

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

**ESTUDIO DE INSTALACIÓN DE ENERGÍA RENOVABLE PARA USO EN
CONDominio**

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniero de Ejecución en
CONTROL E INSTRUMENTACIÓN
INDUSTRIAL

Alumno:

Felipe Esteban Verdejo Ledesma

Profesor Guía:

Mg. Víctor Cárdenas Schweiger

2024

RESUMEN

Keywords: Paneles solares, sistema híbrido, generación.

En este trabajo se verá la rentabilidad en llevar a cabo una implementación fotovoltaica en un condominio de 100 casas con el fin de amortiguar costos de gastos comunes, y crear un sistema de respaldo para actuar en puntos críticos tales como iluminación y vigilancia.

Para llevar a cabo la implementación primero se deberá realizar un estudio para elegir la mejor configuración dependiendo de los requerimientos, una vez seleccionada la configuración del sistema fotovoltaico se calcularán las cargas totales para luego obtener el número de paneles, baterías, inversores que serán los necesarios para abastecer el sistema, esto se realizará mediante el explorador solar, el cual entrega datos reales de la radiación solar a lo largo de Chile. Ya obtenidos los datos necesarios se necesitará distribuir los paneles solares, inversores y baterías cumpliendo con las protecciones necesarias para asegurar la durabilidad de los dispositivos.

Por último, el estudio de la rentabilidad a partir del consumo mensual de gastos comunes en iluminación y vigilancia, para posterior compararlo con el ahorro y/o ganancia generada a través de la implementación fotovoltaica, estas ganancias dependerán de la inversión inicial y el tiempo que va a requerir recuperar el capital, teniendo en cuenta el costo kWh de venta y compra. Ya mencionado todo lo anterior se verá si es o no rentable la implementación.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: PROBLEMAS Y OBJETIVOS	2
1 PROBLEMAS Y OBJETIVOS	3
1.1 ANTECEDENTES GENERALES	3
1.2 LUGAR DE APLICACIÓN	3
1.3 TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS	4
1.4 TIPOS DE CONFIGURACIÓN DE CONEXIÓN	6
1.5 PROBLEMÁTICA	7
1.5.1 Descripción del problema.....	7
1.5.2 Importancia de resolver:.....	8
1.5.3 Involucrados	8
1.6 PROPOSICIÓN DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA	8
1.7 REQUERIMIENTOS	9
1.8 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	9
1.8.1 Alternativa N°1: “Utilizar grupo de electrógeno”.....	9
1.8.2 Alternativa N°2: “Implementación un sistema fotovoltaico on-grid u off-grid”	9
1.8.3 Alternativa N°3: “Implementación de un sistema fotovoltaico hibrido”	10
1.9 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	10
1.9.1 Alternativa seleccionada	11
1.10 LEYES Y NORMATIVAS	11
1.11 OBJETIVOS	12
1.11.1 Objetivo general	12
1.11.2 Objetivos específicos.....	12
CAPÍTULO 2: CARGAS Y COMPONENTES	13
2 CARGAS Y COMPONENTES	14
2.1 ILUMINACIÓN	14
2.1.1 Cálculo de Potencia luminarias	14
2.2 VIGILANCIA	14
2.2.1 Cálculo de potencia	15
2.3 CÁLCULO DE EQUIPO FOTOVOLTAICO	15
2.3.1 Sumatoria de cargas	15
2.3.2 Explorador solar	16
2.3.3 Inversor.....	18
2.3.4 Baterías.....	19

2.3.5	Paneles solares.....	20
2.4	DISTRIBUCIÓN DE CIRCUITOS	20
2.4.1	Distribución Paneles solares.....	21
2.4.2	Distribución DC	21
2.4.3	Distribución AC	22
	CAPÍTULO 3: INVERSIÓN Y AHORRO	24
3	INVERSIÓN Y AHORRO	25
3.1	INVERSIÓN INICIAL	25
3.1.1	Equipos Fotovoltaicos.....	25
3.1.2	Material de montaje.....	25
3.1.3	Recursos humanos.....	26
3.1.4	Inversión total.....	27
3.2	AHORRO ENERGETICO	27
3.2.1	Valor Watt/Hora.....	28
3.2.2	Generación a lo largo del tiempo	29
3.2.3	Gastos en mantención.....	33
	CONCLUSIONES	35
	BIBLIOGRAFÍA	36

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Ejemplo panel monocristalino.....	4
Figura 1-2. Ejemplo panel policristalinos.....	5
Figura 1-3. Tipos de paneles solares.....	6
Figura 2-1. Datos panel solar.....	17
Figura 2-2. Cálculo de paneles.....	17
Figura 2-3. Inversor Solis S6-PRO.....	18
Figura 2-4. Ficha técnica inversor.....	18
Figura 2-5. Batería Voltronic LIO II 4810E.....	19
Figura 2-6. Ficha técnica Batería.....	19
Figura 2-7. Panel solar CS7N-665MB-AG.....	20
Figura 2-8. Distribución paneles solares.....	21
Figura 2-9. Diagrama DC.....	22
Figura 2-10. Diagrama AC.....	23
Figura 3-1. Generación anual.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Escala de calificación de alternativas	10
Tabla 1-2. Grilla de evaluación de criterios	11
Tabla 2-1. Consumo circuito de seguridad.....	15
Tabla 2-2. Datos técnicos panel solar.....	20
Tabla 3-1. Valor Equipo Fotovoltaico.....	25
Tabla 3-2. Materiales de montaje.....	26
Tabla 3-3. Valor Recursos Humanos.	26
Tabla 3-4. Valor de inversión.....	27
Tabla 3-5. Valor inversión final.	27
Tabla 3-6. Consumo Mensual kWh.....	28
Tabla 3-7. Escala de calificación de alternativas.	28
Tabla 3-8. Consumo gastos comunes SIN IMPLEMENTACIÓN.	29
Tabla 3-9. Diferencia energética mensual.....	30
Tabla 3-10. Diferencia de saldos.....	31
Tabla 3-11. Ahorro anual con sistema fotovoltaico.	31
Tabla 3-12. Ahorro anual CON IMPLEMENTACIÓN.....	32
Tabla 3-13. Delta anual S.F.....	33
Tabla 3-14. Gasto mantención	34
Tabla 3-15. Inversión inicial con gasto de mantención.....	34

SIGLAS Y SIMBOLOGÍAS

A. SIGLA

- AC: Corriente alterna
- DC: Corriente directa
- TDA: Tablero distribución alumbrado
- UF: Unidad de fomento

B. SIMBOLOGÍA

- A: Amper
- h: hora
- Hz: Hertz
- I: Corriente
- I_{max}: Corriente máximo
- I_{sc}: Corriente corto circuito
- k: Kilo (x1000)
- Kg: Kilogramos
- kV: Kilo volt
- kVA: kilo Volt Amper
- kW: Kilo Watt
- kWh: Kilo Watt hora
- mm: Milímetros
- NOCT: Nominal operating cell temperature
- P_{max}: Potencia máxima
- STC: Standard test conditions
- V: Volt
- V_{max}: Voltaje máximo
- V_{mp}: Voltaje de máxima potencia
- V_{oc}: Voltaje circuito abierto
- W: Watt
- V_{max}: Voltaje máximo
- $\left(\frac{\%}{^{\circ}C}\right)$: Coeficiente temperatura (porcentaje / grado Celsius)
- $\left(\frac{mV}{^{\circ}C}\right)$: milivolt / grado Celsius
- $\left(\frac{mA}{^{\circ}C}\right)$: miliamper / grado Celsius

INTRODUCCIÓN

Este trabajo se basa en el estudio de instalación de energía renovable para uso en condominio, con la finalidad de generar y respaldar energía en áreas comunes, llevando a cabo un análisis de los componentes principales presentes en el mercado tales como, baterías, paneles fotovoltaicos e inversores. Análisis de cargas que deberá cubrir, realizando una sumatoria de cargas presentes en el área común, con el fin de crear un sistema que permita el trabajo de paneles solares de carácter híbrido.

El sistema de respaldo está planeado en cubrir puntos críticos como es la iluminación vial a lo largo del condominio, sumando un total serán 44 luminarias que deberán ser energizadas. La seguridad es otro punto crítico, al mantener en continuo funcionamiento cámaras de vigilancia, pantallas para su visualización y otros distintos dispositivos necesarios para el funcionamiento de estas. Por último, la accesibilidad debido a que la mayoría de las entradas al condominio son de cerradura eléctrica, de esta forma los peatones podrán entrar y salir sin ninguna complicación.

La finalidad del proyecto es buscar la rentabilidad de éste mismo mediante inyecciones de energía a la red a lo largo del tiempo, esta energía será vendida a la compañía de distribución y generará ingresos mensuales. Mitigar el gasto inicial en su totalidad es la principal tarea, así el proyecto tendrá mayores posibilidades de ser ejecutado.

Esta será una solución moderna ante el problema energético y disminuirá el uso del grupo electrógenos que suelen estar destinados a trabajar en caso de fallas, si bien suele ser lo estándar, existe una mejor solución que tiene muchas ventajas sobre la anterior. La idea es eliminar el uso de combustibles fósiles avanzando a energías renovables con menor grado de gases de invernadero, aprovechando el uso principal del sol como fuente de energía.

CAPÍTULO 1: PROBLEMAS Y OBJETIVOS

1 PROBLEMAS Y OBJETIVOS

En este capítulo se describen las problemáticas al momento de realizar una instalación fotovoltaica, esta instalación debe suplir la falta de energía en las áreas comunes de un condominio, tales como: iluminación, seguridad, entradas y salidas de personas, sistema de regadío, caseta de seguridad, optando por el modelo que se adapte a las necesidades presentes.

