 12 string, con 15 paneles fotovoltaicos conectados por cada string. Estos string serán luego conectados en paralelo, dejando al final 1 arreglo por cada inversor.

Estos arreglos entregarán una corriente de 122,5 [A] y un voltaje de 583 [V], que, según el software, estaría por debajo de la nominal de 590 [V], pero debido a la alta radiación de la zona, esos 7 [V] de diferencia no influyen en el rendimiento del inversor.

A continuación, en la figura N° 4.24. se muestra la distribución de los string en el techo del taller de mantenimiento para 1 inversor, quedando 2 string por estructura del techo, ocupando 6 estructuras. En total son 180 paneles solares fotovoltaicos para 1 arreglo.



**Figura N° 4.24 Configuración de un string fotovoltaico.**

Fuente: Sunny Design. (2024)

Para explicarlo mejor, la planta completa, que consta de 2 inversores y 360 paneles solares fotovoltaicos, ocuparían 12 de las 16 estructuras del techo.

#### **4.9 Cálculo de sección del conductor para la nueva planta solar fotovoltaica**

Al igual que los cálculos anteriores, se necesita transportar la energía desde los arreglos fotovoltaicos hasta el inversor y desde este hacia la subestación, por lo que se requiere saber la sección de cable necesaria para la parte de CC y CA del sistema solar fotovoltaico. Estos se deben calcular de nuevo debido a que cambiaron los valores de tensión y corriente con este nuevo diseño.

Para ello, se seguirán los mismos pasos, guiándose por las mismas normativas y pliegos técnicos: Pliego Técnico Normativo RIC N°04 e Instructivo Técnico RGR N°05.

#### 4.9.1 Cálculo para el conductor en CC

Para calcular la sección de conductor que se necesita para transportar la energía desde los arreglos fotovoltaicos hasta el inversor, se utilizará la ecuación N° 4.1, mostrada con anterioridad.

Reemplazando en la ecuación N° 4.1:

$$S = \frac{2 * 43,5 * 122,5 * 0,018}{11,66} = 16,45 \text{ [mm}^2\text{]}$$

De acuerdo con el resultado, el cable necesario es de 16,45 [mm<sup>2</sup>].

Al revisar el Pliego Técnico Normativo RIC N° 04, tabla N° 4.1, la sección más cercana es de 21,1 [mm<sup>2</sup>] para cables AWG o de 25 [mm<sup>2</sup>], como se aprecia en la tabla N° 4.10.

**Tabla N° 4.10: Extracto de tabla N° 4.1 del Pliego Técnico Normativo RIC N° 04.**

Sección nominal [mm <sup>2</sup> ]	Sección en sistema americano [AWG] ó [kcmil]	Resistencia eléctrica máxima en corriente continua a 20 °C [ohm/km]		
		Conductores sólidos (a)	Conductores concéntricos, comprimidos o compactados (a)	Conductores flexibles (b)
1,31	16	13,5	13,7	14,9
1,5	-	12,1	12,1	13,3
2,08	14	8,45	8,62	9,58
2,5	-	7,41	7,41	7,98
3,31	12	5,31	5,43	5,98
4	-	4,61	4,61	4,95
5,26	10	3,34	3,41	3,76
6	-	3,08	3,08	3,30
8,37	8	2,10	2,14	2,28
10	-	1,83	1,83	1,91
13,3	6	-	1,35	1,46
16	-	-	1,15	1,21
21,1	4	-	0,85	0,92
25	-	-	0,73	0,78
26,7	3	-	0,67	0,73
33,6	2	-	0,53	0,58

Fuente: Pliego Técnico Normativo RIC N° 04. (2024)

Por lo tanto, se usarán dos conductores de 4 AWG o de 25 [mm<sup>2</sup>] para la transmisión de energía desde los arreglos fotovoltaicos hacia el inversor.

En cuanto a las características constructivas del conductor, se utilizará el cable H1Z2Z2-K, que es específico para instalaciones solares fotovoltaicas y apto para corriente continua, como se explicó con anterioridad.

En el Pliego Técnico Normativo RIC N°04 no se menciona la corriente que soporta el conductor del tipo H1Z2Z2-K, por lo que se procede buscar el cable con proveedores para revisar la tabla de corriente soportada. En la figura N° 4.25 se muestra el cable cotizado.



**Figura N° 4.25: Conductor tipo H1Z2Z2-K cotizado.**

Fuente: Leader Solar. (2024)

En la siguiente tabla N° 4.11 se muestran las dimensiones del conductor y la corriente que resiste.

