

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

**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO A UNA
MICRORRED ELÉCTRICA E INTELIGENTE EN UN CONJUNTO HABITACIONAL EN
CHILE**

Trabajo de Titulación para optar al Título de
INGENIERO EN MANTENIMIENTO
INDUSTRIAL con LICENCIATURA EN
MANTENIMIENTO.

Alumno:

Felipe Ignacio Aldana Cáceres.

Profesor Guía:

Mg. Ing. Vanessa Mella Lorca.

RESUMEN

Keywords: MICRORRED – PLAN DE MANTENIMIENTO – PANELES SOLARES.

El escenario energético que vive actualmente Chile, con el desarrollo de nuevas tecnologías en el ámbito del crecimiento sustentable, lo ha llevado a incursionar en materias de energía renovable no convencionales, como lo es la energía solar fotovoltaica, que llevada a una microrred, permite generar energía eléctrica en estas viviendas. Entendiendo que una microrred se define en palabras simples como una red de bajo voltaje, junto con sus cargas, sistemas de micro-generación suministrando a las cargas eléctricas y equipos de almacenamiento eléctrico.

Este trabajo tuvo lugar en un conjunto habitacional en la localidad de Vicuña, región de Coquimbo, donde se simuló la operatividad de una microrred, que fuese capaz de suministrar energía a 120 hogares. Se elaboró un plan de mantenimiento, basándose en las recomendaciones de los fabricantes de cada uno de los equipos y en experiencias de mantenimiento en plantas fotovoltaicas, en donde se les pueda garantizar a sus habitantes el correcto funcionamiento de los equipos y almacenamiento de la energía cumpliendo con los distintos estándares internacionales, esto para que el sistema se encuentre siempre operativo, y que el almacén de baterías funcione como sistema de respaldo en caso de desconexión de la red convencional, permitiendo incluso inyectar los excedentes a la red eléctrica pública.

El plan de mantenimiento finalizó con un análisis económico de los costos asociados a la implementación del mantenimiento de la microrred, tomando en cuenta tres posibilidades: la primera, considerando un mantenimiento independiente a cada uno de los equipos, la segunda, llevando a cabo un plan de mantenimiento que optimice los recursos humanos, materiales y de transporte, y, por último, una opción de mantenimiento focalizado a los equipos críticos. De estas tres posibilidades y en base a los resultados obtenidos se demostró que es más factible la implementación de la tercera posibilidad, mostrando una disminución de los costos del 50% en comparación a la segunda opción y un 85% en comparación a la primera.

Cabe destacar que los resultados del plan de mantenimiento focalizado en equipos críticos, fueron obtenidos mediante un análisis de riesgo y un AMEF, demostrando que los inversores y los paneles solares tienen mayor incidencia en fallas catastróficas que significan riesgo operacional. Por ende, si se opta por realizar un plan de mantenimiento sólo a estos equipos, los costos asociados se reducen considerablemente.

Al realizar un mantenimiento focalizado, los costos generados se pueden solventar económicamente gracias a la venta de excedentes de electricidad de la microrred hacia la compañía eléctrica.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....1

OBJETIVOS 2

 OBJETIVO GENERAL: 2

 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:.....2

1. CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.....3

 1.1. ENERGÍA. 4

 1.1.1 Energías no renovables. 4

 1.1.2 Energías renovables. 4

 1.2. TIPOS DE ENERGÍA RENOVABLE. 5

 1.3. IMPACTO DE LAS ER. 5

 1.4. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.....6

 1.4.1 Importancia e impacto de la energía solar FV. 7

 1.5. CONCEPTO DE MICRORRED.....8

 1.5.1 Características de las microrredes. 9

 1.5.2 Tipos de microrredes.....10

 1.5.3 Elementos comunes que conforman una microrred.....10

 1.5.4 Microrred en Chile: Huatacondo.....12

 1.6. NORMATIVA LEGAL.....12

 1.7. PROBLEMÁTICA.....14

2. CAPÍTULO 2: PLAN DE MANTENIMIENTO 15

 2.1. DEFINICIÓN DE CASO ESTUDIO.....16

 2.1.1 Definición de Características del Condominio. 17

 2.1.2 Definición de características de la microrred. 18

 2.2. DEFINICIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....19

 2.3. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LA MICRORRED.....20

 2.3.1 Panel Fotovoltaico:.....20

 2.3.2 Inversor:.....25

 2.3.3 Inversor-Cargador. 27

 2.3.4 Línea eléctrica.....28

 2.3.5 Banco de Baterías. 30

 2.4. CARTA GANTT DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO OPTIMIZADO.....33

 2.5. CARTA GANTT DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO SIN MODIFICACIONES.
 35

 2.6. ANÁLISIS CUALITATIVO PARA LA DETERMINACIÓN DE EQUIPO CRÍTICO. 36

 2.6.1 Factores de cuantificación:.....36

 2.6.2 Matriz de riesgo. 37

2.7.	ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF).	38
2.7.1	<i>Criterios de clasificación de fallas:</i>	39
2.8.	ANÁLISIS DE RESULTADOS AMEF:	43
2.9.	ANÁLISIS DE RESULTADOS PLAN DE MANTENIMIENTO:	43
3.	CAPÍTULO 3: ANÁLISIS ECONÓMICO	44
3.1.	VALORIZAR PLAN DE MANTENIMIENTO	45
3.1.1	<i>Propuesta uno</i>	45
3.1.2	<i>Propuesta dos:</i>	46
3.1.3	<i>Propuesta tres:</i>	53
3.2.	FLUJOS DE CAJA	54
3.2.1	<i>Flujo de caja empresa:</i>	55
3.2.2	<i>Flujo de caja clientes:</i>	56
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
	BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN	62
	ANEXOS	64
	ANEXO 1:	64
	ANEXO 2:	65
	ANEXO 3	70
	ANEXO 4:	72
	ANEXOS 5:	74
	ANEXO 6:	75

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Planificación Estratégica de Largo Plazo.	6
Figura 1-2 Energía Solar Fotovoltaica.	7
Figura 1-3 Planificación Energética de Largo Plazo (PELP).	8
Figura 1-4 Microrred en modo isla.	9
Figura 1-5 Microrred interconectada con la red.	9
Figura 1-6 Inversor On grid SOLIS.	11
Figura 1-7 Dispositivo de Seccionamiento.	11
Figura 1-8 Localidad de Huatacondo.	12
Figura 2-1 Mapa de Radiación Solar.	16
Figura 2-2 Ubicación de almacén de baterías.	18
Figura 2-3 Panel FV con acumulación de heces de animales.	20
Figura 2-4 Panel FV con acumulación de polvo.	21
Figura 2-5 Cepillo telescópico.	21
Figura 2-6 Decoloración del módulo FV.	22
Figura 2-7 Módulo con rotura por impacto.	22
Figura 2-8 Presencia de puntos calientes.	23
Figura 2-9 Sujeción de los módulos con abrazadera incorrecta.	23
Figura 2-10 Soldadura de panel FV defectuosa.	24
Figura 2-11 Caja de conexión quemada por defecto en conexión interna.	24
Figura 2-12 Aislación de cable defectuoso por roedor.	25
Figura 2-13 Interrupción de corriente eléctrica.	26
Figura 2-14 Sujeción inadecuada de los cables y posterior recalentamiento.	28
Figura 2-15 Carta Gantt Mantenimiento Preventivo parte 1	33
Figura 2-16 Carta Gantt Mantenimiento Preventivo parte 2	34
Figura 2-17 Carta Gantt Mantenimiento Preventivo sin optimizar	35
Figura 2-18 Severidad	39
Figura 2-19 Probabilidad de falla.	39
Figura 2-20 Detección.	40
Figura 2-21 AMEF inversor	41
Figura 2-22 AMEF panel fotovoltaico	42
Figura 3-1 Perfil de carga usuarios.	56
Figura 3-2 Resultados simulación proyecto	57

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1 Resumen datos de ubicación.	17
Tabla 2-2 Frecuencia de fallas.	36
Tabla 2-3 Impacto operacional	36
Tabla 2-4 Flexibilidad operacional.	37
Tabla 2-5 Costo de mantenimiento.	37
Tabla 2-6 Impacto SHA	37
Tabla 2-7 Matriz de riesgo.	38
Tabla 2-8 Niveles de criticidad	38
Tabla 2-9 Análisis cualitativo-cuantitativo	38
Tabla 3-1 Resumen propuesta de mantenimiento puro.	45
Tabla 3-2 Valor Plan de Mantenimiento mes Enero	48
Tabla 3-3 Valor Plan de Mantenimiento meses de Febrero; Abril; Junio; Agosto; Octubre; Diciembre.	49
Tabla 3-4 Valor Plan de Mantenimiento meses de Marzo, Mayo, Septiembre, Noviembre.	51
Tabla 3-5 Valor plan de Mantenimiento mes de Julio.	52
Tabla 3-6 Resumen plan de mantenimiento optimizado.	53
Tabla 3-7 Valor plan de mantenimiento focalizado en equipo críticos	54
Tabla 3-8 Inversiones	55
Tabla 3-9 Costos variables	55
Tabla 3-10 Cálculo energía por hogar.	58
Tabla 3-11 Tarificación.	59
Tabla 3-12 Tarificación mantenimiento focalizado.	59

SIGLAS

AEE: Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico.

AMEF: Análisis del Modo y Efecto de Falla.

AMI: *Advanced Measurement Infrastructure* o Infraestructura de Medición Avanzada.

CA: Corriente Alterna.

CC: Corriente Continua.

CD: Corriente Directa.

CNE: Comisión Nacional de Energía.

CSP: *Concentrated Solar Power* o Energía Solar Concentrada.

EPP: Elementos de Protección Personal.

ER: Energía Renovable.

ERC: Energía Renovable Convencional.

ERNC: Energía Renovable No Convencional.

FV: Fotovoltaica.

GD: Generadores Distribuidos.

kW: Kilowatt.

kWh: Kilowatt Hora.

MW: Mega Watt.

PELP: Planificación Energética de Largo Plazo.

SAIDI: *System Average Interruption Duration Index* o Tiempo medio de interrupción por cliente.

SEC: Superintendencia de Electricidad y Combustibles.

SING: Sistema Interconectado del Norte Grande.

TIR: Tasa interna de retorno.

VAN: Valor actual neto.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo aborda principalmente el tema de las energías renovables en Chile y su uso para poder dar suministro de red eléctrica al país, bajo la premisa de que las energías renovables día a día adquieren mayor protagonismo en el mercado energético chileno, particularmente la energía solar fotovoltaica, cuyo aprovechamiento se debe a esta fuente inagotable que nos proporciona en gran medida el sol, que nos acompaña a donde quiera que vamos.

Es de suma importancia poder abordar esta temática, principalmente porque Chile es un país caracterizado por la ocurrencia en gran medida de catástrofes naturales como sismos, terremotos, incendios forestales, erupciones volcánicas, entre otras, y cada vez que alguna de ellas ocurre, las probabilidades de quedar sin suministro eléctrico son altísimas, y en muchos casos, tarda varios días en resolverse. Por ello, se vuelve relevante contar con un sistema eléctrico no convencional suministrado por energías renovables, que son una fuente inagotable y podrían dar solución a la problemática de cortes en la red eléctrica convencional, presentando como solución las microrredes eléctricas e inteligentes con paneles fotovoltaicos, las cuales, con un plan de mantenimiento periódico, se podría garantizar su óptimo funcionamiento y confiabilidad de que estarán operativas, permitiendo proveer de energía a los hogares chilenos en todo momento.

En base a lo anterior, el objetivo de este trabajo es evaluar de manera técnica y económica la implementación de un plan de mantenimiento preventivo a una microrred eléctrica e inteligente conformada por un conjunto de viviendas en Chile, cuya fuente es la energía solar fotovoltaica que se adquiere mediante el uso de paneles fotovoltaicos.

Cabe mencionar que este trabajo surge a raíz de un proyecto de investigación que se está llevando a cabo, por lo cual, el plan de mantenimiento que se verá en las páginas siguientes, podría ser pionero en el caso de llegar a realizarse. Por el mismo motivo anterior, no existe una base de datos cuantitativos que puedan procesarse para efectos de este trabajo, lo que obliga a realizar sólo un análisis cualitativo.

Si pudiese elaborarse este plan de mantenimiento a la microrred, permitiría que se lleven a cabo más proyectos y propuestas para dar paso a instaurar un suministro sustentable y que disminuyan drásticamente los cortes de energía, todo ello a través de la verificación del estado de baterías, conexiones, control de temperatura, revisando que no exista sobrecarga del sistema eléctrico, además de revisar que los paneles estén en buen estado y no haya degradación de materiales, entre otras.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Evaluar de manera técnica y económica la implementación de un plan de mantenimiento preventivo a una microrred eléctrica e inteligente conformada por un conjunto de viviendas en Chile para minimizar riesgos de una falla.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Recopilar la información asociada a la energía solar fotovoltaica y microrredes eléctricas mediante el uso de bibliografías y normativa vigente para contextualizar la investigación.

Generar plan de mantenimiento a una microrred eléctrica con el fin de optimizar su uso a través de normativa vigente e información del fabricante aplicándolo a un condominio con características predefinidas.

Valorizar el plan de mantenimiento mediante una evaluación económica proponiendo un sistema de tarificación para prestación de servicios a la comunidad.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES.

1.1. ENERGÍA.

De acuerdo al Ministerio de Energía, la energía:

“Es la capacidad de un cuerpo o sistema para realizar un trabajo ya sea en forma de movimiento, calor o luz y es parte de nuestras vidas en todo momento. Por ejemplo cuando nos alimentamos obtenemos energía que utilizamos para realizar actividades, cuando cocinamos utilizamos el calor para preparar nuestros alimentos y cuando cargamos un artefacto, utilizamos la energía eléctrica” (Ministerio de Energía, 2017).

Dependiendo de su fuente podemos separarlas en energías no renovables y energías renovables.

1.1.1 Energías no renovables.

Las energías no renovables son aquellas que se encuentran en la naturaleza en una cantidad limitada, agotándose en el tiempo. Una de ellas son los combustibles fósiles, los cuales son el resultado de millones de años de transformación de la biomasa, como el petróleo, el carbón y el gas. También, dentro de este tipo, encontramos la energía nuclear, que se genera producto de la descomposición radiactiva de elementos tales como el plutonio y el uranio (Ministerio de Energía, 2021).

1.1.2 Energías renovables.

Cuando se habla de energías renovables (ER), se hace alusión a todas aquellas energías basadas en la utilización de recursos naturales y que provienen de una fuente inagotable. Son capaces de regenerarse por medios naturales y no generan residuos para el medioambiente. Entre los tipos de fuentes de energía renovables se encuentran la energía procedente del sol, la eólica, hidráulica, la de los océanos, la energía geotérmica y los biocombustibles (Ministerio de Energía, 2021).

En Chile particularmente, se suelen clasificar las energías renovables en convencionales y no convencionales, dependiendo del grado de desarrollo de las tecnologías para su aprovechamiento y la predominancia en los mercados energéticos en que se presentan.

De este modo, la energía renovable convencional (ERC) ocupa gran parte de los mercados energéticos, siendo la más importante la energía hidráulica a gran escala; mientras que la energía renovable no convencional (ERNC) se define como aquella fuente de generación energética que no incurre en consumo o agotamiento de su fuente generadora, y que además, tiene relación con el bajo desarrollo tecnológico y poca penetración en el mercado, es así como presenta un gran potencial de desarrollo la energía geotérmica, la eólica, solar y la hidráulica menor a 20 MW, cuyo aprovechamiento es limitado comparado con su potencial. No obstante, debido a la notable entrada de algunas ERNC, no es extraño que en algún momento se conviertan en ERC, como es el caso de la energía solar, que ha adquirido un aumento exponencial estos últimos años (Jiménez, 2011).

1.2. TIPOS DE ENERGÍA RENOVABLE.

Hoy en día existen diversos tipos de energías renovables o energías limpias como se conoce en algunos lugares. Entre ellas se encuentra:

- Energía eólica: que es la energía que se obtiene del viento.
- Energía solar: la energía que se obtiene del sol. Las principales tecnologías son la solar fotovoltaica (FV), que es la más extendida, y que usa el principio fotovoltaico en el cual algunos materiales, en contacto con la luz solar, pueden producir electricidad, y la solar térmica (CSP: *Concentrated Solar Power*) que consiste en un método de generación térmica. En otras palabras el proceso consiste en calentar, por medio de la energía contenida en la radiación solar, algún fluido para luego mover turbinas y generar electricidad.
- Energía hidráulica o hidroeléctrica: la energía que se obtiene de los ríos y corrientes de agua dulce.
- Bioenergía: la energía que se extrae de materia orgánica.
- Energía geotérmica: la energía calorífica contenida en el interior de la Tierra.
- Energía mareomotriz: la energía que se obtiene de las mareas.
- Energía undimotriz: la energía que se obtiene de las olas.

1.3. IMPACTO DE LAS ER.

La deseable intención de los países por lograr un desarrollo energético seguro y amigable con el medioambiente ha posicionado a las energías renovables como una de las fuentes de energía con más potencia e impacto en el mercado energético, por ser consideradas como una de las principales soluciones para reducir la huella de carbono.

Cada día hay más penetración de estas a nivel global, y es que los países han promulgado políticas en torno al tema, como es el caso de Chile, que tiene como apuesta a largo plazo, fomentar el uso y desarrollo de estas fuentes de energía, promoviendo aquellas que poseen una potencialidad mayor, como la energía solar, la eólica y la geo-térmica. De este modo, se espera que con el paso de los años, las Energías Renovables ocupen el mayor porcentaje de incidencia en el Sistema Eléctrico Nacional.

De acuerdo con el propósito nacional en torno a la expansión de las energías renovables, en el año 2019, el presidente de la República de Chile Sebastián Piñera, anuncia el plan de descarbonización energética “Plan Zero Carbón”, que busca propiciar un desarrollo sustentable y sostenible para la comunidad, eliminando centrales de carbón del Sistema Eléctrico Nacional.

A raíz de lo anterior, se ha visto un aumento exponencial del uso de energías renovables, alcanzando incluso el 51% de la capacidad instalada actual del sistema eléctrico nacional. Se espera que al año 2025 esta cifra llegue al 70%, considerando factores como el crecimiento de la demanda eléctrica y la velocidad de retiro de centrales a carbón (Ver figura 1-1).

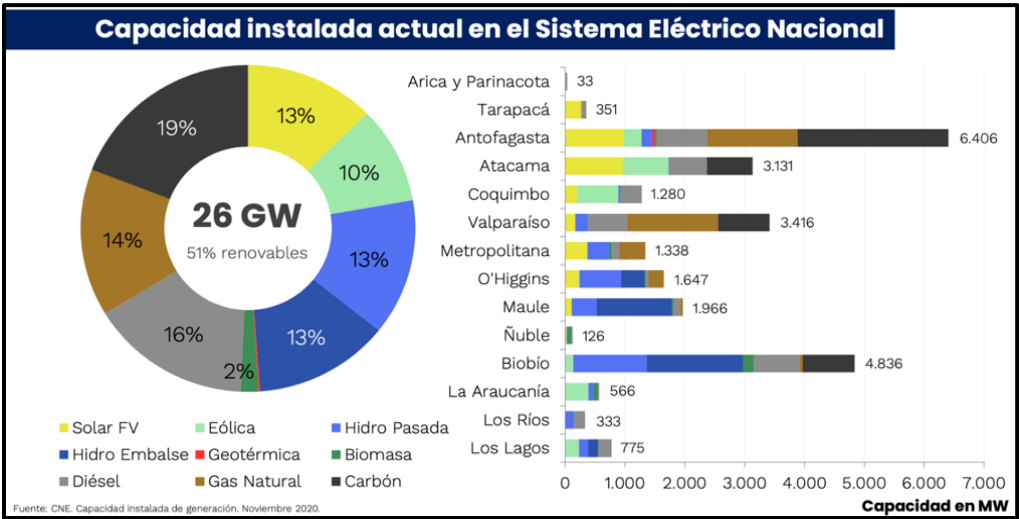


Figura 1-1 Planificación Estratégica de Largo Plazo.

Fuente: CNE Comisión Nacional de Energía.

