



UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROPUESTA DE UN MODELO DE COOPERATIVA EN COMUNIDADES AISLADAS PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL ECONÓMICA: MEDIANTE SISTEMA MODULAR DE ENERGÍAS RENOVABLES, EÓLICO Y SOLAR

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL ELÉCTRICO

EZEQUIEL ESTEBAN VERA CADENAS

PROFESOR GUÍA

ERNESTO BIANCHI SOUTER

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

GUILLERMO JIMENEZ ESTÉVEZ

NELSON MORALES OSORIO

SANTIAGO DE CHILE

2018

PROPUESTA DE UN MODELO DE COOPERATIVA EN COMUNIDADES AISLADAS PARA ELECTRIFICACIÓN RURAL ECONÓMICA: MEDIANTE SISTEMA MODUDAR DE ENERGÍAS RENOVABLES, EÓLICO Y SOLAR

El acceso a fuentes energéticas estables, continuas y seguras es un requisito mínimo para asegurar una calidad de vida, existen en Chile más de 20 mil familias de sectores rurales sin acceso de ningún tipo a la energía eléctrica, lo cual es un reflejo de dos grandes problemas del país: la desigualdad y el centralismo, ya que la mayoría de las estas familias son pobres, de origen indígena que habitan en comunidades y localidades en zonas extremas de las regiones del norte y sur.

Se propone mediante un trabajo multidisciplinario con una metodología de investigación de acción participativa crear en las comunidades Cooperativas que es un modelo de organización y gestión de recursos formadas por personas que buscan satisfacer una necesidad común bajo los principios de voluntariedad; control y gestión democrática; participación económica equitativa; autonomía e independencia; educación formación e información; y compromiso con la comunidad.

Se propone el sistema de electrificación que será gestionado por la Cooperativa. Un sistema modular de generación con unidades de energías renovables eólica de 3,5 [kW] y solar de 1,5 [kW], con un respaldo de baterías de 3500 [Ah], el sistema de inversores, la subestación elevadora y un sistema de distribución monofásico con retorno por tierra. El sistema en su conjunto posee una potencia nominal de 15[kW], capaz de abastecer el consumo de 3 hogares por fase, 9 en total con una potencia de 1,5[kW] cada uno y un consumo energético anual del sistema de 13,35 [MWh/año], a una distancia máxima de 10[km]. Se estudió la potencialidad energética de los recursos eólicos y solares para cuatro comunidades representativas, optimizando la cantidad de unidades de generación para abastecer la demanda y garantizar un respaldo de energía para 96 horas de autonomía en casos de fallas en la generación.

Luego se realiza la evaluación social de proyecto para cada una de las comunidades, obteniendo los costos de inversión y los indicadores de evaluación Valor Actual de Cosos (VAC) y Costo Anual Equivalente (CAE), siendo la comunidad de Acovinto de la región de Tarapacá la de mejores resultados con una inversión de \$143.103.603, un VAC de \$209.429.720 y un CAE de \$18.258.073, seguida por las comunidades de Caleta Obispito en Atacama y Las Araucarias de La Araucanía con una inversión de \$157.616.042, un VAC de \$237.619.384 y un CAE de \$20,716.741 por último la comunidad de Alto Mañilahue en Aysén con una inversión de \$164.017.034, VAC de \$246.496.318 y CAE de \$21.488.318.

... *“Pondremos la dignidad del Pueblo tan alta como la cordillera de los Andes.”*

Tabla de Contenido

Índice

Tabla de Contenido	iv
Índice	iv
Índice de Ilustraciones	vii
Índice de Tablas	ix
Capítulo I: Introducción, Motivación, Objetivos y Alcances	11
1.1 Introducción	11
1.2 Motivación	13
1.3 Objetivos	15
1.4 Alcances	15
Capítulo II: Electrificación Rural En Chile; Comunidades y Localidades Aisladas Eléctricamente	17
2.1 Electrificación Rural	18
2.1.1 Programa de Energización Rural y Social	18
2.1.2 Comuna Energética	19
2.2 Comunidades y Localidades Aisladas Eléctricamente	19
2.2.1 Catastro Estimado de Comunidades Aisladas Eléctricamente	20
2.2.3 Caracterización Socioambiental de las Comunidades Aisladas Eléctricamente	22
Capítulo III: Economía Social y Las Cooperativas	27
3.1 El Cooperativismo	28
3.1.1 Principios del Cooperativismo	29
3.1.2 Las Cooperativas en la Economía Mundial	30
3.1.3 Las Cooperativas en Chile	33
Capítulo IV: Propuesta de Cooperativas para Electrificación Rural	37
4.1 Organización de una Cooperativa	38
4.1.1 Junta General de Socios	38
4.1.2 La Junta de Vigilancia	39
4.1.3 El Consejo de Administración	40
4.1.4 Gerente	40
4.2 Elementos Específicos de una Cooperativa Eléctrica	40
4.2.1 Operación y Mantenimiento	40

4.2.2 Tarificación y Cobros	41
4.2.3 Educación y Formación	41
4.3 Organigrama.....	42
Capítulo V: Energías Renovables No Convencionales	45
5.1 Antecedentes Generales de las ERNC	45
Capítulo VI: Ingeniería Básica Diseño del Sistema Modular de Generación, Subestación y Sistema de Distribución.....	47
6.1 Perfil de Demanda	48
6.1.2 Calculo de Potencia de Generación Instalada Necesaria.....	52
6.2 Sistema Modular de Energías Renovables Eólico-Solar con Respaldo de Baterías.....	53
6.2.1 Unidades de Generación Eólicas y Solares	54
6.2.2 Sistema de Respaldo de Baterías	58
6.3 Subestación Elevadora	64
6.3.1 Inversores	65
6.3.2 Transformadores	66
6.4 Sistema de Distribución Monofásica con Retorno por Tierra	67
6.4.1 Diagrama del Sistema de Distribución Monofásica con Retorno por Tierra	69
6.4.2 Mallas de Tierra	71
6.4.3 Cálculos de Regulación de Tensión	73
6.4.4 Descripción del Tendido Eléctrico.....	79
6.5 Protecciones	80
6.5.1 Paño de 48 [V]cc	80
6.5.2 Paño de 220 [V]	81
6.5.3 Línea de Distribución 7.260 [V]	81
6.5.4 Tablero de Protecciones.....	82
6.6 Dimensionado y Diagrama de Ubicación.....	82
Capítulo VII: Análisis de los Recursos Energéticos y Operación del Sistema en Cuatro Comunidades	84
7.1 Metodología de Análisis de los Recursos Energéticos y Operación del Sistema	85
7.1.1 Explorador Solar	85
7.1.2 Explorador Eólico.....	86
7.1.3 HOMER	86
7.2 Resultados	87

7.2.1 Resultados Para la Localidad de Acovinto	88
7.2.2 Resultados Para la Localidad de Caleta Obispito	91
7.2.3 Resultados Para la Localidad de Las Araucarias.....	95
7.2.4 Resultados Para la Localidad de Alto Mañilahue	100
Capítulo VIII: Evaluación Social del Proyecto.....	105
8.1 Introducción	105
8.1.1 Requerimientos de Postulación a Fondos Públicos.....	105
8.1.2 Alcances del Financiamiento Público.....	106
8.2 Beneficios Sociales	107
8.3 Costos Sociales	108
8.3.1 Costos del Pre-proyecto	109
8.3.2 Costos de la Ingeniería de Detalle.....	109
8.3.3 Costos de inversión.....	110
8.3.4 Costos de Operación y Mantenimiento	112
8.4 Flujo de Costos, VAC y CAE del Proyecto	113
8.4.1 Valor Actual de Costos VAC.....	114
8.4.2 Costo Anual Equivalente CAE.....	114
Conclusiones.....	115
Trabajo Futuro.....	120
Bibliografía.....	121
Anexos	126
Anexo A. La Historia de las Cooperativas en Chile	127
Anexo B. Formación y Constitución Legal de una Cooperativa.....	129
Anexo C. Fundamentos de las Energías Renovables.....	131
C.1 Energía Eólica.....	131
C.2 Energía Solar Fotovoltaica	140
C.3 Sistemas de Acumulación de Energía Eléctrica.....	144
Anexo D. Presupuesto Detallado.....	151
Anexo E. Flujos de Costos.....	157
Anexo F. Diagrama General de Conexión del Sistema Completo.....	159

Índice de Ilustraciones.

Ilustración 1: Propuesta de organigrama para una cooperativa eléctrica en comunidades aisladas. Elaboración propia.....	42
Ilustración 2: Emisión de millones de toneladas de CO ₂ a nivel mundial desde 1960 hasta 2014. Fuente: https://data.worldbank.org/topic/climate-change?end=2014&start=1960	46
Ilustración 3: Cambio anual promedio en la temperatura de la superficie de la terrestre. Fuente: GISS'S NASA https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/	46
Ilustración 4: Perfil de demanda de Potencia para una vivienda de una comunidad aislada. Elaboración propia.	51
Ilustración 5: Diagrama del módulo de generación eólica y solar. Elaboración propia.....	55
Ilustración 6: Curva de carga de potencia AEG ENAIR 70PRO. Fuente: https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e70pro	56
Ilustración 7: Diagrama de conexión reguladores/cargadores, barra común de 48 [V]cc y Batería. Elaboración propia.	59
Ilustración 8: Tensión en la celda VS profundidad de descarga (DOD). Fuente catalogo en línea http://www.masterbattery.es/pdfs/20-OPzS-2250.pdf	61
Ilustración 9: Vida útil en ciclos versus temperatura ambiente de operación, para distintas DOD. Fuente: catalogo en línea http://www.masterbattery.es/pdfs/20-OPzS-2250.pdf	62
Ilustración 10: Tensión de gasificación versus temperatura de ambiente de operación. Fuente: catalogo en línea http://www.masterbattery.es/pdfs/20-OPzS-2250.pdf	63
Ilustración 11: Diagrama de conexión subestación elevadora. Elaboración propia	65
Ilustración 12: Diagrama del sistema de distribución completo. Fuente: Elaboración propia.	69
Ilustración 13: Diagrama de una fase del sistema de distribución. Fuente: Elaboración propia. .	69
Ilustración 14: Circuito eléctrico de la línea de distribución. Elaboración propia.	74
Ilustración 15: Circuito equivalente de Thévenin de la línea de distribución monofásica con retorno por tierra. Elaboración propia.	77
Ilustración 16: Diagrama de fasores de regulación de tensión. Elaboración propia.....	78
Ilustración 17: Tablero de protecciones. Elaboración Propia	82
Ilustración 18: Diagrama de ubicación y dimensionado módulo básico de generación. Elaboración propia.	83
Ilustración 19: Mapa de la localidad de Acovinto. Fuente: Explorador Solar.....	88
Ilustración 20: Potencia [kW] generada por los paneles fotovoltaicos y potencia total generada en la operación de un año en la localidad de Acovinto. Fuente: Resultados de HOMER Pro.	89
Ilustración 21: Estado porcentual de carga de la batería de 3500 [Ah] en la operación de un año en la localidad de Acovinto. Fuente: Resultados HOMER Pro.	90
Ilustración 22: Energía [kWh] acumulada en la batería de 3500[Ah] en la operación de un año en la localidad de Acovinto. Fuente: Resultados HOMER Pro.	90
Ilustración 23: Estado porcentual de carga horaria de la batería 3500 [Ah], en la operación de un año en la localidad de Acovinto. Fuente: Resultados HOMER Pro.	91
Ilustración 24: Mapa localidad Caleta Obispito. Fuente: Explorador Solar.....	92
Ilustración 25: Potencia [kW] generada por paneles fotovoltaicos y aerogeneradores en la operación de un año en la localidad de Caleta Obispito. Fuente: Resultados HOMER Pro.....	93
Ilustración 26: Potencia [kW] total generada en la operación de un año en la localidad de Caleta Obispito. Fuente: Resultados HOMER Pro.....	93

Ilustración 27: Estado porcentual de carga de la batería de 3500 [Ah] en la operación de un año en la localidad de Caleta Obispito. Fuente: Resultados HOMER Pro.	94
Ilustración 28: Energía [kWh] acumulada en la batería de 3500[Ah] en la operación de un año en la localidad de Caleta Obispito. Fuente: Resultados HOMER Pro.	94
Ilustración 29: Estado porcentual de carga horaria de la batería 3500 [Ah], en la operación de un año en la localidad de Caleta Obispito. Fuente: Resultados HOMER Pro.	95
Ilustración 30: Mapa localidad Las Araucarias. Fuente: Explorador Solar.....	96
Ilustración 31: Potencia [kW] generada por paneles fotovoltaicos y aerogeneradores en la operación de un año en la localidad Las Araucarias. Fuente: Resultados HOMER Pro.	97
Ilustración 32: Potencia [kW] total generada en la operación de un año en la localidad Las Araucarias. Fuente: Resultados HOMER Pro.....	97
Ilustración 33: Estado porcentual de carga de la batería de 3500 [Ah] en la operación de un año en la localidad Las Araucarias. Fuente: Resultados HOMER Pro.	98
Ilustración 34: Energía [kWh] acumulada en la batería de 3500[Ah] en la operación de un año en la localidad Las Araucarias. Fuente: Resultados HOMER Pro.	99
Ilustración 35: Estado porcentual de carga horaria de la batería 3500 [Ah], en la operación de un año en la localidad Las Araucarias. Fuente: Resultados HOMER Pro.....	99
Ilustración 36: Mapa localidad Alto Mañilahue. Fuente: Explorador Solar.....	100
Ilustración 37: Potencia [kW] generada por paneles fotovoltaicos y aerogeneradores en la operación de un año en la localidad de Alto Mañilahue. Fuente: Resultados HOMER Pro.....	101
Ilustración 38: Potencia [kW] total generada en la operación de un año en la localidad de Alto Mañilahue. Fuente: Resultados HOMER Pro.	101
Ilustración 39: : Estado porcentual de carga de la batería de 3500 [Ah] en la operación de un año en la localidad de Alto Mañilahue. Fuente: Resultados HOMER Pro	102
Ilustración 40: Energía [kWh] acumulada en la batería de 3500[Ah] en la operación de un año en la localidad de Alto Mañilahue. Fuente: Resultados HOMER Pro.	103
Ilustración 41: Estado porcentual de carga horaria de la batería 3500 [Ah], en la operación de un año en la localidad de Alto Mañilahue. Fuente: Resultados HOMER Pro.	104
Ilustración 42: Diagrama de pasos para la constitución de una cooperativa. Elaboración propia.	131
Ilustración 43: Circulación Global de los Vientos. Fuente: Apuntes Curso Laboratorio de Energía.....	132
Ilustración 44: Disco Actuador de un Aerogenerador. Fuente "Wind Energy Handbook", T.Burton, D. Sharpe, N. Jenckins, E. Bossanyi 2001.	133
Ilustración 45: Esquema Disco Actuador. Fuente: Apuntes Curso Laboratorio de Energía.....	134
Ilustración 46: Curva de Potencia de un Aerogenerador tipo. Fuente: Apuntes Curso Laboratorio de Energía	136
Ilustración 47: (A) variaciones instantáneas; (B) variaciones diarias; (C) variaciones estacionales, (D) variaciones anuales. Fuente: Apuntes Curso de Laboratorio de Energía.....	137
Ilustración 48: Distribución de intensidad de la radiación solar en función de su longitud de onda. Fuente http://www.phinet.cl/ds/wp-content/uploads/2016/02/Espectro-radiaci%C3%B3n-Solar-Editado-de-Wikipedia.png	143
Ilustración 49: Esquema Básico Sistema Electroquímico Reversible. Fuente: Apuntes Curso Sistemas de Generación y Acumulación de la Energía Eléctrica.....	145

Ilustración 50: Ciclos de vida útil según profundidad de descarga, para un acumulador Plomo-ácido típico. Fuente: apuntes curso de sistemas de generación y acumulación de la energía eléctrica.....	150
Ilustración 51: Diagrama general de conexiones de los sistemas de generación, acumulación, transformación y distribución propuestos. Elaboración propia.....	159

Índice de Tablas.

Tabla 1: Línea de la pobreza y pobreza extrema. Fuente encuesta Casen 2015, Ministerio de Desarrollo Social.....	24
Tabla 2: Porcentaje de población bajo la línea de la pobreza, de la pobreza extrema y pobreza multidimensional por región. Fuente encuesta Casen 2015, Ministerio de Desarrollo Social	26
Tabla 3: Artefactos básicos y consumos para una vivienda de una comunidad aislada eléctricamente. Elaboración propia.	49
Tabla 4: Horas de uso y consumo energético diario, mensual y anual de los artefactos para una vivienda de una comunidad aislada eléctricamente. Elaboración propia.....	50
Tabla 5: Cuadro de cargas características del panel fotovoltaico. Fuente: Ficha Técnica AXIpower.	58
Tabla 6: Cuadro de tiempo de descarga a corriente constante según tensión de la celda. Fuente catalogo en línea http://www.masterbattery.es/pdfs/20-OPzS-2250.pdf	60
Tabla 7: Cuadro de tiempo de descarga a potencia constante según tensión de la celda. Fuente catalogo en línea http://www.masterbattery.es/pdfs/20-OPzS-2250.pdf	61
Tabla 8: Resistividad de Suelos y Aguas. Fuente: Apunte curso EL6013 Puesta a tierra de instalaciones eléctricas.....	72
Tabla 9: Largo medio del conductor y resistencia del conductor. Elaboración propia.	76
Tabla 10: Reactancia equivalente y resistencias equivalente según largo medio del conductor. Elaboración propia.	77
Tabla 11: Caída de tensión reactiva; caídas de tensión resistiva, tensión de la carga y regulación de tensión según largo medio del conductor. Elaboración propia.	79
Tabla 12: Valores de referencia por región del costo de inversión por vivienda de extensión de red. Fuente: Orientaciones Sectoriales Energía 2018, Ministerio de Desarrollo Social, Valor UF (\$26.966, marzo 2018).	106
Tabla 13: Resumen costos de elaboración del pre-proyecto. Elaboración propia.....	109
Tabla 14: Resumen costos de la ingeniería de detalle. Elaboración propia.	110
Tabla 15: Resumen del presupuesto de costos de inversión a precios de mercado. Elaboración propia.....	111
Tabla 16: Resumen de resultados para la comunidad de Acovinto.	119
Tabla 17: Resumen de resultados para las comunidades de Caleta Obispito y Las Araucarias.	119
Tabla 18: Resumen de resultados para la comunidad de Alto Mañilahue.	119
Tabla 19: Carta Gantt de la instalación del proyecto. Elaboración propia.	151
Tabla 20: Presupuesto de la propuesta de proyecto. Elaboración propia.....	156
Tabla 21: Flujo de costos para el proyecto en la comunidad de Acovinto. Elaboración propia..	157

Tabla 22: Flujo de costos para el proyecto en las comunidades de Caleta Obispito y Las Araucarias. Elaboración propia.	157
Tabla 23: Flujo de costos para el proyecto en la comunidad de Alto Mañilahue. Elaboración propia.....	158

Capítulo I: Introducción, Motivación, Objetivos y Alcances

1.1 Introducción

Es sabido que el acceso a la energía eléctrica para la mayoría de la población mundial es indispensable para el estilo de vida actual, tanto para la economía, la industria, las telecomunicaciones, seguridad, calefacción y alimentación de las personas. Según los datos del banco mundial [1], hasta el año 2014, el 85,3[%] de la población del mundo tiene acceso a la energía eléctrica, un 96,4[%] de la población urbana del mundo tiene acceso a la energía eléctrica, mientras que el porcentaje de la población rural del mundo abastecida con electricidad alcanza sólo el 73,1[%]. Considerando que a nivel mundial el 45,7[%] de la población vive en localidades rurales, corresponden a cerca de 1.300 millones de personas en el mundo las que viven sin acceso a la energía eléctrica de forma permanente y segura, que le permita acceder a una mejor calidad de vida.

En el caso de América Latina y el Caribe el acceso a la electricidad alcanza un 95[%], un índice bastante más alto que el promedio mundial, pero que no demuestra la realidad de todos los países de la región, donde existen países como Bolivia y Perú que alcanzan un 90[%] y un 93[%] respectivamente y países con un virtual 100[%] de acceso, Brasil 99,5[%], Uruguay 99,1[%], Venezuela 99,7[%], Argentina 99,5[%] y Chile 99,6[%].

Si bien en términos porcentuales, el acceso a la electricidad pareciera solucionado tanto en el país como en la mayoría de la región, existe un número considerable de vidas sin acceso o con acceso restringido a la energía eléctrica, quiénes justamente son las personas más empobrecidas y aisladas. Este número se traduce en cerca del 20[%] de la población de América Latina y el Caribe, lo que equivale a 129 millones de personas que viven en la ruralidad, de los que cerca de la mitad, un 47,9[%], vive bajo la línea de la pobreza, muy por debajo del 23,3[%] de pobreza presente en la población urbana [1].

En el caso de Chile, según datos del Instituto Nacional de Estadísticas INE [2], en el año 2015 el 13[%] de la población vive en localidades rurales, lo que se traduce en más de 2 millones de personas, donde el 48[%] son mujeres y el 65[%] de la población tiene entre 15 y 60 años; se estima que existen entre 20 mil y 25 mil viviendas en la ruralidad sin acceso a la energía eléctrica [3].

Otra de las características que posee este sector, tanto en Chile como en toda la región, es el componente indígena de la población, el que se acentúa en el caso de la población rural, donde se mezclan el ruralismo, el campesinado y el indigenismo, con un arraigo al territorio, relación con el entorno y la naturaleza mucho más profundo y en otros niveles que los de la población en general, favoreciendo el desarrollo de proyectos comunitarios y cooperativos [3].

Hasta la actualidad la opción mayormente utilizada a nivel mundial para aumentar el acceso a la energía eléctrica es la de expansión y extensión de las líneas de transmisión y distribución de los sistemas eléctricos existentes, lo que provoca que para comunidades o localidades distantes a decenas de kilómetros de los sistemas existentes, la factibilidad técnico-económica para las empresas eléctricas sea inviable, dado que por los bajos consumos y la extrema baja densidad de consumidores no les garantiza a las empresas eléctricas una retribución económica para aquella inversión [4].

El capitalismo, sistema económico imperante en la actualidad que busca maximizar las ganancias monetarias para los dueños del capital, ha sido incapaz de entregar soluciones a las comunidades más aisladas y empobrecidas, sin entrar a discutir las complicaciones que genera este modelo económico en todos los niveles de la población. Debido a la naturaleza de las empresas de electricidad, que es de inversión privada, tanto las generadoras, transmisoras y distribuidoras, la problemática del acceso a la energía eléctrica debe ser tomada en las manos de las propias personas y comunidades afectadas con la ayuda permanente de los organismos gubernamentales responsables.

Las cooperativas son organizaciones donde individuos o grupos de personas se organizan para satisfacer alguna necesidad común, mediante el trabajo solidario, ayuda mutua y control democrático, sin que sea su motivación principal el maximizar las ganancias económicas, sino que sea el maximizar el bien común. Dentro de las necesidades más comunes que satisfacen las cooperativas a nivel mundial y local son las de producción agrícola, las de vivienda, ahorro y créditos, servicios generales como salud y educación y servicios específicos como agua potable y electricidad [5]. En el caso de las cooperativas que proveen el servicio de electricidad se realiza principalmente construyendo los sistemas de distribución, obteniendo la energía de los sistemas eléctricos preexistentes para abastecer vastas zonas territoriales de baja densidad poblacional.

Las cooperativas tienen y han tenido impacto en el desarrollo económico y social a nivel nacional e internacional. En Chile tuvieron su máximo auge hasta la década del 70, donde se vieron fuertemente diezmadas por la imposición forzada de un modelo económico neoliberal, y que en la última década se ha visto en realce desde los emprendimientos colectivos materializados en cooperativas. Siendo el modelo cooperativo una alternativa de desarrollo social y económico, aplicable a todas las áreas de la producción, comercio y servicios [5].

Asociado al sistema económico en el que estamos inmersos, el tema del calentamiento global ha tomado relevancia fuertemente, debido a los graves daños al medioambiente que ya se comienzan a sentir y percibir en todo el mundo, lo cual ha intensificado la investigación y el uso de tecnologías de energías renovables no convencionales (ERNC), donde sus principales exponentes son la energía eólica, la solar en forma de termo-solar o fotovoltaica y la mini hidrología y otras con menor desarrollo como la biomasa y la

mareomotriz. Pudiéndose construir sistemas eléctricos alimentados simultáneamente por distintas tecnologías de generación de ERNC, tanto interconectado a otros sistemas mayores u operando de forma aislada e independiente, permitiendo la creación de sistemas de los distintos tamaños y potencias necesarios para cada caso.

1.2 Motivación

La motivación principal de este trabajo es aportar a la dignidad y calidad de vida de las personas más vulnerables y postergadas en el desarrollo económico y social del país, las cuales forman las comunidades aisladas, mediante una propuesta de organización colectiva que se configura en un modelo de cooperativa que permita con las herramientas que entrega la ingeniería, encontrar una solución tecnológica viable para satisfacer la necesidad del acceso a la energía eléctrica utilizando los recursos naturales renovables eólico y solar e impulse el desarrollo económico y social de las comunidades aisladas.

Esta motivación va de la mano con las políticas públicas en materia de energía que se han desarrollado en los últimos años, dentro de la agenda energética presentada por el gobierno, desarrollando durante el 2015 el programa Energía 2050 [6] que presenta las políticas energéticas de largo plazo. Los pilares principales de la política presentada en Energía 2050 son la confiabilidad, inclusión social, la competitividad y la sostenibilidad, basados en la seguridad y calidad de suministro, la energía como motor de desarrollo, la energía compatible con el medio ambiente y la educación y eficiencia energética.

En Energía 2050 se expresan objetivos específicos a cumplir, con plazos determinados, dentro de los cuales, los más relevantes en este caso son los siguientes:

Para el 2035 las metas son:

- El 100[%] de las viviendas de familias vulnerables cuenten con acceso continuo y de calidad a los servicios energéticos.
- Todos los proyectos energéticos desarrollados en el país cuenten con mecanismos de asociación comunidad/empresa, que contribuyan al desarrollo local y un mejor desempeño del proyecto.
- Al menos el 60[%] de la generación eléctrica nacional provenga de energías renovables.

Para el 2050:

- Asegurar el acceso universal y equitativo a servicios energéticos modernos, confiables y asequibles a toda la población.
- Los instrumentos de planificación y ordenamiento territorial regional y comunal incorporan los lineamientos de la política energética.
- Al menos el 70[%] de la generación eléctrica nacional provenga de energías renovables.

Es claro que para el estado chileno es necesario cubrir a la totalidad de su población y por, sobre todo, a la población vulnerable del país, con acceso seguro y de calidad. El término seguridad hace referencia a las condiciones técnicas de abastecimiento, niveles de tensión adecuados para el consumo y la distribución, frecuencia y potencia acorde a las normas técnicas y de seguridad vigentes, en tanto la calidad se entiende por continuidad horaria y estacional del servicio, dónde la indisponibilidad del suministro eléctrico no supere una hora al año en cualquier localidad del país [6].

Es importante aclarar y recalcar que dentro de los déficits que existe en materia energética, sobre todo en la población más vulnerable tanto urbana como rural, es el confort térmico dentro de las viviendas, un problema de doble dimensión, el primero por acceso a fuentes de energía térmica y el segundo por las características de los materiales de construcción y la aislación de las viviendas. Problema evidenciado tanto en época invernal como estival, a lo largo y ancho del territorio [6].

Otro de los temas relevantes dentro de la política energética a largo plazo es el componente social de los proyectos energéticos, generando las condiciones, herramientas e instituciones para la participación de las comunidades e individuos en la elaboración de los proyectos, para resguardar los intereses de la población, que generalmente se ve afectada por la intervención en el territorio para la realización de grandes proyectos energéticos. Si bien la intención está completamente orientada a disminuir y contribuir a la solución de problemas originados entre las empresas que pretende realizar un gran proyecto, como lo son los embalses, termoeléctricas y grandes líneas de transmisión principalmente, y las comunidades que viven en esos territorios, existe un reconocimiento a las comunidades y a la población en general a ser partícipes activos dentro de la problemática energética [6].

Existen en el país otras políticas públicas que van ligadas a la motivación principal de este trabajo, que hace referencia al financiamiento de proyectos por parte del Ministerio de Desarrollo Social junto con la División de Evaluación Social de Proyectos y el Sistema Nacional de Inversiones [7] que dentro de la gran variedad de tipos de proyectos que buscan incentivar y financiar se encuentran los proyectos de electrificación rural, entregando una metodología de formulación y evaluación de estos.

Finalmente, como parte de la implementación de las políticas existe el programa del Ministerio de Energía, Comuna Energética, que busca, promueve e incentiva a las municipalidades a elaborar planes de estrategias energéticas locales, identificando y

caracterizando el consumo y recursos energéticos junto a las problemáticas de acceso a la energía y las propuestas de que permitan explotar el potencial de eficiencia energética y usos de energías renovables desde la comunidad local [8].

1.3 Objetivos

El objetivo principal de esta memoria es proponer un modelo de gestión basado en la creación de cooperativas en las comunidades aisladas eléctricamente, para satisfacer la necesidad del acceso a la energía eléctrica, estudiando las factibilidades y potencialidades del modelo cooperativo. Junto al diseño de la ingeniería básica de una micro-red basada en un sistema modular de alimentado con energía eólica y solar, respaldado por un sistema de acumuladores de energía eléctrica y un sistema de distribución económico.

Del objetivo principal se desprenden los siguientes objetivos específicos que permitirán su cumplimiento.

- Realizar un estudio sobre las condiciones actuales de electrificación rural en el país.
- Caracterizar de forma general las comunidades aisladas sin abastecimiento eléctrico y/o con acceso restringido.
- Identificar una comunidad aislada eléctricamente representativas de cada una de las cuatro zonas geográficas del país.
- Presentar el modelo Cooperativista a nivel general y su impacto en la economía y el desarrollo.
- Examinar y presentar las condiciones legales para la conformación de cooperativas
- Estudiar y mostrar los principios físicos y matemáticos de las tecnologías de generación mediante recursos renovables y la acumulación de energía eléctrica.
- Verificar la disponibilidad de recursos energéticos en las comunidades representativas de las zonas geográficas mediante el uso de programas exploradores.
- Optimizar el dimensionado y verificar la operación del sistema para las comunidades representativas mediante el uso del programa de optimización HOMER.
- Realizar la evaluación del proyecto en términos económicos y sociales.

1.4 Alcances

Este trabajo de memoria para optar al título de Ingeniero Civil Eléctrico es además una herramienta para estudiantes, profesionales y trabajadores, de las diversas áreas más

allá de las ciencias y la ingeniería, dirigentes sociales y personas en general que deseen iniciarse en estudio y desarrollo de cooperativas y micro-redes, para la implementación de proyectos comunitarios en torno al problema del abastecimiento eléctrico.

Para el correcto estudio de este trabajo es necesario que se conozcan los alcances y las limitaciones propias de la formación académica de la ingeniería eléctrica en el ámbito de la investigación de las ciencias sociales respecto a la investigación, catastro y caracterización socioambiental de las comunidades aisladas eléctricamente.

La investigación se limita al estudio de estadísticas y datos de organismos como el INE y diferentes divisiones del Ministerio de Energía y Ministerio de Desarrollo Social. Junto con la revisión bibliográfica de estudios de electrificación rural en el país, cómo el informe desarrollado por el Centro de Energía de la FCFM en 2013, “Micro-Redes Para Localidades Aisladas” y la tesis de magister en ingeniería de la PUC “Potencial de suministrar electricidad a comunidades indígenas y campesinas de Chile mediante micro redes híbridas solar-eólicas autogestionadas” de G Montecinos 2015.

De la investigación se identifican cuatro comunidades aisladas eléctricamente representativas de sus zonas geográficas para el estudio de disponibilidad de recursos energéticos.

No se realiza ninguna investigación en terreno o participativa de representantes de las comunidades aisladas eléctricamente.

En el mismo sentido la propuesta del modelo de gestión en base a cooperativas es desarrollada mediante una investigación bibliográfica del cooperativismo y economía social en Chile y el exterior, en conjunto a la experiencia propia del autor en el ámbito de las cooperativas.

La ingeniería básica de la micro-red se desarrolla en base a la formación académica del autor, la experiencia propia del profesor guía de la memoria en instalaciones fotovoltaicas y eólicas en localidades rurales y la investigación bibliográfica.

La determinación del consumo proyectado para el diseño se realiza considerando estudios de gasto energético según estrato social y condición de ruralidad o urbanismo encontrados en la investigación bibliográfica, ya que no se realizó ninguna investigación en terreno o con participación de representantes de las comunidades.

La verificación y estudio de los recursos energéticos en las cuatro comunidades aisladas eléctricamente se realiza mediante el uso de dos herramientas computacionales desarrolladas por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, el Explorador Eólico y el Explorador Solar, cuyos datos son utilizados para la optimización del dimensionado y simulación de la operación del sistema modular de generación eólico y solar con respaldo de baterías para cada comunidad, usando el programa de micro-redes HOMER.

No se realizan pruebas de suficiencia de recursos ni funcionamientos de equipamiento en terreno de las comunidades o en algún laboratorio.

Finalmente, la evaluación económica y social de la propuesta se realiza con la metodología establecida por el Ministerio de Desarrollo Social el cual tiene el enfoque costo-eficiencia para el cálculo de los indicadores de Valor Actual de Costos y Costo Anual Equivalente.

Capítulo II: Electrificación Rural En Chile; Comunidades y Localidades Aisladas Eléctricamente

El objetivo de este capítulo es poder mostrar cuantitativamente que la problemática del acceso a la energía eléctrica está presente a lo largo y ancho del país. Qué a pesar de toda la estructura e infraestructura del sector eléctrico en Chile, aún no se ha logrado abastecer al 100[%] de las viviendas del territorio, existiendo un gran número de localidades y comunidades aisladas eléctricamente, siendo cerca de 25 mil los hogares estimados sin acceso a la energía eléctrica [3].

2.1 Electrificación Rural

La electrificación rural en Chile está enmarcada dentro del sector eléctrico nacional, el cual consiste en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) con la conexión del Sistema Interconectado Central (SIC) y el Sistema Interconectado del Norte Grande (SING) a partir del año 2018, junto a dos sistemas pequeños, el de Aysén y el de Magallanes. El sector eléctrico lo completan las instituciones reguladoras, los operadores del sistema, los agentes del mercado y el marco regulatorio [9] [10].

El mercado eléctrico nacional se compone por tres segmentos, uno de ellos se considera de libre competencia y los otros dos son mercados regulados, el sector libre es el de las empresas generadoras y los sectores regulados son la transmisión y la distribución. Junto a lo anterior, completan el mercado eléctrico los clientes libres y clientes regulados [11].

Las empresas distribuidoras son las encargadas de abastecer los consumos de los clientes regulados urbanos y rurales, operan en zonas de concesión determinadas, al operar una sola empresa por zona de concesión se genera un monopolio natural del negocio con economías de escala, por ello que es un sector del mercado eléctrico regulado por la autoridad [9].

Las zonas de concesión son determinadas por la autoridad, las que generalmente son compuestas por grandes zonas urbanas de alta densidad de consumos y por zonas rurales de baja y muy baja densidad. Las empresas distribuidoras están obligadas a entregarle el servicio a todos los clientes que lo requieran que estén dentro de la zona concesionada instalando y operando las redes necesarias en alta tensión 12-23[kV] y en baja tensión 220-380[V] [11].

Ya que las comunidades aisladas geográficamente se encuentran generalmente fuera las áreas de concesión de las distribuidoras y al ser localidades de bajo consumo y baja densidad poblacional no son calificadas por las autoridades como áreas de concesión, aislando eléctricamente estas comunidades.

Por lo anterior existen programas y políticas especiales y particulares para la electrificación rural en el país implementadas por el Ministerio de Energía, dónde se reconocen dos programas como los más importantes para este trabajo.

2.1.1 Programa de Energización Rural y Social

El programa de energización rural y social se dio inicio el año 2008 el cual busca contribuir al acceso y mejoramiento del suministro eléctrico rural de manera equitativa, eficiente y sostenible. Busca apoyar la formulación de proyectos descentralizados, capacitar a las unidades técnicas locales e intercambiar experiencias exitosas a lo largo del país.

También busca fomentar y difundir soluciones con tecnología de energías renovables, apoyar la investigación, desarrollo e innovación que facilite el suministro energético rural.

El programa cuenta con tres metas [12].

- Electrificación de escuelas y postas rurales: El 2018 se terminarán de abastecer el 100 [%] de las escuelas y postas rurales del país.
- Proyectos demostrativos de aplicación de energías renovables: implementación de proyectos de baja escala que permitan levantar información para el desarrollo de políticas públicas e instrumento de fomento
- Transferencia tecnológica: formación de capital humano para el desarrollo de soluciones con energías renovables a pequeña escala.

2.1.2 Comuna Energética

cómo parte de la implementación de las políticas existe el programa del Ministerio de Energía, Comuna Energética, que busca, promueve e incentiva a las municipalidades a elaborar planes de estrategias energéticas locales, identificando y caracterizando el consumo y recursos energéticos junto a las problemáticas de acceso a la energía y las propuestas de que permitan explotar el potencial de eficiencia energética y usos de energías renovables desde la comunidad local [8].

A diciembre de 2017, 36 municipios a lo largo de todo Chile han realizado sus planes de estrategias energéticas locales, los cuales se encuentran en la siguiente fase del programa que es la implementación de proyectos, evaluación y monitoreo. De los municipios con estrategias energéticas locales se identificaron comunas que detectaron el problema de electrificación rural y proponen proyectos de micro-redes para el suministro de energía eléctrica, se seleccionó a las comunas de Caldera, Carahue y Coyhaique como municipios con comunidades aisladas para los estudios de recursos energéticos. Además de la comuna de Colchane que aún no es parte del programa Comuna Energética.

2.2 Comunidades y Localidades Aisladas Eléctricamente

La gran problemática para poder cuantificar las localidades y comunidades aisladas eléctricamente es la falta de información centralizada, actualizada y contrastada. Ya que a nivel ministerial o algún otro organismo central, como el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, el Ministerio de Desarrollo Social o el Instituto Nacional de Estadísticas INE¹,

¹ Debido a que los últimos datos útiles son del censo 2002, ya que los datos del censo 2012 fueron desestimados y los resultados del censo 2017 estarán disponibles el año 2018.

no se cuenta con un catastro a nivel nacional o regional de las localidades y comunidades aisladas eléctricamente.

Debido a los alcances de este trabajo, el cual no trata de realizar un catastro exacto de las localidades y comunidades aisladas eléctricamente, además de las limitantes metodológicas de investigación social, de recursos y de tiempo, es que se recurre a dos investigaciones metodológicas a las cuales se obtuvo acceso. La primera investigación fue realizada el año 2013 por el Centro de Energía de la FCFM de la Universidad de Chile para el Centro de Energías Renovables del Ministerio de Energía [13], la segunda es la investigación hecha por Guillermo Montecinos [3] en su tesis “El potencial para suministrar electricidad a comunidades indígenas y campesinas de Chile mediante micro redes híbridas solar-eólicas autogestionadas: una propuesta de desarrollo comunitario sustentable para la electrificación rural en zonas aisladas” para optar al grado de magister en ciencias de la ingeniería de la Universidad Católica de Chile.

Junto con lo anterior, se complementa el estudio cuantitativo de localidades y comunidades aisladas eléctricamente con datos obtenidos por la oficina de acceso y equidad energética del Ministerio de Energía que consta del catastro nacional de sistemas aislados menores a 1500 [kW], el cual alcanza hasta 109 sistema aislados [14] y por la información de proyectos de electrificación rural informados por los gobiernos regionales en el Banco Integrado de Proyectos del Sistema Nacional de Inversiones para los años 2017-2018 [15].

2.2.1 Catastro Estimado de Comunidades Aisladas Eléctricamente

Se entiende que es una comunidad aislada, toda aquella agrupación de personas que conviven en un territorio o zona geográfica establecida, con bajo nivel de accesibilidad, con baja densidad poblacional, poca cobertura de servicios básicos y públicos lo cual genera una situación de desigualdad social y desventaja en el desarrollo respecto a otros lugares del país, lo cual se desprende del Decreto Supremo N°608 de noviembre del 2010, el que establece la política nacional de desarrollo de las localidades aisladas [16].

Una comunidad aislada eléctricamente cumple con la definición realizada anteriormente, en la cual el servicio básico de la energía eléctrica no está presente o es de acceso restringido en el horario, y se entiende que, al cambiar el estatus de aislada eléctricamente, los niveles de desarrollo e igualdad social son elevados y alentados a mejorar [3].

Acorde a la metodología utilizada por G Montecinos en [3], existen 255 comunidades aisladas eléctricamente que cumplen con las siguientes restricciones:

- Son comunidades con más de 5 habitantes.
- Se localizan en comunas con más de un 15[%] de población indígena.

- No poseen sistemas de suministro eléctrico en base a diésel.

Este catastro fue realizado mediante el cruce de dos bases de datos de dos organismos, la primera elaborada por la Subdirección de Desarrollo Regional SUBDERE, en el Estudio identificación de la localidades en condición de aislamiento [16] 2011, el cual considera las condiciones de aislamiento territorial como los tiempos de traslado entre la localidad y las cabeceras comunales y regionales, también los tiempos de traslado a servicios básicos como colegios, hospitales y bancos lo cual entrega un índice de aislamiento, se considera una localidad aislada a aquella cuyo índice de aislamiento es negativo.

La segunda base de datos son las referencias de ubicación geográfica en coordenadas UTM de la base de poblados de Chile, para obtener así un catastro de localidades aisladas y georreferenciadas.

Las 255 localidades identificadas por esta metodología se distribuyen en 8 regiones del país, las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta en la zona norte del país con 129 localidades identificadas y 126 en las regiones del Bio-Bio, la Araucanía, Los Ríos, Los Lagos y Aysén en la zona sur. Esta dispersión se da debido a la restricción de que las comunas posean más de un 15[%] de población indígena, restricción basada en los objetivos iniciales de dicho estudio, que apunta directamente a la potencialidad de las comunidades indígenas de levantar proyectos comunitarios de electrificación.

En el informe de Micro-redes [13] para localidades aisladas realizado por el Centro de Energía el año 2013, el cual tenía por objetivo elaborar un plan de trabajo que permitiera la implementación de soluciones energéticas eficientes y sustentables para las comunidades aisladas eléctricamente, considerando las dimensiones técnicas, económicas y sociales de las comunidades, para lo cual se desarrolló un catastro y clasificación de las comunidades aisladas eléctricamente.

Según dicho informe, se obtuvo un universo de 296 localidades a nivel nacional que son consideradas comunidades aisladas eléctricamente, dicho universos, por los objetivos propios del informe, fue sometido a tres filtros, donde el catastro disminuyo a 48 comunidades. Dichos filtros son:

- Localidades con más de 10 viviendas.
- Eliminar todas las localidades que cuenten con algún proyecto de energización en cualquiera de sus etapas.
- Localidades que no presenten índices de migración elevados, es decir, donde la población no haya disminuido en los últimos años.

Luego al realizar una validación de los resultados con organismos locales y regionales el catastro final de comunidades aisladas eléctricamente que cumplen con los requisitos y poseen potencial para instalar una micro red eléctrica aumentó de los 48 después de los filtros a 82.

Como se observa, según las prioridades de los investigadores o por las determinaciones propias de una investigación, se obtienen resultados diferentes, pero aun así correlacionados y congruentes entre los resultados.

Según lo que se puede concluir de [3] y [13] existen entre 255 y 296 comunidades aisladas eléctricamente.

Cómo complemento a los resultados anteriormente expuestos, se consideran los sistemas eléctricos aislados menores a 1.500 [kW], esto debido a que, aunque son localidades que tienen disponibilidad del recurso, no está presente las 24 horas del día en todos estos sistemas, son precarios y dependientes principalmente del consumo de combustibles fósiles como el diésel, y debido a su infraestructura ya instalada son potenciales sistemas donde incorporar elementos de generación renovables.

El [14] catastro nacional de sistemas menores a 1.500 [kW] del Ministerio de Energía se obtuvo mediante la oficina de acceso y equidad energética, el cual presenta 109 sistemas distribuidos en 11 regiones del país, donde 16 están en la región de Arica y Parinacota, 19 en la región de Tarapacá, 14 en la región de Antofagasta, en las regiones de Atacama y Coquimbo 2 sistemas en cada una, un sistema en la región de Valparaíso que corresponde a la Isla Robinson Crusoe, 3 sistemas en la región del Maule y 3 en el Bio-Bio, 35 en la región de los Lagos, 7 en la región de Aysén y 7 en Magallanes.

Otros datos de relevancia para tener una cuantificación del problema de electrificación rural son los proyectos informados por los gobiernos regionales que se encuentran en el banco integrado de proyectos del sistema nacional de inversiones [15]. Para los años 2017-2018 existen 120 proyectos de electrificación rural en ejecución, junto con ellos existen otros 61 proyectos con recomendaciones favorables por parte del Ministerio de Desarrollo Social para ser financiados, otros 42 proyectos en evaluación en el Sistema Nacional de Inversiones o en elaboración, además de 40 anteproyectos elaborados por distintas empresas distribuidoras.

Es claro en la actualidad que aún existen muchas familias a lo largo y ancho del país que se encuentran imposibilitadas de realizar o desarrollar una vida acorde a los estándares modernos presentes en la mayoría del país, debido a su aislamiento eléctrico.

2.2.3 Caracterización Socioambiental de las Comunidades Aisladas Eléctricamente

Las comunidades aisladas eléctricamente consideradas en el apartado anterior que se distribuyen en todo el territorio las podemos clasificar en 4 macrozonas geográficas, extremo norte, norte chico, sur y austral.

La zona del extremo norte, constituida por las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta se tienen 49 sistemas eléctricos menores a 1.500 [kW] y 129 localidades identificadas sin acceso a la energía eléctrica. Estas comunidades se caracterizan por

estar la mayoría en las zonas del altiplano chileno y pertenecer a pueblos originarios, esencialmente Aymaras y Quechua, pueblos que según el censo 2002 [2] constituían el 7[%] y 1[%] de la población indígena total del país. Sus principales actividades económicas son la pequeña agricultura y la ganadería de llamas y alpacas principalmente.

En la zona del norte chico compuesta por las regiones de Atacama y Coquimbo si bien no presentan altos números de comunidades detectadas, debido a la poca presencia indígena en la zona, ya que según el censo 2002 en estas regiones solo hay entre un 0,8[%] y 1,1[%] de la población indígena total. Pero esta zona presenta otras características especiales que son de mucho interés, ya que a lo largo de la extensa costa de ambas regiones se han instalado y desarrollado un gran número de caletas de pescadores artesanales, dónde la mayoría de estas son tomas ilegales de terrenos. El que se constituyan estas comunidades como caletas de pescadores artesanales aumenta su potencial de desarrollo, ya que al lograr el acceso a los servicios eléctricos le entrega mayores oportunidades de desarrollo, diversidad y complejidad económica [17].