**Tabla N° 4.11: Corriente resistida por sección del conductor H1Z2Z2-K**

Construcción	Construcción de conductores	Conductor	Exterior	Resistencia máxima	Capacidad de carga actual
n×mm <sup>2</sup>	n×mm	milímetros	milímetros	Ω/Km	A
(16 AWG) 1 × 1,5	30×0,25	1,58	4.90	13.3	30
(14 AWG) 1 × 2,5	50×0,256	2.06	5.45	7,98	41
(12 AWG) 1 × 4,0	56×0,3	2.58	6.15	4.75	55
(10AWG)1×6	84×0,3	3.15	7.15	3.39	70
(8AWG)1×10	142×0,3	4.0	9.05	1,95	98
(6AWG)1×16	228×0,3	5.7	10.2	1.24	132
(4AWG)1×25	361×0,3	6.8	12.0	0,795	176
(2AWG)1×35	494×0,3	8.8	13.8	0.565	218
(1/0AWG)1×50	418×0,39	10.0	16.0	0.393	280
(2/0AWG)1×70	589×0,39	11.8	18.4	0,277	350

Fuente: Leader Solar. (2024)

Como se puede observar, el conductor de 4 AWG resiste una corriente de 176 [A], lo que confirma que se encuentra bien dimensionado, ya que la corriente máxima que entregan los paneles es de 122,5 [A].

Esto también cumple con lo expuesto en el Instructivo Técnico RGR N° 05, inciso 9.1.3, donde indica que “Los conductores deberán ser dimensionados para conducir no menos que el 110 % de la corriente máxima”

#### **4.9.2 Cálculo para el conductor en CA**

Para calcular la sección de conductor necesario para transportar la energía desde el inversor hasta la subestación, se utilizará la ecuación N° 4.2, que se mostró con anterioridad.

Reemplazando en la ecuación N° 4.2:

$$S = \frac{150 * 122,5 * 0,018}{8} = \Rightarrow 50,96 \text{ [mm}^2\text{]}$$

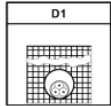
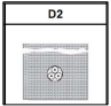
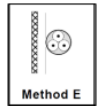
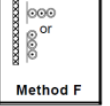
De acuerdo con el resultado dado, el cable necesario es de 50,96 [mm<sup>2</sup>].

Se mantendrá el tipo de cable, RZ1-K y también se utilizará el método de instalación E.

Con esto definido, se revisa el Pliego Técnico Normativo RIC N° 04, en la tabla N° 4.4, donde señala que el tipo de cable es el RZ1-K.

Para la sección calculada de 50,96 [mm<sup>2</sup>], la dimensión más cercana es de 50 [mm<sup>2</sup>] o de 53,5 [mm<sup>2</sup>] para cables AWG, como se aprecia en la tabla N° 4.12.

**Tabla N° 4.12: Extracto de tabla N° 4.4 del Pliego Técnico Normativo RIC N° 04.**

CABLES PARA TENDIDO FIJO TEMPERATURA DE SERVICIO 90°C. APLICA a THHN, RV, RV-K,RZ1, RZ1-K.					
Sección nominal [mm <sup>2</sup> ]	Sección en sistema americano [AWG] o [kcmil]	 Método de instalación D1. Temp. ambiente 20°C	 Método de instalación D2. Temp. ambiente 20°C	 Method E Método de instalación E. Temp. ambiente 30°C	 Method F Método de instalación F. Temp. ambiente 30°C
1,5	-	19	23	19	-
2,08	14	30	31	28	-
2,5	-	33	38	32	-
3,31	12	38	39	38	-
4	-	42	59	42	42
5,26	10	48	69	50	50
6	-	52	74	54	55
8,37	8	63	89	67	68
10	-	68	98	75	77
13,3	6	80	114	89	93
16	-	89	126	100	105
21,1	4	103	147	114	126
25	-	113	161	127	141
26,7	3	117	167	133	147
33,6	2	132	189	154	172
35	-	136	194	158	176
42,4	1	150	216	178	200
50	-	159	230	192	216
53,5	1/0	170	245	207	234
67,4	2/0	192	278	240	273
70	-	197	282	246	279