1.1 ANTECEDENTES GENERALES

La energía solar fotovoltaica es una fuente de energía renovable y limpia que utiliza radiación solar para producir electricidad. Se basa en el llamado efecto fotoeléctrico, por el cual determinados materiales son capaces de absorber fotones y liberar electrones, generando una corriente eléctrica. Para ello, se emplea un dispositivo semiconductor denominado celda o célula fotovoltaica, que puede ser de silicio, monocristalino, policristalino o amorfo, o bien de otros materiales semiconductores de capa fina.

La energía generada por los paneles solares es de carácter directa o DC, ideal para el almacenamiento en baterías para su posterior uso, pero no es compatible con el tipo de corriente empleada en hogares, ya que ésta es de carácter alterna. Para lograr que la energía generada de los paneles solares se pueda utilizar y acoplar a la instalación que se conecta a la red, debe pasar por un inversor, estos están divididos en 3 principales grupos dependiendo de su necesidad: On grid, off grid, híbrido o mixto.

Estos son los principales dispositivos necesarios para la instalación fotovoltaica, las baterías van a depender del tipo de instalación y de la cantidad de corriente que debe inyectar a la red.

1.2 LUGAR DE APLICACIÓN

La idea de instalar un sistema fotovoltaico para el condominio es de amortiguar los gastos comunes a sus dueños, además de no necesitar un grupo de electrógenos, ya que, en caso de sufrir un corte de energía desde la red, al contar con un banco de baterías sería capaz de suplir esa falta y funcionar de manera autónoma, logrando cubrir el consumo energético de las áreas comunes con mayor importancia como pueden ser las luminaria y cámaras de vigilancia, estas son de vital importancia para la seguridad especialmente durante la noche por la visibilidad y monitoreo. Otros circuitos que se pueden cubrir mediante el sistema fotovoltaico pueden ser las entradas y salidas de personas o vehículos, las cuales son mediante cerraduras con sistemas o motores eléctricos.

Los paneles fotovoltaicos necesitan de una inclinación y espacio predeterminado, el cual aumentará con la potencia a cubrir, su instalación requiere de una estructura que debe sostener los

paneles fotovoltaicos, éste le dará la inclinación necesaria dependiendo de su orientación, la cual varía según la latitud y longitud tendrá como base el suelo lo que facilitará su instalación y limpieza, siendo de suma importancia evitar sombras, éstas pueden provocar un aumento de la temperatura en las celdas trayendo consigo daños al panel, otro punto a considerar será la ubicación del inversor y el banco de batería.

1.3 TIPOS DE CÉLULAS FOTOVOLTAICAS

En el mercado se pueden encontrar numerosos módulos fotovoltaicos. Estos están formados por distintos tipos de células fotovoltaicas, con distintos tamaños, precios y tecnologías. A continuación, se describirán los 3 principales con el fin de conocer ventajas y desventajas.

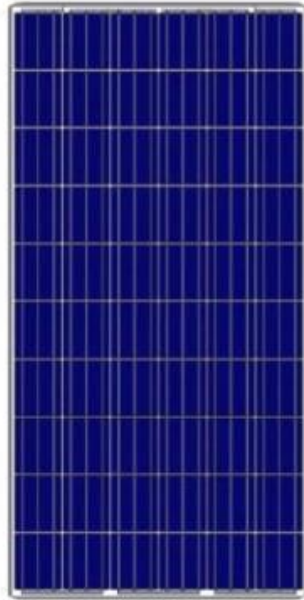
Monocrystalino está construido por un único cristal de silicio con estructura muy uniforme. Se trata de un material de alta pureza que garantiza un rendimiento muy superior debido a que los átomos de silicio están perfectamente alineados, facilitando así la conductividad. Estas células son reconocibles por tener un color homogéneo azul oscuro, una de sus ventajas respecto al resto de paneles fotovoltaico es su rendimiento, el cual dependiendo del modelo es de un 20%, la vida útil es otro punto fuerte en estos tipos de paneles fotovoltaicos, ya que pueden superar los 25 años, como desventaja de aumentar el rendimiento, el costo de fabricación de un monocrystalino es mayor y más lento, aumentando el desperdicio de silicio. En la figura 1-1 se puede apreciar un ejemplo de panel monocrystalino.



Fuente: <https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>
Figura 1-1. Ejemplo panel monocrystalino.

El panel policristalino está formado por muchos cristales de silicio. En su fabricación se vierte el silicio en moldes cuadrados, por lo que no es necesario visearlos como monocrystalinos.

Estas células son reconocibles por tener una superficie y color irregulares además de ser células totalmente cuadradas. Poseen un mejor coeficiente térmico y al desperdiciar menos silicio son más económicas, como contraparte poseen un rendimiento menor, el cual varía 15% a un 17%. En la figura 1-2 se puede apreciar un ejemplo de panel policristalino.



Fuente: <https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>
Figura 1-2. Ejemplo panel policristalinos.

El panel amorfo se obtiene al depositar silicio sobre una base de vidrio, plástico u otro material, al emplear una menor cantidad de silicio su costo económico es mucho menor, además de tener la ventaja de ser flexibles poseen un buen comportamiento frente a sombras parciales y altas temperaturas, el lado negativo es que poseen una menor vida útil y un rendimiento el cual está entre el 8% y 12%.



Fuente: <https://tritec-intervento.cl/tipos-de-paneles-fotovoltaicos/>
Figura 1-3. Tipos de paneles solares.

1.4 TIPOS DE CONFIGURACIÓN DE CONEXIÓN

Los paneles solares generan electricidad en forma de corriente continua, para poder utilizarla en luminarias y otros artefactos se debe cambiar a corriente alterna, para ello se debe emplear inversores. En cuanto a inversores existen distintos tipos de configuraciones que son posible implementar, estas distintas configuraciones varían dependiendo de la necesidad, desde aplicaciones desconectadas de la red en lugares aislados a instalaciones con conexión a red, para ello se debe seleccionar la que mejor aplique al caso. A continuación, se hará descripción de los tres tipos de configuraciones principales.

Inversores on-grid o inversores conectados a la red: su principal característica es la capacidad para convertir la corriente continua generada por los paneles solares en corriente alterna, esta energía generada por los paneles solares es sincronizada con la red eléctrica, una vez sincronizada con la red, el inversor on-grid inyecta esta energía en la red. En muchos sistemas on-grid, se instala un contador bidireccional, este mide tanto la electricidad que consume de la red como la cantidad de electricidad que devuelve a la red, si se produce más electricidad de la consumida, esta diferencia se registra y se devuelve en forma de créditos/dinero. La principal ventaja es aprovechar la red cuando la generación de energía no es suficiente, asegurando un suministro constante de electricidad, la eficiencia económica también es otra al vender el exceso de energía generando ganancias, otro punto es el mantenimiento, es reducido al no usar banco de baterías y minimizar el espacio físico. Una de las mayores desventajas es la dependencia de la red eléctrica, si esta falla el sistema on-grid se desconecta de la red lo que es traduce en no poder utilizar la energía generada, al no utilizar baterías su autonomía es mucho menor, y por último las posibles restricciones en la generación y posterior venta de energía.

Inversores off-grid o inversores aislados: regulan la carga de baterías del sistema, las baterías son esenciales en los sistemas off-grid, ya que almacenan la energía para su uso cuando no hay suficiente generación en tiempo real, como durante la noche o días nublados. Esta energía almacenada es de tipo corriente continua, la mayoría de los dispositivos eléctricos y electrodomésticos son de carácter alterna, ahí es donde el inversor off-grid entra en acción transformando la energía de las baterías en corriente alterna, la cual es apta para el consumo general. Los sistemas off-grid suelen contar con dispositivos de monitoreo para rastrear la carga de las baterías, la generación y consumo de energía, esto ayuda a gestionar eficientemente la energía y garantizar que haya suficiente almacenamiento, para situaciones en que las baterías estén bajas y la generación de energía renovable no sea suficiente. Algunos sistemas off grid también pueden incluir un generador de respaldo, como generadores diésel o gasolina. Una de las desventajas presentes en estos sistemas es su gran costo inicial debido al uso de baterías y al no poder vender

excedentes, la oportunidad de recuperar parte del gasto en inversión se pierde, la complejidad que presenta el cálculo en cuanto al almacenamiento debido a la demanda energética es otro factor, si hay errores de cálculo el sobredimensionamiento o por el contrario la falta de espacio de almacenamiento puede traer consigo problemas de funcionamiento o gasto innecesario de recursos. La autosuficiencia es la mayor ventaja de estos sistemas, el hecho de poder funcionar en un lugar donde no hay presente una red de distribución o funcionar cuando se corta este suministro, dando la posibilidad de reducir la huella de carbono al emplear únicamente energía solar.

Por último, existe los inversores híbridos, los cuales aprovechan las ventajas de ambos sistemas, creando un sistema capaz de almacenar energía, vender excedentes a la compañía y funcionar en conjunto con la red de distribución. Poseen un costo inicial elevado debido al uso de baterías y otros componentes, pero en comparación al sistema off-grid es posible vender los excedentes a la compañía mejorando la viabilidad económica del sistema.

1.5 PROBLEMÁTICA

El fallo o corte en la red de distribución puede generar problemas en la seguridad y afectar el servicio entregado a los residentes, si bien el uso de grupo de electrógeno es una solución, las ventajas que posee la instalación fotovoltaica sobre el grupo de electrógeno son variadas y dan una mayor versatilidad.

Para ello, se deberá realizar los cálculos adecuados a las necesidades, ya que la cantidad de baterías o el tipo de inversor va a depender de la potencia que sea requerida inyectar al circuito de manera que no haya un sobre dimensionamiento y con ello tener pérdidas de capital, por el contrario, si hay carencias las baterías y paneles fotovoltaicos no estarán capacitados para cubrir la demanda de energía.