Las comunidades de la zona sur, es decir, de las regiones del Bio-bio, la Araucanía, los Ríos y los Lagos, poseen el mayor porcentaje de presencia de población indígena, sumando estas cuatro regiones más del 50% de la población total indígena del país según los datos del [2] censo 2002, además de la mayoría de la población, junto con la zona norte posee la mayoría de las comunidades aisladas eléctricamente identificadas en los catastros anteriormente señalados. Siendo estas comunidades pertenecientes al pueblo Mapuche, con las diferencias propias de las distintas poblaciones según su posición geográfica, al tener una identificación clara de pertenencia a la cultura y tradición autóctona, aumenta la participación e interés de los individuos en las acciones comunitarias [18].

Al igual que la mayoría de las comunidades aisladas y rurales, las presentes en la zona sur del país poseen un desarrollo económico bastante escaso y de poca complejidad, basándose principalmente en los procesos primarios, agrícola, pesca, ganadería y artesanías. Además, estas regiones presentan los índices de pobreza más altos del país, lo cual se puede ver en la Tabla 2 de la siguiente sección.

En la zona austral se encuentran comunidades aisladas eléctricamente en la región de Aysén, las cuales poseen características más parecidas a las del norte chico, debido a que la población indígena en la zona es solamente de un 1,2[%] del total de la población indígena del país, según los datos del [2] censo 2002. Estas comunidades aisladas eléctricamente son preponderantemente caletas de pescadores artesanales en los fiordos de la región. Debido a las condiciones climáticas extremas que se viven en la región en la época de invierno, los requerimientos energéticos de los hogares son de mayor nivel de calidad, aislamiento y rendimiento que los encontrados en las otras zonas del país [19].

2.2.3.1 Comunidades Aisladas Eléctricamente Representativas de las Zonas Geográficas

Las siguientes comunidades fueron seleccionadas como representativas de cada una de las zonas geográficas anteriormente descritas, con el fin de realizar los análisis de disponibilidad de recursos energéticos y viabilidad técnica para la instalación del sistema diseñado propuesto.

Las localidades son:

- Primera zona: la localidad de Acovinto, ubicada en la comuna de Colchane, provincial del Tamarugal, región de Tarapacá [3].
- Segunda zona: la Caleta Obispito, ubicada en la comuna de Caldera, provincia de Copiapó, región de Atacama [17].
- Tercera zona: la comunidad de Las Araucarias, ubicada en la comuna de Carahue, provincia de Cautín, región de La Araucanía [18].
- Cuarta zona: Localidad de Alto Mañilahue, ubicada en la comuna de Coyhaique, provincia de Coyhaique, Región de Aysén [19].

2.2.3.2 Índices de pobreza

Según la metodología actualmente utilizada por el Ministerio de Desarrollo Social, para su encuesta CASEN [20], la medición de la pobreza por ingresos mensuales de las familias dice que la línea de la pobreza está dividida según los integrantes de las familias y se resume en el siguiente recuadro.

Tamaño del hogar	Línea de la Pobreza	Línea de la Pobreza Extrema
1	\$151.669	\$101.113
2	\$246.387	\$164.258
3	\$327.251	\$218.167
4	\$400.256	\$266.838
5	\$467.924	\$311.949
6	\$531.621	\$354.414

Tabla 1: Línea de la pobreza y pobreza extrema. Fuente encuesta Casen 2015, Ministerio de Desarrollo Social

Si bien la determinación de la línea de la pobreza según ingresos es útil para visualizar la problemática de la desigualdad y pobreza, no es el único método de medición utilizado por los organismos gubernamentales para medir la pobreza en el país. En esta edición de la encuesta se consideró la pobreza multidimensional, que considera cuatro

dimensiones básicas del desarrollo de vida y dentro de cada una se observan tres indicadores distintivos de la dimensión, donde cada indicador tiene el mismo peso dentro de la dimensión y a su vez cada dimensión pesa un 25[%] en la medida de la pobreza multidimensional [20]. Las dimensiones y sus indicadores se describen a continuación:

1. Educación:
 - Asistencia.
 - Rezago Escolar.
 - Escolaridad.
2. Salud:
 - Malnutrición niños y niñas.
 - Adscripción al sistema de salud.
 - Atención.
3. Trabajo y Seguridad Social:
 - Ocupación.
 - Seguridad social.
 - Jubilaciones.
4. Vivienda:
 - Hacinamiento.
 - Estado de la vivienda.
 - Servicios Básicos.

Se considera que un hogar en situación de pobreza multidimensional, si en la medición obtienen un 25[%] o más de carencias en los indicadores que componen la multidimensionalidad, lo cual es equivalente a que el hogar presenta una carencia de una dimensión completa.

De lo anterior se desprende el siguiente recuadro que muestra los porcentajes de la población que viven bajo la línea de la pobreza, pobreza extrema y presentan pobreza multidimensional.

Región	[%] de personas bajo la línea de la pobreza	[%] de personas bajo la línea de la extrema pobreza	[%] de personas en situación de pobreza multidimensional
XV Arica y Parinacota	9,7	2,0	21,0
I Tarapacá	7,1	2,3	20,5
II Antofagasta	5,4	1,6	17,2
III Atacama	6,9	1,7	26,3
IV Coquimbo	13,8	4,0	23,9
V Valparaíso	12,0	3,2	18,2
Metropolitana	7,1	2,1	20,1
VI O'Higgins	13,7	3,8	23,0

VII Maule	18,7	5,1	22,4
VIII Biobío	17,6	5,8	19,2
IX La Araucanía	23,6	8,4	29,2
XIV Los Ríos	16,8	4,8	22,6
X Los Lagos	16,1	5,0	23,2
XI Aysén	6,5	1,6	16,9
XII Magallanes	4,4	1,6	9,1
Total, País	11,7	3,5	20,9

Tabla 2: Porcentaje de población bajo la línea de la pobreza, de la pobreza extrema y pobreza multidimensional por región. Fuente encuesta Casen 2015, Ministerio de Desarrollo Social

Otros resultados desagregados importantes a considerar que entrega la encuesta Casen 2015 son los que tienen relación con los pueblos indígenas y sus índices de pobreza por ingresos y multidimensional [20].

- El 18[%] de la población indígena vive en situación de pobreza por ingresos.
- El 6,6[%] de la población indígena vive en situación de extrema pobreza
- El 30,8[%] de la población indígena vive en situación de pobreza multisectorial.
- El 50,7[%] de las viviendas indígenas rurales presentan índice de calidad global deficitaria.
- El 44,3[%] de las viviendas indígenas rurales presentan índices deficitarios en acceso a servicios básicos en la vivienda.

Al lo largo de este capítulo de discutió sobre las comunidades aisladas eléctricamente, existen entre 255 y 296 [3] [13], de cómo estas se distribuyen en el territorio nacional, resaltando las comunidades indígenas Aymaras y Quechuas en la zona norte, comunidades Mapuches en la zona sur y una diversidad de comunidades campesinas y de caletas de pescadores artesanales que están más presentes en la zona del norte chico y en la zona austral de Aysén. Se determino una localidad específica representativa dentro de cada zona para realizar el estudio de recursos energéticos.

Si bien las comunidades presentan distintas características debido a su origen y ubicación territorial, todas estas cumplen con las condiciones de pobreza por ingresos y multidimensional. Por lo cual es necesaria la intervención directa mediante políticas públicas y planes de desarrollo específicos para comunidades aislados.

Capítulo III: Economía Social y Las Cooperativas

Se debe entender a la economía social como un sector dentro del modelo económico actual e imperante, el cual está orientado a contribuir con el desarrollo mediante emprendimientos colectivos y asociativos que buscan la inclusión de valores democráticos, el principio de ayuda mutua, solidaridad y autonomía cuyo objetivo principal es el bien común, donde priman las personas y el objeto social por sobre el capital [5].

Como se discutió en el capítulo II, el sector eléctrico en Chile es netamente inversión y operación privada para entregar energía eléctrica a la población, limitándose el estado a un rol regulador de tarifas del mercado y de un fiscalizador técnico de las instalaciones y la seguridad del servicio. Al ser política del Estado neoliberal dejar a los intereses privados los derechos sociales básicos como, educación, salud, vivienda, previsión y servicios básicos de aguas, gas y electricidad, se producen grandes vacíos o errores de mercado llamados por los economistas clásicos, donde la inversión privada que busca obtener un retorno de la inversión en pocos años y lograr generar una rentabilidad en dicha inversión, no está dispuesta a generar soluciones en los sectores menos rentables

de la sociedad, que son los habitantes y familias de las localidades y comunidades aisladas geográficamente en general y aisladas eléctricamente en particular.

Por lo anterior frente a las imposibilidades de que el sector privado tradicional de electrificación nacional presente interés en generar soluciones viables para entregar energía eléctrica a comunidades aisladas es que se propone un modelo de innovación social y emprendimiento colectivo basado en la creación de Cooperativas de servicios, constituida por las y los habitantes de las comunidades, que sean propietarias administradoras de los medios de generación y los sistemas de distribución mediante la construcción de microrredes abastecidas con energías renovables eólica y solar.

3.1 El Cooperativismo

Las cooperativas nacen en el mundo en Inglaterra en la segunda mitad del siglo XIX, como respuesta novedosa y alternativa a los nuevos procesos económicos, sociales, culturales y políticos generados por la revolución industrial. Están presentes prácticamente en todas las actividades económicas, producción, trabajo, viviendas, salud, educación y servicios.

Según la Alianza Cooperativa Internacional (ACI) *“una cooperativa es una asociación autónoma de personas que se han unido voluntariamente para hacer frente a sus necesidades y aspiraciones económicas, sociales y culturales comunes por medio de una empresa de propiedad conjunta y democráticamente controlada”* [21].

Los valores que deben mover a una cooperativa y al cooperativismo en general son la participación activa y permanente por parte de sus socios, siendo exigentes y críticos frente a sus dirigentes y asesores, pero a la vez participes en el levantamiento de iniciativas y el apoyo en el esfuerzo común, el cual se debe reflejar en la ayuda mutua y solidaria entre los socios hacia la interna de la cooperativa y entre cooperativas hacia afuera, ser solidarios con el entorno, las necesidades sociales y medioambientales.

Junto con la participación y la ayuda mutua, el valor de la honradez como forma de relacionarse entre los socios, donde la franqueza y la confianza son fundamentales en el funcionamiento de una cooperativa, más allá del manejo financiero de la misma, sino como fuerza principal del funcionamiento inherentemente democrático que deben tener las cooperativas. La democracia efectiva y significativa es el medio para lograr la participación activa de los socios, con lo cual se debe resguardar y promover la ayuda mutua solidaria y la honradez de los accionares particulares de cada socio, como del accionar colectivo de la cooperativa, con lo cual se busca lograr equilibrio entre los socios y socias y aquellos que ocupen cargos de representación y/o de dirección más allá de su simple elección.

3.1.1 Principios del Cooperativismo.

De los valores del cooperativismo recientemente expuestos, la ACI en el año 1995 acordó establecer los siete principios fundamentales del cooperativismo los cuales rigen la creación, organización y funcionamiento de una cooperativa [5] [21] [22].

1. Membresía Abierta y Voluntaria. Las cooperativas son organizaciones voluntarias, abiertas y de libre acceso a todas las personas que deseen asociarse y estén dispuestas aceptar las responsabilidades y deberes de ser asociado. No debe haber restricciones no naturales al ingreso de una cooperativa, por ejemplo, en una cooperativa de trabajo, una restricción natural son las vacantes disponibles. No se puede discriminar a un postulante por nacionalidad, genero, clase social, raza, religión o posición política.
2. Control y Gestión Democrática: Las cooperativas deben ser organismos democráticos, donde todos los miembros son partícipes activos en la toma de decisiones y en la elección de representantes y dirigentes, los cuales deben responder a los socios y al órgano principal y máximo de decisión que es la Asamblea General de socios, la cual se rige por el principio general de un socio un voto.
3. Participación Económica: Las y los asociados contribuyen de manera equitativa en el capital de sus cooperativas y al obtener excedentes del ejercicio económico, luego de cumplir con los requerimientos y obligaciones legales y de los estatutos, cómo la reinversión, fondos para educación o cualquier decisión tomada democráticamente, el remanente se repartirá entre los asociados según la misma cooperativa lo establezca.
4. Autonomía e Independencia: Las cooperativas son personalidades jurídicas de derecho privado administrada y controlada por sus miembros autónomamente e independiente de otros organismos privados o públicos en la toma de decisiones relativas a su constitución, desarrollo, gestión y planificación.
5. Educación, entrenamiento e información: Las cooperativas deben destinar parte de sus recursos, tanto económicos como temporales, en la auto educación y formación profesional de sus miembros socios, administradores y trabajadores en el ámbito económico en el que se desarrolla la cooperativa y en los valores del cooperativismo. A la vez deben ser agentes activos en la promoción y divulgación hacia el conjunto de la sociedad del modelo de desarrollo y los principios de la economía social y el cooperativismo.
6. Cooperación entre Cooperativas: Se deben realizar esfuerzos de todas las formas posibles por parte de las cooperativas a nivel local, nacional e internacional, para fortalecer el movimiento cooperativista y otorgar mayores y mejores resultados a todos los miembros.
7. Compromiso con la Comunidad: Las cooperativas deben centrarse tanto en el bienestar, necesidades y motivaciones de sus asociados, pero a la vez también

deben enfocarse en conseguir el desarrollo sostenible de la comunidad y el medio ambiente en dónde se desenvuelven, mediante políticas aprobadas por sus integrantes que son a su vez miembros de las comunidades.

3.1.2 Las Cooperativas en la Economía Mundial

Las cooperativas como empresas de desarrollo social se encuentran en todo el mundo, en una gran diversidad de países, desarrollados y en vía de desarrollo, con variadas realidades políticas y características sociales y culturales.

Según diversos autores las cooperativas al ser entidades eminentemente democráticas y participativas son generadoras de capital social, capaces de generar mecanismos exitosos para una mayor equidad económica y social [23] [24]. Y que por su naturaleza poseen una mayor resiliencia en época de crisis económica como se pudo ver en Francia y España luego de la crisis financiera internacional del año 2008 [25] ya que existe un mayor compromiso por parte de los miembros con la organización y hay una estrecha relación con las necesidades locales e interacción con la comunidad que permiten esta mayor resiliencia en situaciones desfavorables.

Las cooperativas como entes activos de la economía generan impactos favorables a la sociedad y su desarrollo conjunto ya que ataca espacios y necesidades latentes de las personas en donde la alternativa tradicional no logra cubrir o que los medios que utiliza para lograrle van en contra de los valores y/o motivaciones de las personas.

Según los autores Borzaga y Galera [24] el impacto en la economía que generan las cooperativas se centra en cinco puntos:

- Disminución en las fallas de mercado, al existir una diversidad de estructuras de propiedad en las empresas que están en el mercado, con diversidad de objetivos, es posible generar un abanico más amplio de posibilidades a los consumidores mediante mayor competencia disminuyendo los precios finales e incrementando el bienestar de las personas.
- Rol estabilizador de la economía, especialmente en sectores de la economía con gran volatilidad de sus precios, cómo el energético, financiero y agrícola ya que por su control, propiedad y beneficios las cooperativas presentan ventajas en condiciones de crisis económicas frente a las empresas de propiedad tradicional.
- Producción de bienes y servicios en torno a las necesidades de las personas a las que sirven, ya que poseen la capacidad de producir bienes y servicios que no son atractivos por su baja rentabilidad o incluso cuando esta es negativa en su evaluación financiera, pero de alta necesidad para sus miembros ya que las cooperativas podrían captar recursos por vías no tradicionales como el trabajo voluntario, donaciones y financiamiento estatal, sobre todo en las etapas

iniciales de una cooperativa que busca solucionar un problema social latente cómo la falta de energía.

- Adopción de perspectivas de largo plazo, ya que las cooperativas se transforman en activos productivos para la comunidad con lo cual pueden generar planes de inversión que busquen la estabilidad económica de sus miembros actuales y futuros.
- Contribuyen a la redistribución del ingreso más equitativo, debido a la concepción de las cooperativas de garantizar el bienestar de sus miembros, distribuyendo los recursos mediante mayor y mejores condiciones de empleo o precios más bajos en productos y servicios.

El tamaño en la economía mundial de las cooperativas es sin duda muy menor en comparación a las empresas tradicionales, pero no es despreciable y cada vez mayor, según la ACI más de mil millones de personas en el mundo están asociados a alguna cooperativa, ya sea como socio, cliente o trabajador, generando más de cien millones de empleos.

En países desarrollados las cooperativas tienen un importante rol en la economía y sus ciudadanos ya que a modo de ejemplo en Canadá 4 de cada 10 familias es parte de una cooperativa, en Japón son 3 de cada 10 familias, en Alemania y Estados Unidos 2 de cada 10 y en Singapur se da que la mitad de las familias está asociada a alguna cooperativa [5].

Para poder determinar e informar de cuál es la importancia de las cooperativas en la economía de los países y a nivel mundial, es que la ACI junto al European Research Institute on Cooperative and Social Enterprises (Euricse), desde el año 2011 lanzó la iniciativa de generar un ranking mundial de las mayores cooperativas a nivel mundial, el World Cooperative Monitor [26].

Considerando las 2.032 cooperativas más grandes del mundo, pertenecientes a 56 países, Chile no incluido, el año 2011 el total de las cooperativas facturaron 2,6 billones de dólares, excluyendo las cooperativas bancarias y de seguros, que son las que mayores montos facturan por la naturaleza de su negocio, la facturación de las cooperativas llega a 1,25 billones de dólares un 48[%] del total del sector. Si bien no son comparables a los niveles de la economía general, pero sí existen cooperativas con gran relevancia en su sector, por ejemplo la productora más grande del mundo de productos lácteos es una cooperativa de Nueva Zelanda llamada Fronterra Cooperative Group Ltda, similar a lo que ocurre en Chile con la Cooperativa Agrícola y Lechera de La Unión Ltda (Colun) que es la mayor procesadora de productos lácteos del país, algo similar pasa con las cooperativas canadienses de miel de maple que producen el 35[%] del total de la producción mundial [26].

En términos del área productiva de la economía en que están presentes las cooperativas en cuanto a la cantidad de cooperativas existentes, el 32[%] de estas pertenecen al sector

de la agricultura y la industria alimentaria, le sigue con un 24[%] las presentes en el área de seguros, seguidas por el sector de comercio mayorista y minorista con un 18[%], luego se reparten en pequeños porcentajes las cooperativas relacionadas con los servicios públicos, bancos y servicios financieros, salud, educación, trabajo y otros servicios. Es necesario notar que existen cooperativas de gran tamaño y de relevancia económica por sus niveles de ingresos, el 72,1% de las cooperativas, es decir, 1.564 producen el 99% del total de las facturaciones de las cooperativas.

La participación en la producción que presentan el conjunto de las cooperativas es menor y casi marginal en términos macroeconómicos, poseen características propias que generan valores más allá de los monetarios, son capaces de adaptarse de mejor forma a las necesidades y demandas sociales por mayor integración, igualdad y seguridad social. En esa línea en la agenda para el desarrollo elaborada por las Naciones Unidas el 2015 [27] se establecen doce objetivos del desarrollo sustentable en las cuales las cooperativas contribuyen de manera directa y significativa [28].

- Reducción de la pobreza: identificando oportunidades de sus miembros, empoderando a los más desfavorecidos a defender sus intereses, contribuyendo a la seguridad de los pobres al permitir transformar riesgos individuales en riesgos colectivos, entregando acceso a servicios y productos que de otra manera no podrían acceder.
- Igualdad de género: extendiendo el campo laboral y las oportunidades de trabajo para mujeres, sobre todo de los sectores más pobres, insertándose en las economías locales. En muchos sectores las mujeres son la mayoría de los socios.
- Educación de calidad y formación continua: Proveyendo financiamiento a la educación interna mediante la formación continua de sus socios y trabajadores, y a la educación general de la población con la constitución de colegios y centros de formación profesional, orientado a las necesidades de la comunidad.
- Salud: Creando la infraestructura necesaria para entregar servicios del cuidado de la salud, financiamiento a tratamientos y las necesidades de los miembros de la cooperativa. También se pueden crear establecimientos de atención sanitaria para la comunidad.
- Seguridad alimenticia y nutrición: Ayudando a pequeños ganaderos, pescaderos y agricultores entre otros, a resolver los desafíos impuestos por el mercado de la industria alimenticia, como el acceso a insumos de alta calidad, medios de distribución, información de precios y financiamientos bancarios.
- Acceso al agua y sanitación: Facilitando y entregando el acceso al agua y a servicios de alcantarillado, como es el caso de SAGUAPAC en la ciudad boliviana de Santa Cruz, que entrega los servicios de agua potable y alcantarillado siendo la cooperativa de esta naturaleza en zona urbana más

grande del mundo, y en Chile tenemos los ejemplos de comités de agua potable rural.

- Energía sustentable: contribuyendo al logro de las metas de eficiencia energética y reducción de emisiones, ayudando al acceso de energías limpias y renovables como las eólicas y solares.
- Creación de empleos y generación de ingresos: Son entidades que crean empleos estables con seguridad en los ingresos y condiciones laborales dignas.
- Administración sustentable de los recursos naturales: Velando por que los recursos naturales no sean agotados, innovando y desarrollando soluciones enfocadas en las localidades para contrarrestar los efectos del cambio climático, defendiendo los derechos de propiedad, uso y administración de los recursos naturales.
- Buena gobernanza: Mediante el control democrático de los socios, permitiendo un mayor nivel de transparencia, probidad, responsabilidad y participación y coherencia con las necesidades de los miembros y el respeto por el cumplimiento de las leyes y estatutos que rigen la operación de una cooperativa.
- Promoción de sociedades estables y pacíficas: Son fuente de capital social, promoviendo un fuerte sentido de comunidad y pertenencia, generando participación e inclusión de los miembros de la sociedad en la comunidad estableciendo relaciones interpersonales de respeto, ayuda mutua y paz.
- Facilitación del comercio y financiamiento a largo plazo: Ayudan a disminuir la brecha comercial entre el mundo desarrollado y en vías de, estabilizando los sistemas financieros en tiempos de crisis y proveyendo la base para la profundización financiera.

Es claro que el impacto de las cooperativas es fundamental en la búsqueda de los países de un desarrollo sustentables y equitativo, que va mucho más allá de la creación de empleos, salarios estables y decentes, y rentabilidad económica. Ayuda directamente a satisfacer las necesidades de sus miembros y comunidad impulsando los objetivos económicos, sociales y medioambientales de los países.

3.1.3 Las Cooperativas en Chile

Según datos obtenidos desde la División de Asociatividad y Economía Social (DAES, ex DECOOP) del ministerio de Economía Fomento y Turismo, existen 4.984 cooperativas inscritas, de las cuales solo un parte se encuentran activas y vigentes, para considerarlas activas se considera si han presentado durante los últimos 5 años su situación societaria o contable, de lo contrario se consideran inactivas, lo cual disminuye la cifra a un 22,8[%], llegando a un número de 1.137 cooperativas activas, de las cuales 952 se consideran vigentes, ya que son las que operan regularmente en el mercado [5].

Si bien al parecer estas son cifras desalentadoras para el sector cooperativo, si se observa un progreso del último tiempo en la creación de nuevas cooperativas activas o la reactivación de antiguas, el sector ha mostrado un interesante dinamismo ya que desde el 2007 al 2013 el número de cooperativas activas aumentó en un 75[%].

Según la DFL 5/2003, la ley general de cooperativas [29] reconoce y presenta disposiciones especiales relativo a clase de cooperativa, se establecen cuatro grandes tipos de cooperativas.

1. Cooperativas de Trabajo: tienen por objetivo producir o transformar bienes o servicios, mediante el trabajo mancomunado de sus socios y cuya retribución debe fijarse de acuerdo con la labor realizada por cada cual (DFL N°5, Artículo 60).
2. Cooperativas agrícolas, campesinas y pesqueras: las agrícolas y campesinas se dedican a la compraventa, distribución, producción y transformación de bienes, productos y servicios relacionados con la actividad silvoagropecuaria y agroindustrial, actúan preferentemente en un medio rural y promueven el desarrollo social, económico y cultural de sus socios. Las cooperativas pesqueras son aquellas que se dedican a la producción, venta, distribución, transformación de bienes, productos o servicios relacionados con la explotación de productos del mar y a las actividades que persigan el mejoramiento de las condiciones de vida de quienes las desempeñan (DFL N°5, Artículos 65 y 68).
3. Cooperativas de servicios: tienen por objetivo distribuir los bienes y proporcionar servicios de toda índole, preferentemente a sus socios, con el propósito de mejorar sus condiciones ambientales y económicas y satisfacer sus necesidades familiares, sociales, ocupacionales o culturales (DFL N°5, Artículo 60). Dentro de la categoría de servicios se destacan las siguientes:
 - Escolares: se constituyen en los establecimientos de educación básica, media, especial o superior, con el objetivo de propender el mejoramiento de las escuelas en las que se fundan y de la comunidad donde éstas funcionan, dentro de sus finalidades está proporcionar útiles escolares o servicios que promuevan el desarrollo cultural, social y físico de la comunidad educativa (Artículo 69).
 - De abastecimiento y distribución de energía eléctrica y de agua potable: las cooperativas de distribución eléctrica funcionan bajo las normas de la ley general de servicios eléctricos DFL N°4 y operan comercialmente como todas las empresas de distribución en una zona de concesión, comprando energía en el sistema interconectado y distribuyéndola en su zona de concesión operando sus instalaciones. Las cooperativas de abastecimiento y distribución de

agua potable son principalmente los comités de acceso al agua potable rural (APR) que se rigen bajos sus leyes y reglamentos específicos del sector. (DFL N°5, Artículos 72 y 73).

- De vivienda: tienen por objetivo satisfacer las necesidades habitacionales y comunitarias de sus socios y prestar los servicios inherentes de dicho objetivo. Existen de dos tipos, las cerradas que se organizan para desarrollar un proyecto habitacional específico, y las abiertas las cuales pueden desarrollar en forma permanente, simultánea o sucesiva diferentes proyectos habitacionales, pueden ser de carácter nacional o regional. (Artículo 74).

- De ahorro y crédito: tienen por objetivo único y exclusivo brindar servicios de intermediación financiera en beneficio de sus socios. (Artículo 86).

- De consumo: tiene como objetivo suministrar a los socios y familias artículos y mercadería de uso personal y doméstico, con el fin de mejorar sus condiciones económicas. Las cuales deben formarse con al menos 100 socios. (Artículo 91).

4. Confederaciones, federaciones e institutos auxiliares: Las federaciones se constituyen por tres o más cooperativas, las confederaciones por tres o más federaciones y los institutos auxiliares por siete o más personalidades jurídicas de derecho público, cooperativas o personalidades jurídicas de derecho privado que no persigan fines de lucro. (DFL N°5, Artículo 101).

El 55,7[%] de las cooperativas activas y vigentes son de servicios, un 28,1[%] son cooperativas agrícolas, campesinas y pesqueras, un 14,1[%] de trabajo y un 2[%] de federaciones y confederaciones. Dentro de las de servicio un 17,1[%] del total de las cooperativas son de servicios generales, un 16,6[%] de agua potable y un 13,2[%] de vivienda cerrada y un 2,2[%] son de distribución eléctrica [5].

En términos de personas participando en cooperativas como socios o trabajadores, las cooperativas en conjunto declararon socios a casi unas 1.748.000 personas. Las cooperativas de ahorro y crédito son las tienen el mayor porcentaje de asociados con el 75,6[%] luego le siguen con mucho menor número de socios las cooperativas de servicio con un 4,9[%] y las de consumo con 4,8[%], luego las de servicio agua potable con el 4,5%, las eléctricas un 4,3% y las de vivienda abierta con un 4,1[%], cada una del resto de los rubros de las cooperativas tiene menos del 1% de los asociados. Cabe destacar que el 52[%] de los socios son mujeres [5].

El número de empleos generado por el sector de las cooperativas alcanza a cerca de los 11 mil trabajadores, siendo las de ahorro y crédito las generan el mayor porcentaje con el 35[%] de los empleos generados, seguido por las cooperativas agrícolas con el 26,3[%], seguidos por las de servicios con un 7,3[%], las de consumo con un 6,5[%] y las eléctricas con un 5[%].

El 25,6[%] de las cooperativas vigentes se encuentran en la Región Metropolitana, el 25,5[%] en las regiones del sur, un 10,5[%] en las regiones del norte, y un 38,3[%] en las regiones de la zona central sin contar la región metropolitana [5].

Si bien el sector cooperativo es pequeño, existen cooperativas que son denominadas de importancia económica, ya que operan a gran escala, según el artículo 109 de la ley de cooperativas, [29] se consideran como cooperativas de importancia económica a todas las de ahorro y crédito y de vivienda abiertas, junto con todas aquellas cuyos activos sean iguales o superiores a 50.000[UF] o que tengan más de 500 socios.

En total las cooperativas de importancia económica son 150, donde 60 de agua potable, 36 de ahorro y crédito, 19 de servicios, 13 agrícolas, 12 eléctricas, 4 de consumo y 4 de vivienda abierta y 2 campesinas. Las cooperativas de importancia económica en total presentan activos por 1,1 billones de pesos y una utilidad de 15 mil millones de pesos, siendo las agrícolas las que presentan más activos, ya que en promedio cada cooperativa tiene más de 41 mil millones de pesos, mientras que las de agua potable en promedio tienen solo 400 millones y en cuanto a utilidad las de mayor promedio son las agrícolas, mientras que las eléctricas presentan pérdidas por 45 millones en promedio.

Las 10 principales cooperativas de importancia económica y sus activos en millones de pesos son las siguientes [5]:

1. Coop. Agrícola y lechera de La Unión Ltda. COLUN, 272.425 millones de pesos.
2. Coop. Agrícola Pisquera Elqui Ltda. CAPEL, 90.559 millones de pesos.
3. CONAVICOOP, vivienda abierta. 73.994 millones de pesos.
4. Coop. De consumo de carabineros de Chile Ltda. COOPERCARAB. 56.215 millones de pesos.
5. Coop. De Consumo energía eléctrica Chillan Ltda. COPELEC. 54.187 millones de pesos.
6. Coop. Agrícola y de servicios Ltda. COORPRISEM. 52.879 millones de pesos.
7. Coop. Agrícola y lechera Biobío Ltda. BIOLECHE. 45.999 millones de pesos.
8. Coop. de ahorro y crédito para el desarrollo. FINANCOOP. 44.484 millones de pesos.
9. Coop. Agrícola lechera Santiago Ltda. CALS. 28.445 millones de pesos.
10. Coop. de inversiones Electrocoop Temuco Ltda. ELECTROCOOP. 27.230 millones de pesos.

Con esta revisión de los principios fundamentales que motivan el cooperativismo, su relevancia económica en Chile y el mundo, con su importancia social se presenta la viabilidad de que, mediante la formación de cooperativas en las comunidades aisladas eléctricamente, que sean propietarias y operadoras de los medios de generación,

recursos energéticos y redes de distribución, se logre solucionar el problema del acceso a la energía eléctrica en dichas comunidades.

Capítulo IV: Propuesta de Cooperativas para Electrificación Rural

Luego de haber discutido a lo largo del capítulo anterior las características de la organización en cooperativas como una forma viable para satisfacer necesidades específicas de un grupo de la sociedad que se organiza de forma voluntaria, con valores de solidaridad y democracia orientados a maximizar el bienestar de sus miembros y de la comunidad, en este se presenta la propuesta de organización y formación de cooperativas para electrificación rural.

En los capítulos anteriores se mostró que el sector eléctrico en el país es netamente inversión privada en generación, transmisión y distribución, que buscan principalmente la rentabilidad en el largo plazo de sus inversiones [9], por lo cual no existe motivación por parte de este sector en generar soluciones a la problemática de las comunidades aisladas eléctricamente.

Si bien el Estado en materia energética cumple un rol regulador del mercado y fiscalizador en materia técnica, a partir de la política elaborada en la materia desde la iniciativa Energía 2050 en la cual se explicita que es un objetivo el brindar acceso a la electricidad al 100[%] de las viviendas del país, complementada con el programa del Ministerio de Energía de Comuna Energética el cual busca que todos los municipios del país tengan un Estrategia Energética Local que diagnostique los problemas energéticos generales y específicos de la comuna y sus habitantes, centrados en la eficiencia energética, promoción de energías renovables y acceso confiable, estable y seguro a la energía eléctrica.

En complemento a las políticas del Ministerio de Energía, desde el Ministerio de Desarrollo Social existen recursos regionales orientados a proyectos de electrificación

rural, los cuales son administrados por el Sistema Nacional de Inversiones, que podemos encontrar en el documento Metodología de Formulación y Evaluación de Proyectos de Electrificación Rural, 2015, cumpliendo el Estado un rol subsidiario en la electrificación rural. Aunque es necesario aclarar que los proyectos que aplican para esta metodología están orientada principalmente a extensiones de redes rurales existentes por parte de las empresas distribuidoras y la instalación de sistemas de autogeneración como soluciones individuales, pero no descarta las soluciones de generación y distribución colectiva.

Sumado al impulso del último tiempo de los emprendimientos colectivos en cooperativas, respaldados por la División de Asociatividad y Economía Social (DAES) del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo es que se propone una orgánica de Cooperativa para la gestión, administración, operación y mantención de un sistema de generación con energías renovables y su sistema de distribución.

4.1 Organización de una Cooperativa

La estructura básica de una cooperativa tiene que estar de acorde con los valores y principios cooperativos, dónde la centralidad deben ser sus socios y el control efectivo por parte de esos de forma democrática en la cual todos los socios tienen el mismo valor.

Principalmente se reconocen cuatro organismos jerárquicamente distribuidos en la organización básica de una cooperativa, estas son la Junta General de Socios, la Junta de Vigilancia, el Consejo de Administración y la Gerencia [22] [30].

4.1.1 Junta General de Socios

La junta general de socios es la máxima instancia de representación y de decisión de una cooperativa, se constituye por la presencia de todos los socios activos y habilitados según los estatutos internos, donde cada socio tiene el derecho a voz y a un voto, tanto para las elecciones de cargos unipersonales, como en las determinaciones que se propongan para lograr acuerdos los cuales son vinculantes para todos los socios de la cooperativa.

Existen tres tipos de juntas generales de socios, la obligatoria, la especialmente citada y la informativa. La junta general de socios obligatoria es la máxima autoridad dentro de la cooperativa y debe llevarse a cabo al menos una vez al año. La especialmente citada es para tomar decisiones específicas, mientras que en las informativas no se pueden tomar decisiones, solo se debe entregar la información.

Las principales materias de discusión y decisión de las juntas generales de socios son:

- El examen de la situación de la cooperativa y de los informes de la Junta de Vigilancia y auditores externos. La aprobación o rechazo de la memoria,

del balance, de los estados y demostraciones financieras presentadas por la administración de la cooperativa.

- La distribución de los excedentes o remanentes de los ejercicios financieros de cada periodo.
- La elección de los miembros del Comité de Administración y la Junta de Vigilancia.
- La elección o renovación del gerente administrador.
- La disolución de la cooperativa.
- La transformación, fusión o división de la cooperativa.
- La reforma de estatutos.
- La enajenación de un 50[%] o más de los activos, mediante la formulación de un plan de negocio.
- La aprobación de aportes de bienes no consistentes en dinero
- La modificación del objeto social.
- La modificación de la forma de integración de los órganos de la cooperativa y sus atribuciones.
- El aumento del capital social y el pago de cuotas de capital.
- La fijación de remuneraciones, participación o asignaciones de dineros o especies que correspondan debido a sus cargos a los miembros de la Junta de Administración, Junta de Vigilancia o cualquier otro comité de socios que se establezcan en los estatutos.
- La fijación de las remuneraciones y sueldos de los trabajadores de la cooperativa.
- Cualquier materia que sea de interés de los socios.

4.1.2 La Junta de Vigilancia

La junta de vigilancia es el órgano encargado de la fiscalización interna del funcionamiento y operación de la cooperativa, examinando la contabilidad, el inventario, balances y estados financieros y las demás atribuciones que se establezcan por estatutos.

La junta se debe componer de al menos 5 personas, pudiendo ser hasta 2 miembros externos a los socios que sean profesionales o capacitados en la administración de empresas, contabilidad y finanzas, los estatutos o la junta general de socios establecerá los requerimientos específicos para dicha función, mientras que cualquier socio que no sea parte del consejo administrativo o la gerencia puede ser miembro de la junta de vigilancia.

La junta de vigilancia debe una vez al año al menos, presentar en la junta general de socios sus informes y resultados de sus revisiones.

4.1.3 El Consejo de Administración.

El consejo de administración tiene a su cargo la administración superior de los negocios, representa judicialmente a la cooperativa para el cumplimiento del objetivo social, sin perjuicio de la representación que compete al gerente, es el equivalente al Directorio de las empresas tradicionales.

Se debe definir en los estatutos si los miembros del consejo deben ser o no socios de la cooperativa o trabajadores de esta, sin perjuicio de lo anterior, al menos el 60% de los miembros titulares y suplentes del consejo deben ser elegidos por los socios en la junta general de socios.

El consejo en respeto al reglamento de cooperativas y los estatutos, podrá delegar partes de sus funciones y atribuciones en el gerente o en uno o más consejeros o funcionarios de la cooperativa, así mismo podrá delegar en otras personas finalidades específicamente determinadas.

4.1.4 Gerente

El o la gerente es quien ejecuta los acuerdos y órdenes del consejo de administración y la junta general de socios, representa jurídicamente a la cooperativa. Tendrá las atribuciones, deberes y funciones establecidas en los estatutos y en los acuerdos del consejo de administración.

El o la gerente será nombrado y/o ratificado en su cargo por el consejo de administración acordé a lo establecido por las definiciones de la junta general de socios y los estatutos.

4.2 Elementos Específicos de una Cooperativa Eléctrica

Siempre con el ánimo de respetar los fundamentos de una cooperativa, de que sean sus socios quienes determinen de manera democrática los lineamientos, formas y estructuras de su funcionamiento se presentó una estructura general básica de una cooperativa genérica sin entrar en determinaciones fundamentales como son las cuotas de participación y la metodología tarifaria para el servicio.

Sin embargo, es necesario incluir algunos elementos en función de la naturaleza de las cooperativas que se proponen. En ese sentido se proponen que las cooperativas formen al menos tres órganos operativos a cargo de la gerencia.

4.2.1 Operación y Mantenimiento

Cómo principal órgano de trabajo dentro de una cooperativa eléctrica es el encargado de la operación diaria y continua del sistema de generación y distribución de la micro-red, asegurándose que se opere dentro de los parámetros técnicos normalizados para las instalaciones.

La segunda tarea a dentro de la operación es el mantenimiento preventivo, cómo la limpieza de equipos y líneas, el ajuste de conexiones y la reparación de pequeñas fallas en el sistema que no requieran la intervención de especialistas de mayor calificación.

Para la operación normal de este equipo de trabajo se prevé la necesidad de dos trabajadores previamente capacitados y calificados.

4.2.2 Tarificación y Cobros

El segundo órgano específico de las cooperativas se debe encargar de generar la metodología de cobros del servicio, que estén orientados a asegurar el funcionamiento financiero a lo largo de la operación de la cooperativa. Ya que el establecer un régimen tarifario a priori sin entender las capacidades y necesidades específicas de cada comunidad iría en contra de los valores y pretensiones de esta propuesta que busca la integración activa en todas las etapas de elaboración y construcción de los proyectos de electrificación.

Sin embargo, para términos de análisis de viabilidad y evaluación económica se propone un sistema tarifario de cargo fijo de \$20.000 mensuales para cada una de las viviendas abastecidas. Se estima este valor de referencia considerando la vulnerabilidad económica de los habitantes de las comunidades aisladas.

Para la operación de este órgano, luego de que se establezca el régimen tarifario por la cooperativa, se necesitarán al menos dos personas encargadas de realizar y mantener en orden los cobros.

4.2.3 Educación y Formación

El tercer órgano que se propone debe estar en las cooperativas de electrificación rural es el encargado de educar y formar a los socios en las actividades específicas de la administración, operación y mantención de la cooperativa y el sistema, con el fin de que en el largo plazo sean los propios miembros de la comunidad los que gestionen la mayoría de las actividades de la cooperativa.

Como se mostró en la caracterización social y económica de las comunidades aisladas eléctricamente, son personas de baja escolaridad y formación profesional, por lo cual la educación y formación de sus miembros debe ser prioritaria dentro de las funciones de la cooperativa.

4.3 Organigrama

De esta forma el organigrama propuesto para el funcionamiento de una cooperativa eléctrica en una comunidad aislada es la siguiente.

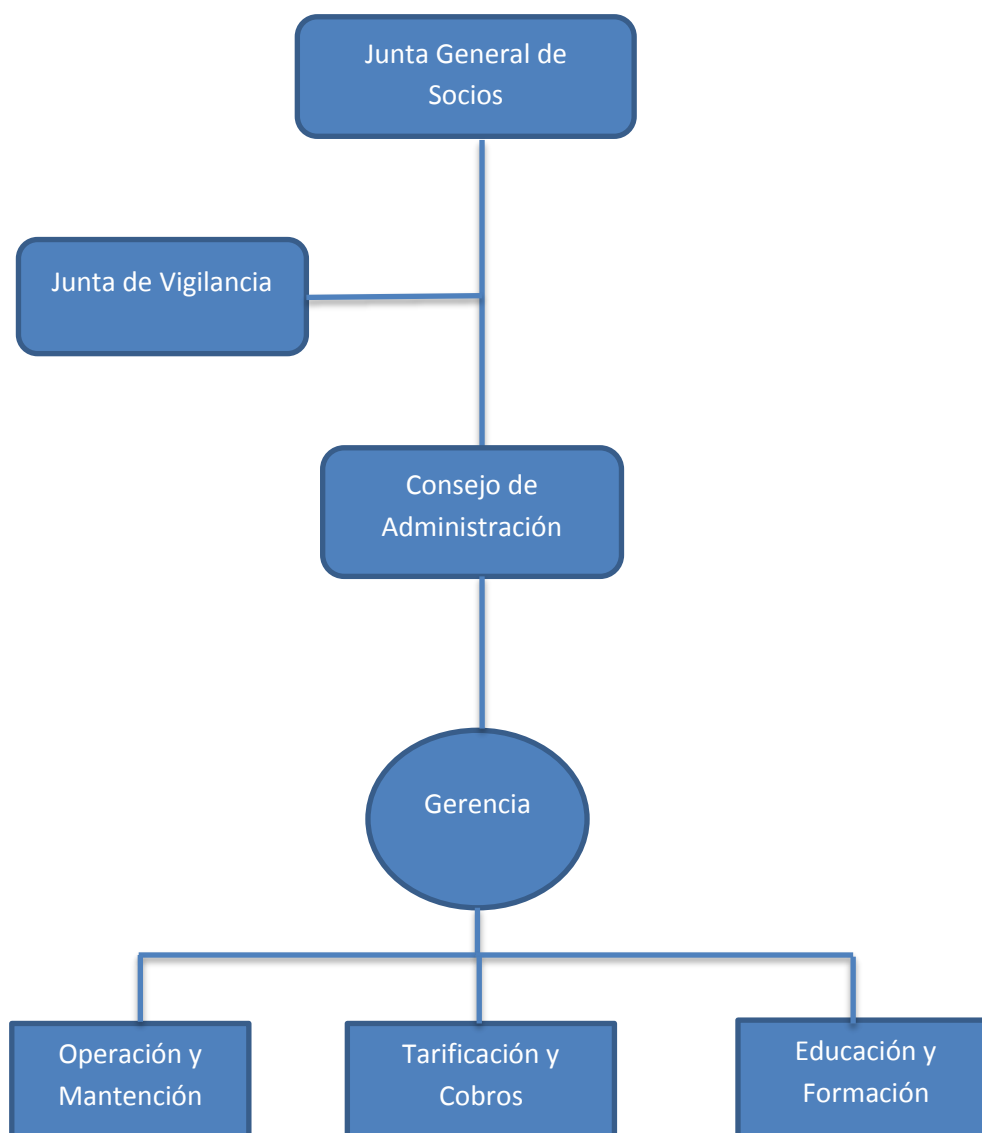


Ilustración 1: Propuesta de organigrama para una cooperativa eléctrica en comunidades aisladas. Elaboración propia.

Para la constitución y formación legal de una cooperativa se puede revisar el Anexo B, en donde se encuentra una guía paso a paso para la creación de una cooperativa.

En la extensión de este capítulo se planteó la propuesta de la estructura básica para una cooperativa en comunidades aisladas eléctricamente para abastecer de energía eléctrica satisfaciendo parte de las necesidades más elementales para el desarrollo digno de las personas y familias que habitan en los lugares más aislados territorialmente y que también están aislados del desarrollo social ya sea impulsado por el Estado o por iniciativa privada.

Las cooperativas son un modelo idóneo de organización comunitaria para el desarrollo social, económico, cultural y educacional para las comunidades aisladas eléctricamente, geográficamente y socialmente, entregando soluciones a las necesidades y aspiraciones de las personas de acceder a fuentes de energías para la vida cotidiana.

La motivación y trabajo que pudiesen realizar las propias comunidades en el desarrollo de este tipos de proyectos serían insuficientes sin el apoyo directo, permanente y continuo de un equipo multidisciplinario de especialistas y profesionales del área ingenieril y técnica para el desarrollo de proyectos eléctricos, la administración y contabilidad de empresas para el manejo de la cooperativa, complementado con el trabajo de profesionales de las ciencias sociales y la educación especialistas en el desarrollo de proyectos comunitarios. Los cuales deben trabajar integradamente en cada paso de la elaboración de los proyectos.

Debido a la gran brecha social y educativa que se prevé encontrar con los habitantes de las comunidades y a la necesidad vital del proyecto de la participación en cada parte de elaboración, diseño e implementación de los habitantes es que se propone como metodología de trabajo para el equipo multidisciplinario la Investigación de Acción Participativa (IAP), metodología de investigación y trabajo de las ciencias sociales, se puede definir como un método de estudio y acción que busca obtener resultados fiables y útiles para mejorar situaciones colectivas, basando la investigación en la participación de los propios colectivos a investigar [31].

Se propone así un modelo de IAP en el cual se asume un compromiso formativo y recíproco, desde el cual no solo se da la palabra a las comunidades directamente involucradas, sino que se vuelve fundamental crear las condiciones para generar procesos de reflexión, de autoformación, de programación y de acción social participativos e igualitarios. En este sentido la IAP es una metodología educativa ya que se propone apoyar a las comunidades en el descubrimiento de su propio potencial transformador [31].

Mediante la IAP se logrará educar y formar a las socias y socios de la cooperativa, para que logren en el mediano plazo poder administrar y operar cada uno de los elementos y organismos de la cooperativa eléctrica, y a su vez permite obtener mayor y mejor información del comportamiento actual y esperado del consumo eléctrico en la comunidad para lograr un diseño e ingeniería óptimo.

