



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



VALORIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR CON MINERÍA DE CRIPTOMONEDAS

POR

DIEGO IGNACIO TARRAZÓN FRAILE

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción
para optar al título profesional de Ingeniero(a) Civil Eléctrico

Profesor(es) Guía
Dr. Luis C. García Santander.

Septiembre 2022
Concepción (Chile)

© 2022 Diego Ignacio Tarrazón Fraile



**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**



VALORIZACIÓN DE LA ENERGÍA SOLAR CON MINERÍA DE CRIPTOMONEDAS

POR

DIEGO IGNACIO TARRAZÓN FRAILE

Memoria de Título presentada a la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Concepción
para optar al título profesional de Ingeniero(a) Civil Eléctrico



Profesor(es) Guía
Dr. Luis C. García Santander.

Septiembre 2022
Concepción (Chile)

© 2022 Diego Ignacio Tarrazón Fraile

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento.

Resumen

Cuando un cliente desea instalar un sistema fotovoltaico para uso residencial, debe escoger la modalidad y potencia del sistema a instalar, por ello en este trabajo se comprobó la rentabilidad económica de instalaciones fotovoltaicas para uso residencial en distintas potencias, con y sin sistemas de almacenamiento, con y sin criptomneros, con la finalidad de encontrar el sistema más rentable para el cliente.

Para lograrlo, se utilizaron perfiles de carga promedio de clientes residenciales en Osorno, simulando el comportamiento de un cliente residencial. Se determino los componentes necesarios de cada sistema fotovoltaico, su costo de instalación, la generación de criptomonedas según el caso analizado y se obtuvo la radiación disponible en la zona junto a la capacidad de generación de energía gracias al explorador solar del ministerio de energía. Luego se analizaron estos datos en Excel, donde se obtuvo el ahorro anual de cada sistema fotovoltaico, que sumado a la inversión inicial, se obtiene la rentabilidad en el tiempo de cada uno.

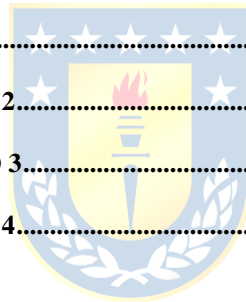
Los resultados señalan que no es conveniente un sistema fotovoltaico con baterías y el rendimiento económico de un sistema con Criptominería esta sujeto fuertemente a la volatilidad del precio de Bitcoin, donde no sé recomienda instalar Criptominería si la persona no entiende a detalle que significa Bitcoin. Si el cliente promedio desea invertir lo mínimo para adquirir un sistema fotovoltaico con buen rendimiento debe instalar un sistema fotovoltaico de 3kW, si busca recuperar la inversión lo más rápido posible debe instalar un sistema de 6kW con o sin Criptominería dependiendo de sus necesidades.

Tabla de Contenidos

LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABLAS.....	IX
ABREVIACIONES	X
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.2. OBJETIVOS.....	2
1.2.1 <i>Objetivo General</i>	2
1.2.2 <i>Objetivos Específicos</i>	2
1.3. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	2
1.4. PROPUESTA DE HIPÓTESIS.....	2
1.5. TEMARIO Y METODOLOGÍA.....	3
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	4
2.1. INTRODUCCIÓN.....	4
2.2. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	4
2.2.1 <i>Normativas nacionales</i>	4
2.2.1.1 <i>Instrucción técnica RGR N°01/2020 [6]</i>	4
2.2.1.2 <i>Instrucción técnica RGR N°02/2020 [7]</i>	5
2.2.1.3 <i>RIC N°02 Tableros eléctricos [8]</i>	9
2.2.1.4 <i>RIC N°03 Alimentadores y demanda de una instalación [9]</i>	9
2.2.1.5 <i>RIC N°04 Conductores, materiales y sistemas de canalización [10]</i>	9
2.2.1.6 <i>RIC N°09 Sistemas de autogeneración [11]</i>	10
2.2.2 <i>Tipos de sistemas fotovoltaicos residencial</i>	10
2.2.2.1 <i>Sistemas Off-grid</i>	10
2.2.2.2 <i>Sistemas On-grid</i>	11
2.2.2.3 <i>Sistemas Híbridos</i>	12
2.2.3 <i>Variables de generación y consumo para dimensionamiento de equipos</i>	13
2.2.3.1 <i>Radiación</i>	13
2.2.3.2 <i>Consumo</i>	16
2.2.4 <i>Dimensionamiento de equipos y conexionado</i>	17
2.2.4.1 <i>Paneles fotovoltaicos</i>	17
2.2.4.2 <i>Inversores</i>	19
2.2.4.3 <i>Regulador de carga</i>	22
2.2.4.4 <i>Baterías</i>	23
2.2.4.5 <i>Cables y canalización</i>	25
2.2.5 <i>Demanda eléctrica residencial</i>	27
2.2.5.1 <i>Clasificación de perfiles de comportamiento</i>	28
2.2.5.2 <i>Consumo eléctrico promedio</i>	29
2.2.6 <i>Tarifas eléctricas</i>	29

2.2.6.1	SAESA.....	30
2.2.6.2	Límite de invierno.....	30
2.2.7	Otros estudios de rentabilidad fotovoltaica residencial.....	30
2.2.7.1	Estudio de rentabilidad fotovoltaica conectada a la red para autoconsumo.....	30
2.2.7.2	Vivienda aislada conectada a la red con batería de litio.....	31
2.2.7.3	Enel.....	31
2.2.7.4	Estudio solar.....	31
2.3.	CRIPTOMINERÍA.....	32
2.3.1	Criptomonedas.....	32
2.3.2	Blockchain de Bitcoin.....	33
2.3.3	Minar Bitcoin.....	34
2.3.3.1	Incentivo económico.....	34
2.3.3.2	Minar Bitcoin en conjunto.....	35
2.3.3.3	Adquirir criptomneros.....	36
2.3.4	Demanda energética de Bitcoin.....	36
2.3.5	Evolución de mercado Bitcoin.....	37
2.3.5.1	Precio de Bitcoin.....	37
2.3.5.2	Dificultad de minado.....	38
2.3.6	Intercambiar Bitcoin por pesos chilenos.....	39
CAPÍTULO 3. IMPLEMENTACIÓN DE DISTINTOS SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR PARA USO RESIDENCIAL CONECTADO A RED.....		41
3.1.	CONSUMO ELÉCTRICO.....	41
3.1.1	Consumo eléctrico de la residencial.....	41
3.1.2	Consumo eléctrico de la residencial con Criptomnero.....	43
3.2.	UBICACIÓN.....	44
3.2.1	Ubicación geográfica.....	44
3.2.2	Tarifa eléctrica.....	45
3.3.	SELECCIÓN DE PANELES FOTOVOLTAICOS.....	45
3.4.	GENERACIÓN ELÉCTRICA SISTEMAS ON-GRID.....	45
3.4.1	On-grid 3kW.....	46
3.4.1.1	Selección del inversor.....	46
3.4.1.2	Generación vs consumo.....	46
3.4.1.3	Ahorro anual.....	47
3.4.2	On-grid 6kW.....	49
3.4.3	On-grid 8kW.....	51
3.5.	INCORPORACIÓN DE CRIPTOMNEROS.....	52
3.6.	INCORPORACIÓN DE BATERÍAS.....	53
3.6.1	Híbrido 3kW.....	53
3.6.2	Híbrido 6kW.....	54
3.6.3	Híbrido 3kW y 6kW con Criptomnería.....	55

CAPÍTULO 4. COMPARACIÓN DE RENTABILIDAD ECONÓMICA	56
4.1. AHORROS ANUALES.....	56
4.2. LISTADO DE PRESUPUESTO.....	57
4.2.1 Sistema F.V On-grid sin Criptominería.....	58
4.2.2 Sistema F.V Híbrido sin Criptominería.....	59
4.2.3 Sistema F.V On-grid con Criptominería.....	59
4.3. INVERSIÓN INICIAL PARA CADA SISTEMA F.V.....	59
4.4. PROYECCIÓN DEL PRECIO DE BITCOIN.....	60
4.5. RENTABILIDAD DE SISTEMAS F.V CON CRIPTOMINERÍA.....	63
4.6. CRIPTOMINERO CONECTADO DIRECTO A RED.....	63
4.7. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	64
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES	68
5.1. SUMARIO.....	68
5.2. CONCLUSIONES.....	69
5.3. TRABAJO FUTURO.....	69
BIBLIOGRAFÍA	71
ANEXO A. ANEXOS DEL CAPÍTULO 2	79
ANEXO B. ANEXOS DEL CAPÍTULO 3	82
ANEXO C. ANEXOS DEL CAPÍTULO 4	87



Lista de Figuras

Figura 1: Sistema Off-grid [13].....	10
Figura 2: Sistema On-grid [12]	11
Figura 3: Sistema híbrido [13]	12
Figura 4: Radiación por región (kWh/m ² *día), edición propia datos obtenidos de [19]	14
Figura 5: Mapa de Radiación por región (kWh/m ² *día) [18]	14
Figura 6: Variación de radiación disponible por cada hora, 20/04/2022 Chillan (W/m ²) [18].....	15
Figura 7: Variación de radiación disponible por mes en Chillan (W/m ²) [17]	15
Figura 8: Irradancia sobre una placa solar en función de su inclinación y azimut (W/m ²) [20].....	16
Figura 9: Calculadora online ofrecida por el explorador solar para calcular generación de sistema fotovoltaico [18].....	18
Figura 10: Ejemplo de resultados que entrega la calculadora generación de sistemas fotovoltaicos del explorador solar, creación propia, datos de [18].	19
Figura 11: Tipos de ondas en un inversor [27].....	20
Figura 12: Ficha Técnica regulador de carga Smart Solar MPPT 150/70 [32].....	23
Figura 13: Diagrama descriptivo para cables y canalización entre equipos de sistema off-grid (elaboración propia)	25
Figura 14: Diagrama descriptivo para cables y canalización entre equipos de sistema híbrido (elaboración propia)	26
Figura 15: Diagrama descriptivo para conexión entre equipos en sistema on-grid (elaboración propia)	27
Figura 16: perfil de comportamiento días laborales, divididos por trimestres en orden [36]	28
Figura 17: perfil de comportamiento sábados, divididos por trimestres en orden respectivo [36]	29
Figura 18: perfil de comportamiento días festivos, divididos por trimestres en orden respectivo [36]	29
Figura 19: Ejemplo de cadena de bloques de Bitcoin [49]	34
Figura 20: Distribución del poder de minado en Bitcoin entre los pools y mineros participantes. [45]	35
Figura 21: Evolución del precio de Bitcoin contra USD 2012-2022 en escala logarítmica, con sus respectivos “Halvings” [60]	37
Figura 22: Evolución del Hashrate de la red de Bitcoin 2019 – 2021 [42].....	38
Figura 23: Exchange Binance, comprar o vender bitcoins contra USD [64].....	39
Figura 24: Potencia activa de un cliente residencial promedio en Osorno en invierno, Elaboración propia con datos de [36]	42
Figura 25: Potencia Activa diaria en kW de la residencial.	42
Figura 26: Consumo total diario en Wh de la residencial.	43
Figura 27: Potencia Activa de la residencial con un Criptominerador incorporado	43
Figura 28: Consumo acumulado durante el día con Criptominerador	44
Figura 29: Ubicación geográfica en Osorno para implementación de sistema fotovoltaico [18]	44
Figura 30: Comparación generación fotovoltaica promedio cada mes por hora y consumo promedio mensual por hora, 3kW	46
Figura 31: Comparación entre generación fotovoltaica promedio anual por hora y consumo promedio anual por hora, 3kW	47
Figura 32: Ahorro anual en pesos versus consumo anual en pesos según cantidad de paneles, elaboración propia	49

Figura 33: Comparación entre generación fotovoltaica promedio anual por hora y consumo promedio anual por hora, 6kW50

Figura 34: Comparación entre consumo residencial con criptomonero promedio anual cada hora y generación fotovoltaica promedio anual cada hora, según potencia del sistema F.V52

Figura 35: Evolución histórica del precio de BTC.....61

Figura 36: Proyección precio BTC escala lineal.61

Figura 37: Proyección precio BTC escala logarítmica.....62

Figura 38: ROI en el tiempo para cada sistema F.V analizado, con un precio de BTC en 32500USD64

Figura 39: Inversión inicial y años para recuperar inversión en cada sistema F.V analizado, para distintos precios de BTC.65

Figura 40: Señalética de seguridad en unidades de generación fotovoltaica79



Lista de Tablas

Tabla 1: Comparativa entre datos técnicos de 2 inversores 2.5kW a manera de ejemplo, elaboración propia.....	21
Tabla 2: Comparativa entre datos técnicos de dos baterías de 200Ah a manera de ejemplo, elaboración propia.....	24
Tabla 3: Comparación rentabilidad de paneles fotovoltaicos en el mercado, agosto 2022.	45
Tabla 4: Distribución de la energía mensual promedio para sistema On-grid 3kW	48
Tabla 5: Consumos y ahorros anuales para sistema On-grid 3kW	48
Tabla 6: ahorro anual mínimo y máximo, On-grid 6kW.....	49
Tabla 7: Distribución de la energía mensual promedio para sistema On-grid 6kW	50
Tabla 8: Consumos y ahorros anuales para sistema On-grid 6kW	50
Tabla 9: ahorro anual mínimo y máximo, On-grid 8kW.....	51
Tabla 10: Distribución de la energía mensual promedio para sistema On-grid 8kW	51
Tabla 11: Consumos y ahorros anuales para sistema On-grid 8kW	51
Tabla 12: Ahorro anual para sistemas F.V en varias potencias con un Criptominerero conectado	53
Tabla 13: Comparación ahorro anual que produce cada sistema F.V respectivamente	56
Tabla 14: Nombre de hoja en Excel adjunto [68] para listado de presupuesto en cada sistema F.V..	57
Tabla 15: Resumen inversión inicial para cada sistema F.V analizado	59
Tabla 16: Resumen inversión inicial y recuperación de inversión en años para sistemas F.V sin criptominería	60
Tabla 17: Nombre de hoja en Excel adjunto [68] donde se obtiene la rentabilidad de sistemas F.V con Criptominería	63
Tabla 19: Información que debe ser presentada en la comunicación de energización de las generadoras residenciales acogidas	80
Tabla 20: Generación eléctrica por un panel JA solar 445 en Osorno, a cada hora por mes.	82
Tabla 21: Comparación de inversores para sistema On-grid 3kW.....	83
Tabla 22: Comparación de Baterías para sistema On-grid 3kW y 6kW	84
Tabla 23: Ahorro mensual para cada mes en sistema On-grid 3kW con baterías.....	85
Tabla 24: Ahorro mensual para cada mes en sistema On-grid 6kW con baterías.....	86
Tabla 25: Listado de presupuesto sistema F.V de 3kW On-grid	87
Tabla 26: Rentabilidad de Sistemas F.V On-grid	89
Tabla 27: Rentabilidad de Sistemas F.V Híbridos	89
Tabla 28: Rentabilidad de Sistemas F.V On-grid con Criptominería	89

Abreviaciones

Mayúsculas

CNE	: Comisión Nacional de Energía
ERNC	: Energía Renovable No convencional
FV	: Fotovoltaico
RIC	: Reglamento de seguridad de las instalaciones de consumo de energía eléctrica aprobado por el Decreto Supremo N°8/2020 del Ministerio de Energía.
EG:	: Equipamiento de Generación
OLCA	: Organismo o laboratorio de certificación autorizado, Persona jurídica aprobada por la Superintendencia, para efectuar calibraciones o verificaciones de equipos de medición de variables eléctricas.
Wh	: Watt hora
kWh	: kilowatt hora
CLP	: pesos chilenos
USD	: dólar estadounidense
BTC	: Bitcoin
ROI	: Retorno por inversión (return of investment)
F.V	: Fotovoltaico
V	: Voltaje
V _n	: Voltaje nominal
A	: Amperes
Ah	: Amperes hora
ms	: Milisegundos
W	: Watt
kW	: kilowatt
kWp	: pico de kilowatt
Pmax	: Potencia máxima
Imp	: Corriente de máxima potencia
Vmp	: Voltaje de máxima potencia
Isc	: Corriente de cortocircuito
Voc	: Voltaje de circuito abierto



Minúsculas

c.c	: corriente continua
a.c	: corriente alterna
mm	: Milímetro
cm:	: Centímetro
m ²	: Metros cuadrados
m ³	: Metros cúbicos

Definiciones

Junction box: caja de empalmes o caja eléctrica, es un contenedor de conexiones eléctricas, por lo general destinada a ocultarlas de la vista y desalentar la manipulación.

String: Un string es un conjunto de paneles solares fotovoltaicos que están conectados en serie.

Irradiancia: magnitud utilizada para describir la potencia incidente por unidad de superficie de todo tipo de radiación electromagnética.

Halving: término referente a la reducción por la mitad de la recompensa que reciben los mineros por confirmar los bloques de transacciones únicas en una criptomoneda. En Bitcoin ocurre cada 210.000 bloques minados, es decir, aproximadamente cada 4 años.

Hashrate: (Tasa o velocidad de hash / poder de procesamiento o cómputo): esta tasa mide la potencia de procesamiento en una criptomoneda, o dicho de otra forma, es el número de operaciones de hash realizadas en cierta cantidad de tiempo. Por ejemplo, cuando una red alcanza un hash rate de 5 TH/s significa que puede realizar hasta 5 billones de operaciones por segundo.



Capítulo 1. Introducción

1.1. Introducción General

En Chile la generación de energía solar ha incrementado en los últimos años [1]. Esto se debe a que Chile tiene muy buenos índices de radiación y el costo de la energía solar es cada vez menor.

La energía solar es una tecnología probada para transformar la radiación solar en electricidad mediante el efecto fotoeléctrico, utilizando paneles fotovoltaicos [2]. Dada su larga vida útil y poca mantención al no tener piezas mecánicas, la inversión en paneles solares fotovoltaicos para el sector residencial es una oportunidad cada vez más atractiva.

Esta inversión es aún más atractiva cuando el nivel de potencia requerido del sistema fotovoltaico a instalar es mayor [3], por ello se propone aumentar la potencia de consumo de la residencial con criptomneros.

En palabras sencillas los criptomneros son computadores que tienen un alto poder de procesamiento, su potencia eléctrica de consumo depende de la capacidad de su procesador, generalmente su potencia nominal varía entre 1kW a 7kW según el modelo. Estos criptomneros prestan un servicio de procesar las transacciones de criptomonedas entre usuarios y son recompensados con criptomonedas por ello, estas pueden ser intercambiadas por pesos chilenos en el mercado [4].

En este trabajo se encuentran las mejores opciones que tienen las personas en Chile, al momento de hacer una instalación de paneles solares fotovoltaicos en su residencias, proponiendo incorporar criptomneros y así mejorar la rentabilidad del sistema de energía solar para uso residencial, haciendo más atractivo para la persona la instalación de esta tecnología.

¿Cómo escoger los equipos del sistema fotovoltaico que necesito? ¿debería incorporar baterías? ¿Es más rentable incorporar criptomneros? ¿Qué son los criptomneros? Son preguntas que resuelve este documento.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Comprobar la rentabilidad económica de una inversión en energía fotovoltaica complementada con Criptominería en un usuario residencial.

1.2.2 Objetivos Específicos

- ◆ Identificar generación y consumo energético en lugares residenciales con instalación de sistemas fotovoltaicos.
- ◆ Determinar el costo de instalación de un sistema fotovoltaico para usuarios residenciales y sus componentes necesarios, con y sin sistemas de almacenamiento.
- ◆ Determinar el costo de instalación de criptomineros y su capacidad de generación de criptomonedas.
- ◆ Diseñar sistema que calcule la mejor rentabilidad en un usuario residencial que desea instalar un sistema fotovoltaico con y sin sistema de almacenamiento, optimizando recursos dependiendo de su consumo y ubicación.

1.3. Alcances y Limitaciones

El estudio contempla el uso de simuladores disponibles gratuitamente en internet y permitirá entregar primeros resultados en función de los datos e información recopilada desde diferentes fuentes confiables.

1.4. Propuesta de hipótesis

Una instalación de paneles fotovoltaicos reduce la demanda desde la red, reduciendo así el costo de funcionamiento de criptomineros. Dado que los criptomineros tienen un gran consumo de energía eléctrica, se hace significativa la diferencia de su coste de producción de criptomonedas o dinero.

Por otra parte la producción de estas criptomonedas son utilizadas para pagar en menos tiempo la inversión de paneles fotovoltaicos en un cliente residencial.

Así, la inversión de criptomineros aportan a la inversión de un sistema fotovoltaico residencial.

1.5. Temario y Metodología

En el capítulo 1 introducción, se realiza una introducción general del documento, presentación de los objetivos, alcances, propuesta de hipótesis y el temario del documento.

En el capítulo 2 marco teórico, se presenta una contextualización teórica y conceptual acerca de los temas trabajados en este estudio. Primeramente, se realiza una revisión de la normativa chilena para la energía solar fotovoltaica. Continúa con los tipos de instalaciones fotovoltaicas, variables de generación y consumo, dimensionamiento de equipos, conexionado. Posteriormente se observa la demanda eléctrica residencial, tarifas eléctricas y otros estudios de rentabilidad fotovoltaica residencial. Finalmente se explica los conceptos más importantes de la Criptominería, su origen, como funciona, su evolución en el tiempo y su rentabilidad.

En el capítulo 3 implementación de distintos sistemas de energía solar para residencial conectada a red, se simulan sistemas de energía solar en distintas potencias, para un cliente residencial promedio ubicado en la ciudad de Osorno. Incluyendo las variables de utilizar criptomineros y/o baterías para obtener los ahorros anuales del sistema fotovoltaico en cada caso.

En el capítulo 4 comparación de rentabilidad económica, se comparan los ahorros anuales que producen los sistemas analizados en el capítulo 3, se describe el listado de presupuesto para cada sistema F.V, se proyecta la rentabilidad de criptomineros en el tiempo y se relaciona con la inversión inicial de los sistemas F.V que incluyen criptominería. Para finalmente hacer una comparación del retorno por inversión de los sistemas F.V analizados.

En el capítulo 5 se presentan las conclusiones de este trabajo y las recomendaciones de trabajo futuro.

Capítulo 2. Marco teórico

2.1. Introducción

En este capítulo se presenta una recopilación de antecedentes, investigaciones previas, normativas y consideraciones teóricas en las que se sustenta el proyecto, para lograr el objetivo de comprobar la rentabilidad económica de una inversión en energía fotovoltaica complementada con Criptominería en una casa residencial.

2.2. Energía solar fotovoltaica

2.2.1 Normativas nacionales

Con el propósito de asegurar un estándar mínimo de seguridad en la instalación de paneles solares fotovoltaicos en Chile, existen normativas y instructivos técnicos.

Los instructivos técnicos a continuación están basados en los pliegos técnicos normativos RIC establecidos en el Decreto Supremo N°8/2020 del Ministerio de energía [5]. Por esto se hace un mayor hincapié en los instructivos técnicos y al final se hace una breve explicación de que trata cada pliego normativo RIC involucrado en la instalación de sistemas fotovoltaicos.

Mencionar que los pliegos normativos RIC no fueron pensados netamente para sistemas fotovoltaicos, pero si contienen información sobre ellos. La cual esta ya fue analizada al momento de analizar los instructivos técnicos RGR N°01/2020 para un procedimiento de comunicación con el ente regulador, y RGR N°02/2020 señalando los requerimientos que involucran los sistemas fotovoltaicos.

Estos fueron resumidos por secciones, destacando los puntos importantes a la hora de desarrollar el objetivo de esta memoria.

2.2.1.1 Instrucción técnica RGR N°01/2020 [6]

Instructivo técnico RGR N°01/2020 procedimiento de comunicación de energización de generadores residenciales.

“El objetivo de este instructivo técnico es mostrar cómo hacer la comunicación con el ente regulador para energizar una instalación de generación distribuida para autoconsumo. Este instructivo técnico se lee en conjunto con los pliegos técnicos normativos RIC [6]”.

Se establece que el usuario deberá realizar la comunicación de energización, una vez concluidas las obras. Se realizará a través de un instalador eléctrico autorizado con licencia vigente de clase A o B, quien acredita que dicha instalación ha sido proyectada, ejecutada e inspeccionada.

La comunicación debe realizarse mediante el trámite eléctrico TE-4 y deberá ser acompañados por los siguiente antecedentes necesarios para instalaciones inferiores a 10kW FV.

- Formulario TE-4.
- Planos en formato dwg o pdf.
- Copia de los formularios de Solicitud de Conexión a red y la respuesta a la solicitud de conexión a la red.
- Copia de los certificados de los productos.
- informe de inspección, ensayos y mediciones de terreno del generador (para FV>3kW).
- Informe de imágenes.

En la Tabla 1 de [6] se muestra un resumen de los documentos que hay que presentar para la comunicación con el ente regulador en generadores residenciales con otra potencia nominal, adjuntada en Anexo A 5.4.

2.2.1.2 Instrucción técnica RGR N°02/2020 [7]

Instructivo técnico RGR N°02/2020 Diseño y ejecución de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a redes de distribución.

“El objetivo de este instructivo es señalar los requerimientos que son señalados en los planos RIC hacia el diseño, ejecución, inspección y mantención de sistema fotovoltaicos que se comunican con la SEC.

Este instructivo técnico se lee en conjunto con los pliegos técnicos normativos RIC y con el instructivo técnico RGR N°01/2020. [7]”

Condiciones de instalación:

Se instalarán elementos de seccionamiento necesarios (fusibles, interruptores, etc.) para la desconexión de los equipos. Se acepta para inversores string el seccionador que este mismo incluye.

Estructura:

La estructura que soporta la instalación FV tiene que satisfacer la normativa vigente en Chile. La estructura de la instalación FV debe ajustarse a la superficie de la residencial, ya sea horizontal o inclinada, y el método de anclaje deberá mantener la estructura firme. Considerando situaciones de

viento, nieve o dilataciones térmicas. También la estructura que soporta la instalación FV deberá estar conectada a tierra.

Módulos fotovoltaicos:

Los módulos FV deben cumplir con las normas IEC 61730, e IEC 61215 o 61646. No se pueden usar de distintos modelos, ni orientaciones diferentes en un mismo string, ni que presenten defectos por fabricación. Estos deben instalarse de modo que tengan buena ventilación y una separación suficiente para permitir dilataciones térmicas.

Arreglos y conexión eléctrica:

Cada arreglo o string de la unidad generación fotovoltaico deberá conectarse al inversor fotovoltaico de la siguiente manera:

Directamente al inversor en forma independiente. Esta configuración será admitida en instalaciones que utilicen los denominados inversores string, en que cada string se conecta directamente al inversor en positivo y negativo, sin ninguna conexión intermedia.

Mediante una caja de conexiones de string o junction box. Se utilizará esta configuración para instalaciones que utilicen inversores centrales o para instalaciones en que sea necesario agrupar en paralelo dos o más strings.

Las cajas de conexión, junction box o tablero de CC de las unidades de generación fotovoltaica, ubicados a la intemperie, deberán ser instalados de forma que todas sus canalizaciones y conductores ingresen por la parte inferior, conservando su índice de protección IP. Y deberán cumplir con la norma IEC 61439-1 contando con los siguiente elementos:

- Seccionador bajo carga.
- Descargadores de sobretensión tipo 2.
- Fusibles o interruptores automáticos en CC, polos negativos, por cada string.
- Fusibles o interruptores automáticos en CC, polos positivos, por cada string.
- Bornes de conexión CC para línea colectora hacia el inversor.
- Borne de conexión para conductor de puesta a tierra.
- Borne de conexión para contacto de aviso de fallo sin potencial.
- El tablero CC deberá tener un IP65, o mínimo IP54 cuando se ubique bajo techo.

Dimensionado de circuitos y corriente:

La corriente de los paneles máxima será la suma de las corrientes de cortocircuito de los módulos fotovoltaicos en paralelo, multiplicada por 1,25 veces.

Conductores y canalización:

Los circuitos del sistema fotovoltaico no se instalarán en las mismas canalizaciones con otros sistemas, deben estar separados por al menos una barrera. Los conductores no pueden estar tirantes.