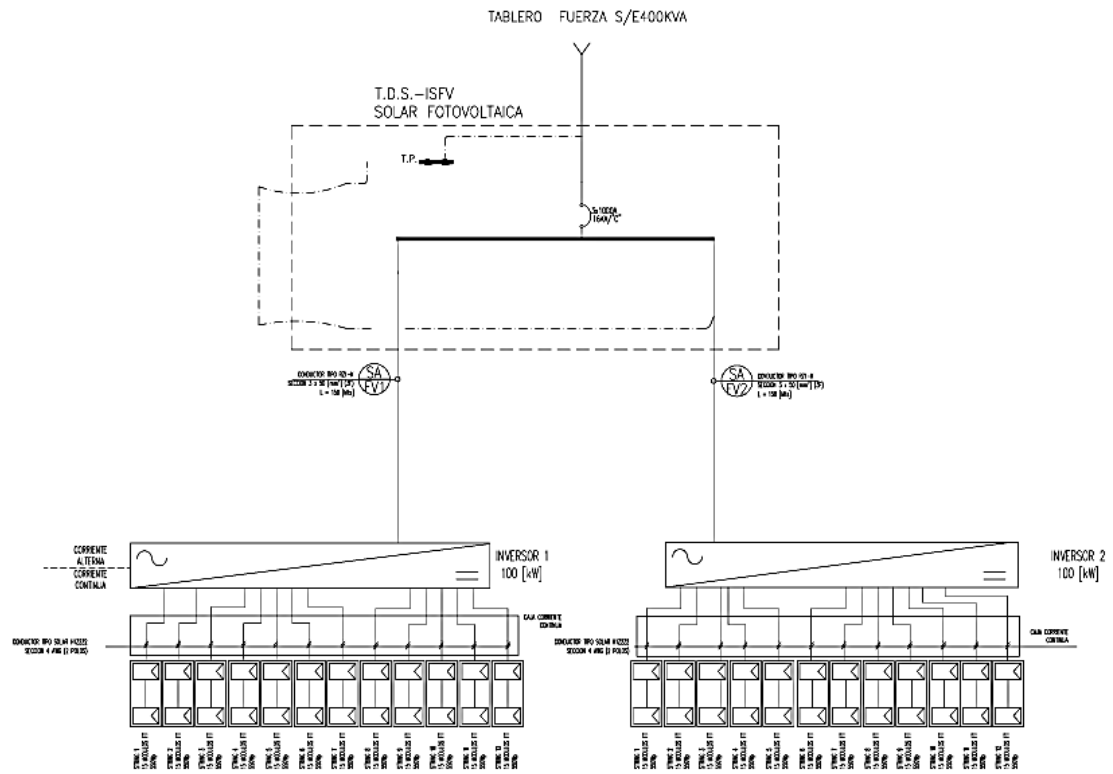
Fuente: Pliego Técnico Normativo RIC N° 04. (2024)

Por lo tanto, se podrían usar tres conductores de 1/0 AWG o de 50 [mm<sup>2</sup>] para la transmisión de energía desde un inversor hacia la subestación.

A continuación, para asegurarse de que el cable seleccionado se encuentra bien dimensionado, hay que fijarse en la misma tabla, en la columna que diga “Método de instalación E”. Ahí nos indica que el conductor soporta desde 192 [A] hasta 207 [A], por lo que no es necesario hacer más cálculos.

#### 4.10 Diseño de la planta solar fotovoltaica

Finalmente, se procede a dibujar en autocad el diseño de la planta solar fotovoltaica, mostrando los string y arreglos fotovoltaicos, así como los inversores y sus conexiones. Ver la figura N° 4.26.



**Figura N° 4.26: Plano unilineal de la planta solar fotovoltaica.**

Fuente: Imagen propia

## **CAPÍTULO V**

### **PROPUESTA DE PLAN DE MANTENIMIENTO**

Los sistemas solares fotovoltaicos rara vez producen fallas que impidan su normal funcionamiento, aun así, están expuestos a condiciones ambientales extremas, propias de su ubicación.

Teniendo en cuenta que la zona de la Fundación HVL cuenta con factores como material particulado, radiación UV, cambios de temperatura, entre otros, se propone un plan de mantenimiento, para preservar los años de vida útil del equipo, evitar pérdidas o afectar su rendimiento.

#### **5.1 Personal disponible para realizar el mantenimiento**

Para llevar a cabo este plan de mantenimiento, se dispone del mismo personal de mantención eléctrica ENAMI, y por lo mismo, se recomienda capacitar al personal para que conozcan los detalles del sistema, sus componentes, el diseño y la seguridad, para llevar un reporte del estado del sistema solar fotovoltaico.

#### **5.2 Seguridad**

##### **5.2.1 Seguridad eléctrica**

Es importante mencionar que los sistemas solares fotovoltaicos son una instalación eléctrica, por lo que se debe considerar la normativa eléctrica de seguridad y los riesgos eléctricos asociados al momento de realizar los mantenimientos, estos riesgos pueden ser electrocución, quemaduras, choque eléctrico y caídas a distinto nivel.

Es por esto por lo que se deben contar con los EPP necesarios para realizar el mantenimiento, estos son:

- ✚ Casco clase A (según Nch 461/77).

- ✚ Guantes de seguridad.

- ✚ Lentes de seguridad.

- ✚ Ropa ignífuga (Aprobada según NFPA 70E).

- ✚ Zapatos de seguridad dieléctricos.

En caso de tener que intervenir la instalación energizada, los EPP que se deben agregar son:

- ✚ Guantes aislantes con guantes de cuero, necesario para el nivel de tensión (según Nch 1668/2005).