Además, es necesaria la activa participación de los organismos del Estado en todos sus niveles, desde los ministerios hasta los municipios, siendo los primeros los encargados de elaborar las políticas que estimulen el desarrollo social colectivo y generar los medios de financiamiento para la inversión y financiamiento del proyecto eléctrico. Mientras que los municipios se deben encargar de la detección de las necesidades de las comunidades e impulsar la organización colectiva, guiando y acompañando la elaboración y funcionamiento de los proyectos.

Capítulo V: Energías Renovables No Convencionales

Esta sección del trabajo estará enfocada en cuáles son los antecedentes generales que han llevado a la necesidad del desarrollo de tecnologías sustentables y sostenibles.

Luego se presenta en el Anexo C, para quienes deseen estudiar y conocer la descripción de los principios de funcionamiento de la energía eólica, solar fotovoltaica y los sistemas de acumulación de energía eléctrica.

5.1 Antecedentes Generales de las ERNC

Desde la revolución industrial de la segunda mitad del siglo XVIII, junto con la invención de la máquina a vapor, la necesidad de energía útil ha ido creciendo aceleradamente a nivel mundial de la mano del desarrollo económico de libre mercado, lo cual produjo que en la búsqueda de fuentes de energías y el desarrollo de tecnologías se centrara en los costos económicos fijándose el desarrollo industrial en la explotación de los combustibles fósiles como el carbón, gas y petróleo. La retroalimentación positiva entre el desarrollo de las tecnologías y la explotación de los recursos desde los inicios de la era industrial hizo que el desarrollo de tecnologías alternativas en base a otros energéticos no fuese competitivo.

Las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por la quema de combustibles que liberan a la atmósfera dióxido de carbono CO₂, el cual se ha ido acumulando por los más de doscientos años de desarrollo industrial y que continúan acumulándose con una pendiente creciente, como lo refleja el siguiente gráfico del Banco Mundial [1] que muestra las emisiones de toneladas de CO₂ a nivel mundial desde el año 1960 hasta 2014.

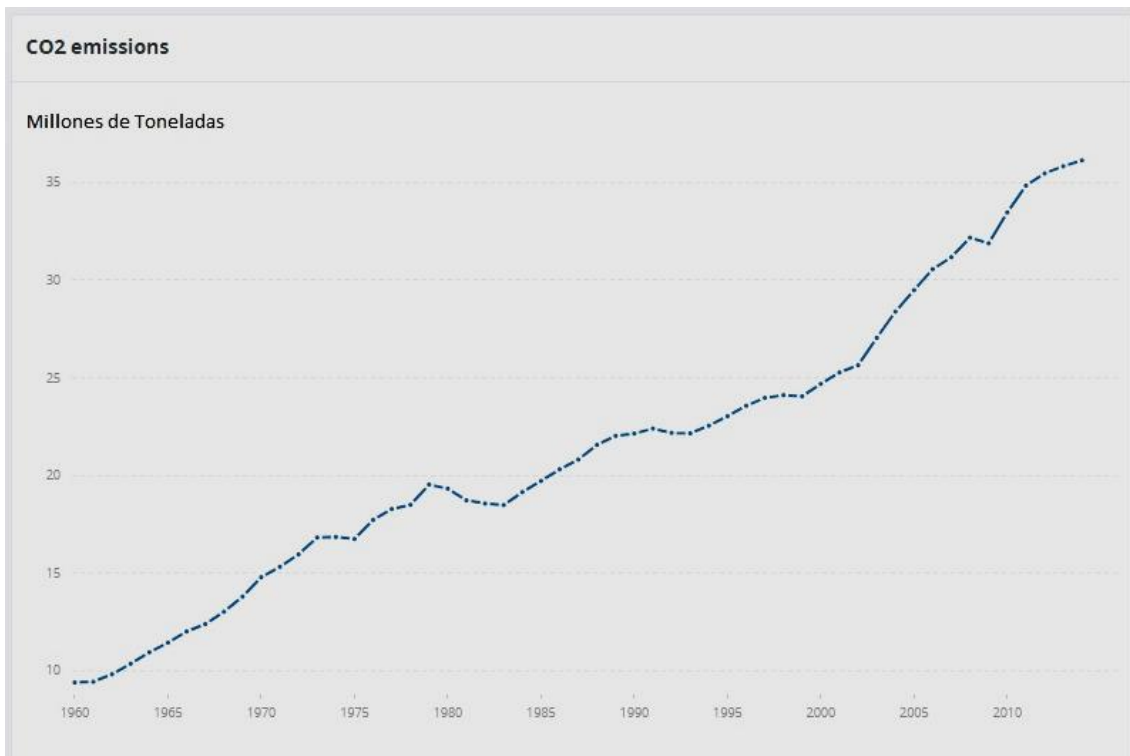
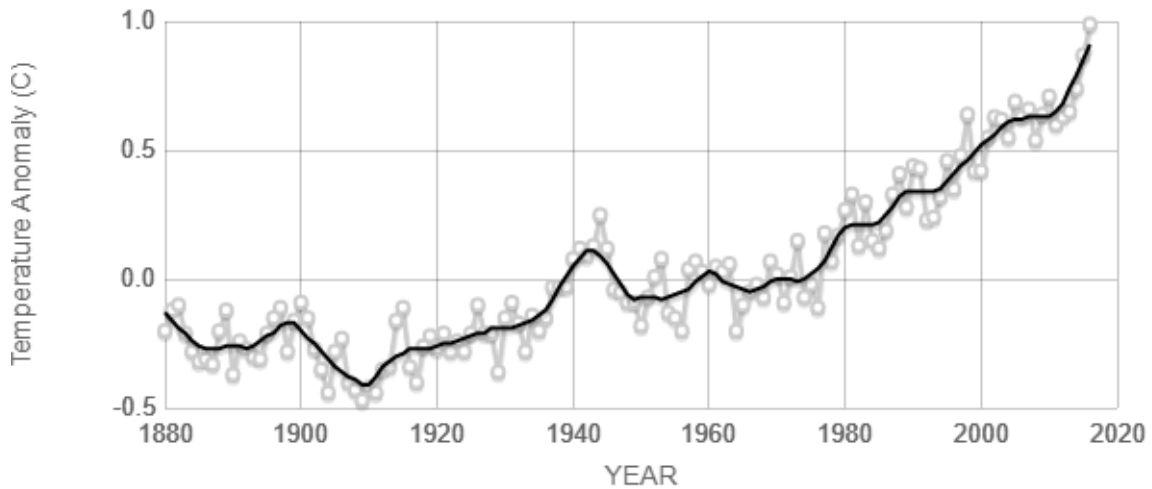


Ilustración 2: Emisión de millones de toneladas de CO2 a nivel mundial desde 1960 hasta 2014. Fuente: <https://data.worldbank.org/topic/climate-change?end=2014&start=1960>

Este aumento ha llevado consigo un aumento en la temperatura promedio de la tierra en casi un 1°C, según el Goddard Institute for Space Studies GISS de la NASA, lo cual se aprecia en la siguiente imagen [32].



Source: climate.nasa.gov

Ilustración 3: Cambio anual promedio en la temperatura de la superficie de la terrestre. Fuente: GISS'S NASA <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>

El aumento de la temperatura global y el cambio climático han estado en boga y discusión desde hace un par de décadas, pero no ha sido sino hasta los últimos años cuando los efectos en el medio ambiente y la ocurrencia más frecuente de fenómenos climáticos de alta potencia y de gran capacidad de destrucción han puesto en completa evidencia la necesidad imperiosa de un cambio radical y definitivo en la manera de desarrollar la industria y la economía dejando de lado los combustibles fósiles y dar paso a las energías renovables como la matriz energética base para el desarrollo de las sociedades y la superación de la pobreza.

Si bien el cambio climático es un fenómeno mundial, no afecta a todas las personas por igual, siendo las más pobres las más afectadas de una forma multifactorial, ya que no son solo las más desprotegidas frente a fenómenos climáticos de alta intensidad, son los más afectados por el alza en los precios de los alimentos producida por la disminución de las tierras cultivables y el rendimiento de las cosechas ya que los hogares pobres gastan un 60[%] de sus ingresos en alimentación, lo que según el Banco Mundial *“para el 2030 podría haber 100 millones más de pobres en el mundo”* [33].

Por lo anterior el desarrollo de las tecnologías y proyectos que busquen el remplazo de las fuentes de energías emisoras de CO₂, en el desarrollo económico, social y productivo son necesarias de implementar, desarrollar e investigar en todos los niveles de la sociedad.

De ahí que las energías renovables no convencionales han presentado un desarrollo al alza en la última década, siendo las tecnologías solares y eólicas las que han tenido un mayor avance en el desarrollo e implementación, junto a la mini hidroelectricidad, seguidas por la geotermia y la biomasa que están implementadas a menor escala y otras que aún se encuentran en etapas de desarrollo como la mareomotriz.

Siendo las tecnologías más desarrolladas hasta el momento la eólica y solar son las más idóneas para el desarrollo energético de comunidades aisladas, pues el recurso energético está disponible libremente, los costos en inversión de estas tecnologías se encuentran a la baja y existe mayor experiencia práctica en su implementación [13].

En el Anexo C se exponen las bases físicas y matemáticas de los principios fundamentales del uso de la energía eólica y solar y los medios de acumulación de energía eléctrica.

Capítulo VI: Ingeniería Básica Diseño del Sistema Modular de Generación, Subestación y Sistema de Distribución

En esta sección se presenta la propuesta de solución tecnológica básica que pueda satisfacer la necesidad de una comunidad aislada eléctricamente. El alcance de la propuesta será desarrollar la ingeniería básica, estableciendo los requerimientos técnicos del equipamiento de los sistemas de generación, acumulación, transformación, distribución y consumo, junto con la topología del sistema completo y protecciones.

El objetivo es diseñar una solución tecnológica que sea capaz de entregar la energía eléctrica necesaria para el funcionamiento básico de una cantidad de hogares, que pueda funcionar en las distintas condiciones geográficas en las cuales están presentes las comunidades aisladas eléctricamente y que posea la flexibilidad en el diseño de poder adaptarse a los distintos tamaños de las comunidades, en cantidad de hogares a abastecer y a la extensión del territorio.

Es importante señalar que, para un óptimo diseño de una solución definitiva al problema energético de una comunidad en específico, es de real importancia y una condición mínima necesaria la participación de los habitantes en todas las etapas de elaboración del proyecto. Debe ser la propia comunidad la que determine la importancia y la necesidad que tiene para ellos el acceso a la energía eléctrica, deben ser actores principales en el diseño de la solución tecnológica definitiva ya que debe estar acorde y en respeto de sus tradiciones y cultura, asegurarse de no intervenir territorios de relevancia espiritual para la comunidad, para asegurar el compromiso de ellos en la implementación y funcionamiento a largo plazo.

Además, la participación de los habitantes desde el inicio del desarrollo del proyecto es fundamental para determinar los requerimientos técnicos iniciales de consumo energético y los niveles de potencia necesarios, y los proyectados en el horizonte de tiempo de evaluación del proyecto.

6.1 Perfil de Demanda

Para el diseño de un sistema eléctrico es primordial saber cuál es la demanda que debe abastecerse, en este caso se opta por el escenario más extremo posible, el de una localidad cuyos hogares no tengan en la actualidad ningún tipo de sistema alternativo de generación eléctrica, por ende, sin instalaciones eléctricas en las casa ni perfiles de consumos previos.

En este escenario se propone abastecer a las casas con un nivel de potencia que sea capaz de entregar la energía necesaria para satisfacer los siguientes consumos básicos dentro de un hogar de 4 a 6 personas en una comunidad aislada eléctricamente.

Artefacto	Cantidad de unidades	Potencia c/u [W]	Potencia Total [W]
Luminaria bajo consumo	7	8	56
TV color 20'	1	70	70
Radio	1	60	60
Refrigerador	1	200	200
Computador	1	300	300
Licuada	1	300	300
Lavadora	1	520	520
Totales	14		1506

Tabla 3: Artefactos básicos y consumos para una vivienda de una comunidad aislada eléctricamente. Elaboración propia.

Se consideran estos artefactos como los básicos que puede tener una vivienda que por primera vez cuenta con acceso libre, seguro y estable a la energía eléctrica, se consideran 7 luminarias para la iluminación de las habitaciones, cocina, living-comedor, baño y exterior, mediante luminarias eficientes de bajo consumo que son capaces de entregar iluminación adecuada. Para el acceso a la información, educación, entretenimiento y distracción se consideran un computador, un televisor a color de 20 pulgadas y un equipo de radio minicomponente. Y como utensilios necesarios para las labores del hogar, una lavadora y una licuadora, como elementos referenciales de electrodomésticos.

No se consideraron artefactos como microondas u hornos eléctricos ni hervidores de agua, ya que se considera que no son de extrema necesidad, puesto que se utiliza principalmente la leña como medio energético para la cocción de alimentos y calefacción.

La consideración de un computador se justifica por la relevancia que puede tener como herramienta para la educación de las familias y la comunidad en su conjunto, tanto para niñas y niños en edad escolar, como para adultos con necesidades educativas. Además, dentro de las políticas impulsadas en conjunto con la electrificación rural, está la conectividad y el acceso a internet en las comunidades aisladas, el cómo realizar dicha conectividad va más allá de los alcances de este trabajo, pero se propone como un trabajo futuro dentro del mismo contexto de buscar el desarrollo de las comunidades aisladas.

La suma total de las potencias de los artefactos considerados es de 1,506 [kW] lo que quiere decir, que cuando estén todos los artefactos conectados al mismo tiempo la potencia máxima requerida será la ya mencionada. Considerando que es muy poco probable que se conecten todos los artefactos al mismo tiempo y se utilice la máxima

potencia se propone que la conexión en cada casa de la comunidad sea de 1,5 [kW] de potencia.

Para establecer un perfil de consumo tipo y poder obtener la energía requerida y consumida en distintos periodos de tiempo, días, meses y año, se realizó la siguiente tabla que muestra las horas diarias que se utilizan los distintos artefactos y la energía consumida.

Artefacto	Cantidad de unidades	Potencia c/u [W]	Potencia Total [W]	Horas diarias de uso [h]	Energía Diaria [kWh/día]	Energía Mensual [kWh/mes]	Energía Anual [kWh/año]	[%] del consumo total
Luminaria de bajo consumo	7	8	56	6	0,336	10,08	120,96	8,9
TV color 20'	1	70	70	5	0,35	10,5	126	9,3
Radio	1	60	60	3	0,18	5,4	64,8	4,8
Computador	1	300	300	3	0,9	27	324	23,9
Refrigerador	1	200	200	7	1,4	42	504	37,2
Licuada	1	300	300	0,25	0,075	2,25	27	2,0
Lavadora	1	520	520	1	0,52	15,6	187,2	13,8
total	14		1506		3,761	112,83	1353,96	100

Tabla 4: Horas de uso y consumo energético diario, mensual y anual de los artefactos para una vivienda de una comunidad aislada eléctricamente. Elaboración propia.

- Energía diaria total: 3,761 [kWh/día]
- Energía mensual total: 112,83 [kWh/mes]
- Energía anual total: 1,35 [MWh/año]

Considerando las horas de consumo de los distintos artefactos se construye un perfil de demanda que tendría una vivienda de una comunidad aislada. La cual presenta un comportamiento similar al del consumo de una vivienda rural con abastecimiento, sin cargas en la madrugada, con un aumento temporal desde el amanecer al medio día, por las labores domésticas y el uso de los electrodomésticos se llega al máximo consumo de potencia al utilizar la lavadora en la hora de la tarde, al ser el artefacto de mayor consumo, luego la demanda de potencia se estabiliza con el uso del computador, las luminarias, el televisor y/o la radio, durante las horas de la tarde noche, periodo en el cual se consume la mayor cantidad de energía. De lo anterior obtenemos un perfil de consumo diario de una vivienda de una comunidad aislada, el cual se caracteriza por un factor de carga del 27 [%] y se puede ver en la siguiente ilustración.



Ilustración 4: Perfil de demanda de Potencia para una vivienda de una comunidad aislada. Elaboración propia.

Este perfil de potencia y los consumos energéticos mostrados en la tabla 4 son tomados como representativos para todos los días del año sin hacer una diferenciación estacional entre invierno y verano, ya que el único cambio conductual en el consumo eléctrico en estos casos será en la iluminación, dónde en invierno se utiliza unas horas más, si se considera que en los meses de invierno se utilizan las ampolletas 10 horas diarias, el consumo energético mensual de los meses de invierno aumenta en 6 [kWh].

Es importante mencionar que el perfil de demanda fue creado bajo estimaciones propias, sin considerar las costumbres, tradiciones e idiosincrasia propia los habitantes de las comunidades aisladas eléctricamente, lo cual varía de una zona a otra, lo cual se debe considerar completamente en la elaboración de los proyectos y la ingeniería de detalle en cada caso particular, para realizar una estimación adecuada de las necesidades propias del lugar.

Las estimaciones de energía consumida están acordes a lo señalado en las investigaciones de Romero, Nathaly. 2011 [34] y Obrecht, Raúl. 2016 [35] donde el consumo de energía eléctrica promedio anual de un hogar del estrato social más bajo que tiene acceso a la energía libremente es entre 1,4 [MWh/año] y 1,9 [MWh/año]. Y se ajustan a que el mayor consumo de energía eléctrica es por el refrigerador, el cual utiliza entre el 32[%] y 38 [%] según los autores, con 536 [kWh/año] el consumo energético de este elemento.

Por eso considerar 1,35[MWh/año] de energía consumida para un hogar que por primera vez tiene acceso a la electricidad es una buena estimación. Considerando qué desde el Ministerio de Energía, se ha estimado un consumo residencial diario de 2,14[kWh/día]²

² Información obtenida directamente por un funcionario de la División de Acceso y Equidad Energética del Ministerio de Energía.

para las soluciones individuales de electrificación rural, por lo cual se prevé que la estimación de consumo de 3,76 [kWh/día] cubra el crecimiento vegetativo de un 10[%] anual de los primeros 5 años, crecimiento en el consumo eléctrico esperable para comunidades que se ven por primera vez con acceso al servicio [3].

6.1.2 Calculo de Potencia de Generación Instalada Necesaria

Con la energía diaria proyectada por vivienda de 3,761 [kWh/día], y considerando que el mínimo de hogares a abastecer por proyecto es de 9, la energía diaria necesaria para abastecer la demanda sería de 33,849 [kWh/día], con lo cual podemos calcular la potencia de generación instalada necesaria.

- Energía eléctrica diaria proyectada: 33,849 [kWh/día]
- Energía eléctrica mensual proyectada: 1,015 [MWh/mes]
- Energía eléctrica anual proyectada: 12,354 [MWh/año]

Para obtener potencia instalada necesaria para abastecer la energía diaria demandada se debe considerar el factor de planta (fp) de la tecnología a utilizar, típicamente las plantas de energía eólica poseen un factor de planta de entre el 20[%] y el 25 [%], mientras que en las plantas fotovoltaicas esta entre el 15[%] y el 17[%] [36] [37].

El factor de planta es el porcentaje del tiempo en que la planta generadora efectivamente está generando energía eléctrica en sus valores nominales.

Además, se debe considerar la eficiencia de los equipos a utilizar, lo cual entrega una eficiencia o rendimiento total del conjunto.

Para el cálculo de la potencia de generación instalada necesaria se deben seguir los siguientes pasos.

$$E_d \left[\frac{kWh}{día} \right] = P_i [kW] * 24[h] * fp * \eta_T \quad (6.1)$$

$$P_i [kW] = \frac{E_d [kWh]}{24[h] * fp * \eta_T} \quad (6.2)$$

Con:

- $E_d [kWh/día]$: Energía diaria necesaria proyectada
- $P_i [kW]$: Potencia instalada necesaria
- fp : Factor de planta
- $24 [h]$: las horas del día
- η_T : Rendimiento total del sistema

$$\eta_T = \eta_{inv} * \eta_{trf} * \eta_{bat} * \eta_{MPPTSolar} * \eta_{MPPTEolico} * \eta_{distribucion} \quad (6.3)$$

Dónde:

- η_{inv} : Rendimiento del inversor 95[%].
- η_{trf} : Rendimiento transformadores 98[%].
- η_{bat} : Rendimiento batería 94[%].
- $\eta_{MPPTSolar}$: Rendimiento sistema fotovoltaico MPPT 94[%].
- $\eta_{MPPTEolico}$: Rendimiento sistema eólico MPPT 98[%].
- $\eta_{distribucion}$: Rendimiento sistema de distribución 90[%]

$$\eta_T = 0,95 * 0,98 * 0,94 * 0,94 * 0,98 * 0,9 = 0,73 \quad (6.4)$$

Considerando la utilización de dos tecnologías diferentes, las cuales tienen factores de plantas distintos, utilizaremos el factor de planta más restrictivo de ambas tecnologías para el cálculo de la potencia de generación instalada necesaria.

Con un factor de planta del 15 [%], la potencia de generación instalada necesaria es la siguiente.

$$P_i [kW] = \frac{33,849 [kWh]}{24[h]*0,15*0,73} \quad (6.5)$$

$$P_i = 12,88 [kW] \quad (6.6)$$

Por lo cual la potencia nominal instalada de generación propuesta es de 13 [kW].

6.2 Sistema Modular de Energías Renovables Eólico-Solar con Respaldo de Baterías

Como se presentó en el capítulo II, las comunidades aisladas eléctricamente se reparten en las diversas regiones del territorio nacional, por lo cual cada una de ellas presenta una realidad geográfica distinta, con una dispersión de las viviendas no homogénea y muchas diferencias de tamaños, en el sentido de la cantidad de viviendas y la extensión de los territorios.

Ante esta disparidad de contextos se propone una solución basada en un módulo básico de 15[kW] de potencia nominal, capaz de abastecer a 9 viviendas con una potencia conectada de 1,5 [kW] cada una, abasteciendo 3 consumos en cada fase, en un radio máximo de 10 [km], mediante distribución monofásica con retorno por tierra.

Se elige una capacidad nominal de 15 [kW] de potencia de transmisión para poder cumplir con la necesidad de potencia de las demandas, y cubrir la potencia de las pérdidas en el sistema de distribución, consideradas en un 10 [%] de la potencia instalada.

$$P_d = 1,5 [kW] * 9 = 13,5 [kW] \quad (6.7)$$

$$P_p = 10 [\%]P_l \ ; \ P_l = 1.1 * P_d \quad (6.8)$$

$$P_l = 14,85 [kW] \quad (6.9)$$

Por ello la potencia de transmisión propuesta es de 15 [kW].

Estimando la producción energética diaria con la ecuación (6.1), vemos que es más que la proyección de demanda energética, lo cual serviría para poder abastecer el aumento de la demanda energética en el mediano plazo dentro de los hogares y la comunidad, ya sea para consumir más por hogar o para abastecer algún consumo productivo en la organización de la comunidad.

$$E_d [kWh/día] = 13 [kW] * 24 [h] * 0,15 * 0,73 = 34,2 \left[\frac{kWh}{día} \right] \quad (6.10)$$

Con este módulo básico es posible abastecer a comunidades con gran dispersión en el territorio agregando módulos cada vez que sea necesario para ir cubriendo las diferentes extensiones de las comunidades. Además, para aquellas que presenten una densidad mayor y por ende se necesite una potencia más elevada dentro del radio de distribución, el módulo básico es escalable en potencia, es decir, se puede aumentar la potencia agregando unidades generadoras y/o utilizar unidades de mayor capacidad, dependiendo de los requerimientos específicos de cada comunidad, para así poder abastecer comunidades de mayor densidad poblacional.

El diseño esquemático completo del módulo básico propuesto se encuentra en el Anexo F, en el cual se presentan las unidades de generación, acumulación, transformación, distribución y consumo necesarias para su funcionamiento.

6.2.1 Unidades de Generación Eólicas y Solares

Las unidades de generación de energía eléctrica para el módulo básico de 13 [kW] de potencia de generación nominal instalada, se dividen en 2 unidades de aerogeneradores de 3,5 [kW] y de 4 mesas fotovoltaicas 1,5 [kW] conectadas de la siguiente forma a una barra común de 48 [V]cc.

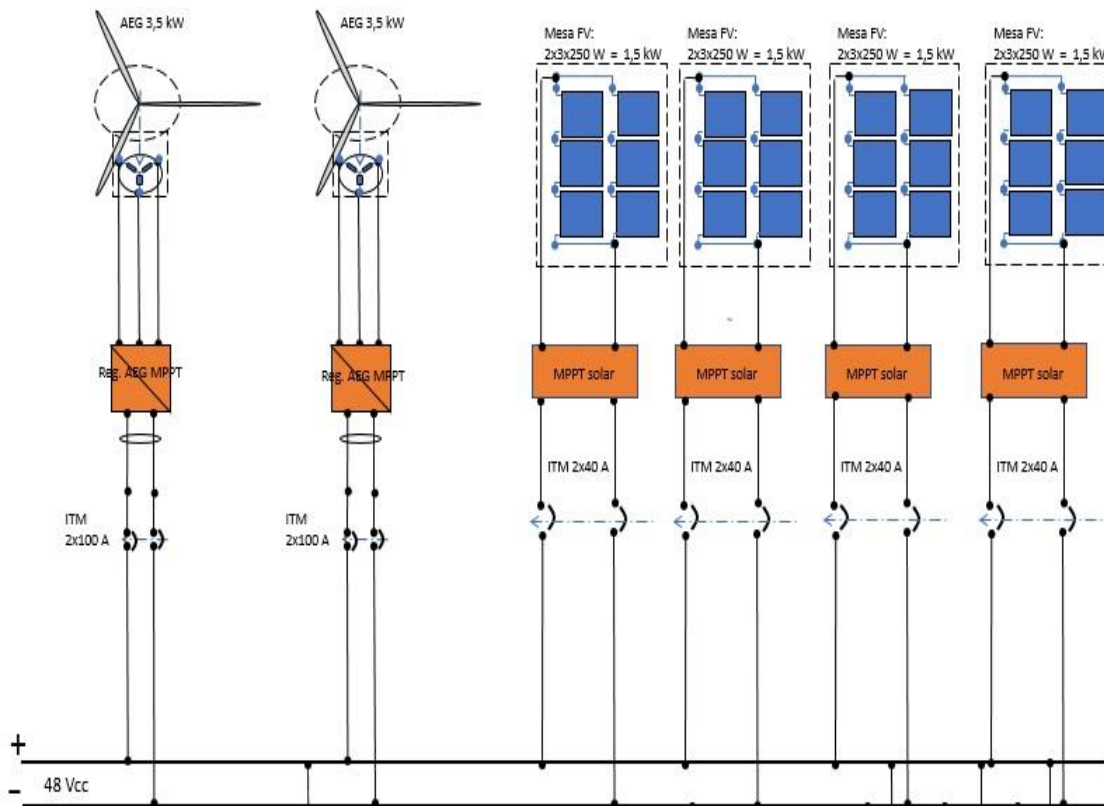


Ilustración 5: Diagrama del módulo de generación eólica y solar. Elaboración propia.

6.2.1.1 Aerogeneradores

El aerogenerador seleccionado es de la compañía ENAIR, modelo 70Pro, se seleccionó este modelo debido a las experiencias profesionales previas en instalaciones aisladas realizadas por el Profesor guía de este trabajo.

El ENAIR 70Pro cuenta con las siguientes características técnicas [38]:

- Numero de palas: 3.
- Material de las palas: fibra de vidrio con resina y núcleos de poliuretano.
- Diámetro: 4,3 [m].
- Profundidad: 3,4 [m].
- Área de barrido: 14,5 [m²].
- Peso: 165 [Kg].
- Tipo rotor eje horizontal a barlovento.
- Orientación: sistema pasivo con timón de orientación.
- Control de potencia: sistema de paso variable pasivo centrífugo con dos velocidades de actuación.
- Transmisión directa.
- Freno: Eléctrico por cortocircuito y aerodinámico por paso variable.
- Clase de viento: Clase II / IEC 61400-2/ NVN I-A.

- Potencia Nominal: 4,5 [kW] (IEC 61400-2).
- Potencia Máxima: 5,5 [kW].
- Velocidad de arranque: 2 [m/s].
- Velocidad nominal: 11 [m/s].
- Velocidad de regulación del paso variable: 12 [m/s].
- Velocidad de supervivencia: 60 [m/s].
- Tensión: 24/48/220 [V].
- Inversor interno: eficiencia 98%; algoritmo MPPT.
- Controlador: Carga de baterías.
- Ruido: 48[db].
- Protección anticorrosión, hermético, pintura epoxi de secado al horno de alta temperatura.
- Torre: Celosía, presilla, tubular. Abatibles o fijas de altura variable según condiciones de uso.

Cómo se presenta en la ilustración 15, los aerogeneradores cuentan con su propio inversor interno que aplica el algoritmo MPPT para maximizar la producción de energía con el recurso disponible, los cuales están conectados a la barra común de 48 [V]cc mediante un interruptor termomagnético bipolar (ITM) de 100[A], con una capacidad de corto circuito de hasta 20 [kA] para la protección de cada uno.

La curva de carga de potencia del modelo ENAIR 70Pro según la norma IEC 61400-2, es una curva representativa de condiciones ideales y se presenta en la siguiente ilustración.

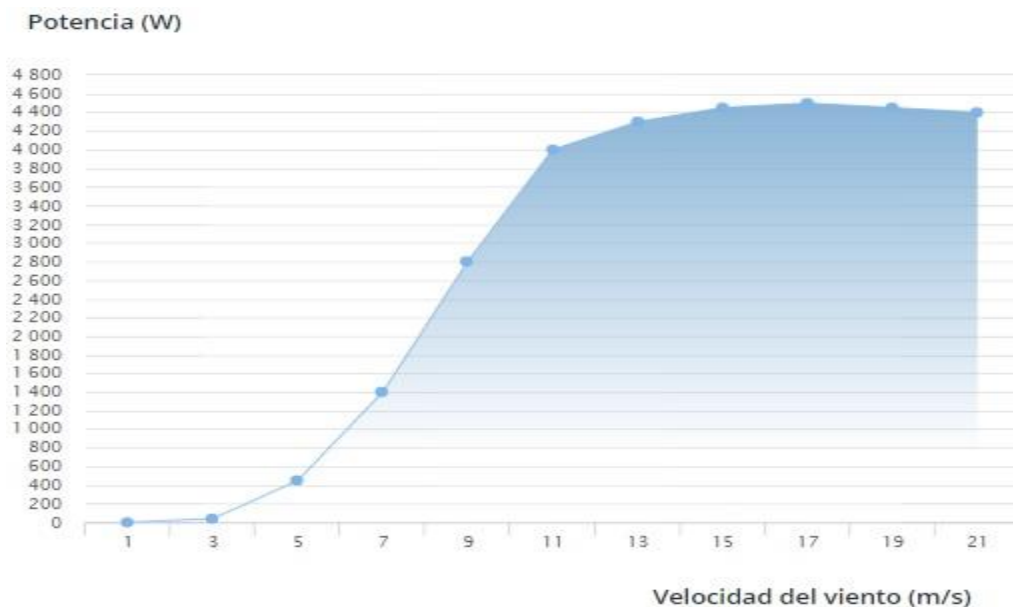


Ilustración 6: Curva de carga de potencia AEG ENAIR 70PRO. Fuente: <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e70pro>

6.2.1.2 Paneles Fotovoltaicos

Al igual que la selección de los aerogeneradores, se considera la experiencia previa en la elección del modelo de panel fotovoltaico a utilizar, además se deben considerar los costos económicos y la calidad tecnológica de los paneles, es por ello por lo que se selecciona paneles AXITEC de Alemania debido a su respaldo y experiencia en paneles de alta calidad con una garantía de 12 años.

El AXIpower AC-260P/156-60S es el modelo de panel individual más económico y de alto rendimiento que ofrece, por ello se elige este como parte del diseño.

Este modelo cumple con las siguientes características en condiciones estándar obtenidas de su ficha técnica [39]:

- Potencia Nominal P_{mpp}: 260 [W].
- Tensión Nominal U_{mpp}: 30,92 [V].
- Corriente Nominal I_{mpp}: 8,43 [A].
- Corriente de Cortocircuito I_{sc}: 9,01 [A].
- Tensión de Circuito Abierto U_{oc}: 38 [V].
- Rendimiento del panel: 15,98 [%].
- Tensión límite del sistema: 1000 [V]ca.
- Temperatura de la célula de operación nominal: 45°C +/- 2°C].
- Temperaturas de funcionamiento: -40°C] a +85°C].
- Coeficientes de temperatura:
 - o Tensión U_{oc} -0,3[%/°C].
 - o Corriente I_{sc} 0,04[%/°C].
 - o Potencia P_{mpp} -0,42[%/°C].
- Corriente de reversión I_R: 16 [A].
- Células: 60 células policristalinas de alto rendimiento 156 x 156 [mm].
- Cara frontal: cristal blanco templado de 3,2 [mm] de baja reflexión.
- Marco de aluminio anodizado a la plata de 35 [mm].
- Cara posterior: hoja compuesta.
- Dimensiones, largo, ancho, alto: 1640 x 992 x 35 [mm].
- Peso: 18 [Kg].
- Caja de conexión IP67 (3 diodos de bypass).
- Cable 1,1 [m] de 4 [mm²].
- Sistema de enchufe hembra IP67.
- Carga mecánica máxima admisible 5400 [Pa/m²].

El cuadro de cargas características según la potencia de radiación para el modelo AXIpower es el siguiente:

Potencia Radiación [W/m ²]	Corriente [A]	Tensión [V]
200	1,7	30,1
400	3,42	30,15
600	5,41	30,52
800	6,82	30,86
1000	8,43	30,92

Tabla 5: Cuadro de cargas características del panel fotovoltaico. Fuente: Ficha Técnica AXIpower.

La configuración de conexión mostrada en la ilustración 15 muestra que cada uno de estos paneles individuales previamente caracterizados, se conectan 2 conjuntos de paneles en paralelo, y cada conjunto consta de 3 paneles en serie, por lo cual cada mesa de paneles fotovoltaicos cuenta con 6 paneles individuales, logrando la capacidad deseada de 1,5 [kW] por mesa fotovoltaica.

De lo anterior se desprende que las dimensiones de la mesa contenedora de los paneles en largo, ancho y alto es de 3280 x 2976 x 35 [mm], el cual debe soportar un peso de 108 [Kg] de los 6 paneles.

En el esquema de conexión también se aprecian los reguladores MPPT de las mesas fotovoltaicas el cual permite la máxima obtención de energía del recurso existente, y permite regular la tensión de salida a 48 [V]cc para la conexión a la barra común, la cual se realiza mediante un interruptor termomagnético bipolar (ITM) de 40 [A], con una capacidad de corto circuito de 20[kA] para la protección de cada una de las mesas.

6.2.2 Sistema de Respaldo de Baterías

El sistema de respaldo de baterías está pensado para dar abastecimiento eléctrico al sistema en los momentos que no estén presente los recursos energéticos, ya que el recurso solar está presente solo de día y los vientos pueden variar dentro de unos pocos minutos. Considerando que la demanda energética no siempre coincide en horarios con la presencia de los recursos es necesario para el funcionamiento óptimo y continuo del sistema un respaldo mediante acumuladores electroquímicos de energía.

La conexión de la batería se realiza a las barras comunes de 48 [V]cc, en las cuales se conectan los reguladores de los aerogeneradores y de los paneles fotovoltaicos, en esta configuración, dichos reguladores cumplen la función de cargadores de batería.

Estos cargadores permiten la recarga en cuatro etapas, inicial, absorción, flotación y equalización, lo que permite que cuando la batería este cargada y exista producción de

energía esta sea directamente enviada al sistema de distribución, y que cuando no exista generación la batería comienza su descarga.

La batería se conecta a la barra de 48 [V]cc mediante la protección de un desconectador fusible bipolar de 160 [A] curva T, con una capacidad de cortocircuito de 25[kA], como se muestra en la siguiente ilustración del diagrama de conexión entre los reguladores de los generadores, la barra común y la batería.

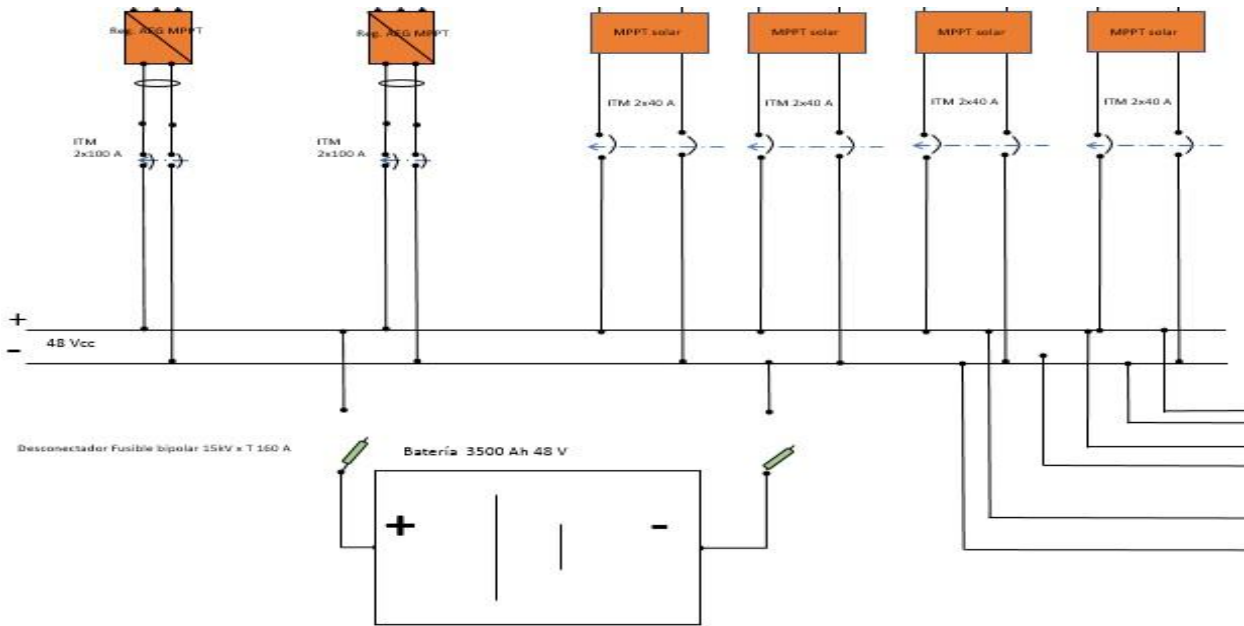


Ilustración 7: Diagrama de conexión reguladores/cargadores, barra común de 48 [V]cc y Batería. Elaboración propia.

En el diseño se considera una capacidad de acumulación de energía que permita en caso de fallas de los sistemas de generación, tener una autonomía de cuatro días, 96 horas. Al considerar la energía consumida diaria por cada hogar estimada en el punto 6.1 y los nueve hogares proyectados para el módulo básico, se prevé una necesidad de energía diaria en el sistema de 33,849 [kWh], por lo cual la dimensión de la batería debe ser de al menos 135 [kWh].

Considerando las opciones existentes en el mercado se elige una batería de 3500 [Ah] a 48 [V], lo cual da una energía almacenada de 168 [kWh]. Por lo que se prevé que, en un régimen normal de operación diario, la profundidad de descarga no superaría el 20[%], lo que entrega mayor holgura para cumplir con la autonomía de 96 horas, y además permite la extensión de la vida útil de la batería. Ver Anexo C.3.

Al igual que la elección de los modelos de aerogeneradores y paneles fotovoltaicos, se considera la experiencia previa, por eso es por lo que se considera al fabricante Master Battery con su batería de uso estacionario U-Power 20 OPzS2250, debido principalmente a su capacidad, ciclos de descarga y su vida útil.

Las principales características obtenidas de su ficha técnica se presentan a continuación [40]:

- Capacidad: 3.500 [Ah] (C100), 168 [kW/h].
- 48 [V]cc.
- Vida útil: 20 años a 15[°C].
- Ciclos IIEC 896-1: 2.300 ciclos.
- Auto descarga: 2[%] al mes a 20[°C].
- Temperatura de trabajo: de -20[°C] a 55[°C].
- Conforme a Normas: DIN 40737-1; IIEC 896-1; EN 50272-2.
- Corriente de corto circuito: 14,4 [kA].
- Peso: húmedo 184 [Kg], seco 125 [Kg].
- Relleno de agua: cada 2 años.
- Polos: 8.
- Dimensiones: altura 772[mm]; longitud 487 [mm]; anchura 212 [mm].
- Tensión de flotación: $U=2,23[V/cell]$.
- Máxima tensión de carga: $U= 2.35-2,4 [V/cell]$.
- Electrodo positivo: placa tubular con baja aleación de antimonio (< 2[%]).
- Electrodo negativo: placa con material activo expansor de larga duración.
- Separador de microporos.
- Electrolito: ácido sulfúrico a 1,24[Kg/L] a 20[°C].
- Contenedor de alto impacto transparente.
- Bornes de cerámica acorde DIN 40740.
- Sellado 100% a gas y al electrolito con polos móviles.
- Conectores de 35, 50, 70, 95 o 120 [mm²].
- Profundidad de descarga normal 80[%].
- Profundidad máxima de descarga estimada diaria 20-25 [%].

Además, se presentan otros datos técnicos de relevancia, como el cuadro de tiempo de descarga a corriente y a potencia constante, junto con la gráfica de tensión según profundidad de descarga, el límite de ciclos por temperatura a distintas profundidades de descarga y la tensión de gasificación por temperatura.

Descarga a Corriente Constante a 20[°C] en [A]											
F.V/Tiempo	0,25 [h]	0,5 [h]	1[h]	2[h]	3[h]	4[h]	5[h]	6[h]	8[h]	10[h]	20[h]
1,90[V/cell]	685	666	624	498	419	363	322	290	242	210	128
1,87[V/cell]	878	859	738	580	483	415	365	327	272	233	140
1,83[V/cell]	1126	1044	881	677	554	471	411	366	301	257	151
1,80[V/cell]	1312	1177	981	741	590	504	437	387	317	270	157
1,78[V/cell]	1569	1390	1132	826	654	544	467	411	332	281	161
1,70[V/cell]	1814	1588	1259	887	689	566	483	423	341	287	164

Tabla 6: Cuadro de tiempo de descarga a corriente constante según tensión de la celda. Fuente catalogo en línea <http://www.masterbattery.es/pdfs/20-OPzS-2250.pdf>

La tabla 6 muestra los tiempos de descarga de la batería a corriente constante en amperes, según la tensión de las celdas, es decir, que con una tensión de 1,9 [V] por celda, a 128 [A], la batería se descargaría en 20 horas, en una temperatura ambiente de 20°.

Del mismo modo la tabla 7 presenta los tiempos de descarga de la batería a potencia constante en watts, según la tensión de las celdas, lo cual nos dice que a una tensión de 1,7 [V] por celda, a 3025 [W] la descarga se realizaría en 15 minutos, en una temperatura ambiente de 20°.

Descarga a Potencia Constante a 20[°C] en [W]											
F.V/Tiempo	0,25 [h]	0,5 [h]	1[h]	2[h]	3[h]	4[h]	5[h]	6[h]	8[h]	10[h]	20[h]
1,90[V/cell]	1332	1313	1169	931	785	683	606	547	460	399	246
1,87[V/cell]	1665	1594	1356	1068	892	770	680	611	511	440	268
1,83[V/cell]	2087	1884	1582	1224	1009	863	757	767	561	481	288
1,80[V/cell]	2334	2083	1734	1320	1078	916	800	713	587	502	298
1,78[V/cell]	2702	2383	1948	1447	1163	979	849	751	614	522	306
1,70[V/cell]	3025	2641	2119	1537	1217	1015	874	771	627	532	310

Tabla 7: Cuadro de tiempo de descarga a potencia constante según tensión de la celda. Fuente catalogo en línea <http://www.masterbattery.es/pdfs/20-OPzS-2250.pdf>

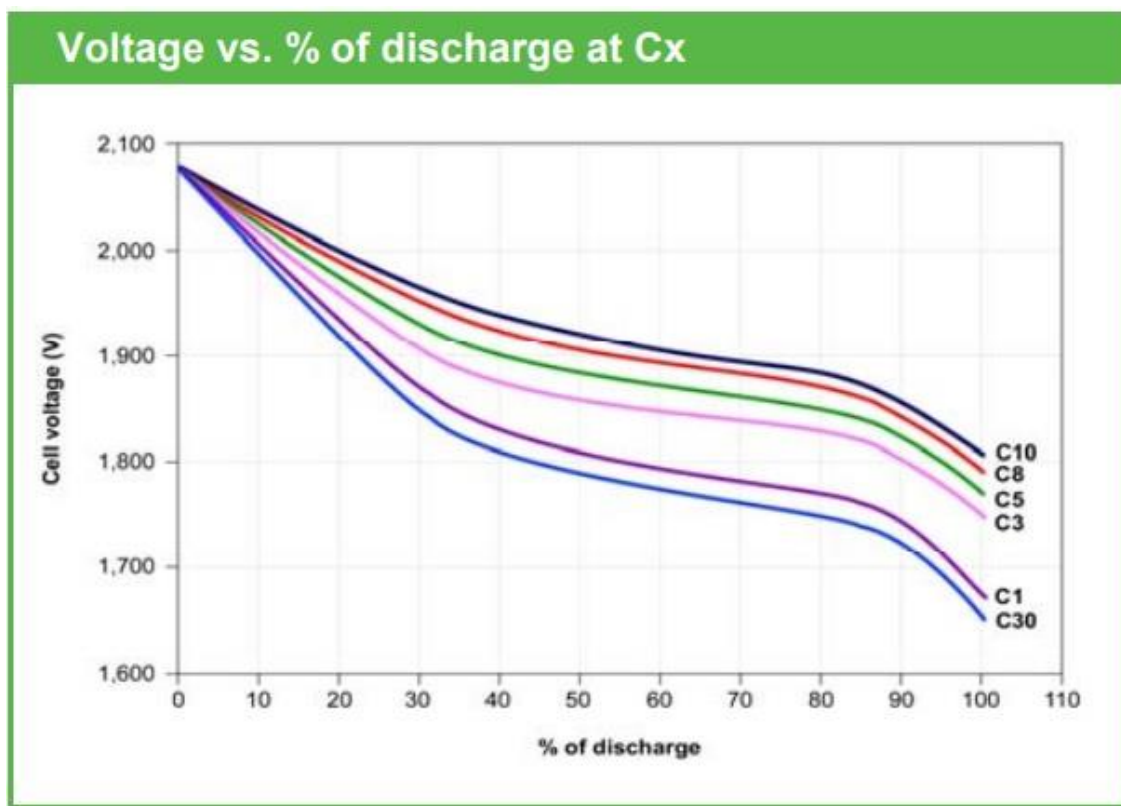


Ilustración 8: Tensión en la celda VS profundidad de descarga (DOD). Fuente catalogo en línea <http://www.masterbattery.es/pdfs/20-OPzS-2250.pdf>

Lo que se aprecia en la ilustración 17, es la tensión de las celdas según la profundidad de descarga, vemos en la curva de C10 que a una profundidad de descarga del 70[%], la tensión de las celdas es levemente inferior a los 1,9 [V] por celda. Lo cual prevé un óptimo funcionamiento de la batería en sus ciclos diarios.