Debido a la creciente demanda de las ER y a las proyecciones al año 2050, la Energía Solar FV se ha convertido en el tipo de energía más atractivo y de mayor crecimiento en Chile, esto, sumado al hecho de ser la más accesible para las personas, la ha posicionado con un rol protagónico a nivel nacional, incluso, de acuerdo con la Comisión Nacional de Energía (CNE): “A febrero de 2017, el 76% de los proyectos de generación con ERNC en construcción son solares fotovoltaicos”(CNE. Citado en Electricidad: la revista energética de Chile, 2017).

1.4. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA.

Como se sabe, la energía solar proviene del sol y puede clasificarse en dos tipos dependiendo del principio que se utilice para extraerla: solar térmica y solar fotovoltaica. Esta última es de suma interés en este trabajo, cuando se habla de ella, se hace alusión al aprovechamiento de la energía que proviene del sol y su transformación en energía eléctrica.

Este tipo de energía transforma de manera directa la luz solar en electricidad, empleando una tecnología basada en el efecto fotovoltaico, que se caracteriza por la producción de una corriente eléctrica entre dos piezas de material diferente que están en contacto y expuestas a la luz del sol o, en general, a una radiación electromagnética. Esta corriente eléctrica producida podrá ser directamente consumida, almacenarse en baterías o acumuladores o adaptarse para su incorporación a la red eléctrica (Valdiviezo, 2014).



Fuente: PV Magazine México

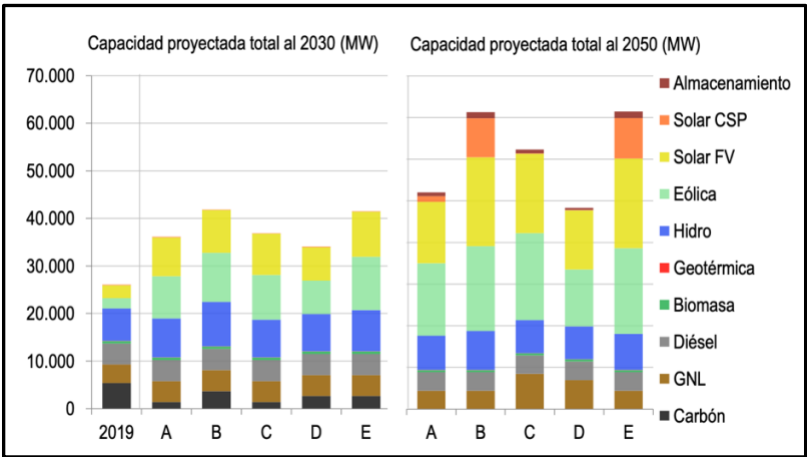
Figura 1-2 Energía Solar Fotovoltaica.

1.4.1 Importancia e impacto de la energía solar FV.

La energía solar FV ha adquirido un papel protagonista en Chile y cada año adquiere mayor predominancia en el Sistema Eléctrico Nacional, lo cual, es gracias a la enorme cantidad de beneficios que genera principalmente al medioambiente:

- La Energía Solar FV no contamina, lo que la hace contribuir a un desarrollo sostenible, aportando a la eliminación de la huella de carbono, siendo una de las más eficientes en la lucha contra el cambio climático.
- Además, es inagotable y se renueva, ya que su fuente de energía (el sol) está disponible en todo el mundo y se adapta a los ciclos naturales.
- Otro aspecto importante es su amplia disponibilidad, ya que es posible contar con ella en lugares hasta de difícil acceso. Sus instalaciones pueden ser pequeñas o de gran tamaño, adecuadas para abastecer las necesidades de una vivienda urbana o aislada, así como también para plantas de generación a gran escala.
- Por último, es una de las más económicas en buena parte del mundo. Las Energías Renovables se han vuelto competitivas en el mercado energético, llegando a ser la solución más sostenible.

La extensión nacional que ha adquirido la Energía Solar es tan alta, que, en los escenarios de la Planificación Energética de Largo Plazo (PELP), se presenta una fuerte inversión en Energías Renovables (Ver anexo 1).



Fuente: CNE Comisión Nacional de Energía.

Figura 1-3 Planificación Energética de Largo Plazo (PELP).

En este gráfico, se puede apreciar, cómo es que entre los años 2019 al 2030, en todos los escenarios proyectados por el Ministerio de Energía de Chile se presenta una fuerte inversión en Energías Renovables, destacando principalmente la Energía Solar Fotovoltaica. Se espera que incluso, al año 2050 con la implementación de Energías Renovables, la proyección podría triplicar la capacidad actual.

La aplicación más común de la energía solar fotovoltaica es la producción de energía eléctrica para su inyección en la red eléctrica convencional. Estos sistemas, denominados sistemas fotovoltaicos de conexión a red, pueden emplear sistemas de seguimiento para maximizar la producción o bien optar por estructuras estáticas para reducir costos económicos y ocupación de terreno.

1.5. CONCEPTO DE MICRORRED.

Una microrred o en inglés llamada microgrid, es un subsistema conformado por 2 palabras: “micro”, concepto que se refiere a algo extremadamente pequeño en relación a la red principal, y “grid”, una red de líneas eléctricas. En términos más simples, se puede definir como una red de bajo voltaje (como por ejemplo un conjunto habitacional), junto con sus cargas, sistemas de micro-generación, múltiples alimentadores suministrando a las cargas eléctricas y equipos de almacenamiento eléctrico, con potencias en los rangos de algunas decenas de kW o menos (Montecinos, 2011).

Por lo tanto, se entiende que una microrred está conformada por todos los elementos esenciales de un sistema de energía en un rango menor, excepto líneas de transmisión y subestaciones, capaces de dar servicio eléctrico a un grupo de usuarios más o menos numeroso con bastante fiabilidad y economía.

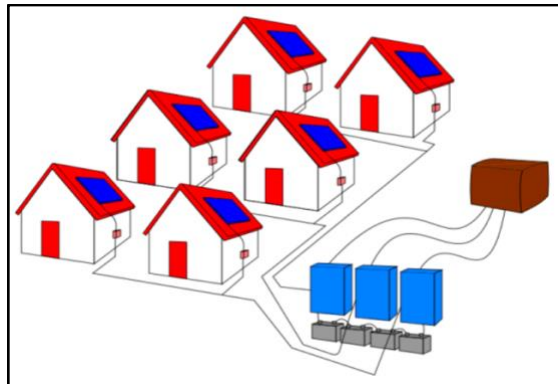
Los elementos de los que consta una microrred inteligente son: sistemas de generación distribuida, sistemas de almacenamiento de energía, técnicas para la gestión de cargas, sistemas de

monitorización y control del flujo de potencia, técnicas y procedimientos de mantenimiento preventivo.

1.5.1 Características de las microrredes.

Una microrred es capaz de funcionar en modo isla (Ilustración 4) o interconectada con otra red (Ilustración 5).

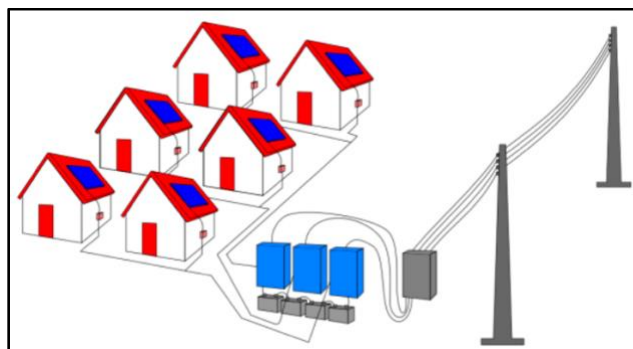
Cuando se habla de una microrred en modo isla, se hace referencia a cuando estando desconectado de la red, una o varias unidades de generadores distribuidos (GD) energizan una parte del sistema de distribución (la microrred), que se ha separado de la red principal.



Fuente: Artículos Tesina Magister en Economía Energética UTFSM, Vol 10, N°1, 2020

Figura 1-4 Microrred en modo isla.

Por otro lado, una microrred interconectada con otra (conectada a la red), busca abastecer la mayor cantidad de la demanda, gestionando la carga y/o descarga de los sistemas de almacenamiento.



Fuente: Artículos Tesina Magister en Economía Energética UTFSM, Vol 10, N°1, 2020

Figura 1-5 Microrred interconectada con la red.

1.5.2 Tipos de microrredes.

Es posible clasificar las microrredes en tres grupos, según el manejo de cargas y de generación distribuida que se quiera poner en práctica.

Siguiendo las definiciones de Mella (2020), estos 3 tipos son:

- **Microrred de Corriente Alterna (CA):** representa a las microrredes que suministran energía en corriente alterna a la red de distribución. Son fácilmente conectadas a una red de distribución existente sin equipos especiales. Desde que se inició el concepto de microgrid, el desarrollo se ha centralizado en este tipo de red, esto debido a la compatibilidad que tiene con los dispositivos eléctricos.
- **Microrred de Corriente Continua (CC):** Esta microrred distribuye energía en corriente continua. Su desarrollo nace por las fuentes de energía en CC (solar y celdas de combustible) y por la gran cantidad de equipos electrónicos que funcionan bajo esas condiciones. Estas microrredes muestran mayores eficiencias y menores etapas de conversión de energía.
- **Microrred híbrida:** consiste en una red eléctrica conformada por 2 microrredes: una en CA y otra en corriente directa (CD). Ambas están unidas a través de un inversor el que convierte la corriente continua en alterna o viceversa. Las fuentes de energía y cargas en CC se conectan al lado de CC y las fuentes de energía y cargas en CA, en el lado de CA. Esta microrred se conecta a la red principal por el lado de la CA. Su objetivo es minimizar los procesos de conversión de energía, aumentar la confiabilidad y reducir los costos de energía mejorando la eficiencia del sistema.

1.5.3 Elementos comunes que conforman una microrred.

De acuerdo con Velásquez, Sarmiento, Silva, Vidrio y Nieva (2010), los elementos que conforman una microrred, son los siguientes:

- **Inversores:** Un inversor típicamente convierte la corriente directa (CD) a corriente alterna (CA), por ejemplo, en la salida de un panel solar para su utilización en residencias, comercios, etc. El inversor desconecta el panel cuando piensa que la red eléctrica principal ha salido de operación, para evitar la operación en isla de redes que no están planeadas para tal condición. Sin embargo, dentro del concepto de la microrred, la función de la nueva generación de inversores deberá mantenerse conectada cuando la infraestructura que conforma la microrred se desconecta de la red principal y participa para mantener la microrred operando como isla.



Fuente: Solarstore.cl

Figura 1-6 Inversor On grid SOLIS.

- **Medidores Inteligentes:** La infraestructura de medición avanzada o AMI, como se le conoce en inglés, consiste en medidores digitales de estado sólido, con comunicación de dos vías entre el medidor y la empresa suministradora.

La información sobre el consumo permite conocer cómo se utiliza la energía dentro del hogar o negocio, cuánto cuesta y cuál es el impacto ambiental que esto representa.

Los medidores inteligentes ayudarán a detectar apagones y restablecer el servicio eléctrico lo más rápido posible, produciendo beneficios que van desde ahorro de energía y dinero, mayor privacidad, ubicación rápida de fallas y reducción del impacto ambiental.

- **Dispositivo de seccionamiento:** Se encarga de proveer alta velocidad de separación entre la microrred y la red principal. Dependiendo de la tensión, la velocidad deseada y la corriente de falla, este dispositivo puede ser desde un interruptor termomagnético, hasta un interruptor estático de alta velocidad.

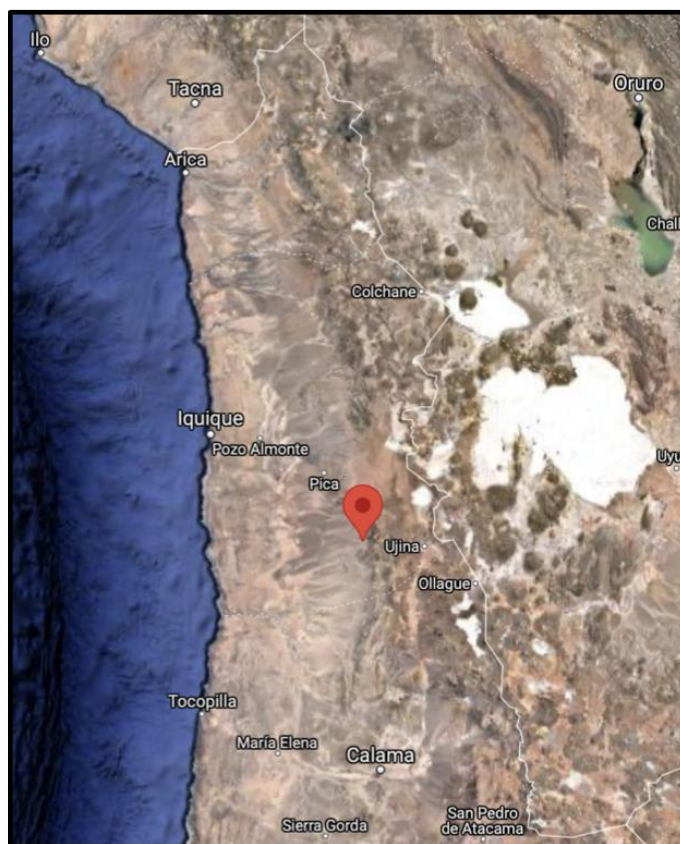


Fuente: SumSol.cl

Figura 1-7 Dispositivo de Seccionamiento.

1.5.4 Microrred en Chile: Huatacondo.

En la actualidad, en Chile se encuentra implementada una microrred en la zona norte, en la localidad de Huatacondo, Región de Tarapacá, cruzando por el antiguo Camino del Inca de Arica a Quillagua, y en medio de la Pampa del Tamarugal.



Fuente: google maps

Figura 1-8 Localidad de Huatacondo.

Esta microrred nace debido a que la localidad se encontraba aislada del Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), por lo cual no podían autoabastecerse del suministro eléctrico, contando con sólo 10 horas al día de electricidad, el que se abastecía por un generador diésel que funcionaba de forma limitada debido al alto costo del combustible.

Como solución al problema de abastecimiento, se planificó la instalación de paneles fotovoltaicos y una turbina eólica como método de generación de energía junto con todo los elementos principales de una microrred definidas anteriormente..

1.6. NORMATIVA LEGAL.

Debido a la creciente demanda de energías renovables y al cambio que se experimenta en el mundo, se ve la obligación de regular la utilización de energías renovables no convencionales en nuestro país, es por esto que en el año 2007, se introduce una modificación a la ley 20.698 cuyo objetivo es fomentar la participación de fuentes de energía renovable no convencional. El fin de esta ley consiste en exigir a las empresas generadoras garantizar que cierto porcentaje de la energía

consumida por sus clientes finales corresponda a energía renovable no convencional en los sistemas sobre 200 MW, estableciendo sanciones y multas de no cumplirse la obligación.

Junto a la ley anterior y también de la mano con el desarrollo de nuevas tecnologías, se promulga en el año 2012 la ley 20.571, que fomenta el autoconsumo de electricidad, otorgándole así a los clientes con tarifas reguladas que posean medios de generación con energías renovables, el derecho a inyectar a la red los excedentes de energía generada, y que además, que estos mismos excedentes se valoricen por la empresa distribuidora al mismo precio de energía que se cobra por los consumos, para descontarlos de la cuenta de la luz y, eventualmente, obtener otras compensaciones asociadas al suministro eléctrico con la empresa distribuidora. Con esto se evita invertir en baterías por parte del cliente y también, se focaliza en proyectos para autoconsumo y no para comercialización de energía.

Gracias a la promulgación de esta ley, a finales del año 2017, ya se habían declarado en la Superintendencia de Electricidad y Combustibles, 2076 sistemas de generación bajo la Ley 20.571, por una potencia total que excede los 12 MW, donde el 99% de estos proyectos son del tipo solar fotovoltaico y el 81% son residenciales.

La ley antes mencionada, en el año 2018, se modifica en ciertos puntos a través de la ley 21.118, la cual principalmente permite a los usuarios conectar fuentes de energías renovables (como paneles solares fotovoltaicos) de hasta 300 KW y también señala lo siguiente:

"En el caso de inyecciones de energías valorizadas de acuerdo a lo señalado, provenientes de equipamientos de generación de energía eléctrica de propiedad conjunta, estas deberán ser descontadas de los cargos de suministro eléctrico de las facturaciones de los propietarios del equipamiento, [...] según las reglas de repartición de inyecciones que hayan sido informadas a la concesionaria en el correspondiente contrato" (Ley 21.118, 2018)

Si bien, se ha avanzado en materia de leyes que regulen estos aspectos, aún queda camino por recorrer para imitar a algunos países desarrollados que han apostado por una legislación que regula tanto la capacidad para producir por cada usuario, como también la capacidad de instalar microrredes en ciertas ciudades.

El ejemplo más importante de lo dicho en el párrafo anterior, es el caso de Puerto Rico, que producto de una catástrofe natural vio destruido todo su sistema de distribución eléctrica, lo que lo llevó a generar leyes respecto a microrredes y energía renovable, dando pie así al reglamento para el fomento del desarrollo de microrredes y la interconexión de estas a la infraestructura de la Autoridad de Energía Eléctrica de Puerto Rico (AEE), que va asociado a la ley 57-2014 de Puerto Rico: Ley de transformación y alivio energético.

1.7. PROBLEMÁTICA.

La implementación de un plan de mantenimiento a una microrred eléctrica en Chile surge a raíz de la problemática de que nuestro país suele verse afectado por diferentes catástrofes naturales, que provocan la interrupción del suministro eléctrico e incluso daños a la misma, este corte de suministro tiene una duración promedio de 13,9 horas a nivel nacional según fuentes de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles (SEC).

La situación anterior genera malestar en millones de chilenos que dependen, en muchos casos, de este recurso para las labores del día a día. Incluso, para algunas familias, contar con suministro eléctrico se vuelve vital, puesto que hay quienes dependen de estar conectados a equipamientos que por prescripción médica les resulta imprescindible para vivir, como es el caso de las personas electrodependientes.

Por ello, como se revisó al inicio, se vuelve muy importante dar mayores oportunidades a la implementación de un sistema eléctrico no convencional que esté suministrado por energías renovables, que son una fuente inagotable y podrían dar solución a la problemática de cortes en la red eléctrica convencional y que, además, están presentes en gran cantidad como uno de los principales recursos naturales del país.

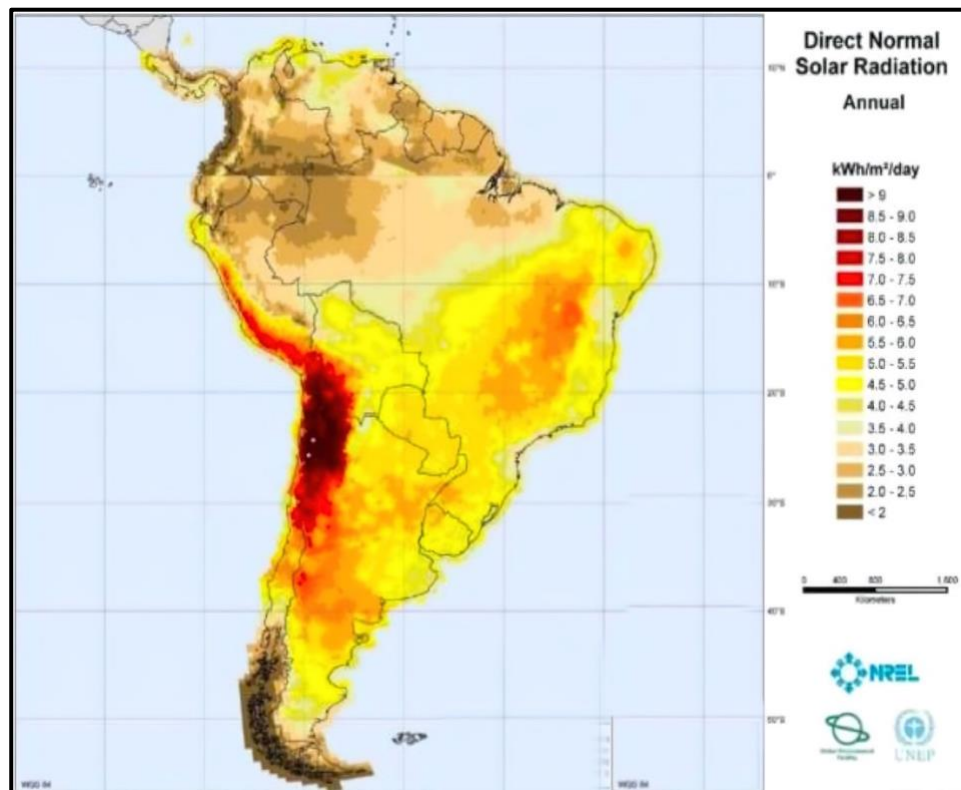
Una gran alternativa de suministrar energía a millones de hogares chilenos, son los paneles solares fotovoltaicos, que funcionan en base a la radiación solar. Actualmente, hay varias industrias que han incursionado en esta área, no obstante, resulta importante que obtenga mayor alcance con el paso de los años, y su aplicación llegue incluso a suministrar energía a las viviendas.