- ✚ Careta facial anti-arco eléctrico (Aprobada según NFPA 70E).

### **5.2.2 Seguridad en altura física**

Por otro lado, como la instalación solar fotovoltaica se encuentra en altura física, se deben tener en cuenta las protecciones anticaídas. Entre ellas se deben agregar pasillos técnicos y escalera tipo gato (vertical fija), así como arnés de seguridad, anclajes y línea de vida.

Para el pasillo técnico el material más común es galvanizado y para las dimensiones de la instalación solar fotovoltaica, se necesitan 292 metros de pasillo y de línea de vida. En la figura N° 5.1 se muestra una foto representativa de un pasillo técnico con su respectiva línea de vida.



**Figura N° 5.1: Pasillo técnico y línea de vida.**

Fuente: Natura Energy. (2024)

También se necesitarán 2 escaleras verticales fijas junto con su respectivo terminal, del tipo que se muestra en la figura N° 5.2.



**Figura N° 5.2: Escalera tipo gato (Vertical fija).**

Fuente: Natura Energy. (2024)

### 5.3 Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo busca mitigar o evitar las consecuencias de las fallas del sistema solar fotovoltaico, para limitar los costos y aumentar su vida útil. Teniendo en cuenta que los paneles funcionan en horarios con pleno sol, el mantenimiento se debe realizar temprano en la mañana o tarde en la noche.

En la tabla N° 5.1 se muestran las actividades a realizar en el mantenimiento preventivo, con sus respectivos recursos y tiempo a utilizar.

**Tabla N° 5.1: Plan de mantenimiento preventivo para la planta fotovoltaica.**

PLAN MANTENIMIENTO PREVENTIVO		
Tarea	Cada cuanto tiempo	Recursos por usar
Limpieza de inversor	Cada 3 meses	Línea de aire instrumental disponible en la zona
		0,5 HH
Inspección a las conexiones y cableado	Cada 6 meses	1 HH
Termografías a cajas de conexión y conexiones	Cada 6 meses	Cámara termográfica
		2 HH
Limpieza paneles fotovoltaicos	1 vez a la semana	Línea de aire instrumental disponible en la zona
		1,5 HH
	1 vez al mes	Agua desmineralizada
Inspección a dispositivos de protección	1 vez al año	Multitester
		1 HH

Fuente: Propia.

## 5.4 Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo corresponde a las acciones de reparación y/o sustitución de partes necesarias para asegurar la continuidad de funcionamiento del sistema solar fotovoltaico. Para ello se debe contar con los repuestos necesarios para atender de emergencia la falla que se presente.

Las fallas más comunes de los sistemas solares fotovoltaicos son en los inversores (por acumulación de polvo, corriente muy alta, sobrecarga o altas temperaturas), los paneles solares fotovoltaicos (rotura o rayadura del vidrio, degradación del laminado, puntos calientes), o en el cableado y conexiones (pérdida de aislación, conexión suelta).

En la tabla N° 5.2 se muestran las actividades a realizar en el mantenimiento correctivo.

**Tabla N° 5.2: Plan de mantenimiento correctivo para la planta fotovoltaica.**

PLAN MANTENIMIENTO CORRECTIVO		
Tarea	Cada cuanto tiempo	Recursos por usar
Reemplazar dispositivos de protección en CA y CC	Emergencia	Dispositivo de protección necesario 1 HH
Cambiar conectores en CC	Emergencia	Conector entre módulos 1 HH
Reiniciar fallas en inversor.	Emergencia	1 HH
Reemplazar paneles solares fotovoltaicos dañados	Emergencia y realizable solo de noche	Panel solar fotovoltaico 2 HH
Reemplazar inversor	Emergencia y realizable solo de noche	Inversor 3 HH

Fuente: Propia.

## 5.5 Mantenimiento predictivo

El mantenimiento predictivo usa la información y análisis continuo para llevar a cabo medidas preventivas y así anticiparse a las fallas y deterioro de los equipos. Su objetivo es disminuir la frecuencia de las mantenciones correctivas, reduciendo el impacto en los costos del mantenimiento correctivo. Muchas de estas actividades predictivas son las mismas que de correctivo y preventivo, como se puede apreciar en la tabla N° 5.3.