Como se menciona en el Anexo C en la sección C.3 la temperatura ambiente de funcionamiento es muy relevante para la operación y vida útil de los acumuladores electroquímicos. Por ello se presentan las dos siguientes gráficas, la primera muestra la vida útil en ciclos de operación versus la temperatura ambiente para distintas profundidades de descarga; la segunda hace referencia a la tensión de gasificación, es decir, la tensión desde cual comienza a gasificarse el electrolito, versus la temperatura ambiente.

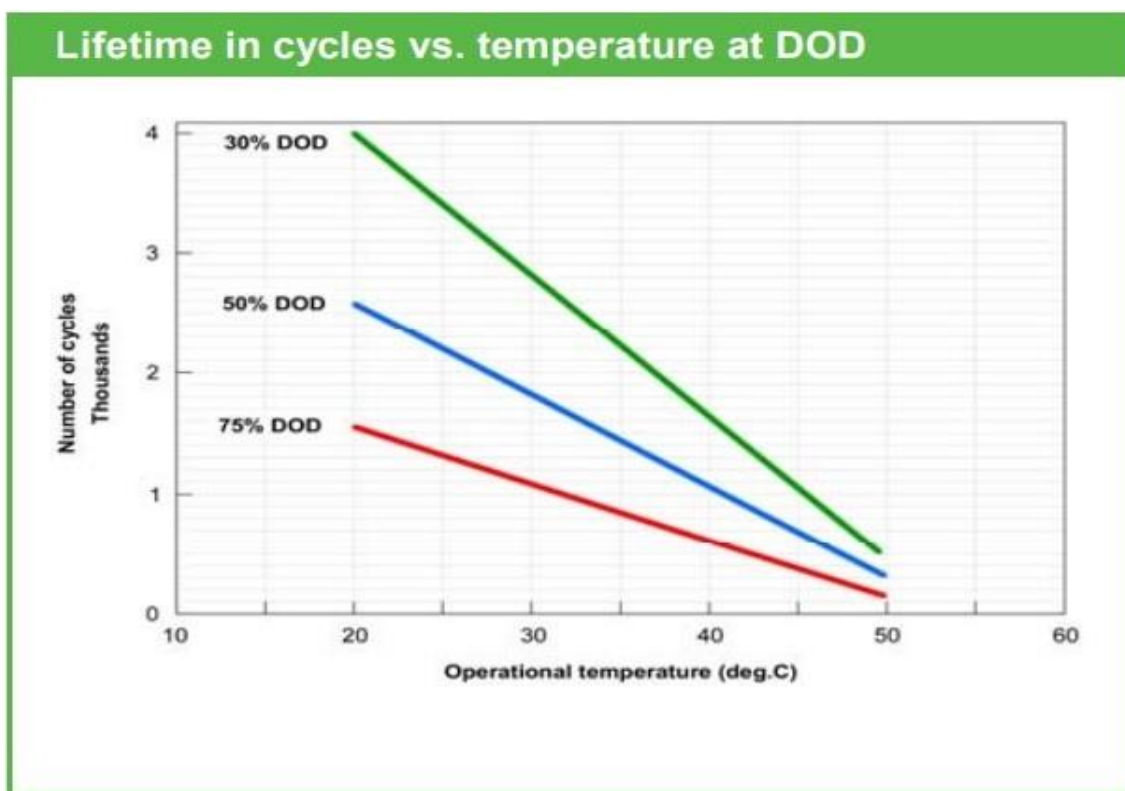


Ilustración 9: Vida útil en ciclos versus temperatura ambiente de operación, para distintas DOD. Fuente: catalogo en línea <http://www.masterbattery.es/pdfs/20-OPzS-2250.pdf>

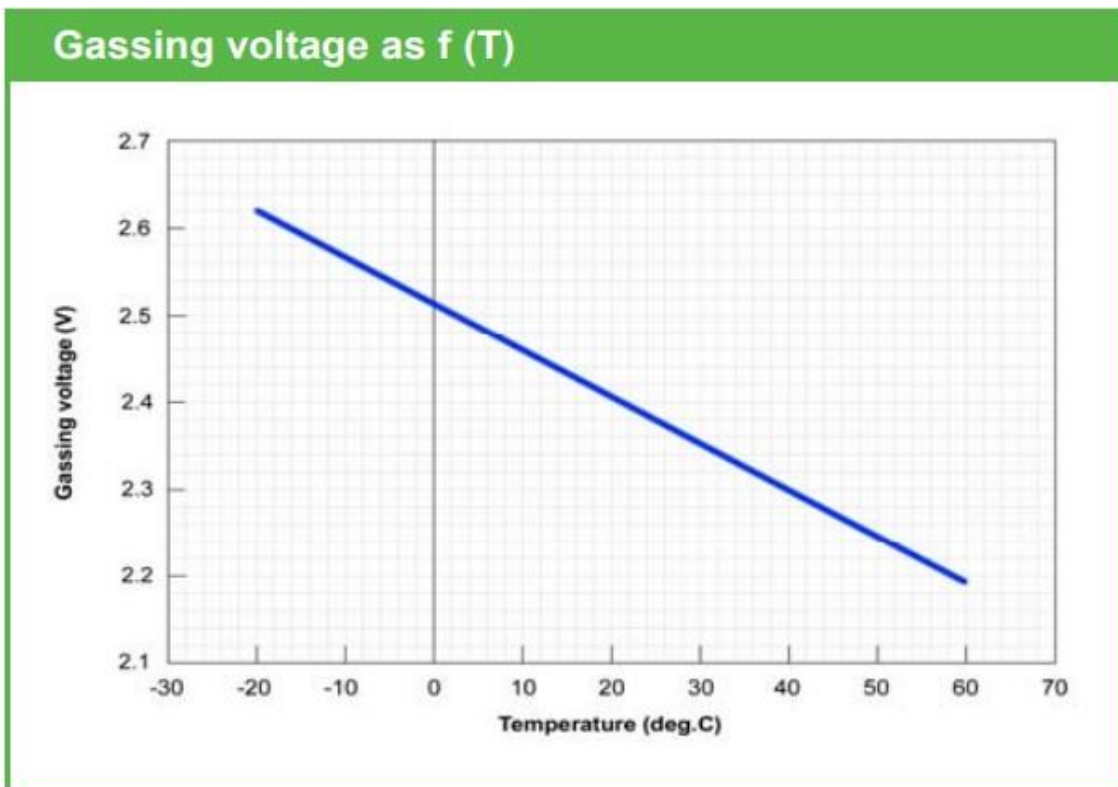


Ilustración 10: Tensión de gasificación versus temperatura de ambiente de operación. Fuente: catalogo en línea <http://www.masterbattery.es/pdfs/20-OPzS-2250.pdf>

La ilustración 18 muestra que para una profundidad de descarga del 30 [%] a una temperatura de 20°C, se tendrían cerca de 4000 ciclos de vida útil. Lo que es equivalente a casi 11 años de vida útil de ciclos diarios, ya que la máxima profundidad de descarga diaria estimada esta entre el 20-25 [%], se puede esperar una vida útil de 12 años para la batería.

En la ilustración 19 vemos que a una temperatura de operación de 20°C, la tensión de gasificación es de 2,4 [V], lo cual está acorde a la máxima tensión recarga de 2,35 [V]. Además, nos indica que en lugares donde se pueden alcanzar temperaturas cercanas a los 40°C se deben tomar las medidas de resguardo necesarias y regular la tensión de recarga.

6.3 Subestación Elevadora

Es sabido que la convención para el uso y distribución de energía eléctrica es mediante la corriente alterna y en alta tensión. Hasta ahora se ha descrito el medio de generación y de acumulación de la energía eléctrica, el cual es un sistema de corriente continua en 48 [V]cc, por ello se necesita una subestación que invierta la corriente continua en alterna 50 [Hz] y eleve la tensión a un nivel de distribución de 13,2[kV], entre fases, que corresponde a una tensión al neutro y/o tierra del sistema normalizado de 7,62 [kV] existentes en Chile, con una potencia nominal de la subestación de 15 [kW].

Para lograr convertir de los 48 [V]cc a una corriente alterna de 230 [V] se utilizan tres inversores monofásicos de 5 [kVA] de capacidad, intercomunicados entre sí, de los cuales emergen una fase de cada uno a una frecuencia de 50 [Hz] desfasado en 120° eléctricos.

Los inversores se conectan cada uno a la barra común de 48[V]cc mediante un desconectador fusible bipolar de 160 [A] curva T, con capacidad de corto circuito de 25[kA].

En la salida de los inversores, los neutros de cada fase se conectan entre sí, generando un neutro común, el cual se conecta a tierra en la malla de tierra de protección y de servicio de baja tensión de la subestación.

Las fases salientes deben ser elevadas a los niveles de tensión de distribución, lo cual se realiza con un banco de tres transformadores monofásicos de 5 [kVA], 400/7620 [V]. Cada fase es conectada al lado de baja tensión mediante ITM de 25 [A], formando un banco de transformadores con una conexión delta/estrella (D/Y), 400/7620 [V], con el neutro del secundario aterrizado a la tierra de protección y de servicio de media tensión

El diagrama de conexiones de la subestación recién descrita se aprecia en la siguiente ilustración.

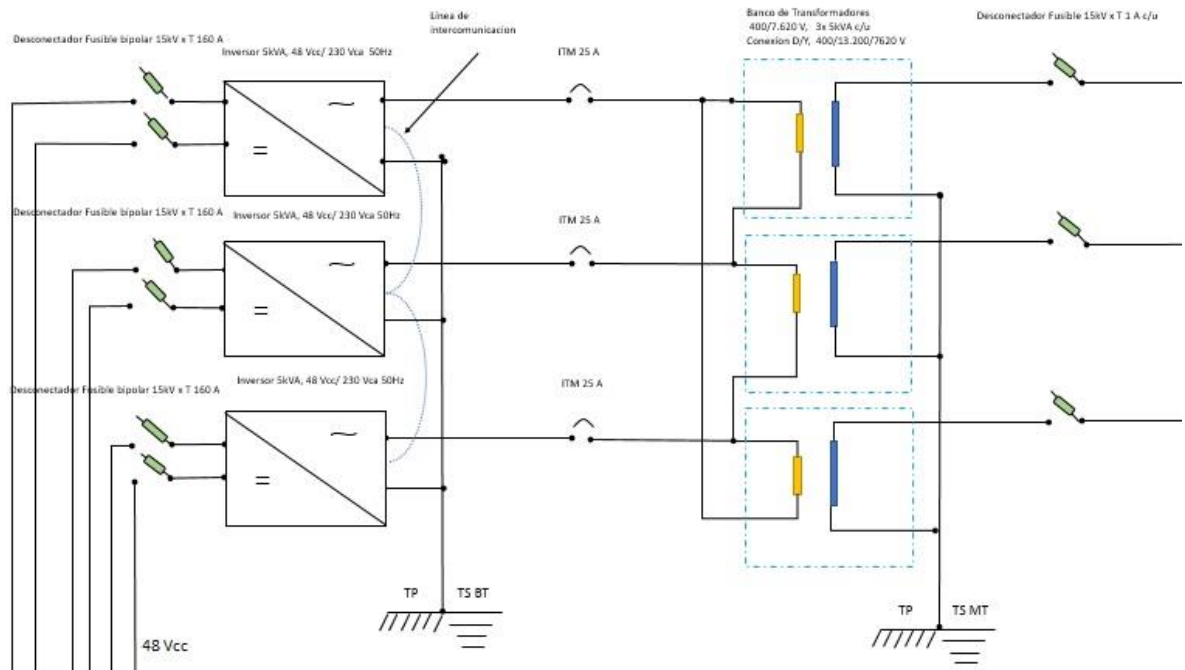


Ilustración 11: Diagrama de conexión subestación elevadora. Elaboración propia

6.3.1 Inversores

El inversor seleccionado para el sistema cumple con los mismos criterios de selección que los equipos de generación y acumulación. El modelo elegido es el Inversor Phoenix 48/5000 de Victron Energy.

Las características de su ficha técnica se presentan a continuación [41]:

- Rango de tensión de entrada: 38-66 [V]cc.
- Tensión de salida: 230 [V] \pm 2 [%].
- Frecuencia de salida: 50/60 [Hz] \pm 0,1 [%].
- Potencia de salida a 25[°C]: 5000 [VA].
- Potencia de salida a 25[°C]: 4500 [W].
- Potencia de salida a 40[°C]: 4000[W].
- Máximo pico de potencia: 10000 [W].
- Eficiencia a 48 [V]cc: 95 [%].
- Consumo en vacío: 25 [W].
- Relé programable.
- Puerto de comunicación VE.Bus para funcionamiento en paralelo y trifásico, supervisión remota e integración del sistema.
- Apagado y encendido remoto.
- Temperatura de funcionamiento: -20[°C] a 50[°C]

- Refrigerado por ventilación.
- Carcasa de aluminio, protección IP21.
- Peso: 30 [Kg].
- Dimensiones: Altura 444 [mm]; longitud 328 [mm]; anchura 240 [mm].
- Conforme a normas: EN60335-1; EN55014-1; EN55014-2.

Inversores especialmente diseñados para aplicaciones de consumos eléctricos desconectados del sistema, con fuentes de energías eólicas y solares y operación con baterías.

6.3.2 Transformadores

La elección de usar un banco de tres transformadores monofásicos de 400/7620 [V] para elevar la tensión a niveles de distribución, es que permite realizar las conexiones delta/estrella necesaria para la transformación de baja a media tensión; libertad que no entregan fácilmente los transformadores trifásicos.

Generalmente los transformadores de distribución operan bajando la tensión de media a baja, por eso están diseñados con el primario en 7620 [V] y el secundario en 400 [V], mientras que para este diseño utilizaremos el primario en baja tensión y el secundario en media. Con la conexión delta/estrella se tiene acceso al neutro en el secundario para la configuración del retorno por tierra.

A diferencia de los equipos anteriormente descritos, existen muchísimas opciones de fabricantes, tanto nacionales como internacionales, de alto prestigio y tecnología que pueden proveer el equipo con las características necesarias.

Se escoge un fabricante nacional, Transformadores Mora S.A debido a que tienen dentro de sus productos transformadores monofásicos de potencia 1,5 [kVA], los cuales serán utilizados en la distribución, a diferencia de la mayoría que ofrecen potencias desde 5 [kVA].

Los transformadores de 5 [kVA] para la subestimación, poseen las siguientes características técnicas, obtenidas mediante cotización directa [42].

- Transformador monofásico aéreo clase 15 [kV].
- Tensión primaria nominal 400 [V].
- Tensión secundaria nominal 7.620[V].
- Impedancia 4 [%] \pm 10 [%].
- Frecuencia 50 [Hz].
- Tap Secundario (AT) \pm 2,5 [%] y 5 [%].
- Polaridad sustractiva.

- Elevación de temperatura 65[°C].
- Factor K1.
- Buching de MT y BT ubicados en tapa superior.
- Cambiador de tap 5 posiciones con accionamiento exterior, sin tensión.
- Válvula de sobrepresión 10 [psi].
- Refrigeración por aceite mineral.
- Niple de llenado de aceite.
- Válvula de drenaje y muestreo.
- Conexión a tierra.
- Cáncamo de izar.
- Anclaje de puesta a tierra.
- Placa característica.
- Prueba y ensayos: Razón de transformación de enrollados en cada una de sus posiciones; resistencia de aislación; resistencia de enrollados.
- Dimensiones: altura 741 [mm]; longitud 570 [mm]; anchura 460 [mm].
- Peso: 80 [Kg].

Los transformadores de la subestación elevadora se conectan a la línea de transmisión mediante desconectador-fusible de 15 [kV] curva T de 1 [A].

6.4 Sistema de Distribución Monofásica con Retorno por Tierra

La distribución de la energía eléctrica es quizás el punto más relevante dentro del contexto de electrificación rural, debido a las grandes distancias que se deben cubrir para poder abastecer los consumos, los cuales además están alejados unos de otros.

La idea es poder alcanzar la mayor distancia posible de cobertura con los estándares de calidad de servicio aceptables, es decir, que se logre abastecer con la tensión necesaria para el consumo, poder lograr los 220 [V] en el consumo. Para ello se establece como condición una regulación de tensión máxima de 5 [%] desde la subestación hasta el punto de conexión del transformador de bajada.

El segundo punto que priorizar dentro del diseño del sistema de distribución son sus propios costos, por ello se utiliza el concepto de electrificación rural económica, el cual consiste en la distribución monofásica con retorno por tierra.

Este formato de distribuir energía eléctrica consiste en ocupar la capacidad física intrínseca de la Tierra como un conductor eléctrico y utilizarla como el medio de retorno de la corriente para el cierre del circuito desde el emisor hasta el receptor, sin la necesidad de un cable conductor de neutro, lo cual disminuye el valor de la inversión inicial.

Con esta configuración de distribución se puede utilizar cada fase independientemente de la otra, lo que quiere decir en este caso, cada fase de la generación se instala en una dirección distinta a la otra, logrando así cubrir una mayor área de cobertura de distribución que una distribución trifásica convencional.

La distribución monofásica con retorno por tierra ha sido ampliamente utilizada para la electrificación rural económica desde los años 20's en Nueva Zelanda gracias al ingeniero electricista Lloyd Mandeno [43] quien fue el pionero en utilizar esta metodología, luego desde los años 70's se masificó a nivel mundial, principalmente en países de gran extensión territorial como Australia, EE. UU, Brasil, Canadá, Sudáfrica entre muchos otros.

En Australia [43] [44] los sistemas de distribución monofásica con retorno por tierra se utilizan típicamente a 12,7 [kV] o 19,1 [kV], poseen una capacidad de entre 100 y 200 [kVA], con una extensión superior a los 300 [km] y con una densidad de carga muy baja de 0,5 [kVA/km].

En Latinoamérica ha sido ampliamente utilizado en México, Brasil, Perú y Argentina principalmente [45] [46], países en los cuales se han decretados normas y procedimientos regulados para los sistemas, donde se limita la corriente máxima a distribuir a no más de 30 [A], para asegurarse la conducción de retorno y la protección de las personas al limitar las tensiones de paso.

En Chile desde los años 50's se comenzó a implantar este sistema por parte de la empresa ENDESA, lo que permitió la creación de la mayoría de las cooperativas de distribución eléctrica rural existentes en la actualidad, aun así, esta tecnología ha sido descartada y dejada de lado en las últimas décadas por las empresas privadas debido a la baja potencia típica de estos sistemas, lo cual no entrega un retorno económico esperado por las empresas a esa inversión, por ende, no se encuentran considerados directamente en ninguna norma técnica y de seguridad [47], pero a su vez no se encuentra prohibido por las mismas normas.

Típicamente estos sistemas son derivados de sistemas trifásicos mayores, correspondientes a los sistemas de transmisión de los países [42] [43] lo cual trae consigo distintas dificultades como el desequilibrio de las fases para el sistema de transmisión, y debido a las grandes longitudes de varias decenas o centenas de kilómetros existen problemas con la calidad de la energía que llega, debido a las caídas de tensión y los reactivos generados por el efecto capacitivo de la gran extensión de los conductores.

En el caso de esta propuesta es distinto a la generalidad de los sistemas de distribución monofásica con retorno por tierra, ya que la generación de la energía está considerada dentro del sistema y la extensión longitudinal del sistema no sobrepasara los 10 [km], por lo cual no se debe preocupar por desestabilizar un sistema trifásico aguas arribas, y

circuito equivalente es netamente resistivo por lo que solo debemos considerar la caída de tensión por pérdidas resistivas.

6.4.1 Diagrama del Sistema de Distribución Monofásica con Retorno por Tierra

En el siguiente diagrama de conexiones se aprecia el sistema de distribución desde la subestación hasta los consumos.

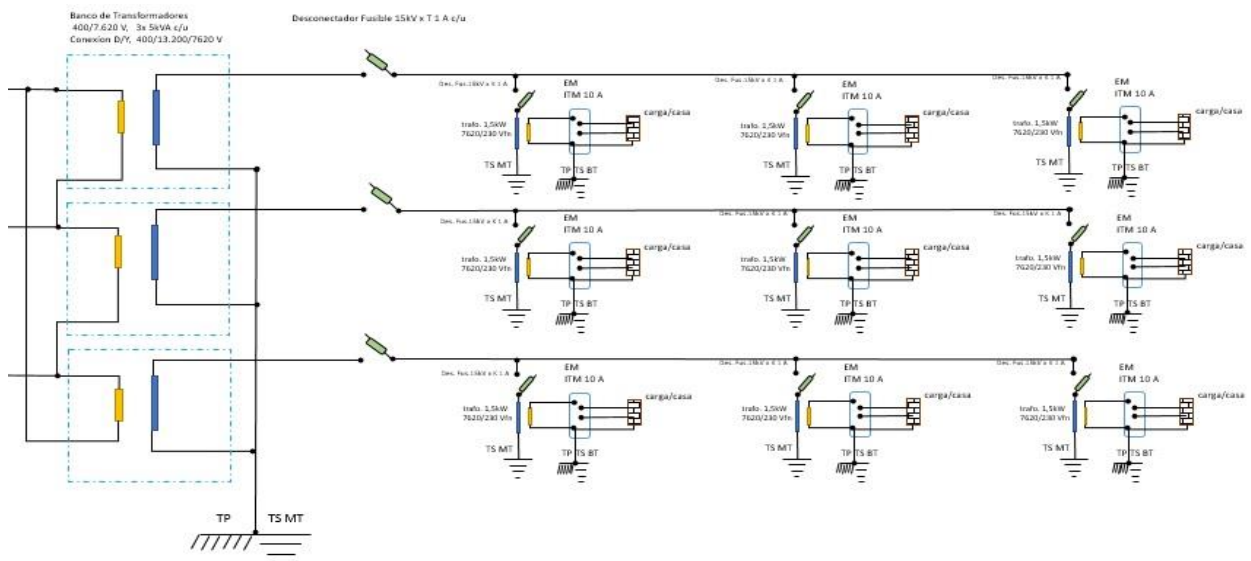


Ilustración 12: Diagrama del sistema de distribución completo. Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama se aprecia el sistema con las tres fases, pero cada una es idéntica a la otra y funcionan de manera independiente desde la subestación en adelante. Como cada fase es igual a la otra, en la siguiente imagen se muestra en más detalle las conexiones de las cargas a los alimentadores.

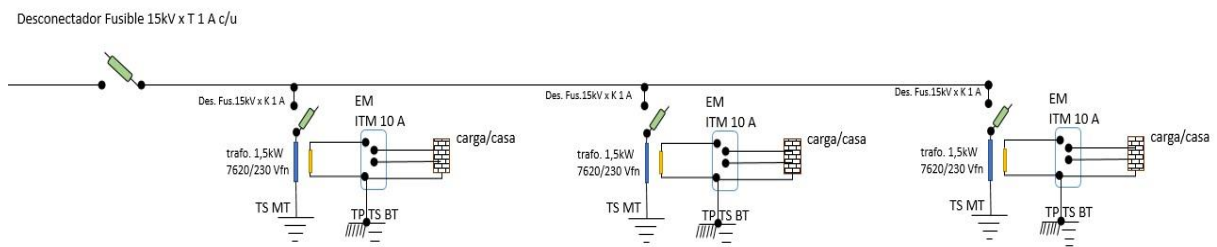


Ilustración 13: Diagrama de una fase del sistema de distribución. Fuente: Elaboración propia.

En cada fase el conductor alimentador a 7.620[V] se conecta a la subestación mediante un desconectador-fusible de 15[kV] curva T de capacidad de 1 [A].

Luego para poder alimentar las casas se necesita disminuir la tensión a 230 [V] por medio de un transformador de distribución 7.620/230 [V], de una potencia de 1,5[kW], este transformador se conecta a la fase alimentadora con desconectador fusible de 15[kV] curva K de 1 [A] de capacidad. El transformador debe ser conectado en el lado de media tensión a la tierra de servicio para poder cerrar el circuito eléctrico con el retorno por tierra.

Desde el lado de baja tensión del transformador se realiza el empalme hacia el equipo de medida y la protección general del circuito interno de la casa un interruptor termomagnético de 10 [A]. El neutro del secundario del transformador se conecta a tierra de protección y servicio, al igual que el circuito interno de la casa.

El empalme se debe realizar bajo las condiciones impuestas en la norma técnica NCH 12/87 Empalmes Aéreos Monofásicos [48] y la instalación eléctrica al interior del hogar se debe realizar acorde con la NCH 4/2003 Instalaciones de consumo en baja tensión [49].

6.4.1.1 Transformadores de Distribución

Al igual que en la sección 6.3.2 los transformadores de distribución serán del fabricante nacional Transformadora Mora S.A, ya que a diferencia de la mayoría ofrecen transformadores monofásicos de distribución de capacidad 1,5 [kW], el cual cumple con las siguientes características [42].

- Transformador monofásico aéreo clase 15 [kV].
- Tensión primaria nominal 7.620 [V].
- Tensión secundaria nominal 230[V].
- Impedancia 4 [%] \pm 10 [%].
- Frecuencia 50 [Hz].
- Tap Primario (AT) \pm 2,5 [%] y 5 [%].
- Polaridad sustractiva.
- Elevación de temperatura 65° [C].
- Factor K1.
- Buching de MT y BT ubicados en tapa superior.
- Cambiador de tap 5 posiciones con accionamiento exterior, sin tensión.
- Válvula de sobrepresión 10 [psi].
- Refrigeración por aceite mineral.
- Niple de llenado de aceite.
- Válvula de drenaje y muestreo.
- Conexión a tierra.

- Cáncamo de izar.
- Anclaje de puesta a tierra.
- Placa característica.
- Prueba y ensayos: Razón de transformación de enrollados en cada una de sus posiciones; resistencia de aislación; resistencia de enrollados.
- Dimensiones: altura 650 [mm]; longitud 380 [mm]; anchura 390 [mm].
- Peso: 65 [Kg].

En su instalación se debe cumplir con la [50] NSEG 16/78 Electricidad. Especificaciones de Transformadores de Distribución 13,2 [kV].

6.4.2 Mallas de Tierra

Las mallas de tierra son elementos constitutivos de los sistemas eléctricos en todos los niveles de utilización, desde la baja tensión hasta la extra alta tensión.

La funcionalidad principal en los sistemas eléctricos de potencia es proveer una superficie equipotencial para la difusión de corrientes peligrosas, producidas por fallas en el sistema o por descargas atmosféricas, y que dicha corriente al pasar la malla de tierra no eleve la tensión del terreno hasta niveles riesgosos para las personas [51].

Si bien las mallas de tierras son elementos para la protección de las personas, ya sea operarios de los sistemas de potencia o personas externas que se acercan a ellas, y para los elementos conductores que no son el conductor alimentador de las fases, como gabinetes de tableros y transformadores entre otros. También se pueden diseñar para utilizar la propiedad intrínseca de la superficie de la Tierra como conductor de retorno en la transmisión monofásica de potencia. De lo anterior se desprenden dos tipos de mallas de tierras, las tierras de protección y las de servicio.

Las mallas de tierras están constituidas por electrodos de muy baja resistencia propia interconectados entre sí, en diferentes configuraciones geométricas, enterradas y en contacto eléctrico directo con el suelo natural del terreno dónde se emplaza la instalación, o también pueden ser instalados bajo aguas. Los elementos que se tengan que conectar a tierra o aterrizar, se hace mediante un conductor de tierra que conecta los elementos a aterrizar sobre la superficie con los electrodos de la malla de tierra enterrados bajo el suelo.

El objetivo de instalar electrodos de baja resistencia en contacto directo con el terreno es lograr una resistencia óhmica de conexión a tierra lo suficientemente baja para la difusión segura de las corrientes. La resistencia de conexión a tierra dependerá de la naturaleza del terreno, caracterizada por su resistividad ρ [Ω m]. Esta resistividad puede ser muy difícil de determinar ya que los terrenos pueden presentar estratos inferiores con distintas características, dónde cada estrato o capa presenta su propia resistividad característica.

A continuación, se observa en la tabla 8 los valores típicos de resistividad según los tipos de suelos y aguas.

Tipos de Suelo y Aguas	Resistividad ρ [Ω m]
Agua de mar	0,1 a 5
Suelos vegetales húmedos	10 a 50
Arcillas, gredas, limos	20 a 60
Agua de noria	10 a 150
Arenas arcillosas	80 a 120
Suelos cultivados	50 a 250
Fangos, turbas	150 a 130
Aguas de lagos y ríos	100 a 400
Arenas húmedas	250 a 500
Arenas secas	1.000 a 3.000
Suelos pedregosos	300 a 400
Agua de lluvia	800 a 1.200
Glaciales	3.000 a 10.000
Rocas	1.000 a 10.000
Concreto húmedo	100 a 240
Concreto seco	10.000 a 50.000

Tabla 8: Resistividad de Suelos y Aguas. Fuente: Apunte curso EL6013 Puesta a tierra de instalaciones eléctricas.

Como se observa en la tabla 8 existen variadas diferencias entre la naturaleza de los suelos y sus resistividades, donde una influencia grande en ello es la humedad presente en ellos [51].

Existe toda una especialización dentro de la ingeniería eléctrica que se dedica al tema de las mallas de tierra, para la medición de la resistividad de los terrenos y variadas formas de configuración geométrica de los electrodos de las mallas y otras técnicas para lograr la resistencia de conexión a tierra deseada para los sistemas eléctricos.

Dada la extensión del tema, los diversos tipos de suelos a lo largo y ancho del país en donde se emplazan las comunidades aisladas eléctricamente y los objetivos de este trabajo, se limitará a entregar el valor de resistencia de conexión a tierra necesario para la malla de tierra de servicio y de protección para el sistema de distribución monofásico con retorno por tierra. Las cuales cumplen con lo establecido en [47] NSEG 5/71 Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes, en su Capítulo III Protección de las Instalaciones. Tierras desde el Artículo N°20 hasta el Artículo N°31.

6.4.2.1 Malla de Tierra de Servicio

Para determinar cuál es el valor de la resistencia de conexión a tierra se utilizará la ETN-87 de la Empresa Provincial de la Energía, de la provincia de Santa Fe, Argentina [52]. La cual reglamenta los proyectos de montaje de instalaciones líneas aéreas de energía eléctrica en media tensión con retorno por tierra para suministro eléctrico, en el ámbito rural, con una tensión de servicio de 7,62 [kV].

La cual establece en su punto 7.2.1 “Puesta a Tierra de Servicio (Transformadores)” lo siguiente, “Para la puesta a tierra de servicio del puesto de transformación se utilizará uno o más conjuntos, que permitan obtener un valor de impedancia menor de 5 [Ω]”.

Por lo anterior se establece que la resistencia de puesta a tierra de las mallas de tierra de servicio en la subestación elevadora y en los transformadores de distribución sea de un máximo de 5 [Ω].

6.4.2.2 Malla de Tierra de Protección

De la misma forma, para la malla de tierra de protección, la norma ETN-87 en su punto 7.2.2 dice “para la puesta a tierra de seguridad del puesto de transformación se utilizará uno o más conjuntos, que permitan obtener un valor de impedancia menor de 2 [Ω]. Esta puesta a tierra será independiente de la de servicio.

Por lo anterior se establece que la resistencia de puesta a tierra de las mallas de tierra de protección en la subestación elevadora y en los transformadores de distribución sea de un máximo de 2 [Ω].

6.4.3 Cálculos de Regulación de Tensión

La idea del sistema de distribución monofásica con retorno por tierra es poder alcanzar la mayor distancia posible de cobertura con los estándares de calidad de servicio aceptables, es decir, que se logre abastecer los 220[V], la tensión necesaria para el consumo.

Para ello se establece como condición una regulación de tensión máxima de 5 [%] desde la subestación hasta el punto de conexión del transformador de bajada. Es decir, obtener una tensión en el transformador de distribución de mínimo 7.239 [V]. y poder dejar un margen de otro 5 [%] desde el equipo de medida hasta el último elemento de la instalación eléctrica domiciliaria.

La regulación de tensión es el porcentaje de la tensión en la carga respecto a la tensión en la emisión.

$$Reg[\%] = \left(1 - \frac{U_c}{U_t}\right) * 100 \quad (6.11)$$

Con

- U_c : Tensión en la carga.
- U_t : Tensión de transmisión.

Para el cálculo de la regulación se presenta el circuito eléctrico representativo de la línea de distribución monofásica con retorno por tierra en la siguiente imagen.

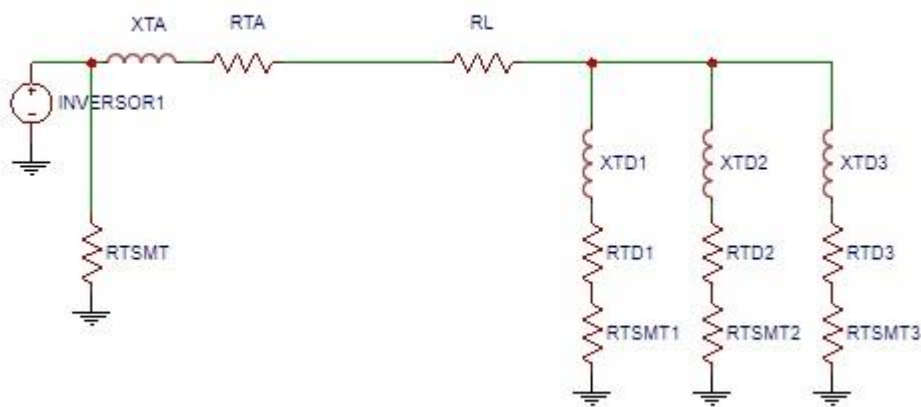


Ilustración 14: Circuito eléctrico de la línea de distribución. Elaboración propia.

En la ilustración 24 se muestra el circuito de la línea de distribución con retorno por tierra, con todos los elementos resistivos y reactivos que componen la línea.

- Tensión nominal 7.620.
- RTA: Resistencia del transformador de subida de la subestación.
- XTA: Reactancia del transformador de subida de la subestación.
- RL: Resistencia de la línea.
- RTSMT: Resistencia a tierra de la malla de tierra de servicio de media tensión de la subestación.
- RTDi: Resistencia del transformador de distribución, $i=1, 2, 3$.
- XTDi: Reactancia del transformador de distribución, $i=1, 2, 3$.
- RTSMTi: Resistencia a tierra de la malla de tierra de servicio de media tensión de distribución.

No se consideran las componentes inductivas de los transformadores ya que por los niveles de utilización son despreciables en comparación con la resistencia y la reactancia de estos, tanto en los transformadores de la subestación y los de distribución. Además,

se consideró representar a la línea de distribución como un elemento netamente resistivo, como la aproximación de una línea corta.

Para poder determinar el largo máximo de la línea que permita la regulación de tensión máxima permitida se considera que en el circuito todas las cargas se conectan en un mismo punto, el cual será el largo medio de la línea de distribución.

Los valores de las resistencias y reactancias de los transformadores se obtienen calculándolos desde los valores nominales de la ficha técnica.

Transformador de la subestación:

- Potencia nominal $S_n = 5$ [kVA].
- Tensión nominal $U_n = 7.620$ [V].
- Rendimiento $\eta = 98$ [0/1].
- Impedancia propia $Z = 4$ [%].
- Corriente nominal.

$$I_n = \frac{S_n}{U_n} = 0,656 \text{ [A]} \quad (6.12)$$

- Impedancia base.

$$Z_b = \frac{U_n}{I_n} = 11.616 \text{ [\Omega]} \quad (6.13)$$

- Impedancia propia.

$$Z_{ta} = 0,04 * Z_b = 464,6 \text{ [\Omega]} \quad (6.14)$$

- Potencia de las pérdidas.

$$P_p = \eta * S_n = 100 \text{ [W]} \quad (6.15)$$

- Resistencia del transformador de subida.

$$RTA = \frac{P_p}{I_n^2} = 232 \text{ [\Omega]} \quad (6.16)$$

- Reactancia del transformador.

$$XTA = \sqrt{Z_{ta}^2 - RTA^2} = 402 \text{ [\Omega]}$$

De forma análoga se obtiene los valores de los transformadores de distribución.

- Potencia nominal $S_n = 1,5$ [kVA].
- Tensión nominal $U_n = 7.620$ [V].
- Rendimiento $\eta = 98$ [0/1].
- Impedancia propia $Z = 4$ [%].
- Corriente nominal $I_n = 0,197$ [A].
- Impedancia propia $Z = 1.548$ [\Omega].
- Potencia de las pérdidas $P_p = 30$ [W].
- Resistencia del transformador de distribución $RTD = 774$ [\Omega].
- Reactancia del transformador de distribución $XTD = 1341$ [\Omega].

Las resistencias de las mallas de tierras de servicio $RTSMT_i = 5 [\Omega]$, $i = 1, 2, 3$.

Para la resistencia de la línea, primero es necesario determinar el tipo de conductor a utilizar, basándonos en el punto 5.2 de la ETN-87 de la Empresa Provincial de Energía de Santa Fe, la cual fija el conductor necesario para distribución monofásica con retorno por tierra para un nivel de 7.620 [V] con las siguientes características [52].

- Máxima densidad de corriente admisible 1,2 [A/mm²].
- Conductor alambre de acero galvanizado, ALE. GAL -IRAM 777 / 76-R120
- Acero grado 1075.
- Diámetro del conductor 3,46 [mm].
- Sección del conductor 9,4 [mm²].
- Resistividad del acero $1,8 \cdot 10^{-7} [\Omega/m]$.
- Resistencia eléctrica del conductor 19 [Ω/km].
- Carga de rotura mínima 144 [kg/mm²].

Ya que la resistencia de la línea depende del largo de esta, se muestran las resistencias de línea según el largo medio del conductor, donde consideramos que se conectan todas las cargas para el cálculo de la regulación de tensión.

Largo medio del Conductor [km]	2,5	3	4	5	8	10
Resistencia del conductor [Ω]	47,5	57	76	95	152	190

Tabla 9: Largo medio del conductor y resistencia del conductor. Elaboración propia.

Con los valores de cada elemento del circuito determinado, se reduce a un circuito equivalente, considerando las tres cargas conectadas en paralelo, en serie con la impedancia del transformador de subida y la resistencia de la línea, la cual depende del largo de esta.

Obteniendo así un equivalente de Thévenin de la línea de distribución, con una fuente de tensión y una impedancia equivalente, la cual posee una parte resistiva y una reactiva. El equivalente se observa a continuación.

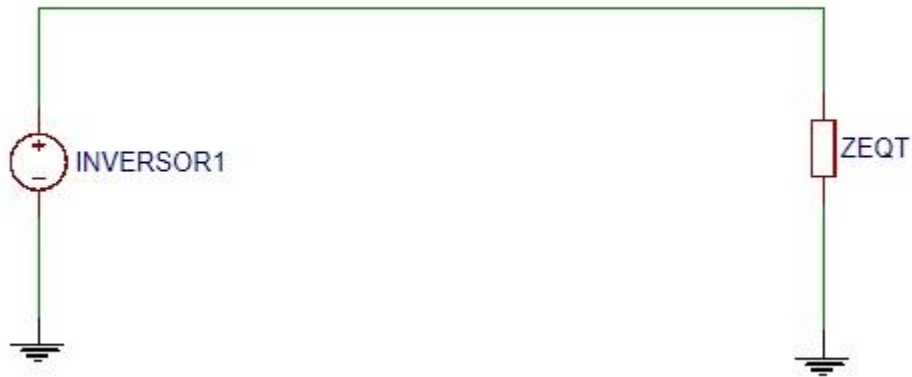


Ilustración 15: Circuito equivalente de Thévenin de la línea de distribución monofásica con retorno por tierra. Elaboración propia.

La impedancia equivalente posee una parte reactiva, la cual está compuesta por el equivalente de las reactivancias de los transformadores involucrados, y una parte resistiva compuesta por el equivalente de las resistencias, ya que la resistencia de la línea depende del largo, se muestran los equivalentes según el largo medio de la línea.

circuito equivalente						
Reactancia total equivalente [Ω]	849,3					
Largo medio del conductor [km]	2,5	3	4	5	8	10
Resistencia total equivalente [Ω]	544,5	554,0	573,0	592,0	649,0	687,0

Tabla 10: Reactancia equivalente y resistencias equivalente según largo medio del conductor. Elaboración propia.

Para determinar la tensión en la carga y con ello la regulación de tensión debemos analizar la tensión y la corriente de forma fasorial, ya que existe una componente resistiva

y una reactiva las cuales son perpendiculares entre sí, ya que la impedancia equivalente se presenta como un número complejo $Z = R + jX$.

El diagrama de fasores representativo del circuito se presenta a continuación.

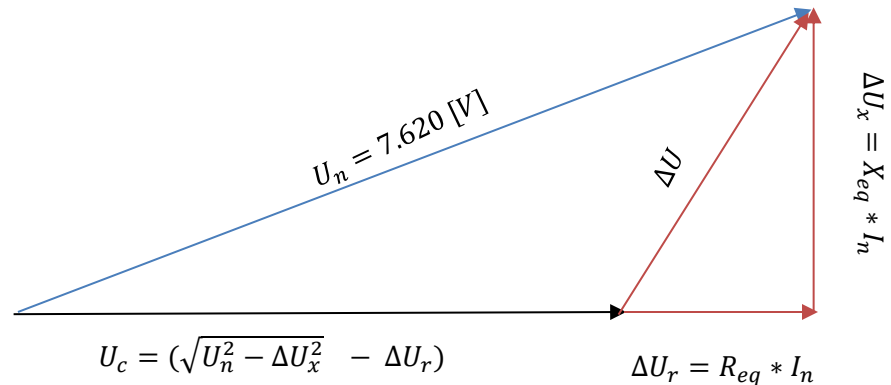


Ilustración 16: Diagrama de fasores de regulación de tensión. Elaboración propia.

Como se muestra en el diagrama la tensión en la carga se encuentra en fase con la corriente, lo que provoca una caída de tensión resistiva ΔU_r , mientras que en la componente reactiva se encuentra perpendicular a la corriente y a la tensión en la carga, provocando una caída de tensión reactiva ΔU_x , de lo cual se desprende que la tensión en la carga es U_c .

$$U_c = \sqrt{(U_n^2 - \Delta U_x^2)} - \Delta U_r \quad (6.17)$$

Finalmente se obtiene las tensiones en la carga y la regulación de tensión según el largo medio del conductor.

Caída de tensión reactiva [V]	557,258					
Largo medio del conductor [km]	2,5	3	4	5	8	10
Caída de tensión resistiva [V]	357,3	363,5	376,0	388,4	425,8	450,8
Tensión en el consumo U_c [V]	7242,3	7236,1	7223,6	7211,2	7173,8	7148,8
Regulación de tensión [%]	4,956	5,038	5,202	5,365	5,856	6,184

Tabla 11: Caída de tensión reactiva; caídas de tensión resistiva, tensión de la carga y regulación de tensión según largo medio del conductor. Elaboración propia.

De los resultados de la tabla 9 podemos observar que para un largo medio de 2,5 y 4 [km], la regulación de tensión está dentro de los parámetros completamente aceptables; la regulación en los 4 y 5 [km] están un poco más elevados que lo óptimo, pero es un nivel que se puede aceptar como condición extrema en algunos casos; sobre los 8 [km] la regulación de tensión es demasiado elevada llegando a niveles prohibitivos para el sistema.

De lo anterior se puede concluir que el radio máximo de distribución monofásica con retorno por tierra de 15 [kW] para el módulo básico de generación eólica-solar es de 10 [km].

Indudablemente para la realización de la ingeniería de detalle se debe conocer específicamente la distancia entre las cargas, con lo cual determinar la regulación de tensión exacta para cada caso.

6.4.4 Descripción del Tendido Eléctrico

El sistema de distribución eléctrica debe ser instalado aéreamente utilizando postes de madera, debido a que son más económicos que los de hormigón, de 9 [m] ya sea de pino o eucalipto preservados, impregnados en la base con elementos antihumedad y corrosión, empotrados en el suelo mínimo 1,6[m], colocando el conductor a una altura de 7 [m].

La longitud máxima del vano, que es la distancia entre dos soportes consecutivos será de 180 [m], debido a la capacidad del acero de resistir una mayor tensión que el aluminio y el cobre.

La aislación del conductor se realizará mediante aisladores de porcelana con herraje terminal de fundición de hierro o sobre perno rígido metálico con rosca de plomo, para el sostén de conductor activo se usará un aislador rígido MN 3a con perno rígido MN 416b, mientras que para el terminal del conductor activo se usarán dos aisladores cadena a horquilla MN11a.

Todo lo anterior siguiendo la ETN- 87 de la Empresa Provincial de la Energía, de la provincia de Santa Fe, Argentina [52].

6.5 Protecciones

En esta sección se presentan las protecciones consideradas en el sistema completo según el nivel de tensión en el cual están operando, de ese modo tenemos las protecciones de las conexiones a 48 [V], a 220 [V] y en 7.620 [V].

Si bien ya se mencionaron al describir las conexiones de cada elemento, en esta parte se mostrarán ordenados y justificados cada uno.

6.5.1 Paño de 48 [V]cc

En el nivel de los 48 [V]cc se encuentran las protecciones de los aerogeneradores, las mesas fotovoltaicas, la batería y los inversores.

6.5.1.1 Protección Aerogeneradores

Considerando que la potencia nominal de los aerogeneradores es de 3,5 [kW], pero que pueden llegar a un máximo de potencia sobre los 4 [kW], la corriente nominal en dicha conexión sería.

$$I_n = \frac{P_m[kW]}{U_n[V]} = \frac{4[kW]}{48[V]} = 83,3 [A] \quad (6.18)$$

Por lo que se decide utilizar un interruptor termomagnético bipolar curva C (ITM) de 100 [A], con capacidad de corte de hasta 25[kA], para cada uno de los aerogeneradores.

6.5.1.2 Protección Mesas Fotovoltaicas

Considerando que la potencia nominal de cada una de las mesas fotovoltaicas es de 1,5[kW], la corriente nominal en dicha conexión sería.

$$I_n = \frac{P_n[kW]}{U_n[V]} = \frac{1,5[kW]}{48[V]} = 31,25 [A] \quad (6.19)$$

Por lo cual se decide utilizar un interruptor termomagnético bipolar curva C (ITM) de 40 [A], con capacidad de corte de hasta 25 [kA].

6.5.1.3 Protecciones de Inversores y Batería

Para la protección de los inversores y la batería se deben utilizar desconectores fusibles, debido a las fuertes corrientes que se pueden provocar en dichos elementos y la fragilidad de los mismos frente a estas.

La corriente nominal para estos elementos se considera con la potencia nominal de cada inversor 5[kW].

$$I_n = \frac{P[kW]}{U_n[V]} = \frac{5[kW]}{48[V]} = 104,2 [A] \quad (6.20)$$

Lo que nos lleva a seleccionar un desconector fusible bipolar curva T de 160 [A] con capacidad de desconexión de hasta 25 [kA], para cada uno de los inversores y para la batería.