Los conductores a utilizar en la unidad de generación fotovoltaica deberán ser conductores tipo fotovoltaicos, PV, PV1-F, Energyflex, Exzhellent Solar ZZ-F (AS), XZ1FA3Z-K (AS) o equivalente, que cumplan con los requisitos para su uso en sistemas fotovoltaicos en conformidad a la norma TÜV 2 pfg 1169/08.2007.

La sección mínima de los conductores activos será de 2.5 mm² y 4 mm² para el conductor de tierra.

Inversor:

Los inversores en un sistema fotovoltaico tienen que estar certificados según el protocolo establecido por la superintendencia. La instalación de este se debe hacer según lo que dice el fabricante, considerando su ventilación, anclaje, orientación y índice IP.

No se podrá instalar en baños, cocinas, piezas o lugares que podrían inundarse, solo podrán instalarse a la intemperie inversores que cuenten con protección IP55 o superior y protección a la radiación solar.

Protecciones:

Las instalaciones fotovoltaicas conectadas a la red, en el lado de corriente alterna, deberán contar con una protección diferencial e interruptor general magnetotérmico bipolar, para el caso de las instalaciones monofásicas o tetrapolar para el caso de las instalaciones trifásicas.

La protección diferencial para unidades de generación de potencia instalada inferiores a 10kW, deberán ser de una corriente diferencial no superior a 30mA.

Puesta a tierra:

Se deberá conectar todas las partes metálicas de la instalación a tierra, incluyendo estructuras que soportan los paneles y las carcasas de los equipos. Esta debe cumplir con los requerimientos como indica el plano normativo RIC N°06 y su medición debe realizarse como indica la norma IEEE Std. 81.

Interfaz con la red:

La instalación para un sistema fotovoltaico On-grid deberá conectarse en paralelo con la red, debe contar con un medio de desconexión que permita su separación de la red en caso de falla o para realizar mantenimiento.

La instalación fotovoltaica sólo podrá operar en modo isla interna cuando el EG cuente con baterías, en este modo está prohibido que se inyecte energía a la red de distribución.

Cuando el inversor sea bidireccional y cuente con baterías y la capacidad de operar en modo isla interna, el sistema deberá operar cumpliendo todas las exigencias de red de un inversor conectado, es decir con la protección anti-isla activada. Y cuando se produzca un corte de suministro eléctrico deberá desconectarse y cambiar al modo isla interna.

Medidor:

Los generadores fotovoltaicos conectados a la red deben contar con un único equipo de medida con registro bidireccional que permita diferenciar claramente las inyecciones y consumos de energía en forma independiente.

El medidor bidireccional debe contar con su respectivo certificado de comercialización y el certificado de verificación primaria (exactitud de medida) en ambos sentidos, emitido por un organismo OLCA, con el propósito de garantizar el correcto registro del consumo e inyección para la correspondiente facturación por parte de la empresa distribuidora.

Sistemas de almacenamiento:

El instructivo aquí señala que los sistemas de almacenamiento que formen parte de instalaciones de los EG acogidos a la Ley de Generación distribuida serán diseñados en conformidad con el instructivo técnico que dicte la superintendencia para estos efectos. Pero para hacer mas completo el documento actual se explicara.

De existir baterías en el equipamiento de generación, se deberá respetar para el diseño, montaje, operación, inspección y mantenimiento los requisitos descritos en la norma UNE EN 50272-2.

Las partes energizadas de los sistemas de baterías en las residenciales deben estar resguardadas para evitar el contacto accidental con personas y objetos, independientemente de la tensión o tipo de batería.

Cuando la carga de acumulación en las baterías supere los 1000 Ah, se deben instalar en un cuarto aireado, independiente al lugar donde se alojen los demás equipos del sistema solar.

Mantenimiento y trabajo seguro:

Los trabajos en la instalación eléctrica, aun cuando no estén energizadas deben ser realizados por personal preparado y con elementos de protección personal apropiados, herramientas aisladas y acordes al nivel de tensión que se esta interviniendo.

La instalación debe llevar señalética con simbología que represente el peligro de muerte al cual se exponen las personas por cercanía a los equipos energizados, mirar Anexo A 5.4.

Los paneles que estén conectados al inversor y estén expuestos a la luz deben considerarse en condición de energizado.

2.2.1.3 RIC N°02 Tableros eléctricos [8]

Establece los requisitos de seguridad que deben cumplir los tableros eléctricos en las instalaciones de consumo del país. Aplicando a todos los tipos de tableros.

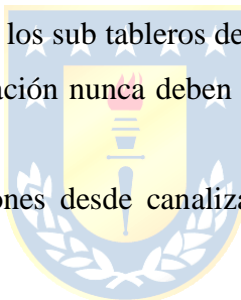
Mencionando donde deben ser instalados, su acceso, sus rotulaciones, sus protecciones, dimensiones de seguridad, especificaciones de construcción y conexión.

2.2.1.4 RIC N°03 Alimentadores y demanda de una instalación [9]

Establece los requisitos de seguridad que deben cumplir los alimentadores y sub alimentadores en las instalaciones de consumo de energía eléctrica del país. Aclaro que los alimentadores son todos los cables entre el interruptor principal y los sub tableros de distribución.

Los alimentadores de una instalación nunca deben atravesar una propiedad distinta a la que alimenta.

El pliego pasa por especificaciones desde canalizaciones, protecciones, configuraciones y dimensionamiento de los alimentadores.



2.2.1.5 RIC N°04 Conductores, materiales y sistemas de canalización [10]

Establece los requisitos de seguridad que deben cumplir los conductores, materiales y canalizaciones en instalaciones de consumo de energía eléctrica del país.

Todas las consideraciones del pliego son consideradas con conductores de cobre aislado a excepción en puntos donde se permite usar conductores desnudos.

El pliego toca temas en profundidad como que conductor usar según su propósito, detallando colores, construcción, dimensión y flexibilidad. Mostrando tablas completas con esta información, explicando su uso para cada situación.

También para canalizaciones detalla que tipo de canalización usar, dependiendo del tipo de conductores que llevan, su peso, temperatura que deberán resistir, su dimensionamiento y protecciones como al agua.

2.2.1.6 RIC N°09 Sistemas de autogeneración [11]

Establece los requisitos de seguridad que deben cumplir los sistemas de autogeneración en las instalaciones de consumo de energía eléctrica en el país. Aplicándose la información de este pliego al diseño, ejecución, inspección y mantenimiento de estas instalaciones.

Se mencionan puntos importantes en el pliego como que la potencia máxima de los sistemas de autogeneración no puede ser superior a la capacidad del empalme eléctrico de la instalación de consumo, el sistema de autogeneración tampoco debe provocar averías en la red ni tampoco utilizar la red si esta se queda sin energía por una falla o mantenimiento.

Todo sistema de autogeneración debe funcionar en paralelo con la red de distribución y debe solicitar un informe de factibilidad con la empresa de distribución y ser declarado con la superintendencia.

Se explican exigencias para la conexión con la red, exigencias de diseño del equipo de generación y el uso de medidores con su operación.

2.2.2 Tipos de sistemas fotovoltaicos residencial

Al momento de realizar una instalación fotovoltaica existen 3 sistemas más habituales, dependiendo de la forma en que manejan su energía y la variedad de equipos que estos utilizan [12].

2.2.2.1 Sistemas Off-grid

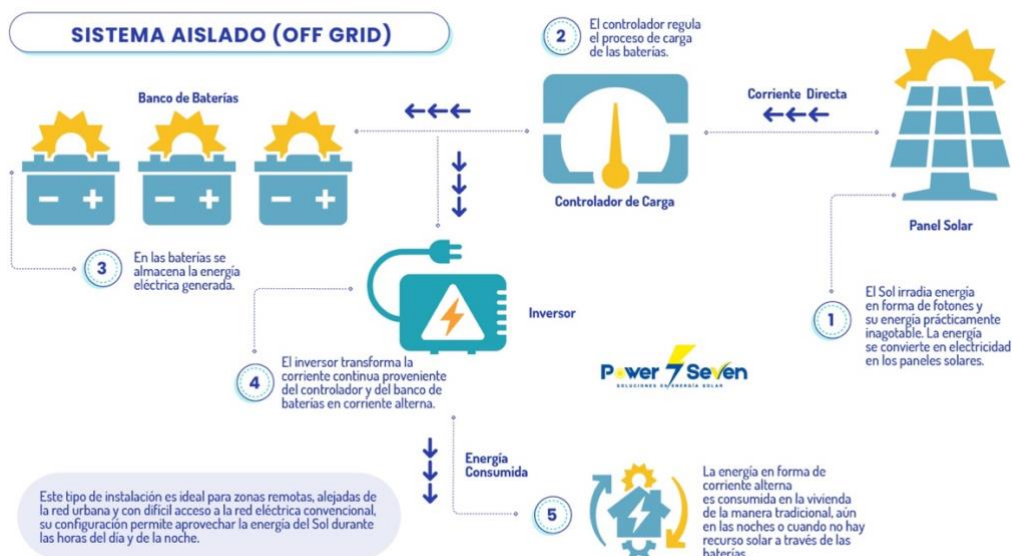


Figura 1: Sistema Off-grid [13]

Principalmente utilizados en áreas rurales que no tienen acceso a la red convencional. Como se muestra en la figura 1 [13], su sistema se compone de Paneles solares, regulador de carga, banco de baterías, inversor, medidor y tablero.

- Ventaja: No necesita la red en absoluto para entregar la energía necesaria a la residencial.
- Desventaja: Costo más alto al incluir baterías y regulador de carga, ya que normalmente es sobredimensionado para cubrir posibles días sin generación. También se recomienda tener un sistema de respaldo como un generador eléctrico [14].

2.2.2.2 Sistemas On-grid

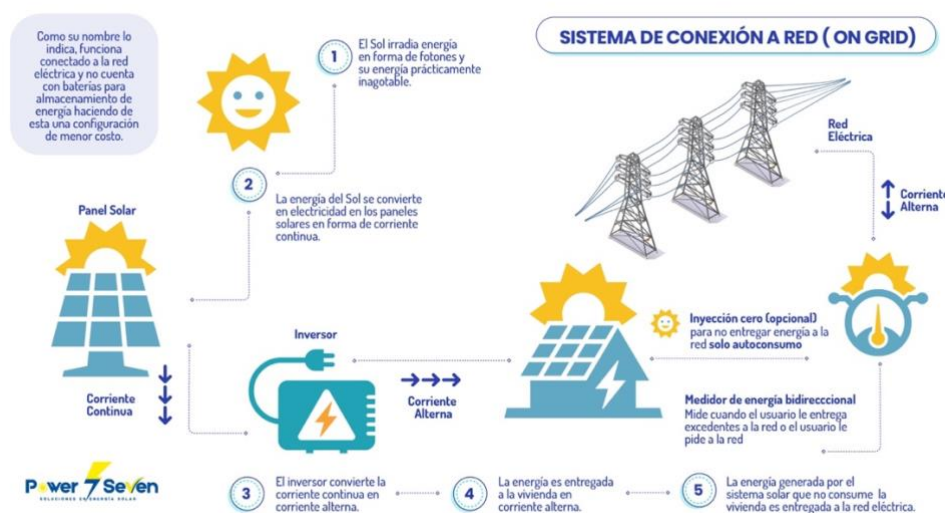


Figura 2: Sistema On-grid [12]

Se centra principalmente en ahorrar consumo de energía en la red por parte de la residencial. Como se muestra en la Figura 2 [13], el sistema está compuesto por Paneles solares, inversor, medidor bidireccional y tablero.

Ventajas:

- Los kWh fotovoltaicos consumidos instantáneamente no pasan por el medidor, visto por la compañía eléctrica el titular del generador fotovoltaico reduce su consumo, le compra menos energía durante el día. **Este es el principal ahorro.**

- Dado que el sistema esta conectado en paralelo a la red no tiene necesidad de baterías ni regulador de carga, ni tampoco la necesidad de satisfacer al 100% el consumo de la residencial, siendo más económica su instalación [15].
- Al sistema se le puede ir agregando paneles y aumentando la producción de energía, aunque no se recomienda, ya que los paneles deben ser prácticamente idénticos en características y modelos como indica la normativa [7].

Desventajas:

- Como se indica en la normativa [6] hay que consultar con anterioridad la posibilidad de inyectar potencia a la red, podría ser el caso que no sea permitido la inyección de potencia en su totalidad.
- Al estar conectado en paralelo a la red, si esta presenta alguna falla o mantenimiento los paneles solares también dejan de suministrar energía a la residencial, no sirviendo así este sistema para funcionar desconectado de la red como indica normativa [7], ya que no incluye baterías y a menudo el inverso no incluye sistema anti-isla.

2.2.2.3 Sistemas Híbridos

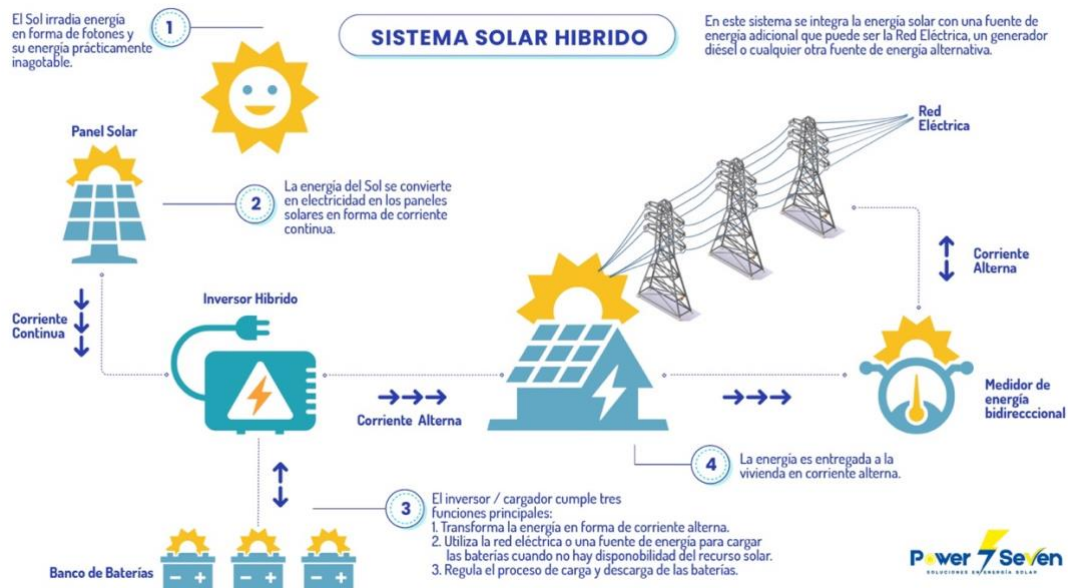


Figura 3: Sistema híbrido [13]

El sistema híbrido esta compuesto por paneles solares, regulador de carga, banco de baterías, inversor híbrido, medidor bidireccional y el tablero.

Ventajas:

- El inversor híbrido establece un orden de prioridad para el consumo de la residencial, preferentemente utiliza la energía producida por los paneles para alimentar la residencial y cargar las baterías, si esta producción de los paneles solares no es suficiente utiliza la energía almacenada de las baterías y si aún no es suficiente para satisfacer los consumos, el inversor híbrido tomara de la red publica la energía faltante [16].
- Ya que incluye baterías y el inversor híbrido tiene un sistema anti-isla para no dañar la red, si la red sufre un corte de suministro, el inversor es capaz de activar el sistema isla interna para continuar suministrando a la residencial de energía [7], a diferencia del sistema On-grid.

Desventajas:

- Mayor costo de instalación, al utilizar baterías, regulador de carga y un inversor híbrido.

2.2.3 Variables de generación y consumo para dimensionamiento de equipos

Para dimensionar los equipos que se utilizan en un sistema fotovoltaico, hay que tener claridad en la cantidad de radiación solar disponible en la zona, el consumo de la residencial, y la disponibilidad de la red publica eléctrica [17].

2.2.3.1 Radiación

Gracias al explorador solar que tiene a disposición el ministerio de energía para el público [18], se puede obtener la radiación disponible que recibe una superficie, considerando variables meteorológicas, hora del día, lugar geográfico, inclinación y orientación de la superficie.

En la figura 4 [19] y figura 5 [18] podemos observar cómo varía la radiación por zona geográfica, en la figura 6 [18] por la hora del día, y en la figura 7 [18] por mes en el año.

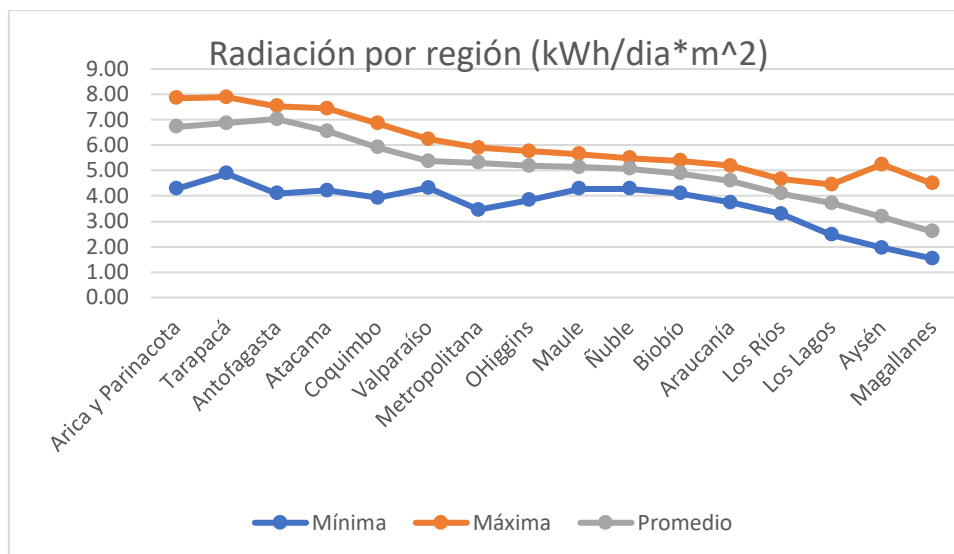


Figura 4: Radiación por región (kWh/m²*día), edición propia datos obtenidos de [19]



Figura 5: Mapa de Radiación por región (kWh/m²*día) [18]

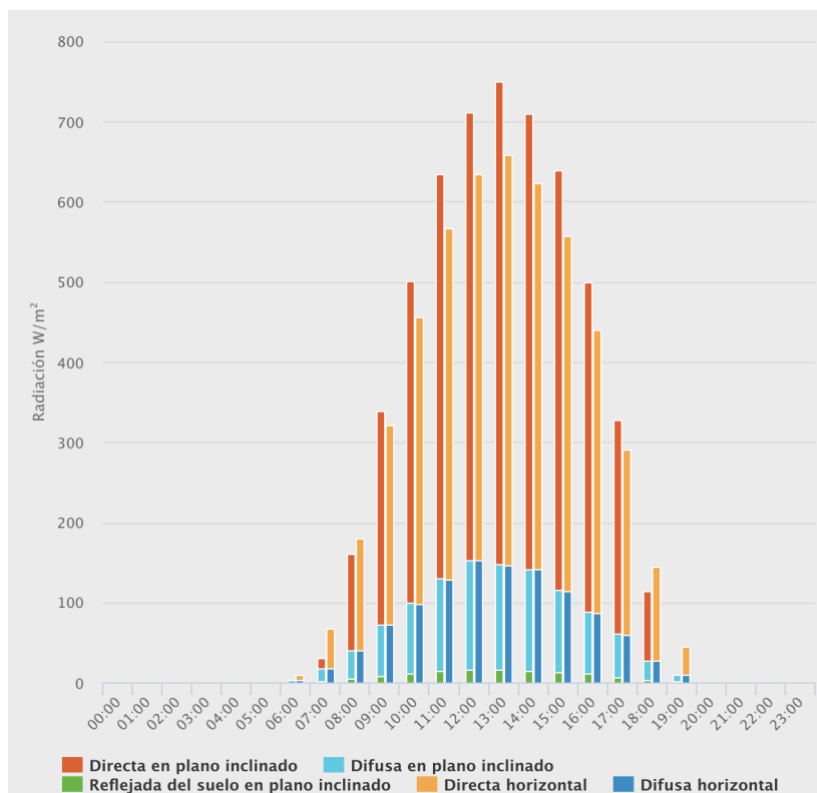


Figura 6: Variación de radiación disponible por cada hora, 20/04/2022 Chillan (W/m^2) [18]

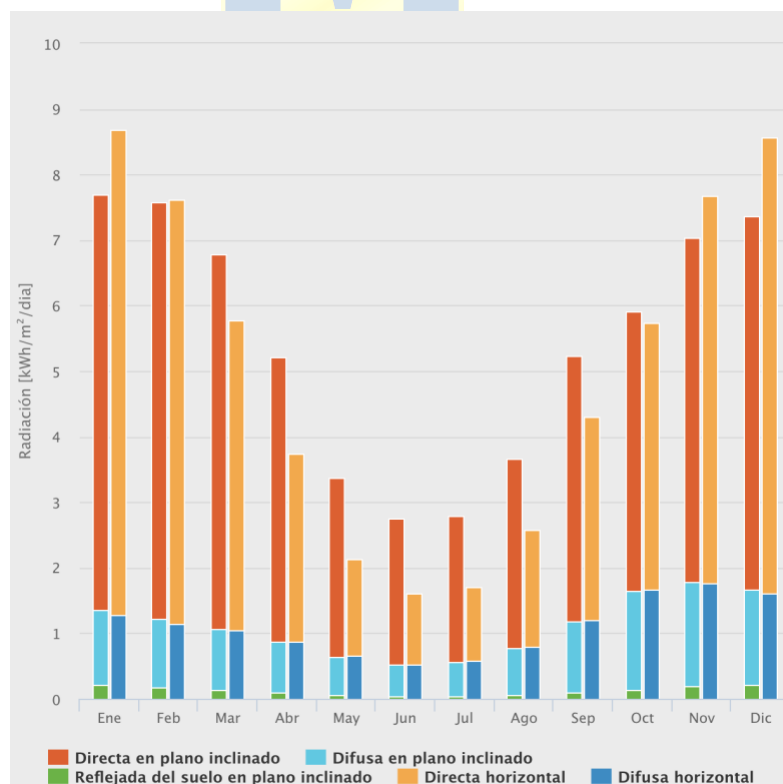


Figura 7: Variación de radiación disponible por mes en Chillan (W/m^2) [17]

Esta radiación disponible es transformada en energía eléctrica por los paneles fotovoltaicos, por ello se debe tomar en cuenta el azimut y la inclinación de los paneles a instalar. Estos dos parámetros son fundamentales ya que afectarán directamente al rendimiento y captación de energía solar de la instalación. En la figura 8 [20] se observa como afecta al rendimiento del panel estos parámetros.

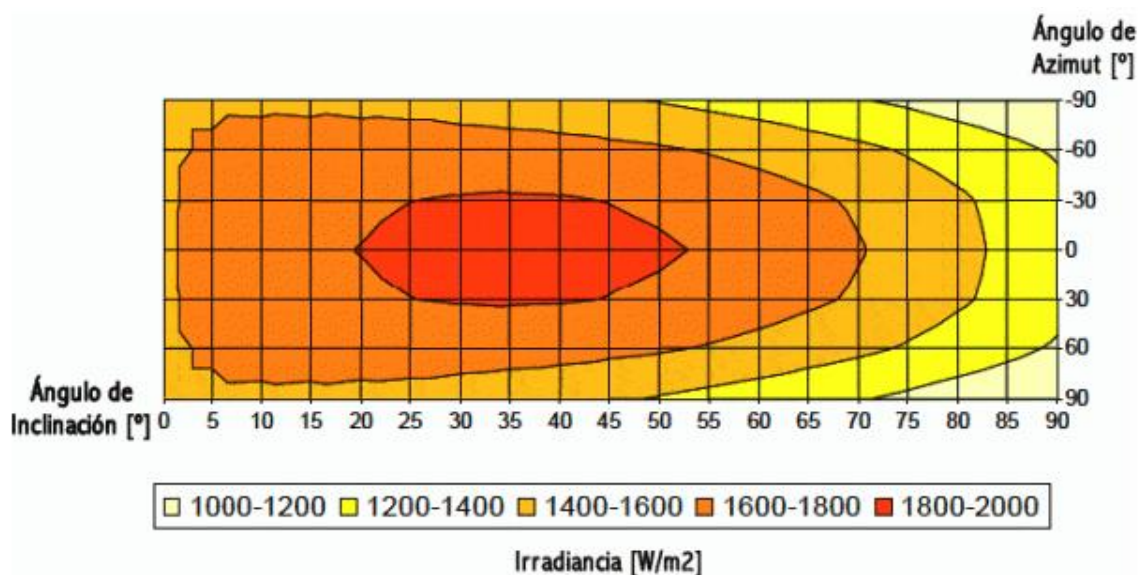


Figura 8: Irradiación sobre una placa solar en función de su inclinación y azimut (W/m^2) [20]

2.2.3.2 Consumo

Es primordial saber el consumo eléctrico de la residencia donde deseamos instalar nuestros paneles solares fotovoltaicos, esta información sumada a nuestra disponibilidad de radiación, podemos saber el tamaño de la instalación fotovoltaica que más convenga a la residencia.

En [21] utilizan los consumos mensuales anteriores de cada mes y una estimación de las curvas de carga diarias para clientes regulados BT-1, para así proyectar el tamaño de una instalación fotovoltaica a instalar en residenciales de Valparaíso.

En [22] proyectaron una instalación fotovoltaica ubicada en un sector rural de España, un sistema fotovoltaico con baterías conectado a la red, que fue dimensionado con el consumo promedio de los 12 meses anteriores pero con el mes de peor radiación. También realizaron un cálculo de consumo máximo cada día, para dimensionar el tamaño de baterías si un día la instalación no tiene producción de energía solar.

Si una persona a día de hoy desea realizar una instalación fotovoltaica y comprar el servicio a un externo, muy probablemente termine en páginas como Enel [23] o Rayssa [24] donde previamente

la persona debe saber que potencia instalar para su residencia, ya que la instalación del sistema es ofrecido como Kit con una potencia en concreto.

Por lo tanto se observa que la manera más utilizada de saber el consumo en una residencia es a través de conocer el consumo mensual de los 12 meses anteriores, que se puede ver mirando la boleta entregada por la empresa distribuidora.

También se puede realizar una tabla con el consumo diario, para así saber la potencia máxima a consumir de manera instantánea en el caso de operar sin conexión a la red. En la página del grupo SAESA [25] permite rellenar una tabla con los datos eléctricos de cada uno de los equipos que hay en casa, para así tener una estimación cercana del consumo kWh diario, kWh mensual, el costo mensual en CLP conforme a la tarifa BT-1 y potencia máxima de consumo posible si estuviera todo encendido al mismo tiempo.

2.2.4 Dimensionamiento de equipos y conexonado

Una vez se tiene los consumos y radiación disponible, se puede dimensionar los equipos del sistema fotovoltaico.

2.2.4.1 Paneles fotovoltaicos

En el mercado chileno hay varias opciones para comprar paneles fotovoltaicos, ignorando costos de envío y de superficie disponible en la residencia, una manera practica de escoger el más rentable para nuestro sistema, es dividiendo su potencia pico en condiciones ideales frente a su precio [17].

Por ejemplo, en la página rbrenergy.cl [26] observamos dos paneles en venta, uno de 410Wp a \$199.000 y otro de 460Wp a \$263.000, si dividimos el costo del panel por su potencia, obtenemos que el primero tiene un precio de \$487 por Wp y el segundo de \$571 por Wp respectivamente, se observa que la rentabilidad del primero es mayor.

Otra manera más precisa de escoger el panel más rentable para nuestro sistema, es introduciendo lo datos de la ficha técnica del panel y el inversor en el explorador solar, el explorador solar nos entregara la energía generada por nuestro sistema en todo el año, luego dividimos el costo del panel por la cantidad de energía generada en el año y obtener su relación, así podremos comparar el panel más rentable para nuestra radiación disponible.