**Tabla N° 5.3: Plan de mantenimiento predictivo para la planta fotovoltaica.**

PLAN MANTENIMIENTO PREDICTIVO		
Tarea	Cada cuanto tiempo	Recursos por usar
Inspección a las conexiones y cableado	Cada 6 meses	1 HH
Termografías a cajas de conexión y conexiones	Cada 6 meses	Cámara termográfica
		2 HH
Inspección a dispositivos de protección	1 vez al año	Multitester
		1 HH
Reemplazar dispositivos de protección en CA y CC	Programar antes de que falle	Dispositivo de protección necesario
		1 HH
Cambiar conectores en CC	Programar antes de que falle	Conector entre módulos
		1 HH
Reemplazar paneles solares fotovoltaicos dañados	Programar antes de que falle	Panel solar fotovoltaico
		2 HH
Reemplazar inversor	Programar antes de que falle	Inversor
		3 HH

Fuente: Propia

## CAPÍTULO VI

### ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para determinar si el proyecto es viable económicamente, se deben analizar los costos asociados y el tiempo de recuperación de la inversión, por lo que se realizará una evaluación económica respecto a los recursos y consumos relacionados a la posible ejecución del proyecto.

#### 6.1 Recursos

Los recursos se dividen en dos grupos, los disponibles y los por comprar. Para los primeros, sólo se cuentan con los equipos y recursos para las mantenciones preventivas, predictivas y correctivas, todo lo demás se debe cotizar y adquirir. A continuación, en la tabla N° 6.1 se muestra el listado de recursos para cotizar.

**Tabla N° 6.1: Listado de recursos que se necesitan comprar.**

Listado de recursos para cotizar	
Nombre del equipo/ producto	Cantidad
Paneles solares fotovoltaicos	360
Inversor	2
Cable H1Z2Z2-K color rojo	43,5 [m]
Cable H1Z2Z2-K color negro	43,5 [m]
Cable RZ1 - K color rojo	150 [m]
Cable RZ1 - K color azul	150 [m]
Cable RZ1 - K color negro	150 [m]
Pasillo técnico galvanizado	292 [m]
Línea de vida	292 [m]
Escaleras verticales fijas	6 [m]
Terminal de escalera	2

Fuente: Propia

## 6.2 Inversión aproximada

Para calcular la inversión aproximada, se deben cotizar todos los artículos mostrados en la tabla N° 6.1.

Una vez obtenidos los precios de todos los artículos, se muestran ordenados en la tabla N° 6.2, donde aparecen los valores por cantidad y el total de la inversión.

**Tabla N° 6.2: Gasto de los artículos para armar la planta solar fotovoltaica.**

Listado de recursos para cotizar				
Nombre del equipo/ producto	Marca	Cantidad	Precio \$	Total
Paneles solares fotovoltaicos	Canadian Solar 550 W	360	221.000	79.560.000
Inversor 100 [kW]	Sunny Highpower Peak 3	2	10.500.000	21.000.000
Cable H1Z2Z2-K color rojo 4 AWG	Leader	44	6.000	264.000
Cable H1Z2Z2-K color negro 4 AWG	Leader	44	6.000	264.000
Cable RZ1 - K multiconductor 50 [mm <sup>2</sup> ]	Primean/Nexans	150	30.500	4.575.000
Pasillo técnico galvanizado 3 [m]		98	338.000	33.124.000
Línea de vida 20 [m]		15	20.000	300.000
Escaleras verticales fijas 1,5 [m]		4	250.000	1.000.000
Terminal de escalera		2	400.000	800.000
				<b>140.887.000</b>

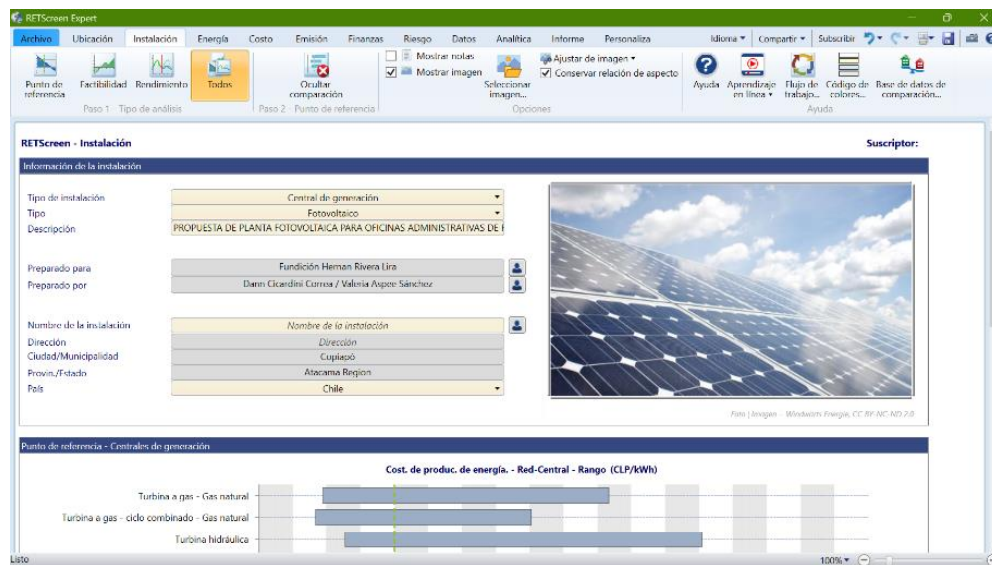
Fuente: Propia.