6.5.2 Paño de 220 [V]

Ya que, en el diseño del sistema, en la central generadora en los 220 [V] solamente se conectan los inversores hacia los transformadores de la subestación elevadora.

La corriente nominal en este caso es de:

$$I_n = \frac{P_n[kW]}{U_n[V]} = \frac{5[kW]}{220[V]} = 22,7 [A] \quad (6.21)$$

Por ende, se considera un interruptor monofásico de 25 [A] con capacidad de corte hasta 25[Ka], para cada uno de los inversores.

6.5.3 Línea de Distribución 7.260 [V]

Cada fase o línea del sistema de distribución se conecta mediante desconectores fusibles a la subestación, donde la corriente nominal es:

$$I_n = \frac{P_n[kW]}{U_n[V]} = \frac{5[kW]}{7.620[V]} = 0,656 [A] \quad (6.22)$$

Por lo que las protecciones de las líneas de distribución serán desconectores fusibles monopares curva T de 1 [A].

Los transformadores de distribución se conectarán a la línea de transmisión mediante desconectores fusibles monopares 15 [KV] de curva K de 1[A]de capacidad.

6.5.4 Tablero de Protecciones

Dentro del sistema de generación se debe instalar el tablero de protecciones de los paños de 48 [V]cc y 220[V], que se describieron en las secciones 7.5.1 y 7.5.2.

El tablero consiste en dos gabinetes metálicos, uno para el paño de 48 [V]cc y otro para el de 220 [V], en cuales se encuentran cada una de las protecciones ya descritas, y se puede observar en la siguiente ilustración.

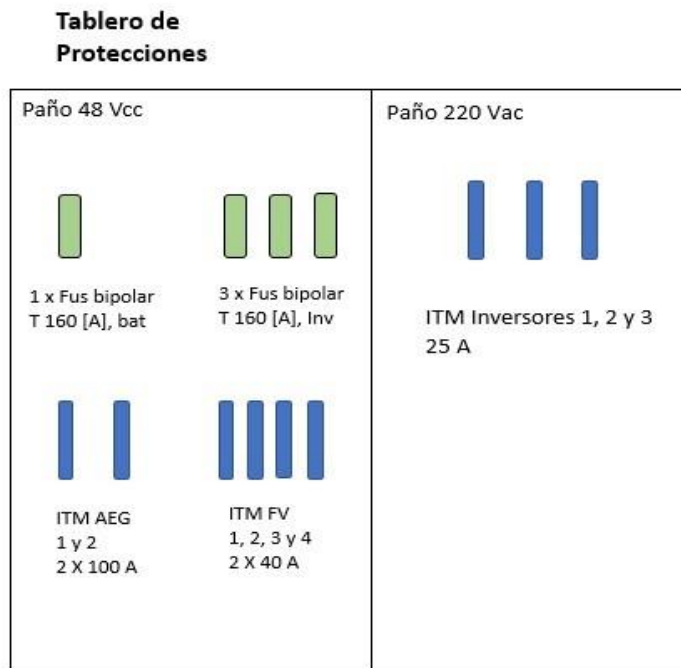


Ilustración 17: Tablero de protecciones. Elaboración Propia

6.6 Dimensionado y Diagrama de Ubicación

Considerando las dimensiones de cada uno de los elementos descrito a lo largo del capítulo VI, se elabora un diagrama de ubicación de los equipos dentro de la central de generación y la subestación.

El módulo básico diseñado puede ser instalado en un terreno de dimensiones 20x35[m], delimitado por un cerco exterior para evitar el ingreso de animales y personas no autorizadas.

Por recomendaciones técnicas los aerogeneradores deben estar separados por al menos el mismo diámetro de sus aspas, en este caso por 4,5[m], cuando son instalados uno al lado del otro en la misma orientación, para evitar interferencias entre uno y otro. Para casos en que se deban colocar varios aerogeneradores y formar varias filas de estos, las filas deben estar separadas al menos por la distancia de la altura de la torre del aerogenerador. La altura de las torres es de 16[m].

Las mesas fotovoltaicas pueden fácilmente ubicarse en una misma línea, procurando no formales sombras con algún otro elemento, las mesas miden 3x3,3[m] cada una.

Se considera una caseta de máquinas dividida en dos espacios separados, uno para la instalación de la batería, la cual por razones de seguridad deben ser instaladas de una forma aislada y sellada del resto en un espacio de 2,5x5[m]. El otro espacio de la caseta de máquinas es para instalar el tablero de protecciones y los inversores, lo cuales caben en una caseta de 5x5[m].

La subestación conformada por el banco de transformadores se instala al aire libre sobre postes de tendido eléctrico de 7[m] de altura mínimo, desde donde se inician las líneas de distribución. Los transformadores se limitan mediante un cerco interno de 5x5[m] para mayor seguridad de la subestación.

El diagrama de dimensiones, ubicación y disposición se ve en la siguiente ilustración.

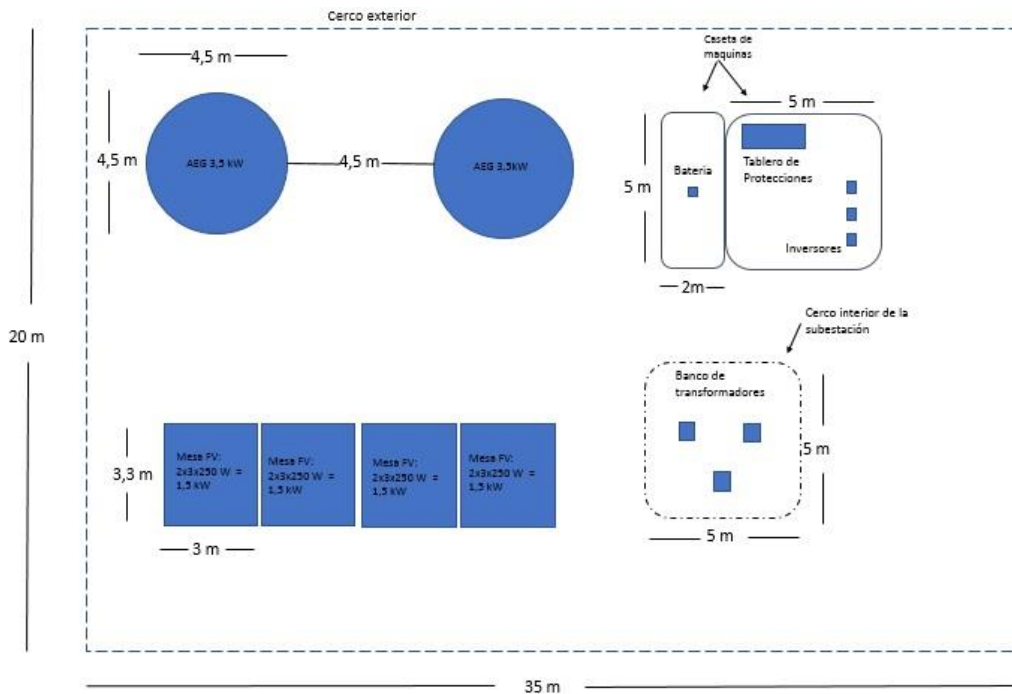


Ilustración 18: Diagrama de ubicación y dimensionado módulo básico de generación. Elaboración propia.

Capítulo VII: Análisis de los Recursos Energéticos y Operación del Sistema en Cuatro Comunidades

En este capítulo se estudian la disponibilidad de recursos energéticos renovables eólicos y solares en 4 localidades detectadas y que pueden ser representativas de las comunidades aisladas eléctricamente del país. Este análisis se realiza con la ayuda de las herramientas desarrolladas por el departamento de Geofísica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, el Explorador Solar [53] y el Explorador de Energía Eólica [54].

Con los resultados obtenidos por los exploradores se realiza una optimización de la dimensión del módulo de generación y se verifica la operación del sistema con el programa de micro-redes HOMER.

De acuerdo con lo discutido en el Capítulo II: Electrificación Rural en Chile; Comunidades y localidades aisladas eléctricamente, se identifican 4 zonas geográficas de alta presencia de estas. La primera es la compuesta por las regiones de Arica y Parinacota, Tarapacá y Antofagasta, con una variada dispersión de comunidades aisladas eléctricamente en la zona altiplánica. La segunda zona es de las regiones de Atacama y Coquimbo, con caletas de pescadores artesanales a lo largo de toda la costa y comunidades rurales, principalmente agrícolas en los valles y la cordillera. La tercera zona corresponde a las regiones del Bio-Bio, La Araucanía, Los Ríos y Los Lagos con alta presencia de comunidades Mapuches desde la costa hasta la cordillera sin abastecimiento eléctrico y lugares del archipiélago de Chiloé con deficiencias eléctricas. La cuarta y última zona es la austral de la región de Aysén con una extensión territorial enorme y población altamente dispersada, con presencia de variadas comunidades de pesca artesanal y agrícolas.

Durante la investigación se identificó dentro de cada una de las cuatro zonas una localidad aislada eléctricamente, para las cuales se realiza el análisis de recursos energéticos y la viabilidad técnica para la instalación del sistema diseñado.

Las localidades son:

- Primera zona: la localidad de Acovinto, ubicada en la comuna de Colchane, provincial del Tamarugal, región de Tarapacá.
- Segunda zona: la Caleta Obispito, ubicada en la comuna de Caldera, provincia de Copiapó, región de Atacama.
- Tercera zona: la comunidad de Las Araucarias, ubicada en la comuna de Carahue, provincia de Cautín, región de La Araucanía.
- Cuarta zona: Localidad de Alto Mañilahue, ubicada en la comuna de Coyhaique, provincia de Coyhaique, Región de Aysén.

7.1 Metodología de Análisis de los Recursos Energéticos y Operación del Sistema

El análisis de los recursos energéticos se inicia con la determinación de ubicación de las comunidades seleccionadas, obteniendo sus coordenadas globales de latitud y longitud con la ayuda de las herramientas de Google Maps y/o Google Earth, para luego utilizar los exploradores, eólico y solar de la Universidad de Chile.

7.1.1 Explorador Solar

El explorador solar es una herramienta bastante completa, en la cual podemos buscar el recurso solar y las características meteorológicas de casi cualquier punto del territorio nacional, cuenta con mediciones y simuladores de para el cálculo de energía para sistemas solares térmicos y sistemas fotovoltaicos con un modelo simple o avanzado. entrega la información sobre el recurso solar basado en la modelación numérica de la transferencia de radiación solar en la atmósfera y en datos satelitales de alta resolución. El modelo utilizado para la transferencia de radiación solar para cielos despejados es el modelo CLIRAD-SW, el cual considera las bandas de espectrales de manera independiente. Además, se el modelo utiliza datos meteorológicos y climatológicos de temperatura, humedad, aerosoles de CO₂, CH₂ y O₃ [53].

Junto con el modelo de transferencia de radiación solar, el explorador solar realiza un análisis de la nubosidad presente en el lugar mediante la información proveniente de los satélites GOES-EAST desde el 2014 al 2016. Cuya base de datos es utilizada por el explorador para identificar la nubosidad y sus características frente a la radiación, y a través de un modelo se ha modificado el resultado obtenido para una atmósfera con cielo despejado para adaptarlo a una condición de nubosidad [53].

Utilizando la opción avanzada del explorador se ingresan los datos técnicos correspondiente a una mesa de seis paneles solares descritos en la sección 6.2.1.2. La salida del explorador solar es un informe en formato PDF en el cual se entrega el resumen de los datos obtenidos.

Junto al informe resumen se entregan los datos utilizados para elaborar el reporte en un libro de Excel, en el cual vienen los valores de la radiación global, directa, difusa, reflejada, horizontal y normal; los valores de la temperatura, la velocidad del viento y la nubosidad y los valores de la generación fotovoltaica para el modelo ingresado.

En la página "pv" del libro de Excel entregado por el explorador solar, se encuentran los datos de la potencia de generación fotovoltaica en [kW] para las horas del día de 00:00 a 23:00, del día promedio del año y para el día promedio de cada mes.

7.1.2 Explorador Eólico

En tanto el explorador eólico entrega información del recurso eólico basada en el uso de modelación numérica, el cual proporciona datos simulados con un modelo atmosférico de mesoescala. El modelo utilizado por el explorador es el WRF (*Weather Research and Forecasting*) desarrollada por NCAR (National Center for Atmospheric Research) en su versión 3.2 en Estados Unidos y es ampliamente utilizado en el área de evaluación de recursos eólicos a nivel mundial. El modelo es aplicado con una resolución espacial de 1 [km] y tiene 12 niveles verticales de medición entre los 0 y 200 metros de altura. Con datos del año 2010 por completo [54].

El explorador posee las opciones de estudiar los sitios del mapa mediante un visor que entrega información general de un sitio seleccionado o de generar un reporte completo del recurso en el sitio, posee la opción de analizar y entregar la potencia de un aerogenerador en el sitio seleccionado, para lo cual posee un catálogo de modelos de aerogeneradores dentro de los cuales se encuentra el Enair 70 descrito en la sección 6.2.1.1

La salida del explorador eólico es un reporte en formato PDF en el cual se muestran un resumen de los recursos, junto al reporte se entregan los datos utilizados en la simulación con los datos horarios del año 2010 completo, desde las 00.00 horas del día primero de enero, hasta las 23:00 del día 30 de diciembre, de la densidad del aire, la velocidad del viento, y la potencia del aerogenerador en un archivo de texto.

7.1.3 HOMER

Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources (HOMER) es un programa líder a nivel mundial en el modelamiento de micro-redes, la herramienta maneja las complejidades de costo-eficiencia para el diseño de micro-redes confiables que combinan generación tradicional, energías renovables, almacenamiento y control de cargas.

Lo que se busca obtener del programa es una optimización del dimensionado de los sistemas de generación y acumulación de energía eléctrica del diseño propuesto, en base a la capacidad de abastecer la demanda eléctrica estimada en la sección 6.1, y verificar el funcionamiento del sistema y de la batería que cumpla con la restricción de autonomía de 96 horas.

La optimización se inicia seleccionando el sitio, con las mismas coordenadas utilizadas en los exploradores, para luego diseñar la micro-red a estudiar. Como primer elemento se ingresa la carga del sistema, la cual corresponde a la demanda eléctrica proyectada de las 9 viviendas consideradas, además de las pérdidas en el sistema de distribución, lo cual se traduce en una demanda anual 13,589 [MWh/año]. Las otras pérdidas del

sistema son consideradas dentro de los algoritmos de optimización del programa y de los exploradores.

Luego se agregan los componentes de generación eléctrica, en este caso se seleccionan componentes personalizados para los paneles fotovoltaicos y el aerogenerador, en los cuales se ingresan los datos obtenidos con cada uno de los exploradores.

Finalmente, para concluir el diseño se agregan la batería de 3500 [Ah] y el sistema de inversores. Lamentablemente la única opción de estas dimensiones presente en el programa es una batería de ion-Litio, la cual presenta una química de funcionamiento distinta a la de plomo-ácido que se propone en el diseño, pero entendiendo que la gran diferencia entre ambas tecnologías con una capacidad similar es la densidad energética descrita en el Anexo C.3.

Se asume que el estado de carga inicial de la batería es del 100 [%], al realizar los cálculos de optimización el programa entrega todas las soluciones que cumplen con las restricciones técnicas de abastecer la totalidad de la demanda y asegurar una autonomía de la batería por 96 horas. El programa entrega la cantidad de mesas de paneles fotovoltaicos y de aerogeneradores necesarios, junto con un reporte de operaciones, con la energía generada y la operación de la batería.

7.2 Resultados

Se presentan los resultados obtenidos de HOMER con los datos de generación de energía eléctrica entregados por los exploradores para cada una de las comunidades aisladas seleccionadas.

Se muestran la cantidad de mesas de paneles fotovoltaicos y aerogeneradores necesarios para abastecer la demanda de energía eléctrica y sus pérdidas en distribución, es decir, 13,589 [MWh/año] en cada una de las comunidades.

Además, los gráficos que representan la operación del sistema, la potencia generada por los paneles y aerogeneradores, junto con la energía almacenada y la profundidad de descarga de la batería que asegure la autonomía de 96 horas.

Cabe mencionar que todas las ilustraciones generadas por el programa HOMER tienen una marca de agua debido a que se usa una licencia provisoria.

7.2.1 Resultados Para la Localidad de Acovinto

La localidad de Acovinto se encuentra en la comuna del Colchane en la provincia del Tamarugal en la región de Tarapacá, en la zona del altiplano chileno, cercano a la frontera con Bolivia.

- Latitud 19°24'00" S.
- Longitud 68°35'24" O.
- Elevación sobre el nivel del mar 3716 a 3726 [m].
- Densidad del aire 0,81 [kg/m³].

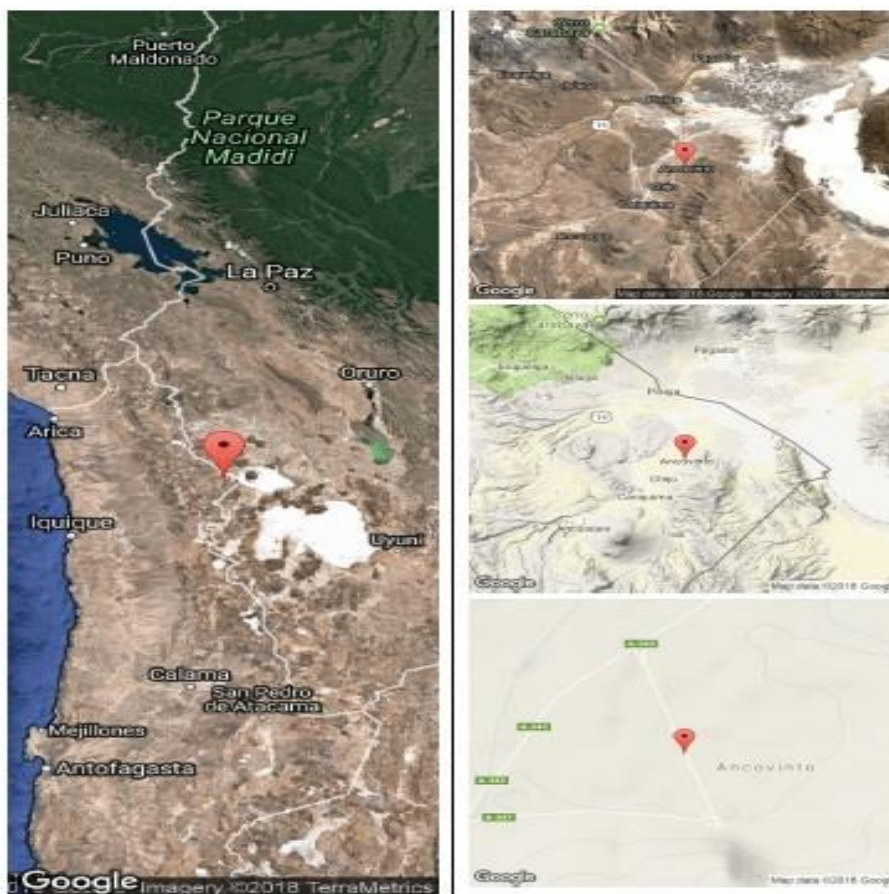


Ilustración 19: Mapa de la localidad de Acovinto. Fuente: Explorador Solar.

Los resultados para la localidad de Acovinto son:

- Cantidad de mesas de paneles fotovoltaicos: 3 (18 paneles en total).
- Cantidad de aerogeneradores: 0.
- Cantidad de baterías de 3500 [Ah]: 1.

La potencia generada en la operación de un año se presenta en el siguiente gráfico.

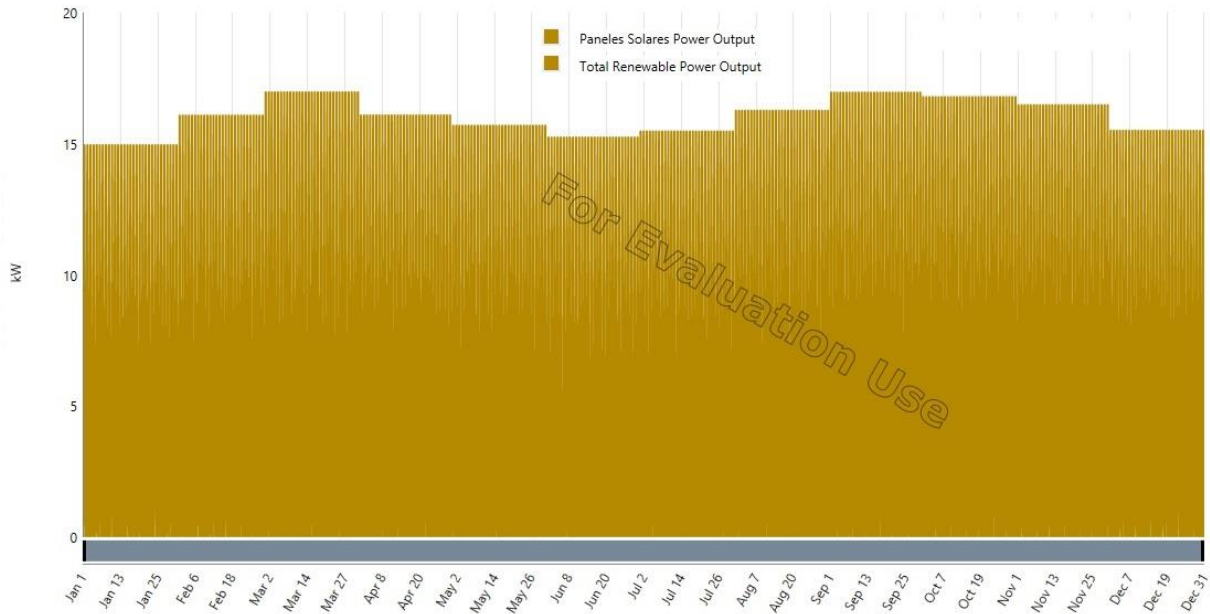


Ilustración 20: Potencia [kW] generada por los paneles fotovoltaicos y potencia total generada en la operación de un año en la localidad de Acovinto. Fuente: Resultados de HOMER Pro.

En este caso, debido a la gran radiación existente en el lugar, complementado con la baja densidad del aire en la altura, que disminuye la eficiencia de los aerogeneradores, es conveniente solo integrar tecnología solar fotovoltaica para abastecer la demanda, lo cual se logra con 3 mesas, 18 paneles fotovoltaicos en total.

- Energía eléctrica total generada en un año: 40,553 [MWh/año].
- 100 [%] fotovoltaica.
- Factor de Planta (solar): 25,7 [%]

La operación de la batería de 3500 [Ah] se representa en los siguientes dos gráficos, el primero muestra la profundidad de descarga en términos porcentuales y el segundo la cantidad de energía almacenada a lo largo de la operación del sistema durante un año.

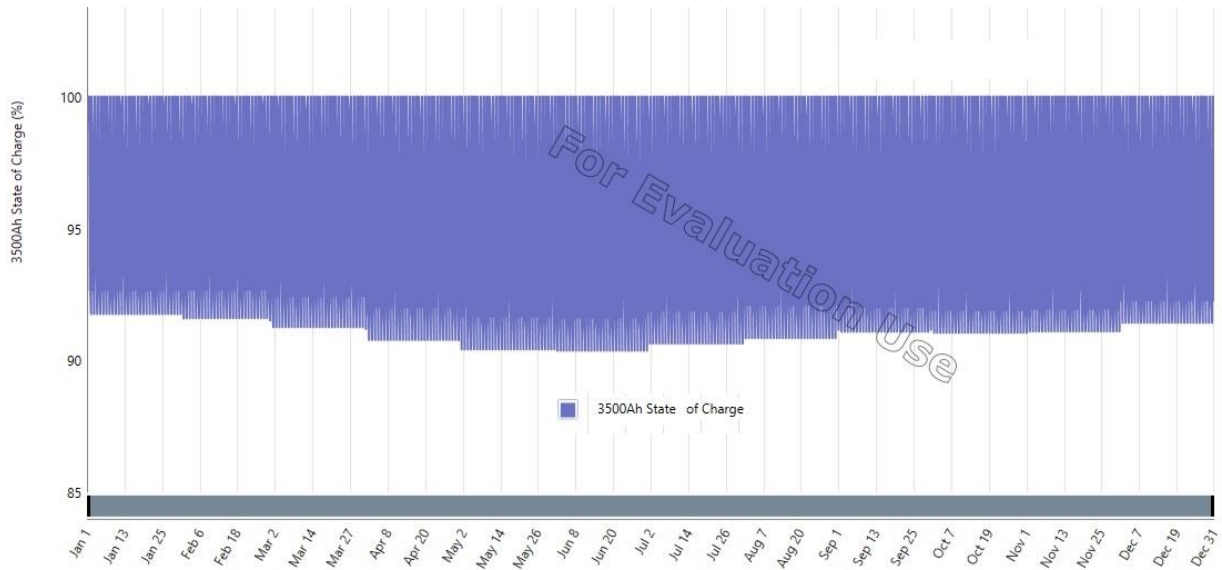


Ilustración 21: Estado porcentual de carga de la batería de 3500 [Ah] en la operación de un año en la localidad de Acovinto. Fuente: Resultados HOMER Pro.

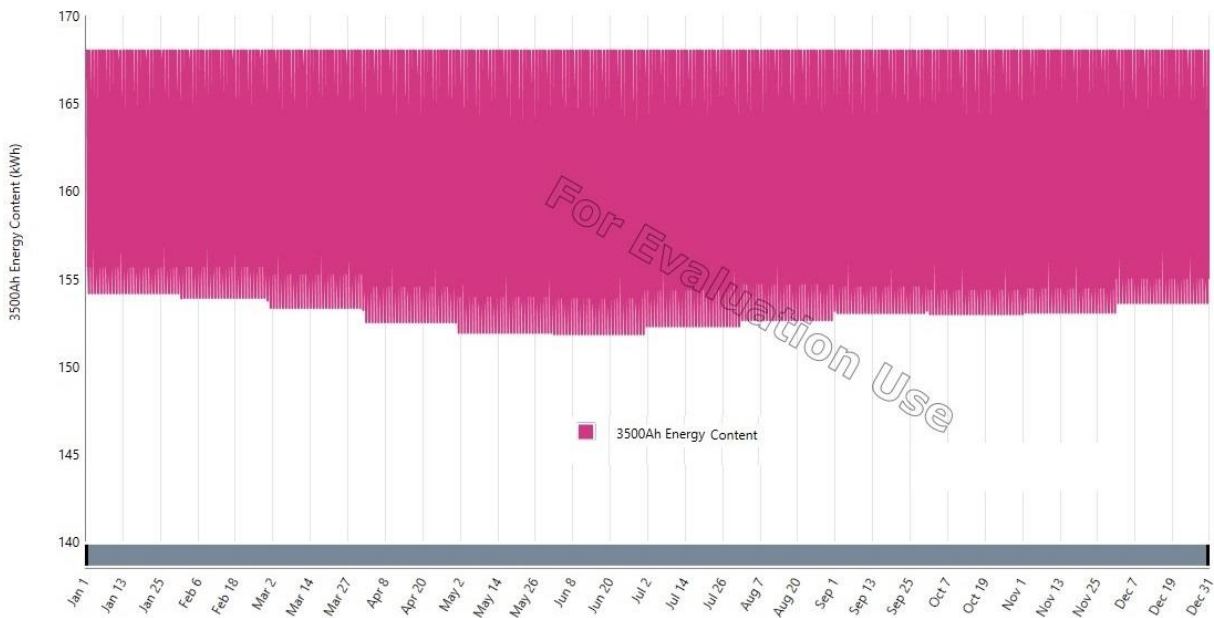


Ilustración 22: Energía [kWh] acumulada en la batería de 3500[Ah] en la operación de un año en la localidad de Acovinto. Fuente: Resultados HOMER Pro.

Se aprecia en la ilustración 21 que la máxima profundidad de descarga en la operación de la batería se da en los meses de mayo y junio alcanzando casi un 10 [%] de descarga máxima en la operación diaria, lo cual se traduce en la ilustración 22 en una energía disponible de entre 150 y 155 [kWh] en caso de fallas en la generación dependiendo del mes, lo que asegura la autonomía de 96 horas.

Finalmente, en la siguiente ilustración se presenta el estado de carga horario de la batería de 3500 [AH] en la operación de un año del sistema.

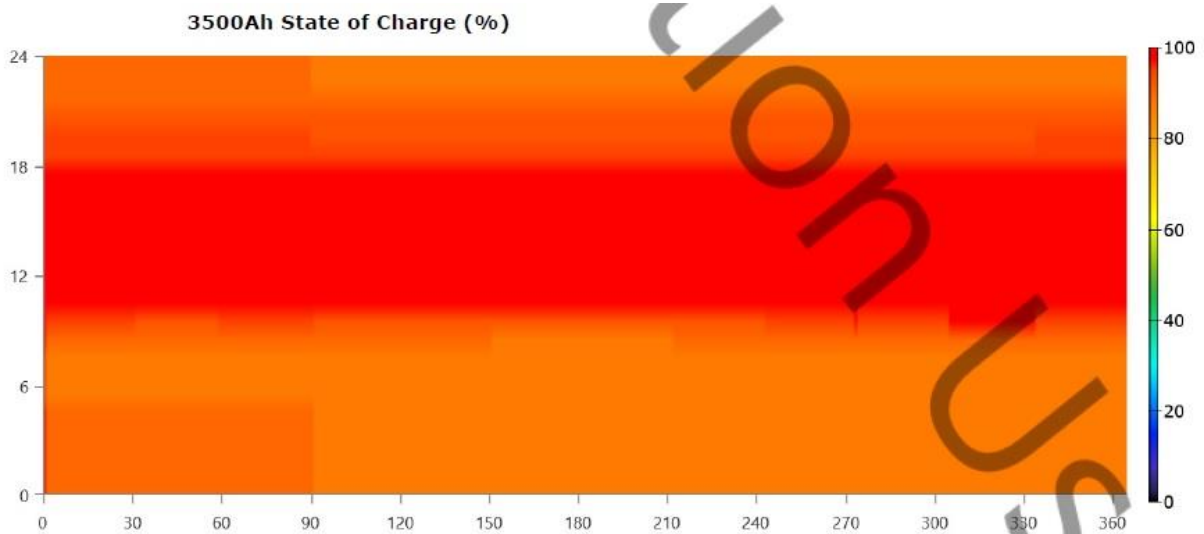


Ilustración 23: Estado porcentual de carga horaria de la batería 3500 [Ah], en la operación de un año en la localidad de Acovinto. Fuente: Resultados HOMER Pro.

Se puede ver claramente que los horarios de mayor descarga son las horas que no esta presente la generación fotovoltaica, desde las 18 hasta las 8 horas.

La operación de la batería de 3500 [Ah] se resume en:

- Energía total entrante en la batería: 5,638 [MWh/año].
- Energía total saliente de la batería: 5,369 [MWh/año].
- Pérdidas totales de energía en la batería: 0,282 [MWh/año].

7.2.2 Resultados Para la Localidad de Caleta Obispito

La localidad de Caleta Obispito se encuentra en la comuna de Caldera, en la provincia de Copiapó, región de Atacama, en la costa del desierto de atacama.

- Latitud 26°54'00" S.
- Longitud 70°48'00" O.
- Elevación sobre el nivel del mar de 7 a 47 [m].
- Densidad del aire 1,22 [kg/m³].



Ilustración 24: Mapa localidad Caleta Obispito. Fuente: Explorador Solar.

Los resultados para la localidad de Caleta Obispito son:

- Cantidad de mesas de paneles fotovoltaicos: 4 (24 paneles en total).
- Cantidad de aerogeneradores: 2.
- Cantidad de baterías de 3500 [Ah]: 1.

La generación solar fotovoltaica y la eólica se ven representadas en las siguientes gráficas que muestran la potencia generada por cada tecnología durante la operación del sistema durante un año y la potencia total.

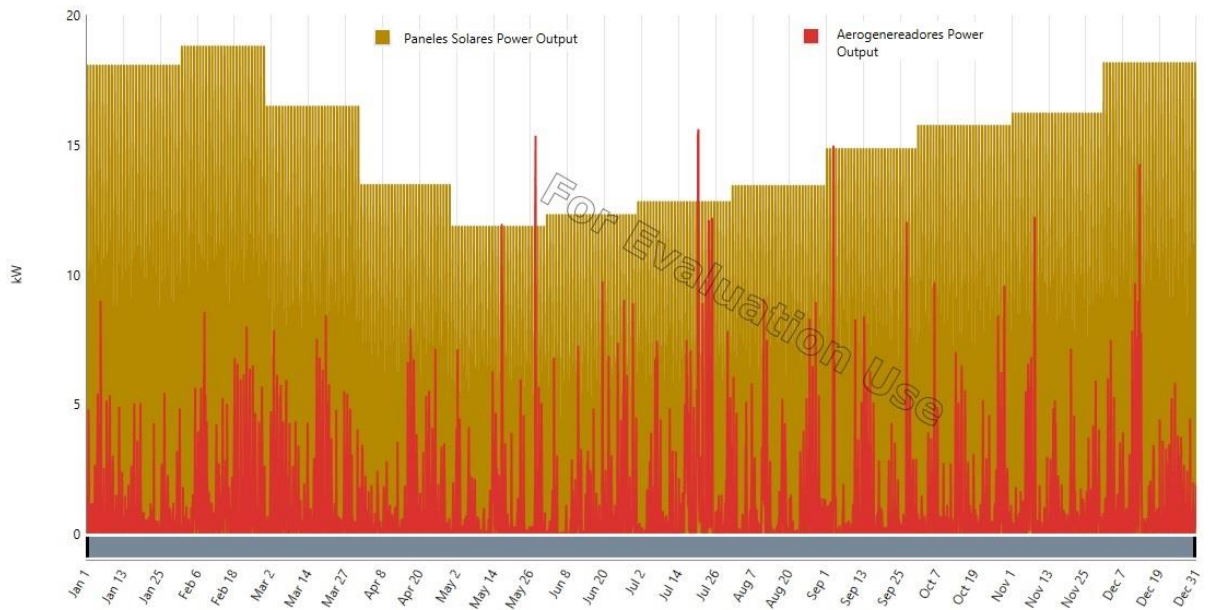


Ilustración 25: Potencia [kW] generada por paneles fotovoltaicos y aerogeneradores en la operación de un año en la localidad de Caleta Obispito. Fuente: Resultados HOMER Pro.

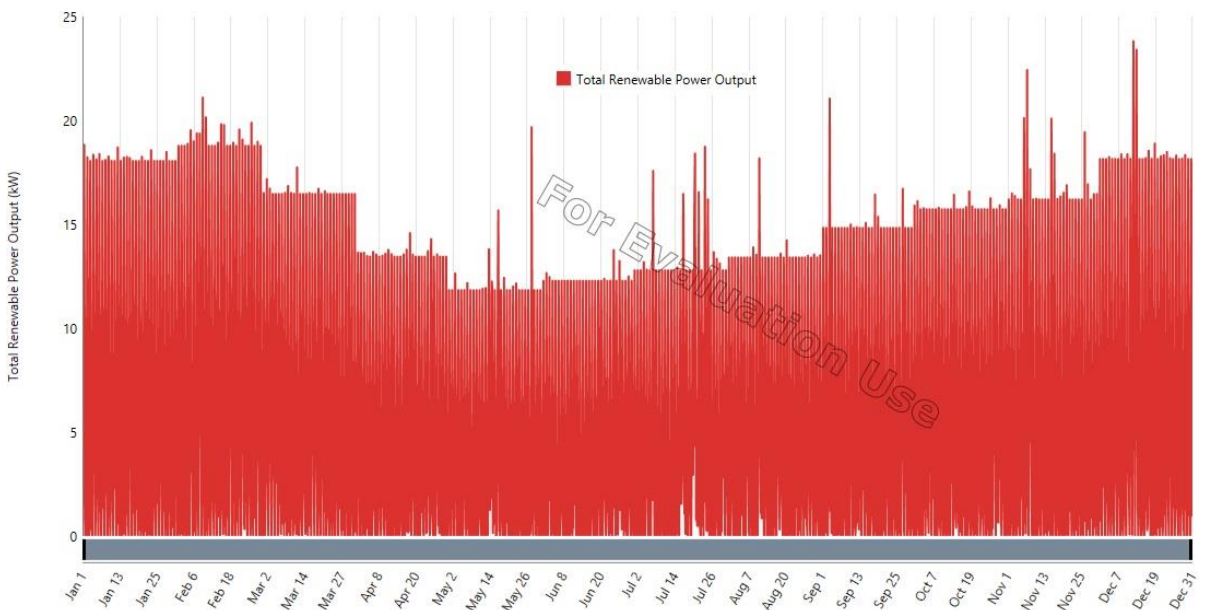


Ilustración 26: Potencia [kW] total generada en la operación de un año en la localidad de Caleta Obispito. Fuente: Resultados HOMER Pro.

Para esta comunidad lo conveniente es la integración de ambas tecnologías, ya que a pesar de la excelente radiación promedio en la zona, es necesario incorporar la generación eólica para complementar la generación debido a la disminución de radiación en los meses de invierno y la nubosidad costera presente todo el año.

- Total energía generada anual: 43,057 [MWh/año].
- Energía solar fotovoltaica generada: 35,648 [MWh/año]; 82,8[%].

- Energía eólica generada: 7,408 [MWh/año]; 17,2 [%].
- Factor de planta solar fotovoltaica: 17 [%].
- Factor de planta eólica: 6 [%].

La operación de la batería de 3500 [Ah] se representa en los siguientes dos gráficos, el primero muestra la profundidad de descarga en términos porcentuales y el segundo la cantidad de energía almacenada a lo largo de la operación del sistema durante un año.

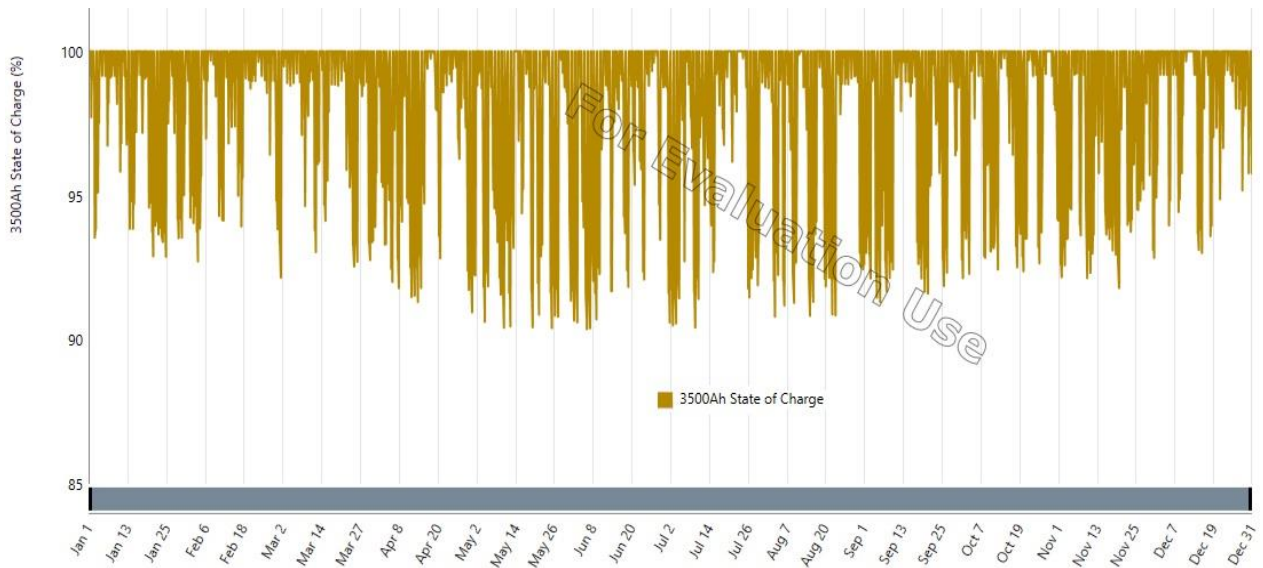


Ilustración 27: Estado porcentual de carga de la batería de 3500 [Ah] en la operación de un año en la localidad de Caleta Obispito. Fuente: Resultados HOMER Pro.

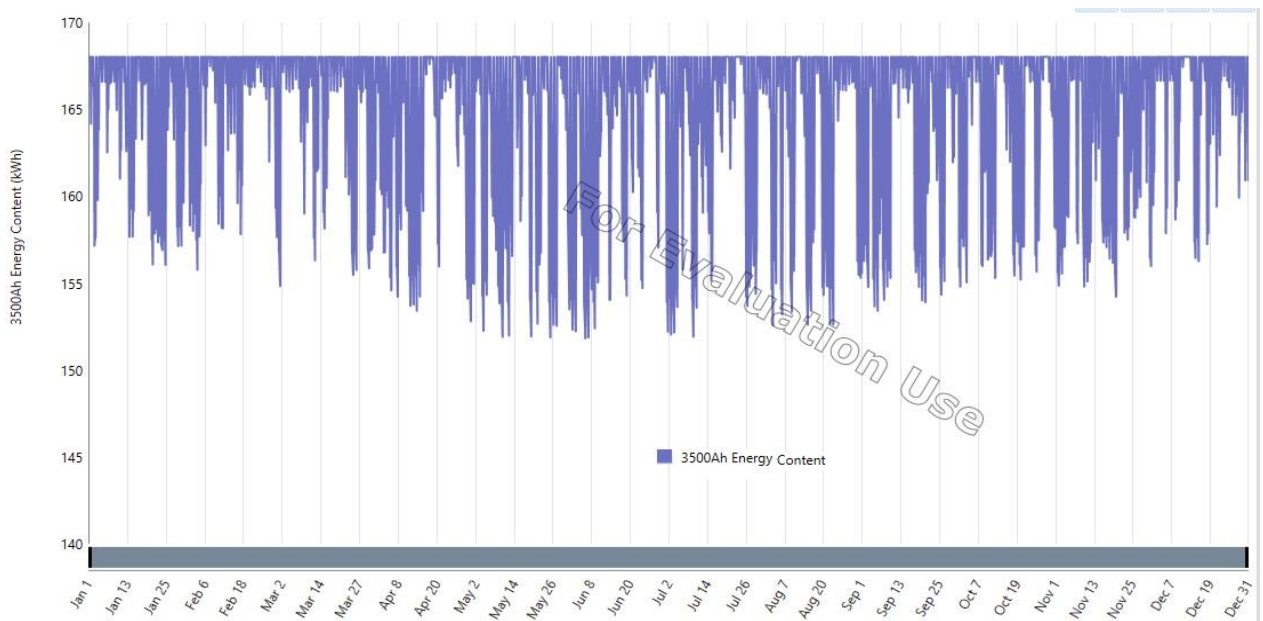


Ilustración 28: Energía [kWh] acumulada en la batería de 3500[Ah] en la operación de un año en la localidad de Caleta Obispito. Fuente: Resultados HOMER Pro.

En ambas ilustraciones previas se aprecia la operación de la batería de 3500 [Ah], con una profundidad máxima de descarga menor al 10[%] durante todo el año, mostrando una utilización de la batería menos intensiva que el caso anterior, ya que se aprecian varios momentos a lo largo del año de muy baja descarga, lo cual asegura el cumplimiento de las 96 horas de autonomía, ya que siempre hay una energía acumulada de entre 150 y 155 [kWh].

Finalmente, en la siguiente ilustración se presenta el estado de carga horario de la batería de 3500 [AH] en la operación de un año del sistema.

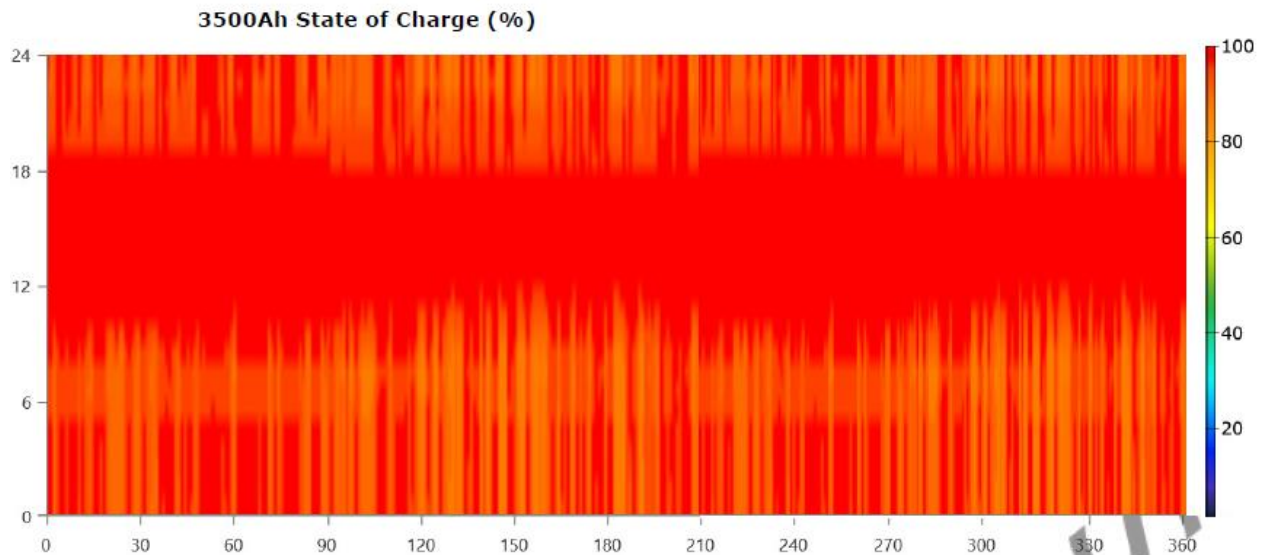


Ilustración 29: Estado porcentual de carga horaria de la batería 3500 [Ah], en la operación de un año en la localidad de Caleta Obispito. Fuente: Resultados HOMER Pro.

Nuevamente se aprecia el grado de utilización de la batería, el cual es bastante bajo, ya que se ve un alto nivel de carga en la mayoría de las horas del día a lo largo del año. Esto gracias a la integración de ambas tecnologías que se complementan en la operación.

La operación de la batería de 3500 [Ah] se resume en:

- Energía total entrante en la batería: 2,853 [MWh/año].
- Energía total saliente de la batería: 2,715 [MWh/año].
- Pérdidas totales de energía en la batería: 0,143 [MWh/año].

7.2.3 Resultados Para la Localidad de Las Araucarias

La localidad de Las Araucarias se encuentra en la comuna de Carahue, en la provincia de Cautín, región de La Araucanía, en la cordillera de la costa.

- Latitud 38°36'00" S.
- Longitud 73°12'00" O.
- Elevación sobre el nivel del mar de 443 [m].
- Densidad del aire 1,19 [kg/m³].