1.5.1 Descripción del problema

El corte de suministro eléctrico debido a fallas humanas o problemas ambientales puede dificultar la vida de los residentes del condominio, la falta de iluminación en horas donde la luz solar es baja o nula puede ser un blanco de robo u otro delito, por otra parte, el fallo de sistema de seguridad y vigilancia dejan sin funcionamiento chapas eléctricas que habilitan el acceso al domicilio. Si bien, anticiparse a estos sucesos es difícil, ya que no siempre se sabe con certeza la hora y día del fallo del suministro eléctrico, tener un sistema de respaldo eficiente y que tenga la capacidad de actuar en la brevedad, brindará seguridad entre los vecinos y dará a la propiedad una imagen moderna.

1.5.2 Importancia de resolver

Poder implementar el sistema fotovoltaico generará grandes beneficios tanto a los residentes como a la imagen del condominio, tales como reducción de gastos comunes, ya que la energía utilizada en estos sería en su mayoría solar, menor costo operativo, debido al no usar combustible como respaldo, menor contaminación acústica en comparación al grupo electrógeno, mayor grado de adaptabilidad y con una mejor posibilidad a escalar, una mejor imagen, puesto que adoptar energías renovables puede mejorar el valor y la imagen de la propiedad al mostrar un compromiso con la sostenibilidad y responsabilidad ambiental.

Crear un respaldo eléctrico proporciona un mayor grado de seguridad, durante el día seguir con normal funcionamiento de entradas de personas o vehículos, y durante la noche mantener encendida las luminarias y sistemas de vigilancia, como también el funcionamiento de bombas de agua.

Descartar el grupo electrógeno como principal fuente de energía en caso de fallos en la red de distribución debido a su mantenimiento y cambio de piezas constantes, como también el ruido que estos generan, su funcionamiento ligado al combustible que tiene un precio que varía y tiende al alza en comparación a la energía solar, la cual es gratis una vez instalado el sistema fotovoltaico.

Todos estos beneficios traen consigo, principalmente reducir los costos económicos generados por consumo eléctrico, mantención en el grupo de electrógeno y brindar una mayor seguridad asociado a la conciencia energética.

1.5.3 Involucrados

Los principales involucrados son los residentes, ya sean propietarios o arrendatarios que verán reducido sus gastos comunes, en segundo lugar, los trabajadores, conserjes, personal de aseo o seguridad, estos contarán con electricidad en cámaras, luminarias.

1.6 **PROPOSICIÓN DE SOLUCIÓN DEL PROBLEMA**

Se busca implementar en este proyecto una alternativa al grupo de electrógeno convencional en caso de fallo o corte del suministro, que demuestre el uso de la energía solar como principal reemplazo a éste, gracias a su proyección a futuro, sustentabilidad, dando un paso hacia energías limpias como respaldo a la distribución de energía en puntos críticos como puede ser la seguridad.

1.7 REQUERIMIENTOS

Para llevar a cabo este trabajo, se deben establecer cuáles de los diferentes tipos de configuración (on-grid, off-grid, híbrido), qué tipo de panel solar se instalará, potencia que debe cubrir para elegir cantidad de paneles solares, como el tipo y cantidad de baterías. Todo lo anterior, se basa en la potencia necesaria y cuánto tiempo debe estar preparado el sistema para cubrir la falta de energía, además del capital necesario para la inversión inicial la cual, varía dependiendo de la calidad de los componentes.

1.8 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

Para dar solución a la problemática se proponen tres alternativas, las cuales deberán ser sometidas a evaluación según criterios pertinentes para escoger cuales son factibles de aplicar, ya sea técnica y económicamente, así escoger la óptima.

1.8.1 Alternativa N°1: “Utilizar grupo electrógeno”

La primera alternativa que se tiene ante las problemáticas planteadas es utilizar como respaldo energético un grupo electrógeno, ya se ha mencionado que el emplear esta alternativa no es la óptima, debido a distintos factores como: sostenibilidad, respeto al medio ambiente, costos operativos más altos, mayor mantenimiento, contaminación acústica, independencia a los combustibles, vida útil, adaptabilidad y escalabilidad, valor añadido e imagen.

1.8.2 Alternativa N°2: “Implementación un sistema fotovoltaico on-grid u off-grid”

La segunda alternativa que se presenta es de implementar un sistema on grid u off-grid, estos actúan de manera distinta, teniendo ventajas y desventajas el uno del otro.

Sistema on-grid o conectado a la red es viable cuando se cuenta con un acceso confiable a la red eléctrica, ya que no opera en caso de cortes, tiene un menor costo inicial y se emplea principalmente como una reducción en el cobro, logrando generar hasta ganancias de esta dependiendo de la potencia consumida vs la potencia generada. Su principal desventaja radica en caso de falla o corte de la red eléctrica, ya que no podría operar.

Sistema off grid- o desconectado de la red, esta es ideal en zonas donde no hay red eléctrica o tiende a la falla, ya que gracias a la energía que almacena en sus baterías logran dar abasto energético, son capaces de adaptarse y escalar aumentando el número de paneles solares y de

baterías. Poseen un costo inicial más elevado además de no inyectar energía a la red, eliminando la opción de generar ganancias, en caso de clima extremo puede no ser suficiente para cubrir la potencia necesaria.

1.8.3 Alternativa N°3: “Implementación de un sistema fotovoltaico híbrido”

La alternativa número tres consiste en aplicar un sistema fotovoltaico híbrido, el cual reúne las ventajas de ambos sistemas (on-grid y off grid) y cubren sus desventajas.

Al estar conectados a la red en caso de clima extremo pueden cubrir la falta de producción de los paneles fotovoltaicos, y en caso de fallo o desconexión de la red las baterías cubren esta falta de energía, también pueden vender excedentes de energía generando ingresos, tiene la capacidad de adaptarse incorporando mayor número de baterías y paneles solares, siempre que el inversor tenga la suficiente capacidad.

Una de sus principales desventajas es su costo inicial, siendo mayor que un sistema on-grid y off-grid, además de ser más complejos en cuanto a cálculo y configuración.

1.9 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

A partir de las alternativas de solución presentadas anteriormente, se realizará un análisis en base a criterios que permitan determinar cuáles son las más factibles de aplicar, cada criterio será sometido a una escala de calificación de 1 a 5 donde 1 corresponde a “Muy deficiente” y 5 cuando la calificación es “Óptima”, como se puede observar luego en la “Tabla 1-1. Escala de calificación de alternativas”. La suma de cada criterio dará un puntaje total para cada una de las alternativas, donde la solución que obtenga la mayor puntuación será la seleccionada para poner en práctica.

Tabla 1-1. Escala de calificación de alternativas

Muy deficiente	Deficiente	Aceptable	Bueno	Óptimo
1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia en base a escala de evaluación.

Los criterios para considerar al momento de tomar la decisión serán cinco, comenzado con innovación, para definir el nivel de aporte de nuevas ideas y tecnologías que aporta la alternativa; el segundo criterio a considerar será la relación entre la inversión a realizar para aplicar la solución, en contratarse con la ganancia que se generará por su aplicación; también se considerará la factibilidad técnica, tomando en cuenta la complejidad del desarrollo que se pretende ejecutar. El cuarto criterio para evaluar será el tiempo de aplicación que se estime en aplicar la implementación, siendo mayor la puntuación en cuanto menor sea el tiempo de aplicación; y finalmente, se medirá

la escalabilidad del modelo propuesto, es decir, que tantas opciones de crecimiento tenga cada uno y la posibilidad de aplicar en distintas áreas.

En la tabla 1-2 se observan los resultados de la evaluación de los criterios de cada alternativa en conjunto con la puntuación final que llevará a tomar la decisión y el camino a seguir.

Tabla 1-2. Grilla de evaluación de criterios

	Criterio					
-	20%	30%	15%	25%	10%	-
Alternativas	Innovación	Inversión/Ganacias	Factibilidad Técnica	Plazo de Aplicación	Escalabilidad	Puntuación final
Alternativa 1	1	2	4	5	1	2,6
Alternativa 2	4	3	3	3	4	3,4
Alternativa 3	5	5	4	3	5	4,4

Fuente: Elaboración propia basada en comparación de alternativas.

1.9.1 Alternativa seleccionada

A partir de la puntuación final obtenida de la grilla de evaluación de criterios, la alternativa que mejor cumple con los requerimientos para dar solución a los problemas es la implementación de un sistema fotovoltaico de carácter híbrido, ya que propone un mayor grado de innovación, inversión/ganancias y escalabilidad frente a las demás alternativas, presenta una gran oportunidad dentro del mercado al ser una solución moderna aplicando nuevas tecnologías, es técnicamente factible de aplicar, genera ganancias durante el tiempo y es escalable en caso de ser necesario.

1.10. LEYES Y NORMATIVAS

En esta sección se presentan las principales leyes y normativas vigentes que se deben usar como base al momento de diseñar la implementación.

La principal normativa técnica que se debe considerar es la “Norma Técnica de Conexión y Operación de Equipamientos de Generación”, esta tiene como objetivo asegurar una operación segura y eficiente de los sistemas de generación distribuida, protegiendo tanto la infraestructura eléctrica como la integridad de los equipos conectados a la red, esta normativa aborda distintos aspectos como: Requisitos técnicos de conexión, estableciendo las protecciones y dispositivos de seguridad, parámetros de calidad de la energía, interconexión y sincronización con la red, medición y control entre otros.

Ley de generación distributiva, la ley n° 20.571 establece el marco legal para la generación de energía distribuida, incluyendo instalaciones como sistemas fotovoltaicos solares en hogares y empresas. Algunos aspectos claves que aborda son el derecho a generar energía, medición neta, tarifas de inyección y compensación, conexión simplificada, límites de tamaño entre otras.

Por otra parte, también es importante registrarse dependiendo de las normativas locales y municipales que podrían aplicarse a la instalación de sistemas fotovoltaicos. Es necesario asegurarse que la instalación cumpla con los estándares de seguridad y obtener la aprobación correspondiente de la SEC.