Para lo anterior, se vuelve muy importante contar con un plan de mantenimiento preventivo a esta microrred que operaría con paneles fotovoltaicos. De este modo, se podría disminuir en gran medida los cortes de energía, aumentando la confiabilidad y disponibilidad de los equipos si se lleva a cabo una revisión a tiempo de los componentes del sistema.

CAPÍTULO 2: PLAN DE MANTENIMIENTO

2.1. DEFINICIÓN DE CASO ESTUDIO.

Antes de entregar la información respecto a la ubicación del condominio donde se llevará a cabo este proyecto, es importante entender que Chile es uno de los países del mundo que mayor cantidad de radiación solar diaria en promedio recibe, hay que tener en consideración que la radiación solar varía según su ángulo de entrada a la atmósfera y que estos valores cambian durante la hora del día, la estación del año y la latitud que esté ubicada. Más específicamente, en el norte grande, comprendiendo las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá, Antofagasta y Atacama, se produce mayor radiación solar.



Fuente: Global Solar Atlas.

Figura 2-1 Mapa de Radiación Solar.

Es por lo anterior que se procederá a definir las características y ubicación geográfica de un condominio a modo de caso estudio dentro de Chile, esto tomando en consideración la gran diferencia geográfica que existe a lo largo del país, la diferencias económicas y la difícil accesibilidad de algunos lugares.

Hay un caso reciente en una comunidad perteneciente a la localidad de Vicuña, en la región de Coquimbo, donde últimamente se han visto reiterados cortes del suministro eléctrico, destacando lo siguiente “los argumentos presentados por los vecinos destacó las existencias de cableado sin protección para aves silvestres, las que colisionan con este generando cortes de luz; por otro lado, se destacó igualmente el nulo compromiso de la empresa eléctrica CGE en la mantención de los generadores, los cuales no están a la altura y la potencia para solventar la necesidad del sector, además de la nula poda de árboles en distintos sectores de La Puntilla,

Diaguitas” (Municipalidad de Vicuña, 2021), en donde la respuesta de la compañía de electricidad CGE fue afirmar no poder asistir, por medios presenciales ni virtuales.

En el caso de aplicarse una microrred como una propuesta y posterior desarrollo, estos deberán contar con un plan de mantenimiento a tal microrred, para así poder garantizar a la comunidad tranquilidad de que sus equipos estarán operativos y poder dar fin a los cortes de suministro eléctrico inesperados y reiterativos, aumentando su confiabilidad operacional.

2.1.1 Definición de Características del Condominio.

El condominio como caso estudio para la implementación de un plan de mantenimiento a las microrredes (conjunto habitacional) se ubica en Vicuña, Región de Coquimbo, más específicamente en la localidad de diaguitas, con los siguientes datos:

Tabla 2-1 Resumen datos de ubicación.

LATITUD	LONGITUD	ALTURA
-30,02°	-70,64°	704 msnm
Global Horizontal (kWh/m2/día)	Global Inclinado 30° (kWh/m2/día)	Directa Normal (kWh/m2/día)
6,2	6,62	8,29
FRECUENCIA DE NUBES (%)	TEMPERATURA AMBIENTAL (°C)	VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
8	18,6	3,6

Fuente: Elaboración propia según Explorador Solar.

En primera instancia se trabajaría con un conjunto habitacional conformado por 120 casas, cada una de ellas contará con una capacidad instalada de 2 kW y tendrá su propia fuente de generación eléctrica en el techo. Además cada hogar contará con su propio inversor.

En cuanto a la confiabilidad del sistema, en la actualidad la empresa CGE según el estudio SAIDI (índice de duración promedio de interrupción del sistema) que se usa comúnmente como un indicador de confiabilidad por las empresas de energía eléctrica, muestra que la comuna de Vicuña posee una interrupción SAIDI de 9,46 horas (Energía abierta, Ministerio de Energía de Chile, 2020), lo cual le valió a la empresa una multa por 4.000 UTM, por exceder los límites permitidos sin suministro eléctrico en las comunas de Vicuña y Paihuano, con este caso estudio se busca llevar las horas de interrupción lo más cercano a cero posible.

2.1.2 Definición de características de la microrred.

La microrred del caso estudio para dar solución a la comunidad, se implementará como una microrred de corriente alterna, debido a que son fácilmente conectadas a la red de distribución existente sin equipos especiales, además de que el desarrollo se ha centralizado en este tipo de red, esto debido a la alta compatibilidad que tiene con los dispositivos eléctricos presentes en el hogar.

Además de lo anterior, esta microrred funcionará de manera híbrida, es decir, interconectada con la red eléctrica, permitiendo a los habitantes de este condominio contar con su propia fuente de energía renovable e ingresar los excedentes a la red eléctrica convencional, permitiéndole rebajas en su boleta de luz eléctrica, además de permitirles desconectarse de la red pública en caso de interrupción de ésta y mantener su funcionamiento en modo *off grid* (modo isla), por lo cual contarán con un almacén donde se guardarán las baterías, que quedará alejado de la comunidad (recuadro rojo en la fotografía 10).



Fuente: Google Maps.

Figura 2-2 Ubicación de almacén de baterías.

2.2. DEFINICIÓN DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

Para poder desarrollar el plan de mantenimiento a la microrred eléctrica e inteligente, primero se debe abordar qué es un mantenimiento preventivo, éste se entiende como la rama del mantenimiento que abarca todos los planes y acciones necesarias para determinar y corregir las influencias o condiciones dañinas antes de que lleguen al grado en que la iniciativa de mantenimiento preventivo se convierta en mantenimiento correctivo o de reparaciones (Lievano, 2006).

El plan de mantenimiento preventivo se complementa con el estudio de necesidades de servicio de un equipo, además si se le aplica como una organización sistemática, esta permite aumentar la eficiencia del sistema de la microrred eléctrica. La eficiencia dependerá de la calidad de información confiable y actualizada que se recopile durante el proceso.

Una vez que se ha establecido el programa de revisiones y reparaciones, deberá revisarse periódicamente la programación inicial y real de necesidades y actividades, para lo cual, la información deberá ser veraz para programar eficientemente el mantenimiento preventivo, y a su vez, este último deberá ser flexible, adelantándolo si resulta ser necesario.

Es indiscutible que para llevar a cabo un eficiente plan de mantenimiento de cualquier equipo o conjunto de ellos, se hace necesario contar con una organización lo más perfecta posible, recursos financieros suficientes, repuestos, materiales y equipos de buena calidad y contar además con el personal técnico capacitado para llevar a cabo los planes de mantenimiento previamente establecidos, cuya función principal es minimizar las detenciones imprevistas o la depreciación excesiva de los equipos a través de detenciones periódicas programadas para descubrir y corregir condiciones defectuosas.

2.3. PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO A LA MICRORRED.

El presente mantenimiento está basado en las diferentes recomendaciones de los fabricantes de los distintos elementos que componen una microrred, algunos de estos son Caterpillar, SMA, Victron Energy, entre otros, además de recomendaciones de profesionales como el Ministerio de Energía de Chile.

2.3.1 Panel Fotovoltaico:

Por diseño propio del panel fotovoltaico, y al carecer este de partes móviles, estos requieren poco mantenimiento, pero esto no significa que se deban ignorar, es por esto que se debe asegurar que nada obstaculice la radiación solar al panel y mantenerlo limpio, debido a que este problema puede hacer perder de un 10 a un 15% de producción de energía.

El plan de mantenimiento constará de una serie de tareas e inspecciones que se detallarán a continuación:

2.3.1.1 *Limpieza del panel FV:*

La suciedad que pueda acumular el panel puede reducir su rendimiento, cifras que van desde un 10 a un 15%, las capas de polvo, hojas, papeles, excrementos de animales, reducen la intensidad del sol y de potencia.

- Las labores de limpieza de los paneles se realizarán bimestralmente o bien adelantadas después de una lluvia, nevadas u otros fenómenos meteorológicos similares que hagan necesaria una labor de limpieza.
- Para realizar la limpieza de los paneles FV, se deberá utilizar agua sin agentes abrasivos ni instrumentos metálicos que pueden rayar o afectar al panel. Preferentemente esta labor deberá realizarse fuera de las horas centrales del día, para evitar cambios bruscos de temperatura entre el agua y el panel (sobre todo en verano).
- Esta tarea tendrá una duración de 10 días hábiles y se realizará cada 60 días.



Fuente: Guía de operación y mantenimiento a sistemas fotovoltaicos, Ministerio de Energía de Chile.

Figura 2-3 Panel FV con acumulación de heces de animales.



Fuente: Guía de operación y mantenimiento a sistemas fotovoltaicos, Ministerio de Energía de Chile

Figura 2-4 Panel FV con acumulación de polvo.

Consideraciones antes de realizar la limpieza:

- Tomar todas las medidas de seguridad necesarias: utilización de elementos de protección personal (EPP), usar andamios y/o plataforma elevadora en caso de sistemas en altura.
- No se debe caminar sobre los módulos FV, esto no solo los dañaría, además se corre el riesgo de que la persona que realiza las labores resbale.
- Se recomienda usar bastones telescópicos no conductores y mangueras para alcanzar los módulos FV (Ver fotografía 13).
- Confirmar que no hay módulos rotos.
- Nunca rociar agua sobre módulos dañados.
- Planificar hacia dónde va a escurrir el agua (presencia de drenajes) y en caso de usar productos químicos, recoger el agua usada.



Fuente: Guía de operación y mantenimiento a sistemas fotovoltaicos, Ministerio de Energía de Chile.

Figura 2-5 Cepillo telescópico.

2.3.1.2 Inspección visual de posibles degradaciones.

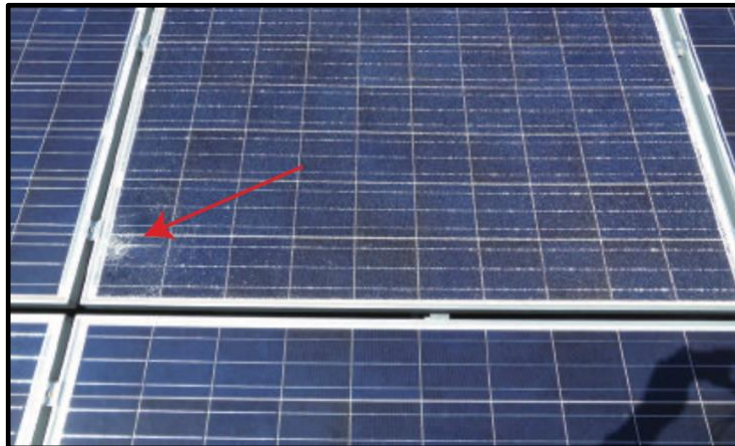
- Se realizará un mantenimiento preventivo cada 2 meses.

- Se controlará que ninguna célula solar se encuentre en mal estado, como por ejemplo que el cristal de protección se encuentre roto, presente microfracturas o microgrietas, normalmente este problema se da debido a acciones externas.
- Verificar la degradación del laminado y/o cambio de color.
- Comprobar que el marco del módulo se encuentre en correctas condiciones (ausencia de deformaciones o roturas).
- Esta tarea demorará 10 días hábiles y se realizará cada 60 días.



Fuente: Guía de operación y mantenimiento a sistemas fotovoltaicos, Ministerio de Energía de Chile

Figura 2-6 Decoloración del módulo FV.

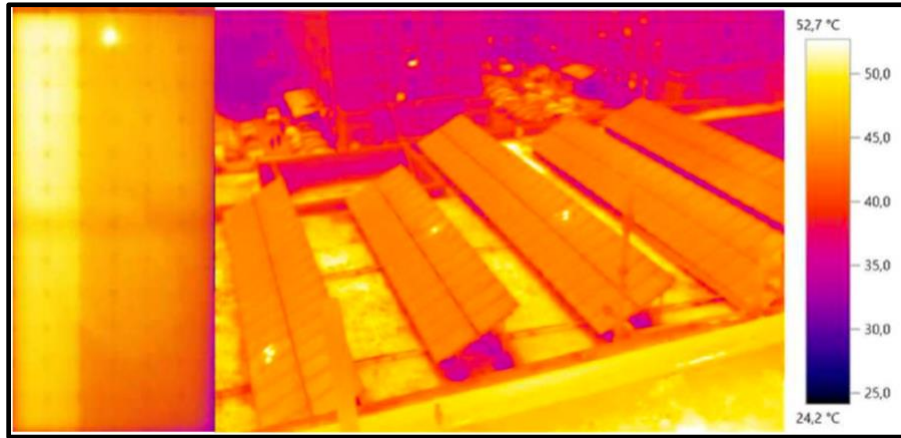


Fuente: Guía de operación y mantenimiento a sistemas fotovoltaicos, Ministerio de Energía de Chile

Figura 2-7 Módulo con rotura por impacto.

2.3.1.3 Control de temperatura del panel

- Este mantenimiento preventivo se realizará cada 2 meses a la microrred.
- Se monitoreará mediante termografía infrarroja puntos calientes, es decir, que ningún punto del panel esté fuera del rango de temperatura permitido por el fabricante, sobre todo en los meses de verano, donde en el lugar las temperaturas pueden alcanzar los 30°C según fuentes de agroclima.
- Esta tarea tendrá una duración de 10 días.



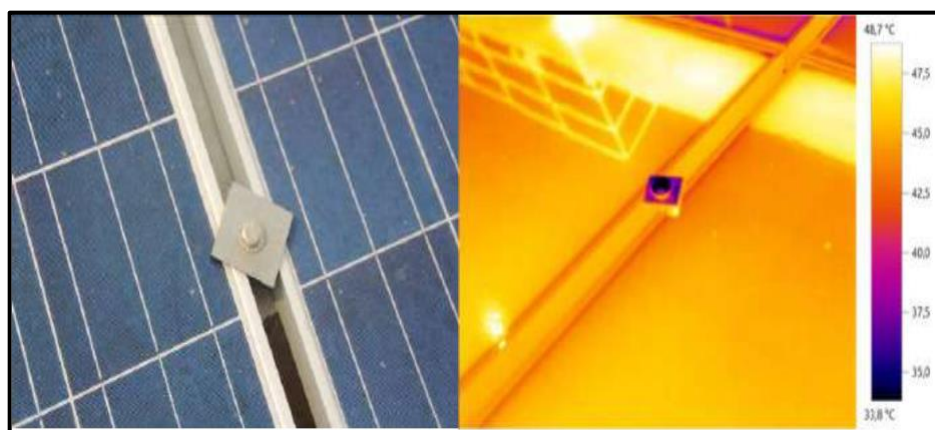
Fuente: Guía de operación y mantenimiento a sistemas fotovoltaicos, Ministerio de Energía de Chile.

Figura 2-8 Presencia de puntos calientes.

2.3.1.4 Estructura de soporte de los paneles.

Los paneles FV pueden estar fabricados de distintos materiales, los comúnmente comercializados en Chile constan de perfiles y tornillería de acero inoxidable, por lo cual no es necesario un mantenimiento anticorrosivo. Por tanto, este mantenimiento preventivo se realizará cada 6 meses.

- Comprobar las posibles degradaciones que puedan aparecer en el marco y soporte, ya sea deformaciones, grietas, oxidación, entre otras.
- Comprobar el estado de fijación de la estructura a cubierta. Se deberá controlar que los tornillos se encuentren correctamente apretados.
- Comprobar si algún elemento de fijación presenta defectos, de ser así se deberá sustituir por otro nuevo.
- Comprobar la estanqueidad de la cubierta, este procedimiento consiste básicamente en cerciorarse de que todas las juntas se encuentren correctamente selladas, reparándolas en caso necesario.
- Comprobar el estado de fijación de los módulos a la estructura.
- Mantenimiento a realizarse en 5 días hábiles.



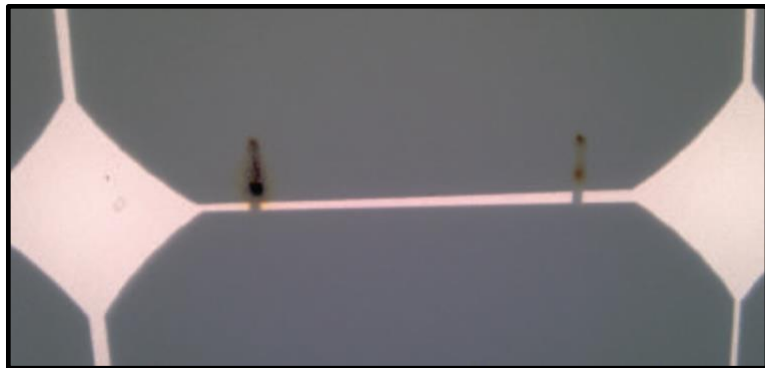
Fuente: Guía de operación y mantenimiento a sistemas fotovoltaicos, Ministerio de Energía de Chile.

Figura 2-9 Sujeción de los módulos con abrazadera incorrecta.

2.3.1.5 Control del circuito eléctrico de un panel.

En este punto se llevará a cabo la revisión del estado de las conexiones:

- Se realizará un mantenimiento preventivo cada 1 año.
- Comprobar del estado y sujeción de los cables a los terminales de los paneles.
- Verificar que haya ausencia de sulfatación de contactos.
- Verificar que haya ausencia de oxidación tanto en los circuitos como en la soldadura de las células, normalmente este problema sucede en zonas geográficas donde hay presencia de alta humedad.
- Verificar la temperatura de conexiones mediante termografía infrarroja.
- Verificar la tensión e intensidad de la corriente mediante el instrumento adecuado, puede ser voltímetro o amperímetro, controlando que esté dentro de los valores normales y recomendados por el fabricante. De ser necesario, sustituir dicha conexión.
- El mantenimiento durará 5 días hábiles.



Fuente: Guía de operación y mantenimiento a sistemas fotovoltaicos, Ministerio de Energía de Chile.

Figura 2-10 Soldadura de panel FV defectuosa.



Fuente: Guía de operación y mantenimiento a sistemas fotovoltaicos, Ministerio de Energía de Chile.

Figura 2-11 Caja de conexión quemada por defecto en conexión interna.



Fuente: Guía de operación y mantenimiento a sistemas fotovoltaicos, Ministerio de Energía de Chile.

Figura 2-12 Aislación de cable defectuoso por roedor.

2.3.2 Inversor:

Los inversores son equipos electrónicos diseñados para operar cubiertos por una carcasa, protegidos de la intemperie y de la lluvia, también son uno de los equipos más delicados de la instalación, y como tal requieren un mantenimiento más exhaustivo. Si bien esto les permite funcionar a la intemperie, deben ser protegidos de la radiación solar directa para así poder evitar temperaturas altas que puedan incidir negativamente en su rendimiento, es por lo anterior que los intervalos de mantenimiento dependen del emplazamiento de éstos y de las condiciones ambientales (polvo, humedad, etc.).

La labor de mantenimiento preventivo será lo siguiente:

Mensualmente:

- Se tomará lectura de los datos archivados y de la memoria de fallos.
- Duración 5 días.

Cada 6 meses:

- Limpieza o recambio de los filtros de entrada de aire.
- Limpieza de las rejillas protectoras en las entradas y salidas de aire.
- Duración 5 días

Cada año:

- Comprobar cubiertas y funcionamiento de bloqueos.
- Inspeccionar si hay presencia de polvo, humedad y filtraciones de agua en el interior del equipo.
- Revisar todas las conexiones del cableado eléctrico, verificando que no se encuentren sueltas y, dado ese caso, apretarlas.
- Comprobar si el aislamiento o los bornes presentan decoloración o alteraciones de otro tipo.