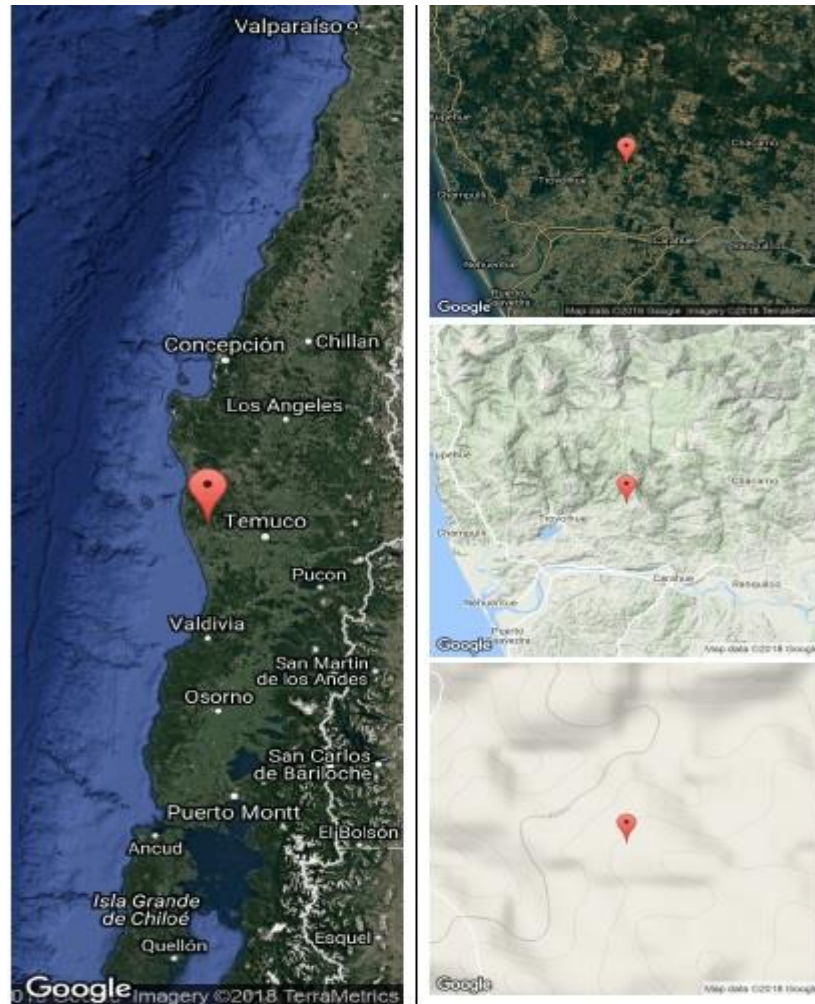


Ilustración 30: Mapa localidad Las Araucarias. Fuente: Explorador Solar.

Los resultados para la localidad Las Araucarias son:

- Cantidad de mesas de paneles fotovoltaicos: 4 (24 paneles en total).
- Cantidad de aerogeneradores: 2.
- Cantidad de baterías de 3500 [Ah]: 1.

La generación solar fotovoltaica y la eólica se ven representadas en las siguientes gráficas que muestran la potencia generada por cada tecnología durante la operación del sistema durante un año y la potencia total.

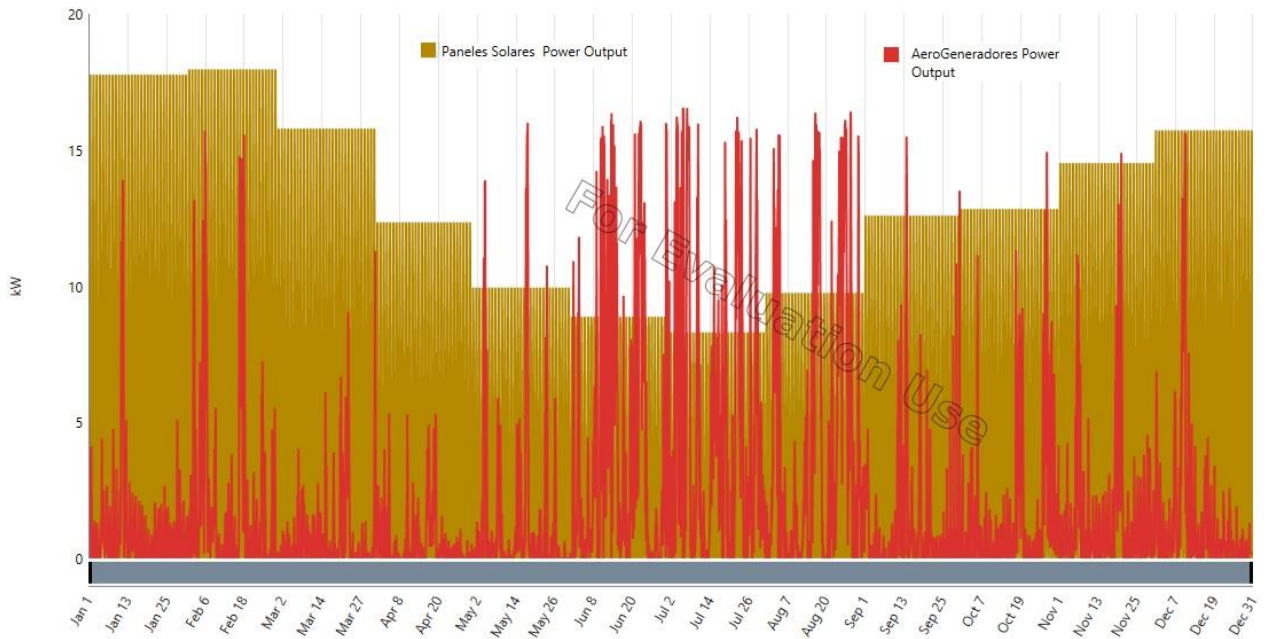


Ilustración 31: Potencia [kW] generada por paneles fotovoltaicos y aerogeneradores en la operación de un año en la localidad Las Araucarias. Fuente: Resultados HOMER Pro.

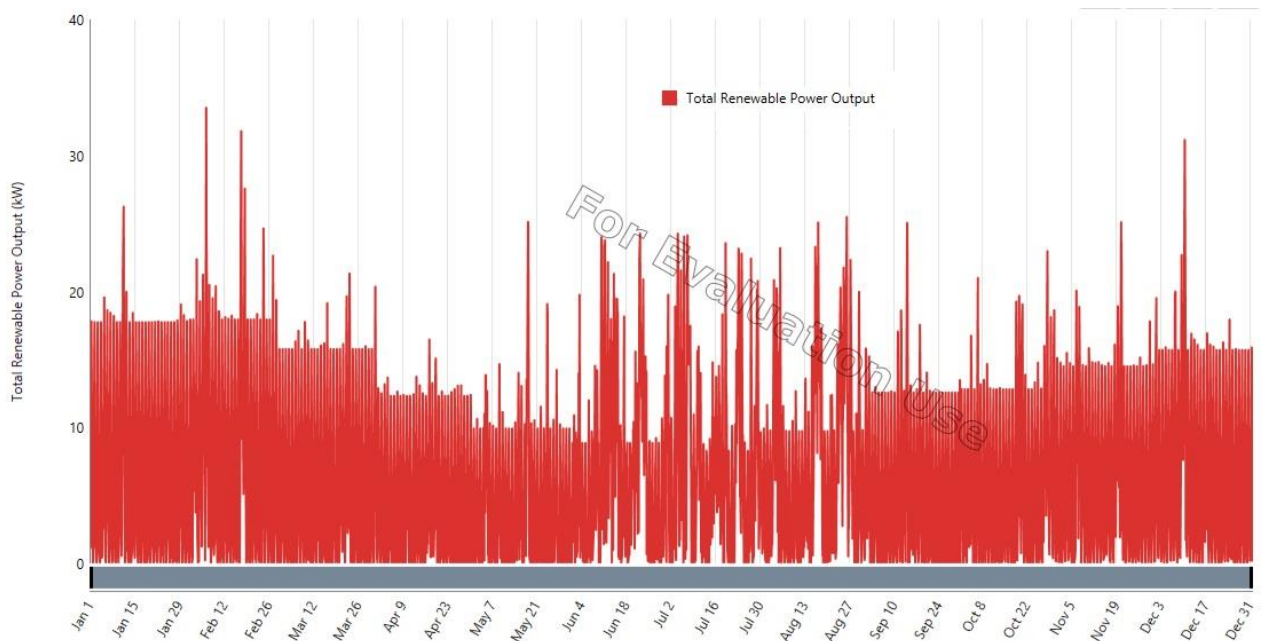


Ilustración 32: Potencia [kW] total generada en la operación de un año en la localidad Las Araucarias. Fuente: Resultados HOMER Pro.

Los resultados para esta localidad muestran la importancia de la integración de ambas tecnologías de generación, debido a la gran variación en la radiación solar y por ende en la generación fotovoltaica que hay entre el verano y el invierno, asumiendo mayor importancia la generación eólica, a diferencia de los casos anteriores, ya que está presente a lo largo del año y con su mayor intensidad en los meses de invierno.

- Total energía generada anual: 51,197 [MWh/año].

- Energía solar fotovoltaica generada: 34,000 [MWh/año]; 66,4[%].
- Energía eólica generada: 17,197 [MWh/año]; 33,6 [%].
- Factor de planta solar fotovoltaica: 16 [%].
- Factor de planta eólica: 14 [%].

La operación de la batería de 3500 [Ah] se representa en los siguientes dos gráficos, el primero muestra la profundidad de descarga en términos porcentuales y el segundo la cantidad de energía almacenada a lo largo de la operación del sistema durante un año.

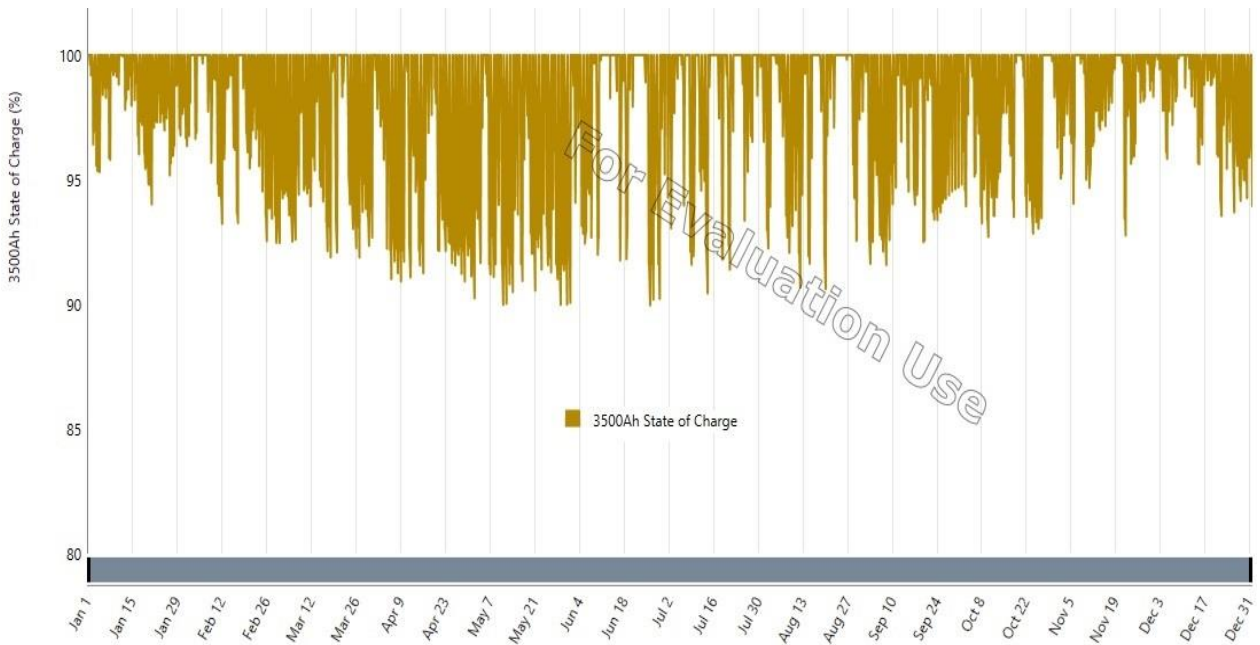


Ilustración 33: Estado porcentual de carga de la batería de 3500 [Ah] en la operación de un año en la localidad Las Araucarias. Fuente: Resultados HOMER Pro.

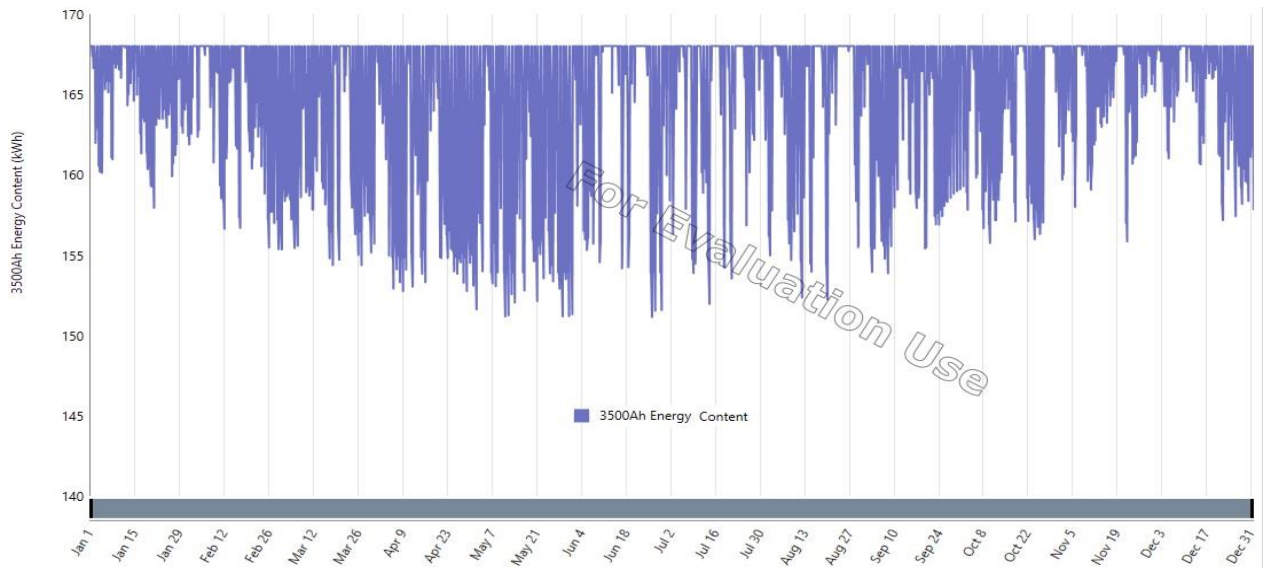


Ilustración 34: Energía [kWh] acumulada en la batería de 3500[Ah] en la operación de un año en la localidad Las Araucarias. Fuente: Resultados HOMER Pro.

En ambas ilustraciones previas se aprecia la operación de la batería de 3500 [Ah], con una profundidad máxima de descarga menor al 10[%] durante todo el año, mostrando una utilización de la batería similar al caso anterior, pero con una mayor concentración de uso en los meses de marzo a mayo, ya que se aprecian varios momentos a lo largo del año de muy baja descarga desde junio hasta enero. En la ilustración 34 se muestra que siempre hay al menos energía acumulada entre 150 y 155 [kWh] lo cual asegura el cumplimiento de las 96 horas de autonomía.

Finalmente, en la siguiente ilustración se presenta el estado de carga horario de la batería de 3500 [Ah] en la operación de un año del sistema.

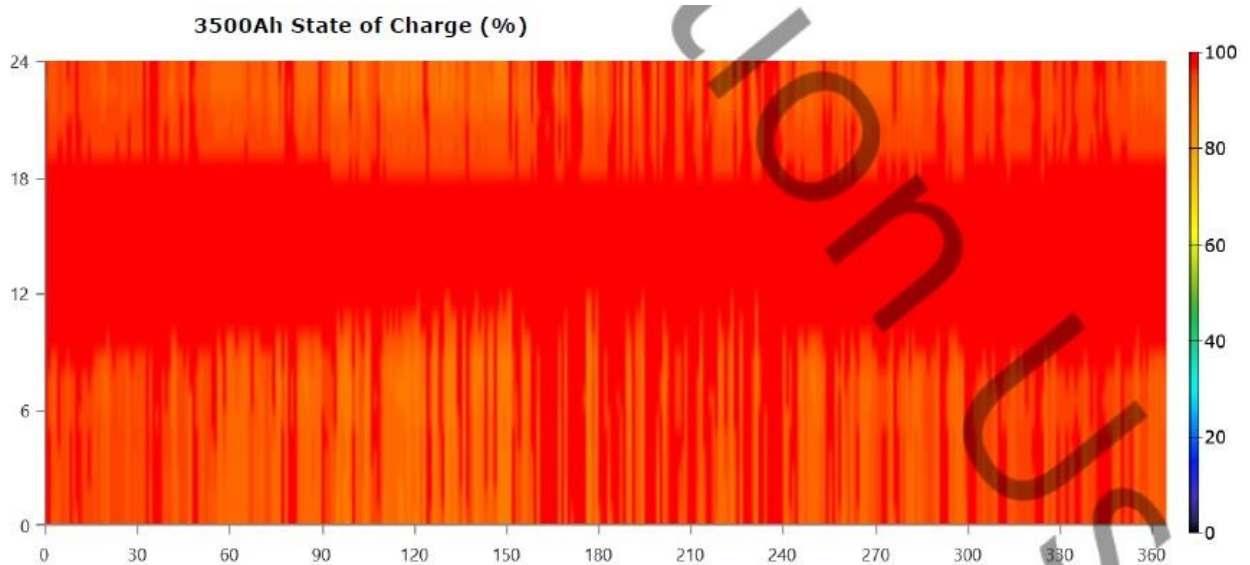


Ilustración 35: Estado porcentual de carga horaria de la batería 3500 [Ah], en la operación de un año en la localidad Las Araucarias. Fuente: Resultados HOMER Pro.

Nuevamente se aprecia el grado de utilización de la batería, el cual es bastante bajo, ya que se ve un alto nivel de carga en la mayoría de las horas del día a lo largo del año. Esto gracias a la integración de ambas tecnologías que se complementan en la operación.

La operación de la batería de 3500 [Ah] se resume en:

- Energía total entrante en la batería: 2,878 [MWh/año].
- Energía total saliente de la batería: 2,743 [MWh/año].
- Pérdidas totales de energía en la batería: 0,144 [MWh/año].

7.2.4 Resultados Para la Localidad de Alto Mañilahue

La localidad de Alto Mañilahue se encuentra en la comuna de Coyhaique, en la provincia de Coyhaique, región de Aysén.

- Latitud 45,1°S.
- Longitud 72,1°O.
- Elevación sobre el nivel del mar de 154 a 276 [m].
- Densidad del aire 1,22 [kg/m³].

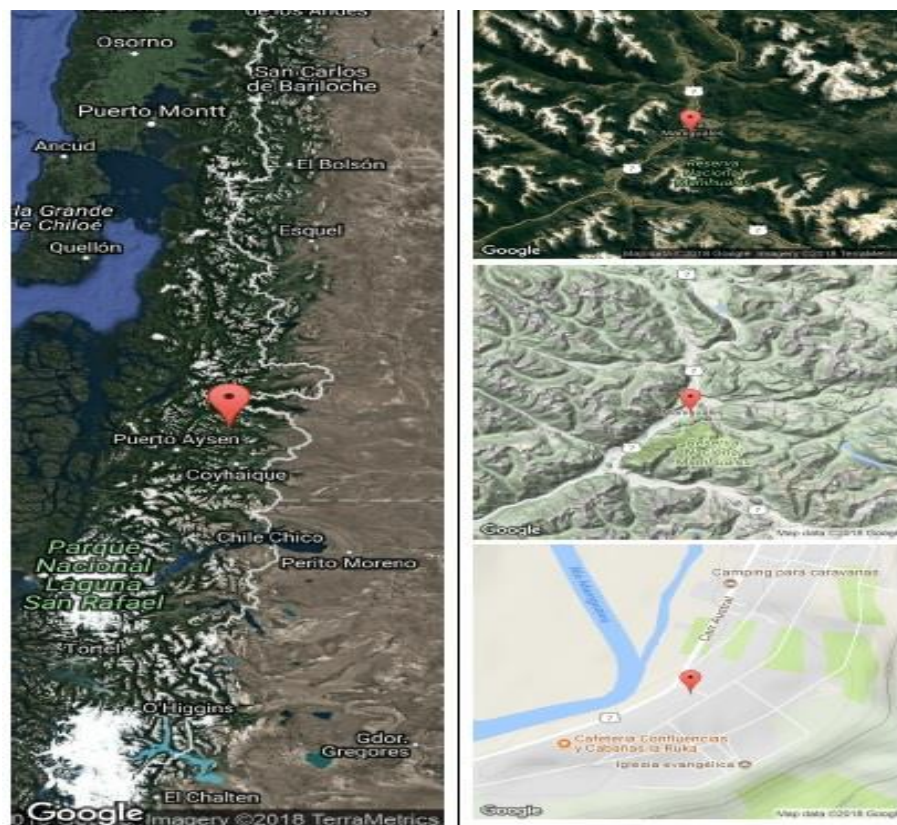


Ilustración 36: Mapa localidad Alto Mañilahue. Fuente: Explorador Solar.

Los resultados para la localidad de Alto Mañilahue son:

- Cantidad de mesas de paneles fotovoltaicos: 4 (24 paneles en total).
- Cantidad de aerogeneradores: 3.
- Cantidad de baterías de 3500 [Ah]: 1.

La generación solar fotovoltaica y la eólica se ven representadas en las siguientes gráficas que muestran la potencia generada por cada tecnología durante la operación del sistema durante un año y la potencia total.

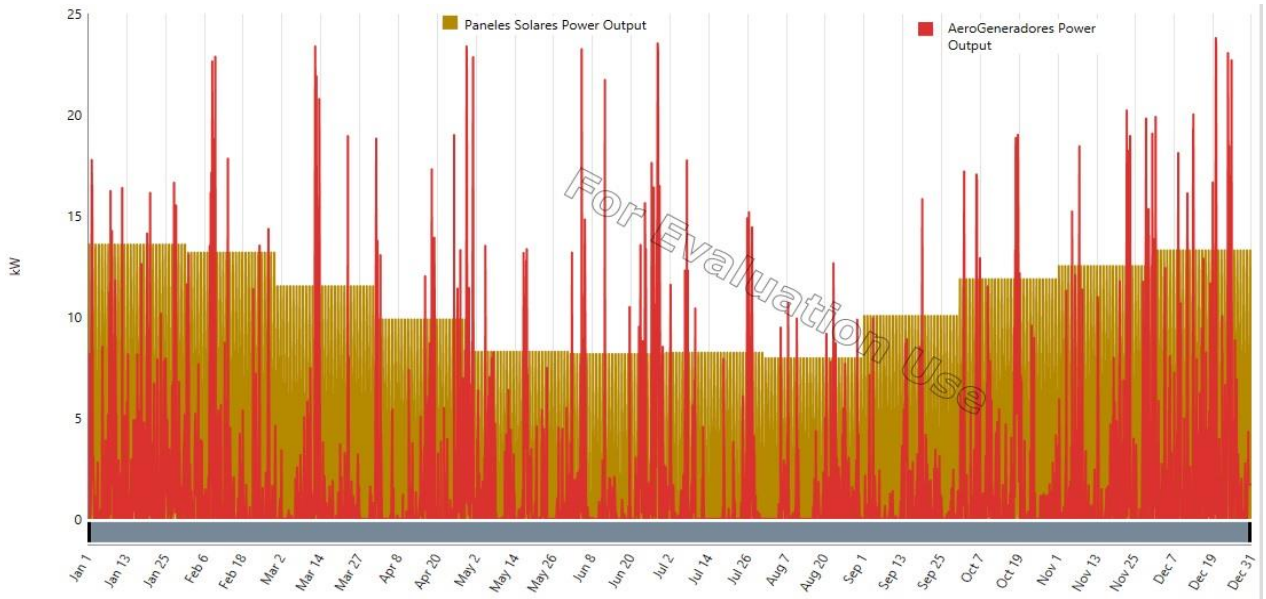


Ilustración 37: Potencia [kW] generada por paneles fotovoltaicos y aerogeneradores en la operación de un año en la localidad de Alto Mañilhue. Fuente: Resultados HOMER Pro.

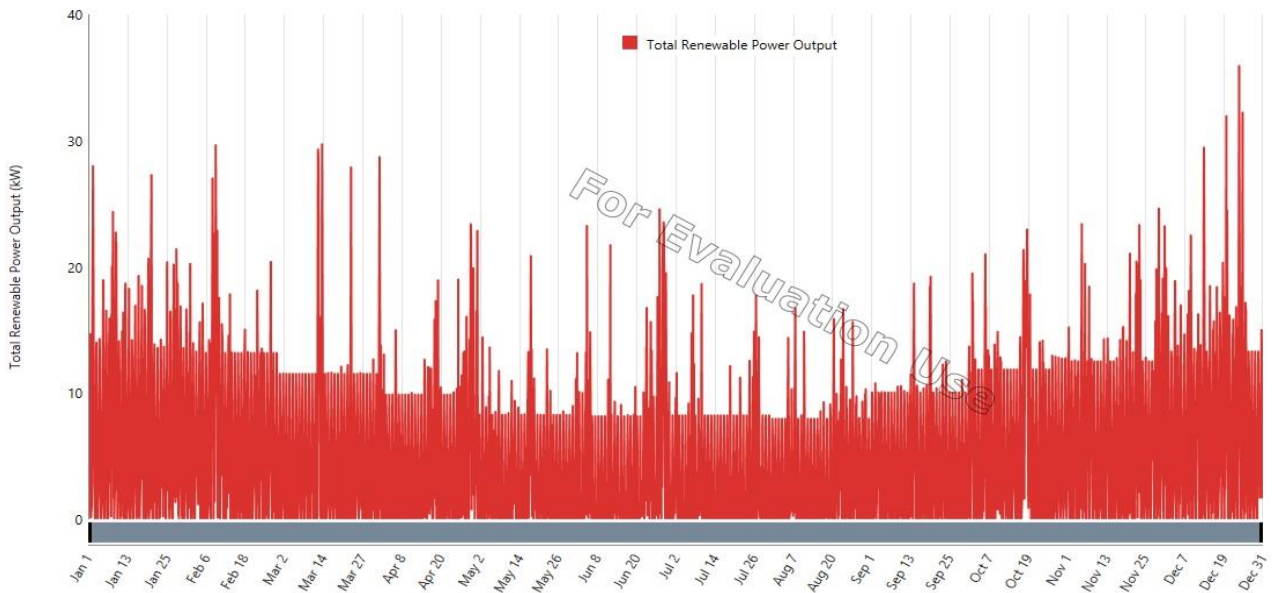


Ilustración 38: Potencia [kW] total generada en la operación de un año en la localidad de Alto Mañilhue. Fuente: Resultados HOMER Pro.

En los resultados para la localidad de Alto Mañilahue, se considera la integración de ambas tecnologías, con la incorporación de una unidad de generación eólica, esto para suplir la baja radiación de los meses de invierno y la gran nubosidad presente a lo largo del año en la región de Aysén, y a pesar de la clara disminución en la generación solar respecto a las localidades más al norte, la relevancia de esta tecnología sigue siendo esencial.

Mientras que la generación eólica es necesaria para complementar los déficits solares, pero en este caso debido a las condiciones locales la solución considera una unidad adicional de aerogeneradores para cumplir con los requisitos de seguridad de abastecimiento.

- Total energía generada anual: 39,312 [MWh/año].
- Energía solar fotovoltaica generada: 26,669 [MWh/año]; 67,8[%].
- Energía eólica generada: 12,643 [MWh/año]; 32,2 [%].
- Factor de planta solar fotovoltaica: 13 [%].
- Factor de planta eólica: 7 [%].

La operación de la batería de 3500 [Ah] se representa en los siguientes dos gráficos, el primero muestra la profundidad de descarga en términos porcentuales y el segundo la cantidad de energía almacenada a lo largo de la operación del sistema durante un año.

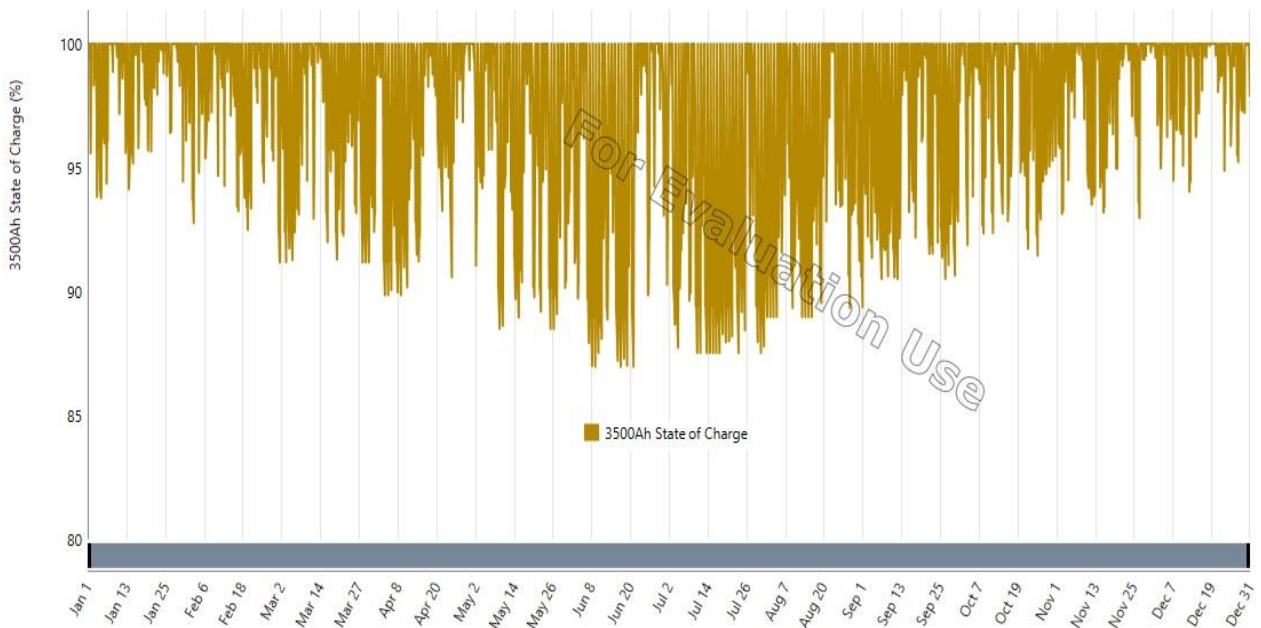


Ilustración 39: : Estado porcentual de carga de la batería de 3500 [Ah] en la operación de un año en la localidad de Alto Mañilahue. Fuente: Resultados HOMER Pro

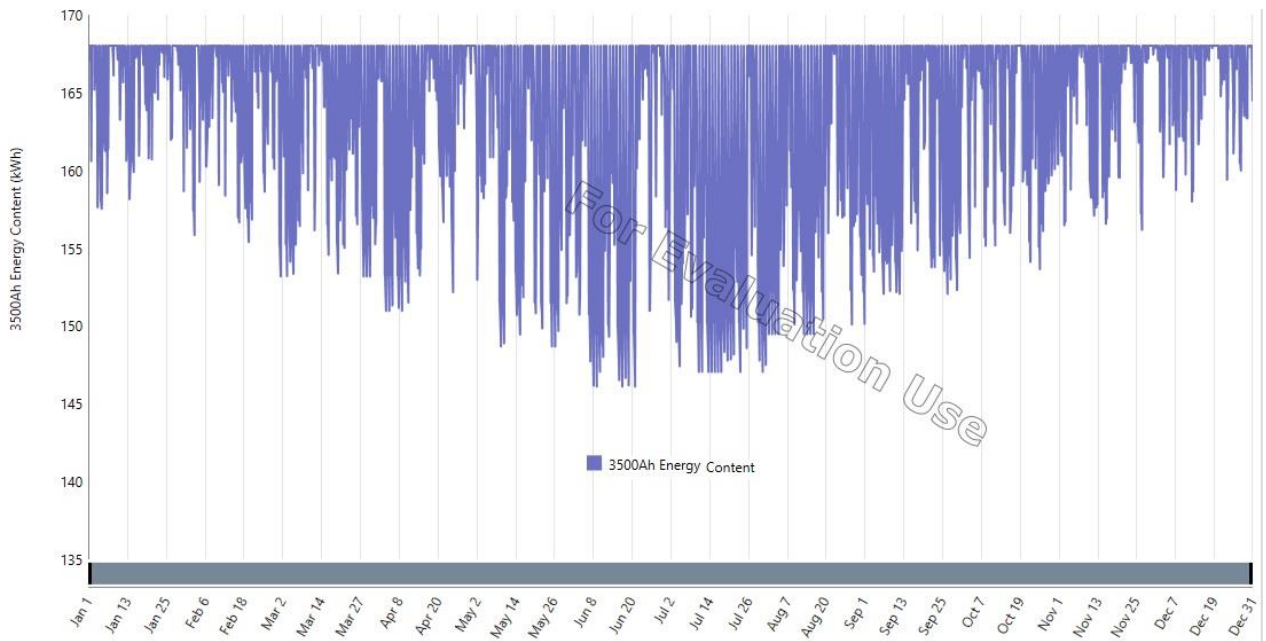


Ilustración 40: Energía [kWh] acumulada en la batería de 3500[Ah] en la operación de un año en la localidad de Alto Mañilahue. Fuente: Resultados HOMER Pro.

Debido a la menor presencia de recursos energéticos eólicos y solares que en las localidades anteriormente estudiadas, el uso de la batería de 3500 [Ah] es más intensivo y de mayor profundidad, en la ilustración 39 se muestra que en los meses de junio a agosto el estado de carga es el menor, entre un 86 [%] y 87 [%].

Lo anterior se traduce en lo que se ve en la ilustración 40, que en esos meses de invierno la energía acumulada disminuye hasta casi los 145 [kWh], pero el resto de los meses tiene un comportamiento similar a los vistos en los resultados de las otras comunidades, cumpliendo con la disponibilidad energética que asegure la autonomía del sistema.

Finalmente, en la siguiente ilustración se presenta el estado de carga horario de la batería de 3500 [AH] en la operación de un año del sistema.

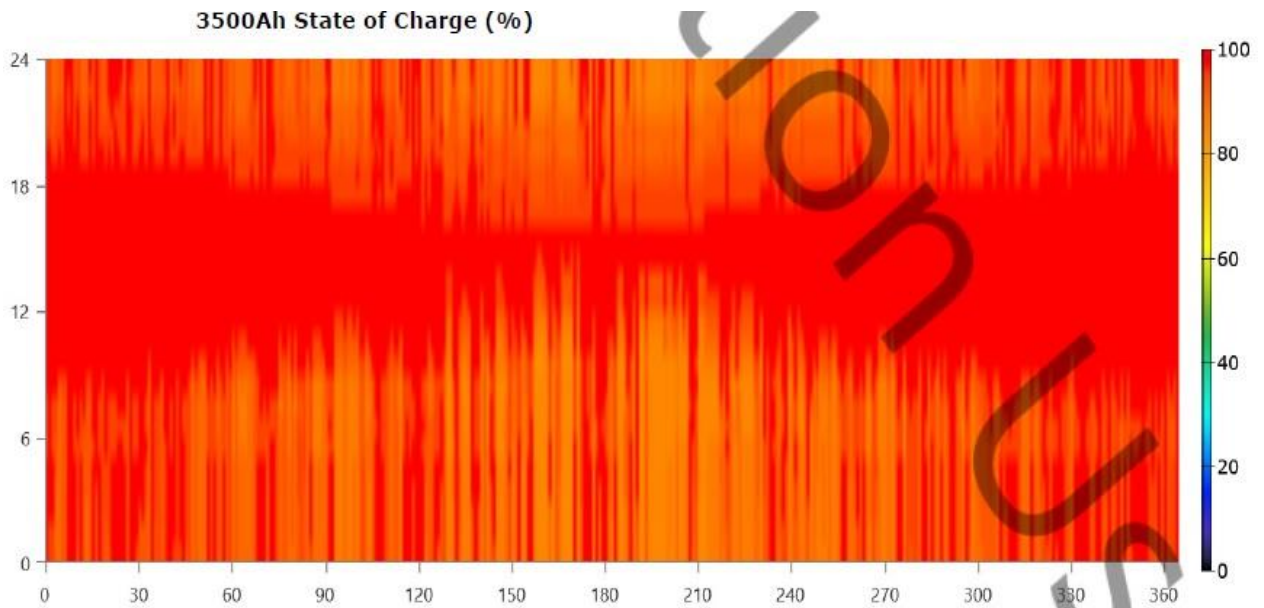


Ilustración 41: Estado porcentual de carga horaria de la batería 3500 [Ah], en la operación de un año en la localidad de Alto Mañilhue. Fuente: Resultados HOMER Pro.

En la ilustración 41 se aprecia el uso con mayor intensidad durante los meses de invierno, llegando al estado de carga más bajo y por mayor cantidad de horas, aún así se logra continuamente a lo largo del año, que la recarga de la batería llega hasta el 100 [%] en los horarios de mayor presencia de la energía solar fotovoltaica.

La operación de la batería de 3500 [Ah] se resume en:

- Energía total entrante en la batería: 3,810 [MWh/año].
- Energía total saliente de la batería: 3,622 [MWh/año].
- Pérdidas totales de energía en la batería: 0,191 [MWh/año].

Capítulo VIII: Evaluación Social del Proyecto

En esta sección se presenta la evaluación social del proyecto, la cual es una herramienta ampliamente utilizada en las decisiones de inversión pública, cuyo objetivo es determinar la conveniencia para la sociedad de ejecutar determinados proyectos.

8.1 Introducción

Desde el Ministerio de Desarrollo Social se generan las metodologías de evaluación de proyectos de electrificación rural para su ingreso al Sistema Nacional de Inversiones el cual utiliza dos enfoques de evaluación.

- Costo-beneficio: este análisis permite identificar, entre un conjunto de alternativas de iniciativas de inversión, cuál es la que genera mayor beneficio neto para la sociedad. Requiere identificar, cuantificar y valorizar todos los beneficios y costos del proyecto y obtener indicadores como el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna De Retorno (TIR) que permitan concluir sobre la rentabilidad económica del proyecto.
- Costo-eficiencia: Asume que los beneficios son deseados por la sociedad por lo que no se calcula el valor monetario de los beneficios. El objetivo del enfoque es comparar alternativas que permitan obtener el beneficio buscado, para identificar aquella alternativa que permita obtenerlo utilizando la menor cantidad de recursos. Para ello se debe realizar una completa identificación, cuantificación y valorización de los costos asociados al proyecto, para estimar indicadores como el Valor Actual de Costos (VAC) y el Costo Anual Equivalente (CAE).

Según lo establecido en las políticas públicas de inversión en la electrificación rural, tanto por el Ministerio de Energía y el Ministerio de Desarrollo Social, dicen que *“Las iniciativas de inversión de electrificación rural que permitan aumentar el nivel de servicios se evaluarán con un enfoque costo-eficiencia, ya que la política pública vigente ha definido la necesidad de proveer este servicio a los sectores rurales semiconcentrados y dispersos”* [4].

8.1.1 Requerimientos de Postulación a Fondos Públicos.

Antes de realizar la evaluación social de proyecto es necesario establecer algunos requerimientos previos que deben realizarse por parte de las cooperativas que se creen en las comunidades aisladas.

Para poder postular a los fondos de inversión para el financiamiento de los proyectos se debe evaluar como primera alternativa la opción de expansión de la red eléctrica,

comparando los costos de inversión por vivienda para la empresa eléctrica distribuidora con el costo de referencia por región. En caso de que el costo de la red sea mayor al costo de referencia deberán desarrollarse las alternativas de auto generación individual y colectiva. Según los informado por el Ministerio de Desarrollo Social en las Normas, Instrucciones y Procedimientos (NIP) del Sector Energía [55], el cual además establece los valores de los costos referenciales por región de la inversión por vivienda de la extensión de la red eléctrica, los cuales se presentan a continuación.

Región	UF/Vivienda	\$/Vivienda
Arica y Parinacota	360	\$9.707.760
Tarapacá	360	\$9.707.760
Antofagasta	360	\$9.707.760
Atacama	360	\$9.707.760
Coquimbo	389	\$10.489.774
Valparaíso	389	\$10.489.774
Metropolitana	389	\$10.489.774
Lib. B O'Higgins	424	\$11.433.584
Del Maule	424	\$11.433.584
Del Bío-Bío	528	\$14.238.048
La Araucanía	528	\$14.238.048
De Los Ríos	553	\$14.912.198
De Los Lagos	553	\$14.912.198
Aysén	588	\$15.856.008
Magallanes	635	\$17.123.410

Tabla 12: Valores de referencia por región del costo de inversión por vivienda de extensión de red. Fuente: Orientaciones Sectoriales Energía 2018, Ministerio de Desarrollo Social, Valor UF (\$26.966, marzo 2018).

Para los alcances de este trabajo no se estimaron los costos de extensión de la red para abastecer las comunidades evaluadas en el capítulo VII, lo cual debe ser realizado en la implementación de la propuesta. Por lo cual se realizó la evaluación social de proyecto con el enfoque costo-eficiencia y se estimaron los parámetros de evaluación VAC y CAE.

8.1.2 Alcances del Financiamiento Público

Además de los requerimientos previos, es importante mencionar los alcances de los fondos de financiamiento.

Las cooperativas que formen las comunidades aisladas pueden postular a recursos públicos en las etapas de pre-inversión; prefactibilidad; diseño y ejecución. El presente trabajo puede ser utilizado como un análisis de pre-inversión para las cuatro comunidades estudiadas.

Según el documento [56] elaborado por el Ministerio de Desarrollo Social, Requisitos de información para postulaciones de iniciativas de inversión, Sector Energía, Subsector Autogeneración, Proyectos de Electrificación Rural, el financiamiento estatal para este tipo de sistemas alcanzará hasta el 100 [%] del valor de las instalaciones, incluido el IVA, para luego ser administradas por cooperativas sin fines de lucro, permaneciendo la propiedad de la inversión en poder del Estado.

8.2 Beneficios Sociales

Si bien el enfoque de evaluación costo-eficiencia se centra en determinar los costos económicos del proyecto, es de importancia identificar y describir los beneficios que se buscan obtener con la implementación del proyecto de electrificación rural mediante un sistema de generación eólico-solar y un sistema de distribución monofásica con retorno por tierra.

Como se presentó en el capítulo II, se puede asumir que las comunidades y localidades aisladas presentan altos índices de pobreza por ingresos y sobre todo pobreza multidimensional. Por ello el beneficio inmediato de otorgar un sistema de electrificación seguro, estable y continuo es disminuir la pobreza multidimensional y entregar las oportunidades y herramientas para atacar los problemas de pobreza por ingresos.

Los beneficios sociales individuales y colectivos que entrega el acceso a la energía eléctrica se pueden enumerar de la siguiente manera.

- Mejoramiento en las condiciones de vida doméstica: entregando iluminación, comunicación, entretención y permitiendo el uso de electrodomésticos y refrigeración de alimentos.
- Mejora las condiciones de educación: permite el acceso a comodidades de estudio, acceso a la información y herramientas de trabajo, tanto para la población en edad escolar y adulta.
- Opciones de desarrollo productivo y comercial: permite el acceso a utilizar herramientas de trabajo que aumentan la producción, la opción de refrigerar productos perecibles y comerciales como la pesca, aumento en las cosechas por la opción de utilizar bombas de agua para el riego.
- Desarrollo comunitario: El conformar una cooperativa de servicios eléctricos fomenta la formación de cooperativas de producción y/o de trabajo en torno al área productiva que se desarrolle en la localidad, puede ser pesquera, agrícola, artesanal o turística.

Todos los beneficios recién nombrados permiten a los habitantes y a la comunidad en su conjunto obtener las herramientas mínimas necesarias para disminuir sus índices de pobreza.

8.3 Costos Sociales

Para una correcta evaluación social de proyecto con el enfoque de análisis costo-eficiencia, se deben determinar los costos sociales totales asociados al proyecto.

Los costos sociales son el valor de los costos a precios de mercado o a costos privados ajustados según la naturaleza del costo, las correcciones que se deben hacer según los costos son los siguientes [57]:

- Maquinaria, equipos e insumos importados: descontar el IVA, aranceles e impuestos de aduana; aplicar el factor de corrección de la divisa 1,01.
- Maquinaria, equipos e insumos nacionales: descontar el IVA y otros impuestos.
- Sueldos y Salarios: aplicar el factor de corrección de la mano de obra según nivel de calificación.
 - o Calificado: 0,98.
 - o Semi-Calificado: 0,68.
 - o No Calificado: 0,62.

Los costos totales asociados al proyecto se dividen en costos creación del proyecto de cooperativas eléctricas en conjunto a las comunidades mediante el trabajo de un equipo multidisciplinario propuesto en el capítulo IV, el cual mediante la metodología de Investigación de Acción Participativa logre que la comunidad de apropie del proyecto y la solución, estos serían los costos del pre-proyecto.

Luego están los costos asociados a la elaboración y diseño de la ingeniería de detalles, la cual se debe realizar en consideración a la información levantada y el trabajo realizado en el trabajo participativo de la comunidad, para lograr un diseño acorde a las necesidades y disposiciones particulares de cada comunidad.

Finalmente, están los costos de mayor relevancia que el de inversión en los sistemas de generación, acumulación, transformación y distribución, costos de operación y costos de mantención.

Los factores de corrección de los precios sociales y la tasa de descuento anual para la evaluación de proyectos son establecidos por el Ministerio de Desarrollo Social mediante el documento Precios Sociales Vigentes 2016.

8.3.1 Costos del Pre-proyecto

Los asociados al desarrollo del pre-proyecto, el cual debe considerar las remuneraciones de los honorarios de los profesionales que realicen la investigación y apliquen la metodología, junto con los gastos asociados a las actividades directas con las comunidades, más los costos de los traslados a las comunidades aisladas del equipo de investigación.

Se considera un equipo de investigación compuesto por dos investigadores titulares, dos coinvestigadores y dos asistentes de investigación. Lo sueldos del equipo deben ser ajustados a los costos sociales.

Esta metodología requiere de un periodo de trabajo de preparación y aplicación de la metodología con los habitantes de las comunidades el cual se estima que se aplicara en un periodo de 10 meses.

En base a lo anterior se resumen la proyección de costos del pre-proyecto en la siguiente tabla.

Equipo de Investigación y Trabajo de Campo		Totales
	Honorarios	23.640.000
Aplicación Metodología		
	Gastos Operacionales	500.000
	Difusión	170.000
	Pasajes y Viáticos	5.300.000
	Total, Pre-proyecto	29.610.000

Tabla 13: Resumen costos de elaboración del pre-proyecto. Elaboración propia

8.3.2 Costos de la Ingeniería de Detalle

Los costos esperados en relación con la ingeniería de detalle y diseño óptimo de la solución tecnológica son principalmente los honorarios del o los profesionales que finalmente elaboren el proyecto. Además, de los gastos en compra o arriendo de equipos de medición especializados, cómo por ejemplo los medidores de resistividad del terreno para las mallas de tierra.