1.11 OBJETIVOS

En esta sección se describen los objetivos generales y específicos que se deben alcanzar durante el desarrollo de este proyecto, para poder implementar un sistema fotovoltaico híbrido.

1.11.1 Objetivo general

Comprobar la factibilidad de la implementación fotovoltaica híbrida en un condominio.

1.11.2 Objetivos específicos

Para cumplir la meta impuesta en el objetivo general, se deben cumplir los siguientes objetivos específicos:

- Definir las cargas eléctricas a cubrir por el sistema.
- Seleccionar componentes que garanticen la compatibilidad y eficiencia.
- Establecer protecciones y distribución de los equipos
- Evaluar gastos iniciales y ahorros a lo largo del tiempo.

CAPÍTULO 2: CARGAS Y COMPONENTES

2 CARGAS Y COMPONENTES

En este capítulo se indican las cargas y su consumo con el fin de calcular los componentes necesarios, de acuerdo con el número de postes, cámaras de seguridad y entrada/salida de vehículo.

2.1 ILUMINACIÓN

La iluminación contribuye significativamente a la seguridad, calles bien iluminadas, áreas comunes y accesos bien iluminados disuaden actividades delictivas y proporcionan un entorno más seguro para los residentes. Además de la seguridad, la iluminación adecuada mejora la estética del lugar, creando un ambiente agradable y acogedor, también es esencial para la funcionalidad, una buena iluminación en áreas compartidas como pasillos, estacionamientos y zonas recreativas facilita la movilidad y el uso eficientes de los espacios durante horario nocturno.

2.1.1 Cálculo de Potencia luminarias

Para calcular la potencia total necesaria para abastecer el circuito de iluminación es necesario saber el número de luminaria y este multiplicarlo por la potencia de cada una, de esa forma se calcula la potencia total del circuito de iluminación.

$$P_{total} = n^{\circ} \text{ luminarias} * P_n$$

$$6.6 \text{ kW} = 44 * 150 \text{ W}$$

Las horas sin luz pueden variar de 9-10 horas dependiendo de la estación, puesto que las luminarias se activan antes de quedar totalmente sin luz, se agregará 1 hora adicional al cálculo teniendo como resultado que son necesarias 11 horas de funcionamiento diario. A partir de esto, se puede calcular la potencia total diaria necesaria que debe cubrir el sistema de respaldo fotovoltaico.

$$72,6 \text{ kWh} = 6,6 \text{ kW} * 11 \text{ h}$$

2.2 VIGILANCIA

Las cámaras de seguridad son elementos clave en la gestión de la seguridad en un condominio, ya que previenen delitos actuando como elemento disuasivo para actividades

delictivas, en caso de incidentes las cámaras proporcionan evidencia visual que puede ser crucial para resolver, brindando una sensación de seguridad para los residentes.

Otra ventaja que ofrece es el control de accesos desde las casas operando puertas desde la entrada del condominio para visitantes.

2.2.1 Cálculo de potencia

Para calcular la potencia total necesaria para abastecer el circuito de vigilancia, es necesario saber el número de cámaras y demás dispositivos, se realizará una sumatoria de estas potencias y se obtendrá la potencia total, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

Tabla 2-1. Consumo circuito de seguridad

Detalle	Consumo [W]	Cantidad	Consumo Total [W]
Cámara Domo 2MP con lente de 2,8 mm IP65	6,5	1	6,5
Cámara bullet 2MP con lente de 4mm IP65	6	9	54
Cámara Robotizada 4MP con lente varifocal motorizado 2,8-12mm IP65	17,3	1	17,3
NVR302-S-P Series	9	1	9
Disco duro 8TB	9	1	9
Monitor Sony Bravia 32"	36	1	36
Router Internet	20	1	20
			151,8

Fuente: Elaboración propia, diseñado en MS Excel.

La potencia de cada dispositivo se obtuvo a partir de la ficha técnica, en donde se optó por elegir el valor de consumo máximo.

Ya obtenido el consumo total del circuito de seguridad, se debe multiplicar por las horas de funcionamiento diarias.

$$Wh = 151,8 W * 24 h = 3,6 kWh$$

2.3 CÁLCULO DE EQUIPO FOTOVOLTAICO

Una vez que se tiene el consumo diario se debe elegir el equipo fotovoltaico a partir de la carga, luego evaluar la cantidad de luz solar dependiendo de la ubicación geográfica, definir el tipo de sistema, y elegir el tipo de panel solar que se instalará.

2.3.1 Sumatoria de cargas

Se sumarán todas las potencias usadas durante 24 horas con el fin de saber qué tipo de baterías se deberán utilizar.

$$P_t = P_{iluminación} + P_{seguridad}$$

$$76,1 kWh = 72,6 kWh + 3.523 Wh$$

Otro valor es la potencia nominal el cual es la sumatoria de las cargas.

$$6,746 kW = 6,6 kW + 146 W$$

El sistema fotovoltaico debe cumplir con los valores de potencia obtenidos y generar al menos 76,1 kWh en un día, por otra parte, el inversor tiene una potencia de salida de 6,75 kW para cubrir la potencia nominal en caso de estar funcionando todos los dispositivos.

2.3.2 Explorador solar

El explorador solar, creado por el Ministerio de Energía, es una herramienta gratuita que permite explorar el potencial solar en diversas regiones del país, ofrece información sobre la radiación solar y el rendimiento. En este caso, se utilizará para para calcular el potencial diario generado por los paneles solares, adicional a esto también entrega el número de paneles solares necesarios, y la potencia que requiere el inversor, se deben ingresar los datos del panel fotovoltaico que se utilizará.

Los datos del panel elegido son de la marca Canadian Solar CS7N-665MB-AG, este posee una gran eficiencia por ser monocristalino.

Al ingresar el modelo del panel fotovoltaico el explorador anota los datos, en caso de no poseer los datos se puede ingresar de manera manual revisando la ficha técnica del producto. El explorador requiere los datos de número de celdas por panel, V_{mp} , I_{mp} , V_{oc} , I_{sc} y los coeficientes de temperatura. Los coeficientes de temperatura en un panel solar muestran como el rendimiento de este cambia a medida que la temperatura aumente o disminuya, en general al aumentar la temperatura el voltaje disminuye y, por ende, también lo hace la potencia. Un ejemplo se puede ver en la figura 2-1 de como se ve al ingresar los datos en el explorador solar.

Número de celdas por panel	<input type="text" value="144"/>			
Voltaje de Máxima Potencia (Vmp)	<input type="text" value="40,7"/>	V		
Corriente de Máxima Potencia (Imp)	<input type="text" value="10,2"/>	A		
Coeficientes de temperatura				
Voltaje de circuito abierto (Voc)	<input type="text" value="49"/>	V	<input type="text" value="-0.29"/>	$\frac{\%}{^{\circ}C}$
			<input type="text" value="-142,1"/>	$\frac{mV}{^{\circ}C}$
Corriente de cortocircuito (Isc)	<input type="text" value="10,8"/>	A	<input type="text" value="0.05"/>	$\frac{\%}{^{\circ}C}$
			<input type="text" value="5,4"/>	$\frac{mA}{^{\circ}C}$

Fuente: <https://solar.minenergia.cl/fotovoltaico>.
Figura 2-1. Datos panel solar

El explorador también realiza la suma de todos los paneles solares y su potencia (como se muestra en la figura 2-2), lo que da la capacidad total instalada, a esta capacidad se debe agregar los otros 2 inversores con 12 paneles solares, dando un total de 36 paneles solares instalados.

CARACTERÍSTICAS DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO

Número total de paneles

Capacidad total instalada **7,86 kW**

Fuente: <https://solar.minenergia.cl/fotovoltaico>.
Figura 2-2. Cálculo de paneles.

La potencia de los 3 inversores debe ser igual o superior a la potencia instalada y así cubrir la demanda energética, para ello la eficiencia de los inversores es muy importante, entre mejor el porcentaje del inversor, mayor será la producción de energía. El inversor por utilizar tiene una eficiencia del 96 %.

Por último, la producción diaria cumple con el consumo diario necesario para abastecer los circuitos de iluminación, seguridad y entradas al condominio, asimismo el consumo total anual, siendo este la multiplicación del total diario * 365.

El factor de planta en el contexto de la energía solar se refiere a la proporción entre la producción real de electricidad de un sistema fotovoltaico y la producción teórica máxima si el sistema operara a su capacidad nominal durante todo el tiempo.

$$\text{Factor de Planta \%} = \left(\frac{\text{Producción Real}}{\text{Producción Máxima Teórica}} \right) * 100$$

2.3.3 Inversor

Se instalarán 3 inversores híbridos Solis S6-PRO, este inversor encaja perfecto según su ficha técnica, con capacidad de hasta 12 paneles solares. A continuación, en la figura 2-3 una imagen del inversor y en la figura 2-4 datos técnicos principales del inversor.



Fuente: https://www.esol.cl/detalle_productos.php?id=2269

Figura 2-3. Inversor Solis S6-PRO

Entrada CC (lado PV)		
Potencia de entrada máxima recomendada		12.8 kW
Voltaje máxima de entrada		600 V
Voltaje de nominal		330 V
Voltaje de arranque		90 V
Rango de voltaje MPPT		90-520 V
Corriente máxima de entrada		32 A / 20 A
Corriente máxima de cortocircuito		36 A / 30 A
Número de MPPT/Número máxima de cadenas de entrada		2/3
Batería		
Tipo de Batería		Lana de litio / Plomo-ácido
Rango de voltaje de la batería		40-60 V
Potencia máxima de carga / descarga		8 kW
Corriente máxima de carga / descarga		190 A
Comunicación		CAN/RS485
Salida CA (Red)		
Potencia nominal de salida		8 kW
Potencia máxima de salida aparente		8.8 kVA
Fase de operación		1/N/PE
Voltaje nominal de la red		220 V / 230 V
Frecuencia nominal de la red		50 Hz / 60 Hz
Corriente nominal de salida de red		36.4 A / 34.8 A
Corriente máxima de salida		40 A
Factor de potencia		>0.99 (0.8 que lleva a 0.8 de retraso)
THDi		<2%

Fuente: https://www.esol.cl/detalle_productos.php?id=2269

Figura 2-4. Ficha técnica inversor.