- Comprobar la temperatura de conexiones mediante termografía infrarroja.
- Limpieza del disipador de calor del componente de potencia.
- Comprobar el funcionamiento de los ventiladores y atender a ruidos. Los ventiladores pueden ser encendidos si se ajustan los termostatos o durante el funcionamiento.
- Verificar el envejecimiento de los descargadores de sobretensión y, dado el caso, cambiarlos.
- Revisión de funcionamiento de la monitorización de aislamiento.
- Inspección visual de los fusibles y seccionadores existentes.
- Revisión de funcionamiento de los dispositivos de protección, algunos de ellos pueden ser:
 - Interruptores de protección de la corriente de defecto.
 - Interruptores automáticos.
 - Interruptores de potencia.
- Revisión de las tensiones de mando y auxiliares de 220 V y 24 V
- Comprobar de funcionamiento de la parada de emergencia.
- Control de la función de sobre temperatura y revisar el funcionamiento del circuito de seguridad.
- Revisión de funcionamiento de los contactos de la puerta.
- Duración del mantenimiento 10 días.



Fuente: Guía de operación y mantenimiento a sistemas fotovoltaicos, Ministerio de Energía de Chile.

Figura 2-13 Interrupción de corriente eléctrica.

Recordar que debido a que se estará manipulando un dispositivo eléctrico y al inminente riesgo eléctrico que hay presente, el mantenimiento se debe realizar con energía cero o sin tensión.

Es recomendable guardar y archivar regularmente los datos proporcionados por el inversor. Esto puede realizarse por consulta a distancia o durante el mantenimiento de rutina según corresponda para cada inversor.

2.3.3 Inversor-Cargador.

Debido a que el inversor-cargador comparten propiedades y equipamiento al inversor propiamente tal, se puede tomar la consideración de implementar el mismo plan de mantenimiento anteriormente descrito, quedando detallado a continuación:

La labor de mantenimiento preventivo será lo siguiente:

Mensualmente:

- Se tomará lectura de los datos archivados y de la memoria de fallos.
- Se comprobará voltaje entregado para carga de baterías.
- Duración 2 día.

Cada 6 meses:

- Limpieza o recambio de los filtros de entrada de aire.
- Limpieza de las rejillas protectoras en las entradas y salidas de aire.
- Duración 2 día.

Cada año:

- Comprobar cubiertas y funcionamiento de bloqueos.
- Inspección de polvo, humedad y filtraciones de agua en el interior del equipo.
- Revisar todas las conexiones del cableado eléctrico, verificando que no se encuentren sueltas y, dado ese caso, apretarlas.
- Comprobar si el aislamiento o los bornes presentan decoloración o alteraciones de otro tipo.
- Limpieza del disipador de calor del componente de potencia.
- Comprobar la temperatura de conexiones mediante termografía infrarroja.
- Comprobar el funcionamiento de los ventiladores y atender a ruidos. Los ventiladores pueden ser encendidos si se ajustan los termostatos o durante el funcionamiento.
- Verificar el envejecimiento de los descargadores de sobretensión y, dado el caso, cambiarlos.
- Revisión de funcionamiento de la monitorización de aislamiento.
- Inspección visual de los fusibles y seccionadores existentes.
- Revisión de funcionamiento de los dispositivos de protección algunos de ellos pueden ser:
 - Interruptores de protección de la corriente de defecto.
 - Interruptores automáticos.
 - Interruptores de potencia.
- Revisión de las tensiones de mando y auxiliares de 220 V y 24 V
- Comprobar el funcionamiento de la parada de emergencia.

- Control de la función de sobre temperatura y revisar el funcionamiento del circuito de seguridad de esta función.
- Revisión de funcionamiento de los contactos de la puerta.
- Duración del mantenimiento 5 días.

Al igual que el mantenimiento del inversor, este debe realizarse con energía cero o sin tensión.



Fuente: Guía de operación y mantenimiento a sistemas fotovoltaicos, Ministerio de Energía de Chile.

Figura 2-14 Sujeción inadecuada de los cables y posterior recalentamiento.

2.3.4 Línea eléctrica.

Este elemento es de suma importancia debido a que es el encargado de la interconexión entre cada una de las casas, de la instalación solar fotovoltaica y de las baterías. La parte más delicada de la línea eléctrica corresponde a la línea sobre cubierta, esto debido a que se encuentra sometido a las inclemencias atmosféricas y agentes externos.

El mantenimiento preventivo consistirá en :

Cada 6 meses:

- Comprobar del estado de la cubierta y aislamiento de los cables, así como también las protecciones mecánicas de los mismos. Si se llegase a presentar algún síntoma de deterioro, se deberá sustituir el tramo completo.
- Mantenimiento durará 5 días.

Cada 1 año:

- Comprobar el estado de los bornes de abroche de la línea general de alimentación en la caja general de protección, mediante inspección visual.
- Comprobar el estado de empalmes y conexiones ya sea sulfatación de contactos, óxido, corrosión, etc. Sustituir las terminaciones en caso de síntomas de deterioro de las mismas.
- Comprobar el aislamiento entre fases y entre cada fase y neutro.
- Mantenimiento durará 5 días

2.3.4.1 Protecciones del circuito eléctrico:

Las protecciones del circuito eléctrico de la instalación solar fotovoltaica han de encontrarse siempre en perfecto estado de funcionamiento ya que de ellas depende la totalidad de las condiciones de seguridad tanto de equipos como de usuarios. Las operaciones de mantenimiento que habrá que realizar son:

Cada 6 meses:

- Inspección visual de mecanismos interiores para posible detección de anomalías visibles.
- Duración del mantenimiento 1 día.

Cada año:

- Comprobar el correcto funcionamiento de los interruptores diferenciales:
 - Acción manual sobre el botón de prueba que incluye el propio interruptor diferencial.
 - Desconexión automática del paso de la corriente eléctrica mediante la recuperación de la posición de reposo (0) de mando de conexión; desconexión.
 - Acción manual sobre el mismo mando para colocarlo en su posición de conexión para recuperar el suministro eléctrico.
 - Comprobar el funcionamiento de todos los interruptores del cuadro de mando y protección, verificando que son estables en sus posiciones de abierto (1) y cerrado (0).
- Comprobar del correcto funcionamiento de los interruptores magneto térmicos.
- Revisión general, comprobando el estado del cuadro de mando y protección, los mecanismos alojados y conexiones.
- Comprobar mediante inspección visual del estado del interruptor de corte y de los fusibles de protección, el estado frente a la corrosión y la continuidad del conductor de puesta a tierra del marco metálico de la misma.
- Verificar el estado de conservación de las cubiertas aislantes de los interruptores, reparándose los defectos encontrados.
- Limpieza superficial de las clavijas y receptores eléctricos, siempre con paños o bayetas secas y en estado de desconexión.
- Comprobar que los dispositivos de protección contra cortocircuitos, contactos directos e indirectos, así como sus intensidades nominales en relación a la sección de los conductores que protegen, reparándose los efectos encontrados.
- Revisión general de la instalación y cableado.
- Se deberá tomar las precauciones necesarias a trabajos con inminente riesgo eléctrico.
- El mantenimiento correspondiente durará 5 días.

2.3.4.2 *Puesta a tierra*

Es de suma importancia mantener y utilizar la puesta a tierra, tanto de la instalación solar fotovoltaica como la de las instalaciones auxiliares, ya que de esta deriva el correcto funcionamiento de las protecciones que dependen de ella, como limitar la tensión que presentan las masas metálicas respecto a tierra y asegurar la correcta actuación de las protecciones. Las operaciones de mantenimiento a realizar serán las siguientes:

Cada 6 meses:

- Comprobar la continuidad eléctrica y reparar los defectos encontrados en los distintos puntos de puesta a tierra ya sean estas masas metálicas, enchufes, neutros de los equipos, entre otros.
- Comprobar la línea principal y derivadas de tierra, mediante una inspección visual de todas las conexiones y su estado frente a la corrosión.
- Comprobar el aislamiento de la instalación interior, entre cada conductor y tierra y entre cada dos conductores. Se deberá reparar los defectos que se encuentren.
- La programación tendrá una duración de 2 días.

2.3.5 Banco de Baterías.

Las baterías serán las encargadas de almacenar la energía generada por los paneles fotovoltaicos y entraran en funcionamiento en el caso de una interrupción del suministro eléctrico que ingresa al inversor cargador, lo que permitirá seguir con energía dentro del conjunto habitacional, debido a que estos serán el mecanismo de respaldo energético del conjunto habitacional es imprescindible que estén siempre operativos.

La SEC en su normativa detalla que la realización del mantenimiento tiene que dar respuesta a los requerimientos de la normativa UNE EN 50272-2 .

A continuación se detalla la ruta de mantenimiento la cual se llevara a cabo mensualmente y tendrá una duración de 5 días.

2.3.5.1 *Inspección de sala de almacenamiento:*

- Verificar el estado de la ventilación.
- Limpieza de los ventiladores y filtros.
- Mediante inspección por termografía infrarroja verificar temperatura de almacenamiento que debe estar en los rangos de 25°C con un rango de error de ± 5 °C.

2.3.5.2 *Inspección de baterías:*

- Medición de voltaje en cada una de las celdas, según fabricante este voltaje variará entre 2,23 a 2,25 voltios (V)

- Medición de temperatura en el polo negativo del banco de baterías, considerando un rango de operación de desde los -40°C hasta los 70°C
- Inspección visual de las condiciones físicas del banco de baterías, pretendiendo detectar posibles anomalías, tales como oxidación, corrosión, golpes y salida de electrolito, entre otros.

2.3.5.3 *Barras de conexión:*

- Realizar una inspección visual de las condiciones físicas de las barras, pretendiendo detectar posibles anomalías, tales como oxidación, corrosión, golpes y salida de electrolito, entre otros.

2.3.5.4 *Terminales positivo (+) y negativo (-):*

- Realizar una inspección visual de las condiciones físicas de los terminales de los bancos de baterías. Se pretende detectar oxidación, corrosión y golpes, entre otros.
- Medir el voltaje en los terminales, debe ser de 54 voltios aproximadamente.

2.3.5.5 *Plásticos protectores frontales y de terminales:*

- Revisar que se encuentre libres de polvo, utilizar una brocha de 2 pulgadas para limpieza.
- Revisar la condición física de los protectores, que estos no se encuentren quebrados y/o mal colocados.

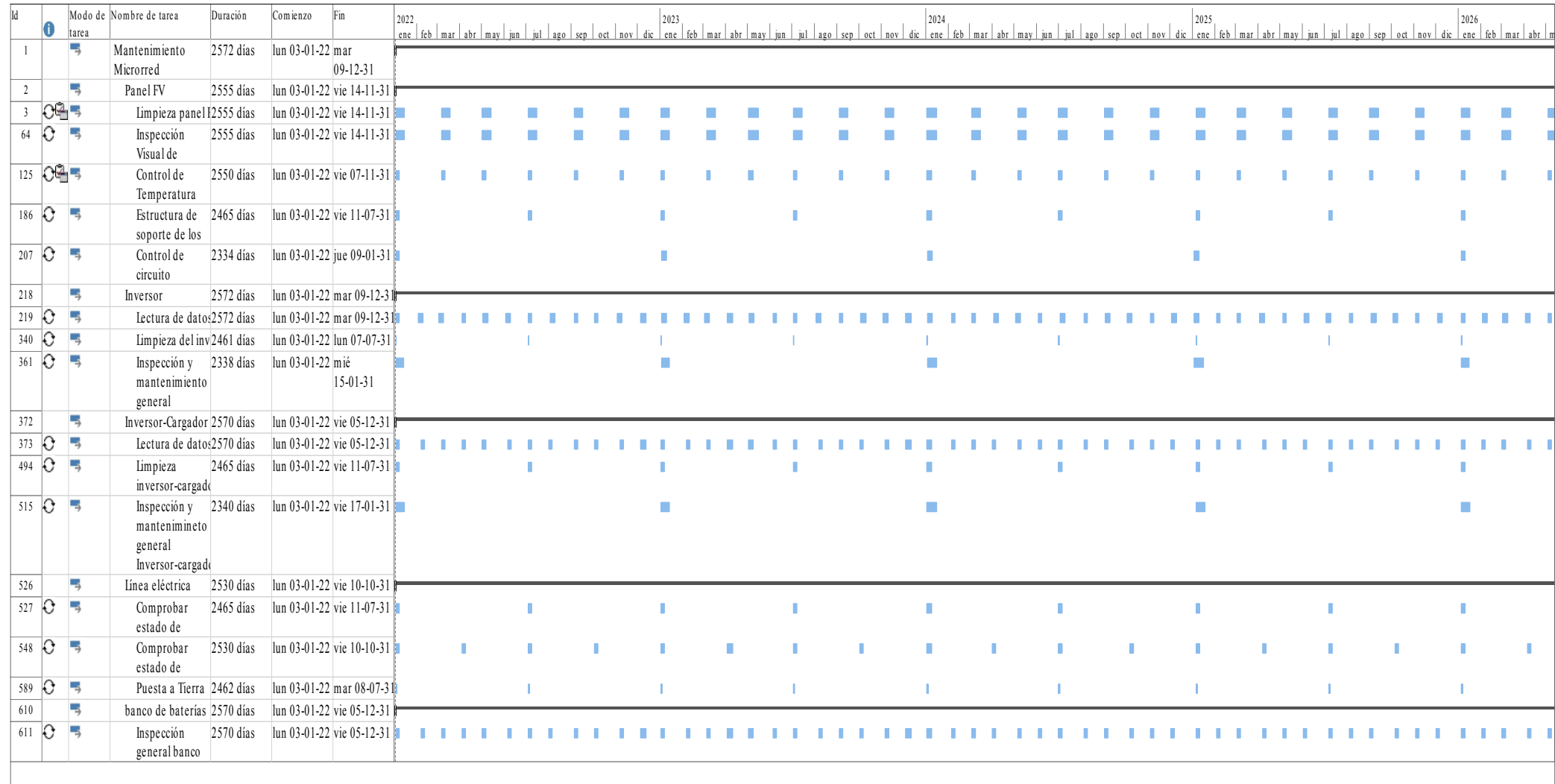
Consideraciones generales descritas por la UNE EN 50272-2:

- Durante el mantenimiento el personal puede trabajar cerca del sistema de la batería.
- El personal que trabaje con la batería o cerca de ella deberá ser competente para poder realizar esa tarea, y deberá estar formado en cualquier método especial necesario.
- Para reducir el riesgo de daños, el sistema de la batería deberá estar diseñado con cubiertas para los bornes de la batería que permitan el mantenimiento rutinario a la vez que reducen las partes al descubierto activadas; una distancia mínima de 1,50 m entre las partes activadas de la batería que se puedan tocar simultáneamente que tienen un potencial superior a 120 V en corriente continua (tensión nominal); dispositivos para desconectar la batería en grupos de menos de 1.500 V en corriente continua cuando estén funcionando baterías con tensiones nominales superiores a 1.500 V en corriente continua; portadores de fusibles para evitar el contacto con partes activadas.
- Se deberán quitar de las manos, muñecas y cuello todos los objetos personales metálicos antes de comenzar el trabajo.

Ya presentados los elementos de la microrred a los cuales se debe realizar un mantenimiento preventivo, se procederá a plasmar a través de una carta Gantt la planificación general de dicho procedimiento.

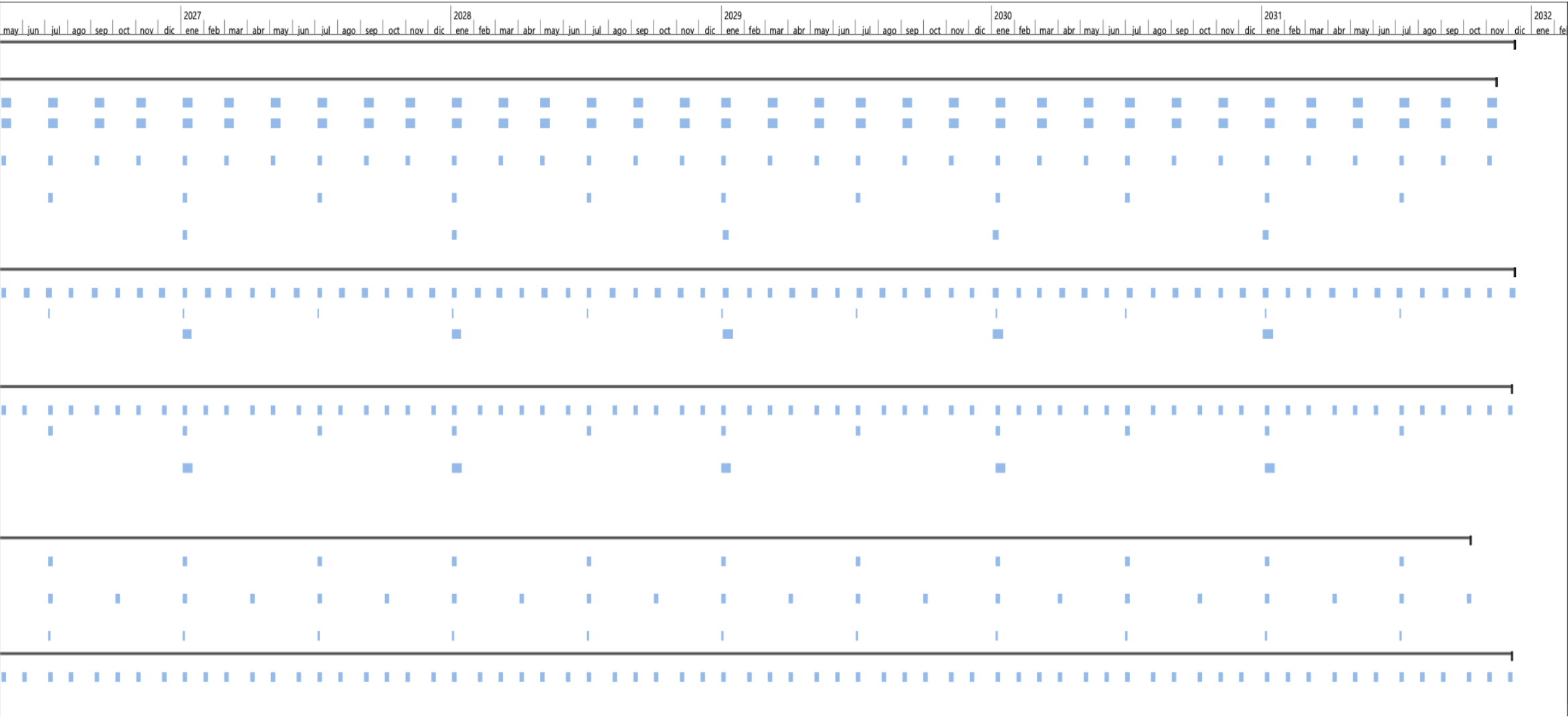
La carta Gantt es una herramienta útil para este caso, debido a que se puede plasmar el plan de acción a desarrollar ordenando sus tiempos, permitiendo dar un orden y una fecha estimativa de realización de las actividades anteriormente planteadas, dando así una vista general del proyecto que se quiere llevar a cabo.

2.4. CARTA GANTT DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO OPTIMIZADO.



Fuente: Elaboración propia

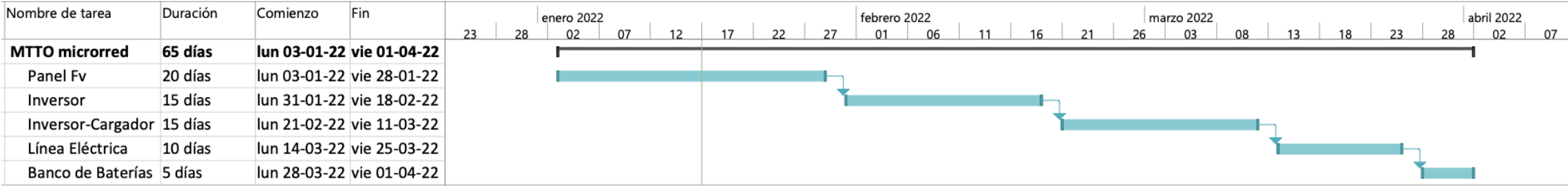
Figura 2-15 Carta Gantt Mantenimiento Preventivo parte 1



Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-16 Carta Gantt Mantenimiento Preventivo parte 2

2.5. CARTA GANTT DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO SIN MODIFICACIONES.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2-17 Carta Gantt Mantenimiento Preventivo sin optimizar

2.6. Análisis cualitativo para la determinación de equipo crítico.

Como se puede apreciar con el análisis anterior, los costos totales asociados al plan de mantenimiento, aún cuando se optimice, siguen siendo elevados. Por ende, a continuación, se realizará un análisis cualitativo en base a la criticidad de los elementos.