Los arreglos fotovoltaicos habitualmente están constituidos por varios paneles para poder lograr generar la cantidad de energía que consume la residencial.

La energía generada por paneles está directamente relacionada con la radiación disponible, su eficiencia y su superficie, como se observa en las ecuaciones (2.1) y (2.2)

$$\text{Energía generada}_{\text{por panel}} = \text{superficie}_{\text{panel}} * \text{Eficiencia}_{\text{panel}} * \text{Radiación}_{\text{sobre panel}} \quad (2.1)$$

$$\text{Energía generada}_{\text{mensual}} = \text{Energía generada}_{\text{por panel}} * \text{días} * \text{Cantidad de paneles} \quad (2.2)$$

Se comento en el ítem 2.2.3.1 que todos los días la radiación será distinta y por lo tanto todos los meses la energía generada será distinta también. una manera de resolver esta problemática es utilizando el explorador solar [18] que permite ingresar los datos que aparecen en la ficha técnica del panel fotovoltaico, junto con la capacidad del inversor y su eficiencia como se ve en la figura 9 [18].

El explorador solar nos entregara la energía generada como se ve en la figura 10 [18], como ejemplo se utilizo la ciudad de Chillan y un panel de 410W, esta es una manera sencilla de calcular cuantos paneles necesitamos para satisfacer el consumo de la residencial. Ya que comparando los consumos de la residencial frente a la generación de cada panel, se puede obtener la cantidad de paneles necesarios.

The screenshot shows a web-based calculator for photovoltaic system generation. The interface is in Spanish and includes the following sections and fields:

- FORMULARIO** (Form):
 - CARACTERÍSTICAS DEL PANEL FOTOVOLTAICO** (Panel Characteristics):
 - Radio buttons for "Datos paneles fotovoltaicos SEC" and "Ingresar datos paneles fotovoltaicos" (selected).
 - Inputs for: "Número de células por panel", "Voltaje de Máxima Potencia (Vmp)", "Corriente de Máxima Potencia (Imp)", "Voltaje de circuito abierto (Voc)", "Corriente de cortocircuito (Isc)", and "Coeficientes de temperatura".
 - CARACTERÍSTICAS DEL ARREGLO FOTOVOLTAICO** (Array Characteristics):
 - Input for "Número total de paneles".
 - Dropdown for "Tipo de Montaje" (Estructura Aislada).
 - Inputs for "Inclinación (°)" (37) and "Azimut (°)" (0), with an "OPTIMIZAR ÁNGULOS" button.
 - INVERSOR** (Inverter):
 - Input for "Capacidad del Inversor (kW)" (1).
 - Input for "Eficiencia del Inversor (%)" (96).
 - PÉRDIDAS** (Losses):
 - Input for "Factor de Pérdidas del sistema fotovoltaico (%)" (14).
- Botón de Acción:** "CALCULAR GENERACIÓN DEL SISTEMA FOTOVOLTAICO" (Calculate PV System Generation).

Figura 9: Calculadora online ofrecida por el explorador solar para calcular generación de sistema fotovoltaico [18]

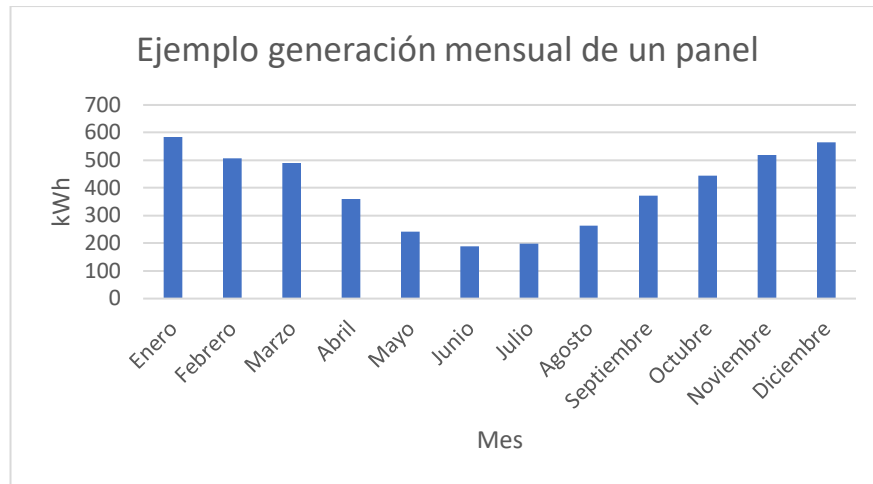


Figura 10: Ejemplo de resultados que entrega la calculadora generación de sistemas fotovoltaicos del explorador solar, creación propia, datos de [18].

Es importante saber la potencia máxima, voltaje máximo y corriente máxima que generara nuestro conjunto de paneles en condiciones ideales, ya que los debemos tener en cuenta para ajustarnos a las condiciones de entrada del inversor que se utilizará [17].

Para poder saber la potencia máxima que lograremos generar con el panel en condiciones ideales se debe considerar la ecuación (2.3).

$$P_{max\text{arreglo } F.V} = P_{max\text{panel}} * Cantidad_{\text{paneles}} \quad (2.3)$$

Estos paneles pueden ir configurados en conjuntos de series o en paralelo, afectando el voltaje en serie como se ve en la ecuación (2.4) y afectando la corriente en paralelo como se ve en la ecuación (2.5).

$$V_{mp\text{arreglo } F.V} = V_{mp\text{panel}} * Cantidad_{\text{series}} \quad (2.4)$$

$$I_{mp\text{arreglo } F.V} = I_{mp\text{panel}} * Cantidad_{\text{paralelos}} \quad (2.5)$$

Sumándose el voltaje cuando los paneles están en serie y sumándose la corriente cuando se encuentran en paralelo.

2.2.4.2 Inversores

Un inversor es uno de los elementos principales de una instalación, ya que transforma la corriente continua generada por los paneles en corriente alterna, permitiendo utilizar cualquier aparato eléctrico existente en el hogar con la instalación solar. En el mercado, generalmente encontramos dos tipos: inversor de onda pura e inversor de onda modificada. Como se ve en la figura 11 [27].

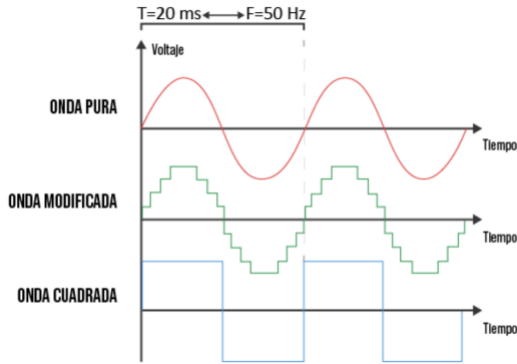


Figura 11: Tipos de ondas en un inversor [27]

Los inversores de onda modificada son más baratos pero no funcionan bien con aparatos que utilizan motores como un microondas o una bomba de agua, ya que estos se comportarían de una manera menos eficiente, consumirán más energía para poder funcionar con normalidad. Así mismo este tipo de inversor si funciona para utilizar equipos de iluminación, computadores o televisión.

Por otra parte los inversores de onda sinusoidal pura son más caros, suministran un onda similar a la que suministra la red o un generador a diésel [27].

La elección del tipo de sistema a instalar en nuestra residencial, influirá en las consideraciones que hay que tener al escoger un inversor para nuestro sistema [17].

- Inversor sistema Off-grid.
 - Considerar potencia máxima diaria de consumo en la residencial.
 - Considerar no superar potencia máxima, voltaje máximo y corriente máxima permitida por el inversor.
 - Considerar utilizar inversor de onda sinusoidal pura.
- Inversor sistema On-grid.
 - Considerar que la potencia del inversor no se comporte como “cuello de botella” para la potencia que están generando los paneles.
 - Considerar no superar la potencia máxima, voltaje máximo y corriente máxima permitida por el inversor.
 - Considerar utilizar inversor de onda sinusoidal pura.
- Inversor sistema Híbrido.
 - Considerar que tenga la capacidad de ser bidireccional
 - Considerar capacidad de operar en modo isla interna, para transformar el sistema en Off-grid en caso de falla de la red suministrada por la compañía.

- Considerar potencia máxima diaria de consumo en la residencial en caso de falla de la red suministrada por la compañía.
- Considerar que la potencia del inversor no se comporte como “cuello de botella” para la potencia que están generando los paneles.
- Considerar no superar potencia máxima, voltaje máximo y corriente máxima permitida por el inversor.
- Considerar utilizar inversor de onda sinusoidal pura.

Mientras las consideraciones anteriores se cumplan y se busque netamente maximizar la rentabilidad del sistema fotovoltaico, abstenerse a escoger el inversor más barato dentro de las marcas confiables que ofrezcan una garantía.

Por ejemplo si buscamos un inversor on-grid monofásico de 2.5kW, en el sitio web de rbrenergy.cl [26] está el inversor Sunny boy 2.5 de 2.5kW [28] a un precio de \$1.118.600 y en digishop.cl [29] esta el inversor GW2500-XS de 2.5kW [30] a un precio de \$690.000. Se comparan algunos datos importantes en la tabla 1.

Tabla 1: Comparativa entre datos técnicos de 2 inversores 2.5kW a manera de ejemplo, elaboración propia.

Nombre Inversor	GW2500-XS	Sunny Boy 2.5
Potencia nominal de salida (W)	2500	2500
Tensión nominal de salida (V)	220	220
Corriente máx. salida (A)	12	11
Potencia máx. entrada (Wp)	3250	5000
Tensión máx. de entrada	500	600
Corriente máx. entrada (A)	12,5	10
Eficiencia	97,60%	97,20%
Protección anti-isla	integrado	no mencionado
Grado protección	IP65	IP65
peso(kg)	5,8	9,2

Si en el arreglo de paneles el inversor GW2500-XS cumple las consideraciones anteriormente mencionadas, si es el más rentable. Por otro parte podría suceder que el arreglo de paneles en condiciones ideales supere los 3250Wp o que el voltaje máximo por nuestros paneles en serie supere los 500V. En tales casos la opción viable sería el inversor Sunny Boy 2.5.

En este caso, la elección del inversor dependerá del tipo de sistema fotovoltaico que deseemos instalar y las condiciones eléctricas que se tienen por la elección de paneles.

2.2.4.3 Regulador de carga

El regulador de carga es un equipo que solo se considera en el caso de tener un sistema que utiliza baterías como un sistema off-grid o híbrido, encargado de regular el proceso de carga de las baterías y controlar que cumplen los límites de operación de estas.

Existen del tipo PWM y MPPT en el mercado, siendo el PWM de menos costo que un regulador MPPT, pero el regulador MPPT permite utilizar toda la potencia de los paneles mientras se tiene un voltaje muy superior en la salida del arreglo de paneles fotovoltaicos en comparación a las baterías. Por ello en [31] recomiendan usar reguladores MPPT cuando el voltaje difiere entre el arreglo de paneles fotovoltaicos y baterías, también es recomendado en [17]

Al momento de escoger un regulador de carga hay que tener las siguientes consideraciones [17]:

- Escoger un regulador de carga MPPT
- Considerar que el regulador de carga sea capaz de soportar el voltaje máximo del arreglo de los paneles fotovoltaicos.
- Considerar que el regulador de carga sea capaz de soportar la corriente de cortocircuito del arreglo de los paneles fotovoltaicos.
- Considerar que el regulador de carga sea capaz de operar al voltaje de entrada del inversor.
- Considerar la potencia máxima que soporta el regulador de carga para el voltaje que opera el inversor seleccionado.

Por ejemplo el regulador de carga SmartSolar MPPT 150/70 VE.Can [32], soporta 150 V desde los paneles y la corriente de carga de las baterías es de 70 A, soporta 4000W para un voltaje de 48V en el inversor y una corriente máxima de cortocircuito de 50A desde los paneles, en la figura 12 [32] se muestra su ficha técnica.

Dicho esto se destaca que el regulador de carga afecta directamente en la configuración que tendrán los paneles, ya que hay que cuidar de no superar el voltaje máximo de entrada del regulador de carga y tampoco la corriente máxima de cortocircuito de los paneles.

Controlador de carga SmartSolar con interfaz VE.Can.	150/70 VE.Can	150/85 VE.Can	150/100 VE.Can (también disponibles sin Bluetooth)
Tensión de la batería	Selección automática 12/24/48 V (36 V manual)		
Corriente de carga nominal	70 A	85 A	100 A
Potencia FV nominal, 12 V 1a,b)	1000 W	1200 W	1450 W
Potencia FV nominal, 24 V 1a,b)	2000 W	2400 W	2900 W
Potencia FV nominal, 36 V 1a,b)	3000 W	3600 W	4350 W
Potencia FV nominal, 48 V 1a,b)	4000 W	4900 W	5800 W
Máxima corriente de corto circuito FV 2)	50 A (máx. 30 A por conector MC4)	70 A (máx. 30 A por conector MC4)	
Tensión máxima del circuito abierto FV	150 V máximo absoluto en las condiciones más frías 145 V en arranque y funcionando al máximo		
Eficacia máxima	98 %		

Figura 12: Ficha Técnica regulador de carga Smart Solar MPPT 150/70 [32]

2.2.4.4 Baterías

Luego de conocer las características del sistema fotovoltaico, es necesario dimensionar el sistema que almacenara esa energía para horas cuando no haya radiación disponible.

En los sistemas fotovoltaicos las baterías son el elemento más frágil, es necesario cuidar la cantidad de energía que es sacada de estas con el propósito de alargar su vida útil.

La vida útil se mide en cantidad de ciclos de carga de la batería, estos dependen de la profundidad de descarga con la cual se utilizarán. También la capacidad de energía que pueden almacenar disminuye con cada ciclo [33].

El fabricante debe indicar la capacidad de almacenamiento de la batería que tendrá con respecto cuando era nueva, para cierta cantidad de ciclos de carga con cierta profundidad de descarga.

En nuestro sistema fotovoltaico podemos utilizar baterías de litio o plomo-acido.

- Baterías de Litio
 - Menor tamaño y peso con respecto a las batería de Acido-plomo
 - No requieren mantenimiento
 - Tienen una profundidad de descarga entre 80-100%
 - Mayor número de ciclos de vida útil
 - Menores pérdidas entre carga y descarga
 - Mayor precio
- Baterías Plomo-ácido
 - Mayor tamaño y peso
 - Profundidad de descarga entre 50-70%
 - Menor numero de ciclos de vida útil
 - Pérdidas entre el 15-20% entre carga y descarga
 - Menor precio

- No se recomienda arreglos de mas de 3 paralelos

Normalmente en el mercado las baterías se venden con la unidad de Ampere-hora (Ah) para ello debemos transformar esta medida en kWh con la ecuación (2.6) y luego obtener la energía útil de la batería con la ecuación (2.7) [17].

$$Energía_{batería}(Wh) = Capacidad_{batería}(Ah) * Voltaje (V) \quad (2.6)$$

$$Energía\ útil_{batería}(kWh) = Energía_{batería}(kWh) * \% Profundidad\ de\ descarga \quad (2.7)$$

Para saber que batería escoger entre las disponibles, podemos obtener el costo de cada kWh de la batería en su totalidad de vida útil con la ecuación (2.8).

$$Rentabilidad_{Batería}\left(\frac{\$}{kWh}\right) = \frac{Costo_{batería}(\$CLP)}{(ciclos\ de\ carga * energía\ útil_{batería}(kWh))} \quad (2.8)$$

En la tabla 2, se comparan 2 baterías de distintas marcas con el propósito de obtener la más rentable, se compara la batería UCG200-12 [34] de Ultracell vendida por rbrenergy.cl [26] con la batería CT 12 200 de Curtiss [35] vendida por digishop.cl [29]

Tabla 2: Comparativa entre datos técnicos de dos baterías de 200Ah a manera de ejemplo, elaboración propia.

Nombre Batería	UCG200-12 - Ultracell	CT 12 2000 - Curtiss
Capacidad batería (Ah)	200	200
Voltaje (V)	12	12
% Profundidad de descarga(%)	80	80
Ciclos de carga	600	400
Costo de la batería(\$CLP)	380800	422700
Energía batería(Wh)	2400	2400
Energía útil batería(kWh)	1,920	1,920
Rentabilidad (\$CLP/kWh)	330,555556	550,390625

Si se considera utilizar completamente la vida útil de la batería, se observa mejor rentabilidad en la batería UCG200-12 de Ultracell.

Para realizar la conexión del banco de baterías con nuestro sistema fotovoltaico, se debe primeramente saber cuantas unidades de baterías vamos a necesitar, para ello se divide el consumo diario promedio del mes con mayor consumo durante el año con la energía útil de cada batería, como en la ecuación (2.9).

$$Cantidad_{baterías} = \frac{Demanda_{máxima}(kWh)}{Energía\ útil_{Batería}(kWh)} \quad (2.9)$$

Una vez se sabe cuantas baterías de cierta capacidad se necesitan para el sistema fotovoltaico, es necesario tener la siguientes consideraciones para que el banco de baterías se acople de manera adecuada al sistema.

- El banco de baterías debe tener un voltaje igual a la entrada del inversor, esto determina en el banco de baterías cuantas se deben conectar en serie. Por ejemplo si el inversor es de 48V y las baterías de 12V, se debe tener paralelos con series de 4 baterías.
- Los bancos de baterías si son de plomo-acido deben ser baterías similares en características, voltaje, amperes y una vida útil disponible similar para no afectar el resto de baterías.

2.2.4.5 Cables y canalización.

Una vez especificadas las características del inversor, generador fotovoltaico, regulador de carga y baterías, se conoce las corrientes máximas que se podrían llegar a generar en cada etapa.

Según el instructivo técnico RGR N°02/2020 [7], el cálculo real de los conductores tanto en el lado de corriente continua como en corriente alterna debe soportar como mínimo 1,25 veces la suma de las corrientes máximas.

Caso sistema Off-grid [17]:

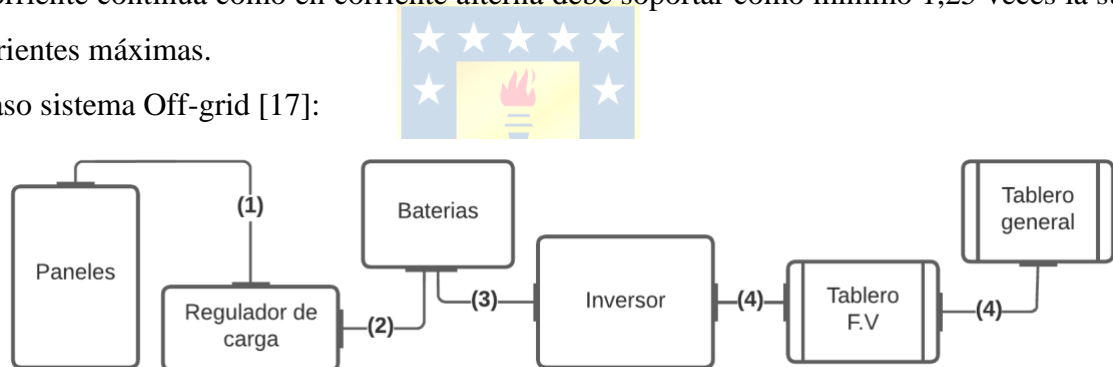


Figura 13: Diagrama descriptivo para cables y canalización entre equipos de sistema off-grid (elaboración propia)

(1) Se debe utilizar un cable del tipo monopolar canalizado (método A1 o B1 según [10]) y el máximo de corriente que circulará por esta sección dependerá de nuestro arreglo de paneles, recordar que la corriente I_{mp} viene dada en la ficha técnica de los paneles, su magnitud se puede obtener con la ecuación (2.3).

$$Corriente_{m\acute{a}xima} = Corriente_{I_{mp}} * Cantidad_{paralelos} \quad (2.3)$$

(2) Se utilizará cable monoconductor y instalados libremente al aire o en escalerillas (método F según [9]). El máximo de corriente que puede circular por esta sección es la corriente máxima que permite el regulador de carga. Esta información se extrae de la ficha técnica del regulador de carga.

(3) Se utilizarán cables monoconductores y instalados libremente al aire o en escalerillas (método F según [9]) El máximo de corriente que puede circular por esta sección es la cantidad máxima de corriente que puede extraer el inversor de las baterías. Esta información se extrae de la ficha técnica del inversor.

(4) Se utilizará cable multiconductor canalizado (tipo B2 según [9]) La máxima corriente que circulará por esta sección es la corriente máxima nominal que entrega el inversor a la residencial. Esta información se extrae de la ficha técnica del inversor.

Caso sistema híbrido [17]:

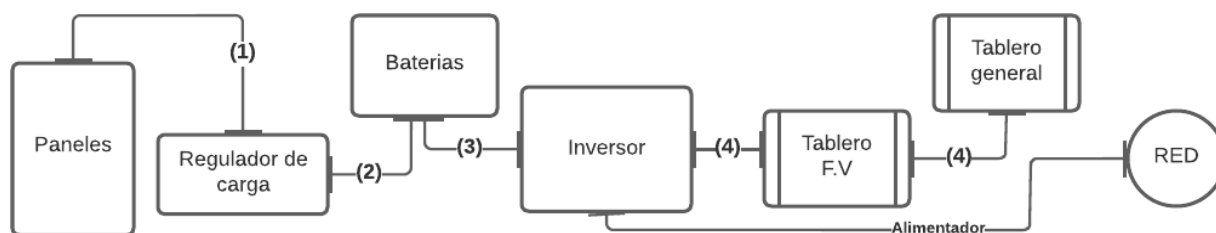


Figura 14: Diagrama descriptivo para cables y canalización entre equipos de sistema híbrido (elaboración propia)

(1) Se debe utilizar un cable del tipo monopolar canalizado (método A1 o B1 según [10]) y el máximo de corriente que circulará por esta sección dependerá de nuestro arreglo de paneles, recordar que la corriente I_{mp} viene dada en la ficha técnica de los paneles, su magnitud se puede obtener con la ecuación (2.3).

$$Corriente_{m\acute{a}xima} = Corriente_{I_{mp}} * Cantidad_{paralelos} \quad (2.3)$$

(2) Se utilizará cable monoconductor y instalados libremente al aire o en escalerillas (método F según [9]). El máximo de corriente que puede circular por esta sección es la corriente máxima que permite el regulador de carga. Esta información se extrae de la ficha técnica del regulador de carga.

(3) Se utilizarán cables monoconductores y instalados libremente al aire o en escalerillas (método F según [9]) El máximo de corriente que puede circular por esta sección es la cantidad máxima de corriente que puede extraer el inversor de las baterías. Esta información se extrae de la ficha técnica del inversor.

(4) Se utilizará cable multiconductor canalizado (tipo B2 según [9]) La máxima corriente que circulará por esta sección es la corriente máxima nominal que entrega el inversor a la residencial. Esta información se extrae de la ficha técnica del inversor.

Observación: Hay algunos inversores híbridos que incluyen el regulador de carga incorporado

Caso sistema On-grid:

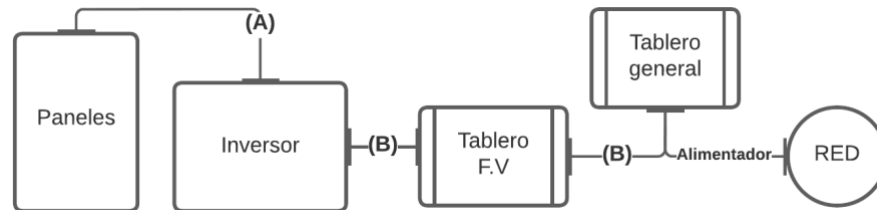


Figura 15: Diagrama descriptivo para conexión entre equipos en sistema on-grid (elaboración propia)

(A) Se debe utilizar un cable del tipo monopolar canalizado (método A1 o B1 según [10]) y el máximo de corriente que circulará por esta sección dependerá de nuestro arreglo de paneles o las capacidades máximas de nuestro inversor.

Para el máximo de corriente desde paneles se debe recordar que la corriente I_{mp} de cada panel viene dada en su ficha técnica, el máximo de corriente se puede obtener con la ecuación (2.3).

$$Corriente_{m\acute{a}xima} = Corriente_{Imp} * Cantidad_{paralelos} \quad (2.3)$$

Para el máximo de corriente del inversor es la cantidad máxima de corriente que puede ingresar al inversor de las baterías. Esta información se extrae de la ficha técnica del inversor.

(B) Se utilizará cable multiconductor canalizado (tipo B2 según [9]) La máxima corriente que circulará por esta sección es la corriente máxima nominal que entrega el inversor a la residencial. Esta información se extrae de la ficha técnica del inversor.

2.2.5 Demanda eléctrica residencial

Un perfil de carga o demanda eléctrica es una curva que caracteriza el consumo de potencia a lo largo de un periodo de tiempo. Los estilos de vida de los usuarios son los que caracterizan el perfil de carga, factores que influyen en este son la rutina del usuario, el clima, y los tipos de electrodomésticos, entre otros.

Ya que el objetivo de esta memoria se centra en clientes residenciales, se hace necesario tener en cuenta la demanda eléctrica que tiene un cliente residencial promedio, para luego utilizar esta información al analizar la rentabilidad del sistema fotovoltaico para clientes residenciales.

2.2.5.1 Clasificación de perfiles de comportamiento

En [36] se hizo una clasificación de perfiles de comportamiento para clientes residenciales, gracias a una base de datos de SAESA constituida por consumos de energía de cientos de clientes chilenos, cuyas mediciones en el año 2019 se realizaron cada 15 minutos en la región de Los Lagos.

En esta clasificación los datos se dividieron por tipo de día (laborales, días sábados y días domingos o festivos), también por trimestres y luego por un método de agrupación “k-means” se obtuvieron los siguientes resultado para clientes residenciales domésticos, como se ve en la figura 16 a la 18 [36].