Con el valor total de la inversión, se procede a realizar el análisis financiero para calcular el retorno de la inversión.

### 6.3 Análisis de costos

Para realizar el análisis financiero se utilizará el programa RETScreen. Este es un software de gestión de energías limpias que sirve para el estudio, análisis y diseño de sistemas energéticos.

Al iniciar el programa, aparece una pantalla, como la que se muestra en la figura N° 6.1. En ella se detalla el nombre del proyecto, su ubicación, tipo de proyecto y tecnología a utilizar.



**Figura N° 6.1: Pantalla principal del software RETScreen.**

Fuente: Imagen propia.

En la figura N° 6.2 se muestran los datos meteorológicos con los que cuenta el software, estos son obtenidos desde la NASA.

Se observa que los datos de radiación son ligeramente distintos a los entregados por el explorador solar, por lo que no influirá al momento de dimensionar.

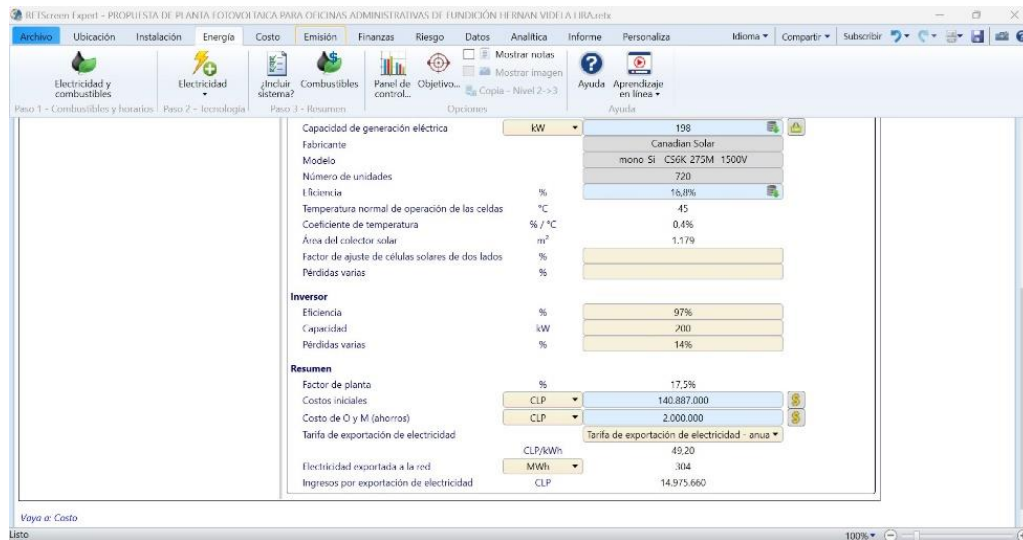
	Temperatura de diseño de la calefacción	4,4								
	Temperatura de diseño del aire acondicionado	22,2								
	Amplitud de la temperatura del suelo	16,6								
Mes	Temperatura del aire	Humedad relativa	Precipitación	Radiación solar diaria - horizontal	Presión atmosférica	Velocidad del Viento	Temperatura del suelo	Grados-días de calefacción	Grados-días de refrigeración	
	°C	%	mm	kWh/m <sup>2</sup> /d	kPa	m/s	°C	°C-d	°C-d	
Enero	19,6	70,0%	1,86	7,23	87,9	3,3	23,6	0	298	
Febrero	19,4	71,0%	1,12	6,69	87,8	3,1	23,2	0	263	
Marzo	17,9	75,0%	2,17	5,58	87,9	2,8	21,3	3	245	
Abril	15,4	77,0%	1,20	4,21	87,9	2,4	17,8	78	162	
Mayo	13,2	78,0%	3,41	3,36	88,0	2,3	14,3	149	99	
Junio	11,4	78,0%	7,80	2,98	88,0	2,2	11,9	198	42	
Julio	11,3	76,0%	6,20	3,31	88,1	2,4	11,1	208	40	
Agosto	12,0	77,0%	4,96	4,10	88,0	2,5	13,1	186	62	
Setiembre	13,2	75,0%	0,60	5,25	88,0	2,7	15,6	144	96	
Octubre	14,8	74,0%	0,62	6,39	88,0	2,9	18,4	99	149	
Noviembre	16,4	72,0%	0,60	7,07	87,9	3,1	20,8	48	192	
Diciembre	18,3	70,0%	0,93	7,33	87,9	3,3	22,6	0	257	
Anual	15,2	74,4%	31,47	5,28	87,9	2,7	17,8	1.113	1.905	

**Figura N° 6.2: Datos meteorológicos entregados por RETScreen.**

Fuente: Imagen propia.