Considerando que esta idea surge de un proyecto de investigación en curso, y que, en general, no existen datos numéricos que puedan procesarse, se recurrirá a la experiencia con sistemas fotovoltaicos de otros países, realizando un diagnóstico mediante un análisis cualitativo, que evalúa de forma sencilla y con un alto nivel de incertidumbre los diferentes indicadores expuestos.

Para ejecutar este modelo de criticidad (análisis cualitativo-cuantitativo) es necesario contar con una serie de factores, los cuales encasillan los datos obtenidos de los diferentes equipos. Para un análisis de riesgo objetivo se debe generar una cuantificación del riesgo y con ello, determinar el o los equipos con mayor impacto en las operaciones del negocio.

2.4.1 Factores de cuantificación:

- **Frecuencia de Falla:** indica la cantidad de fallas que posee cualquier equipo en un tiempo determinado. Para el análisis de los datos obtenidos se definieron los parámetros presentes en la **Error! Reference source not found.**tabla 2-2.

Tabla 2-2 Frecuencia de fallas.

Frecuencia de fallas	
Más de 15 fallas al año.	4
Entre 10 y 15 fallas al año.	3
Entre 4 y 9 fallas al año.	2
Menos de 3 fallas al año.	1

Fuente: Elaboración propia

- **Impacto Operacional:** es el porcentaje o capacidad de producción que se afecta cuando ocurre la falla, es un indicador que representa el efecto en la continuidad operacional de la planta. Para el análisis de los datos obtenidos se definieron los parámetros presentes en la **Error! Reference source not found.**tabla 2-3.

Tabla 2-3 Impacto operacional

Impacto operacional	
Interrumpe el 100% de los servicios del área.	10
Reduce en un 60% la prestación de servicios.	6
Reduce en un 30% la prestación de servicios.	3
No afecta en la prestación de servicios.	1

Fuente: Elaboración propia

- **Flexibilidad Operacional:** es el tiempo de reparación de la falla (actividades de logística y ejecución de la reparación). Está enfocado a la disponibilidad de función de los equipos, es importante este criterio, ya que determina el grado de impacto de los equipos en el negocio. Para el análisis de los datos obtenidos se definieron los parámetros presentes en la **Error! Reference source not found.**tabla 2-4.

Tabla 2-4 Flexibilidad operacional.

Flexibilidad operacional	
La reparación tarda más de 6 días.	4
La reparación tarda entre 3 y 6 días.	3
La reparación tarda entre 1 y 3 días.	2
La reparación tarda menos de 1 día.	1

Fuente: Elaboración propia

- **Costo de Mantenimiento:** costo de la falla, enfocado a los costos asociados al mantenimiento, reparación y operación del equipo. Para el análisis de los datos obtenidos se definieron los parámetros presentes en la **Error! Reference source not found.**tabla 2-5.

Tabla 2-5 Costo de mantenimiento.

Costo de mantenimiento	
Sobre 1.501 USD.	3
Entre 501 USD y 1.500 USD.	2
Hasta 500 USD.	1

Fuente: Elaboración propia

- **Impacto en seguridad, higiene y ambiente:** es la posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas, instalaciones y/o al ambiente. El análisis es cualitativo y requiere de la opinión de expertos que conozcan los riesgos asociados. Para el análisis de los datos obtenidos se definieron los parámetros presentes en la **Error! Reference source not found.**tabla 2-6.

Tabla 2-6 Impacto SHA

Impacto SHA	
Alto impacto en la seguridad humana/ambiente.	7
Afecta a las instalaciones causando severos daños.	5
Provoca daños menores, bajo impacto ambiental.	3
Provoca molestias mínimas en las instalaciones y ambiente.	1

Fuente: Elaboración propia

2.4.2 Matriz de riesgo.

Posterior a los parámetros anteriormente descritos, se procede a adjudicar los valores de los factores a los diferentes equipos evaluados, esto para poder realizar el cálculo de la consecuencia y, posteriormente, del riesgo que representan para el funcionamiento del sistema fotovoltaico, el cual se detalla en la tabla 2-7.

Tabla 2-7 Matriz de riesgo.

Riesgo (Criticidad)= Frecuencia de Fallas x Consecuencia de Fallas								
Consecuencia= {(Impacto Operacional x Flexibilidad Operacional) + Costo de Mantenimiento + Impacto SHA}								
Abrev.	Equipos Identificados	Frecuencia de fallas	Impacto Operacional	Flexibilidad Operacional	Costo de mantenimiento	Impacto SHA	Consecuencia	Criticidad
A	Paneles Fotovoltaicos	2	10	4	3	3	46	92
B	Inversor	3	10	4	3	3	46	138
C	Línea electrica	1	3	2	2	3	11	11
D	Banco de baterias	1	3	2	2	5	13	13

Fuente: Elaboración propia

Por consiguiente, a la obtención del riesgo de cada uno de los equipos, se establecen los niveles de criticidad instituidos en la tabla 2-8, los cuales determinan el estado en el que se encuentra cada equipo.

Tabla 2-8 Niveles de criticidad

Niveles de criticidad		
Crítico		91 a 200
Semi Crítico		41 a 90
No Crítico		1 a 30

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2-9 Análisis cualitativo-cuantitativo

F R E C U E N C I A	Análisis cualitativo-cuantitativo					
	4					
	3					B
	2					A
	1		C, D			
		1 a 10	11 a 20	21 a 30	31 a 40	41 a 50
	CONSECUENCIA					

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados obtenidos en la tabla 2-9Error! Reference source not found. que fue realizada a los equipos que componen el sistema fotovoltaico, se determina que los equipos C y D no son críticos dentro del proceso productivo.

Por otro lado, se determina que hay dos equipos críticos, siendo el inversor el más riesgoso, seguido de los paneles fotovoltaicos, por ende, representa un riesgo para la continuidad operacional.

Debido a lo anterior, es recomendable intervenir con un mantenimiento asociado a los equipos, para poder minimizar los riesgos al sufrir de la indisponibilidad del equipo y poder reducir los costos asociados a fallas catastróficas.

2.7. Análisis del modo y efecto de falla (AMEF).

Para focalizar las estrategias de mantenimiento, se desarrolla un análisis del modo y efecto de falla (AMEF) o por sus siglas en inglés FMEA (Failure Mode Effect Analysis), lo que permite identificar fallas en productos, procesos y sistemas, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, para, de esta forma, evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención.

Junto al AMEF también se jerarquiza los modos de fallos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones, esto basándose en la norma SAE J1739.

2.5.1 Criterios de clasificación de fallas:

Severidad:

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

Fuente: Norma SAE J1937

Figura 2-18 Severidad

Probabilidad de falla:

PROABILIDAD DE FALLA	POSIBLE TASA DE FALLA	RANKING
Muy Alta: La falla es casi inevitable.	>1 en 2	10
	1 en 3	9
Alta: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previos, que presentan fallas con	1 en 8	8
	1 en 20	7
Moderada: Generalmente asociadas a procesos similares o procesos previos que experimentan fallas ocasionales, pero no en mayores proporciones.	1 en 80	6
	1 en 400	5
	1 en 2.000	4
Bajas: Fallas aisladas asociadas a procesos similares.	1 en 15.000	3
Muy Baja: Solo fallas asociadas con procesos casi idénticos.	1 en 150.000	2
Remota: La falla es poco probable. No se repiten las fallas de procesos casi idénticos.	< 1 en 1.500.000	1

Fuente: Norma SAE J1937

Figura 2-19 Probabilidad de falla.

Detección:

DETECCIÓN	CRITERIO: Probabilidad de Detección de un Modo de Falla.	RANKING
Casi Imposible	No existen controles disponibles para detectar el modo de falla.	10
Muy Remota	Muy remota probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	9
Remota	Remota probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	8
Muy Baja	Muy baja probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	7
Baja	Baja probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	6
Moderada	Moderada probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	5
Moderadamente Alta	Moderadamente alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	4
Alta	Alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	3
Muy Alta	Muy alta probabilidad de que los controles actuales puedan detectar el modo de falla.	2
Casi Cierta	Los actuales controles son casi certeros para detectar el modo de falla. Detección confiable.	1

Fuente: Norma SAE J1937

Figura 2-20 Detección.

Grupo evaluación número prioridad de riesgo:

NPR	Riesgo de priorización	Color
500 a 1.000	Riesgo de falla alto	
125 a 499	Riesgo de falla medio	
1 a 124	Riesgo de falla bajo	
0	No existe riesgo de falla	

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-21Evaluación número prioridad de riesgo .

2.5.1.1 AMEF inversor:

Sistema/Subistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Severidad	Ocurrencia	Detectabilidad	Nº de prioridad Riesgo
Inversor	1	Transformar la corriente continua que recibe de los paneles fotovoltaicos en corriente alterna.	1	Falla Funcional Total: Detención imprevista del inversor.	1.1.1	Corto circuito	Evidente / No evidente: Evidente. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Olor a quemado, equipo no funciona. Acción correctiva: Cambio de cables/ apriete de cables	9	2	2	36
					1.1.2	Cables rotos	Evidente / No evidente: Evidente. Afecta SHA: Si. Efecto operacional (síntomas): Cable de cobre expuesto. Acción correctiva: Cambio de cables	9	3	3	81
					1.1.3	Condensador	Evidente / No evidente: Evidente. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Ensanchamiento, marcas oscuras. Acción correctiva: Cambio de condensador	6	2	5	60
			2	Falla Funcional Parcial: No es posible obtener la tensión solicitada.	1.2.1	Fusible fundido	Evidente / No evidente: Evidente. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Fusible abierto Acción correctiva: Cambio de fusible	4	5	2	40
					1.2.2	Aislamiento de cables	Evidente / No evidente: Evidente. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): aislamiento derretido o delgado. Acción correctiva: Cambio de cables/ aislamiento	7	2	3	42
					1.2.3	Filtro de aire obstruido	Evidente / No evidente: Evidente. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Aumento de la temperatura. Acción correctiva: Cambio de filtro.	3	6	2	36
					1.2.4	Sellos estanqueidad rotos	Evidente / No evidente: Evidente. Afecta SHA: Si. Efecto operacional (síntomas): Sello agrietado o roto. Acción correctiva: Cambio de sello.	4	3	3	36
					1.2.5	Disipador de calor	Evidente / No evidente: No evidente. Afecta SHA: Si. Efecto operacional (síntomas): aumento de la temperatura, bajo voltaje.. Acción correctiva: Cambio de disipador.	5	2	3	30

Fuente: Elaboración propia

Figura 2-21 AMEF inversor

2.5.1.2 AMEF panel FV:

Sistema/Subsistema	#	Descripción de la Función	#	Falla Funcional	#	Modo de Falla	Efecto Falla	Severidad	Ocurrencia	Detectabilidad	Nº Riesgo
Panel fotovoltaico	1	Capturar la energía del sol y transformarla en electricidad.	1	Falla Funcional Total: Panel FV no produce electricidad.	1.1.1	Interconexión rota	Evidente / No evidente: Evidente. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Chispas/ no funcionamiento. Acción correctiva: Cambio de interconexión / apriete de interconexión.	5	1	2	10
					1.1.2	Corto circuito	Evidente / No evidente: Evidente. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Olor a quemado, equipo no funciona. Acción correctiva: Cambio de cables/ apriete de cables	9	2	2	36
					1.1.3	Cables rotos	Evidente / No evidente: Evidente. Afecta SHA: Si. Efecto operacional (síntomas): Cable de cobre expuesto. Acción correctiva: Cambio de cables	9	2	2	36
			2	Falla Funcional Parcial: Panel Fv no produce la energía solicitada.	1.2.1	Cristal roto	Evidente / No evidente: Evidente. Afecta SHA: Si. Efecto operacional (síntomas): Baja potencia entregada por el panel. Acción correctiva: Cambio de cristal / cambio de panel FV	7	5	2	70
					1.2.2	Celdas FV	Evidente / No evidente: no evidente. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas):baja potencia entregada por el panel. Acción correctiva: Cambio de celula Fv	5	3	3	45
					1.2.3	Degradación laminado	Evidente / No evidente: Evidente. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): cambio de color del laminado a amarillo. Acción correctiva: Cambio de cables/ apriete de cables	3	5	3	45
					1.2.4	Puntos calientes células FV	Evidente / No evidente: no evidente. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Aumento de la temperatura en ciertas celdas. Acción correctiva: Cambio de celda FV	4	4	3	48
					1.2.5	Delaminación	Evidente / No evidente: Evidente. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): Manchas en el panel FV Acción correctiva: Cambio de panel FV	2	4	3	24
					1.2.6	Cinta conductor	Evidente / No evidente: no evidente. Afecta SHA: No. Efecto operacional (síntomas): no hay flujo de energía Acción correctiva: Cambio de cinta conductora de electricidad.	4	3	3	36

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2-22 AMEF panel fotovoltaico

2.8. Análisis de resultados AMEF:

Tras realizar el AMEF, se obtuvo ocho modos de fallos relacionados con el inversor, de los cuales tres de estos son fallas totales y los cinco restantes corresponden a fallas parciales, mientras que, para el panel fotovoltaico se obtuvo nueve modos de fallos, de los cuales tres de estos son fallas totales y los seis restantes son fallas parciales.

Con respecto a lo anteriormente mencionado, el alto riesgo de una falla podría elevar los costos de mantenimiento, donde se podría adjudicar gran parte de la responsabilidad de dicho costo a los tiempos de reparación, ya que, generalmente se actúa una vez se informa sobre una falla, tardando en obtener los repuestos necesarios para solventar las necesidades requeridas.

Por otro lado, en caso de implementar la propuesta del plan de mantenimiento presentada al inicio del capítulo, se recomienda dar prioridad y mayor énfasis a los equipos antes mencionados, debido a que son los más críticos para la continuidad operacional.

2.9. Análisis de resultados plan de mantenimiento:

La gran mayoría de los mantenimientos preventivos que se aplican a cada uno de los elementos que componen la microrred coinciden entre sí, (como por ejemplo al realizar la limpieza e inspección visual al panel FV, también se puede tomar datos al inversor y dar la inspección general al banco de baterías), lo cual permitirá realizar una ruta completa de inspección de la instalación según corresponda, permitiendo una mayor optimización de los recursos humanos, físicos e intangibles, así como también del tiempo empleado.

Esta proyección fue propuesta por un periodo de 10 años, y los días a implementar pueden ir variando e incluso la capacidad de personal que se va a requerir para dar un buen cumplimiento con los objetivos.

La implementación de este mantenimiento preventivo aplicado a una microrred eléctrica e inteligente, permitirá ir registrando datos de fallos de acuerdo al transcurso del tiempo, estos llevados a una base de datos histórica, se puede ir perfeccionando con modelos más complejos de mantenimiento preventivo, como pueden ser Jackknife, distribución weibull, análisis de criticidad, permitiendo así un mantenimiento más preciso.

En el capítulo posterior, se verá en detalle los costos asociados para llevar a cabo este plan de mantenimiento preventivo, tomando en cuenta los distintos indicadores económicos existentes (VAN, TIR, IVAN, entre otros) lo que permitirá una toma de decisiones más objetiva del uso de recursos.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS ECONÓMICO

3.1. VALORIZAR PLAN DE MANTENIMIENTO.

Para dar comienzo a este apartado cabe destacar que este plan de mantenimiento considera valores acordes al mercado en materia de recursos humanos, tomando como referencia el estudio de empleabilidad e ingresos de la subsecretaría de Educación Superior del Ministerio de Educación, además de portales de empleo como Chiletrabajos. Por otra parte, los valores de materiales y herramientas han sido tomados de Sodimac, Easy y Construmart.

Para efectos de este trabajo, se considerarán tres propuestas económicas asociadas al plan de mantenimiento, una de ellas, considerando una mantención individual a cada equipo de la microrred, otra realizando mantenimientos paralelos que permitan la optimización de recursos y por último, la realización de un plan de mantenimiento focalizado.

3.1.1 Propuesta uno

La primera propuesta se basa en un mantenimiento puro, el cual consiste en la realización de un mantenimiento cada cierto periodo de duración definido previamente, pero que no considera una optimización de tiempos y recursos, es por esto que al realizarse un estudio económico los valores quedarían como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 3-1 Resumen propuesta de mantenimiento puro.

ITEMIZADO		Página 1 de 1	
PROYECTO:	Plan de Mantenimiento "puro" microrred eléctrica.		
	FECHA		
RESUMEN DE LA PROPUESTA			
PARTIDA	DENOMINACIÓN	PRECIO TOTAL EN \$	PRECIO TOTAL EN USD
1	Panel Fotovoltaico	\$ 22.518.000	\$ 26.093
2	Inversor	\$ 12.381.323	\$ 14.347
3	Inversor-Cargador	\$ 7.898.123	\$ 9.152
4	Línea Eléctrica	\$ 3.763.073	\$ 4.360
5	Banco de Baterías	\$ 17.294.880	\$ 20.040
PRECIO TOTAL ANUAL		\$ 63.855.400	\$ 73.992

Fuente: Elaboración propia

Para la realización del cálculo se tomó en consideración los planes de mantenimiento de todos los equipos descritos en el capítulo 2, es decir, panel FV, inversor, inversor-cargador, línea eléctrica y banco de baterías, dentro de cada uno de estos componentes se presenta una ruta de mantenimiento sugerida cada cierto periodo de tiempo, que en algunos casos podían ser mensual, cada seis meses o anualmente.

La técnica aplicada fue la misma para todos los componentes, en el cual se calculó el tiempo promedio que le tomaría a un trabajador llevar a cabo cada una de las operaciones, y el resultado de este dato se hace coincidir con el tiempo estipulado en el plan de mantenimiento. También se ha considerado un cobro proporcional por el uso de herramientas, vehículos y/o arriendo de elementos de trabajo, para llevar a cabo de manera segura y eficiente el trabajo.

Como se menciona anteriormente, para determinar los costos por concepto de mano de obra, se calculó el tiempo promedio que le llevaría a un trabajador realizar cada una de las mantenciones a los equipos, el resultado de este valor, se debe agregar trabajadores para que coincida la cantidad de días planificados, tomando en consideración que a mayor cantidad de personal, menor tiempo se requerirá para llevar dichas acciones a cabo.

Para poder calcular el cobro proporcional por el uso de herramientas y elementos de protección personal (EPP), se ha tomado valores referenciales del comercio en tiendas como Sodimac e Easy, cadenas de ferreterías ampliamente conocidas en nuestro país. Estos valores multiplicados por la cantidad de días que implique la realización del mantenimiento a la microrred, indicará los costos asociados a materiales y herramientas a utilizar.

En el anexo 2 se puede apreciar en detalle la forma en que se ha realizado el cálculo y las tablas correspondientes a cada contenido del plan de mantenimiento puro.

Al ser esta propuesta pura, es decir, que no se encuentra optimizado ninguno de los recursos a necesitar, no se le dará mayor protagonismo, debido a que será el que mayor recursos financieros necesite e incluso puede hacer que el proyecto no sea rentable ni atractivo, tanto para el cliente como para posibles inversionistas.

3.1.2 Propuesta dos:

Para el segundo caso de valorización del plan de mantenimiento se ha tomado la carta Gantt correspondiente a la figura 2-15 y la figura 2-16, presentes en el capítulo dos, en ella se presenta una propuesta de una ruta de mantenimiento en la cual se encuentran optimizadas las horas laborales y los recursos tanto humanos como físicos. Cabe mencionar que se ha tomado de referencia un horario laboral de 9 horas por día, de lunes a viernes para efectos de cálculo.

Para este caso se lleva a cabo tareas en paralelo y se busca la optimización al máximo de los recursos, es por esto que para el primer mes, es decir, cuando se realice la primera mantención, se hace de manera general a la totalidad de la microrred, permitiendo así empezar a generar una base datos de mantenimiento e ir fijando las próximas mantenciones correspondientes cada dos o seis meses, etc.

Para ejemplificar, en enero está planificado el primer mantenimiento general a la microrred, por tanto, este es el mes que más recursos utilizará. Para los materiales y herramientas se ha calculado un costo de \$310.933, en este se agrupan los siguientes elementos:

1. Herramientas de taller.
2. Elementos de protección personal.
3. Cámara termográfica.
4. Multi-tester.
5. Bastones telescópicos.
6. Utensilios de limpieza.
7. Andamios (externalización del servicio).

Al haber materiales y herramientas que son parte de la inversión inicial y son de la empresa, se tomó como decisión cobrar un proporcional por uso de herramientas y desgaste de las mismas para efecto de cálculos.