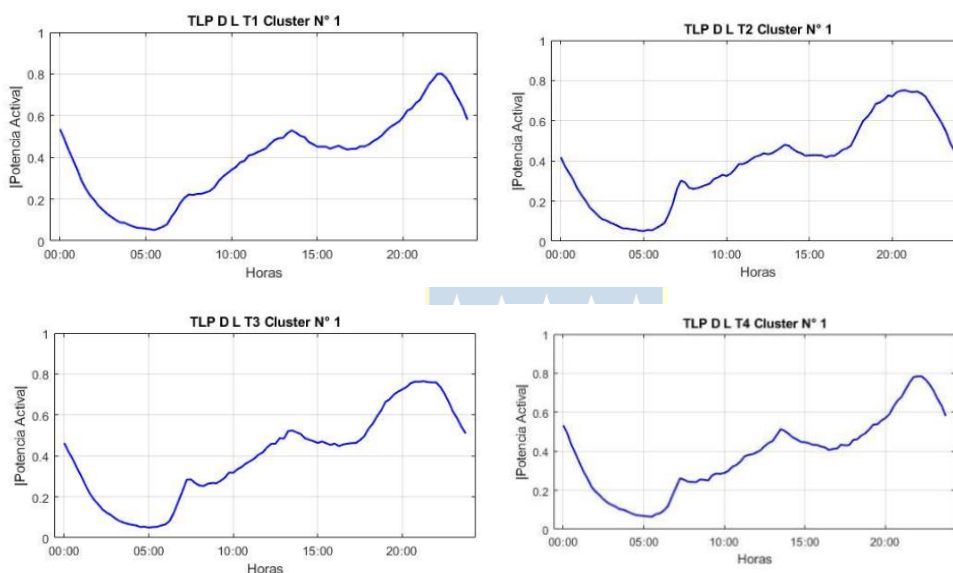


Figura 16: perfil de comportamiento días laborales, divididos por trimestres en orden [36]

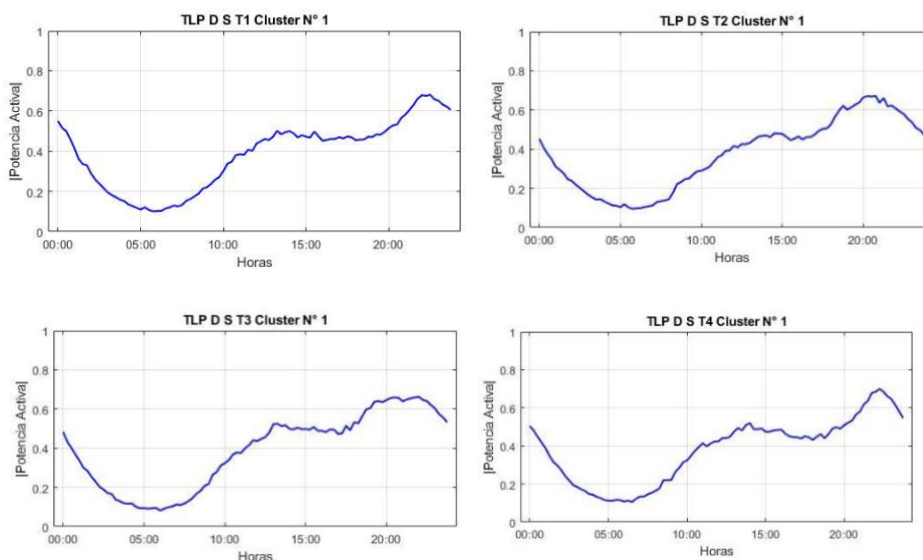


Figura 17: perfil de comportamiento sábados, divididos por trimestres en orden respectivo [36]

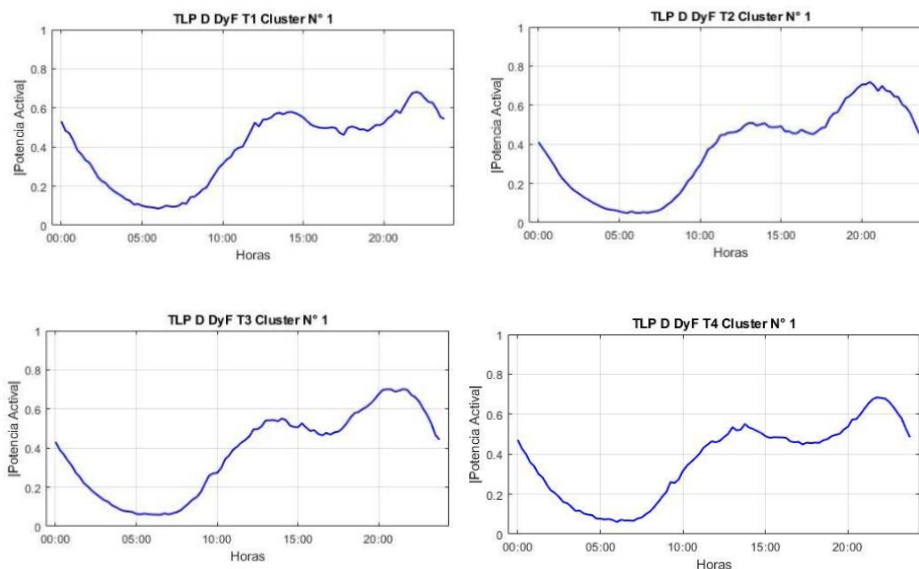


Figura 18: perfil de comportamiento días festivos, divididos por trimestres en orden respectivo [36]

La cantidad de electricidad que consumen los hogares varía a lo largo del día y de manera similar en verano y en invierno, con diferencia que en invierno la demanda máxima de los hogares se produce entre las 20.00 y las 22.00 horas, coincidiendo con una elevada ocupación de los hogares y el uso intensivo de la calefacción. En cambio en verano entre las 21.00 y las 22.00 horas.

2.2.5.2 Consumo eléctrico promedio

En [37] se observa el consumo eléctrico promedio por cliente residencial en cada región, siendo 193 kWh/mes particularmente en la región de Los Lagos, la misma región en la que fue realizada la clasificación de perfiles de comportamiento en [36].

2.2.6 Tarifas eléctricas

Existen distintas opciones tarifarias de suministro, para el caso de esta memoria, la residencial corresponde a la tarifa BT1, es decir en baja tensión e inferior a 10kW. [38]

La tarifa eléctrica BT1 varía según la comuna, el sector de la comuna y la compañía de distribución a cargo. Otros factores que podrían afectar es la distancia a la red de distribución, el tipo de cableado si es aéreo o subterráneo, entre otros [17].

2.2.6.1 SAESA

En SAESA para sus clientes regulados BT1 en Osorno [39], sus valores y forma de cobrar es de la siguiente manera:

Cargo fijo \$1324+ Transporte electricidad 22,86\$/kWh {Incluye: Cargo por servicio público (\$/kWh) + Cargo por uso de sistema de transmisión (\$/kWh) + Cargo transmisión de la zona (\$/kWh)} + Electricidad base consumida 146,339 \$/kWh + Consumo límite invierno 200 \$/kWh(si aplica).

En el caso de inyectar energía el ahorro es de: 74,856 (\$/kWh)

2.2.6.2 Límite de invierno

En SAESA [40] se menciona lo siguiente para el caso de tarifas BT1:

“De acuerdo a lo dispuesto en la normativa, el límite de invierno se calcula de manera mensual y se obtiene como el mayor entre los siguientes 2 valores:

- 350 kWh mensuales
- La suma de los consumos que tiene el cliente entre los meses de Agosto a Marzo (consumos de verano) dividido por 8 y el resultado multiplicado por 1,2.

Si su cuenta se factura cada dos meses (bimestral), el límite de invierno que se le aplica es el doble del número anterior.

Dado que los consumos de los clientes del grupo SAESA son en promedio inferiores a 200 kWh/mes, el límite de invierno de la mayoría de los clientes es 350 kWh mensuales (o 700 kWh en caso de clientes bimestrales).”

El límite de invierno se calcula de la siguiente manera según normativa:

“La suma de los consumos que tiene el cliente entre los meses de Agosto a Marzo (consumos de verano) dividido por 8 y el resultado multiplicado por 1,2.”

2.2.7 Otros estudios de rentabilidad fotovoltaica residencial

A continuación se señalarán 3 fuentes distintas de proyecciones económicas para un sistema fotovoltaico residencial.

2.2.7.1 Estudio de rentabilidad fotovoltaica conectada a la red para autoconsumo

En octubre 2020, se hizo un estudio de rentabilidad fotovoltaica conectada a la red para autoconsumo, proyecto público en una casa nombrada “casa al revés” [41], ubicado en Valparaíso.

Con ayuda del software de simulación PvSyst se obtuvo que la inversión inicial del proyecto se recuperaría en 8,7 años con una potencia fotovoltaica de 2kW y 6 módulos fotovoltaicos.

El estudio contempló costos económicos como tasas de interés en créditos bancarios, tarifas eléctricas, el costo de la documentación, la instalación del sistema, su mantenimiento y los beneficios anuales a lo largo de la vida útil del proyecto.

La mayor fuente de ingresos o beneficios, es la venta de los excedentes de producción a la empresa distribuidora.

En la proyección del estudio se obtuvo que el consumo del inmueble al año era de 2695kWh. Donde la energía producida por el sistema fotovoltaico es de 2171kWh anuales, la energía consumida del sistema fotovoltaico por el inmueble es de 922kWh anuales, la energía del sistema fotovoltaico inyectada a la red es de 1250kWh anuales y la energía consumida por el inmueble de la red es de 1763kWh anuales.

2.2.7.2 Vivienda aislada conectada a la red con batería de litio

En septiembre 2021, se diseñó una instalación fotovoltaica para una vivienda situada en el campo con conexión a red, la vivienda se encuentra ubicada en Valencia, España [42].

La vivienda tiene un consumo diario de 26kWh para el mes menos favorables de horas de luz en el día, por lo cual se instala un sistema fotovoltaico de 8kW produciendo una media de 30kWh al día con 20 módulos de 400W y una batería de litio de 20kWh.

Para la parte económica del estudio se consideró un costo total de la instalación de 25000€, una mantención de 480€ anual y un ahorro de 1700€ anual aproximadamente, recuperándose así la inversión 25 años.

2.2.7.3 Enel.

En [43] tienda de ENEL, un kit solar On-grid de 3 kWp tiene un costo con la instalación incluida de \$4.500.000, donde anuncian un ahorro estimado anual de \$480.000. Recuperando así la inversión con sus estimaciones en 9.4 años.

2.2.7.4 Estudio solar.

En [17] se realizó una simulación para un proyecto on-grid de 3kWp ubicado en el centro de Santiago sin sombras alrededor, la proyección económica del costo de la instalación incluyendo IVA fue de \$4.300.000 con un ahorro anual promedio de \$390.000, recuperando el cliente así la inversión en 11 años aproximadamente.

Para la proyección económica se consideró el costo de los paneles, inversor, infraestructura de soporte de paneles, canalizaciones, tableros, puesta a tierra, tornillos y herramientas, mano de obra ayudante, señaléticas, tramitación con la compañía eléctrica y una utilidad del 15% para el instalador.

2.3. Criptominería

Antes de entrar a la Criptominería, hace falta entender el concepto de criptomonedas, como estas operan en la blockchain y como la blockchain en el caso de Bitcoin necesita la existencia de criptomneros para funcionar.

Para finalmente pasar a entender el coste energético y económico que representa minar criptomonedas.

2.3.1 Criptomonedas

A partir de Bitcoin la primera criptomoneda, surgieron muchas más, en la actualidad existen muchísimas y se puede observar la lista de ellas por orden de capitalización de mercado en CoinMarketCap [44].

Hay que considerar la dificultad que representa la conceptualización de las criptomonedas, por ello se brindaran cuatro definiciones básicas de distintas fuentes al respecto.

En primer lugar se encuentra la definición otorgada por los creadores(de identidad desconocida) de la primera criptomoneda Bitcoin, definiéndola en los siguientes términos: “*Definimos una moneda electrónica (criptomoneda) como una cadena de firmas digitales.*” [45]

Pero esto no es suficiente para entender las funciones de las criptomonedas, por lo que se recurre a otras definiciones.

Según el Servicio de Impuesto Internos en Chile, “*Las criptomonedas, en términos muy generales, son activos digitales o virtuales, soportados en un registro digital único denominado blockchain, desreguladas, desintermediadas y no controladas por un emisor central, cuyo precio está determinado por la oferta y la demanda. No se consideran en Chile como monedas de curso legal o como monedas extranjeras o divisas.*” [46]

Según el banco Santander, “*Una criptomoneda es un activo digital que emplea un cifrado criptográfico para garantizar su titularidad y asegurar la integridad de las transacciones, y controlar la creación de unidades adicionales, es decir, evitar que alguien pueda hacer copias como haríamos, por ejemplo, con una foto. Estas monedas no existen de forma física: se almacenan en una cartera digital.*” [47]

Según el diario EL PAÍS, “*Es una moneda virtual basada en la tecnología blockchain, que actúa como un libro de contabilidad en el que se registran las operaciones y que cuenta con programadores independientes como verificadores. De esta forma, las transacciones no pasan por un único lugar central, sino que se aprueban desde diferentes sitios. La criptomoneda se compone de un archivo digital con un código único que se lee a través de diferentes programas que sirven para visualizarlo, conservarlo y realizar transacciones.*” [48]

Bajo las definiciones anteriores se rescata que las criptomonedas hacen uso de la blockchain para existir, con transacciones únicas y no duplicables, se almacenan en una cartera digital y su valor frente al mercado esta regido por la oferta y la demanda.

En este trabajo nos enfocaremos en la principal Bitcoin, ya que es la única criptomoneda considerada reserva de valor y totalmente descentralizada(no tiene dueño), el resto de criptomonedas podrían desaparecer en el mediano plazo y esta investigación se centra en el largo plazo.

Bitcoin, la primera criptomoneda, se dio a conocer en 2008, “*Bitcoin: A Peer to Peer Electronic Cash System*” [45], publicado por Satoshi Nakamoto (seudónimo del autor, cuya identidad real aun se desconoce), esta publicación contenía la propuesta de un sistema de pagos electrónicos confiable y directo entre sus usuarios, que no necesita de la intervención de intermediarios financieros o entidades de control para funcionar.

2.3.2 Blockchain de Bitcoin

La blockchain según AMD [49] es considerado un libro de registros electrónicos que aumenta constantemente, es descentralizada y utiliza un algoritmo para proteger su estructura.

En el caso de Bitcoin, estos datos del libro de registros se distribuyen en una red de computadoras alrededor del mundo y los usuarios pueden observar directamente los datos almacenados en tiempo real sin la necesidad de un intermediario que autentifique las transacciones.

Este libro de registros tiene un historial con una estructura particular, agrupa las transacciones en bloques de datos [50], esta agrupación de bloques de datos se van uniendo con forma de cadena y así con el tiempo crean una cadena en constante crecimiento, a esta estructura de datos se le conoce como “blockchain”.

Cada bloque de la cadena “blockchain” está formado por tres partes: un código alfanumérico que enlaza con el bloque anterior, el conjunto de transacciones que incluye y otro código alfanumérico que enlaza con el siguiente bloque. Esto provoca que la información no pueda ser alterada a lo largo del tiempo [51], como se ve en la figura 19 [49].

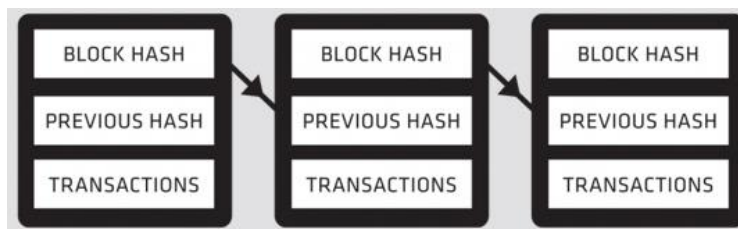


Figura 19: Ejemplo de cadena de bloques de Bitcoin [49]

Estos bloques que contienen la información de las transacciones, son procesados y agregados a la cadena por los llamados “criptomineros”, sin estos la blockchain de Bitcoin no podría procesar transacciones, ya que su trabajo consiste en validar las transacciones que se envían por la red, añadiendo nuevos bloques a la cadena, acción que se denomina “minar”.

2.3.3 Minar Bitcoin

El nombre Criptominería viene de la comparación entre el esfuerzo que se realiza en una mina para extraer oro, con el esfuerzo de procesamiento y consumo eléctrico realizado por un ordenador para obtener bitcoins [4].

Para llevar a cabo la tarea de obtener bitcoins, el criptomero debe operar bajo un algoritmo de consenso llamado PoW (Proof of work), algoritmo que es utilizado para la creación de nuevos bloques y la protección de la red blockchain en Bitcoin. Para operar bajo este algoritmo PoW los criptomeros deben utilizar hardware y software especializado, que les permite resolver una serie de cálculos para encontrar el hash criptográfico que identifica a cada nuevo bloque, agregando así un nuevo bloque en la cadena [45], procedimiento que implica un importante consumo de electricidad, procesamiento y memoria RAM.

Si el criptomero logra descifrar el hash criptográfico es recompensado con un incentivo económico en bitcoins, esto provoca que ambas partes se vean beneficiadas, tanto la red blockchain de Bitcoin obteniendo estabilidad y seguridad, como también los participantes criptomeros alrededor del mundo siendo recompensados de manera económica por su esfuerzo.

2.3.3.1 Incentivo económico.

Las recompensas recibidas para criptomeros consta de dos partes, las comisiones de las transacciones correspondientes al bloque minado y un monto fijo de bitcoins por cada bloque minado, emitiéndose 6,25 bitcoins para quien incluyó el bloque dentro de la cadena en 2022. En un principio eran 50 bitcoins por bloque, pero el algoritmo está programado para que la recompensa se reduzca a

la mitad cada 210.000 bloques minados (aproximadamente cada 4 años), progresión geométrica con la cual se estima que hacia el año 2140 los bitcoins generados por bloque tenderán a cero, existiendo un límite de bitcoins en circulación cercano a los 21 millones (inmune a la inflación) [45]. Es importante agregar que en la actualidad las operaciones matemáticas para incluir nuevos bloques en la cadena son cada vez más complejas, sumado a la creciente competencia de criptomneros por minar el bloque, provoca que sea muy poco probable por no decir imposible minar un bloque con un solo criptomneros.

2.3.3.2 Minar Bitcoin en conjunto

Para solucionar el problema de ser muy improbable minar de manera individual existen pools de minería, son un grupo de criptomneros repartidos por el mundo para llevar a cabo la minería en conjunto [52]. La suma del poder de minado (Hash rate) de todos los criptomneros participantes se muestra en la red como una sola, y no por separado. En la figura 20 [53] se muestra como esta dividido el poder de procesamiento total de bitcoins en Julio 2022.

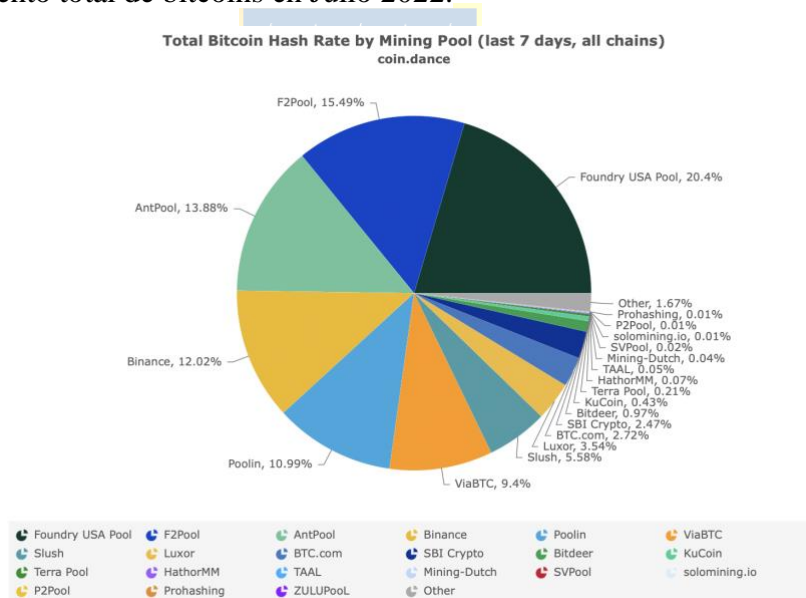


Figura 20: Distribución del poder de minado en Bitcoin entre los pools y mineros participantes. [45]

Se observa que el mayor poder de procesamiento se lo llevan las pool de minería. La potencia de un solo criptomneros es insignificante en comparación con el hashrate de la red entera.

Un criptomneros que cuente con el 5% del poder de minado global de una red será capaz de resolver con mayor facilidad bloques que otro criptomneros que solo disponga del 1% del hashrate total. Pero, si se unen varios criptomneros que sumen entre todos el 20% del poder de minado de dicha red, ellos tendrían las probabilidades a su favor. Esto haría que la minería sea más rentable para

cada miembro del grupo que si probaran suerte de manera separada. Por tales razones es más conveniente minar bitcoins uniéndose a pools de minería con el criptomero que por cuenta propia.

Así la pool de minería logra resolver el hash del bloque con mayor facilidad, obteniendo la recompensa y repartiendo las ganancias de una forma equitativa, de acuerdo con el poder de minado aportado por cada participante [52].

2.3.3.3 Adquirir criptomeros

Las principales páginas para comprar un criptomero a día de hoy son [54] o [55] directamente desde el fabricante, o en un Marketplace como eBay que se pueden hallar precios más económicos por el mismo equipo en comparación con la tienda oficial del fabricante, en cualquier caso son enviados al domicilio.

Para analizar que criptomero es más rentable para cada caso, hay sitios web como [56] o [57] que son calculadoras para saber el rendimiento de minado del criptomero y sitios web como [58] que consiste en un ranking de criptomeros a la venta por orden de rentabilidad diaria.

Hay mineros que logran minar pocos dólares en forma de Bitcoin al día pero consumen menos electricidad y también están los que consumen grandes cantidades de energía, pero logran minar más dólares al día, teniendo en cuenta requieren una inversión inicial más grande, no siempre más potencia significa más rentabilidad.

Los principales puntos a tener en cuenta a la hora de comprar un criptomero principalmente son:

1. El poder de minado (Hashrate)
2. La potencia nominal eléctrica de consumo
3. La temperatura ideal de operación.
4. Ruido del ventilador

2.3.4 Demanda energética de Bitcoin.

El consumo de energía a nivel mundial de criptomeros de Bitcoin se puede observar en un índice de consumo eléctrico de la Universidad de Cambridge [50] y es de 7,26 TWh en Julio 2022 o 87,14 TWh al año promedio. Este valor ha ido en aumento con el tiempo entre más aumenta el poder de minado total, pero solo representa el 66% del consumo de energía eléctrica que se utiliza para extraer oro en el mundo y el 0,39% de consumo de energía eléctrica mundial.

El consumo eléctrico de un criptominerero como se ve en las tiendas [54] o [55] puede ir desde los 1.000W hasta 7.000W de potencia. El consumo del minero es constante, idealmente el minero nunca debería de apagarse y funcionar a su potencia nominal las 24 horas del día. Así un minero de 3000W puede llegar a consumir 72kWh al día, 2,16MWh al mes o 25,9MWh al año, Si consideramos un voltaje de conexión de 220V, el minero podría estar recibiendo 13A de manera constante.

2.3.5 Evolución de mercado Bitcoin

Al momento de minar Bitcoin se debe tener en cuenta que las ganancias obtenidas por los criptominereros son variables en el tiempo, por ello existen herramientas para calcular su rentabilidad en el presente como se observo en el capítulo 2.3.3.3, las principales variables que afectan a nuestro bolsillo si queremos minar Bitcoin son el precio del mercado de Bitcoin, competencia mundial de minado y el precio de nuestra electricidad.

2.3.5.1 Precio de Bitcoin

En la actualidad Bitcoin tiene valor porque es útil, escaso y en la medida en que sea aceptado en un mayor número de comercios, su valor debería estabilizarse [59]. El precio de Bitcoin es regido por la oferta y la demanda como se observa en la figura 21 [60].



Figura 21: Evolución del precio de Bitcoin contra USD 2012-2022 en escala logarítmica, con sus respectivos “Halvings” [60]

Se observa que el precio tiene una tendencia alcista en el tiempo de largo plazo, teniendo correcciones cada cierto tiempo. Una observación a tener en cuenta es que cada 4 años aproximadamente ocurre el “Halving de Bitcoin” como se ve en las líneas punteadas de la figura 20 [60], donde las recompensas por cada bloque descifrado y añadido a la red se reduce a la mitad, recibiendo así el criptominerero la mitad de bitcoins por minar desde ese momento, por otra parte cada vez que ha ocurrido un Halving de Bitcoin el precio se eleva mas de cinco veces su precio, provocando así que cuando ocurre un Halving de Bitcoin se minan menos cantidad de bitcoins pero un mayor valor en dólares o pesos chilenos.

2.3.5.2 Dificultad de minado

Como se observa en la figura 22 [50], con el pasar del tiempo aumenta la dificultad para minar Bitcoin, ya que aumenta la cantidad de procesamiento(Hashrate) en la red blockchain de Bitcoin, en otras palabras hay más competencia. Con lo cual al largo plazo cada vez se requiere mayor poder procesamiento para recibir las misma cantidad de bitcoins, esto se contrarresta con la subida de precio de Bitcoin también al largo plazo.

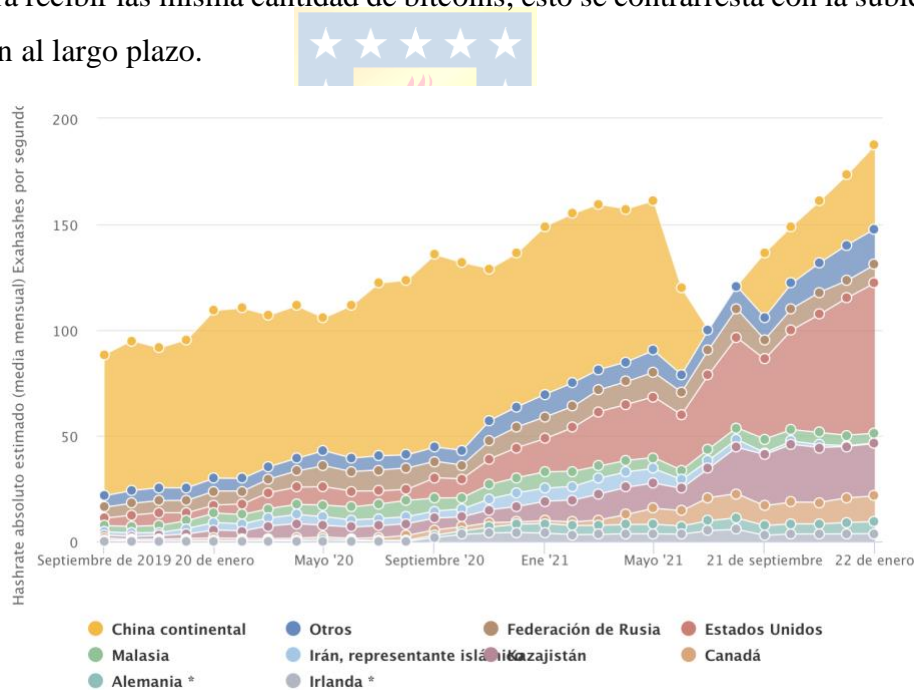


Figura 22: Evolución del Hashrate de la red de Bitcoin 2019 – 2021 [42]

2.3.6 Intercambiar Bitcoin por pesos chilenos

Cuando el criptomínero esta minando es importante utilizar una billetera digital de criptomonedas para recibir los pagos por minar.

Las billeteras son dispositivos que sirven para depositar, gestionar y transferir las criptomonedas que están bajo nuestro poder hacia otras billeteras como viceversa. Se tratan de aplicaciones de software como [61] o también las hay en formato hardware como [62] para almacenar nuestras criptomonedas.

Si es del tipo software, la billetera es en línea y puede estar en el teléfono móvil, computador o página web, mientras si es del formato hardware se trata de un aparato físico que nos permite llevar nuestro Bitcoin en nuestro bolsillo [63].

Una vez teniendo nuestros bitcoins en nuestra billetera podemos transferirlos a una Exchange (casas de cambio) para cambiar nuestros bitcoins por pesos chileno, dólares o alguna otra criptomoneda. Como se ve en la figura 23 [64]

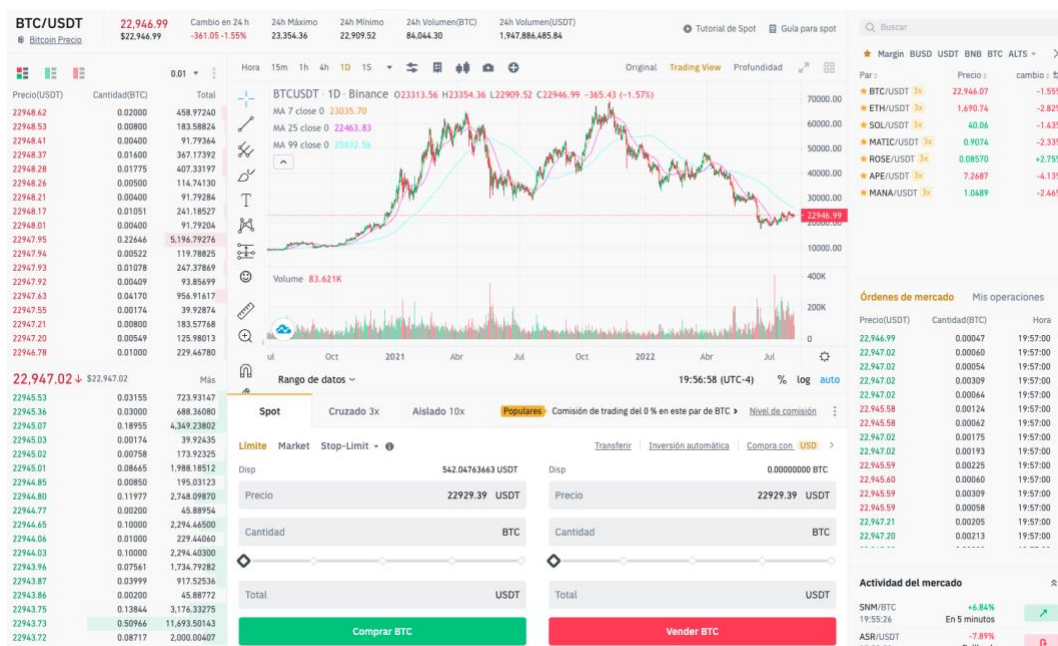


Figura 23: Exchange Binance, comprar o vender bitcoins contra USD [64]

Hay muchísimas Exchange y se puede observar en [44] la lista de ellas ordenadas por volumen de transacciones en dólares. La más grande a Julio 2022 es Binance [64] y también hay chilenas como Cryptomarket [65] entre otras.