2.3.4 Baterías

Serán necesarias 15 baterías de 5 kWh para poder alimentar de energía por 24hrs en caso de corte de la red, estas son de la marca Voltronic modelo LIO II 4810E las cuales son de litio. A continuación, en la figura 2-5 una imagen de las baterías y en la figura 2-6 algunos datos principales.



Fuente: https://www.esol.cl/detalle_productos.php?id=2297

Figura 2-5. Batería Voltronic LIO II 4810E

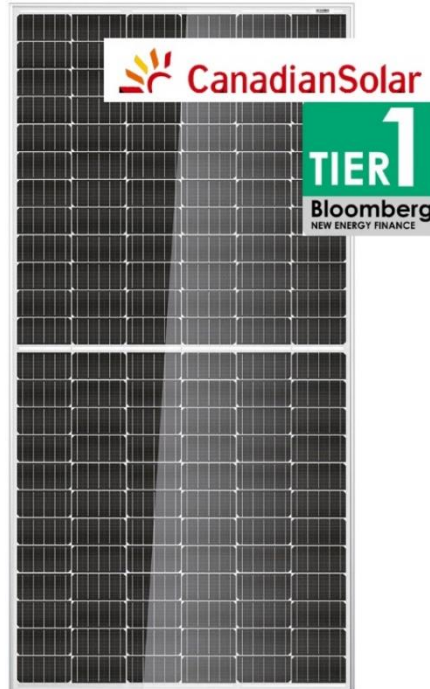
MODEL	LIO II-2410E	LIO II-4810E
Battery Cell Technology	Lithium Iron Phosphate	
Nominal Voltage	25.6 V	51.2 V
Battery Capacity	100Ah	100Ah
Max. Continuous Charging / Discharging Current	50A/100A @ 25°C	
Max. Charging Voltage	29.2 V	57.6 V
Max. Discharging Voltage	20 V	43.2 V
Max. Parallel Unit	15	
Dimension,D X W X H (mm)	165 x 375 x 400	140 x 450 x 500
Net Weight (kg)	26	43

Fuente: https://www.esol.cl/detalle_productos.php?id=2297

Figura 2-6. Ficha técnica Batería

2.3.5 Paneles solares

El modelo del panel solar es Canadian Solar CS7N-665MB-AG, este es un panel monocristalino, el cual posee una gran eficiencia de un 20,7%. A continuación, en la figura 2-7 una imagen del panel solar, además se han seleccionado algunos datos de la ficha técnica que se pueden ver en la tabla 2-2, los cuales corresponden a las potencias, corrientes y voltajes nominales.



Fuente: https://www.esol.cl/detalle_productos.php?id=2298

Figura 2-7. Panel solar CS7N-665MB-AG

Tabla 2-2. Datos técnicos panel solar.

-	STC	NOCT
Pmax	655 W	491 W
Vmax	38,1 V	35,7 V
I _{max}	18,2 A	13,7 A
Voc	45,2 V	42,7 V
I _{sc}	18,4 A	14,8 A

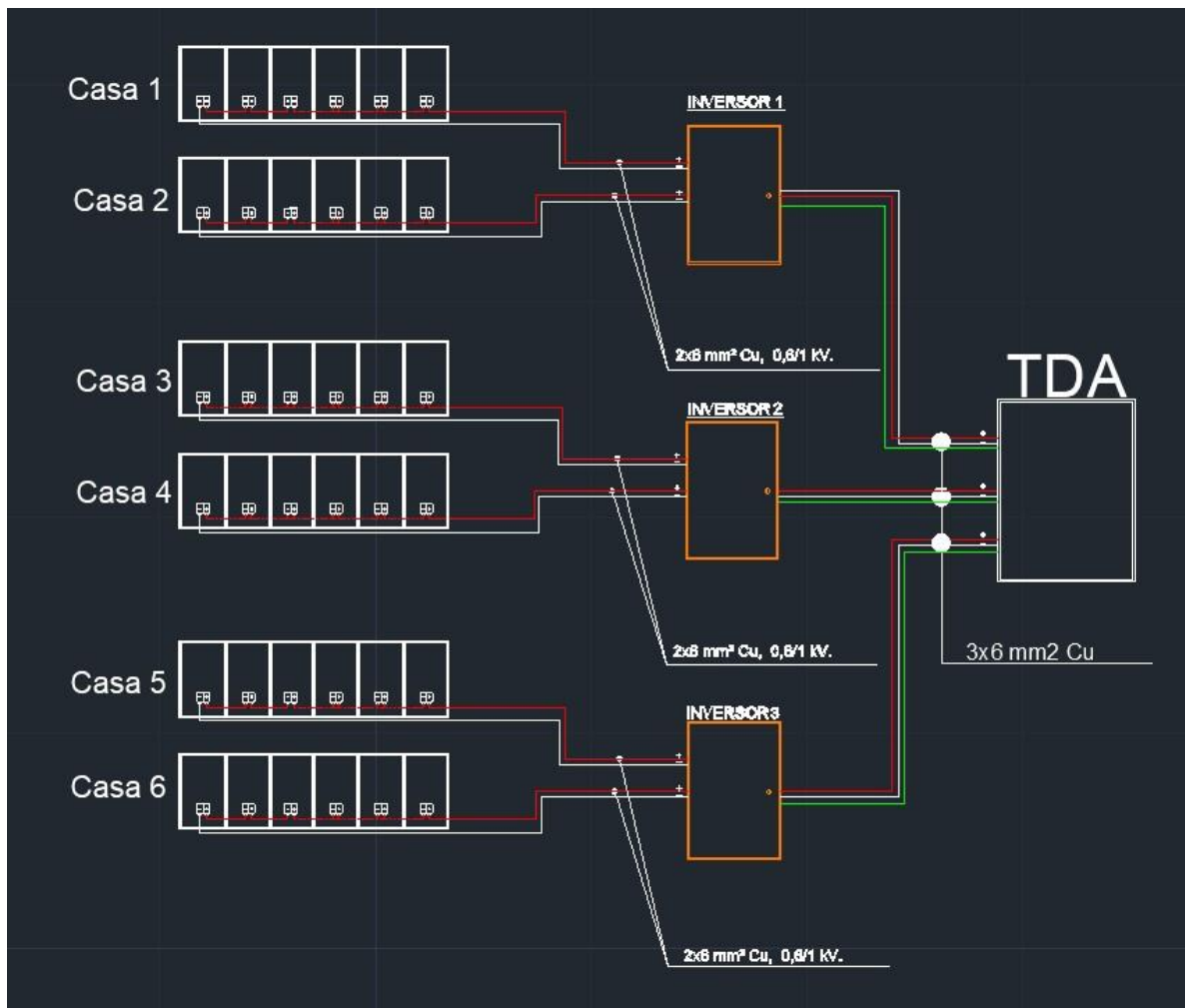
Fuente: Elaboración propia, diseñado en MS Excel.

2.4 DISTRIBUCIÓN DE CIRCUITOS

Se deben agrupar los paneles solares de tal manera que no sobrepasen las tensiones y corrientes máximas de los inversores, de modo que energicen los circuitos de alumbrado distribuidos por el condominio, además de esto energizar el sistema de vigilancia.

2.4.1 Distribución paneles solares

La distribución de los paneles solares será de 6 por casa, ya que el inversor soporta hasta 12 paneles solares, por ende, se distribuirán 2 casas para cada inversor, en total serán necesarias 6 casas para poder abastecer los 3 inversores que se encuentran en el condominio, cada inversor estará conectado a 5 baterías de litio, se deberán almacenar en una caseta cada inversor con su respectivo banco de baterías. Por último, cada inversor se conectará al TDA con el fin de energizar el tablero donde se encuentran los circuitos de alumbrado y vigilancia. Figura 2-8 con la distribución de los paneles como referencia.



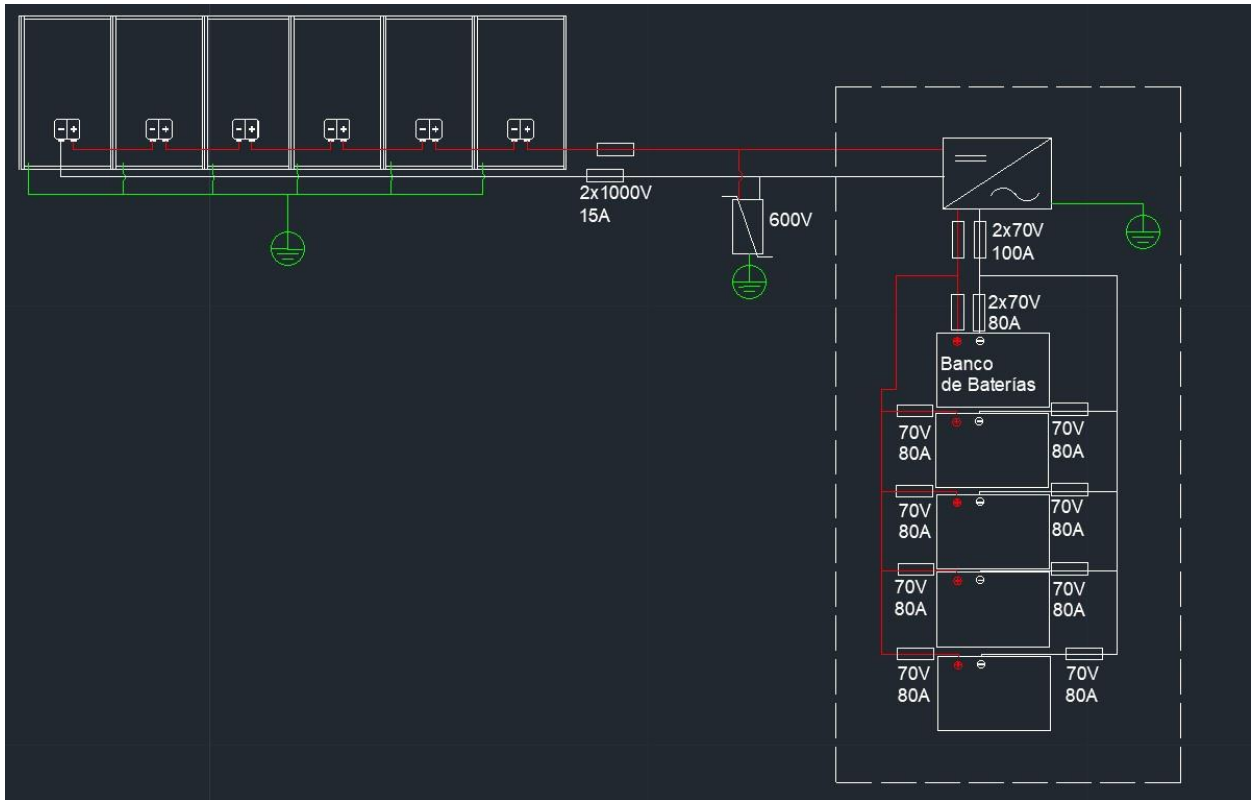
Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-8. Distribución paneles solares.