En el caso de la mano de obra, este periodo de tiempo es donde mayor cantidad de demanda del recurso humano se necesitará, además de ser el complemento que mayor recurso financiero necesita para llevarse a cabo. Es por esto que las personas a necesitar son las siguientes:

1. Un ingeniero en mantenimiento industrial, el cual cumplirá el rol de jefe y encargado.
2. Un técnico en prevención de riesgos, el cual tendrá el rol de supervisar que no se lleve a cabo tareas de peligro para el trabajador y que se tomen los resguardos necesarios.
3. Cuatro técnicos en mantenimiento industrial, los que llevarán a cabo las labores de limpieza y serán los encargados de mantener los equipos funcionando y en buenas condiciones.
4. Un técnico en electricidad, que será el encargado de inspeccionar junto a un técnico en mantenimiento industrial las condiciones de las terminaciones eléctricas.

Este apartado tiene una consideración financiera acorde al mercado laboral, valores que fueron sacados de la subsecretaría de educación superior, encuesta de empleabilidad e ingresos, junto con la comparación de ofertas laborales encontradas en distintos portales de empleo.

Para efectos de cálculo, cada sueldo ha sido dividido en 30 días que es el proporcional de pago por día de cada trabajador y multiplicado por la cantidad de días trabajados, monto que asciende a \$1.708.000.

En el apartado máquinas y vehículos se han considerado dos transportes, que son camionetas en las cuales se va a movilizar los trabajadores antes descritos, además de un computador que será ocupado para el registro de datos de la microrred y los componentes, lo que considera un valor total del apartado por \$810.000.

Solamente para el mes de enero se requerirá un monto de \$ 2.828.933.

Tabla 3-2 Valor Plan de Mantenimiento mes Enero

Enero				
Obs: MTTO a: toda la microrred.				
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	8	\$ 5.000	\$ 40.000
Elementos de protección personal		1	\$ 18.933	\$ 18.933
Cámara termográfica	Día	8	\$ 10.000	\$ 80.000
Multi tester	Día	8	\$ 5.000	\$ 40.000
Andamios (arriendo)	Día	8	\$ 6.500	\$ 52.000
Bastón telescópico	Día	8	\$ 3.500	\$ 28.000
Utencilios de limpieza	Día	8	\$ 6.500	\$ 52.000
A) sub total Materiales y herramientas				\$ 310.933
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	8	\$ 36.667	\$ 293.333
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	8	\$ 18.333	\$ 146.667
Técnico Mantenimiento industrial	Día	8	\$ 25.000	\$ 200.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	8	\$ 25.000	\$ 200.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	8	\$ 25.000	\$ 200.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	8	\$ 25.000	\$ 200.000
Técnico en Electricidad	Día	8	\$ 20.000	\$ 160.000
Prestaciones Sociales	22%			\$ 308.000
B) sub total Mano de obra				\$ 1.708.000
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	8	\$ 50.000	\$ 400.000
Camioneta	Día	8	\$ 50.000	\$ 400.000
Computador	Día	2	\$ 5.000	\$ 10.000
C) Sub total varios				\$ 810.000
Precio Total cada 1 mes				\$ 2.828.933

Fuente: Elaboración propia

Para los meses de febrero, abril, junio, agosto, octubre y diciembre, al igual que en el mes de enero, se cobrará un proporcional debido al uso y desgaste de herramientas, para estos meses se tiene considerado el mantenimiento al inversor, inversor-cargador y al banco de baterías, los cuales según la planificación de la carta Gantt optimizada coincidirían sus mantenimientos, y se realizarían de manera cíclica a lo largo del proyecto.

Para los materiales y herramientas se ha calculado un costo de \$98.933 , en este se agrupan los siguientes elementos:

- 1. Herramientas de taller.
- 2. Elementos de protección personal.
- 3. Cámara termográfica.
- 4. Multi-tester.

La disminución de estos costos se debe a que es solo un mantenimiento de limpieza y toma de datos de cada uno de los componentes antes mencionados, por ello se verá reflejado un menor costo en herramientas y menor día de usos.

Para el caso de la mano de obra, este periodo es donde se necesitará menor cantidad de tiempo y demanda del recurso humano. Para fines de lo anterior, se deberá contar con:

- 1. Un ingeniero en mantenimiento industrial, el cual cumplirá el rol de jefe y tomador de datos.
- 2. Un técnico en prevención de riesgos, el cual tendrá el rol de supervisar que no se lleve a cabo tareas de peligro para el trabajador y que se tomen los resguardos necesarios.
- 3. Un técnico en electricidad, que será el encargado de inspeccionar las condiciones eléctricas del banco de baterías e inversor.

En el apartado máquinas y vehículos se ha considerado el uso de un solo transporte, que corresponde a una camioneta en la cual se va a movilizar los trabajadores antes descritos, además de un computador que será ocupado para el registro de datos de la microrred y los componentes, lo que considera un valor total del apartado por \$210.000.

Para los meses antes señalados los costos de la realización por mes, ascienden a un total de \$674.933.

Tabla 3-3 Valor Plan de Mantenimiento meses de Febrero; Abril; Junio; Agosto; Octubre; Diciembre.

Febrero-Abril-Junio-Agosto-Octubre-Diciembre					
Obs: MTTO a: Inversor; Inversor-cargador; Banco de baterías					
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL	
Herramientas de taller	Día	4	\$ 5.000	\$	20.000
Elementos de protección personal		1	\$ 18.933	\$	18.933
Cámara termográfica	Día	4	\$ 10.000	\$	40.000
Multi tester	Día	4	\$ 5.000	\$	20.000
A) sub total Materiales y herramientas					\$ 98.933
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR Día	TOTAL	
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	4	\$ 36.667	\$	146.667
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	4	\$ 18.333	\$	73.333
Técnico en Electricidad	Día	4	\$ 20.000	\$	80.000
Prestaciones Sociales	22%			\$	66.000
B) sub total Mano de obra					\$ 366.000
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL	
Camioneta	Día	4	\$ 50.000	\$	200.000
Computador	Día	2	\$ 5.000	\$	10.000
C) Sub total varios					\$ 210.000
Precio Total cada 1 mes				\$	674.933

Fuente: Elaboración propia.

Para los meses de marzo, mayo, septiembre y noviembre, se cobrará un proporcional debido al uso y desgaste de herramientas, que considera el mantenimiento a los paneles FV, inversor,

inversor-cargador y al banco de baterías, los cuales según la planificación de la carta Gantt optimizada coinciden con las labores de cada uno de sus mantenimientos, y estos se deberán llevar a cabo de manera cíclica a lo largo del proyecto.

Para el apartado de los materiales y herramientas se ha calculado un costo de \$310.933, que considera que en los meses antes mencionados, se realicen actividades de mantenimiento preventivo a los paneles FV, para lo cual se deberán utilizar los siguientes implementos:

1. Herramientas de taller.
2. Elementos de protección personal.
3. Cámara termográfica.
4. Multi-tester.
5. Bastones telescópicos.
6. Utensilios de limpieza.
7. Andamios (externalización del servicio).

Para el caso de la mano de obra, este periodo requiere de una cantidad de tiempo y demanda mediana, en donde se deberá cumplir los plazos estipulados para una buena realización del mantenimiento, es por esto que para llevar a cabo estas tareas se requerirá - por un monto de \$1.268.800- de las siguientes personas:

1. Un ingeniero en mantenimiento industrial, el cual cumplirá el rol de jefe y coordinador.
2. Un técnico en prevención de riesgos, el cual tendrá el rol de supervisar que no se lleve a cabo tareas de peligro para el trabajador y que se tomen los resguardos necesarios.
3. Tres técnicos en mantenimiento industrial, que serán los encargados de inspeccionar las condiciones de funcionamiento de los equipos y la limpieza de los mismos.

Para el transporte de los trabajadores se ha considerado el uso de una sola camioneta, además de un computador que será ocupado para el registro de datos de la microrred y los componentes, lo que considera un valor total del apartado por \$410.000.

Para los meses antes señalados los costos de la realización por mes, ascienden a un total de \$1.989.733.

Tabla 3-4 Valor Plan de Mantenimiento meses de Marzo, Mayo, Septiembre, Noviembre.

Marzo-Mayo-Septiembre-Noviembre				
Obs: MTTO a: Panel FV; Inversor; Inversor-cargador; Banco de baterías				

A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	8	\$ 5.000	\$ 40.000
Elementos de protección personal		1	\$ 18.933	\$ 18.933
Cámara termográfica	Día	8	\$ 10.000	\$ 80.000
Multi tester	Día	8	\$ 5.000	\$ 40.000
Andamios (arriendo)	Día	8	\$ 6.500	\$ 52.000
Bastón telescópico	Día	8	\$ 3.500	\$ 28.000
Utencilios de limpieza	Día	8	\$ 6.500	\$ 52.000
A) sub total Materiales y herramientas				\$ 310.933

B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	8	\$ 36.667	\$ 293.333
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	8	\$ 18.333	\$ 146.667
Técnico Mantenimiento industrial	Día	8	\$ 25.000	\$ 200.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	8	\$ 25.000	\$ 200.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	8	\$ 25.000	\$ 200.000
Prestaciones Sociales	22%			\$ 228.800
B) sub total Mano de obra				\$ 1.268.800

C) VARIOS, MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	8	\$ 50.000	\$ 400.000
Computador	Día	2	\$ 5.000	\$ 10.000
C) Sub total varios				\$ 410.000

Precio Total cada 1 mes	\$ 1.989.733
-------------------------	--------------

Fuente: Elaboración propia

Para finalizar los valores del plan de mantenimiento, el último mes corresponde a julio, aquí se considera la mantención del panel FV, inversor, inversor-cargador, línea eléctrica y el banco de baterías, en donde la línea eléctrica coincide al sexto mes para realizar un mantenimiento.

Para los materiales y herramientas se considera un monto de \$310.933, que se desprende de un incremento en la cantidad de días y de materiales como se presenta a continuación:

- 1. Herramientas de taller.
- 2. Elementos de protección personal.
- 3. Cámara termográfica.
- 4. Multi-tester.
- 5. Bastones telescópicos.
- 6. Utensilios de limpieza.
- 7. Andamios (externalización del servicio).

Para la mano de obra se requerirá personal por la suma de \$1.315.333, la cual consta de:

1. Un ingeniero en mantenimiento industrial, el cual cumplirá el rol de jefe y encargado.
2. Un técnico en prevención de riesgos, el cual tendrá el rol de supervisar que no se lleven a cabo tareas de peligro para el trabajador y que se tomen los resguardos necesarios.
3. Dos técnicos en mantenimiento industrial, los que llevarán a cabo las labores de limpieza y serán los encargados de mantener los equipos funcionando y en buenas condiciones.
4. Un técnico en electricidad, que será el encargado de inspeccionar y verificar el estado de la línea eléctrica dentro de la microrred.

Para el transporte de estos trabajadores se ha considerado el uso de una sola camioneta, además de un computador que será ocupado para el registro de datos de la microrred y los componentes, lo que considera un valor total del apartado por \$410.000, dando así un valor total de este mes por la suma de \$2.036.266.

Tabla 3-5 Valor plan de Mantenimiento mes de Julio.

Julio				
Obs: MTTO a: Panel FV; Inversor; Inversor-cargador; Línea Eléctrica; Banco de baterías				
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	8	\$ 5.000	\$ 40.000
Elementos de protección personal		1	\$ 18.933	\$ 18.933
Cámara termográfica	Día	8	\$ 10.000	\$ 80.000
Multi tester	Día	8	\$ 5.000	\$ 40.000
Andamios (arriendo)	Día	8	\$ 6.500	\$ 52.000
Bastón telescópico	Día	8	\$ 3.500	\$ 28.000
Utencilios de limpieza	Día	8	\$ 6.500	\$ 52.000
A) sub total Materiales y herramientas				\$ 310.933
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	8	\$ 36.667	\$ 293.333
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	8	\$ 18.333	\$ 146.667
Técnico Mantenimiento industrial	Día	8	\$ 25.000	\$ 200.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	8	\$ 25.000	\$ 200.000
Técnico en Electricidad	Día	8	\$ 20.000	\$ 160.000
Prestaciones Sociales	22%			\$ 315.333
B) sub total Mano de obra				\$ 1.315.333
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	8	\$ 50.000	\$ 400.000
Computador	Día	2	\$ 5.000	\$ 10.000
C) Sub total varios				\$ 410.000
Precio Total cada 1 mes				\$ 2.036.266

Fuente: Elaboración Propia.

Ya conocidos los valores del plan de mantenimiento para cada uno de los meses y según las tareas que se deban llevar a cabo en cada equipo dentro de a microrred, el valor total anual para el proyecto en general considera un monto de \$18.898.581 (incluyendo ganancias del 12%), el cual

debe ser dividido en la cantidad de casas dentro de la microrred, en este caso estudio se ha abordado una cantidad de 120 hogares, por lo cual cada hogar debería tener un cargo fijo mensual de aproximadamente \$13.124, esto sin considerar descuentos que puedan obtener debido a la venta de suministro eléctrico hacia la compañía de electricidad.

Tabla 3-6 Resumen plan de mantenimiento optimizado.

ITEMIZADO		Página 1 de 1	
PROYECTO:	Plan de Mantenimiento microrred eléctrica.		
	FECHA		14-01-22
RESUMEN DE LA PROPUESTA			
PARTIDA	DENOMINACIÓN	PRECIO TOTAL EN \$	PRECIO TOTAL EN USD
1	Todos los equipos de la microrred.	\$ 2.828.933	\$ 3.278
2	Inversor; Inversor-cargador; Banco de baterías.	\$ 674.933	\$ 782
3	Panel FV; Inversor; Inversor-cargador; Banco de baterías.	\$ 1.989.733	\$ 2.306
4	Inversor; Inversor-cargador; Banco de baterías.	\$ 674.933	\$ 782
5	Panel FV; Inversor; Inversor-cargador; Banco de baterías.	\$ 1.989.733	\$ 2.306
6	Inversor; Inversor-cargador; Banco de baterías.	\$ 674.933	\$ 782
7	Panel FV; Inversor; Inversor-cargador; Línea Eléctrica; Banco de baterías	\$ 2.036.266	\$ 2.360
8	Inversor; Inversor-cargador; Banco de baterías	\$ 674.933	\$ 782
9	Panel FV; Inversor; Inversor-cargador; Banco de baterías	\$ 1.989.733	\$ 2.306
10	Panel FV; Inversor; Inversor-cargador; Línea Eléctrica; Banco de baterías	\$ 674.933	\$ 782
11	Panel FV; Inversor; Inversor-cargador; Banco de baterías	\$ 1.989.733	\$ 2.306
12	Inversor; Inversor-cargador; Banco de baterías	\$ 674.933	\$ 782
PRECIO TOTAL ANUAL		\$ 18.898.581	\$ 21.899

Fuente: Elaboración propia.

3.1.3 Propuesta tres:

A pesar de que se ha optimizado el plan de mantenimiento general para la prestación de servicio a la comunidad, el costo del mismo aún sigue siendo alto, teniendo en cuenta que el enfoque de la idea de proyecto es mayoritariamente de carácter social. Por lo cual nace una tercera alternativa, la cual implica la focalización del plan de mantenimiento en los activos críticos dentro de la microrred, que en este caso son el inversor y los paneles solares.

Para lo anterior se ha tomado en cuenta el mismo procedimiento de mantenimiento, solo que enfocándolo a los dos equipos anteriormente mencionados, por lo cual el valor del plan de mantenimiento para estos activos quedaría conformado de la siguiente manera.

Tabla 3-7 Valor plan de mantenimiento focalizado en equipo críticos

Obs: MTTO a: Inversor-paneles FV				
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	6	\$ 5.000	\$ 30.000
Elementos de protección personal		1	\$ 18.933	\$ 18.933
Cámara termográfica	Día	6	\$ 10.000	\$ 60.000
Multi tester	Día	6	\$ 5.000	\$ 30.000
Andamios (arriendo)	Día	6	\$ 6.500	\$ 39.000
Bastón telescópico	Día	6	\$ 3.500	\$ 21.000
Utencilios de limpieza	Día	6	\$ 6.500	\$ 39.000
A) sub total Materiales y herramientas				\$ 237.933
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR Día	TOTAL
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	6	\$ 36.667	\$ 220.000
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	6	\$ 18.333	\$ 110.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	6	\$ 25.000	\$ 150.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	6	\$ 25.000	\$ 150.000
Técnico en Electricidad	Día	6	\$ 20.000	\$ 120.000
Prestaciones Sociales	22%			\$ 165.000
B) sub total Mano de obra				\$ 915.000
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	6	\$ 50.000	\$ 300.000
Computador	Día	2	\$ 5.000	\$ 10.000
C) Sub total varios				\$ 310.000
Precio Total cada 1 mes				\$ 1.462.933

Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que la toma de datos al inversor ha sido modificada, para que sea realizada cada dos meses, esto con el fin de ahorrar recursos tanto humanos como financieros, por lo cual solo se prestaría el servicio de mantenimiento cada dos meses para los equipos antes mencionados, además de la reducción de la duración de días debido a la focalización en estos dos equipos.

Considerando que el costo del mantenimiento focalizado es de \$1.462.933 mensual, el total de la prestación de servicio al año, arroja un valor total anual de \$9.655.360, lo que extrapolándolo con el plan de mantenimiento general a toda la microrred y cada uno de sus componentes, permite una reducción del 50% de los costos.

Para profundizar más en el tema se presentará un análisis económico desde el punto de vista de una empresa y desde los mismos clientes, para dar respuesta si este tipo de mantenimiento puede ser llevado a cabo dentro de las microrredes.

3.2. FLUJOS DE CAJA.

Para el análisis económico en profundidad se ha de considerar dos factores importantes:

- Uno de estos es la realización de un flujo de caja como una empresa prestadora de servicios de mantenimiento, en donde se tendrá que dar respuesta sobre si resultará viable económicamente, a través de indicadores como el valor actual neto (VAN), que es un criterio que consiste en actualizar los cobros y pagos de un proyecto o inversión para

conocer cuánto se va a ganar o perder; la tasa interna de retorno (TIR), que es el porcentaje de ingresos que se obtiene periódicamente debido a una inversión; y el plazo de recuperación (Payback), que hace alusión al tiempo en que se recupera lo invertido;

- Y el otro, desde el punto de vista de los clientes, que considera que no asuman una gran carga económica, debido al enfoque social y de inclusión.

A continuación se presentan ambos análisis económicos:

3.2.1 Flujo de caja empresa:

Para comenzar con este análisis económico, se ha tomado en consideración una empresa de servicios de mantenimiento que ya se encuentra operativa, que cuenta con vehículos para el transporte del personal, por tanto, no se deberá hacer una inversión en este aspecto.

Se ha considerado en el apartado inversiones, el equipamiento de herramientas (multitester, caja de herramientas, entre otras) y de elementos de protección personal (gafas, bototos, etc.) por la suma de \$1.899.515, los cuales se encuentran en su valor bruto y con su correspondiente vida útil. Se han utilizado los valores brutos, es decir sin los impuestos, debido a que las empresas se encuentran afectos a impuestos de primera categoría. El proyecto se está evaluando en un periodo de 20 años.

Tabla 3-8 Inversiones

Inversiones	Precio	Vida útil años
Herramientas	\$ 1.715.483	20
EPP	\$ 184.032	1

Fuente: Elaboración propia

Se considerará una prestación de servicio por año, cuyo valor va a ascender a \$18.898.581, que incluye un porcentaje de ganancias para la empresa del 12%. Cabe mencionar que dicho valor es el costo anual del servicio.

Los costos variables por la prestación de servicios, se desglosarán de la siguiente manera:

Tabla 3-9 Costos variables

COSTOS VARIABLES POR PRESTACION DE SERVICIOS	DATO	
SUELDOS	\$ 10.294.533	\$/man
MATERIALES (SIN IMPUESTO)	\$ 1.991.952	\$/man
OTROS (SIN IMPUESTO)	\$ 3.337.200	\$/man
TOTAL	\$ 15.623.685	\$/man

Fuente: Elaboración propia.

Los sueldos presentes en la tabla nacen del proporcional de días trabajados con respecto a un sueldo base, el cual ha sido referenciado al mercado nacional y fuentes de la subsecretaria de educación superior, los cuales brindan un estimativo de cuánto gana en promedio una persona por

su carrera, además de los materiales y otros, se cobra un proporcional por el uso y desgaste de herramientas y que también es equivalente a los días utilizados.