Es importante mencionar que al momento de enajenar(vender) nuestros bitcoins es nuestro deber pagar impuestos en el servicio de impuestos internos (SII) [66]. Las Exchange chilenas como

Cryptomarket están obligadas a entregar la información de nuestras transacciones al SII, por otra parte, si se utilizan Exchange como Binance que es internacional, el SII no tiene ninguna manera de saber nuestras transacciones o posesiones de criptoactivos.

En el SII se menciona lo siguiente con respecto a la compra y venta de criptomonedas para el pago de impuestos:

“¿Cómo se determina el mayor valor y qué impuestos pagan los contribuyentes personas naturales que obtienen rentabilidad positiva al realizar operaciones de compra y venta de criptomonedas?”

Para determinar el mayor valor que resulte de la enajenación, se deducirá del precio o valor de enajenación, el costo tributario de la criptomoneda respectiva.

El costo tributario estará conformado por el valor de adquisición de los respectivos bienes, debidamente reajustado de acuerdo al porcentaje de variación experimentado por el índice de precios al consumidor entre el mes anterior a la adquisición y el mes anterior al de la enajenación.

El mayor valor que se determine conforme a los párrafos anteriores se afectará con impuestos finales en base percibida, es decir, sólo con Impuesto Global Complementario o con Impuesto Adicional, según corresponda aplicar.”

Es decir que el pago de impuesto dependerá de la renta imponible anual de cada persona, en [67] del SII se puede observar el factor de impuestos para cada rango de renta imponible anual.

Capítulo 3. Implementación de distintos sistemas de energía solar para uso residencial conectado a red.

En este capítulo se simulan sistemas de energía solar en distintas potencias, para un cliente residencial promedio ubicado en la ciudad de Osorno. Incluyendo las opciones de utilizar criptomneros y/o baterías para obtener la mejor rentabilidad del sistema en cada caso.

En primer lugar se simulan sistemas de energía solar On-grid en distintas potencias de generación que alimentan a la residencia.

En segundo lugar se simulan los mismos sistemas de energía solar On-grid, pero esta vez alimentan a un criptomneros y a la residencial, elevando el consumo.

Finalmente en tercer lugar se incorporan baterías cuando es posible a los sistemas anteriores, convirtiéndose en sistemas híbridos.

Las simulaciones anteriores se hicieron mediante Excel [68] que se adjunta para una mejor descripción del desarrollo del capítulo, en las simulaciones se maximiza la optimización de recursos económicos para la implementación del sistema, luego en el capítulo 4 se compara estas implementaciones con su presupuesto y se determinara cual es más rentable en el tiempo, considerando el precio de Bitcoin cuando sea necesario.

Para adquirir equipos eléctricos se utilizarán los siguientes distribuidores Chilenos para hacer el presupuesto del sistema: rbrenergy.cl [26], digishop.cl [29], cosmoplas.com [68], tritec-center.cl [69], esol.cl [70], vitel.cl [71] y solartex.cl [72]. Para equipos de criptomnería se utilizarán los siguiente distribuidores internacionales para hacer el presupuesto: bitmain.com [54], es.bt-miners.com [73] y belaymining.com [74].

3.1. Consumo eléctrico

3.1.1 Consumo eléctrico de la residencial

Para las implementaciones se determino el consumo eléctrico de una residencia promedio, basándose en el consumo mensual promedio de la región de los lagos 193kWh/mes [37] y utilizando la curva de potencia activa diaria en invierno de un cliente residencial promedio en Osorno [36], ver

figura 24. Se ha escogido invierno como la curva de potencia activa a utilizar, ya que son similares y es ligeramente mayor a las otras estaciones del año.

Importantes puntos que se consideran del consumo de la residencial para la implementación de sistemas fotovoltaicos:

- Se considera que todos los meses del año tienen 30 días.
- Se considera un consumo mensual de 193kWh/mes para todos los meses del año.

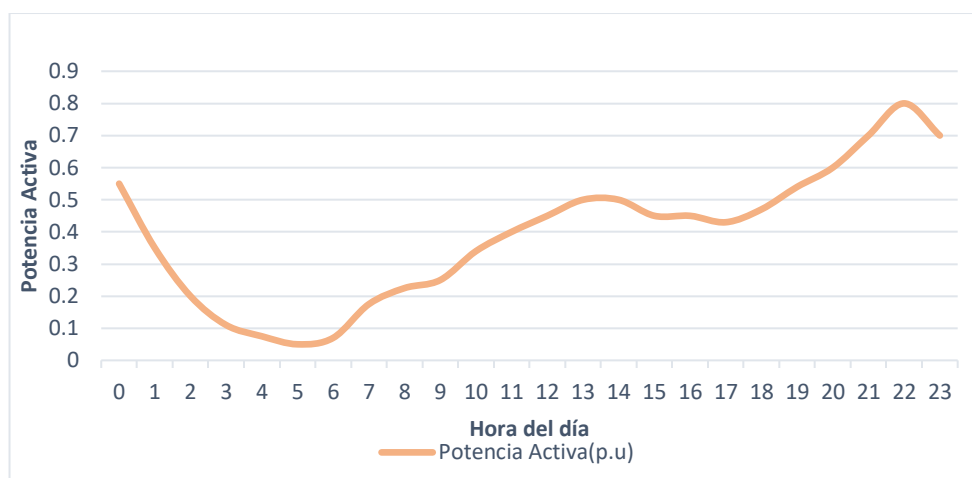


Figura 24: Potencia activa de un cliente residencial promedio en Osorno en invierno, Elaboración propia con datos de [36]

Así obteniendo una curva de potencia activa como se ve en la figura 25 y un consumo diario de 6433Wh/día como se ve en la figura 26:

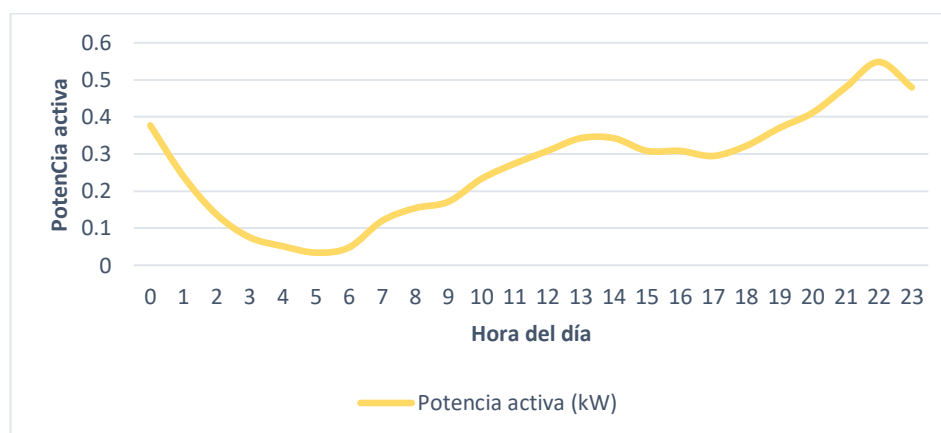


Figura 25: Potencia Activa diaria en kW de la residencial.

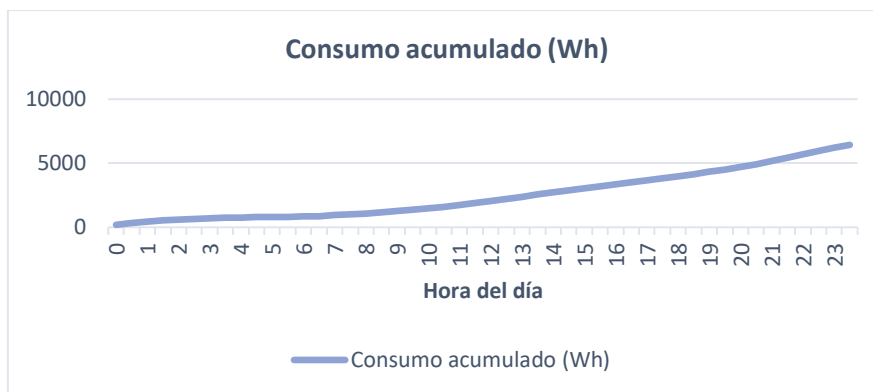


Figura 26: Consumo total diario en Wh de la residencial.

3.1.2 Consumo eléctrico de la residencial con Criptominerero

Se selecciono el Criptominerero Bitcoin Miner S19 XP desde la pagina bitmain.com [54] al ser el más rentable frente a los otros criptominereros disponibles en la paginas mencionadas al principio del capítulo. Para determinar que era el más rentable se hizo de dos maneras. La primera dividiendo la potencia eléctrica de consumo en el poder de procesamiento (W/hash) y la segunda observando el sitio web [58] donde están listados los criptominereros por orden de rentabilidad, en ambos casos se concluyo el mismo criptominerero.

El Bitcoin Miner S19 XP presenta una potencia de 140 TH/s, obteniendo un minado de 0,01905 bitcoins al mes según [56]. Su consumo es de 3010W constantes, sumado a que el criptominerero estará sumergido en aceite dieléctrico movido por una bomba de 108W, la incorporación del Criptominerero significa una incorporación de 3118W de potencia activa en la residencial, como se ve en la figura 27. Obteniendo un consumo total durante el día de 81.265Wh/día

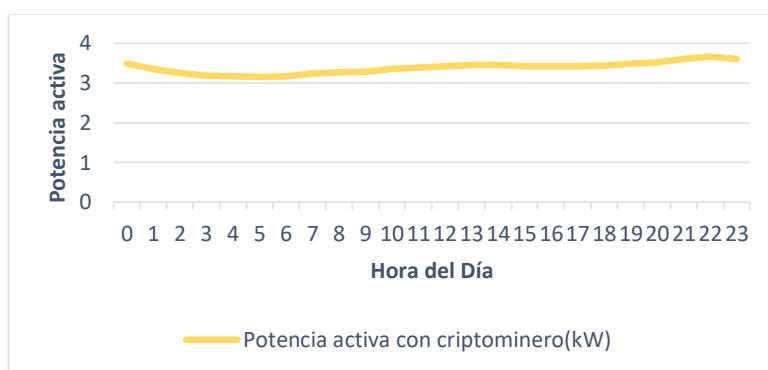


Figura 27: Potencia Activa de la residencial con un Criptominerero incorporado

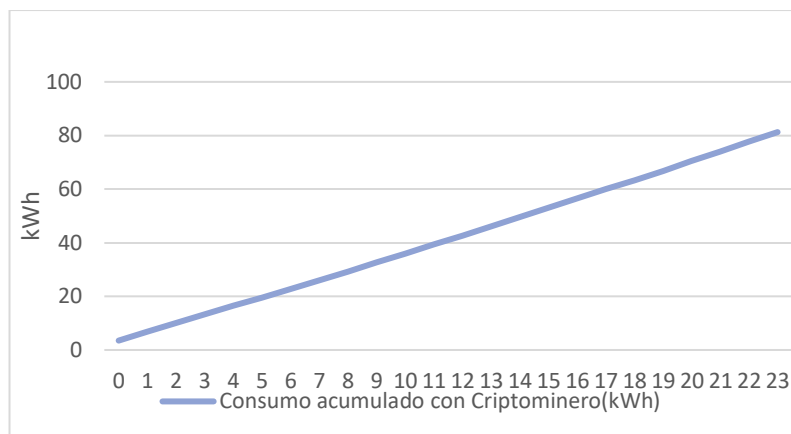


Figura 28: Consumo acumulado durante el día con Criptomínero

3.2. Ubicación

3.2.1 Ubicación geográfica

Ya que se dispone del consumo residencial promedio en Osorno, está será la ubicación predeterminada de la residencial para la implementación de los siguiente sistemas fotovoltaicos, específicamente en la plaza de armas de Osorno, ya que se encuentra en el centro de la ciudad. La ubicación se observa en la figura 29 [18].

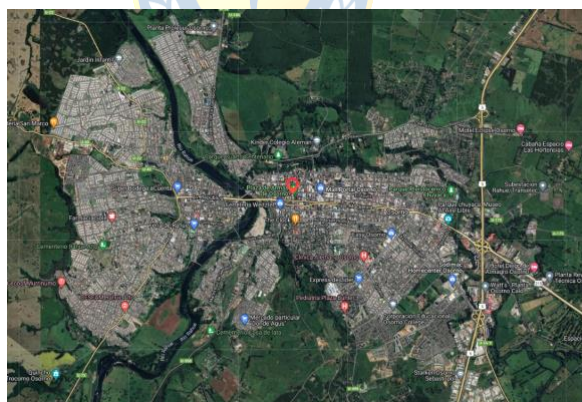


Figura 29: Ubicación geográfica en Osorno para implementación de sistema fotovoltaico [18]

Importantes puntos que se consideran de la ubicación para la implementación de sistemas fotovoltaicos:

- Se considera una ubicación libre de sombras durante el día.
- Se considera disponibilidad de un área suficiente para la instalación de paneles fotovoltaicos.
- Se considera 15 metros de canalización entre paneles e inversor (c.c).

- Se considera 5 metros de canalización entre inversor y tablero (c.a).

3.2.2 Tarifa eléctrica.

Como se menciona en el capítulo 2 en el punto 2.2.6.1, la empresa SAESA en Osorno maneja sus tarifas de la siguiente manera:

En el caso de consumir energía: Cargo fijo \$1324+ Transporte electricidad 22,86\$/kWh + Electricidad base consumida 146,339 \$/kWh + Consumo límite invierno 200 \$/kWh(si aplica).

En el caso de inyectar energía el ahorro es de: 74,856 (\$/kWh).

Ya que en el caso de estudio no aplica el límite de invierno, debido a que el consumo de un cliente residencial promedio es el mismo todos los meses del año de 193kWh, se puede obtener el costo del consumo mensual de la residencial antes de incorporar cualquier tipo de sistema fotovoltaico o criptominería, de \$33.979,41 y un costo anual de \$407.752,89.

3.3. Selección de paneles fotovoltaicos

En la tabla 3 se comparan distintos paneles fotovoltaicos en el mercado de agosto 2022, se decidió utilizar el panel solar JA solar 445 [75] ya que este presenta una relación precio potencia más atractivo que su competencia, como se vio en el capítulo 2, a la vez que se encuentra con las certificaciones necesarias y 25 años de garantía.

Tabla 3: Comparación rentabilidad de paneles fotovoltaicos en el mercado, agosto 2022.

Nombre	Sitio web	Wp	Precio	\$/Wp
Canadian solar	rbrenergy.cl	460	\$251.000,00	545,6521739
LONGi 545w 72c	digishop.cl	545	\$296.800,00	544,587156
LONGi 455w 72c	digishop.cl	455	\$248.600,00	546,3736264
RISEN	digishop.cl	400	\$229.600,00	574
JA solar 540	tritec-center.cl	540	\$249.276,00	461,6222222
JA solar 450	tritec-center.cl	450	\$210.694,00	468,2088889
JA solar 445	solartex.cl	445	\$157.550,00	354,0449438

3.4. Generación eléctrica sistemas On-grid.

Se introdujeron los datos técnicos del panel solar JA solar 445 [75] en el explorador solar [18] mencionado en el capítulo 2 y se obtuvo la tabla 20 que se adjunta en el anexo B.

A partir de esta tabla 20, se busca que el ahorro anual que produce el sistema fotovoltaico se acercara lo máximo posible al costo eléctrico anual de la residencial sin sistema F.V, obteniendo así un sistema de 3kW. El procedimiento de como se concluyo esta potencia se desarrolla a continuación.

3.4.1 On-grid 3kW

Para el siguiente procedimiento se puede observar la hoja llamada “3kW” del Excel adjunto [68] para un mejor entendimiento.

Se obtuvo que para 7 paneles de 445Wp se obtiene una Pmax de 3115Wp, que al conectarse los 7 paneles F.V en serie se obtiene un Vmp de 316,26V, una Imp de 9,85A y un ancho del arreglo fotovoltaico de 7132mm (se consideran 2 cm entre cada panel y en extremos).

3.4.1.1 Selección del inversor.

En la tabla 21 del anexo B se muestra una comparación de inversores para una potencia de 3kW, el inversor que cumple con los requerimientos de certificación, Pmax, Vmp y Imp, a mejor precio es el GW3000-XS [76] con una Eficiencia de 97,6%.

3.4.1.2 Generación vs consumo.

Como anteriormente se obtuvo la potencia de consumo de la residencial por hora y gracias a la tabla 20 del anexo B tenemos la generación eléctrica de los 7 paneles por cada mes, se obtienen las curvas de la figura 30, que al promediar las curvas de generación mensuales se obtiene la figura 31.

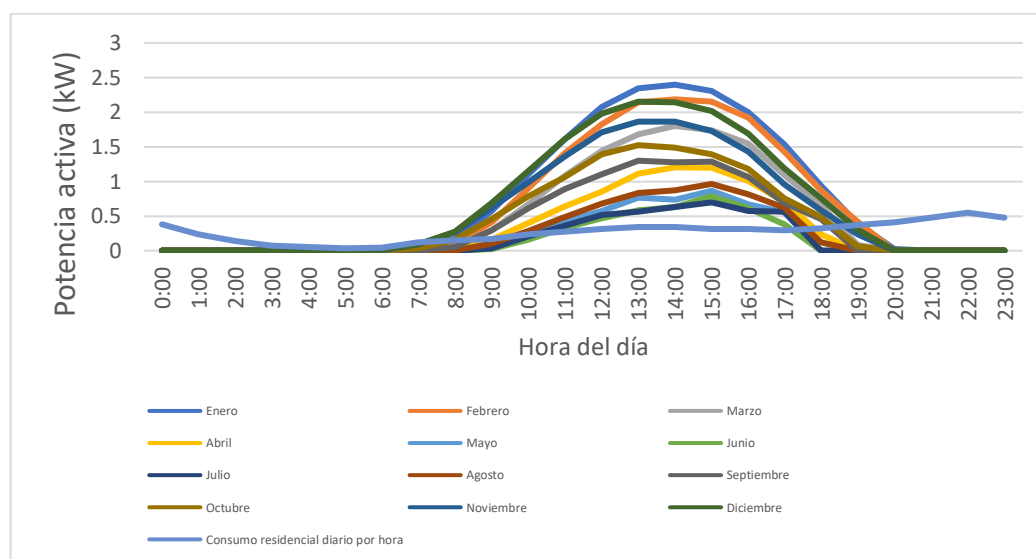


Figura 30: Comparación generación fotovoltaica promedio cada mes por hora y consumo promedio mensual por hora, 3kW

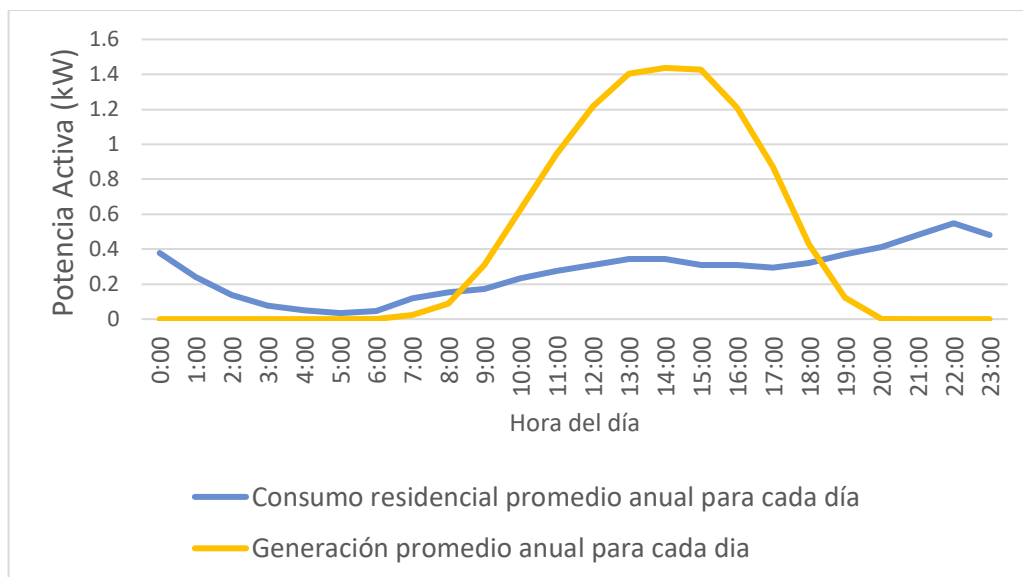


Figura 31: Comparación entre generación fotovoltaica promedio anual por hora y consumo promedio anual por hora, 3kW

3.4.1.3 Ahorro anual

De los datos de la figura 31 se obtuvo que la generación total mensual promedio es de 303,37kWh y por otra parte el consumo total mensual promedio es de 193kWh.

Hay momentos donde la residencial consume energía desde el sistema F.V y otros donde el sistema F.V genera más energía de la consumida que es inyectada a la red, para ello se tomaron los puntos donde se intersectan las curvas del consumo residencial con la generación desde paneles, es decir a las 9:00 am y a las 18:00 pm.

Obteniendo que la generación entre las 9:00 y 18:00 es de 286,76kWh y el consumo en las mismas horas es de 82,05kWh. Luego con las ecuaciones 3.1, 3.2 y 3.3 obtenemos tabla 4 donde se muestra una comparación entre la energía generada y consumida para los horarios analizados (que también se puede observar en la hoja 3kW del Excel adjunto [68]).

$$Energía\ inyectada_{red} = Energía_{generada\ entre\ 9\ y\ 18\ hrs} - Energía_{consumida\ entre\ 9\ y\ 18\ hrs} \quad (3.1)$$

$$Energía_{consumida\ desde\ F.V} = Energía_{generada\ total} - Energía_{generada\ entre\ 9\ y\ 18hrs} + Energía_{consumida\ entre\ 9\ y\ 18\ hrs} \quad (3.2)$$

$$Energía_{consumida\ desde\ red} = Energía_{consumida\ total} - Energía_{consumida\ desde\ F.V} \quad (3.3)$$

Tabla 4: Distribución de la energía mensual promedio para sistema On-grid 3kW

Generado total (kWh)	303,3719945
Generado entre 9 y 18(kWh)	286,7660659
Inyectado a la red total(kWh)	204,7127894
Consumido entre 9 y 18(kWh)	82,05327651
Consumido total(kWh)	193
Consumido desde paneles(kWh)	98,65920515
Consumido desde red(kWh)	94,34079485

Asimismo, gracias a la tabla 4 y en combinación con las tarifas de SAESA se puede obtener los costos asociados al sistema fotovoltaico como se ve en la tabla 5.

Tabla 5: Consumos y ahorros anuales para sistema On-grid 3kW

	Energía inyectada \$	Energía consumida red \$	Energía consumida desde paneles \$	Costo fijo mensual red \$
mes	\$15.324	\$15.962	\$16.693	\$1.324
anual	\$183.888	\$191.548	\$200.316	\$15.888

Así sumando el ahorro de la energía inyectada con el ahorro de la energía consumida desde los paneles F.V, se obtiene un ahorro anual de \$384.204 con el sistema F.V de 3kW, pagando solo \$23.549 a SAESA anualmente, frente a los \$407.753 si no se tuviera la instalación F.V anualmente.

El procedimiento anterior fue realizado varias veces hasta encontrar que con 7 paneles JA solar 445 [75] y el inversor GW3000-XS [76] con una Eficiencia de 97,6%, se igualaba de manera más cercana el ahorro anual frente al consumo anual de la residencial sin sistema F.V en pesos chilenos, por ello el primer sistema analizado fue de 3kW. Esto se puede observar en la figura 32.

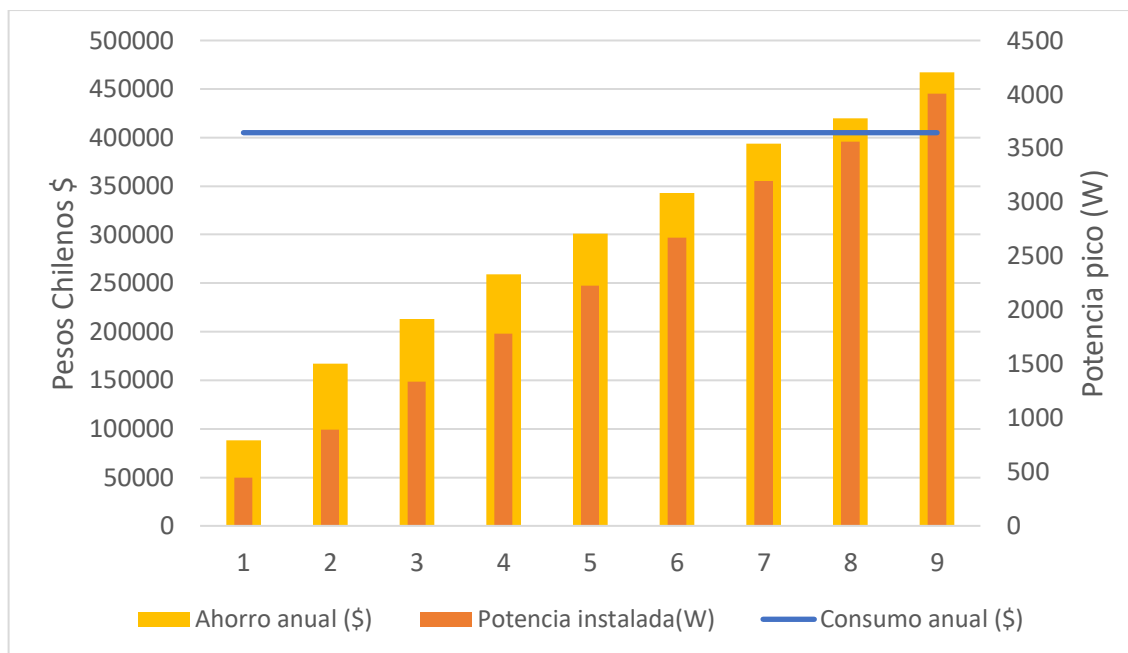


Figura 32: Ahorro anual en pesos versus consumo anual en pesos según cantidad de paneles, elaboración propia

3.4.2 On-grid 6kW

Al buscar inversores monofásicos On-grid en el mercado, 6kW es la máxima potencia donde las marcas aún compiten por precio, para los proveedores mencionados al principio del capítulo, por ello es la siguiente potencia de sistema fotovoltaico a analizar.

Repetiendo la misma metodología que se realizó para el sistema On-grid 3kW, pero esta vez para 14 paneles JA solar 445 [75] con el inversor GW6000D-NS [77] se obtuvo la tabla 6 y la figura 33.