Luego, el programa pide meter todos los datos de la planta solar fotovoltaica a analizar, esto se muestra en la figura N° 6.3.

Cabe destacar que en la base de datos del software no estaba el modelo de panel solar fotovoltaico que se propone utilizar, por lo que se buscó uno de la misma marca, pero de la mitad de potencia, por ello es por lo que el software entrega como cantidad de paneles a utilizar el doble de los necesarios.



**Figura N° 6.3: Datos de la planta solar fotovoltaica en RETScreen.**

Fuente: Imagen propia.

Por último, el software entrega los resultados del análisis económico, para ello se deben insertar todos los datos recopilados sobre costos de inversión y consumos energéticos

Los gastos asociados a consumo energético se obtuvieron de una factura entregada por la empresa. Esta se muestra en la figura N° 6.4 y se observa que el cobro por kWh es de \$ 49,20.

ENERGIA		ACCIONA	F.H.V.L.	PLANTA MATTA
Energía activa de facturación	kWh		12.148.802	
Precio de la energía	\$/kWh		49,20	
<b>VALOR TOTAL CONSUMO ENERGIA</b>			<b>597.664.158</b>	

POTENCIA		ACCIONA	F.H.V.L.	PLANTA MATTA
Demanda en HP	kW		18.493	
Precio Potencia HP	\$/kWmes		7.370,23	
<b>VALOR POTENCIA HP</b>			<b>136.297.663</b>	

CARGOS Y COSTOS REGULADOS		ACCIONA	FUNDICION	MATTA
Energía Reactiva			\$ 284.267	
Transmisión Nacional			\$ 40.151.791	
Transmisión Zonal			\$ 52.555.717	
Sobrecostos			\$ 57.901.823	
Servicios Complementarios Balance			\$ 49.880.820	
Servicios Complementarios Cargo Unico			\$ -	
Sobrecostos por Reserva Hídrica			\$ -	
Costo de Oportunidad por Reserva Hídrica			\$ -	
Usor Reserva Hídrica			\$ -	
<b>VALOR TOTAL CARGOS Y COSTOS REGULADOS</b>			<b>\$ 236.320.271</b>	

RELIQUIDACIONES		ACCIONA	FUNDICION	MATTA
Reliquidación Energía Activa			\$ -	
Reliquidación Energía Reactiva			\$ -	
Reliquidación Potencia			\$ -	
Reliquidación Transmisión Nacional			\$ -	
Reliquidación Transmisión Zonal			\$ -	
Reliquidación Sobrecostos			\$ 1.802.414	
Reliquidación SSCC			\$ 84.193.781	
Reliquidación Sobrecostos por Reserva Hídrica			\$ -	
Reliquidación Costo de Oportunidad por Reserva Hídrica			\$ -	
<b>VALOR TOTAL RELIQUIDACIONES Y AJUSTES</b>			<b>\$ 85.996.194</b>	

FACTURACION TOTAL DEL PERIODO	
Neto	\$ 1.056.278.286
IVA	\$ 200.692.874
<b>Total</b>	<b>\$ 1.256.971.160</b>

**Figura N° 6.4: Gastos energéticos asociados a la Fundación HVL.**

Fuente: Estado de pago de Acciona. (2024)

En la figura N° 6.5 se muestra el gráfico del análisis financiero y el retorno de la inversión.



**Figura N° 6.5: Recuperación de inversión según RETScreen.**

Fuente: Imagen propia.

Como se puede observar, los costos iniciales de inversión son de \$140.887.000, con un plazo de retorno de inversión a los 9,1 años del proyecto, por lo que se puede concluir que el proyecto es viable económicamente

#### **6.4 Beneficios económicos**

En el ámbito de la autogeneración de energía, ha sido recurrente presentarla como una opción viable económicamente hablando, ya que pretende mitigar los costos que implica su generación y traslado. Esto es comprobable con el estudio de este caso, considerando el valor del kWh que se cobra a la empresa y al consumo de este, aun así, es viable la ejecución del proyecto, ya que, la recuperación de la inversión se realiza antes de los 20 años de vida útil de este. Permitiéndole a la empresa redireccionar sus recursos en áreas operativas de mayor interés o necesidad.

#### **6.5 Beneficios ambientales**

Desde el punto de vista medio ambiental, es preferible el uso de energías renovables por sobre la generación en base, ya sea por combustibles fósiles o algún otro recurso no renovable.