Para los datos económicos, se consideró un impuesto de primera categoría del 27%, según fuentes del Servicio de Impuestos Interno y una tasa de descuento que en el rubro energético fluctúa entre un 10% a un 15% (Ríos, 2015). Para efectos de cálculos en este trabajo se consideró un 12%, que se puede ver en mayor detalle en el apartado anexos 3.

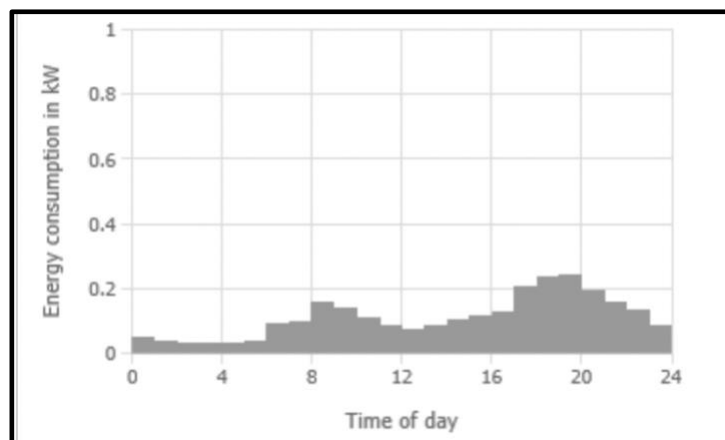
Una vez realizados los cálculos, se arroja un VAN de \$17.876.238, que indica que la prestación de servicios a este proyecto resulta rentable para la empresa, es decir, le genera utilidades.

En cuanto al TIR, el resultado fue de un 139%, lo cual indica que es un proyecto rentable y que al cabo de un año de realizarse se recuperaría la inversión (payback).

3.2.2 Flujo de caja clientes:

Para el flujo de caja abordado desde el punto de vista de los clientes, se simularon las condiciones de generación de energía de la microrred mediante un software proporcionado por la compañía SMA, SUNNY DESIGN, el cual permitió la obtención de datos tangibles sobre la cuota de auto consumo por vivienda, el rendimiento energético anual y cuánto generaría la microrred en dinero por la venta de excedentes a la compañía de electricidad.

Se ha tomado como supuesto que en cada hogar viven 2 adultos y 2 niños, donde ambos adultos trabajan a tiempo completo y los niños se encuentran en edad escolar, lo que deja un consumo anual de 4.400 kWh al año de consumo en un hogar, datos simulados y tomados desde Sunny Design.



Fuente: Sunny Design.

Figura 3-1 Perfil de carga usuarios.

En la figura 3-1 se presenta el cuadro resumen de la simulación realizada para efectos de cálculo de consumo de una vivienda, la cual será tomada como estándar para toda la microrred.

Results ?

Este resumen muestra las entradas, los resultados y la información actual sobre el diseño del sistema. Verifique la información antes de crear la documentación del proyecto.

Proyecto	MICRORED	Cliente	
Ubicación	X9G9 + Q3 Diaguitas, Vicuña, Chile	Habla a	

Información del proyecto

Número total de módulos fotovoltaicos	7	Pérdidas de línea (en% de energía fotovoltaica)	---
La punta del Poder	2,10 kWp	Carga desequilibrada	2,00 kVA
Número de inversores fotovoltaicos	1	Consumo de energía anual	4.400 kWh
Potencia nominal de CA de los inversores fotovoltaicos	2,00 kW	Autoconsumo	2080 kWh
Potencia activa AC	2,00 kW	Cuota de autoconsumo	56,5%
Relación de potencia activa	95,2%	Cuota de autosuficiencia	48,9%
Rendimiento energético anual	3.683 kWh	Capacidad nominal total	7,00 kWh
Factor de usabilidad energética	100%	Caudales de energía nominal anual de la batería	262
Relación calidad	86%	Reducción de CO ₂ después de 20 años	25 t
Especificaciones. rendimiento energético	1754 kWh / kWp		

Fuente: Sunny Design

Figura 3-2 Resultados simulación proyecto

Para el sacar el cálculo de energía generada por cada hogar se tomó los siguientes datos:

- Capacidad instalada: capacidad instalada de producción de energía en kW por hogar.
- CAPEX o capital de inversión: se tomó en consideración el costo de un kit fotovoltaico para un hogar, que según fuentes del Ministerio de Energía fluctúa entre los 1.600 a 2.000 dólares.
- Factor de planta: valor arrojado por la simulación en SUNNY DESIGN.
- Horas de funcionamiento: resultado de la multiplicación del factor de planta y la constante de 8.760 horas (horas que posee un año).
- Degradación anual de producción: valor arrojado por la simulación en SUNNY DESIGN.
- Vida útil: vida útil del proyecto.
- Precio venta de electricidad: precio al cual la compañía de electricidad vende la energía al cliente.
- Precio compra de electricidad: precio que la compañía de electricidad paga por la inyección de excedente a las generadoras residenciales.
- Porcentaje de uso propio de electricidad: porcentaje que cada hogar utiliza del total generado.
- Incremento anual de precio venta (%): valor que según la información del Ministerio de Energía fluctúa entre un 1 a 3 %.
- Incremento anual de precio compra (%): valor que según la información del Ministerio de Energía fluctúa entre un 1 a 3 %.
- Tasa de inflación para incremento del costo de mantención: valor que es entregado por el Banco Central según pronósticos anuales.

Tabla 3-10 Cálculo energía por hogar.

PV		
Datos base	Unidad	Valor
Capacidad instalada	kW	2
CAPEX	US\$	1.600
Costos de inversión especificos	US\$/kW	762
Factor de planta	%	20,02%
Horas de funcionamiento (factor de carga x 8760 hrs)	kWh/kW,a	1.754
Degradación anual de producción	%/a	0,05%
Vida útil	a	20
Precio venta de electricidad	US\$/kWh	0,10
Precio compra de electricidad	US\$/kWh	0,20
% electricidad uso propio	%	56,50%
Incremento anual precio venta %	%/a	2,00%
Incremento anual precio compra %	%/a	2,00%
Tasa de inflación (incremento costos mantenimiento)	%/a	3,10%
Seguros	US\$/a	0,00
Otros (insumos operacionales, etc.)	US\$/a	0,00
Costos de mantenimiento	US\$/a	21.898,70
Suma costos variables anuales	US\$/a	21.899

Fuente: Elaboración propia

Con los datos anteriores se puede proceder a hacer la proyección de la generación de energía para los 20 años siguientes que se considerará de duración del proyecto, datos que se encontrarán adjuntos en el apartado de anexos 4.

La producción de energía por cada hogar será equivalente a 3.683 kWh/año, produciendo así la microrred un total aproximado de 441.946 kWh/año, permitiendo así un ahorro en cada hogar por un valor de 416 dólares al año que equivale a 356.000 pesos chilenos. Este valor es solo para el consumo de energía propia, puesto que los excedentes existentes e ingresados a la red pública, están valorizados por un costo de 160 dólares al año por hogar, es decir, aproximadamente 139.000 pesos chilenos, permitiendo así generar ingresos para la microrred cercanos a \$16.590.855.

Estos valores generados por la venta de excedentes pueden permitirle a los habitantes del conjunto habitacional ver disminuidos los costos que conllevaría la realización de un plan de mantenimiento a la microrred y a cada uno de sus componentes.

3.2.2.1 Tarificación

Mediante una tarificación del costo del mantenimiento se permitiría el acceso universal (independiente del consumo y generación de cada hogar) al mantenimiento preventivo de la microrred, asumiendo que este le traería beneficios de disminución de costos en reparación.

Los costos asociados al plan de mantenimiento de la microrred pueden verse reflejados a través de cualquiera de las siguientes opciones:

- 1.- Se puede cobrar como un servicio de gasto común mensualmente a cada uno de los hogares, lo cual implicaría un cargo de \$1.603, que equivale al 12% del valor total del

mantenimiento, mientras que el otro 88% se obtiene mediante la generación y venta de electricidad a la compañía de eléctrica.

2.- Otra opción es que se cobre en la emisión de la boleta de luz de la compañía eléctrica, lo cual está estipulado en la ley 20.571, que regula el pago de las tarifas eléctricas de las generadoras residenciales.

Hacer un cobro mensual a cada hogar, les permitiría contar con un buen servicio de mantenimiento, además de garantizar la continuidad operacional de la microrred y disminuir las constantes quejas que existen hacia el suministro eléctrico convencional.

Tabla 3-11 Tarificación.

Moneda	Peso chileno	Dólares
Ingresos al año	\$ 16.590.855	\$ 19.225
Costo de MTTO al año	\$ 18.898.581	\$ 21.899
Diferencia	\$ 2.307.726	\$ 2.674
Porcentaje	12%	
A pagar por cada hogar mensual	\$ 1.603	\$ 2

Fuente: Elaboración propia.

3.- La última opción que se puede tomar, es el plan de mantenimiento focalizado en los equipos críticos en donde este les dejaría excedentes y sería una reducción del 50% del costo del plan de mantenimiento.

Tabla 3-12 Tarificación mantenimiento focalizado.

Moneda	MTTO FOCALIZADO	
	Peso chileno	Dólares
Ingresos al año	\$ 16.590.855	\$ 19.225
Costo de MTTO al año	\$ 9.655.360	\$ 11.188
Diferencia	-\$ 6.935.495	-\$ 8.036
Porcentaje	14%	
A pagar por cada hogar mensual	\$ -	\$ -

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A modo de síntesis, Chile es considerado una potencia mundial en el ámbito de la energía solar, por ello, es de suma importancia contar con un buen desarrollo de tecnologías en esta materia. La creación de microrredes en el país se veía lejana hace algunos años atrás, pero actualmente ya se cuenta con una microrred en la región de Tarapacá, la cual, significa un crecimiento importante para el desarrollo de esta tecnología.

El gran crecimiento que se espera tras la implementación de otras microrredes a lo largo del país, hace replantear si es necesario llevar a cabo planes de mantenimiento a las mismas, y la respuesta es SI. Con esto se deja atrás el mito de que por ser paneles FV requieren un nulo mantenimiento, gracias a este pensamiento erróneo, se ve en gran parte del país plantas fotovoltaicas llenas de suciedad y con un nulo cuidado, ignorando que esta capa de suciedad hace disminuir la cantidad de energía generada en hasta un 15%.

Con el plan de mantenimiento propuesto se busca garantizar el correcto funcionamiento y generación de energía dentro de la microrred, entregando a los habitantes la seguridad de que su equipo no presente fallas que se traduzcan en cortes de energía o accidentes.

La propuesta contempla un mantenimiento preventivo a los distintos componentes de la microrred a lo largo del tiempo y cada ciertos periodos, lo cual permitiría optimizar recursos y tiempo al llevar a cabo la ejecución del plan. Además, se busca ofrecer un buen servicio, considerando la correcta implementación de las medidas de seguridad, dando respuesta a las normativas internacionales y recomendaciones de los fabricantes de los equipos.

Teniendo los resultados de las tres propuestas, y considerando que este proyecto tiene un enfoque social, se espera optar por la realización del plan de mantenimiento focalizado, es decir, enfocándose sólo en aquellos equipos críticos dentro de la microrred, como lo son el inversor y el panel FV, permitiéndole a la comunidad financiarlo mediante la venta de excedentes de electricidad a la compañía eléctrica.

El análisis económico realizado para fines de este trabajo, permitió observar que: si se realiza un mantenimiento individual, es decir, equipo por equipo en días diferentes, el valor es mayor; por otro lado, si se optimizan los tiempos y el mantenimiento y se programa de acuerdo a fechas previstas en carta Gantt, se reducen los costos en un 70%, puesto que se estaría ahorrando tiempo, recursos humanos y materiales, mientras que, si se realiza un mantenimiento focalizado en equipos críticos, se reduce en un 50% los costos en referencia al mantenimiento que ya está optimizado.

También, este análisis económico responde a la incógnita sobre si realmente es factible para el cliente costear el mantenimiento de la microrred, obteniéndose una respuesta favorable, debido a que la generación de excedentes producidos por la microrred inyectados a la red eléctrica

convencional, le permitiría a los usuarios costear el 100% del plan de mantenimiento anual, haciéndolo atractivo e incentivando la realización de estas labores.

Para finalizar, parece pertinente agregar que, en caso de que el proyecto no hubiese resultado rentable, se hubiese podido postular a fondos y/o aportes del estado o municipales para su realización, debido al enfoque social que está a la base de este plan de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN

- Caterpillar (2019). Microrred. Disponible en: <https://n9.cl/w8127>
- CGE. (2021). Tarifa de suministro eléctrico. Disponible en: <https://n9.cl/yqvx5>
- Electricidad: la revista energética de Chile. (2017). El 17% de la energía producida en Chile proviene de fuentes renovables no convencionales. Disponible en: <https://n9.cl/1xwsc>
- Energía abierta. (2020). Calidad del servicio, SAIDI comunal. Disponible en: <https://n9.cl/z46cv>
- Fernández, M.(2012). Planta solar fotovoltaica de 500kw sobre la cubierta de una nave industrial en la ciudad de Sevilla, Manual de mantenimiento.
- Guacaneme, J, Velasco, D., & Trujillo, L. (2014). Revisión de las características de sistemas de almacenamiento de energía para aplicaciones en micro redes. Información tecnológica.
- Jiménez, S. (2011). Energía Renovable No Convencional: Políticas de Promoción en Chile y el Mundo. *Serie Informe Económico*, (218).
- Liévano, M. (2006). Implementación programa de mantenimiento preventivo del equipo de flexibilidad de la red de distribución de energía eléctrica de EMCALI.
- Mella, V. (2020). Evaluación técnica y económica de la implementación de una microrred eléctrica e inteligente en un conjunto habitacional en Chile.
- Ministerio de Energía. (2017). Conoce Tu Energía ¿Qué es la Energía? Disponible en: <https://www.mienergia.cl/oportunidades-y-beneficios/videoteca-de-energia>
- Ministerio de Energía. (2021). ¿Qué son las energías renovables? Disponible en: <https://energia.gob.cl/educacion/que-son-las-energias-renovables>
- Montecinos, F. (2011). DESARROLLO Y VALIDACION DE UN MODELO DE OPTIMIZACION ENERGETICA PARA UNA MICRORRED. Santiago de Chile.
- Ríos, A.(2015) Evaluación de proyectos de energía renovable, y eficiencia energética: Finanzas de cambio climático.
- Servicio de Impuestos Internos (SII) (2020). Impuesto a la renta de primera categoría. Disponible en: <https://n9.cl/zrut7>
- Sodimac (2021). Disponible en: <https://n9.cl/kjiqm>
- Statista Research Department (2021). Evolución anual de la tasa de inflación en Chile desde 2015 hasta 2026. Disponible en: <https://n9.cl/wn38m>
- Subsecretaría de Educación Superior (2020). Empleabilidad e Ingresos. Disponible en: <https://www.mifuturo.cl/buscador-de-empleabilidad-e-ingresos/>
- Una Norma Española (UNE) (2002). Requisitos de seguridad para las baterías e instalaciones de baterías. Parte 2: Baterías estacionarias. (UNE-EN 50.272-2)
- Valdiviezo, P. (2014). Diseño de un sistema fotovoltaico para el suministro de energía eléctrica a 15 computadoras portátiles en la PUCP.
- Velásquez, R., Sarmiento, H., Silva, J., Vidrio, G., & Nieva, R. (2010). Introducción al concepto de microrredes. *Boletín IIE*.
- Victron Energy (2020). Disponible en: <https://n9.cl/jc5bf>

ANEXOS

ANEXO 1: Escenarios energéticos de largo plazo.

Factores	Escenario A	Escenario B	Escenario C	Escenario D	Escenario E
1. Disposición social para proyectos (*) (Intensidad de retiro de centrales a carbón)	+ Costo y con carbón CCS (Alta)	Libre (Baja)	+ Costo y con carbón CCS (Alta)	+ Costo (Media)	+ Costo (Media)
2. Demanda energética	Baja	Alta	Media	Baja	Alta
3. Cambio tecnológico en almacenamiento en baterías	Alto	Bajo	Medio	Medio	Alto
4. Costos de externalidades ambientales (**)	Actual	+Alto	Actual	Actual	+Alto
5. Costos de inversión de tecnologías renovables	Bajo	Bajo	Medio	Alto	Bajo
6. Precio de combustibles fósiles	Medio	Alto	Bajo	Bajo	Alto

ANEXO 2: Valor plan de mantenimiento puro.

Panel Fotovoltaico	Cada 2 meses			
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	10	\$ 5.000	\$ 50.000
Elementos de protección personal		1	\$ 20.000	\$ 20.000
Andamios	Día	10	\$ 6.500	\$ 65.000
Bastón telescópico		4	\$ 39.990	\$ 159.960
Cámara termográfica	Día	10	\$ 20.000	\$ 200.000
Manguera	Día	10	\$ 1.000	\$ 10.000
A) sub total Materiales y herramientas				\$ 504.960
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	10	\$ 36.667	\$ 366.667
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	10	\$ 18.333	\$ 183.333
Técnico Mantenimiento industrial	Día	10	\$ 25.000	\$ 250.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	10	\$ 25.000	\$ 250.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	10	\$ 25.000	\$ 250.000
Prestaciones Sociales 21%				\$ 273.000
B) sub total Mano de obra				\$ 1.573.000
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	10	\$ 50.000	\$ 500.000
Camioneta	Día	10	\$ 50.000	\$ 500.000
C) Sub total varios			\$ 1.000.000	
Precio Total cada 2 meses				\$ 3.077.960
Precio total MTTO panel FV				\$ 22.518.000

Panel Fotovoltaico	Cada 6 meses			
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	5	\$ 5.000	\$ 25.000
Elementos de protección personal		1	\$ 20.000	\$ 20.000
Andamios	Día	5	\$ 6.500	\$ 32.500
Cámara termográfica	Día	5	\$ 20.000	\$ 100.000
A) sub total Materiales y herramientas				\$ 177.500
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	5	\$ 36.667	\$ 183.333
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	5	\$ 18.333	\$ 91.667
Técnico Mantenimiento industrial	Día	5	\$ 25.000	\$ 125.000
Prestaciones Sociales 21%				\$ 84.000
B) sub total Mano de obra				\$ 484.000
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$ 250.000
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$ 250.000
C) Sub total varios			\$ 500.000	
Precio Total cada 6 meses				\$ 1.161.500

Panel Fotovoltaico	Cada 1 año			
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	5	\$ 5.000	\$ 25.000
Elementos de protección personal		1	\$ 20.000	\$ 20.000
Andamios	Día	10	\$ 6.500	\$ 65.000
Cámara termográfica	Día	10	\$ 20.000	\$ 200.000
Multi-tester		1	\$ 39.990	\$ 39.990
A) sub total Materiales y herramienta				\$ 349.990
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	5	\$ 36.667	\$ 183.333
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	5	\$ 18.333	\$ 91.667
Técnico Mantenimiento industrial	Día	5	\$ 25.000	\$ 125.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	5	\$ 25.000	\$ 125.000
Técnico en Electricidad	Día	5	\$ 20.000	\$ 100.000
Técnico en Electricidad	Día	5	\$ 20.000	\$ 100.000
Prestaciones Sociales 21%				\$ 152.250
B) sub total Mano de obra				\$ 877.250
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$ 250.000
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$ 250.000
C) Sub total varios			\$ 500.000	
Precio Total cada 1 año				\$ 1.727.240

Inversor	Cada 1 mes				
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL	
Herramientas de taller	Día	5	\$ 5.000	\$	25.000
Elementos de protección personal		1	\$ 20.000	\$	20.000
A) sub total Materiales y herramientas					\$ 45.000
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL	
Técnico Mantenimiento industrial	Día	5	\$ 25.000	\$	125.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	5	\$ 25.000	\$	125.000
Prestaciones Sociales					21% \$ 52.500
B) sub total Mano de obra			\$ 302.500		
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL	
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$	250.000
Computador	Día	5	\$ 10.000	\$	50.000
C) Sub total varios			\$ 300.000		
Precio Total cada 1 mes				\$	647.500
Precio total MTTO inversor				\$ 12.381.323	