Tabla 6: ahorro anual mínimo y máximo, On-grid 6kW

ahorro anual mínimo	\$545.021,14
ahorro anual máximo	\$1.231.925,71

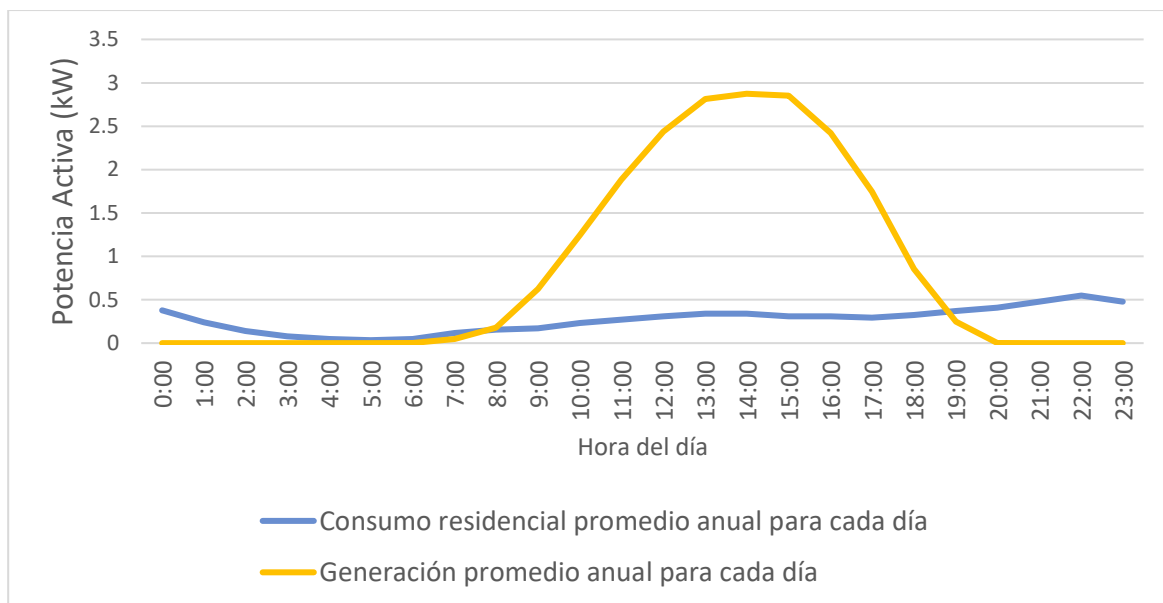


Figura 33: Comparación entre generación fotovoltaica promedio anual por hora y consumo promedio anual por hora, 6kW

Luego se tomaron los puntos donde se intersectan las curvas del consumo residencial con la generación desde paneles, es decir a las 8:00 am y a las 19:00 pm, asimismo siguiendo el mismo procedimiento que en el sistema de 3kW junto a las ecuaciones (3.1), (3.2) y (3.3). Se obtiene la tabla 7 y 8.

Tabla 7: Distribución de la energía mensual promedio para sistema On-grid 6kW

Generado total	606,7439891
Generado entre 8 y 19	599,637777
Inyectado a la red	501,338363
Consumido entre 8 y 19	98,29941396
Consumido total	193
Consumido desde paneles	105,405626
Consumido desde red	87,59437396

Tabla 8: Consumos y ahorros anuales para sistema On-grid 6kW

	Energía inyectada \$	Energía consumida red \$	Energía consumida desde paneles \$	costo fijo mensual red \$
Mensual	\$37.528	\$14.821	\$17.835	\$1.324
Anual	\$450.338	\$177.851	\$214.014	\$15.888

Así sumando el ahorro de la energía inyectada con el ahorro de la energía consumida desde los paneles F.V, se obtiene un ahorro anual de \$664.353 con el sistema F.V de 6kW, recibiendo \$256.600 de SAESA al año, frente al pago de \$407.753 si no se tuviera la instalación F.V.

3.4.3 On-grid 8kW

Se encontró un inversor monofásico On-grid Fronius 8.2 [78] con una potencia mayor a la que venden los otros fabricantes con las certificaciones necesarias y se tomo la decisión de incluirlo para tener más punto de comparación en resultados, asimismo ya que el precio de este inversor se eleva considerablemente, también se agrego la variante de usar 2 inversores GW4200D-NS de 4.2kW cada uno.

Ya que ambas variantes tienen el mismo consumo y capacidad de generación el análisis siguiente cumple para ambas variantes.

Se repitió el proceso que se realizó para el sistema On-grid 3kW y 6kW, pero esta vez para 18 paneles JA solar 445 [75] se obtuvo la tabla 9, 10 y 11. Se pueden observar las figuras obtenidas en el Excel adjunto [68] en la hoja llamada "8kW".

Tabla 9: ahorro anual mínimo y máximo, On-grid 8kW

ahorro anual mínimo	\$700.741,46
ahorro anual máximo	\$1.583.904,49

Tabla 10: Distribución de la energía mensual promedio para sistema On-grid 8kW

Generado total	780,0994145
Generado entre 8 y 19	770,9628561
Inyectado a la red	672,6634422
Consumido entre 8 y 19	98,29941396
Consumido total	193
Consumido desde paneles	107,4359723
Consumido desde red	85,56402766

Tabla 11: Consumos y ahorros anuales para sistema On-grid 8kW

	Energía inyectada \$	Energía consumida red \$	Energía consumida desde paneles \$	costo fijo mensual red \$
Mensual	\$50.353	\$14.477	\$18.178	\$1.324
Anual	\$604.235	\$173.728	\$218.137	\$15.888

Así sumando el ahorro de la energía inyectada con el ahorro de la energía consumida desde los paneles F.V, se obtiene un ahorro anual de \$822.371 con el sistema F.V de 8kW, recibiendo \$414.619 de SAESA al año, frente al pago de \$407.753 si no se tuviera la instalación F.V.

3.5. Incorporación de criptomneros.

A los sistemas anteriormente analizados se incorporo un Criptomnero, el Bitcoin Miner S19 XP [54].

Aumentando el consumo de la residencia desde 6433Wh/día a 81.265Wh/día, como se observa en la figura 34 que representa una comparación de generación de los sistemas F.V frente al nuevo consumo diario.

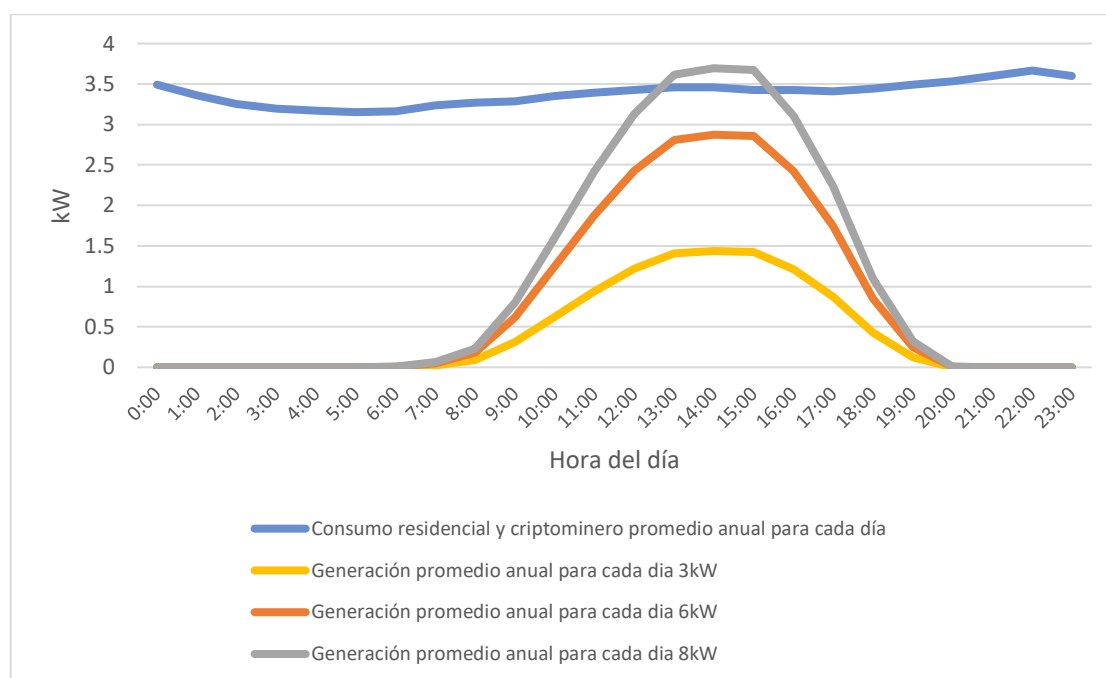


Figura 34: Comparación entre consumo residencial con criptomneros promedio anual cada hora y generación fotovoltaica promedio anual cada hora, según potencia del sistema F.V

Como se observa en la figura 34, ahora el ahorro anual para el sistema de 3kW es el máximo posible, ya que la curva amarilla nunca supera el umbral del consumo diario, al igual que para el sistema de 6kW.

Para el sistema de 8kW que si supera el umbral del consumo diario entre las 13:00 pm y las 15:00 pm, se utilizan las ecuaciones (3.1), (3.2) y (3.3) para obtener su ahorro anual.

Finalmente se comparan los ahorros anuales de los 3 sistemas con un criptomneros incorporado en la tabla 12.

Tabla 12: Ahorro anual para sistemas F.V en varias potencias con un Criptomero conectado

Ahorro anual	
Sistema 3kW con Criptomero	\$615.962,86
Sistema 6kW con Criptomero	\$1.231.925,71
Sistema 8kW con Criptomero	\$1.567.655,14

3.6. Incorporación de baterías.

El motivo de incorporar baterías es comparar si es más rentable almacenar la energía generada por el sistema F.V que no es consumida a comparación de inyectarla directamente en la red.

Para la incorporación de baterías en los sistemas anteriores es necesario de un inversor híbrido, ya que el sistema debe ser capaz de operar en modalidad Off-grid y On-grid como se observo en el capítulo 2 en la sección 2.2.2.3. En las paginas mencionadas al principio del capítulo solo se encontraron inversores híbridos certificados para el sistema de 3kW y 6kW, en ambos casos los inversores incluyen un regulador de carga incorporado, con lo cual no será necesario de uno adicional.

3.6.1 Híbrido 3kW

El análisis de este sistema F.V al igual que los demás se adjunta en un archivo Excel [68] para mejor entendimiento, este sistema específicamente en la hoja llamada “3kW-B”.

Gracias a la tabla 4 de la sección 3.4.1.3 se obtiene que el consumo diario desde la red es de 3,14kWh para un sistema F.V de 3kW, por ello se dimensionan las baterías para suplir este consumo, considerando el inversor seleccionado para este sistema el GW3048-EM [79], que tiene una tensión nominal de baterías de 48V.

Una vez contemplado la capacidad de baterías necesaria y el voltaje del banco de baterías a conectar al inversor, se compararon precios y características en las paginas mencionadas al principio del capítulo para incorporar baterías, se puede observar en la tabla 22 del anexo B una comparación entre baterías a escoger para el sistemas F.V híbrido.

La batería seleccionada fue la Pylontech US3000 [80] con una capacidad de 74Ah, un voltaje de 48V, una profundidad de descarga del 90% con 6000 ciclos de carga, que gracias a la ecuación 2.7 de la sección 2.2.4.4. se obtiene que la batería tiene una energía útil de 3,2kWh.

Hay meses de invierno donde las baterías no se llenaran completamente y otros meses de verano donde sobrara energía y se inyectara en la red. Un resumen de esto se observa en tabla 23

anexada en el anexo B o también en el Excel adjuntado [68] en la hoja llamada “3kW-B” y la tabla llamada “Ahorro mensual para cada mes”.

En la tabla 23 se observa la energía diaria generada para cada mes, la energía diaria generada entre las 9:00 am y 18:00 pm que es cuando el sistema F.V tiene una potencia de generación mayor a la potencia de consumo, la energía almacenada en baterías y la energía inyectada. Para hacer esta tabla se utilizo una función condicional en Excel, la función condicional es la ecuación 3.4 que se señala a continuación.

$$Energía_{almacena} en baterías diaramente mes N = SI(Y(Energía_{generada} entre 9 y 18hrs mes N - Energía_{consumida} entre 9 y 18 hrs \geq Energía_{consumida} red); Energía_{consumida} red; Energía_{generada} entre 9 y 18hrs mes N - Energía_{consumida} entre 9 y 18 hrs)$$

(3.4)

Donde el mes N sería cada mes del año, lo que hace la ecuación 3.4 es:

Si la energía generada entre 9 y 18 horas menos la energía consumida entre 9 y 18 horas es mayor a la capacidad de las baterías entonces la energía almacenada en baterías es de 3,14kWh.

Caso contrario si la energía generada entre 9 y 18 horas menos la energía consumida entre 9 y 18 horas es menor a la capacidad de las baterías entonces la energía almacenada en baterías es la energía generada entre 9 y 18 horas menos la energía consumida entre 9 y 18 horas.

Luego se obtiene la energía inyectada con la ecuación 3.5

$$Energía_{inyectada} diaria mes N = Energía_{consumida} entre 9 y 18 hrs para mes N - Energía_{almacenada} en baterías diaramente mes N$$

(3.5)

Finalmente junto a las tarifas de SAESA se obtiene un ahorro mensual para cada mes como se ve en la tabla 23 del anexo B, que al sumarse los ahorro de todos los meses, se obtiene un ahorro anual de \$477.001,18

3.6.2 Híbrido 6kW

El sistema de 6kW con baterías se encuentra simulado en el Excel adjunto [68] específicamente en la hoja llamada “6kW-B”.

Gracias a la tabla 7 de la sección 3.4.2 se obtiene que el consumo diario desde la red es de 2,91kWh para un sistema F.V de 6kW, al ser un valor cercano al sistema de 3kW se utilizaran las mismas baterías para su simulación. Por otra parte el inversor seleccionado para este sistema fue el GW5048-EM [79] con una tensión nominal de baterías de 48V.

Luego siguiendo los mismos pasos que en el ítem anterior, pero esta vez tomando en cuenta que la curva de generación del sistema F.V supera a la curva de consumo entre las 8:00 am y 19:00 horas se obtiene la tabla 24 adjuntada en el anexo B. Obteniendo un ahorro anual de \$746.776,77.

3.6.3 Híbrido 3kW y 6kW con Criptominería

Como se observa en la figura 33 de la sección 3.5 la curva de generación promedio diaria por el sistema F.V en el caso de 3kW y 6kW no supera la curva de consumo promedio diario por la residencial junto al criptominerero, con lo cual no se incorporaron baterías para estos casos.



Capítulo 4. Comparación de rentabilidad económica

En este capítulo se comparan los ahorros anuales que producen los sistemas analizados en el capítulo 3, Asimismo se describe el listado de presupuesto para cada sistema F.V con el propósito de obtener la inversión inicial en cada sistema F.V, se puede observar a detalle en el archivo adjunto Excel [68].

Luego se proyecta la rentabilidad de criptominería en el tiempo y se relaciona con la inversión inicial de los sistemas F.V que incluyen criptominería.

Finalmente se hace una comparación entre los sistemas F.V analizados, su inversión inicial, tiempo de recuperación de la inversión y cuantas ganancias o ahorros generan una vez pagada la inversión inicial, dependiendo del precio de Bitcoin cuando corresponda.

Para realizar el estudio de rentabilidad económica se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se considera que el precio de la energía por parte de SAESA es invariable en el tiempo
- Se considera que la persona dueña de la residencia se dedicara a hacer limpieza de los paneles.
- Se considera que la vida útil de los paneles es de 25 años.
- Se considera que la vida útil de la batería incorporada en los sistemas es de 16,4 años.
- Se considera que la generación fotovoltaica anual es constante en el tiempo.

4.1. Ahorros anuales

En la tabla 13 se comparan los ahorros anuales de cada sistema F.V analizado en el capítulo anterior.

Tabla 13: Comparación ahorro anual que produce cada sistema F.V respectivamente

Potencia F.V	Tipo de sistema	Incluye Criptominería	Ahorro anual
3kW	On-grid	No	\$384.204,23
	On-grid	Si	\$615.962,86
	Híbrido	No	\$477.001,18
6kW	On-grid	No	\$664.352,53
	On-grid	Si	\$1.231.925,71
	Híbrido	No	\$763.519,52
8kW	On-grid	No	\$822.371
	On-grid	Si	\$1.567.655

Se observa que para toda potencia F.V cuando se incluye sistemas de almacenamiento el ahorro anual se incrementa, esto sucede ya que al incorporar baterías una parte de la energía que anteriormente era inyectada a la red a un valor de \$74,86 por cada kWh, ahora es usado para suplir el consumo de la residencial, ahorrando \$169,2 por cada kWh.

Por otra parte se observa que para toda potencia F.V cuando se incluye Criptominería el ahorro aumenta aún más que en los sistema fotovoltaicos híbridos, esto sucede ya que toda la energía, no solo una parte, generada por el sistema F.V es consumida directamente, ahorrando a un precio \$169,2kWh. Al menos para el sistema de 3kW y 6kW. Cabe destacar que son ahorros anuales y no se está considerando la inversión inicial del sistema F.V que se analiza en la siguiente sección.

4.2. Listado de presupuesto

Se adjunta el listado de presupuesto para el sistema F.V On-grid 3kW en la tabla 24 del anexo C, también en el archivo Excel adjunto [68] se puede observar el listado del presupuesto para cada sistema F.V analizado, en la tabla 14 se detalla el nombre de la hoja que incluye el listado de presupuesto para cada sistema.

Tabla 14: Nombre de hoja en Excel adjunto [68] para listado de presupuesto en cada sistema F.V

Potencia F.V	Tipo de sistema	Incluye criptominería	Nombre de hoja
3kW	On-grid	No	P-3kW
	On-grid	Si	P-3kW-C
	Híbrido	No	P-3kW-B
6kW	On-grid	No	P-6kW
	On-grid	Si	P-6kW-C
	Híbrido	No	P-6kW-B
8kW	On-grid	No	P-8kW
	On-grid	Si	P-8kW-C
	On-grid 2 inversores	No	P-8kW-2
	On-grid 2 inversores	Si	P-8kW-C-2

Para los listados de presupuesto se estimo una mano de obra con 2 ayudantes y 1 jefe obra, y la comida para ellos durante los días de instalación, también se delego la tarea de tramitación con compañía eléctrica, el juego de planos y memorias (TE-4) a ingeniero eléctrico externo, también una utilidad del 15% para la empresa instaladora del sistema F.V, esta utilidad del 15% es con respecto al gasto total sin contar el Criptominerero.

También a medida que se aumentaba la potencia del sistema F.V se cambio el inversor, el numero de paneles, estructura de la instalación y la cantidad de días de mano de obra. El grosor del cable no se aumento ya que sirve para los 3 niveles de potencia estudiados en los sistemas F.V.

4.2.1 Sistema F.V On-grid sin Criptominería

El listado de presupuesto es similar para cada sistema F.V con algunas variaciones, primero se describirá el detalle para un sistema F.V On-grid y luego se detallarán las diferencias que tienen los sistemas Híbridos y/o con criptominería con respecto a este.

- 1) El listado de presupuesto comienza detallando el inversor y el panel F.V seleccionado.
- 2) Estructura.
 - a. Riel: Soporte de paneles.
 - b. Grapa final: Para sostener paneles contra el riel en los extremos del riel.
 - c. Grapa media: Para sostener paneles contra el riel, ubicada entre paneles.
 - d. Platina dentada: Para asegurar que el marco de los paneles este en contacto con el riel.
 - e. Anclaje a riel: Para fijar rieles al techo de la residencial.
 - f. Clips: Para una mejor distribución de cables en el arreglo.
 - g. Unión de riel: Para unir los rieles entre si.
- 3) Cableado.
 - a. Cable solar: para llevar energía de paneles a inversor en c.c.
 - b. Conector tipo MC4, par: Para conectarse al inversor con cable solar.
 - c. Cable Araflex RV-K: Para llevar energía del inversor al tablero en c.a.
 - d. Cable cobre desnudo awg: Para la conexión a tierra de paneles.
- 4) Canalización.
 - a. Conduit galvanizado EMT: para tramos largos.
 - b. Curva 90° EMT: para doblar en 90° la canalización.
 - c. Copla EMT: para unir los conduit EMT.
 - d. Terminal EMT: para pasar de conduit EMT a caja E.G
 - e. Caja E.G: Para conexiones en su interior.
 - f. Abrazadera: para unir canalización a pared.
 - g. Tubería flexible pesada: para tramos cortos con muchas curvas.
 - h. Conectores rectos: para unir tubería flexible pesada a caja.

- 5) Tablero con lo necesario según normativa.
- 6) Puesta a tierra.
 - a. Barra copper: Para conexión a tierra del sistema F.V
 - b. Camarilla de registro: para ocultar barra copper.
- 7) Ferretería necesaria general
- 8) Mano de obra
 - a. 2 ayudantes.
 - b. Jefe de obra.
 - c. Comida para trabajadores.
- 9) Señalética de seguridad, mostrada en anexo A
- 10) Pago por tramitación con compañía eléctrica, juego de planos y memorias (TE-4)
- 11) Utilidad para la empresa que instala el sistema F.V

4.2.2 Sistema F.V Híbrido sin Criptominería

Se cambio el inversor a uno híbrido, se incluyeron baterías y se agrego cableado para las baterías.

4.2.3 Sistema F.V On-grid con Criptominería

Se incluyo un criptomonero, aceite dieléctrico y una bomba para hacer circular el aceite.

4.3. Inversión inicial para cada sistema F.V

Una vez se tiene el listado de presupuesto para cada sistema F.V, se puede calcular la inversión inicial para cada uno, la tabla 15 muestra un resumen de ello.

Tabla 15: Resumen inversión inicial para cada sistema F.V analizado

Nombre del sistema F.V	Inversión inicial
On-grid simple 3kW sin baterías	\$4.078.150
Híbrido simple 3kW con baterías	\$7.054.159
On-grid simple 6kW sin baterías	\$6.691.082
Híbrido simple 6kW con baterías	\$ 9.671.073
On-grid simple 8kW sin baterías	\$ 9.486.736
On-grid simple 8kW sin baterías y doble inversor	\$ 9.007.761
On-grid con criptominería 3kW sin baterías	\$16.705.858

On-grid con criptominería 6kW sin baterías	\$18.946.513
On-grid con criptominería 8kW sin baterías	\$22.424.877
On-grid con criptominería 8kW sin baterías y doble inversor	\$ 20.756.036

Dado que también se tiene el ahorro anual de los sistemas y algunos de ellos no tienen criptominereros incorporados, se puede calcular el tiempo de recuperación de inversión de estos con la ecuación 4.1, notar que es posible hacer este cálculo también para los sistemas con baterías ya que la batería seleccionada tiene una vida útil de 6000 ciclos al 90% de capacidad, que se puede traducir en 16 años aproximadamente.

$$\text{Años recuperación de inversión} = \frac{\text{Inversión inicial}}{\text{ahorro anual}} \quad (4.1)$$

En la tabla 16 se adjunta un resumen con la inversión inicial y del tiempo que tardaría cada sistema F.V sin criptominería en recuperar su inversión inicial.

Tabla 16: Resumen inversión inicial y recuperación de inversión en años para sistemas F.V sin criptominería

Nombre del sistema F.V	Inversión inicial	Tiempo recuperación inversión
On-grid 3kW sin baterías	\$4.078.150,53	≈10,6 años
Híbrido 3kW con baterías	\$7.054.159,05	≈15,3 años
On-grid 6kW sin baterías	\$6.691.082,32	≈10 años
Híbrido 6kW con baterías	\$ 9.671.073	≈12,6 años
On-grid 8kW sin baterías	\$ 9.486.736	≈11,5 años
On-grid 8kW sin baterías y doble inversor	\$ 9.007.761	≈11 años

4.4. Proyección del precio de Bitcoin

Se tomo el precio de Bitcoin mes a mes desde casi su origen [81], desde el 1 de octubre del 2012 hasta el 1 de septiembre del 2022, obteniendo la figura 35.

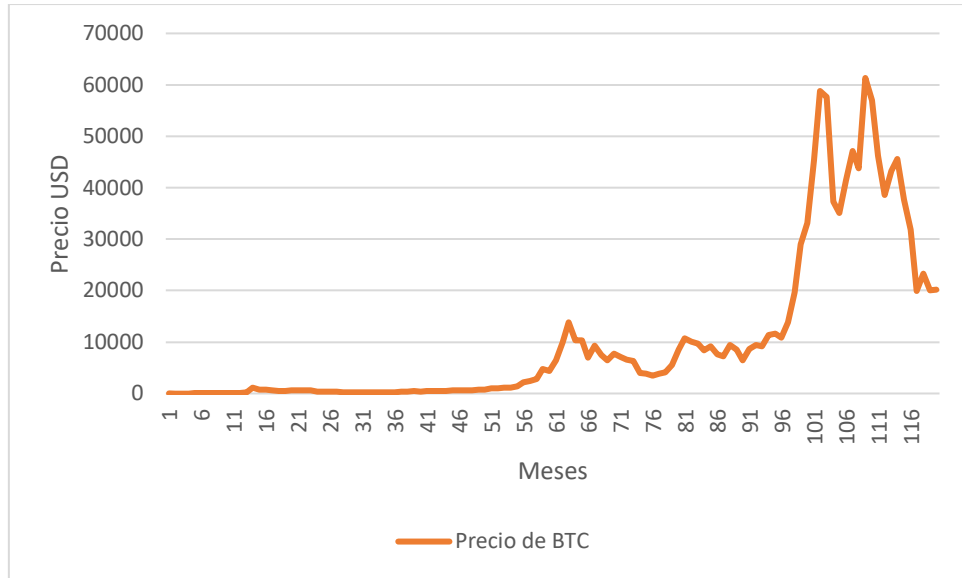


Figura 35: Evolución histórica del precio de BTC

Una vez teniendo los datos del precio histórico de Bitcoin se proyectó el precio hacia el futuro con una regresión lineal y logarítmica como se ve en la figura 36 con una escala lineal del precio de Bitcoin contra el dólar estadounidense y en la figura 37 con una escala logarítmica del precio de Bitcoin contra el dólar estadounidense. Notar que la figura 36 y 37 es la representación de los mismos datos solo que en distinta escala.

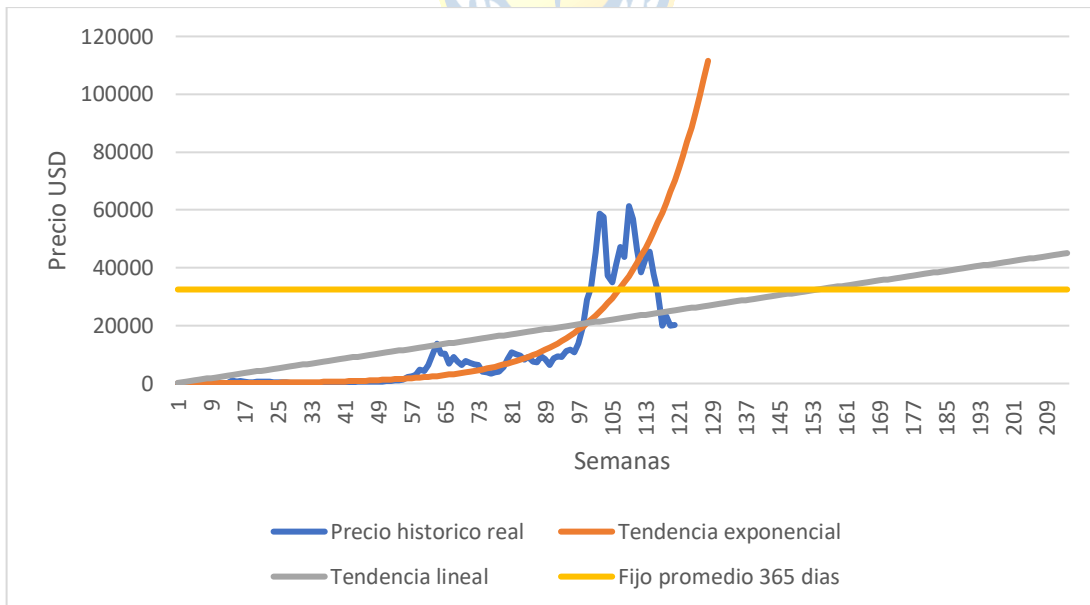


Figura 36: Proyección precio BTC escala lineal.