Considerando el impacto que ocasionaría la doble generación, ya que la faena actualmente se alimenta de energía limpia, la cual es adquirida desde compañía Acciona AECH S.A, esto duplicaría la cantidad de residuos que se generarán al cabo de los 25 años de la vida útil de los paneles. Además, considerando que en Chile no existen políticas público-privadas para la gestión de este tipo de residuo (como en países europeos), por lo tanto, es considerado un residuo peligroso.

No obstante, en caso de, que la empresa mandante se vea en la necesidad de cambiar de proveedor de suministro energético, se volvería una llamativa alternativa de autogeneración y sustentabilidad.

## **CAPÍTULO VIII**

### **CONCLUSIONES**

Evaluar la propuesta de proyecto de una planta solar fotovoltaica que alimentase las oficinas administrativas de la Fundación Hernán Videla Lira, era la principal finalidad del presente trabajo de titulación.

Para ello se realizaron mediciones de consumo en la subestación que alimenta esos sectores, que se compararon con el consumo total de la faena en completa operación, esto permitió dar un estudio más certero de la realidad del gasto energético (en electricidad), para dimensionar una planta que cubra el consumo administrativo en su totalidad.

Respecto a esto, se evidencia que el consumo de la faena es bastante alto, llegando a consumir cerca de 1 [MW] de potencia, por lo que la planta solar fotovoltaica calculada llega a ser bastante grande y costosa para solamente energizar una fracción del consumo total de la faena.

Para el dimensionamiento de la planta solar fotovoltaica, cabe destacar que se realizó un análisis detallado de los componentes y su instalación, utilizando herramientas de software.

El proyecto utiliza 360 paneles solares de 550 [W], con dos inversores de 100 [kW] cada uno, lo que permite una generación de 984 [kWh] al día, logrando así cubrir la demanda de consumo de las oficinas.

Los componentes eléctricos fueron seleccionados de acuerdo con el cumplimiento de las normas técnicas vigentes, para garantizar una instalación eficiente y segura.

En cuanto al plan de mantenimiento, este abarca las mantenciones preventivas, correctivas y predictivas, con detalle de las tareas diarias de inspección, limpieza y reemplazo de componentes, esto, haciendo énfasis en la capacitación del personal y el cumplimiento de las normativas de seguridad aplicadas a los trabajos que se realicen. El enfoque principal del plan es asegurar la operatividad continua de la planta, minimizando las fallas y optimizando el rendimiento, con la finalidad de maximizar la vida útil y eficiencia del sistema.

Si bien las energías renovables representan un recurso limpio y avalan el compromiso de la empresa con el medio ambiente, su uso en demasía para un mismo propósito puede provocar el efecto contrario, afectando negativamente en la gestión de residuos, por lo que no se consideraría un beneficio medioambiental.

Para culminar, se puede determinar que el proyecto de una planta solar fotovoltaica para energizar las oficinas administrativas de la Fundación Hernán Videla Lira es económica y energéticamente viable.

## GLOSARIO

- ✚ **A:** Amper/es unidad de medida para la corriente.
- ✚ **CA:** Corriente alterna.
- ✚ **CC:** Corriente continua.
- ✚ **Corriente:** Flujo de carga eléctrica.
- ✚ **EPP:** Elementos de protección personal.
- ✚ **kVA:** Kilo volt - ampere, unidad de medida para potencia aparente.
- ✚ **kW:** Kilo watt, unidad de medida para potencia activa.
- ✚ **MW:** Mega watt, unidad de medida de potencia.
- ✚ **Planta fotovoltaica On-Grid:** Planta fotovoltaica conectada a la red eléctrica.
- ✚ **Potencia activa:** Potencia real que consume un sistema eléctrico.
- ✚ **Potencia aparente:** Potencia total del sistema, incluyendo la potencia reactiva.
- ✚ **SS/EE:** Subestación eléctrica.
- ✚ **Tensión:** Diferencia de potencial de un sistema eléctrico.
- ✚ **TDF:** Tablero de fuerza.
- ✚ **V:** Volt, unidad de medida de la tensión.

✚ **VAh:** Volt - ampere hora, unidad de medida de la potencia aparente.

✚ **VDC:** Voltaje en corriente continua.

✚ **Wdía:** Watt día, unidad de medida de la potencia activa.

✚ **Wh:** Watt hora, unidad de medida de la potencia activa.

## BIBLIOGRAFÍA

RetScreen: <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>

Sunny Desing: <https://www.sma.de/es/productos/aplicaciones-y-software/sunny-design>

Superintendencia de Electricidad y Combustibles. (2020). Instrucción Técnica RGR N°05: Diseño y ejecución de las instalaciones de cogeneración eficiente conectadas a redes de distribución.

Superintendencia de Electricidad y Combustibles. (2019). Pliego Técnico Normativo RIC N°04: Conductores, materiales y sistemas de canalización.

Ministerio de Energía. (2016). Guía de operación y mantenimiento de sistemas fotovoltaicos.