Inversor	Cada 6 meses				
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL	
Herramientas de taller	Día	5	\$ 5.000	\$	25.000
Elementos de protección personal		1	\$ 20.000	\$	20.000
Utencilios de limpieza	Día	5	\$ 6.500	\$	32.500
A) sub total Materiales y herramientas					\$ 77.500
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL	
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	5	\$ 18.333	\$	91.667
Técnico Mantenimiento industrial	Día	5	\$ 25.000	\$	125.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	5	\$ 25.000	\$	125.000
Prestaciones Sociales					21% \$ 71.750
B) sub total Mano de obra			\$ 413.417		
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL	
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$	250.000
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$	250.000
C) Sub total varios			\$ 500.000		
Precio Total cada 6 meses				\$	990.917

Inversor	Cada 1 año				
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL	
Herramientas de taller	Día	10	\$ 5.000	\$	50.000
Elementos de protección personal		1	\$ 20.000	\$	20.000
Cámara termográfica	Día	10	\$ 20.000	\$	200.000
Multi-tester		1	\$ 39.990	\$	39.990
Utencilios de limpieza	Día	10	\$ 6.500	\$	65.000
A) sub total Materiales y herramienta:					\$ 374.990
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL	
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	10	\$ 36.667	\$	366.667
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	10	\$ 18.333	\$	183.333
Técnico Mantenimiento industrial	Día	10	\$ 25.000	\$	250.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	10	\$ 25.000	\$	250.000
Técnico en Electricidad	Día	10	\$ 20.000	\$	200.000
Técnico en Electricidad	Día	10	\$ 20.000	\$	200.000
Prestaciones Sociales					21% \$ 304.500
B) sub total Mano de obra			\$ 1.754.500		
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL	
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$	250.000
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$	250.000
C) Sub total varios			\$ 500.000		
Precio Total cada 1 año				\$ 2.629.490	

Inversor-Cargador	Cada 1 mes			
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	5	\$ 5.000	\$ 25.000
Elementos de protección personal		1	\$ 20.000	\$ 20.000
A) sub total Materiales y herramientas				\$ 45.000
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL
Técnico Mantenimiento industrial	Día	2	\$ 25.000	\$ 50.000
Técnico en Electricidad	Día	2	\$ 20.000	\$ 40.000
B) sub total Mano de obra				\$ 108.900
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	2	\$ 50.000	\$ 100.000
Computador	Día	2	\$ 10.000	\$ 20.000
C) Sub total varios				\$ 120.000
Precio Total cada 1 mes				\$ 273.900
Precio total MTTO inversor-cargador				\$ 7.898.123

Inversor-Cargador	Cada 6 meses			
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	5	\$ 5.000	\$ 25.000
Elementos de protección personal		1	\$ 20.000	\$ 20.000
Utencilios de limpieza	Día	5	\$ 6.500	\$ 32.500
A) sub total Materiales y herramientas				\$ 77.500
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL
Prevencionista de Riesgo	Día	5	\$ 18.333	\$ 91.667
Técnico Mantenimiento industrial	Día	5	\$ 25.000	\$ 125.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	5	\$ 25.000	\$ 125.000
B) sub total Mano de obra				\$ 413.417
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$ 250.000
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$ 250.000
C) Sub total varios				\$ 500.000
Precio Total cada 6 meses				\$ 990.917

Inversor-Cargador	Cada 1 año			
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	10	\$ 5.000	\$ 50.000
Elementos de protección personal		1	\$ 20.000	\$ 20.000
Cámara termográfica	Día	10	\$ 20.000	\$ 200.000
Multi-tester		1	\$ 39.990	\$ 39.990
Utencilios de limpieza	Día	10	\$ 6.500	\$ 65.000
A) sub total Materiales y herramienta:				\$ 374.990
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	10	\$ 36.667	\$ 366.667
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	10	\$ 18.333	\$ 183.333
Técnico Mantenimiento industrial	Día	10	\$ 25.000	\$ 250.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	10	\$ 25.000	\$ 250.000
Técnico en Electricidad	Día	10	\$ 20.000	\$ 200.000
Técnico en Electricidad	Día	10	\$ 20.000	\$ 200.000
B) sub total Mano de obra				\$ 1.754.500
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$ 250.000
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$ 250.000
C) Sub total varios				\$ 500.000
Precio Total cada 1 año				\$ 2.629.490

Línea Eléctrica					Cada 1 meses
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL	
A) sub total Materiales y herramientas					\$ -
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL	
Prestaciones Sociales	21%		\$	-	
B) sub total Mano de obra					\$ -
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL	
C) Sub total varios					\$ -
Precio Total cada 2 meses					\$ -
Precio total MTTO línea eléctrica					\$ 3.763.073

Línea Eléctrica					Cada 6 meses
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL	
Herramientas de taller	Día	5	\$ 5.000	\$ 25.000	
Elementos de protección personal		1	\$ 20.000	\$ 20.000	
Utencilios de limpieza	Día	5	\$ 6.500	\$ 32.500	
Escalera	Día	5	\$ 15.000	\$ 75.000	
A) sub total Materiales y herramientas					\$ 152.500
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL	
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	5	\$ 36.667	\$ 183.333	
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	5	\$ 18.333	\$ 91.667	
Técnico en Electricidad	Día	5	\$ 20.000	\$ 100.000	
Técnico en Electricidad	Día	5	\$ 20.000	\$ 100.000	
Prestaciones Sociales 21%					\$ 61.250
B) sub total Mano de obra					\$ 352.917
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL	
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$ 250.000	
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$ 250.000	
C) Sub total varios					\$ 500.000
Precio Total cada 6 meses					\$ 1.005.417

Línea Eléctrica					Cada 1 año
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL	
Herramientas de taller	Día	10	\$ 5.000	\$ 50.000	
Elementos de protección personal		1	\$ 20.000	\$ 20.000	
Cámara termográfica	Día	10	\$ 20.000	\$ 200.000	
Multi-tester		1	\$ 39.990	\$ 39.990	
Utencilios de limpieza	Día	10	\$ 6.500	\$ 65.000	
A) sub total Materiales y herramienta					\$ 374.990
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL	
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	5	\$ 36.667	\$ 183.333	
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	5	\$ 18.333	\$ 91.667	
Técnico Mantenimiento industrial	Día	5	\$ 25.000	\$ 125.000	
Técnico Mantenimiento industrial	Día	5	\$ 25.000	\$ 125.000	
Técnico en Electricidad	Día	5	\$ 20.000	\$ 100.000	
Técnico en Electricidad	Día	5	\$ 20.000	\$ 100.000	
Prestaciones Sociales 21%					\$ 152.250
B) sub total Mano de obra					\$ 877.250
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL	
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$ 250.000	
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$ 250.000	
C) Sub total varios					\$ 500.000
Precio Total cada 1 año					\$ 1.752.240

Banco de Baterías					Cada 1 mes
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL	
Herramientas de taller	Día	5	\$ 5.000	\$ 25.000	
Elementos de protección personal		1	\$ 20.000	\$ 20.000	
Cámara termográfica	Día	5	\$ 20.000	\$ 100.000	
Multi tester		1	\$ 39.990	\$ 39.990	
A) sub total Materiales y herramientas					\$ 184.990
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Dia	TOTAL	
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	5	\$ 36.667	\$ 183.333	
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	5	\$ 18.333	\$ 91.667	
Técnico Mantenimiento industrial	Día	5	\$ 25.000	\$ 125.000	
Técnico Mantenimiento industrial	Día	5	\$ 25.000	\$ 125.000	
Técnico en Electricidad	Día	5	\$ 20.000	\$ 100.000	
Prestaciones Sociales 21%					\$ 131.250
B) sub total Mano de obra					\$ 756.250
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL	
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$ 250.000	
Camioneta	Día	5	\$ 50.000	\$ 250.000	
C) Sub total varios					\$ 500.000
Precio Total cada 1 mes					\$ 1.441.240
Precio total MTTO banco de baterías					\$ 17.294.880

Banco de Baterías					Cada 6 meses
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL	
A) sub total Materiales y herramientas					\$ -
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Dia	TOTAL	
Prestaciones Sociales 21%					\$ -
B) sub total Mano de obra					\$ -
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL	
C) Sub total varios					\$ -
Precio Total cada 6 meses					\$ -

Banco de Baterías					Cada 1 año
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL	
A) sub total Materiales y herramienta:					\$ -
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Dia	TOTAL	
Prestaciones Sociales 21%					\$ -
B) sub total Mano de obra					\$ -
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL	
C) Sub total varios					\$ -
Precio Total cada 1 año					\$ -

ANEXO 3: mantenimiento focalizado en equipos críticos.

Enero				
Obs: MTTO a: Inversor-paneles FV				

A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	6	\$ 5.000	\$ 30.000
Elementos de protección personal		1	\$ 18.933	\$ 18.933
Cámara termográfica	Día	6	\$ 10.000	\$ 60.000
Multi tester	Día	6	\$ 5.000	\$ 30.000
Andamios (arriendo)	Día	6	\$ 6.500	\$ 39.000
Bastón telescópico	Día	6	\$ 3.500	\$ 21.000
Utencilios de limpieza	Día	6	\$ 6.500	\$ 39.000
A) sub total Materiales y herramientas				\$ 237.933

B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	6	\$ 36.667	\$ 220.000
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	6	\$ 18.333	\$ 110.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	6	\$ 25.000	\$ 150.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	6	\$ 25.000	\$ 150.000
Técnico en Electricidad	Día	6	\$ 20.000	\$ 120.000
Prestaciones Sociales	22%			\$ 165.000
B) sub total Mano de obra				\$ 915.000

C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	6	\$ 50.000	\$ 300.000
Computador	Día	2	\$ 5.000	\$ 10.000
C) Sub total varios				\$ 310.000

Precio Total cada 1 mes	\$ 1.462.933
-------------------------	--------------

Marzo				
Obs: MTTO a: Inversor-paneles FV				

A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	6	\$ 5.000	\$ 30.000
Elementos de protección personal		1	\$ 18.933	\$ 18.933
Cámara termográfica	Día	6	\$ 10.000	\$ 60.000
Multi tester	Día	6	\$ 5.000	\$ 30.000
Andamios (arriendo)	Día	6	\$ 6.500	\$ 39.000
Bastón telescópico	Día	6	\$ 3.500	\$ 21.000
Utencilios de limpieza	Día	6	\$ 6.500	\$ 39.000
A) sub total Materiales y herramientas				\$ 237.933

B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	6	\$ 36.667	\$ 220.000
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	6	\$ 18.333	\$ 110.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	6	\$ 25.000	\$ 150.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	6	\$ 25.000	\$ 150.000
Técnico en Electricidad	Día	6	\$ 20.000	\$ 120.000
Prestaciones Sociales	22%			\$ 165.000
B) sub total Mano de obra				\$ 915.000

C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	6	\$ 50.000	\$ 300.000
Computador	Día	2	\$ 5.000	\$ 10.000
C) Sub total varios				\$ 310.000

Precio Total cada 1 mes	\$ 1.462.933
-------------------------	--------------

Mayo				
Obs: MTTO a: Inversor-paneles FV				

A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	6	\$ 5.000	\$ 30.000
Elementos de protección personal		1	\$ 18.933	\$ 18.933
Cámara termográfica	Día	6	\$ 10.000	\$ 60.000
Multi tester	Día	6	\$ 5.000	\$ 30.000
Andamios (arriendo)	Día	6	\$ 6.500	\$ 39.000
Bastón telescópico	Día	6	\$ 3.500	\$ 21.000
Utencilios de limpieza	Día	6	\$ 6.500	\$ 39.000
A) sub total Materiales y herramientas				\$ 237.933

B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	6	\$ 36.667	\$ 220.000
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	6	\$ 18.333	\$ 110.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	6	\$ 25.000	\$ 150.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	6	\$ 25.000	\$ 150.000
Técnico en Electricidad	Día	6	\$ 20.000	\$ 120.000
Prestaciones Sociales	22%			\$ 165.000
B) sub total Mano de obra				\$ 915.000

C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	6	\$ 50.000	\$ 300.000
Computador	Día	2	\$ 5.000	\$ 10.000
C) Sub total varios				\$ 310.000

Precio Total cada 1 mes	\$ 1.462.933
-------------------------	--------------

Julio				
Obs: MTTO a: Inversor-paneles FV				
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	6	\$ 5.000	\$ 30.000
Elementos de protección personal		1	\$ 18.933	\$ 18.933
Cámara termográfica	Día	6	\$ 10.000	\$ 60.000
Multi tester	Día	6	\$ 5.000	\$ 30.000
Andamios (arriendo)	Día	6	\$ 6.500	\$ 39.000
Bastón telescópico	Día	6	\$ 3.500	\$ 21.000
Utencilios de limpieza	Día	6	\$ 6.500	\$ 39.000
A) sub total Materiales y herramientas				\$ 237.933
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	6	\$ 36.667	\$ 220.000
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	6	\$ 18.333	\$ 110.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	6	\$ 25.000	\$ 150.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	6	\$ 25.000	\$ 150.000
Técnico en Electricidad	Día	6	\$ 20.000	\$ 120.000
Prestaciones Sociales			22%	\$ 165.000
B) sub total Mano de obra				\$ 915.000
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	6	\$ 50.000	\$ 300.000
Computador	Día	2	\$ 5.000	\$ 10.000
C) Sub total varios				\$ 310.000
Precio Total cada 1 mes				\$ 1.462.933

Septiembre				
Obs: MTTO a: Inversor-paneles FV				
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	6	\$ 5.000	\$ 30.000
Elementos de protección personal		1	\$ 18.933	\$ 18.933
Cámara termográfica	Día	6	\$ 10.000	\$ 60.000
Multi tester	Día	6	\$ 5.000	\$ 30.000
Andamios (arriendo)	Día	6	\$ 6.500	\$ 39.000
Bastón telescópico	Día	6	\$ 3.500	\$ 21.000
Utencilios de limpieza	Día	6	\$ 6.500	\$ 39.000
A) sub total Materiales y herramientas				\$ 237.933
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	6	\$ 36.667	\$ 220.000
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	6	\$ 18.333	\$ 110.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	6	\$ 25.000	\$ 150.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	6	\$ 25.000	\$ 150.000
Técnico en Electricidad	Día	6	\$ 20.000	\$ 120.000
Prestaciones Sociales			22%	\$ 165.000
B) sub total Mano de obra				\$ 915.000
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	6	\$ 50.000	\$ 300.000
Computador	Día	2	\$ 5.000	\$ 10.000
C) Sub total varios				\$ 310.000
Precio Total cada 1 mes				\$ 1.462.933

Noviembre				
Obs: MTTO a: Inversor-paneles FV				
A) MATERIALES Y HERRAMIENTAS	UNIDAD	CANTIDAD	P.U	TOTAL
Herramientas de taller	Día	6	\$ 5.000	\$ 30.000
Elementos de protección personal		1	\$ 18.933	\$ 18.933
Cámara termográfica	Día	6	\$ 10.000	\$ 60.000
Multi tester	Día	6	\$ 5.000	\$ 30.000
Andamios (arriendo)	Día	6	\$ 6.500	\$ 39.000
Bastón telescópico	Día	6	\$ 3.500	\$ 21.000
Utencilios de limpieza	Día	6	\$ 6.500	\$ 39.000
A) sub total Materiales y herramientas				\$ 237.933
B) MANO DE OBRA	UNIDAD	RENDMTO.	VALOR Día	TOTAL
Ingeniero en Mantenimiento Industrial	Día	6	\$ 36.667	\$ 220.000
Técnico en Prevención de Riesgos.	Día	6	\$ 18.333	\$ 110.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	6	\$ 25.000	\$ 150.000
Técnico Mantenimiento industrial	Día	6	\$ 25.000	\$ 150.000
Técnico en Electricidad	Día	6	\$ 20.000	\$ 120.000
Prestaciones Sociales			22%	\$ 165.000
B) sub total Mano de obra				\$ 915.000
C) VARIOS,MAQNS. Y EQUIPOS	UNIDAD	RENDIMTO.	VALOR	TOTAL
Camioneta	Día	6	\$ 50.000	\$ 300.000
Computador	Día	2	\$ 5.000	\$ 10.000
C) Sub total varios				\$ 310.000
Precio Total cada 1 mes				\$ 1.462.933

ANEXO 4: Flujo de caja empresa.

[illegible]

VAN	\$	17.876.238	> 0	PROYECTO RENTABLE
TIR		39%	Tir > Td	PROYECTO RENTABLE
Payback	Año 1	\$	464.372	

Tabla de depreciación

[illegible]

ANEXOS 5: Flujo de caja clientes.

Año		2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031
Periodo		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Producción de Electricidad (Kwh/a)	kWh/a	3.683	3.683	3.683	3.683	3.683	3.683	3.683	3.683	3.683	3.683
Producción de Electricidad microrred (Kwh/a)	kWh/a	441.946	441.946	441.946	441.946	441.946	441.946	441.946	441.946	441.946	441.946
Ingreso/Ahorro consumo propio (US\$/a)	US\$/a	416	424	433	442	450	459	469	478	488	497
Ingreso por inyección a la red/Venta de electricidad (US\$/a)	US\$/a	160	163	167	170	173	177	180	184	188	191
Suma ingreso equipo (US\$/a)	US\$/a	576	588	600	612	624	636	649	662	675	689
Ingresos por inyección planta/venta de electricidad	US\$/a	19.225	19.609	20.001	20.401	20.809	21.226	21.650	22.083	22.525	22.975
Ingresos por inyección planta/venta de electricidad	CLP/a	16.590.855	16.922.672	17.261.126	17.606.348	17.958.475	18.317.645	18.683.998	19.057.678	19.438.831	19.827.608
Costos variables (mantención)	US\$/a	21.899	22.578	23.277	23.999	24.743	25.510	26.301	27.116	27.957	28.823

2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038	2039	2040	2041
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
3.683	3.683	3.683	3.683	3.683	3.683	3.683	3.683	3.683	3.683
441.946	441.946	441.946	441.946	441.946	441.946	441.946	441.946	441.946	441.946
507	517	528	538	549	560	571	583	594	606
195	199	203	207	211	216	220	224	229	233
703	717	731	746	761	776	791	807	823	840
23.435	23.903	24.381	24.869	25.366	25.874	26.391	26.919	27.458	28.007
20.224.160	20.628.643	21.041.216	21.462.040	21.891.281	22.329.107	22.775.689	23.231.203	23.695.827	24.169.743
29.717	30.638	31.588	32.567	33.577	34.618	35.691	36.797	37.938	39.114

ANEXO 6: Proyección de gastos a costo de cliente.

Año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos	\$ 16.590.855	\$ 16.922.672	\$ 17.261.126	\$ 17.606.348	\$ 17.958.475	\$ 18.317.645	\$ 18.683.998	\$ 19.057.678	\$ 19.438.831	\$ 19.827.608
Costo de MTTO	\$ 18.898.581	\$ 19.484.437	\$ 20.088.455	\$ 20.711.197	\$ 21.353.244	\$ 22.015.194	\$ 22.697.665	\$ 23.401.293	\$ 24.126.733	\$ 24.874.662
Diferencia	\$ 2.307.726	\$ 2.561.765	\$ 2.827.329	\$ 3.104.848	\$ 3.394.768	\$ 3.697.550	\$ 4.013.668	\$ 4.343.615	\$ 4.687.902	\$ 5.047.054
Porcentaje	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	19%	20%
A pagar por cada hogar mensual	\$ 1.603	\$ 1.779	\$ 1.963	\$ 2.156	\$ 2.357	\$ 2.568	\$ 2.787	\$ 3.016	\$ 3.255	\$ 3.505

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
\$ 20.224.160	\$ 20.628.643	\$ 21.041.216	\$ 21.462.040	\$ 21.891.281	\$ 22.329.107	\$ 22.775.689	\$ 23.231.203	\$ 23.695.827	\$ 24.169.743
\$ 25.645.776	\$ 26.440.795	\$ 27.260.460	\$ 28.105.534	\$ 28.976.806	\$ 29.875.087	\$ 30.801.214	\$ 31.756.052	\$ 32.740.490	\$ 33.755.445
\$ 5.421.616	\$ 5.812.152	\$ 6.219.244	\$ 6.643.494	\$ 7.085.525	\$ 7.545.980	\$ 8.025.526	\$ 8.524.849	\$ 9.044.663	\$ 9.585.702
21%	22%	23%	24%	24%	25%	26%	27%	28%	28%
\$ 3.765	\$ 4.036	\$ 4.319	\$ 4.614	\$ 4.921	\$ 5.240	\$ 5.573	\$ 5.920	\$ 6.281	\$ 6.657