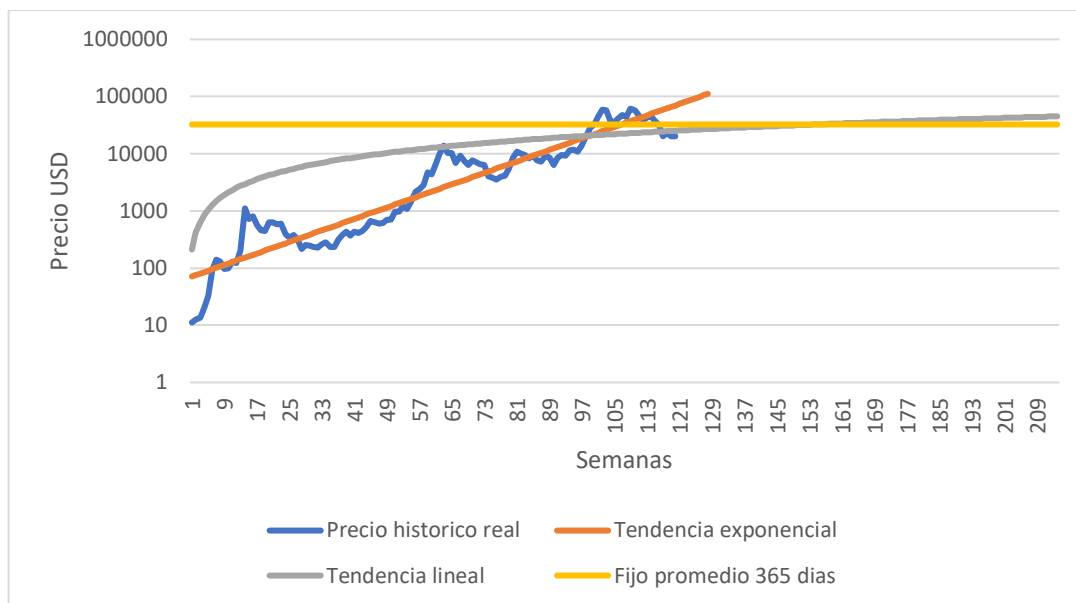


Figura 37: Proyección precio BTC escala logarítmica.

Se determinó que el precio de Bitcoin se correlaciona con un análisis fundamental y análisis técnico y esto lo hace impredecible.

A pesar que en la figura 36 la tendencia exponencial se asemeja a la evolución del precio, en la figura 35 con escala lineal, parece poco probable.

Por ello se optó por no utilizar estas proyecciones y usar otra manera para obtener la rentabilidad de los sistemas F.V con criptominería, haciendo proyecciones de rentabilidad para distintos precios de Bitcoin. Asumiendo que la competencia de minado mundial se contrarresta con el alza de precios en cada halving de Bitcoin cada 4 años.

- Se tomó un precio fijo de 32500USD por cada Bitcoin, que es el precio promedio de la moneda en el último año.
- Se tomó un precio fijo de 69000USD por cada Bitcoin, que es el precio máximo histórico de la moneda.
- Se buscó el precio en USD de cada Bitcoin para el cual se recupera la inversión en la misma cantidad de tiempo que para el sistema F.V On-grid 3kW, es decir 10,6 años.
- Se buscó el precio en USD de cada Bitcoin para el cual incluir criptomineros en el sistema F.V no sea rentable. Es decir que las pérdidas aumentan en el tiempo.

4.5. Rentabilidad de sistemas F.V con Criptominería.

En la tabla 17 se detalla el nombre de la hojas del Excel adjunto [68] donde se analiza la rentabilidad del sistema F.V con Criptominería para cada potencia. No fue anexada la tabla en anexos debido a su gran tamaño.

Tabla 17: Nombre de hoja en Excel adjunto [68] donde se obtiene la rentabilidad de sistemas F.V con Criptominería

Potencia F.V	Nombre de hoja
3kW	R-3kW-C
6kW	R-6kW-C
8kW	R-8kW-C
8kW doble inversor	R-8kW-C-2

El estudio de rentabilidad se proyectó desde Septiembre 2022 hasta Abril 2033, teniendo en consideración los consumos eléctricos de la residencial junto al criptominerero, los ahorros del sistema F.V en análisis y la generación de Bitcoin cada mes por parte del criptominerero.

Luego se obtuvo el retorno de la inversión (ROI) del sistema gracias a la ecuación 4.2

$$ROI_{Mes N} = \frac{Bitcoin_{acumulado} + Ahorros_{acumulados} - Consumo_{acumulado} - Inversión_{inicial}}{Inversión_{inicial}} * 100 \quad (4.2)$$

Donde mes N es cada mes del año respectivamente. Cuando el ROI es mayor a 0 significa que las ganancias superan a la inversión inicial, por tanto se ha recuperado la inversión.

En el Excel adjunto [68] en cualquiera de las hojas mencionadas en la tabla 17, En la casilla B22 se ingresa el precio de Bitcoin y la casilla B24 entrega los años de retorno de inversión gracias a la función CONTAR.SI de Excel.

La función CONTAR.SI sirve para contar el número de celdas que cumplen un criterio. En este caso cuenta los meses con un ROI menor a 0 y le suma un mes, para obtener así los años de retorno de inversión. En la sección 4.7 se comentan estos resultados.

4.6. Criptominerero conectado directo a red.

En la hoja llamada “Criptominerero-red” del Excel adjunto [68] se puede observar un análisis que se hizo para obtener la rentabilidad en el tiempo para un criptominerero conectado directamente a la red, no fue anexada en anexos debido a su gran tamaño. Se utilizó la misma ecuación (4.2) para

obtener su ROI, con la diferencia que esta vez la variable “ahorros acumulados” en la ecuación (4.2) es igual a 0.

4.7. Análisis de resultados.

Se ha adjuntado en el anexo C las tablas 26, 27 y 28 que detallan los resultados finales de rentabilidad para cada sistema F.V analizado. También se pueden observar las tablas en la hoja del Excel adjunto [68] llamada “Resumen rentabilidad”. Con los datos obtenidos se ha calculado el retorno por inversión en el tiempo para cada uno de sistemas F.V estudiados, resultando la figura 38. También se ha graficado la inversión inicial y los años para recuperar la inversión para cada sistema F.V, resultando la figura 39.

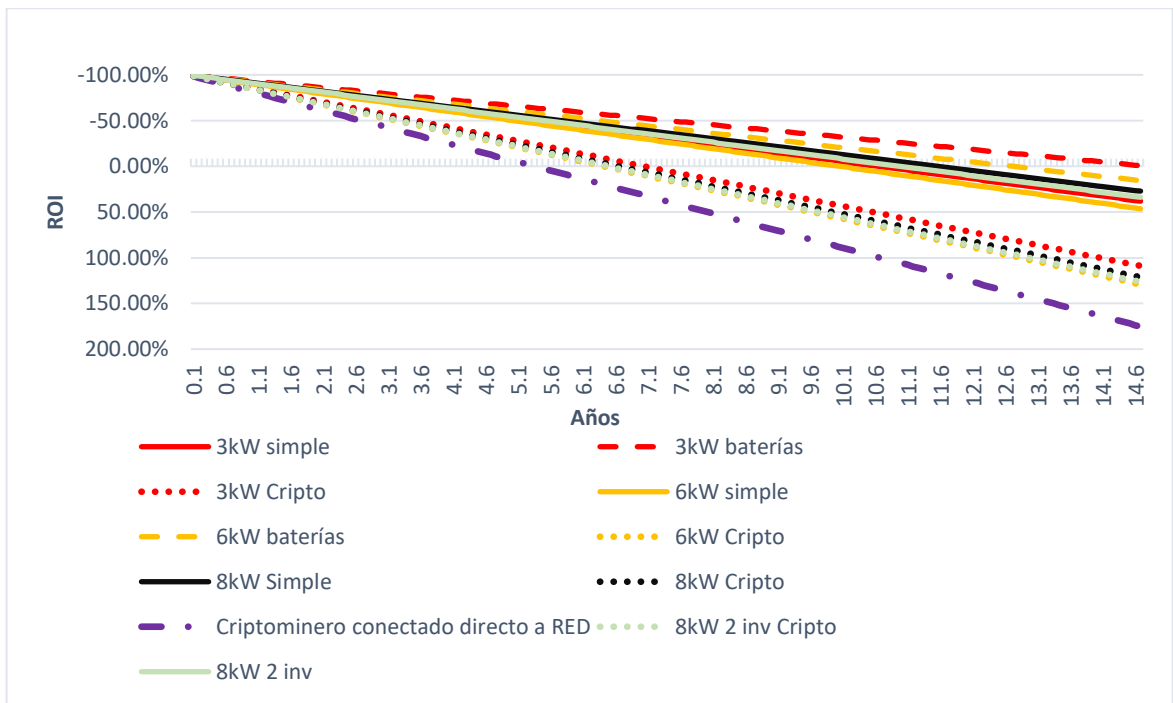


Figura 38: ROI en el tiempo para cada sistema F.V analizado, con un precio de BTC en 32500USD

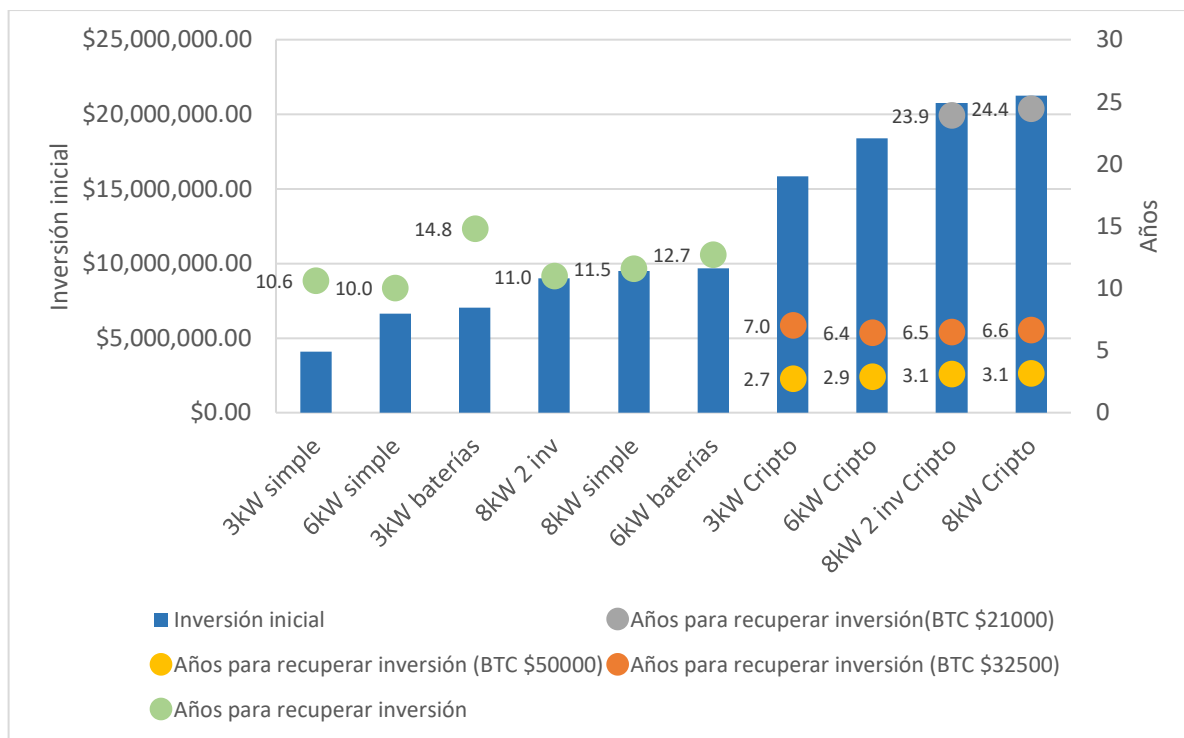


Figura 39: Inversión inicial y años para recuperar inversión en cada sistema F.V analizado, para distintos precios de BTC.

Se observa en los sistemas On-grid, que hay poca variación en los años para recuperar la inversión inicial, una variación del 8,7% entre los sistemas de 3kW simple y 8kW simple. Esto sucede a pesar de haber una gran variación en su inversión inicial en estos sistemas, una variación del 132,6%. Esto significa que si un cliente promedio desea instalar un sistema fotovoltaico On-grid para su residencial, no es fuertemente determinante la potencia que este escoja para recuperar la inversión lo más rápido posible. Por lo tanto si busca realizar la mínima inversión posible debe instalar un sistema fotovoltaico On-grid de 3kW, o si desea recuperar la inversión unos pocos meses más rápido debe instalar el sistema On-grid de 6kW. Esta situación ocurre dado que a una mayor inversión inicial el sistema fotovoltaico genera mayor energía, asimismo mayor cantidad de esa energía se verterá a la red en vez de ser consumida por el cliente residencial, siendo así el punto ideal el sistema de 6kW On-grid.

En este trabajo solo se analizaron sistemas entre 3kW y 8kW de potencia. En cuanto a sistemas de menor potencia o mayor potencia no se incluyeron por simplicidad de la memoria, ya que se estima que sus resultados indicarían un peor rendimiento en el retorno por inversión, esto debido que a una menor potencia de 3kW disminuye en porcentaje considerable la energía generada pero no así su inversión inicial, asimismo a una mayor potencia de 8kW la inversión inicial aumenta

considerablemente y menor porcentaje de la energía generada es consumida. Asimismo, es posible en un futuro analizar estos parámetros para obtener datos más precisos.

Por otra parte, incorporar baterías en un sistema F.V no es rentable, es útil para cuando se desea mejorar la confiabilidad del sistema F.V pero no cuando se desea mejorar su rentabilidad, esto ocurre porque las baterías si generan un mayor ahorro anual, pero la inversión es aún mayor en porcentaje, por ejemplo para el sistema 3kW con baterías su ahorro anual es un 24% mayor que en su versión sin baterías, pero su inversión inicial es 73% mayor. Esto se ve disminuido en la versión de 6kW con baterías. Con lo cual es más conveniente inyectar la energía que no es consumida en el sistema F.V que almacenarla para consumirla más tarde si se desea recuperar la inversión más rápidamente, independiente de la potencia o tipo de sistema F.V que se haya instalado, esto podría cambiar cuando se incorporen tarifas con precios diferenciados por horarios en Chile.

Se observa en los sistemas que incluyen criptomneros que su rendimiento económico en el tiempo es fuertemente influenciado por el precio de Bitcoin, si el precio de Bitcoin es de 21.000 dólares, ninguno de los sistemas analizados es rentable o demoran demasiados años en serlo, para el sistema de 3kW y 6kW con Criptomnería cuando el precio de Bitcoin es de \$21.000 dólares, sus inversiones no son rentables y solo aumentan sus pérdidas.

Caso contrario si el precio de Bitcoin es de 32.500 dólares o 50.000 dólares, es muy atractivo la inversión en estos tipos de sistema F.V frente a los sistemas que no incluyen Criptomnería, ya que su inversión si es mucho mayor, pero la recuperación de inversión en el tiempo es un 65% más rápida aproximadamente, que luego de ser pagada genera ganancias anuales considerables. Asimismo para estos precios de Bitcoin, si ya se tiene en casa un sistema F.V instalado, un criptomnerero ayuda a pagar la inversión del sistema F.V en menos tiempo, ya que la energía generada por el sistema F.V no se inyectara a la red si no que será inmediatamente consumida

Se observa que para un precio de 32.500 dólares en Bitcoin, el sistema de 6kW tiene una recuperación de inversión un poco más rápida en el tiempo que los sistemas F.V de 8kW, esto sucede aún cuando el sistema de F.V de 8kW genera mayores ganancias anuales, dado que la inversión inicial del sistema F.V de 8kW es un 18,3% mayor y solo genera ganancias anuales un 9,6% mayor con respecto al sistema F.V, esto sucede porque no toda la generación en el sistema F.V de 8kW es consumida, hay un porcentaje de ella que se vierte a la red.

Otro resultado que se puede observar es que un sistema F.V no logra hacer que se pague en menos tiempo un criptomnerero, dado que el sistema F.V con criptomnería si produce ahorros anuales mayores, pero el ahorro anual no es suficiente para recuperar la inversión más rápido que si el

criptominero estuviera conectado directamente a la red, este resultado es independiente del precio de Bitcoin, ya que la variable del precio de Bitcoin solo mueve las ganancias de ambos sistemas en la misma cantidad escalar. Con lo cual si ya se tiene un criptominero en la residencia y se desea instalar un sistema F.V para recuperar la inversión del criptominero en menos tiempo, no es conveniente.



Capítulo 5. Conclusiones

5.1. Sumario

En este trabajo se hizo un análisis de requerimientos para la instalación de sistemas fotovoltaicos residenciales con y sin sistemas de almacenamiento, asimismo con y sin Criptominería, con el propósito de obtener su rentabilidad. Considerando desde la normativa nacional Chilena, tipos de sistemas fotovoltaicos, la estructura del sistema fotovoltaico, el dimensionamiento de sus equipos, la adquisición de equipos, variables de radiación, perfiles de demanda eléctrica en un cliente residencial, tarifas eléctricas, blockchain de Bitcoin y el comportamiento de su precio.

Para lograr obtener su rentabilidad, se utilizaron perfiles de carga eléctrica promedio en clientes residenciales en Osorno y el consumo promedio mensual de clientes residenciales en Osorno, así se obtuvo la curva de potencia activa en kW para un cliente residencial promedio en Osorno, luego se utilizó explorador solar del ministerio de energía para obtener la radiación disponible y capacidad de generación eléctrica por parte del sistema fotovoltaico, dependiendo de la cantidad de paneles fotovoltaicos y eficiencia del inversor, obteniendo así el ahorro anual promedio que produce un sistema fotovoltaico On-grid, luego se incorporó al consumo de la residencial un Criptominerero y finalmente la incorporación de sistemas de almacenamiento.

Luego gracias a los sitios web más reconocidos en Chile para la compra de equipos fotovoltaicos, se realizó un listado de presupuesto para cada uno de los sistemas fotovoltaicos, considerando el costo de la instalación, su estructura y equipos. También se hizo una proyección de generación de criptomonedas en el tiempo para los sistemas que incluían criptominería.

Obteniendo así resultados sobre la rentabilidad en el tiempo para cada uno de los sistemas fotovoltaicos estudiados.

Para la realización de análisis de datos y resultados se utilizó el programa Excel.

El desarrollo de este trabajo permitió comprender las mejores opciones que tienen las personas en Chile, al momento de hacer una instalación de un sistema fotovoltaico para su residencial, proponiendo incorporar criptominería según las necesidades y especulaciones del precio de Bitcoin.

5.2. Conclusiones

De acuerdo al desarrollo de este trabajo y a los resultados obtenidos, se concluye lo siguiente:

- Si un cliente promedio desea instalar un sistema fotovoltaico On-grid para su residencial, no es fuertemente determinante la potencia que este escoja para recuperar la inversión lo más rápido posible. Por lo tanto si busca realizar la mínima inversión posible debe instalar un sistema fotovoltaico On-grid de 3kW, o si desea recuperar la inversión unos pocos meses más rápido debe instalar el sistema On-grid de 6kW.
- No es conveniente incorporar baterías a un sistema fotovoltaico, si se desea recuperar la inversión en menos tiempo, se recupera la inversión entre un 20% a 30% más rápido al no incorporar baterías, incorporar baterías si es conveniente cuando lo que se desea es mejorar la confiabilidad eléctrica.
- Un sistema fotovoltaico independiente de su potencia instalada, si se ve beneficiado por un Criptomero notablemente para precios de Bitcoin sobre 32.500 dólares, recuperando su inversión un 65% más rápido en promedio, destacando que la persona puede vender sus criptomonedas cuando le sea más conveniente y el rendimiento económico del sistema esta sujeto a la volatilidad del precio de Bitcoin.
- El sistema fotovoltaico con Criptominería mas conveniente es el de 6kW.
- Si ya se tiene un criptomero en la residencia y se desea instalar un sistema F.V para recuperar la inversión del criptomero en menos tiempo, no es conveniente independiente del precio de Bitcoin.

5.3. Trabajo Futuro

De acuerdo al trabajo realizado, a los objetivos planteados y a los resultados obtenidos, se proponen los siguientes tópicos a ser tratados con el fin de seguir el desarrollo de esta memoria de título.

- Considerar llevar a cabo un análisis de rentabilidad en sistema fotovoltaicos para distintos tipos de clientes, no solo residenciales, como por ejemplo industrias.
- Considerar incluir criptominería de Bitcoin en una PMGD con sistemas fotovoltaicos, utilizando la energía que se pierde en horas de mayor radiación para alimentar criptomeros.

- Aplicar la misma metodología para obtener la rentabilidad de sistema fotovoltaicos, con o sin sistemas de almacenamiento para distintas potencias, una vez puesta en vigencia la Ley de portabilidad eléctrica.



Bibliografía

- [1] Comisión Nacional de Energía, Energía abierta, «Reporte Sector Energético,» Febrero 2022. [En línea]. Available: <http://energiaabierta.cl/reportes/>.
- [2] A. García, «Viabilidad y rentabilidad de una instalación fotovoltaica para autoconsumo,» UNIVERSIDAD DE VALLADOLID - ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES, 2019. [En línea]. Available: <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/40229>.
- [3] NAMA chile - Energías renovables para autoconsumo, «Índice de precios de sistemas fotovoltaicos (FV) Chile,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.4echile.cl/publicaciones/indice-de-precios-de-sistemas-fotovoltaicos-2020/>.
- [4] V. Rojo Vergara y V. B. Carolina, «Criptomonedas como medio de pago. Una aproximación a su naturaleza jurídica,» Universidad de Chile - Facultad de Derecho, 2020. [En línea]. Available: <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/177964>.
- [5] SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES – Unidad de Energías Renovables y Electromovilidad, «reglamento de seguridad de las instalaciones de consumo de energía eléctrica decreto 08,» [En línea]. Available: <https://www.sec.cl/reglamento-de-seguridad-de-las-instalaciones-de-consumo-de-energia-electrica-decreto-08/>.
- [6] SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES – Unidad de Energías Renovables y Electromovilidad, «RGR N°01/2020,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.sec.cl/gda/marco-regulatorio/>.
- [7] SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES – Unidad de Energías Renovables y Electromovilidad, «RGR N°02/2020,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.sec.cl/gda/marco-regulatorio/>.
- [8] SUPERINTENDECIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLE, «Pliego Técnico Normativo RIC N°02,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.sec.cl/reglamento-de-seguridad-de-las-instalaciones-de-consumo-de-energia-electrica-decreto-08/>.
- [9] SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES, «Pliego Técnico Normativo RIC N°03,» [En línea]. Available: <https://www.sec.cl/reglamento-de-seguridad-de-las-instalaciones-de-consumo-de-energia-electrica-decreto-08/>.

- 10] [SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES, «Pliego Técnico Normativo RIC N°04,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.sec.cl/reglamento-de-seguridad-de-las-instalaciones-de-consumo-de-energia-electrica-decreto-08/>.
- 11] [SUPERINTENDENCIA DE ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES, «Pliego Técnico Normativo RIC N°09 - Sistemas de autogeneración,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.sec.cl/reglamento-de-seguridad-de-las-instalaciones-de-consumo-de-energia-electrica-decreto-08/>.
- 12] [Suria energy, «SuriaEnergy,» 11 Febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.suriaenergy.com/tipos-de-instalaciones-solares-ongrid-offgrid-e-hibridos>.
- 13] [Power seven - soluciones en energía solar, «Power seven,» 2021. [En línea]. Available: <https://powerseven.com.co/tipos-de-instalacion-de-energia-solar-fotovoltaica/>.
- 14] [Solartik, «Solartik,» 14 Mayo 2020. [En línea]. Available: <https://solartik.ar/que-es-un-sistema-solar-off-grid/>.
- 15] [P. solar, «Plataforma solar,» 2021. [En línea]. Available: <https://plataformasolar.cl/sistemas-fotovoltaicos-on-grid-que-son-como-funcionan-y-que-necesitas-para-instalarlos/>.
- 16] [ECOLEED, ectotecnología inteligente, «ecoleed,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.ecoleed.cl/energia-solar-sistemas-de-generacion-fotovoltaica-hibridos/>.
- 17] [ESTUDIO SOLAR, «Curso de diseño e instalación de sistemas solares fotovoltaicos,» Febrero 2022. [En línea]. Available: <https://estudiosolar.cl/curso-energia-solar-fotovoltaica/>.
- 18] [Mi energía, «Explorador Solar,» 2022. [En línea]. Available: <https://solar.minenergia.cl/exploracion>.
- 19] [M. energía, «Recursos potenciales de Energía,» 2022. [En línea]. Available: https://potenciales.minenergia.cl/potencialesv2/?page_id=81#menu1.
- 20] [R. G. Cordero, «Sfe-solar, como varia la captación de energía solar en superficies inclinadas,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/como-varia-la-captacion-de-energia-solar-en-superficies-inclinadas/>.

- [21] Á. Alarcón Martín, «Instalación solar fotovoltaica para autoconsumo del proyecto casa al revés de Valparaíso. Proyecto Fin de Carrera / Trabajo Fin de Grado, E.T.S.I. Industriales (UPM).,» 2020. [En línea]. Available: <https://oa.upm.es/65358/>.
- [22] N. Vidal Carbonell, «Vidal Carbonell, N. (2021). Instalación fotovoltaica en vivienda aislada conectada a red con batería de litio. Universitat Politècnica de València.,» 21 20 2021. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10251/175188>.
- [23] Enel, «Enel X store, energía solar,» Mayo 2022. [En línea]. Available: <https://www.enelxstore.com/cl/es/e-shop/energia-solar>.
- [24] Rayssa, «Rayssa expertos en energía solar,» [En línea]. Available: <https://www.rayssa.cl>.
- [25] Saesa, «Calcula tu consumo,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.gruposaes.cl/saes/cliente-hogar/herramientas/calcula-tu-consumo>.
- [26] R. energy, «Empresa importadora y distribuidora de materiales fotovoltaicos.,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.rbrenergy.cl>.
- [27] A. Solar, «Como son los inversores de onda sinusoidal,» 1 Septiembre 2021. [En línea]. Available: <https://autosolar.es/aspectos-tecnicos/como-son-los-inversores-de-onda-senoidal>.
- [28] R. energy, «INVERSOR SMA SUNNY BOY 2.5 SB2.5-1VL-40 (ON-GRID),» Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.rbrenergy.cl/sma-inversor-sunny-boy-2500-tl>.
- [29] Digishop, «Digishop - Energia solar fotovoltaica,» 2022. [En línea]. Available: <http://www.digishop.cl/index.php>.
- [30] Digishop, «GoodWe GW2500-XS Inversor On-Grid monofásico SEC Perfil Chile WIFI,» Agosto 2022. [En línea]. Available: <http://www.digishop.cl/index.php?a=3163&g2=0>.
- [31] MpptSolar, «Regulador de Carga Solar: PWM o MPPT,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.mpptsolar.com/es/como-elegir-regulador-de-carga-solar.html>.
- [32] R. d. c. S. M. 150/70, «Victron Energy - Ficha técnica,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.victronenergy.com.es/upload/documents/Datasheet-SmartSolar-charge-controller-MPPT-150-70-up-to-150-100-VE.Can-ES.pdf>.

- [Selectra, «Tarifasgasluz, ¿Qué son las batería solares?,» 30 Marzo 2021. [En línea].
33] Available: <https://tarifasgasluz.com/autoconsumo/componentes/baterias-solares#aspectos-eleccion-bateria>.
- [R. energy, «BATERIA GEL 200AH 12V ULTRACELL,» Agosto 2022. [En línea].
34] Available: <https://www.rbrenergy.cl/bateria-gel-200ah-12v-ultracell-1>.
- [Digishop, «digishop - Batería 12V 200Ah Curtiss CT122000 Ciclo Profundo,»
35] Agosto 2022. [En línea]. Available: <http://www.digishop.cl/index.php?a=1275&g2=0>.
- [A. A. Monsalve, «MT UdeC: Clasificación de perfiles de comportamiento para
36] clientes residenciales considerando variables de consumo de energía eléctrica con/sin presencia de sistema de generación distribuida.» Concepción, 2021.
- [Energía región, «Energía region de los lagos,» Abril 2020. [En línea]. Available:
37] <https://energiaregion.cl/region/LAGOS>.
- [CGE, «CGE - Tarifas,» 2022. [En línea]. Available:
38] <https://www.cge.cl/informacion-comercial/tarifas-y-procesos-tarifarios/>.
- [SAESA, «Tarifas de Suministro Eléctrico - desde enero de 2022,» Agosto 2022.
39] [En línea]. Available: <https://www.gruposaes.cl/distribuidoras/descargar-archivos/5887/>.
- [SAESA, «Limite de invierno,» 2022. [En línea]. Available:
40] <https://web.gruposaes.cl/web/saes/cliente-hogar/informacion-comercial/limite-de-invierno>.
- [Á. -. P. F. d. C. Alarcón Martín, «Instalación solar fotovoltaica para autoconsumo
41] del proyecto casa al revés de Valparaíso,» 2020. [En línea]. Available: <https://oa.upm.es/65358/>.
- [N. Vidal Carbonell, «Vidal Carbonell, N. (2021). Instalación fotovoltaica en
42] vivienda aislada conectada a red con batería de litio. Universitat Politècnica de València.» Septiembre 2021. [En línea]. Available: <http://hdl.handle.net/10251/175188>.
- [E. X. -. Store, «Kit Solar On Grid Netbilling 3.0 kWp Monofásico - Todo Incluido,»
43] Julio 2022. [En línea]. Available: <https://www.enelxstore.com/cl/es/e-shop/energia-solar/kits-solares/kit-solar-on-grid-netbilling-3-0-kwp-monofasico>.
- [CoinMarketCap, «Today's Cryptocurrency Prices by Market Cap,» [En línea].
44] Available: <https://coinmarketcap.com/>.