2.4.2 Distribución DC

El circuito de protección por el lado DC se puede apreciar en la figura 2-9, esta consta de fusibles para proteger una sobre corriente entre los paneles fotovoltaicos y el inversor, entre el

inversor y el banco de baterías, y a la salida de cada batería. También cuenta con una protección en caso de sobre voltaje a la salida de los paneles fotovoltaicos, esta se encarga de disipar la tensión en caso de ser necesario.

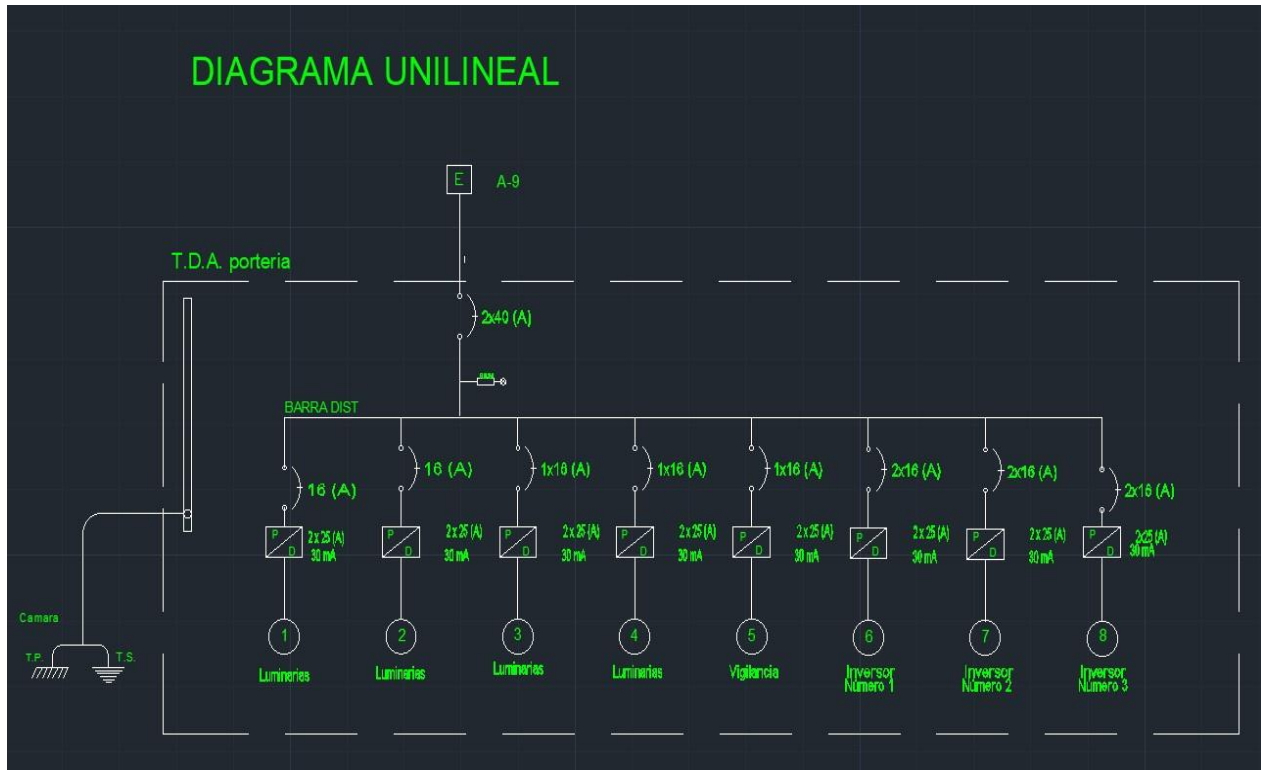


Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-9. Diagrama DC

2.4.3 Distribución AC

Una vez conectado sale el cableado del inversor, este se dirige a la barra de distribución del tablero, sin antes pasar por un interruptor diferencial y un interruptor automático. La barra de distribución se encarga de energizar los circuitos de alumbrado y vigilancia y de enviar la energía generada por los paneles solares al empalme como se puede apreciar en la figura 2-10



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-10. Diagrama AC

CAPÍTULO 3: INVERSIÓN Y AHORRO

3 INVERSIÓN Y AHORRO

Para calcular el ahorro y/o ganancias primero se debe obtener el valor de la inversión inicial, para posterior compararlo con el ahorro mensual a partir de la instalación del sistema fotovoltaico.

3.1 INVERSIÓN INICIAL

En una instalación fotovoltaica, la inversión inicial se refiere a todo el conjunto de costos asociados con el establecimiento y la puesta en marcha del sistema de energía solar. Esto abarca la compra de paneles fotovoltaicos, inversores, sistemas de almacenamiento de energía, cableado, entre otros.

3.1.1 Equipos Fotovoltaicos

Los valores más elevados son netamente de los equipos fotovoltaicos, a continuación, se puede apreciar la tabla 3-1 con los distintos equipos, valor de estos y el número de unidades requeridas para este trabajo, el valor final se deberá sumar a los materiales y recursos humanos, ese será el precio final para llevar a cabo la inversión. El valor de la UF es del día 23 de Abril del 2024.

Tabla 3-1. Valor Equipo Fotovoltaico

Equipo	Valor	N° de Unidades	Valor Final	Valor Final UF
Panel solar monocristalino	\$ 128.520	42	\$ 5.397.840	144,80
Inversor híbrido	\$ 1.658.000	3	\$ 4.974.000	133,43
Baterías	\$ 1.178.000	15	\$ 17.670.000	474,02
			\$ 28.041.840	752,26

Fuente: <https://esol.cl/>

3.1.2 Material de montaje

Otro punto importante es el material de montaje necesario como cables, cañería galvanizada, kit de montaje. A continuación, en la tabla 3-2 una lista de precios y número de unidades con el valor final en cuanto a materiales:

Tabla 3-2. Materiales de montaje.

Equipo	Valor	N° de Unidades	Valor Final	Valor final UF
Kit montaje 6 unidades	\$ 210.000	8	\$ 1.680.000	45,07
Cable 4mm Negro	\$ 923	300	\$ 276.900	7,43
Cable 4mm Rojo	\$ 923	300	\$ 276.900	7,43
Conduit Galvanizado 25mm	\$ 5.168	250	\$ 1.292.000	34,66
Codo Galvanizado 25mm	\$ 1.490	80	\$ 119.200	3,20
Abrazaderas 25mm	\$ 564	280	\$ 157.920	4,24
Conector Solar Hembra	\$ 1.671	48	\$ 80.208	2,15
Conector Solar Macho	\$ 1.671	48	\$ 80.208	2,15
Conector Doble	\$ 6.941	48	\$ 333.168	8,94
			\$ 4.296.504	115,26

Fuente: <https://esol.cl/>

Estos materiales son indispensables para realizar la implementación, el kit de montaje se utiliza para fijar los paneles solares al techo de las viviendas, cable rojo y negro para conectar el terminal positivo y negativo de los paneles solares con el fin de trasladar la energía al inversor, por último, la canalización galvanizada de 25 mm de diámetro se usa como protección de la alimentación.

3.1.3 Recursos humanos

Esta implementación debe ser realizada por personal calificado, con conocimientos técnicos específicos en el área, para esto se necesitan 2 técnicos en electricidad que tendrán como función principal realizar trabajos de conexión de equipo, instalación de protecciones, medición de variables, etc. Además, serán necesarios 2 ayudantes que posean conocimientos en el área de electricidad y montaje de estructuras con el fin de aportar al momento de realizar trabajos de fuerza, y montaje que sean necesarios. Quien planificará y supervisará el trabajo es ingeniero que tenga conocimiento en las normativas eléctricas y generación de energía.

Tabla 3-3. Valor Recursos Humanos.

Equipo	Valor/Hora	Horas de trabajo	Valor Final	Valor Final UF
Ing en Control e Inst.	\$ 7.500	120	\$ 900.000	24,14
Técnico Eléctrico 1	\$ 5.312	120	\$ 637.440	17,10
Técnico Eléctrico 2	\$ 5.312	120	\$ 637.440	17,10
Ayudante 1	\$ 4.062	120	\$ 487.440	13,08
Ayudante 2	\$ 4.062	120	\$ 487.440	13,08
			\$ 3.149.760	84,50

Fuente: Elaboración propia, diseñado en MS Excel.

3.1.4 Inversión total

La inversión total es la sumatoria de los equipos fotovoltaicos, material de montaje y recursos humanos necesarios para el trabajo. Este no es el valor final, ya que aún falta añadir el 10% adicional y el IVA.