Considerando un equipo de tres profesionales para la ingeniería de detalles, los viajes necesarios para la toma de mediciones y el arriendo o tercerización de algún servicio y en un plazo de cuatro meses, los costos de la ingeniería de detalle valorizados en costos sociales se resumen en la siguiente tabla.

Equipo de Ingenieros		Totales
	Honorarios	10.584.000
Trabajo en Terreno		
	Pasajes y viáticos	1.550.000
	Arriendo o tercerización de servicios	3.000.000
	Total, ingeniería de detalle	15.134.000

Tabla 14: Resumen costos de la ingeniería de detalle. Elaboración propia.

8.3.3 Costos de inversión

El costo de la inversión considera la infraestructura, equipamiento y materiales para la instalación de los sistemas de generación, subestación y distribución, contemplando las obras civiles y la mano de obra necesaria.

Para calcular los costos sociales, primero se determinaron los costos a precio de mercado en un presupuesto detallado que se encuentra en el Anexo D, en donde se presentan la cantidad, precio unitario y total de cada elemento de cada categoría de cada sistema, se establece la mano de obra necesaria para la instalación del proyecto, considerando mano de obra calificada y no calificada, además de los costos de traslado y estadía de personal y los costos incurridos por la importación de implementos.

A continuación, se presenta un resumen del presupuesto, mostrando los costos totales a valores de mercado del sistema de generación, subestación, distribución, mano de obra, traslado y estadía y costos de importación.

Sistema	Categoría	Precio Total
Generación		
	Eólico*	\$ 13.406.572
	Solar*	\$ 4.601.588
	Batería*	\$ 2.300.000
	Total, Sistema de Generación	\$ 20.308.160
Subestación		
	Inversores*	\$ 6.800.000
	Transformadores	\$ 2.778.000
	Malla de tierra	\$ 500.000
	Total, Subestación	\$ 10.078.000
Distribución		
	Conductor	\$ 3.030.000
	Postación	\$ 7.800.000
	Transformadores de distribución con MT	\$ 5.310.000
	Consumos	\$ 1.350.000
	Total, Distribución	\$ 17.490.000
Obras civiles		
	Total, Obras civiles	\$ 7.590.000
	Total, equipos y materiales	\$ 55.466.160
Mano de Obra		
	Calificada	\$ 17.240.000
	No calificada	\$ 10.080.000
	Total, Mano de Obra	\$ 27.320.000
Transporte y estadía		\$ 33.990.000
Importaciones	(*equipo importado)	\$ 3.813.244
Costos Directos Totales		\$ 120.589.405
Imprevistos	2%	\$ 2.411.788
Otros Gastos Generales	2%	\$ 2.411.788
Valor Neto de los Costos		\$ 125.412.981
IVA	19%	\$ 23.828.466
VALOR TOTAL (IVA incluido)		\$ 149.241.447
Valor total por hogar		\$ 16.582.383
Valor por [kW] instalado		\$ 9.949.430

Tabla 15: Resumen del presupuesto de costos de inversión a precios de mercado. Elaboración propia

El costo de la inversión del proyecto a precios de mercado, lo que equivale a decir, el costo de la inversión si se realizara de forma privada, es de \$149.241.447.

Realizando las correcciones a precios sociales de los elementos sujetos a corrección, el costo social de la inversión es de **\$112.872.041.**

De lo cual se desprende que el costo social por vivienda es de **\$12.541.338.** y una inversión por [kW] instalado de \$7.524.803.

8.3.3.1 Costos de Inversión por localidad

Según lo mostrado en el capítulo VII, se analizó los recursos energéticos presentes en cuatro comunidades representativas, con lo cual se obtuvo un dimensionado de los sistemas de generación particular para cada una de las localidades, por ello se muestra los costos de inversión para cada una de ellas.

- Acovinto:
 - Costos de inversión privada: \$130.925.128.
 - Costos Sociales de inversión: \$98.359.603.
 - Costos Sociales de inversión por vivienda: \$10.928.845.
 - Costos Sociales de inversión por [kW] instalado: \$6.557.307.

- Caleta Obispito y Las Araucarias:
 - Costos de inversión privada: \$149.241.447.
 - Costos Sociales de inversión: \$112.872.041.
 - Costos Sociales de inversión por vivienda: \$12.541.338.
 - Costos Sociales de inversión por [kW] instalado: \$7.524.803.

- Alto Mañilahue:
 - Costos de inversión privada: \$157.320.184.
 - Costos Sociales de inversión: \$119.273.034.
 - Costos Sociales de inversión por vivienda: \$13.252.559.
 - Costos Sociales de inversión por [kW] instalado: \$7.951.535.

8.3.4 Costos de Operación y Mantenimiento

La operación del sistema estará a cargo de dos operarios contratados por la cooperativa con un sueldo de \$400.000. lo cual entrega un costo de operación anual, ajustado al precio social de \$6.528.000.

Los costos de mantenimiento se establecen como un porcentaje del costo de la inversión de los equipos y materiales eléctricos. Para la generación y subestación es un 10[%] y

para la distribución un 5[%] de los costos de inversión. Obteniendo de esa forma un costo de mantención anual ajustado a precio social para cada sistema.

- Costos de mantención del sistema de generación a precio social:
 - o Acovinto: \$599.880.
 - o Caleta Obispito y Las Araucarias: \$2.051.124.
 - o Alto Mañilahue: \$2.691.223.
- Costos de mantención de la subestación a precio social: \$1.017.878.
- Costos de mantención sistema de distribución a precio social: \$883.245.
- Total, costos de mantención anual a precio social:
 - o Acovinto: \$2.501.003.
 - o Caleta Obispito y Las Araucarias: \$3.952.247.
 - o Alto Mañilahue: \$4.592.346.

8.4 Flujo de Costos, VAC y CAE del Proyecto

En el enfoque costo-eficiencia los flujos netos están constituidos por todos los costos anuales que corresponda incurrir por el pre-proyecto, ingeniería de detalle, instalación, ejecución y operación del proyecto, los cuales se estiman en todo el horizonte de evaluación, que en este caso son 20 años para los sistemas de autogeneración [4].

Para el cálculo de los flujos, se deben considerar los ingresos que se percibirían de la operación del sistema eléctrico, los cuales estarán compuestos por los ingresos tarifarios, cuyos parámetros de fijación deben ser establecidos por la cooperativa, para realizar la evaluación de proyecto en este caso se establece una tarifa fija de \$20.000 mensuales para cada una de las viviendas abastecidas. Se ocupa este valor de referencia considerando la vulnerabilidad económica de los habitantes de las comunidades aisladas.

Junto con el ingreso tarifario, dentro del flujo neto de costos, se debe considerar como ingresos del proyecto el valor residual de las instalaciones y equipos utilizados, para esto se estima el precio de mercado de los elementos que no hayan sobrepasado su vida útil, siendo este precio un 20[%] de los costos de inversión de los elementos. En este caso se considera el valor residual del sistema de generación eólica, la subestación y el sistema de distribución.

Así como se debe considerar el valor residual, se deben considerar los costos de reposición de equipos que sobre pasen su vida útil y en el horizonte de evaluación. En este caso, los equipamientos de generación solar deben ser reposicionados a los 12 años.

Tomando todo lo anterior en consideración, los costos del pre-proyecto, la ingeniería de detalle y de inversión a precios sociales, los costos de operación y mantenimiento, los

costos de reposición de equipos y los ingresos tarifarios y por valor residual, se elabora un flujo de costos en un horizonte de evaluación de 20 años, el cual se puede ver en detalle en el ANEXO E.

8.4.1 Valor Actual de Costos VAC

El Valor Actual de Costos es el valor actualizado de los costos de inversión, operación y mantención determinados por el flujo de costos.

Se calcula de la siguiente manera.

$$VAC = I_0 + \sum_{t=1}^n C_t / (1 + r)^t \quad (9.1)$$

Con:

- I_0 : Costos de Inversión en el año 0 en precios sociales.
- C_t : Costos del año t en precios sociales, obtenido del flujo de costos.
- n : Horizonte de evaluación 20 años.
- r : Tasa social de descuento 6[%].

De esta forma se obtiene el Valor Actual de Costos del proyecto propuesto para cada una de las localidades representativas.

- Acovinto:

$$VAC = \$209.429.720.$$

- Caleta Obispito y Las Araucarias:

$$VAC = \$237.619.384.$$

- Alto Mañilahue:

$$VAC = \$246.496.318.$$

8.4.2 Costo Anual Equivalente CAE

El costo anual equivalente es un indicador utilizado para comparar alternativas de proyectos que tienen los mismos beneficios en el tiempo, pero distinta vida útil.

Se calcula de la siguiente manera.

$$CAE = VAC * \left[\frac{r*(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right] \quad (9.2)$$

Con:

- VAC: Valor actual de costos
- n : Horizonte de evaluación 20 años.
- r : Tasa social de descuento 6[%].

De esta forma se obtiene el Costo Anual Equivalente del proyecto propuesto para cada una de las comunidades estudiadas.

- Acovinto:

$$CAE = \$18.259.037.$$

- Caleta Obispito y Las Araucarias:

$$CAE = \$20.716.741.$$

- Alto Mañilahue:

$$CAE = \$21.488.318.$$

Conclusiones

Durante la investigación para cuantificar la problemática de desabastecimiento de energía eléctrica en zonas rurales aisladas se encontró que no existe información centralizada, actualizada y confiable del número exacto de hogares, viviendas o habitantes sin acceso a la energía eléctrica. Por lo que se realiza una estimación en base a las investigaciones del Centro de Energía de la FCFM de la Universidad de Chile para el Centro de Energías Renovables del Ministerio de Energía y la de G Montecinos su tesis “El potencial para suministrar electricidad a comunidades indígenas y campesinas de Chile mediante micro redes híbridas solar-eólicas autogestionadas: una propuesta de desarrollo comunitario sustentable para la electrificación rural en zonas aisladas” para optar al grado de magister en ciencias de la ingeniería de la Universidad Católica de Chile, junto con datos del INE y el Ministerio de Energía se estima que existe entre 20 mil y 25 mil viviendas sin acceso a la energía eléctrica.

Estas viviendas se agrupan entre 255 y 296 comunidades aisladas eléctricamente, las cuales se distribuyen en las cuatro macrozonas del país, resaltando las comunidades indígenas Aymaras y Quechuas en la zona norte, comunidades Mapuches en la zona sur y una diversidad de comunidades campesinas y de caletas de pescadores artesanales que están más presentes en la zona del norte chico y en la zona austral de Aysén. Si bien las comunidades presentan distintas características debido a su origen y ubicación territorial, todas estas cumplen con las condiciones de pobreza por ingresos y multidimensional.

Luego de esta caracterización se identificaron en cada una de las zonas geográficas una comunidad aislada eléctricamente con el fin de realizar los análisis de disponibilidad de recursos energéticos. Las localidades son Acovinto de la comuna de Colchane en la región de Tarapacá; Caleta Obispito en Caldera región de Atacama; Las Araucarias de la comuna de Carahue en La Araucanía y en la región de Aysén en la comuna de Coyhaique la localidad de Alto Mañilahue.

Ante este escenario se presentó a la economía social y a las cooperativas como una vía clara y legítima para el desarrollo energético comunitario sustentable de las comunidades aisladas y se planteó la propuesta de organización de cooperativas para la electrificación rural como modelo de gestión comunitaria, debido a que las cooperativas son organizaciones donde individuos o grupos de personas se asocian para satisfacer alguna necesidad común, mediante el trabajo solidario, ayuda mutua y control democrático, sin que sea su motivación principal el maximizar las ganancias económicas, sino que sea el maximizar el bien común.

La propuesta organizacional se complementa con los Anexo A y Anexo B, los cuales repasan la historia del cooperativismo en Chile y las condiciones y requerimientos legales de los pasos para la constitución de una cooperativa. Además, de plantear una metodología de investigación y trabajo por parte de un equipo multidisciplinario para el trabajo directo con los habitantes de las comunidades, basado en la aplicación de la

Investigación de Acción Participativa (IAP), para potenciar el apego de la gente a la propuesta y el proyecto, ya que ellos toman el protagonismo de la detección del problema, caracterización de su entorno y propuestas de soluciones.

El trabajo previo con los habitantes es de vital importancia para lograr la apropiación de la solución y que no sea abandonada en el mediano plazo, y también permite entregar datos para la elaboración del diseño definitivo, ya que permite proyectar la demanda y su crecimiento de mejor forma.

Con la propuesta de gestión y organización cooperativista realizada, se plantea una solución tecnológica viable para satisfacer la necesidad de acceso a la energía eléctrica utilizando los recursos naturales renovables eólico y solar debido a los graves problemas medioambientales producidos por el exceso de emisiones de CO₂ de las tecnologías tradicionales. Por lo cual se estudió y presentó los principios de funcionamiento de las tecnologías de energía eólica, solar y de acumulación de energía presentados en el Anexo C para su estudio en detalle.

Para iniciar el diseño se estimó la demanda a abastecer por el sistema básico propuesto, para lo cual se utilizaron antecedentes de estudios de consumos energéticos y eléctricos característicos de hogares con distinto nivel socioeconómico y se llegó a un consumo similar al de un hogar de 4 a 6 personas del estrato E, el más bajo. Lo cual se considera suficiente para cubrir el consumo de hogares que acceden por primera vez al abastecimiento eléctrico y su crecimiento en los primeros años.

Obteniendo un consumo diario por hogar de 3,761 [kWh/día], considerando la necesidad de abastecer al menos 9 viviendas, 3 por cada fase, el consumo de energía eléctrica anual proyectada de los hogares es de 12,354 [MWh/año], lo cual sumado a las pérdidas del sistema de distribución se obtiene la demanda anual que debe ser abastecido por la micro-red de 13,589 [MWh/año].

En conjunto con la restricción de energía eléctrica a proporcionar, se agrega una condición de seguridad de abastecimiento, exigiendo una capacidad de acumulación de energía eléctrica que asegure una autonomía de 96 horas en caso de fallas en la generación.

Por lo anterior y como elemento central del presente trabajo de memoria se propone un diseño de ingeniería básica de una micro-red basada en un sistema modular de generación compuesto por don unidades de aerogeneradores de 3,5 [kW] y cuatro unidades de mesas de paneles fotovoltaico con una capacidad de 1,5 [kW] cada una, respaldado por un sistema de acumulación de energía eléctrica que considera una batería de 3500 [Ah] a 48 [V] en corriente continua.

La generación se complementa con la subestación y el sistema de distribución de energía eléctrica. La subestación es formada por tres inversores monofásicos de 5 [kW] cada uno,

operando en comunicación, los cuales invierten la corriente continua en corriente alterna de 50 [Hz] a un voltaje de 220 [V]. Luego está el banco de transformadores monofásicos de 5 [kW] cada uno, conectados en configuración delta-estrella, para la transformación del voltaje de 220 [V] a 7.620 [V] fase-neutro, con disponibilidad y acceso al neutro.

El sistema de distribución propuesto es de 15 [kW] y se basa en el método de distribución monofásica con retorno por tierra, utilizado en diversos países de gran extensión para la electrificación rural económica, ya que utiliza la capacidad física de la Tierra como conductor para el retorno de la corriente que cierre el circuito desde el emisor hasta el receptor sin la necesidad de un cable conductor de neutro, lo cual disminuye los costos.

Esta configuración permite además cubrir una mayor área geográfica, ya que se puede instalar cada fase en una dirección distinta a la otra, alcanzando un radio máximo de cobertura de 10 [Km] con una regulación de tensión máxima admisible de 5,4 [%]. Los consumos se conectan a la distribución mediante empalmes a transformadores monofásicos de 1,5 [kW], que reducen la tensión a niveles de consumo.

Se establecen los valores máximos admisibles de las mallas de tierras de protección y de servicio, las cuales son fundamentales en el sistema de distribución con retorno por tierra. La puesta a tierra de servicio debe tener un valor total de impedancia menor a 5 [Ω], mientras que la puesta a tierra de protección debe tener un valor total de impedancia menor a 2 [Ω].

Para completar la ingeniería básica de la propuesta se establecieron las características mínimas del tendido y la postación, se estableció la dimensión de las protecciones necesarias para los elementos que operan en los 48 [V] de corriente continua y en los 220 [V] de corriente alterna, se presenta un dimensionado y diagrama de ubicación de todos los elementos. Finalmente, todo el diseño se refleja en el diagrama general de conexión del sistema completo del Anexo F.

Como paso siguiente se verifica la disponibilidad de los recursos energéticos solares y eólicos en las cuatro comunidades aisladas eléctricamente anteriormente identificadas, con el uso de las herramientas desarrolladas por el Departamento de Geofísica de la Universidad de Chile, el explorador solar y el explorador eólico.

Con los datos obtenidos se optimizó el dimensionado del módulo de generación para cada una de las localidades estudiadas, mediante el programa de diseño, optimización y análisis de micro-redes HOMER. De esta forma se determina la cantidad de unidades de generación solar y eólica necesarias para cumplir con los requerimientos de energía y autonomía.

De los resultados obtenidos de HOMER para cada localidad se realizó la evaluación económica desde el punto de vista de la evaluación social de proyecto con un enfoque de costo-eficiencia establecido por el Ministerio de Desarrollo Social para la evaluación

de proyectos de electrificación rural. Calculando los costos de inversión para las etapas de pre-proyecto, ingeniería de detalle e instalación del sistema para obtener los indicadores de Valor Actual de Costos (VAC) y Costo Anual Equivalente (CAE) de la propuesta completa para cada una de las comunidades estudiadas.

Los resultados para las comunidades se resumen a continuación.

Resumen resultados de la comunidad de Acovinto			
Sistema de generación			Costos
	Unidades solares	3	\$3.262.973
	Unidades eólicas	0	\$0
	Inversión Total		\$143.103.603
	VAC		\$209.429.720
	CAE		\$18.258.073

Tabla 16: Resumen de resultados para la comunidad de Acovinto.

Resumen resultados de la comunidad de Caleta Obispito y Las Araucarias			
Sistema de generación			Costos
	Unidades solares	4	\$4.601.588
	Unidades eólicas	2	\$13.406.572
	Inversión Total		\$157.616.042
	VAC		\$237.619.384
	CAE		\$20.716.741

Tabla 17: Resumen de resultados para las comunidades de Caleta Obispito y Las Araucarias.

Resumen resultados de la comunidad de Alto Mañilahue			
Sistema de generación			Costos
	Unidades solares	4	\$4.601.588
	Unidades eólicas	3	\$19.744.188
	Inversión Total		\$164.017.034
	VAC		\$246.496.318
	CAE		\$21.488.318

Tabla 18: Resumen de resultados para la comunidad de Alto Mañilahue.

De esta forma es claro que la localidad con la mejor opción para iniciar con la implementación de la propuesta es la comunidad de Acovinto, debido a que se encuentra en una posición geográfica privilegiada en cuanto a recursos solares, lo que se traduce finalmente en el menor costos de inversión y los mejores indicadores de evaluación social de proyectos.

En cuanto a las comunidades de Caleta Obispito y Las Araucarias, ambas presentan los mismos resultados en cuanto a inversión e indicadores de evaluación, pero en términos energéticos, los resultados para Las Araucarias son mejores que los de Caleta Obispito,

ya que existe una mayor generación de energía con la misma inversión, 51,197 [MWh/año] contra los 43,057 [MWh/año].

De este modo la segunda comunidad en prioridad sería Las Araucarias, esto sumado a que en la región de la Araucanía existen más comunidades aisladas eléctricamente, sería un gran impulso para región implementar la propuesta en esta comunidad como incentivo a las demás.

La comunidad de Alto Mañilahue debido a su condición más austral presenta los resultados de mayor valor de inversión, por lo que se recomienda realizar estudios de disponibilidad de recursos energéticos más detallados en la región, buscar los lugares geográficos más provechosos, como laderas de cerros orientados al norte, quebradas con mayor intensidad de vientos y por sobre todo los recursos hídricos aún abundantes en la zona.

Trabajo Futuro

El presente trabajo pretende ser un aporte en la discusión de propuestas de proyectos de electrificación rural en el país, además de impulsar la investigación y el estudio de los sistemas de gestión cooperativos en las diversas áreas de la producción, economía y desarrollo.

El trabajo a futuro que se desprende de esto es lograr la implementación de la propuesta en alguna comunidad aislada eléctricamente, para lo cual se necesita de los siguientes pasos:

- Contacto directo con una comunidad aislada o con problemas de abastecimiento eléctrico o mediante la municipalidad.
- Trabajo del equipo multidisciplinario con los habitantes de la comunidad mediante la IAP
- Formación como Cooperativa, lo cual les permite postular al financiamiento del diseño de ingeniería de detalles e instalación del proyecto.
- Realizar el estudio de costos de extensión de la red de distribución para el caso particular de la comunidad.
- Optimizar el diseño y realizar la ingeniería de detalles para el caso particular de la comunidad.
- Diseñar sistemas para el acceso a internet y telefonía celular en las comunidades aisladas.
- Acompañamiento cercano en la etapa de operación por parte del equipo multidisciplinario al menos por 5 años.
- Impulsar la creación de cooperativas de trabajo o productivas en las comunidades según sus propios intereses, turismo, pesca, agrícola o artesanías, que sirva de agente económico y genere ingresos monetarios a los habitantes de la comunidad.
- Estudiar y difundir el cooperativismo como una alternativa de desarrollo social y económico en las distintas áreas de la producción y el comercio aplicable a comunidades y organizaciones urbanas y rurales en todas las zonas de país.

Bibliografía

- [1] Datos del Banco Mundial: <https://datos.bancomundial.org/>
- [2] Datos públicos del INE sobre demografía: <http://www.ine.cl/estadisticas/demograficas-y-vitales>
- [3] Potencial de suministrar electricidad a comunidades indígenas y campesinas de Chile mediante micro redes híbridas solar-eólicas autogestionadas: una propuesta de desarrollo comunitario sustentable para la electrificación rural en zonas aisladas. G Montecinos, Tesis para optar al grado de Magister en ingeniería, Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2015.
- [4] Metodología de formulación y evaluación de proyectos de electrificación rural, Ministerio de Desarrollo Social, Versión 2015.
- [5] El cooperativismo en Chile, División de Asociatividad y Economía Social, Ministerio de Economía Fomento y Turismo, Santiago, 2014.
- [6] Energía 2050 política energética de Chile, Ministerio de Energía, Chile 2015.
- [7] Metodología general de preparación y evaluación de proyecto, Ministerio de Desarrollo Social, División de evaluación social de inversiones, Chile, 2013.
- [8] Ministerio de Energía, Programa Comuna Energética. <http://www.minenergia.cl/comunaenergetica/?p=270>, Chile 2015
- [9] Apuntes curso EL6016 “Análisis Técnico Económico de Sector Eléctrico” C Hermansen; F Aguirre Leo. FCFM Universidad Chile, 2016.
- [10] Ley N°20.936. “Establece un nuevo sistema de transmisión eléctrica y crea un organismo coordinador independiente del sistema eléctrico nacional”. Ministerio de Energía, Santiago, Chile 2016.
- [11] Decreto con Fuerza de Ley N°4 de 2007, DFL4/20.018. “Ley General De Servicios Eléctricos”, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Santiago, Chile 2007.
- [12] Ministerio de Energía, Programa de Energización Rural y Social. <http://www.energia.gob.cl/programa-de-energizacion-rural-y-social-perys>, Chile 2017.
- [13] Anexo 4.2 Micro-Redes Para Localidades Aisladas; Convenio de cooperación Centro de Energía-Centro de Energías Renovables. FCFM Universidad de Chile y Ministerio de Energía. Chile 2013.
- [14] Documento, Catastro de sistemas menores a 1500[kW], Ministerio de Energía, División de Acceso y Equidad Energética, Mediante Ley de Transparencia, Chile 2017.
- [15] Documento, Cartera de Proyectos de Electrificación, Ministerio de Energía, División de Acceso y Equidad Energética, Mediante Ley de Transparencia, Chile 2017.

- [16] Estudio Identificación Territorios Aislados; Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE), Chile, 2011.
- [17] Estrategias Energéticas Locales: Comuna de Caldera, Municipalidad de Caldera, Ministerio de Energía, Programa Comuna Energética, Chile, 2017.
- [18] Estrategias Energéticas Locales Araucanía Costa, Municipalidades de Carahue, Nueva Imperial y Puerto Saavedra, Ministerio de Energía, Programa Comuna Energética, Chile 2017.
- [19] Estrategias Energéticas Locales: Comuna de Coyhaique, Municipalidad de Caldera, Ministerio de Energía, Programa Comuna Energética, Chile, 2017.
- [20] CASEN 2015: Ampliando la mirada sobre la pobreza y la desigualdad. Observatorio Ministerio de Desarrollo social, Chile 2016.
- [21] Alianza Cooperativa Internacional, <https://ica.coop/es>, 2016.
- [22] Manual de Constitución y Funcionamientos Cooperativas de Trabajo. División de Asociatividad y Economía Social. Ministerio de Economía Fomento y Turismo, Chile 2015.
- [23] Capital social y reducción de la pobreza en América Latina y el Caribe: en busca de un nuevo paradigma. CEPAL. 2003.
- [24] Promoting the understanding of cooperatives for a better world. C Borzaga y G Galera. European Research Institute on Cooperative and Social Enterprises EURICSE. 2012.
- [25] The Resilience of the Cooperative Model. How worker cooperatives, social cooperatives and other worker-owned Enterprise Respond to the crisis and consequence. B Roelants, D Doygan, H Eum, E Terrasi. CECOP. 2012.
- [26] World Cooperative Monitor, <https://monitor.coop/>, ACI and Euricse. 2011.
- [27] Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS, <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>, ONU, 2015.
- [28] Cooperatives and the Sustainable Development Goals, A contribution to the post-2015 Development Debate, a Policy Brief. Organización Internacional Del Trabajo OIT and ACI. 2014.
- [29] Decreto con Fuerza de Ley N°5 2003, Ley General de Cooperativas, Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción, Santiago, Chile 2003.

- [30] Guía para puesta en marcha de Emprendimientos Asociativos COOPERATIVAS. División de Asociatividad y Economía Social. Ministerio de Economía Fomento y Turismo. Chile 2016.
- [31] Investigación Acción Participativa: Aspectos Conceptuales y Dificultades de Implementación. En: Fundamentos en Humanidades. F Balcazar, Universidad Nacional de San Luis, Argentina, 2003.
- [32] Goddard Institute for Space Studies. <https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/>, GISS´S NASA, EUA. 2017.
- [33] Hacia un mundo climáticamente inteligente: 12 vías para construir un futuro resiliente. <http://www.bancomundial.org/es/news/immersive-story/2017/12/01/towards-a-climate-smart-world-12-ways-for-a-resilient-future>. Banco Mundial, 2017
- [34] Consumos de Energía a Nivel Residencial en Chile y Análisis de Eficiencia Energética en Calefacción. N Romero. Memoria para optar al título de ingeniero civil. FCFM Universidad de Chile. 2011.
- [35] Caracterización del Consumo Energético Residencial en la Región Metropolitana y Análisis de Escenarios de Eficiencia Energética. R Obrecht. Memoria para optar al título de ingeniero civil industrial. FCFM Universidad de Chile. 2016.
- [36] Apuntes Curso EL5203: Laboratorio de Energía. P Medina, FCFM Universidad de Chile. 2016.
- [37] Apuntes Curso EI6026: Sistemas de generación y acumulación de la energía eléctrica. E Bianchi, FCFM Universidad de Chile. 2016.
- [38] Ficha Técnica E70Pro. <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e70pro> ENAIR. 2017.
- [39] Ficha Técnica AXIpower AC-260p/156-60S, <http://www.axitecsolar.com/es/modulos-solares.html>. AXITEC. 2017.
- [40] Ficha Técnica U-Power 15 POzS1875. <http://www.masterbattery.es/up-opzs-cells.html>. Master Battery. 2017.
- [41] Ficha Técnica Inversor Phoenix 48/5000. <https://www.victronenergy.com/es/inverters/phoenix-inverter-12v-24v-48v-800va-3kva> Victron Energy. 2017.
- [42] Ficha Técnica Transformadores Mora. Mediante cotización directa vía correo electrónico con Transformadores Mora S.A. 2018.

- [43] Rural single wire earth return distribution network- Associated problems and cost-effective solutions, N Hosseinzadeh, J E Mayer, P j Wolfs. Australia 2010.
- [44] Capacity improvements for rural single wire earth return systems. P J Wolfs. Australia 2002.
- [45] Ingeniería Eléctrica Explicada Blogspot. Argentina. 2010.
<http://ingenieriaelectricaexplicada.blogspot.cl/2010/01/electrificacion-rural-economica.html>.
- [46] Sector Electricidad. Perú. 2013. <http://www.sectorelectricidad.com/3446/historia-del-sistema-mrt-monofasico-con-retorno-por-tierra-parte-1/>.
- [47] NSEG 5/71 Reglamento de Instalaciones Eléctricas de Corrientes Fuertes. Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción. Chile 1993.
- [48] NCH 12/87 Empalmes Aéreos Monofásicos. Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción. Chile 1987.
- [49] NCH 4/2003 Instalaciones de consumo en baja tensión. Super Intendencia de Electricidad y Combustibles S.E.C. Chile 2003.
- [50] NSEG 16/78 Electricidad. Especificaciones de Transformadores de Distribución 13,2 [kV]. Ministerio de Economía Fomento y Reconstrucción. Chile 1978.
- [51] Apuntes Curso EL6013: Puesta a Tierra de Instalaciones Eléctricas. N Morales, FCFM Universidad de Chile, 2016.
- [52] ETN- 87 de la Empresa Provincial de la Energía, de la provincia de Santa Fe. Argentina. 2008
- [53] Explorador Solar. <http://ernc.dgf.uchile.cl:48080/inicio>. DGF FCFM Universidad de Chile y Ministerio de Energía. 2018
- [54] Explorador de Energía Eólica <http://walker.dgf.uchile.cl/Explorador/Eolico2/>. DGF FCFM Universidad de Chile y Ministerio de Energía. 2018.
- [55] Orientaciones Sectoriales Energía. Ministerio de Desarrollo Social. Chile 2018.
- [56] Requisitos de información para postulaciones de iniciativas de inversión, Sector Energía, Subsector Autogeneración, Proyectos de Electrificación Rural. Ministerio de Desarrollo Social, Chile 2018.
- [57] Precios Sociales Vigentes. Ministerio de Desarrollo Social. Chile 2016.
- [58] Situación Actual del Cooperativismo en Chile. E Pérez. M Radrigán. G Martini. Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de Chile. 2003.

[59] Wind Energy Handbook. T Burton, D Sharpe, N Jenckins, E Bassanyi, EUA. 2001.

[60] Adaptador de Impedancia Para Fuentes Fotovoltaicas. C Vergara. Memoria para optar al título de ingeniero civil electricista. FCFM Universidad de Chile. 2008.

[61] <http://www.phinet.cl/ds/wp-content/uploads/2016/02/Espectro-radiaci%C3%B3n-Solar-Editado-de-Wikipedia.png>

Anexos

Anexo A. La Historia de las Cooperativas en Chile

Las cooperativas en Chile al igual que en la mayoría de los países latinoamericanos, surge desde la referencia de los modelos de cooperativas europeas, acá emergen cómo una manifestación del movimiento obrero y sindical que además de buscar satisfacer las necesidades específicas de sus socios, nació como una respuesta ante un sistema excluyente e inequitativo que aún impera [5].

La influencia de los migrantes europeos en la formación de los distintos modelos de cooperativas tiene mucha correlación con los países de origen de estos inmigrantes, siendo en Chile la principal influencia la inglesa, a diferencia de lo ocurrido en Argentina y Brasil donde la mayor influencia vino desde Francia, Italia y Alemania, junto con ellos la participación de la iglesia católica también constituyó un agente de fomento a las cooperativas en Latinoamérica, junto con la difusión y canalización de servicios públicos y servicios sociales a los más vulnerables por parte de los gobiernos.

La historia del cooperativismo en Chile se puede dividir en seis periodos temporales, como lo sugieren los autores Pérez, Radrigán y Martini [58].

La primera etapa se fija desde 1887 con la creación de las primeras cooperativas de las que se tiene registro, en Valparaíso se fundaron las cooperativas de consumo La Valparaíso y La Esmeralda, levantadas desde la sociedad de socorros mutuos de la unión de tipógrafos, órgano surgido desde el movimiento obrero. Luego los trabajadores de ferrocarriles del estado en 1904 crearon su propia cooperativa de consumo, promovida por el Estado y los trabajadores, para 1924 se registran 40 sociedades cooperativas de distinto rubro, donde priman las de consumo.

La segunda etapa se caracteriza por la elaboración del primer marco legal específico de las cooperativas, promulgándose la primera Ley de Cooperativas, Ley N°4.058, el 30 de septiembre de 1924. Seguido a la ley, desde el Ministerio de Fomento de 1927 surge el departamento de cooperativas DECOOP, la cual se encargaba de la promoción de programas destinados al desarrollo de la gestión y administración, dictar las normas y reglamentos que contribuyan al funcionamiento, el registro de las cooperativas vigentes, supervisión y fiscalización.

Con la creación de la CORFO, corporación de fomento de la producción, en 1939, el cooperativismo se vio fuertemente impulsado en el área rural mediante las cooperativas agrícolas, vitivinícolas, lecheras y de electrificación. Luego en la década de los cincuenta se consolida el sector de las cooperativas con la creación, entre otras, de la Federación Chilena de Cooperativas de Ahorro y Crédito (FECRECOOP) en 1954, la Cooperativa de Servicios para la Construcción (SODIMAC) en 1958 y la Federación de Cooperativas de Vivienda el mismo año. Finalizando este segundo periodo con la Ley General De

Cooperativas (DFL N°326) el año 1960 y su posterior modificación tres años después con la Reforma Agraria, cambios que sentaron las bases del cooperativismo actual en el país.

Desde el impulso desarrollado desde el estado a partir del año 1964, se inicia la tercera etapa con el Estado favoreciendo directa e indirectamente el desarrollo de cooperativas mediante la creación de organismos como la Corporación de la Reforma Agraria y el Instituto de Desarrollo Agropecuario INDAP, que apoyaron la distribución y creación de cooperativas campesinas y pesqueras, luego desde los funcionarios de la DECOOP y del Servicio de Cooperación Técnica (SERCOTEC) junto a miembros representantes del movimiento cooperativo surge en 1965 la Comisión Nacional Coordinadora de Cooperativas. Junto a lo anterior en esta década se continuó con la consolidación del sector cooperativo, con la creación del Instituto de Financiamiento Cooperativo (IFICOOP) y la Confederación General de Cooperativas de Chile (CONFECOOP). La expansión del cooperativismo también llegó a la academia universitaria, en la Universidad Católica de Chile en 1965 se creó el Instituto de Estudios Cooperativos y en la Universidad de Chile en el año 1968 se implementó la carrera de Técnico en Cooperativas.

El cuarto periodo se instala durante el gobierno de la Unidad Popular desde el año 1971 al 1973, el cual se define como una etapa ambigua para las cooperativas, ya que estas no estaban dentro de los planes prioritarios del gobierno, aunque el sector no fue intervenido ya que no se estatizó ninguna cooperativa, el desarrollo de las cooperativas chocó con las profundas reformas estructurales impulsadas en el periodo, aunque en ese periodo se crearon 597 cooperativas y solo se disolvieron 29, esto debido a los impulsos realizados en los periodos previos.

Con la interrupción del proceso democrático y popular llevado a cabo por las fuerzas militares controladas por la oligarquía nacional y apoyadas con la intervención activa de estados extranjeros como el de Estados Unidos, desde el golpe militar y la llegada de la cruel y déspota dictadura, al igual que en los otros países de la región, vino la etapa de crisis y replanteamiento del movimiento cooperativo, debido a la brutal represión, eliminación y control de todo movimiento popular y la imposición por la fuerza de un modelo económico neoliberal, llevo a las cooperativas a dividirse por dos caminos alternativos, por un lado estaban los que priorizaron la dimensión económica y se abrieron a funcionar bajo las lógicas de mercado, mientras que el otro camino tenía foco en reestablecer vínculos con movimientos cooperativos internacionales y centrarse en la recuperación de la democracia, situación que dejó a estas cooperativas en un muy mal pie de funcionamiento, financiamiento y participación.

Desde el retorno pactado entre la dictadura cívico militar y los líderes políticos de la concertación en 1990, los gobiernos han seguido impulsando y profundizando la instauración de las lógicas neoliberales en cada aspecto de la economía y los derechos sociales. El sector cooperativo que continuó su desarrollo económico abriéndose al

neoliberalismo continua con su autonomía en el desarrollo, centrándose en ser económicamente competitivos con las otras empresas de propiedad tradicional.

Desde ese entonces se ha mostrado una baja prioridad por parte de las políticas de estado, esto se refleja a que la Ley General de Cooperativas recién fue actualizada y modificada el año 2003 luego de 10 años de estar en discusión en el congreso, ley que ya en la actualidad deja en desventaja a la opción de nuevo emprendimiento colectivo orientados a generar soluciones y desarrollo social sustentable.

Anexo B. Formación y Constitución Legal de una Cooperativa.

Para realizar una constitución legal de una cooperativa se deben cumplir los requerimientos establecidos en la [29] Ley General de Cooperativas DFL N°5 y su respectivo reglamento.

Previo a la constitución se debe realizar y organizar un Comité Organizador encargado de llevar a cabo la formación de una cooperativa, en este punto se propone que sean formado conjuntamente entre los habitantes de la comunidad junto a funcionarios de los municipios y/o gobiernos regiones junto a un equipo de profesionales multidisciplinarios de las diversas áreas de la ingeniería y tecnología, del ámbito de la administración empresarial, profesionales de las ciencias sociales, especialistas en el trabajo, desarrollo y educación comunitaria, que puedan pertenecer a organizaciones que elaboren los proyectos.

Este comité se debe encargar de elaborar y recopilar los antecedentes e informes de las autoridades u otros para la definición del proyecto, encuestar y registrar a los futuros socios, recolectar los aportes iniciales de los socios para la constitución, redactar los estatutos sociales de la cooperativa.

Es el Comité Organizador el responsable de realizar la convocatoria y dirigir la Junta General de Socios Constitutiva y elaborar el acta de constitución en la cual deberá contener la individualización de la o las personas autorizadas para reducirla a una escritura pública, en la cual se deberá constatar la aprobación de los estatutos y el texto íntegro de estos.

La Junta General de Socios Constitutiva debe cumplir con la cantidad mínima para la formación de una cooperativa eléctrica la cual es fijada por la ley en 10 socios.

Los estatutos sociales que se deben construir por parte del Comité Organizador deben cumplir con lo establecido en el artículo n°6 de la LGC, que establece el contenido mínimo de los estatutos y las materias que deben regular, que son las siguientes.

- Razón social y duración de la cooperativa o si es indefinida.

- Los objetivos específicos que perseguirá.
- Capital inicial suscrito y pagado; forma y plazo en que se completará; número inicial de cuotas que deberán ser múltiplos de cien, en que se divide el capital y la indicación y valoración de todo aporte que no consista en dinero.
- La forma en que la cooperativa financiará sus gastos de administración; el organismo interno que fijará los aportes; la constitución de reservas y la política de distribución de remanentes y excedentes; y las modalidades relativas a la devolución de los aportes de capital efectuados por los socios
- Requisitos para ser admitidos como socios, derechos y obligaciones y causas de expulsión.
- Periodicidad y fechas de celebración y formalidades de convocatoria de Junta General de Socios, las que deben celebrarse al menos una vez al año dentro del cuatrimestre siguiente a la confección del balance.
- Materias que serán objeto de las Juntas Generales de Socios, determinación de los quórums mínimos para sesionar y del número de votos para adoptar acuerdos.
- Número de miembros del Consejo de Administración, plazos y duración de los cargos, posibilidades de reelección, periodicidad de celebración y formalidades del Consejo; materias que serán objeto de sesiones ordinarias y extraordinarias y los quórums mínimos para sesionar y adoptar acuerdos dentro del consejo.
- La determinación de las cuotas mínimas obligatorias de participación que deberán suscribir y pagar los socios para incorporarse y mantenerse.
- Todos aquellos acuerdos y pactos que establezcan los socios.

La constitución legal de la cooperativa se llevará a cabo luego de la realización de la Junta General de Socios Constitutiva, se levantará el acta de dicha junta en la cual se debe reducir a escritura pública y expresar el nombre completo, profesión o actividad, domicilio y cedula de identidad de todos los socios que concurren a la Junta, junto con los acuerdos en orden de constitución de la cooperativa, la aprobación de los estatutos y del texto íntegro de este. Además, se debe nombrar un Consejo Administrativo, la Junta de Vigilancia y un Gerente que ejercerán sus cargos hasta la primera Junta General de Socios.

Luego de la elaboración del acta de la Junta Constitutiva y su reducción a escritura pública se debe realizar la inscripción en el Registro de Comercio. Se debe proceder a inscribir el extracto de la escritura, autorizado por el Notario respectivo en el Registro de Comercio del Conservador de Bienes Raíces correspondiente al domicilio de la cooperativa. La inscripción y publicación, deberá efectuarse dentro de los 60 días corridos siguientes a la fecha de la reducción a escritura pública del Acta de la Junta Constitutiva.

A continuación, se debe seguir con la publicación en el diario oficial del extracto de la escritura pública dentro de los 60 días siguientes a la fecha de la reducción a escritura pública del Acta de la Junta Constitutiva.

Finalmente se deben remitir todos los antecedentes a la DAES, solicitando la incorporación de la cooperativa en el registro de la DAES dentro de los 20 días siguientes de la realización del último trámite. Para lo cual se deben entregar los siguientes documentos:

- Copia del Acta reducida a escritura pública con los estatutos
- Copia autorizada del Extracto del Escritura
- Copia del Diario Oficial en el que se publicó el Extracto
- Copia autorizada ante notario de la inscripción del Extracto en el Registro de Comercio.

Los pasos necesarios para la formalización y constitución legal de la cooperativa se pueden resumir en el siguiente diagrama.

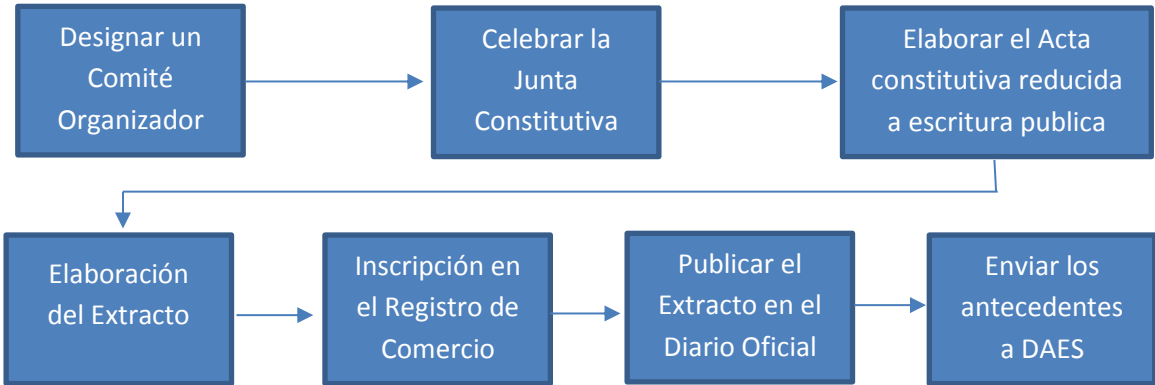


Ilustración 42: Diagrama de pasos para la constitución de una cooperativa. Elaboración propia.

Anexo C. Fundamentos de las Energías Renovables

C.1 Energía Eólica

La energía eólica es aquella energía útil que es extraída desde la fuerza generada por el viento, el cual se origina producto a los movimientos de masas de aires que se encuentran a diferente temperatura y presión.

El viento es originado por la acción conjunta de tres factores: la radiación solar sobre la superficie de los océanos y la tierra; las fuerzas de Coriolis generadas por la rotación de la Tierra; y las perturbaciones atmosféricas locales. La radiación solar incide de diferente forma en la superficie, siendo en los polos las zonas de menor radiación y el ecuador la de mayor, produciendo a escala global dos tipos de vientos, los que van desde los trópicos al ecuador llamado vientos alisos y los contras alisos que van desde los trópicos hacia los polos. Estos vientos que viajan de sur a norte y de norte a sur son afectados y desviados en su curso a causa de la fuerza de Coriolis generada por la rotación terrestre, junto con ello, localmente los vientos se ven alterados localmente por accidentes geográficos, cuerpos de agua, diferencia de alturas y el clima local [36].

Los vientos globales se pueden apreciar en la siguiente imagen que muestra la circulación global de estos, los vientos alisos de los trópicos al ecuador y los contras alisos desde los trópicos hacia los polos.

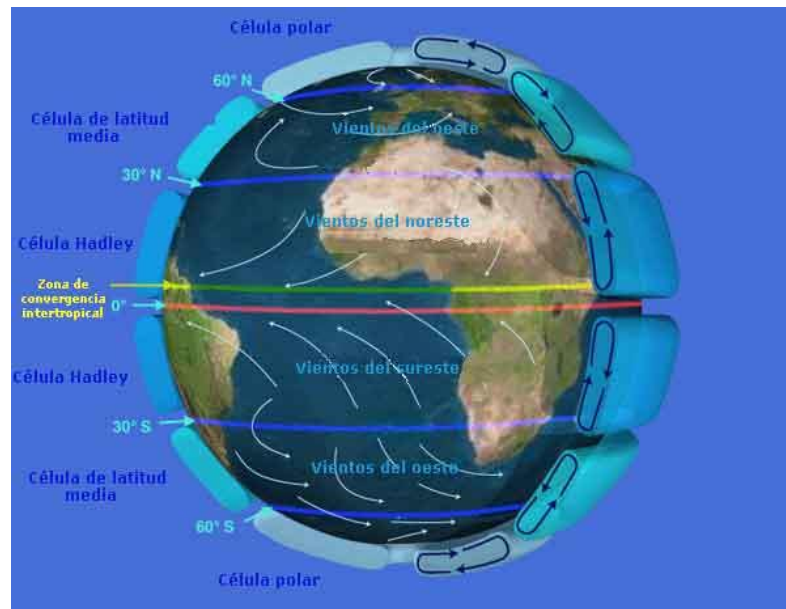


Ilustración 43: Circulación Global de los Vientos. Fuente: Apuntes Curso Laboratorio de Energía.

La utilización de la energía contenida en los vientos ha sido aprovechada desde los inicios de la civilización para navegar y moler granos principalmente y en las últimas décadas se ha desarrollado la tecnología capaz de utilizar este potencial en la generación de energía eléctrica.

C.1.1 Limite de Betz

Si bien el potencial energético de los vientos es alto, la capacidad de extracción de energía se encuentra limitado por varios parámetros, siendo el límite de Betz uno de los principales.