- [S. Nakamoto, «Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System,» 2008. [En línea].
45] Available: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>.
- [S. -. S. d. I. Internos, «¿Qué son las criptomonedas?,» 11 Abril 2022. [En línea].
46] Available: https://www.sii.cl/preguntas_frecuentes/criptomonedas/001_250_7821.htm.
- [Santander, «Santander,» 24 Mayo 2022. [En línea]. Available:
47] <https://www.santander.com/es/stories/guia-para-saber-que-son-las-criptomonedas>.
- [E. PAÍS, «Criptomonedas: todo lo que hay que saber antes de invertir en ellas,» 27
48] Enero 2021. [En línea]. Available: <https://elpais.com/economia/estar-donde-estes/2021-01-27/criptomonedas-todo-lo-que-hay-que-saber-antes-de-invertir-en-ellas.html>.
- [AMD, « MAKING SENSE OUT OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES,» Enero
49] 2019. [En línea]. Available: <https://www.amd.com/system/files/documents/blockchain-technology-explained.pdf>.
- [U. o. Cambridge, «Cambridge Bitcoin Electricity Consumption F.A.Q,» [En línea].
50] Available: <https://ccaf.io/cbeci/faq>.
- [J. Todó Bañuls, «Trabajo Final de Máster - ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE UNA
51] MICROGRID CON TECNOLOGÍA BLOCKCHAIN Y FUENTE DE ENERGÍA FOTOSINTÉTICA: GREENCOIN,» Julio 2017. [En línea]. Available: <https://1library.co/document/qor69n0q-analisis-viabilidad-microgrid-tecnologia-blockchain-energia-fotosintetica-greencoin.html>.
- [Criptonoticias, «Cómo minar Bitcoin y otras criptomonedas,» 2020. [En línea].
52] Available: https://www.criptonoticias.com/criptopedia/como-minar-bitcoin-criptomonedas/#¿Que_es_un_pool_de_mineria.
- [C. Dance, «Total Bitcoin Hash Rate by Mining Pool (last 7 days, all chains),» Julio
53] 2022. [En línea]. Available: <https://coin.dance/blocks/allhashthisweek>.
- [BITMAIN, «BITMAIN,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.bitmain.com>.
54]
- [MicroBT, «MicroBT,» 2022. [En línea]. Available: <https://microbt.tech>.
55]
- [Whattomine, «What to mine,» 6 Agosto 2022. [En línea]. Available:
56] <https://whattomine.com/asic>.

- [CoinWarz, «Hashrate mining calculator,» 6 agosto 2022. [En línea]. Available:
57] <https://www.coinwarz.com/cryptocurrency>.
- [A. M. Value, «Miners Profitability,» 6 agosto 2022. [En línea]. Available:
58] <https://www.asicminervalue.com>.
- [C. Gómez269, «“Derecho y TIC. Vertientes actuales”. Bitcoin: problemas reales,»
59] 2016. [En línea]. Available:
<https://www.infotec.mx/work/models/Infotec/Publicaciones/Derecho-y-TIC-Vertientes-actuales.pdf>.
- [TradingView, «TradingView - look first then leap,» 2022. [En línea]. Available:
60] <https://es.tradingview.com>.
- [Metamask, «A crypto wallet and gateway to blockchain apps,» 2022. [En línea].
61] Available: <https://metamask.io>.
- [TREZOR, «The safe place for your coins,» 2022. [En línea]. Available:
62] <https://trezor.io>.
- [A. L. -. criptonoticias, «¿Qué es una wallet de Bitcoin?,» 17 febrero 2022. [En
63] línea]. Available: <https://www.criptonoticias.com/criptopedia/que-es-wallet-bitcoin-criptomonedas/>.
- [Binance, «Compra, haz trading de criptomonedas,» 2022. [En línea]. Available:
64] <https://www.binance.com/es-LA>.
- [Cryptomarket, «Compra Bitcoin y otras criptomonedas en Chile,» 2022. [En línea].
65] Available: <https://www.cryptomkt.com/es-cl/>.
- [S. d. i. internos, «Preguntas frecuentes - activos digitales,» 11 Abril 2021. [En
66] línea]. Available:
https://www.sii.cl/preguntas_frecuentes/criptomonedas/arbol_faqs_criptomonedas_1653.htm.
- [SII, «Información general personas naturales.,» 2022. [En línea]. Available:
67] https://www.sii.cl/valores_y_fechas/renta/2022/personas_naturales.html.
- [D. I. T. Fraile, «MDT_Diego tarrazón_excel adjunto,» Septiembre 2022. [En línea].
68] Available: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/13->

- g5qmBZbQfr8t2QswvSZUyEKgaLFsq2/edit?usp=sharing&ouid=115862228117489597806&rtpof=true&sd=true.
- [69] cosmoplas, «Cosmoplas,» agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.cosmoplas.com>.
- [70] T. center, «Tritec center,» agosto 2022. [En línea]. Available: <https://tritec-center.cl/product-category/modulos-fotovoltaicos/>.
- [71] Esol, «Esol - energía solar,» agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.esol.cl>.
- [72] Vitel, «Vitel energía,» Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.vitel.cl>.
- [73] Solartex, «Solartex - Energía para Chile,» Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.solartex.cl/#>.
- [74] BT-Miners, «BT-Miners,» Agosto 2022. [En línea]. Available: <https://es.bt-miners.com>.
- [75] B. mining, «Belay mining,» agosto 2022. [En línea]. Available: <https://belaymining.com>.
- [76] J. solar, «Ficha técnica panel solar,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.solartex.cl/tienda/wp-content/uploads/2021/03/panel-solar-445-watts-monoperc-ja-solar.pdf>.
- [77] GoodWE, «Ficha técnica inverso 3kW,» 2022. [En línea]. Available: http://www.digishop.cl/download/GoodWe_XS_ficha_ES.pdf.
- [78] GoodWE, «Ficha técnica inversor GW6000D-NS,» 2022. [En línea]. Available: http://www.digishop.cl/download/GoodWe_DNS_ficha.pdf.
- [79] Fronius, «Ficha técnica inversor Fronius 8.2 y otros,» 2022. [En línea]. Available: https://www.solartex.cl/tienda/wp-content/uploads/2019/12/SE_DS_Fronius_Primo_UL_EN_CA.pdf.
- [80] GoodWe, «Ficha técnica inversor GW3048-EM y GW 5048-EM,» 2022. [En línea]. Available: http://www.digishop.cl/download/GoodWe_EM_ficha.pdf.

- [Pylontech, «Ficha técnica Batería Pylontech US300,» 2022. [En línea]. Available:
81] https://www.solartex.cl/tienda/wp-content/uploads/2020/07/pylontech_us3000_manual.pdf.
- [Investing, «Información histórica de BTC,» Septiembre 2022. [En línea]. Available:
82] <https://es.investing.com/crypto/bitcoin/historical-data>.
- [Proyección de demanda eléctrica 2019-2039, «Coordinador eléctrico nacional,»
83] 2020. [En línea]. Available: <https://www.cne.cl/wp-content/uploads/2020/01/Apéndice-II-Proyección-de-Demanda-Eléctrica-2019—2039.pdf>.
- [C. Noticias, «Qué es la minería de Bitcoin y otras criptomonedas,» [En línea].
84] Available: <https://www.criptonoticias.com/criptopedia/que-mineria-bitcoins-criptomonedas/>.
- [ENEL, «Enel - Tarifas vigentes,» [En línea]. Available:
85] <https://www.enel.cl/es/clientes/tarifas-y-regulacion/tarifas.html>.
- [R. energy, «Paneles fotovoltaicos,» Julio 2022. [En línea]. Available:
86] <https://www.rbrenergy.cl/paneles-fotovoltaicos>.
- [rbrenergy, «rbrenergy - Batería GEL 200AH 12 Ultracell,» agosto 2022. [En línea].
87] Available: <https://www.rbrenergy.cl/bateria-gel-200ah-12v-ultracell-1>.

Anexo A. Anexos del capítulo 2

Señalética de seguridad en unidades de generación fotovoltaica



Figura 40: Señalética de seguridad en unidades de generación fotovoltaica

El tamaño de la señalética de seguridad será como mínimo 100 mm por 200 mm.

La inscripción será indeleble, inscrita por ambos lados del cartel de advertencia y la letra tendrá un tamaño de como mínimo 10 mm.

Esta señalética se deberá instalar cercana a los paneles fotovoltaicos, en la estructura que soporta a los paneles fotovoltaicos o en el acceso a estas instalaciones.

Tabla 18: Información que debe ser presentada en la comunicación de energización de las generadoras residenciales acogidas

Fuente energética y Potencia	Copia de Formularios (SCR) y respuesta a (SCR) (a)	Planos (b)	Informe de imágenes (c)	Informe de Operación de la Unidad Generadora y Declaración del Propietario (d)	Memoria Explicativa (e)	Memoria de cálculos de estructural (f)	Informe de ensayos y mediciones del generador (g)	Certificado de conformidad del fabricante del equipo limitador de inyecciones (h)	Declaración de ajustes Protección RI integrada (i)	Certificado de conformidad del fabricante de la RI Central (j)	Check List de autoevaluación (k)	Informe de cogeneración (l)
FV < a 10 kW	X	X	X	X			X	X	X	X		
FV >10kW < a 30 kW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
FV >30kW < a 100 kW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
FV >100kW < a 300 kW	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		
Cogeneración Eficiente	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Otras ERNC	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

- (a)** : La copia de los formularios SCR y la respuesta a SCR deberán ser adjuntados en caso de que el proceso de conexión se haya realizado en forma presencial en la oficina comercial de la empresa distribuidora. En caso de que se haya hecho a través de la plataforma de tramitación en línea – Generación Distribuida para Autoconsumo, no será necesario que se adjunten, siempre y cuando se completen sus datos en la declaración del TE-4 (Folio y Solicitud Netbilling y sus fechas).
- (b)** : Los planos adjuntos deben cumplir con los formatos e indicaciones establecidas en este instructivo técnico. Los planos deberán venir en formato dwg (versión 2012 o versiones anteriores) o pdf.
- (c)** : El informe de imágenes debe contener como mínimo la información e indicaciones establecidas en este instructivo técnico, y deberán venir en formato pdf.
- (d)** : El Informe de Operación de la Unidad Generadora y Declaración del Propietario debe contener como mínimo la información e indicaciones establecidas en este instructivo técnico, y debe venir firmado por el instalador eléctrico que realiza la declaración del TE-4 y por el propietario de la instalación (también puede ser el arrendatario o residente) en formato pdf.
- (e)** : La Memoria explicativa debe contener como mínimo la información e indicaciones establecidas en este instructivo técnico, y debe venir en formato pdf. En instalaciones FV se exige para potencia igual o mayor a 10 kW, mientras que para instalaciones que cuenten con almacenamiento de energía a través de baterías y para el resto de las fuentes energéticas se deberá adjuntar siempre.

- (f) : La Memoria de cálculo estructural debe cumplir con la información e indicaciones establecidas en el instructivo técnico de diseño y ejecución de las instalaciones fotovoltaicas conectadas a redes de distribución. Esta Memoria debe venir firmada por el profesional que realizó dicho cálculo y debe venir en formato pdf.
- (g) : Para completar este informe de ensayos que debe adjuntar, véase los Anexo N° 4.1A, 4.2A (conexiones en BT según corresponda), 4.1B o 4.2B (conexiones en MT según corresponda). Este documento sólo deberá adjuntarse si: (i) cuenta con un equipo limitador de inyecciones; (ii) para instalaciones FV cuya capacidad instalada sea mayor a 3 kW; (iii) para el resto de las fuentes energéticas se deberá adjuntar siempre.
- (h) : Este adjunto se debe adjuntar sólo si la instalación cuenta con un equipo limitador de inyecciones. Este certificado de conformidad del fabricante del equipo limitador de inyecciones debe indicar su número de serie, marca, modelo, valores de ajustes.
- (i) : En caso de que la instalación cuente con un inversor con RI integrada, se debe adjuntar su declaración de ajustes. Se eximirá de ella si cumple con lo solicitado en el numeral 6.3.4 de este instructivo.
- (j) : En caso de que la instalación cuente con protección RI Centralizada, se debe adjuntar lo solicitado en el numeral 6.3.5 de este instructivo. **(k)** : Para completar este adjunto véase el Check List de fiscalización publicado por la Superintendencia en su sitio web www.sec.cl.
- (l)** : Para completar este adjunto véase el “informe de cogeneración” publicado por la Superintendencia en su sitio web www.sec.cl. Este documento sólo deberá adjuntarse si cuenta con cogeneración eficiente.



Anexo B. Anexos del capítulo 3

Tabla 19: Generación eléctrica por un panel JA solar 445 en Osorno, a cada hora por mes.

Hora día:	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00			
	Generación eléctrica de 1 panel cada hora, por cada mes (kW)																										
Enero	0	0	0	0	0	0	0,0003 0016	0,0085 1281	0,0239 4119	0,0817 8105	0,1572 7067	0,2304 7782	0,2970 6686	0,3342 6221	0,3424 4899	0,3295 2569	0,2853 8751	0,2195 7334	0,1347 5627	0,0559 9712	0,0027 9738					75,122 9719	
Febrero	0	0	0	0	0	0	0	0,0027 7344	0,0141 9816	0,0591 6375	0,1290 457	0,2016 7691	0,2603 0764	0,3060 7862	0,3121 7968	0,3075 7983	0,2742 6284	0,2039 9499	0,1248 8363	0,0597 0996	3,4027 E-06					67,675 7564	
Marzo	0	0	0	0	0	0	0	4,0401 E-05	0,0074 3134	0,0416 699	0,0958 9843	0,1550 47	0,2059 0388	0,2400 1861	0,2572 555	0,2487 4339	0,2210 9838	0,1555 45	0,0940 6773	0,0123 1664					52,051 0862		
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0015 622	0,0224 4005	0,0569 2713	0,0911 1861	0,1213 8907	0,1593 0317	0,1719 3034	0,1711 483	0,1438 4934	0,1004 5853	0,0342 7486					32,232 0478			
Mayo	0	0	0	0	0	0	0	0	5,1976 E-07	0,0097 5559	0,0331 7492	0,0602 763	0,0822 1099	0,1098 8292	0,1058 7763	0,1234 4846	0,0960 9803	0,0786 2012					20,980 3638				
Junio	0	0	0	0	0	0	0	0		0,0041 1797	0,0227 2006	0,0478 9031	0,0660 5198	0,0829 5274	0,0906 7484	0,1122 1779	0,0870 1565	0,0539 8584					17,028 8158				
Julio	0	0	0	0	0	0	0	0		0,0051 5996	0,0296 2424	0,0515 8793	0,0734 6786	0,0808 756	0,0899 4473	0,0996 3121	0,0823 824	0,0807 1069					17,801 5388				
Agosto	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0004 7785	0,0139 6424	0,0409 372	0,0697 2198	0,0973 0095	0,1193 678	0,1249 5476	0,1376 0272	0,1159 2207	0,0888 1277	0,0169 0996					24,779 169			
Septiembre	0	0	0	0	0	0	0	0,0001 0851	0,0070 1948	0,0417 7716	0,0870 055	0,1276 5144	0,1577 0318	0,1855 9761	0,1826 0835	0,1839 5744	0,1516 3373	0,0980 2364	0,0658 3829					38,667 7305			
Octubre	0	0	0	0	0	0	0	0,0050 619	0,0227 8041	0,0656 1585	0,1114 7673	0,1524 7046	0,1980 8238	0,2176 3442	0,2131 0057	0,1988 881	0,1683 8673	0,1078 22	0,0688 7432	0,0083 6972					46,156 9071		
Noviembre	0	0	0	0	0	0	0,0010 4017	0,0125 833	0,0381 2023	0,0890 1267	0,1415 6944	0,1947 7277	0,2438 816	0,2661 8934	0,2659 8057	0,2462 5332	0,2045 5131	0,1369 2347	0,0831 0291	0,0341 4224					58,743 6998		
Diciembre	0	0	0	0	0	0	0,0020 6027	0,0126 3328	0,0387 6104	0,0980 804	0,1649 4161	0,2300 4246	0,2823 7523	0,3073 345	0,3062 4048	0,2882 1981	0,2416 4241	0,1704 0988	0,1078 3645	0,0428 0132	0,0008 2718					68,826 1893	

Generación total mes (kWh)

Tabla 20: Comparación de inversores para sistema On-grid 3kW

Nombre Inversor	GW3000-XS	Sunny Boy 3.0	Sunny Boy 3.0	SG3K-D
Sitio web:	digishop.cl	rbrenergy.cl	tritec-center.cl	tritec-center.cl
Potencia nominal de salida (W)	3000	3000	3000	3000
Tensión nominal de salida (V)	220	220	220	230
Corriente máxima de salida (A)	14.3	16	16	13,7
Potencia máxima de entrada (Wp)	3900	5500	5500	no mencionado
Tensión máxima de entrada	500	600	600	600
Corriente máxima de entrada (A)	12,5	15	15	12
Eficiencia	97,60%	97,20%	97,20%	97%
Protección anti-isla	integrado	no mencionado	no mencionado	no mencionado
Grado protección	IP65	IP65	IP65	IP65
peso(kg)	5,8	9,2	9,2	11,5
consumo stand-by (w)	< 1	2	2	< 3
Precio	\$760.000,00	\$1.249.500,00	\$1.049.205,00	\$803.725,00

Tabla 21: Comparación de Baterías para sistema On-grid 3kW y 6kW

Nombre Batería	UCG100-12 - Ultracell	Pylontech RT12100	50-48s Ultracell	Pylontech US3000
Sitio web:	rbrenergy.cl	digishop.cl	rbrenergy.cl	solartex.cl
Tipo batería	ciclo profundo	Litio	Litio	Litio
Capacidad batería (Ah)	100	100	50	74
Voltaje (V)	12	12	48	48
% Profundidad de descarga(%)	50	90	100	90
Ciclos de carga	1200	4500	3500	6000
Energía batería(kWh)	1,2	1,2	2,4	3,552
Energía útil batería(kWh)	0,6	1,08	2,4	3,1968
Costo de la batería(\$CLP)	215152	800000	1178000	1265000
\$/kWh de batería	298,8222222	164,6090535	140,2380952	65,95136803



Tabla 22: Ahorro mensual para cada mes en sistema On-grid 3kW con baterías

Mes del año	Energía diaria generada	Energía mensual generada	Energía diaria generada entre las 9 y 18	Energía almacenada en baterías	Energía inyectada	Ahorro mensual por sistema F.V		
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	Mensual	mínimo	máximo
Enero	17,52869344	525,8608031	16,32	3,14	10,44	\$56.090,39	\$39.363,84	\$88.975,12
Febrero	15,79100984	473,7302951	14,84	3,14	8,96	\$52.777,30	\$35.461,55	\$80.154,69
Marzo	12,14525345	364,3576036	11,72	3,14	5,84	\$45.759,50	\$27.274,35	\$61.648,94
Abril	7,520811154	225,6243346	7,35	3,14	1,47	\$35.963,28	\$16.889,34	\$38.175,41
Mayo	4,895418227	146,8625468	4,83	2,09	0,00	\$27.312,05	\$10.993,54	\$24.849,00
Junio	3,973390345	119,2017103	3,94	1,21	0,00	\$22.832,20	\$8.922,96	\$20.168,81
Julio	4,153692386	124,6107716	4,12	1,38	0,00	\$23.710,38	\$9.327,86	\$21.084,02
Agosto	5,781806092	173,4541828	5,68	2,95	0,00	\$31.644,83	\$12.984,09	\$29.348,27
Septiembre	9,022470448	270,6741134	8,68	3,14	2,80	\$38.944,06	\$20.261,58	\$45.797,79
Octubre	10,76994498	323,0983494	10,06	3,14	4,18	\$42.036,39	\$24.185,85	\$54.667,92
Noviembre	13,70686328	411,2058984	12,48	3,14	6,60	\$47.483,12	\$30.781,23	\$69.575,63
Diciembre	16,05944417	481,7833252	14,69	3,14	8,81	\$52.447,70	\$36.064,37	\$81.517,26

Tabla 23: Ahorro mensual para cada mes en sistema On-grid 6kW con baterías

Mes del año	Energía diaria generada	Energía mensual generada	Energía diaria generada entre las 8 y 19	Energía almacenada en baterías	Energía inyectada	Ahorro mensual por sistema F.V		
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	Mensual	mínimo	máximo
Enero	35,05738687	1051,721606	34,56	2,92	28,36	\$96.350,09	\$78.727,67	\$177.950,24
Febrero	31,58201967	947,4605902	31,34	2,92	25,15	\$89.129,57	\$70.923,11	\$160.309,38
Marzo	24,29050691	728,7152072	24,19	2,92	17,99	\$73.053,94	\$54.548,71	\$123.297,88
Abril	15,04162231	451,2486692	15,02	2,92	8,82	\$52.469,70	\$33.778,67	\$76.350,82
Mayo	9,790836453	293,7250936	9,79	2,92	3,59	\$40.727,21	\$21.987,09	\$49.697,99
Junio	7,946780689	238,4034207	7,95	2,92	1,75	\$36.586,07	\$17.845,93	\$40.337,62
Julio	8,307384773	249,2215432	8,31	2,92	2,11	\$37.395,87	\$18.655,73	\$42.168,04
Agosto	11,56361218	346,9083655	11,56	2,92	5,36	\$44.693,29	\$25.968,17	\$58.696,55
Septiembre	18,0449409	541,3482269	17,95	2,92	11,75	\$59.039,20	\$40.523,16	\$91.595,58
Octubre	21,53988996	646,1966989	21,15	2,92	14,95	\$66.236,49	\$48.371,70	\$109.335,84
Noviembre	27,41372656	822,4117969	26,69	2,92	20,49	\$78.675,80	\$61.562,46	\$139.151,25
Diciembre	32,11888834	963,5666503	31,36	2,92	25,16	\$89.162,29	\$72.128,75	\$163.034,51

Anexo C. Anexos del capítulo 4

Tabla 24: Listado de presupuesto sistema F.V de 3kW On-grid

Tipo equipo	Descripción	unidad	Cantidad	Precio	Subtotal	IVA	Total
Inversor	on-grid GW3000-XS	un	1	\$760.000,00	\$760.000,00	\$144.400,00	\$904.400,00
Panel	JA solar 445	un	7	\$157.550,00	\$1.102.850,00	\$209.541,50	\$1.312.391,50
Bracket	Riel > 4,2	un	4	\$30.200,00	\$120.800,00	\$22.952,00	\$143.752,00
Bracket	Grapa final	un	4	\$1.100,00	\$4.400,00	\$836,00	\$5.236,00
Bracket	Grapa media	un	12	\$1.100,00	\$13.200,00	\$2.508,00	\$15.708,00
Bracket	platina dentada	un	12	\$200,00	\$2.400,00	\$456,00	\$2.856,00
Bracket	anclaje de riel	un	8	\$1.900,00	\$15.200,00	\$2.888,00	\$18.088,00
Bracket	grapa de tierra	un	4	\$1.100,00	\$4.400,00	\$836,00	\$5.236,00
Bracket	clips	un	21	\$150,00	\$3.150,00	\$598,50	\$3.748,50
Bracket	unión de riel	un	2	\$4.600,00	\$9.200,00	\$1.748,00	\$10.948,00
Cableado	Cable solar 4 mm (Corriente Continua)	m	30	\$928,00	\$27.840,00	\$5.289,60	\$33.129,60
Cableado	CONECTOR TIPO MC4, PAR	un	1	\$1.000,00	\$1.000,00	\$190,00	\$1.190,00
Cableado	Cable Araflex RV-K 3x4mm2 (Corriente Alterna)	m	5	\$1.155,00	\$5.775,00	\$1.097,25	\$6.872,25
Cableado	Cable de cobre desnudo awg 6	m	8	\$700,00	\$5.600,00	\$1.064,00	\$6.664,00
Canalización	CONDUIT GALV EMT 25mm LIVIANO 3m	un	8	\$2.000,00	\$16.000,00	\$3.040,00	\$19.040,00
Canalización	Curva 90° EMT 25mm	un	10	\$750,00	\$7.500,00	\$1.425,00	\$8.925,00
Canalización	COPLA EMT 25mm FX0306	un	10	\$300,00	\$3.000,00	\$570,00	\$3.570,00
Canalización	TERMINAL EMT25mm FX0206	un	10	\$300,00	\$3.000,00	\$570,00	\$3.570,00
Canalización	Caja E.G. A-11 con Tapa y Empaquetadura	un	8	\$1.800,00	\$14.400,00	\$2.736,00	\$17.136,00
Canalización	Abrazadera tipo # Cd1b 25mm	un	30	\$300,00	\$9.000,00	\$1.710,00	\$10.710,00
Canalización	tubería flexible pesada 25mm	m	4	\$2.000,00	\$8.000,00	\$1.520,00	\$9.520,00
Canalización	conectores rectos 25mm	un	8	\$500,00	\$4.000,00	\$760,00	\$4.760,00
Tablero	Tablero sobrepuesto 18 módulos	un	1	\$18.000,00	\$18.000,00	\$3.420,00	\$21.420,00

Tabla 25: Rentabilidad de Sistemas F.V On-grid

Potencia de sistema F.V On-grid	Inversión inicial	Ganancias anuales	Tiempo recuperación inversión	Tiempo recuperación mínima	Tiempo recuperación máxima
3kW	\$4.078.150,53	\$384.200,00	≈10,6 años	15 años	6,6 años
6kW	\$6.652.983,00	\$664.352,53	≈10 años	12,2 años	5,4 años
8kW-2 inv	\$9.007.761,23	\$822.371,44	≈11 años	12,8 años	5,7 años
8kW	\$9.486.736,00	\$822.371,44	≈11,5 años	13,5 años	6 años

Tabla 26: Rentabilidad de Sistemas F.V Híbridos

Potencia de sistema F.V híbrido	Inversión inicial	Ganancias anuales	Tiempo recuperación inversión	Tiempo recuperación mínima	Tiempo recuperación máxima
3kW	\$7.054.159,05	\$477.001,18	≈15,3 años	26,7 años	11,8 años
6kW	\$ 9.671.073	\$763.519,52	≈12,6 años	17,7 años	7,8 años

Tabla 27: Rentabilidad de Sistemas F.V On-grid con Criptominería

Potencia de sistema F.V On-grid con Criptominería	Inversión inicial	Ganancias anuales(BTC 32500USD)	Tiempo de recuperación inversión BTC 32500	Precio de BTC para el cual nunca se recuperara la inversión	Precio de BTC para recuperar inversión en 10,6 años	Tiempo de recuperación BTC 69000
3kW	\$15.826.425,53	\$2.254.915,93	≈7,08 años	≈21450	≈28900	≈1,66 años
6kW	\$18.387.573,28	\$2.870.878,79	≈6,41 años	≈18350	≈27000	≈1,83 años
8kW-2inv	\$20.756.036,23	\$3.206.608,21	≈6,5 años	≈16750	≈26500	≈2 años
8kW	\$21.235.011,23	\$3.206.608,21	≈6,67 años	≈16800	≈26800	≈2,0 años