Tabla 3-4. Valor de inversión.

-	Valor	Valor UF
Equipos Fotovoltaicos	\$ 28.041.840	752,26
Material de Montaje	\$ 4.296.504	115,26
Recursos Humanos	\$ 3.149.760	84,50
	\$ 35.488.104	952,01

Fuente: Elaboración propia, diseñado en MS Excel.

A la inversión total se le debe agregar el IVA y el 10%, este sirve como precaución para imprevistos, riesgos y posibles cambios en el alcance. Actúa como colchón financiero frente a fluctuaciones en los precios, errores en estimaciones y garantiza flexibilidad para adaptarse durante la ejecución del proyecto. En cambio, el IVA (impuesto al valor agregado) en el contexto de un proyecto eléctrico aplica sobre el valor agregado en cada etapa del proyecto, esto incluye compra de materiales eléctricos, contratación de servicios, mano de obra, y otros elementos necesarios para la ejecución del proyecto. Este impuesto es luego recaudado por el gobierno como ingreso fiscal.

Tabla 3-5. Valor inversión final.

Inversión Total	10% Imprevistos	IVA	Inversión Final
\$ 35.488.104	\$ 3.548.810	\$ 7.417.014	\$ 46.453.928
			UF 1242,59

Fuente: Elaboración propia, diseñado en MS Excel.

3.2 AHORRO ENERGÉTICO

Cuando se habla de ahorro energético hace referencia al uso de energía generada mediante los equipos fotovoltaicos, disminuyendo el consumo de la red, el ahorro de energía se traduce a un ahorro de dinero el cual aumentará a lo largo del tiempo.

Mediante sumatoria a lo largo de tiempo se puede calcular desde que momento el gasto de la inversión inicial es igual a la energía generada.

3.2.1 Valor Watt/Hora

Lo primero es tener el valor de consumo diario, para posterior obtener el consumo mensual, como se hizo en la tabla 3-6.

Tabla 3-6. Consumo Mensual kWh.

Consumo Diario [kWh]	Consumo semanal [kWh]	Consumo Mensual [kWh]
76,42	534,96	2292,69

Fuente: Elaboración propia, diseñado en MS Excel.

Una vez que se obtiene el consumo mensual, se añade a la fórmula el valor del kWh, dando como resultado el valor mensual del consumo energético, a este se le debe añadir cargo mensual y cargo por transmisión de energía, como se aprecia en la tabla 3-7.

Tabla 3-7. Escala de calificación de alternativas.

-	Cargo Fijo mensual	Cargo uso de transmisión	Cargo por energía
Consumo Mensual [kWh]	\$ 1.324	\$ 19	\$ 84
2292,69	\$ 1.324	\$ 43.561	\$ 193.182
		Total:	\$ 238.068

Fuente: Elaboración propia, diseñado en MS Excel.

A partir de los datos obtenidos en la tabla 3-7, lo cual hace referencia al valor mensual que se paga como consumo energético común (iluminación y vigilancia), se realizó un estimado para visualizar el pago anual total a lo largo de los próximos 25 años como se puede apreciar en la tabla 3-8, el fin de esta tabla es visualizar cuánto se pagará a futuro sin la implementación para posteriormente comparar con el gasto mensual si se realiza la implementación.

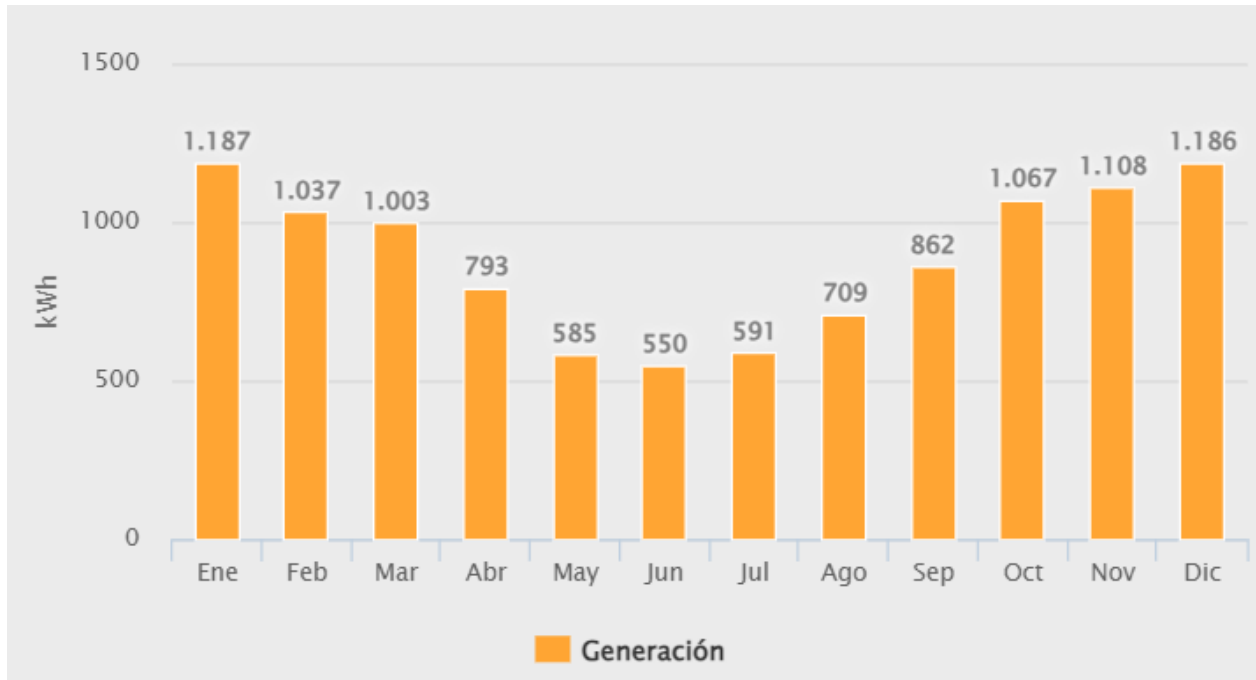
Tabla 3-8. Consumo gastos comunes SIN IMPLEMENTACIÓN.

Año	Gasto Anual	Gasto por Casa Anual
1	\$ 2.856.811	\$ 28.568
2	\$ 5.713.621	\$ 57.136
3	\$ 8.570.432	\$ 85.704
4	\$ 11.427.243	\$ 114.272
5	\$ 14.284.054	\$ 142.841
6	\$ 17.140.864	\$ 171.409
7	\$ 19.997.675	\$ 199.977
8	\$ 22.854.486	\$ 228.545
9	\$ 25.711.296	\$ 257.113
10	\$ 28.568.107	\$ 285.681
11	\$ 31.424.918	\$ 314.249
12	\$ 34.281.729	\$ 342.817
13	\$ 37.138.539	\$ 371.385
14	\$ 39.995.350	\$ 399.953
15	\$ 42.852.161	\$ 428.522
16	\$ 45.708.971	\$ 457.090
17	\$ 48.565.782	\$ 485.658
18	\$ 51.422.593	\$ 514.226
19	\$ 54.279.404	\$ 542.794
20	\$ 57.136.214	\$ 571.362
21	\$ 59.993.025	\$ 599.930
22	\$ 62.849.836	\$ 628.498
23	\$ 65.706.646	\$ 657.066
24	\$ 68.563.457	\$ 685.635
25	\$ 71.420.268	\$ 714.203

Fuente: Elaboración propia, diseñado en MS Excel.

3.2.2 Generación a lo largo del tiempo

Gracias a las herramientas que ofrece el explorador solar, se puede obtener una simulación de la generación a lo largo del año, esto facilita en gran medida el trabajo de estudio. El análisis está basando en la Figura 3-1 la cual muestra la generación de energía mes a mes, para posterior calcular la generación anual con el fin de saber en qué año la inversión será rentable.



Fuente: <https://solar.minenergia.cl/fotovoltaico>.
Figura 3-1. Generación anual.

Ya con esta información se procederá al cálculo mes a mes, en cuanto a generación, venta de excedente, y compra en caso de falta energética.

Como es normal en estaciones de verano y cercanas a ésta, la generación de energía es mucho mayor superando el promedio, en cambio, en estaciones de invierno esta generación se ve reducida. Para ello se hará un cálculo a partir de estos datos mes a mes y ver la factibilidad sobre generación energética en un año.

Tabla 3-9. Diferencia energética mensual.

Mes	Generación [kWh]	Consumo Mensual [kWh]	Diferencia energética [kWh]
Enero	3561	2369,113	1191,89
Febrero	3111	2139,84	971,16
Marzo	3009	2369,11	639,89
Abril	2379	2292,69	86,31
Mayo	1755	2369,11	-614,11
Junio	1650	2292,69	-642,69
Julio	1773	2369,11	-596,11
Agosto	2127	2369,11	-242,11
Septiembre	2586	2292,69	293,31
Octubre	3201	2369,11	831,89
Noviembre	3324	2292,69	1031,31
Diciembre	3558	2369,11	1188,89

Fuente: Elaboración propia, diseñado en MS Excel.

Como se aprecia en la Tabla 3-9 existe una diferencia de energía entre Mayo y Agosto donde la energía generada es menor al consumo mensual, esto se traduce a que el sistema

fotovoltaico no podrá ser autónomo durante esos meses y necesitará una inyección de la red al circuito, aun así, mientras las baterías estén cargadas se podrá actuar en caso de corte en la red.

Es necesario saber la diferencia en términos monetarios, se calculará la diferencia positiva (en verde) con venta de excedente y la diferencia negativa (en rojo) con la compra de energía.

Tabla 3-10. Diferencia de saldos.

Mes	Diferencia energetica [kWh]	Pago	Recibo
Enero	1191,89	-	\$ 106.352,08
Febrero	971,16	-	\$ 86.656,25
Marzo	639,89	-	\$ 57.097,12
Abril	86,31		\$ 8.889,93
Mayo	-614,11	\$ -63.253,64	-
Junio	-642,69	\$ -66.197,07	-
Julio	-596,11	\$ -61.399,64	-
Agosto	-242,11	\$ -24.937,64	-
Septiembre	293,31		\$ 30.210,93
Octubre	831,89	-	\$ 74.229,28
Noviembre	1031,31	-	\$ 92.023,79
Diciembre	1188,89	-	\$ 106.084,39

Fuente: Elaboración propia, diseñado en MS Excel.

Ya con las diferencias entre recibo y pago se obtiene un total anual, sumando la diferencia desde enero a diciembre, esa diferencia que tiene un valor de \$345.756 de ganancia debido a que genera mucha más energía de la que requiere en sus meses de menor producción energética.

Para visualizar de mejor manera en la tabla 3-11 se hará un contraste la diferencia entre llevar a cabo la implementación fotovoltaica y no.

Tabla 3-11. Ahorro anual con sistema fotovoltaico.

Implementación Fotovoltaica	Valor Anual	Ganancia
NO	\$ -2.856.811	0
SI	0	\$ 345.756

Fuente: Elaboración propia, diseñado en MS Excel.

Para saber cuánto dinero se gana al año con la implementación fotovoltaica se realizará una sumatoria a lo largo de 25 años, con el fin de apreciar en qué año el proyecto es autosustentable

Tabla 3-12. Ahorro anual CON IMPLEMENTACIÓN.

Año	Ahorro	Ahorro por casa
1	\$ 345.756	\$ 3.458
2	\$ 691.512	\$ 6.915
3	\$ 1.037.267	\$ 10.373
4	\$ 1.383.023	\$ 13.830
5	\$ 1.728.779	\$ 17.288
6	\$ 2.074.535	\$ 20.745
7	\$ 2.420.290	\$ 24.203
8	\$ 2.766.046	\$ 27.660
9	\$ 3.111.802	\$ 31.118
10	\$ 3.457.558	\$ 34.576
11	\$ 3.803.313	\$ 38.033
12	\$ 4.149.069	\$ 41.491
13	\$ 4.494.825	\$ 44.948
14	\$ 4.840.581	\$ 48.406
15	\$ 5.186.337	\$ 51.863
16	\$ 5.532.092	\$ 55.321
17	\$ 5.877.848	\$ 58.778
18	\$ 6.223.604	\$ 62.236
19	\$ 6.569.360	\$ 65.694
20	\$ 6.915.115	\$ 69.151
21	\$ 7.260.871	\$ 72.609
22	\$ 7.606.627	\$ 76.066
23	\$ 7.952.383	\$ 79.524
24	\$ 8.298.139	\$ 82.981
25	\$ 8.643.894	\$ 86.439

Fuente: Elaboración propia, diseñado en MS Excel.

Como se puede apreciar en la tabla 3-12 se genera un ahorro que, si bien no logra cubrir su inversión inicial, no está contando el dinero ahorrado en los gastos de iluminación y vigilancia los cuales son de \$2.856.810 anuales, con este nuevo delta entre ahorrado y generado, se puede visualizar el dinero total generado en la tabla 3-13

Tabla 3-13. Delta anual S.F.

Año	Gasto Anual SIN S.F.	Ganancia Anual CON S.F.	Delta Anual CON S.F.
1	\$ 2.856.810,71	\$ 345.756	\$ 3.202.566
2	\$ 5.713.621,43	\$ 691.512	\$ 6.405.133
3	\$ 8.570.432,14	\$ 1.037.267	\$ 9.607.699
4	\$ 11.427.242,85	\$ 1.383.023	\$ 12.810.266
5	\$ 14.284.053,56	\$ 1.728.779	\$ 16.012.832
6	\$ 17.140.864,28	\$ 2.074.535	\$ 19.215.399
7	\$ 19.997.674,99	\$ 2.420.290	\$ 22.417.965
8	\$ 22.854.485,70	\$ 2.766.046	\$ 25.620.532
9	\$ 25.711.296,42	\$ 3.111.802	\$ 28.823.098
10	\$ 28.568.107,13	\$ 3.457.558	\$ 32.025.665
11	\$ 31.424.917,84	\$ 3.803.313	\$ 35.228.231
12	\$ 34.281.728,55	\$ 4.149.069	\$ 38.430.798
13	\$ 37.138.539,27	\$ 4.494.825	\$ 41.633.364
14	\$ 39.995.349,98	\$ 4.840.581	\$ 44.835.931
15	\$ 42.852.160,69	\$ 5.186.337	\$ 48.038.497
16	\$ 45.708.971,40	\$ 5.532.092	\$ 51.241.064
17	\$ 48.565.782,12	\$ 5.877.848	\$ 54.443.630
18	\$ 51.422.592,83	\$ 6.223.604	\$ 57.646.197
19	\$ 54.279.403,54	\$ 6.569.360	\$ 60.848.763
20	\$ 57.136.214,26	\$ 6.915.115	\$ 64.051.330
21	\$ 59.993.024,97	\$ 7.260.871	\$ 67.253.896
22	\$ 62.849.835,68	\$ 7.606.627	\$ 70.456.463
23	\$ 65.706.646,39	\$ 7.952.383	\$ 73.659.029
24	\$ 68.563.457,11	\$ 8.298.139	\$ 76.861.596
25	\$ 71.420.267,82	\$ 8.643.894	\$ 80.064.162

Fuente: Elaboración propia, diseñado en MS Excel.

La tabla 3-13 nos muestra la ganancia total generada a lo largo del tiempo, obteniendo el delta entre la ganancia anual con S.F. y el gasto anual sin S.F., con este dato se puede determinar si es sistema es o no rentable. Anualmente se recupera un 6,9% de la inversión inicial, por lo que en 15 años aprox. se recuperará la inversión inicial.

3.2.3 Gastos en mantención

Para mantener el sistema se debe realizar un mantenimiento rutinario en distintos componentes.

- Se debe realizar una inspección visual en busca de signos de corrosión o daños físicos.
- Comprobar la tensión de cada batería para asegurar su correcto funcionamiento
- Limpieza en los bornes para eliminar la acumulación de suciedad, corrosión o sulfatación.
- Verificar que las conexiones estén firmes.
- Prueba de carga para verificar la capacidad
- Limpieza de paneles solares

Además de la mantención ya mencionada, las baterías de litio tienen una vida útil que varía entre los 10 a 20 años de servicio. Para esto se añadirá la compra de 30 baterías adicionales para 2 recambios total de baterías a futuro.

El valor adicional debido a mantenciones y compra de nuevos equipos se puede apreciar en la tabla 3-14.

Tabla 3-14. Gasto mantención

Valor mantención anual	N° de años	Nuevas Baterías	Valor Total
\$ 200.000	25	\$ 35.340.000	\$ 40.340.000
			UF 1068,72

Fuente: Elaboración propia, diseñado en MS Excel.

El cambio de baterías será necesario con el tiempo debido a la vida útil de éstas que varía entre 10 a 20 años, para ello se debe tener en cuenta el valor de cambiar todas las baterías en caso de ser necesario para el correcto funcionamiento de éstas.

Tabla 3-15. Inversión inicial con gasto de mantención

Inversión Inicial	Re Inversión	Inversión final
\$ 46.453.928	\$ 40.340.000	\$ 86.793.928

Fuente: Elaboración propia, diseñado en MS Excel.

La suma de la inversión inicial y el costo en mantención es de \$ 86.793.928, como se puede apreciar en la tabla 3-15, para que la implementación logre cubrir el nuevo gasto final se deberá esperar hasta el año 28, ya que en este año el delta de los gastos comunes con y sin implementación fotovoltaica será de \$89.671.862.

CONCLUSIONES

La implementación de una instalación fotovoltaica en un condominio ofrece una solución sostenible y económica viable para satisfacer las necesidades energéticas de la comunidad. A través de esta tecnología renovable, el condominio puede reducir su dependencia de fuentes de energía tradicionales, disminuir la huella de carbono y generar ganancias a largo plazo.

Proteger mediante un sistema de respaldo en caso de corte del suministro eléctrico en puntos críticos, es de suma importancia para los residentes, si bien esta tiene una inversión inicial alta, a medida que trascurre el tiempo, el gasto inicial se verá recuperado en ganancias generadas a través del sistema fotovoltaico.

Debido a lo anterior mencionando el sistema es rentable siendo necesario una inversión inicial alta, si bien la ganancia generada anual es solo del 6,9% de la inversión inicial, ésta, en menos de 15 años, logra generar el 100% de la inversión. Para lograr pagar la inversión inicial el condominio puede solicitar créditos en bancos, la elección de estos dependerá de la tasa de interés y formas de pago.

BIBLIOGRAFÍA

Ministerio de Energía. [En Línea]. <<https://solar.minenergia.cl/fotovoltaico>>. [Visitado: Mayo 2024].

ESOL. Equipos Solares. [En Línea]. <<https://esol.cl/>>. [Visitado: Mayo 2024].

Energía comunitaria. Guía diseño de sistemas fotovoltaicos on-grid. [En Línea]. <<http://plataformasolar.die.udec.cl/files/guia%20dise%C3%B1o%20on-grid.pdf>>. [Visitado: Mayo 2024].

RHONA. [En Línea]. <<https://rhona.cl/>>. [Visitado: Mayo 2024].

ESOL. Cotización inversor. [En Línea] <https://www.esol.cl/detalle_productos.php?id=2269>. [Visitado: Mayo 2024].

ESOL. Cotización batería. [En Línea] <https://www.esol.cl/detalle_productos.php?id=2297>. [Visitado: Mayo 2024].

ESOL. Cotización panel solar. [En Línea] <https://www.esol.cl/detalle_productos.php?id=2298>. [Visitado: Mayo 2024].