El límite de Betz es el máximo valor teórico que es posible extraer de la energía cinética contenida en el viento en función del modelo de disco actuador que representa la forma que el aire pasa a través de las aspas de un aerogenerador [59].

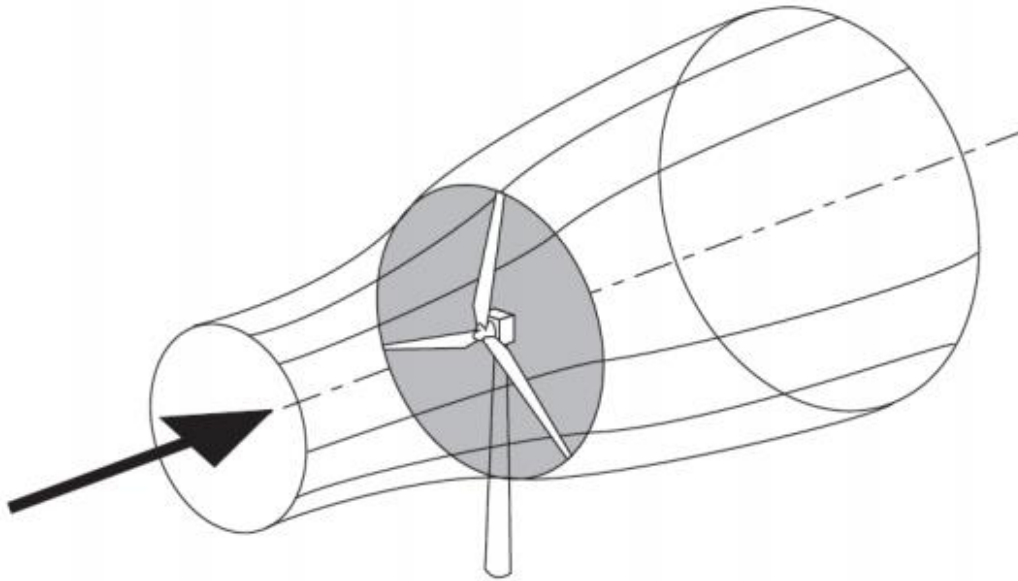


Ilustración 44: Disco Actuador de un Aerogenerador. Fuente "Wind Energy Handbook", T.Burton, D. Sharpe, N. Jenckins, E. Bossanyi 2001.

Este modelo de funcionamiento se basa en los siguiente principios o simplificaciones del modelo:

- El fluido debe seguir su curso, es decir, no se puede acumular y quedar inmóvil detrás de la turbina, por ende, el fluido debe permanecer con un remanente de energía cinética que le permita continuar el movimiento.
- En el entorno de la turbina el fluido se mantiene a densidad y presión constante.
- No se producen alteraciones ni turbulencias.
- No hay pérdidas por efecto del roce.

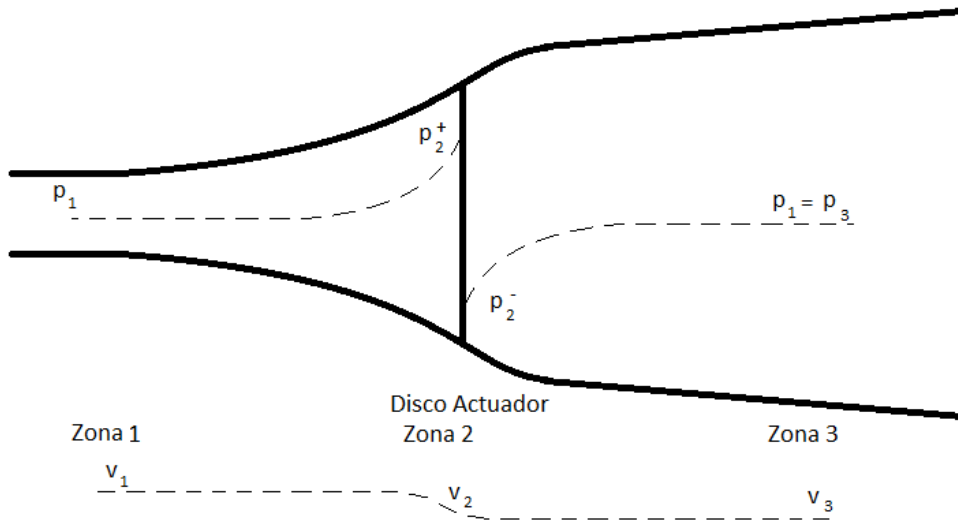


Ilustración 45: Esquema Disco Actuador. Fuente: Apuntes Curso Laboratorio de Energía.

Según el planteamiento inicial del modelo, el flujo de aire Q es el mismo en todas las zonas del disco actuador [37].

$$Q = S_1 v_1 = S_2 v_2 = S_3 v_3 \quad (\text{C.1})$$

Con:

- S_i : sección media equivalente en la zona i [m^2].
- v_i : Velocidad del flujo en la zona i [m/s].

Las energías cinéticas del fluido en cada zona del disco están dadas como sigue.

$$P_1 = \frac{1}{2} d S_1 v_1^3 \quad (\text{C.2})$$

$$P_2 = \frac{1}{2} d S_2 v_2^3 \quad (\text{C.3})$$

$$P_3 = \frac{1}{2} d S_3 v_3^3 \quad (\text{C.4})$$

Con:

- d : densidad del aire [kg/m^3].

La energía cinética que es extraída por las aspas desde el flujo de aire corresponde a la diferencia entre la entrada y la salida.

$$P_2 = P_1 - P_3 = \frac{1}{2} d [S_1 v_1^3 - S_3 v_3^3] \quad (\text{C.5})$$

Experimentalmente se ha podido demostrar que la velocidad media v_2 del flujo resulta ser aproximadamente igual al promedio aritmético de la velocidad v_1 y v_3 [37].

$$v_2 = \frac{1}{2} (v_1 + v_3) \quad (\text{C.6})$$

Para: $r = \frac{v_2}{v_1}$, que representa el factor de ralentización de la velocidad del flujo. Al reemplazarla en (C.3) la ecuación para la potencia extraída queda.

$$P_2 = 2dv_1^3(r^2 - r^3)S_2 \quad (\text{C.7})$$

A partir de esta expresión se puede determinar la proporción de la potencia cinética disponible que el aerogenerador puede extraer del fluido, conocida como el límite de Betz β .

$$\beta = \frac{P_2}{P_1} = 4(r^2 - r^3) \quad (\text{C.8})$$

Maximizando β : $\frac{\partial \beta}{\partial r} = 0$

$$r = \frac{2}{3}$$

$$\beta = 0,5925 \quad (\text{C.9})$$

Así se ve que la máxima extracción de energía cinética es de un 59,25%, por ende, la potencia máxima teórica se expresa de la siguiente manera [37].

$$P_M = \beta \frac{1}{2} d S v^3 \quad (\text{C.10})$$

Pero esta es potencia mecánica máxima que teóricamente se puede extraer, es necesario restarle las pérdidas mecánicas, las perdidas por roce en las aspas, las pérdidas por turbulencias y ruido y las pérdidas del generador eléctrico para obtener la potencia eléctrica útil de un aerogenerador.

C.1.2 Potencia de un Aerogenerador

La potencia eléctrica de un aerogenerador estará determinada por la máxima potencia mecánica extraíble del viento, representada en la ecuación (C.10) por el rendimiento conjunto del equipo mecánico y del generador eléctrico ρ .

$$P_E = \rho \beta \frac{1}{2} d S_a v^3 \quad (\text{C.11})$$

Con:

- P_E : Potencia eléctrica máxima.
- β : Límite de Betz.
- ρ : Rendimiento del conjunto mecánico/eléctrico.
- d : densidad el aire [kg/m^3].

- S_a : Sección media equivalente de las aspas [m^2].
- v : Velocidad del viento [m/s].

Para poder obtener la potencia neta que el aerogenerador puede entregar debe tomarse la curva de potencia o curva de carga del aerogenerador, entregada por el fabricante, y la probabilidad de ocurrencia de las distintas velocidades del viento.

La curva de potencia de un aerogenerador grafica la capacidad de generar de una turbina para distintas velocidades de viento. En ella se pueden identificar cuatro tramos.

- Velocidad de arranque, con generación nula hasta alcanzar la velocidad mínima de arranque.
- Tramo lineal positivo desde la velocidad de arranque hasta la velocidad y potencia nominal.
- Potencia nominal constante para un rango de velocidades.
- Velocidad de corte, donde el aerogenerador deja de funcionar por razones de seguridad.

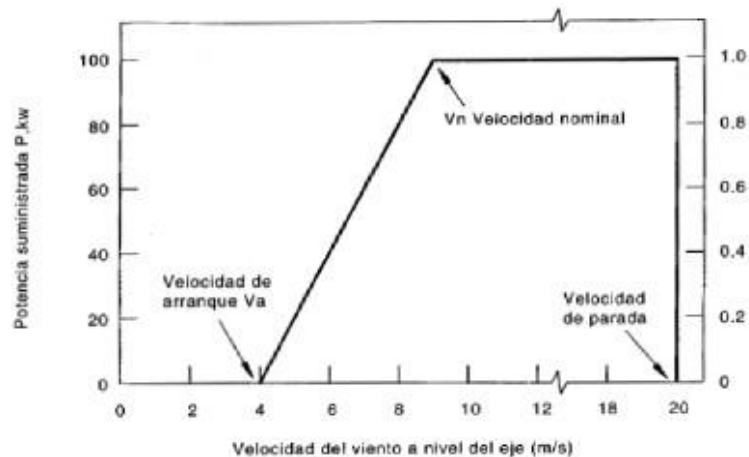


Ilustración 46: Curva de Potencia de un Aerogenerador tipo. Fuente: Apuntes Curso Laboratorio de Energía

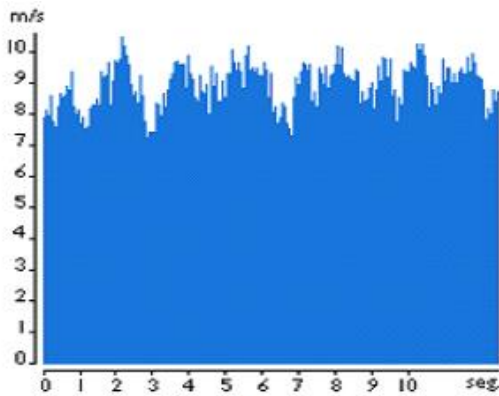
C.1.3 Variabilidad del Viento

Como se ha mostrado, la capacidad para generar energía eléctrica utilizando aerogeneradores depende directamente de la velocidad del viento, y por ende está sujeta a su variabilidad. El viento presenta distintos comportamientos y variaciones según el horizonte de tiempo en el cual se estudie [36].

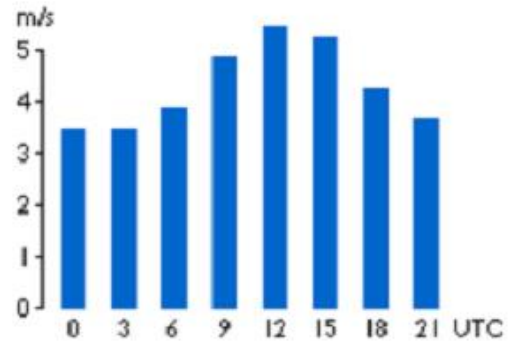
- Variabilidad instantánea: es la fluctuación en la velocidad del viento que se producen constantemente debido a las condiciones climáticas y a la superficie local del terreno y los obstáculos, esto dentro del rango de los segundos y oscilan entorno a un 10[%] del valor promedio.

- Variabilidad diaria: Por lo general el viento es más intenso en el día que en la noche, por la acción directa del sol en las diferencias de temperatura.
- Variabilidad estacional: La intensidad y constancia del viento varía de estación a estación del año, así en zonas templadas lo vientos de verano suelen ser menores que los de invierno debido a que los gradientes de temperatura son más acentuados.
- Variabilidad entre años: Si bien los cambios entre un año y otro no son mayores a un 10[%], las condiciones eólicas varían con los años, más aún con los efectos del cambio climático.
- Variabilidad de altura: La velocidad del viento varía según la altura sobre la superficie, siendo generalmente mayor a más altura.

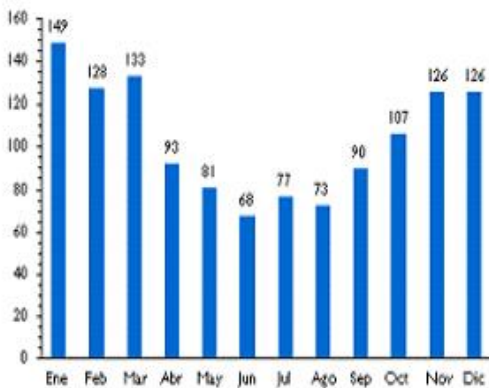
Las variaciones instantáneas, diarias, estacionales y entre años se pueden ver representadas en las siguientes imágenes.



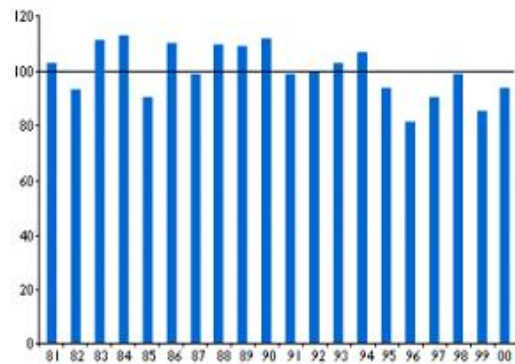
(A)



(B)



(C)



(D)

Ilustración 47: (A) variaciones instantáneas; (B) variaciones diarias; (C) variaciones estacionales, (D) variaciones anuales. Fuente: Apuntes Curso de Laboratorio de Energía

La velocidad del viento varía con la altura según la función exponencial de Hellmann, que relaciona la velocidad del viento a una altura intermedia con la velocidad medida a una altura determinada de la siguiente forma [37].

$$v = v_0 \left[\frac{h}{h_0} \right]^\alpha \quad (\text{C.12})$$

Con:

- v_0 : Velocidad del viento medida a la altura h_0
- v : Velocidad del viento que se quiere estimar a una altura h
- h_0 : Altura de la medición de la velocidad v_0
- h : Altura a la que se desea estimar la velocidad v
- α : coeficiente empírico característico del lugar

El coeficiente empírico α se debe obtener de mediciones realizadas en los lugares, midiendo la velocidad a dos alturas diferentes, recomendablemente que sea una altura el doble de la otra.

$$\alpha = \frac{\text{Ln}\left[\frac{v_2}{v_1}\right]}{\text{Ln}\left[\frac{h_2}{h_1}\right]} \quad (\text{C.13})$$

Debido a que la potencia útil depende del cubo de la velocidad del viento, para el cálculo de la potencia media, el valor medio de la velocidad debe basarse en el promedio cúbico que se expresa de la siguiente forma [37]:

$$v_{med^3} = \sqrt[3]{\frac{\sum_i^n v_i^3}{n}} \quad (\text{C.14})$$

Dejando la potencia eléctrica media de un aerogenerador.

$$P_{E,med} = \rho \beta \frac{1}{2} S_a v_{med^3}^3 \quad (\text{C.15})$$

C.1.4 Tipos de Aerogeneradores

Para la determinación del diseño apropiado, tanto en términos mecánicos estructurales como en parámetros eléctricos es necesario evaluar apropiadamente los parámetros previamente discutidos en esta sección en los lugares y las condiciones reales de donde se espera instalar.

En resumen, es necesario:

- Coeficiente empírico α .
- Densidad del aire a la altura sobre el nivel del mar.
- Temperaturas ambientes extremas.
- Velocidad del viento a la altura del eje de la turbina, según coeficiente empírico α .
- Velocidad máxima y dirección predominante del viento, mediante la rosa de los vientos del lugar y posibles obstáculos.
- Promedios cúbicos de las velocidades del viento.

Los diseños disponibles generalmente en el mercado de aerogeneradores son principalmente tres.

- Turbinas con generador de inducción trifásico de velocidad variable, con rotor embobinado y anillos deslizantes.
- Turbinas con generador sincrónico trifásico de velocidad variable, excitado mediante imanes permanentes de neodimio.
- Turbinas con generador de corriente continua sin colector.

Debido a la potencia proyectada necesaria de los aerogeneradores, que es de 3,5 [kW], el tipo de aerogenerador idóneo es el de turbinas con generador sincrónico trifásico de velocidad variable, excitado mediante imanes permanentes.

Debido a la gran variabilidad estadística del viento, todos los sistemas de generación eléctrica en base a energía eólica incluyen un sistema regulador electrónico automático de impedancia variable, capaz de inyectar al sistema toda la energía generable disponible en el recurso.

Los sistemas conocidos con su nombre en inglés Maximum Power Point Tracker "MPPT" son los que permiten maximizar la energía disponible, especialmente en sistema aislados se asocian a la acumulación de la energía en baterías en corriente continua, combinados con inversores de CC/CA, el sistema es capaz de generar su propia frecuencia [37].

C.2 Energía Solar Fotovoltaica

El Sol es la fuente principal de toda la energía presente en el sistema solar y en la Tierra; gracias a los efectos de la radiación sobre la superficie del planeta es que se originan los ciclos hídricos, que nos permiten ocupar la energía hidráulica, los vientos para la energía eólica, como se mostró en la sección anterior, además toda la vida vegetal a lo largo de su existencia se alimentó de la energía radiada por el sol, acumulando esta energía en el material orgánico que luego de muchos procesos geológicos de acumulación y descomposición provocaron la sinterización de combustibles como el carbón, gas y petróleo.

Se encuentra a 150 millones de kilómetros de la Tierra, y posee una temperatura superficial de 5800° [K], mientras que en su núcleo se alcanzan temperaturas sobre los 15 millones de grados Kelvin, en donde se alcanzan las condiciones necesarias para reacciones nucleares de dos tipos, el ciclo protón-protón, el cual es el más eficiente en el caso de una estrella como el Sol, y el ciclo carbono-nitrógeno [60]. Una fracción de la energía producida por las reacciones nucleares en el núcleo del Sol es retenida en su interior para mantener el equilibrio térmico y de presiones, mientras que el resto de la energía es emitida mediante radiación electromagnética.

C.2.1 Efecto Fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico es el fenómeno natural que posibilita la extracción de energía desde la radiación electromagnética en energía eléctrica útil. Cuando la radiación incide sobre una superficie metálica o semiconductor, electrones de las capas superiores de los átomos se excitan y se desprenden de sus orbitales energéticos, transformándose en electrones con cierto nivel energético que permite transferir dicho exceso energético a un circuito eléctrico externo.

El efecto fotoeléctrico fue descubierto por primera vez en 1887 por Heinrich Hertz, quien observó que el arco eléctrico que salta entre dos electrodos conectados a una alta tensión es mayor cuando se está iluminado con luz ultravioleta que en la oscuridad, lo cual lo llevo a concluir, que la luz ultravioleta le entregaba energía cinética a las partículas que generan el arco eléctrico.

El efecto fue descrito matemáticamente en 1905 por Albert Einstein, basándose en la teoría cuántica de Max Planck. El modelo dice que la luz, que en esencia es radiación electromagnética, en escala atómica se comporta como una partícula, estas partículas de luz se les denomina fotón, cuya energía es proporcional a la frecuencia de la onda electromagnética y a la constante de Planck.

Es sabido que cada uno de los electrones que orbitan alrededor de un núcleo ocupa un nivel energético cuántico característico, el cual determina su órbita dentro de la configuración del átomo. Cuando un fotón incide en un electrón de los orbitales periféricos se le transfiere parte o toda la energía, pudiendo saltar a niveles energéticos mayores o saltar y zafarse de su órbita y energía potencial normal, adquiriendo energía cinética adicional, cuyo valor es la diferencia entre la energía del fotón transferida al electrón y la energía característica de su órbita, lo cual permite transferir el excedente energético a un circuito eléctrico [37].

$$\Gamma = h * f \quad (C.16)$$

$$\Gamma_c = \Gamma - \Gamma_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (C.17)$$

Con:

- Γ : Energía del fotón.
- Γ_c : Energía cinética adicional del electrón.
- Γ_k : Energía característica del orbital del electrón.
- f : Frecuencia de la onda incidente.
- h : Constante de Planck = $6,626 \times 10^{-34}$ [Js].
- m : Masa del electrón.
- v : velocidad adquirida por el electrón.

Los electrones libres de conducción son aquellos que a temperatura y presión normal se encuentran en las capas superiores de los átomos de metales y semiconductores, lo cuales poseen un nivel energético característico Γ_k . Los metales y semiconductores se configuran a nivel atómico como una red cristalina por donde los electrones libres de conducción que poseen el mismo nivel energético característico pueden intercambiar y/o transferir energía entre sí, pudiendo moverse libremente por los intersticios de la red cristalina.

Si bien los electrones libres de conducción pueden moverse dentro de la red cristalina, el conjunto se sigue manteniendo eléctricamente neutro, ya que no poseen la suficiente energía para romper el nivel energético de Fermi, que es el nivel de los electrones libres de conducción bajo el cual permanecen cautivos a la red cristalina.

La energía mínima que se necesita para que un electrón de libre conducción pueda liberarse de su red cristalina, zafándose del campo eléctrico y gravitacional de los núcleos de ésta, se conoce como función trabajo Γ_{FT} . Al superar el nivel energético de Fermi mediante la aplicación de la Γ_{FT} los electrones pueden escapar de su red cristalina y

moverse hacia otros medios conductores transportando excedentes de energía y poder establecer efectivamente una corriente eléctrica.

Así pues, la energía eléctrica de los electrones emitidos está determinada por la diferencia entre la energía del fotón Γ y la función trabajo.

$$\Gamma_E = hf - \Gamma_{FT} \quad (C.18)$$

$$\Gamma_E = hf - \Gamma_{FT} > 0; \quad hf_0 = \Gamma_{FT} \quad ; \quad f_0 = \frac{\Gamma_{FT}}{h} \quad (C.19)$$

La energía Γ de los fotones que inciden en los electrones debe ser mayor que la función trabajo Γ_{FT} , por lo cual la frecuencia de la onda electromagnética debe ser mayor que una cierta frecuencia límite f_0 a partir de la cual se puede medir el efecto fotoeléctrico.

Ya que la energía de los fotones depende de su frecuencia, a diferentes colores de luz se observan diferencias en la energía producida por el efecto fotoeléctrico, a mayor frecuencia de luz mayor energía.

Entonces la energía eléctrica posible de extraer de la radiación electromagnética del sol depende del espectro de frecuencias de este y de la función trabajo del metal que se utilice [37].

C.2.2 Tipos de Celda y Radiación Solar

Dado que la luz solar contiene ondas electromagnéticas de prácticamente todas las frecuencias, las celdas solares se construyen de la manera que sea posible aprovechar toda la radiación disponible del espectro, a partir de la frecuencia umbral del metal utilizado. Para la mejor utilización del efecto, es necesario que los metales y materiales utilizados sean lo más transparentes posibles a las diversas frecuencias de la radiación, para así poder obtener el efecto en las capas más profundas del material y no solamente en la superficie.

El espectro de la radiación solar se clasifica principalmente en 5 categorías, según su longitud de onda y por lo tanto frecuencia [60]:

- Ultravioleta C (100 a 280 [nm])
- Ultravioleta B (280 a 315 [nm])
- Ultravioleta A (315 a 400 [nm])
- Luz Visible (400 a 700 [nm])
- Infra Rojo (700 a 1.400 [nm])

El espectro de radiación solar en función a su intensidad se puede observar en la siguiente imagen, donde se observa que la mayor intensidad se da en el espectro de luz visible [61].

Espectro de Radiación Solar

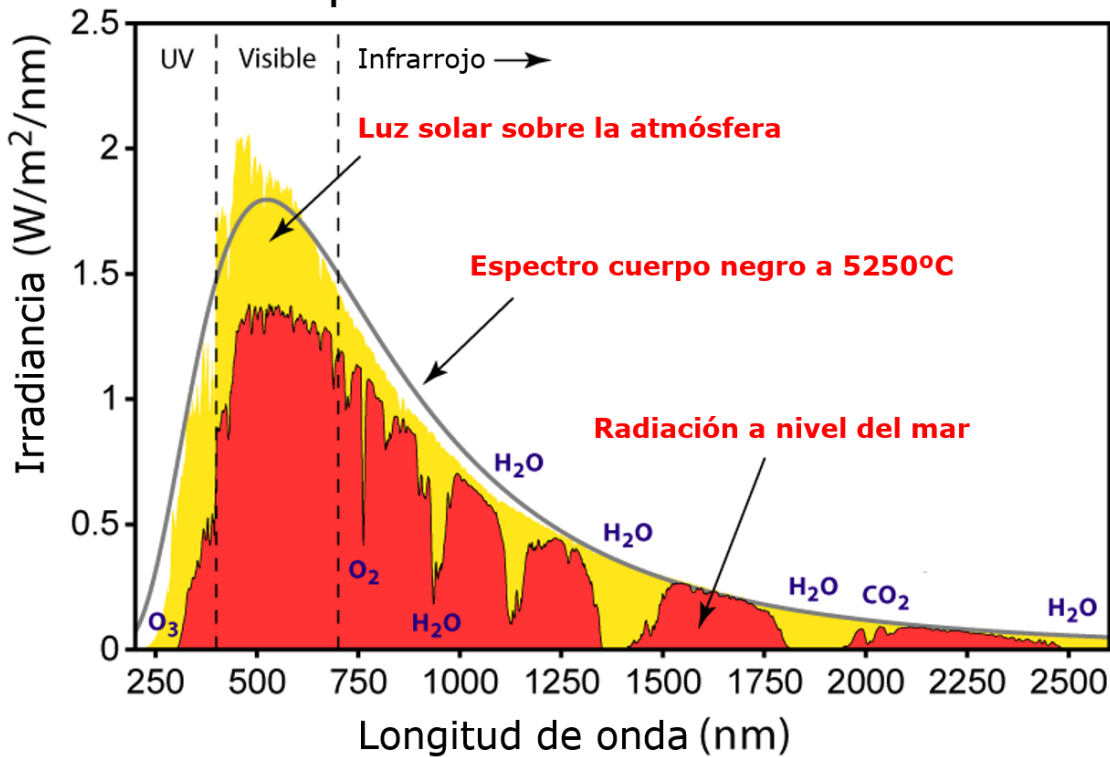


Ilustración 48: Distribución de intensidad de la radiación solar en función de su longitud de onda. Fuente <http://www.phinet.cl/ds/wp-content/uploads/2016/02/Espectro-radiaci%C3%B3n-Solar-Editado-de-Wikipedia.png>

En la actualidad en la industria eléctrica y en el ámbito de la tecnología solar, se considera que la potencia media normalizada de la radiación solar a nivel del suelo es de $1.000 [W/m^2]$, lo cual lleva a un valor teórico de $15 [W/m^2]$ de potencia fotoeléctrica en superficies limpias y perpendiculares a la dirección de la luz incidente.

La potencia eléctrica extraíble de la radiación solar mediante paneles metálicos utilizando el efecto fotoeléctrico está dada por la siguiente expresión:

$$P_E = P_S * ft * \epsilon\lambda_0 * \cos(\alpha_i) \tag{C.20}$$

Con:

- P_E : Potencia eléctrica útil.
- P_S : Potencia de la radiación solar incidente a nivel del panel fotovoltaico.
- $\epsilon\lambda_0$: Eficiencia energética de transformación, según frecuencia de corte del metal.
- α_i : Ángulo de incidencia de la luz solar sobre la superficie.
- ft : Factor de transparencia de la atmósfera y superficie fotovoltaica.

Se observa que la potencia fotoeléctrica que se puede generar no depende solamente de la intensidad de la radiación solar que llegue, sino que además depende directamente

de la inclinación del panel respecto al rayo de incidencia y de la transparencia atmosférica y la limpieza de la superficie de los paneles fotovoltaicos.

La transparencia atmosférica a su vez depende de múltiples factores, como la presencia o no de nubes, el espesor de la capa atmosférica que atraviesa el rayo de luz según su trayectoria y la contaminación de la atmósfera local.

El ángulo de incidencia del rayo de luz a la superficie del panel fotovoltaico depende de la inclinación fija o variable del panel, la posición relativa del sol según la fecha, hora y latitud del lugar, por ello para paneles fijos sin seguimiento, es decir, los más simples y de menor inversión, la orientación debe ser hacia el norte geográfico (en el caso del hemisferio Sur) en un ángulo de inclinación igual a la latitud del lugar.

C.3 Sistemas de Acumulación de Energía Eléctrica

Debido a la naturaleza variable de los recursos energéticos como el viento y el sol, es necesario para una operación continua y estable de generación de energía eléctrica con medios de generación renovables contar con un debido sistema de respaldo, que permita la acumulación de energía eléctrica durante los periodos de presencia de los recursos y que entregue energía cuando el recurso no está presente.

Los principales sistemas que existen para acumular y utilizar energía eléctrica son los sistemas electroquímicos reversibles, mayormente conocidos como pilas o baterías eléctricas, que a partir del desarrollo de la primera pila eléctrica en 1800 por Alessandro Volta, se han desarrollado muchos tipos y variedades de acumuladores electroquímicos reversibles, que puede acumular energía eléctrica en un proceso de carga y entregar esa energía en un proceso de descarga, y que es repetible una y otra vez a lo largo de la vida útil del sistema.

Los sistemas electroquímicos reversibles están compuestos esencialmente por dos placas o electrodos de polaridad diferente, sumergidos en un medio electrolítico, contenido en un estanque apropiado para la sustancia, junto con un sistema eléctrico exterior que permite la carga y descarga del sistema.

Un esquema básico de un sistema electroquímico reversible de acumulación de energía eléctrica se presenta a continuación, el cual está compuesto por una parte interna donde se encuentran los polos opuestos inmersos en la solución electrolítica, y otra parte externa que se compone del circuito eléctrico, desde los bornes del equipo, la resistencia de carga del sistema, el cableado de conductores y el equipo rectificador para la recarga del sistema [37].

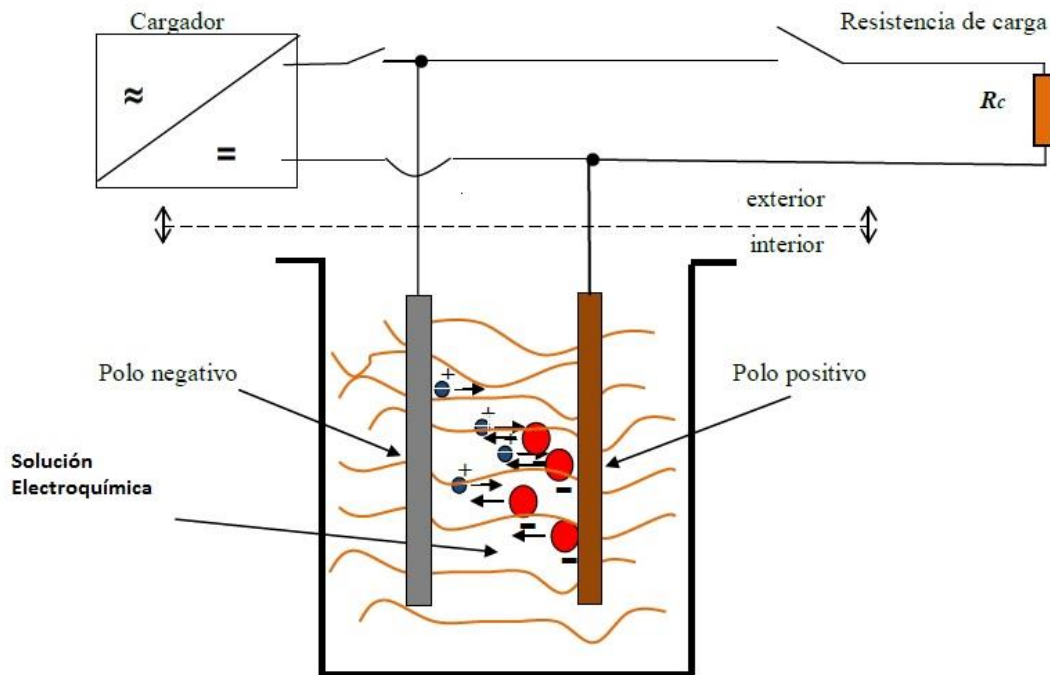


Ilustración 49: Esquema Básico Sistema Electroquímico Reversible. Fuente: Apuntes Curso Sistemas de Generación y Acumulación de la Energía Eléctrica.

El funcionamiento de un acumulador electroquímico se basa en la diferencia de electronegatividad entre los elementos que forman los polos, lo cual produce una diferencia de tensión entre ambos polos.

La electronegatividad es la capacidad de los átomos de los distintos elementos, repeler o atraer electrones de valencia para realizar enlaces químicos. Al introducir dos sustancias de diferente electronegatividad, como dos metales o un metal y un óxido, en una solución electrolítica, es posible medir una diferencia de tensión entre ambos.

Los polos negativos de los acumuladores son en la mayoría de los casos metales puros, con alta facilidad de formar sales, hidróxidos u otros con la solución electrolítica. Al sumergir el electrodo, en el contacto de la superficie del metal con la solución se forman iones positivos, así los electrones de valencia del metal difunden hacia el interior del electrodo, dejando en la superficie los iones positivos formados y orientados con los iones negativos existentes en el electrolito, generando así entre la superficie metálica del electrodo y la solución electrolítica lo que se llama una juntura del tipo **np**.

De similar forma en el caso del polo positivo, que puede ser un metal o un óxido o alguna otra sustancia que tenga la facilidad de que sus cristales y moléculas superficiales puedan combinarse con el electrolito. En la superficie de contacto entre electrodo y la sustancia se ionizan negativamente, extrayendo los electrones de valencia disponibles en el circuito metálico exterior, difundiéndose huecos positivos al material activo. Así los iones negativos formados en la superficie del electrodo se orientan con los iones positivos disponibles en el electrolito formando en la superficie de contacto entre polo positivo y el electrolito una

juntura de iones negativos e iones positivos llamada juntura del tipo **pn**, del mismo potencial, pero de signo cambiado al que se creó en el polo negativo.

Al haber una diferencia de potenciales electroquímicos entre las sustancias activas presentes, se puede establecer una tensión eléctrica entre los bornes, conocida como tensión electroquímica característica natural del acumulador.

Los electrones de valencia acumulados en el polo negativo no poseen la suficiente energía para superar la barrera potencial. Para que las reacciones electroquímicas puedan ocurrir es necesario que los electrones de valencia puedan migrar desde el polo negativo al positivo, lo cual ocurre por el circuito eléctrico exterior.

Ya que hay un mayor nivel energético en los elementos iniciales respecto de las sustancias resultantes, se tratan de reacciones exotérmicas, que al reaccionar liberan sus excedentes de energía, proceso que se lleva a cabo en la resistencia eléctrica del circuito.

Mientras haya continuidad eléctrica en el sistema, y a haya disponibilidad de material activo, se mantendrá la circulación de electrones por el circuito eléctrico exterior y la circulación de iones con el circuito interior, por lo tanto, habrá transferencia de energía.

Este proceso puede ocurrir en ambas direcciones, según la polaridad de la tensión, por lo tanto, es un proceso que se puede revertir, lo cual permite los ciclos de carga y descarga de los acumuladores.

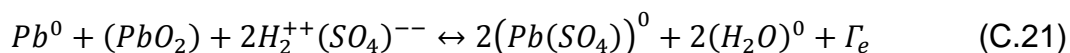
C.3.1 Acumuladores Comerciales, Batería de Plomo-Ácido

El tipo de baterías de plomo-ácido es el más conocido y ampliamente utilizado, lo cual ha llevado al desarrollo de una tecnología de amplio espectro de potencias, variedad de diseños y costos menores, permite su aplicación en sistemas de generación renovables de menores costos.

Una batería de plomo-ácido utiliza como elementos reactivos un electrodo de plomo como polo negativo, un electrodo de dióxido de plomo como el positivo y una solución electrolítica de ácido sulfúrico disuelta en agua.

Durante la descarga el electrodo negativo un átomo de plomo se combina para formar sulfato de plomo, en el positivo, una molécula de dióxido de plomo se combina para formar sulfato de plomo y en el electrolito, dos moléculas de ácido sulfúrico son reemplazadas por dos de agua. Durante la recarga estas reacciones ocurren a la inversa.

La ecuación de la reacción reversible entre los electrodos y la solución electrolítica es la siguiente [37].



Comercialmente las baterías se clasifican por su capacidad nominal en amperes hora [Ah] y su tensión [V] de conexión de carga y descarga, con lo cual se obtiene la energía útil nominal.

Otras variables de mucha importancia a la hora de elegir un acumulador son sus curvas de cargas y descargas a corriente constante y potencia constante, para analizar los ciclos útiles y los tiempos estimados de carga y descarga.

Se debe resguardar que las tensiones de recarga no superen la sobretensión límite de seguridad, que se mantenga en la tensión de flotación, para no dañar permanentemente el acumulador, y que en descarga no se sobrepase la tensión mínima admisible, para el cuidado de los elementos químicos activos.

La densidad energética, por definición es la razón entre la energía considerada y la masa involucrada. Pero esta densidad no es única para un mismo acumulador, dependerá de qué parámetros se considerarán, en este caso se reconocen dos definiciones prioritarias, la densidad energética electroquímica intrínseca y la densidad energética nominal comercial.

C.3.1.1 Densidad Energética Electroquímica Intrínseca δ_{Γ_i}

Se considera la energía total del acumulador, debido a la carga electroquímica intrínseca contenida en la cantidad de materia o masa activa en moles y la tensión electroquímica.

$$\Gamma_i = Q_i * U_i \quad ; \quad \delta_{\Gamma_i} = \frac{\Gamma_i}{M_{mol}} = \frac{Q_i}{M_{mol}} U_i \quad (C.22)$$

Donde:

- δ_{Γ_i} : Densidad energética electroquímica intrínseca
- Γ_i : Energía intrínseca total del acumulador, correspondiente a la que se contiene en las sustancias activas del acumulador.
- Q_i : Carga intrínseca total del acumulador, correspondiente a la que se contiene en las sustancias activas del acumulador.
- U_i : Tensión electroquímica natural, correspondiente a la tensión de circuito abierto que aparece en bornes generada por las barreras de potencial del acumulador.
- M_{mol} : Masa activa intrínseca, correspondiente a la suma de las masas activas necesarias y suficientes para el proceso electroquímico.

C.3.1.2 Densidad Energética Nominal Comercial δ_{Γ_n}

En este caso, se considera la energía, carga y capacidad nominal comercial declarada por el fabricante, la tensión nominal de referencia y la masa completa de todo el sistema del acumulador, sustancias activas, estructura de soporte, bornes y circuito eléctrico.

$$\Gamma_n = Q_n * U_n \quad ; \quad \delta_{\Gamma_n} = \frac{\Gamma_n}{M_t} = \frac{Q_n}{M_t} U_n \quad (C.23)$$

Donde

- δ_{Γ_n} : Densidad energética nominal comercial.
- Γ_n : Energía nominal comercial, correspondiente a la declarada por el fabricante.
- Q_n : Carga nominal comercial, correspondiente a la declarada por el fabricante.
- U_n : Tensión nominal, correspondiente a la tensión de referencia declarada por el fabricante.
- M_t : Masa total del acumulador, correspondiente a la suma de todas las masas que componen el acumulador, sustancias activas, pasivas, contenedor, estructuras y conexiones.

C.3.1.3 Vida Útil y Profundidad de la Descarga

La vida útil de una batería o acumulador se refiere a la cantidad de ciclos de descarga-recarga en función a la profundidad de la descarga, es decir, a que porcentaje de la capacidad del acumulador se descarga antes de iniciar la recarga.

Un acumulador a medida que es utilizado y ocurren los procesos de descarga y recarga, la resistencia interna de las placas aumenta, aumentando la caída de tensión interna lo que disminuye la capacidad útil efectiva del acumulador.

El deterioro y disminución de la capacidad se deben principalmente a la obstrucción de la red cristalina de los electrodos, ya que estos crecen de forma desordenada en cada ciclo, tapando las rutas de movilidad de los electrones, aumentando la resistencia interna. A las fisuras por dilatación térmica, ya que a niveles de corriente muy altos y la diferencia de los coeficientes de dilatación térmica de los materiales, estos se fracturan dificultando la conducción.

Otra de las principales razones por las cuales se disminuye la capacidad de un acumulador de plomo-ácido es por el desprendimiento de sustancias activas de los polos. El sulfato de plomo que se forma en las placas al ser sometido a vibraciones o movimientos, debido a su baja adherencia se desprende y se deposita en el fondo, disminuyendo la cantidad de sustancia activa en los polos.

El estado de deterioro de un acumulador se puede indicar mediante la medida de la resistencia interna a carga completa. Obtener estos valores a lo largo del tiempo de utilización permite evaluar como aumenta con el uso, lo cual facilita predecir en el largo

plazo las caídas de tensión y el momento en que la tensión en bornes al final de la descarga llegue al valor mínimo aceptable para la operación.

El número de ciclos de descarga-recarga en función de la profundidad de descarga obedece matemáticamente a una función hiperbólica, y que permite graficar la curva conocida como Deep Operation Discharge.

$$q_d[0/1] = \frac{q_d[Ah]}{Q_n[Ah]} \quad ; n_{dr} = N_n \left[1 + K \left(\frac{1}{q_d[0/1]} - 1 \right) \right] \quad (C.24)$$

$$t_{vu} = \frac{n_{dr}}{N_a} \quad (C.25)$$

Donde:

- $q_d[0/1]$: Carga real entregada al consumo, referida a la capacidad nominal comercial.
- n_{dr} : Número de ciclos de descarga-recarga de vida útil
- N_n : Numero nominal de ciclos de descarga-recarga con $q_d = 1$
- K : Constante empírica adimensional.
- N_a : Numero de ciclos anuales programados.
- t_{vu} : Tiempo de vida útil en años.

Tomando las especificaciones de un fabricante de acumuladores de plomo-ácido y la fórmula matemática recién mostrada, se obtiene una curva típica de número de ciclos de descarga-carga en función de la profundidad de descarga. La cual se muestra a continuación.

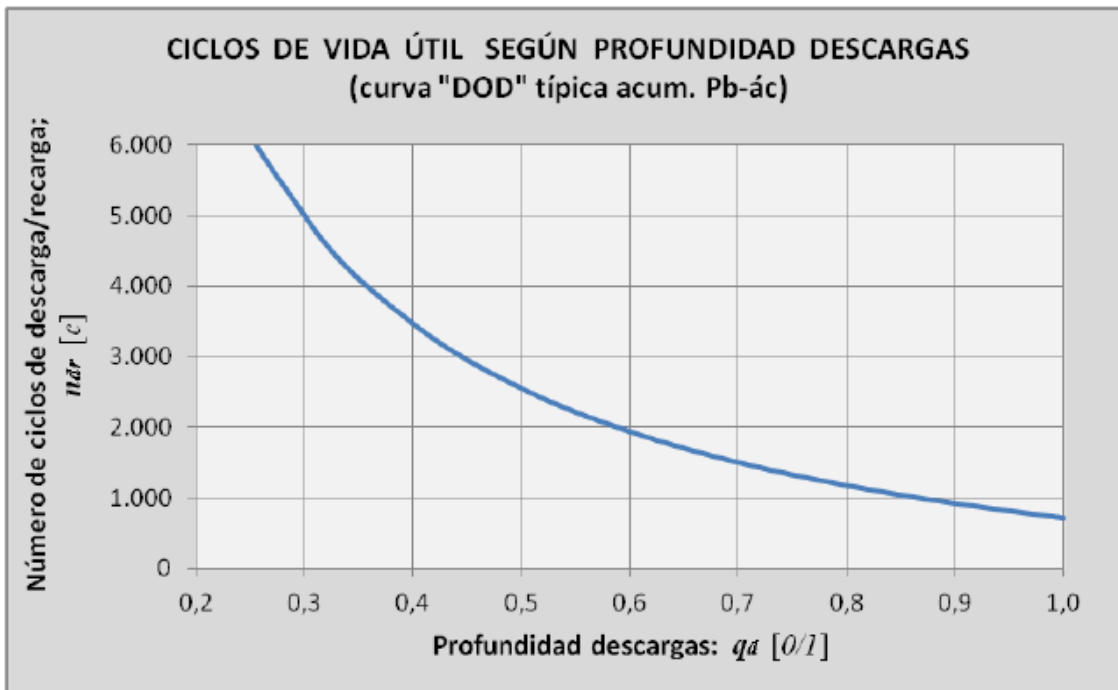


Ilustración 50: Ciclos de vida útil según profundidad de descarga, para un acumulador Plomo-ácido típico. Fuente: apuntes curso de sistemas de generación y acumulación de la energía eléctrica.

Si un acumulador, con datos nominales de capacidad de 1.000[Ah] con una tensión nominal de 48 [V], es utilizado diariamente a la máxima capacidad, es decir, a la máxima descarga permitida, el 100[%], su vida útil será solamente de 2 años.

Al optar por un acumulador de mayor capacidad para los mismos ciclos anuales de consumo, la profundidad de descarga será mucho menor lo cual prolongará la vida útil y disminuirán los costos de reemplazo. Para un el tipo de acumulador recién descrito, si la profundidad de descarga no supera el 50[%], su vida útil podría prologarse hasta los 7 años [37].

Anexo D. Presupuesto Detallado

Para calcular los costos sociales, primero se determinaron los costos a precio de mercado en un presupuesto detallado, en donde se presentan la cantidad, precio unitario y total de cada elemento de cada categoría de cada sistema, se establece la mano de obra necesaria para la instalación del proyecto, considerando mano de obra calificada y no calificada, además de los costos de traslado y estadía de personal y los costos incurridos por la importación de implementos.

Para determinar los costos de la mano de obra, se realizó una carta Gantt, la cual contempla 4 meses para la instalación del proyecto.

Obra/Meses	1	2	3	4
Obras civiles				
Sistema de Generación				
Subestación				
Distribución				

Tabla 19: Carta Gantt de la instalación del proyecto. Elaboración propia.

Los valores fueron tomados en parte con cotizaciones directas con los proveedores de los equipos nacionales, mientras que los equipos importados el precio de referencia fue obtenido de proyectos similares realizados anteriormente y el valor de la mano de obra considera sueldos acordes al mercado.

Se utilizó un valor de cambio para el euro de:

$$1 \text{ €} = \$760.$$

A continuación, se presenta el presupuesto detallado del proyecto.

Sistema	Categoría	Elemento	Cantidad	Precio Unitario [\$/U]	Precio Total [\$]
Generación					
	Aerogenerador*				
		ENAIR 70, Regulador incluido	2	\$ 4.337.996	\$ 8.675.992
		Torre ENAIR DB70 16 [m] abatible	2	\$ 1.866.894	\$ 3.733.788

		Sistema de poleas de elevación	1	\$ 731.340	\$ 731.340
		Interruptor de frenado DB70 x 48 [V]	2	\$ 82.726	\$ 165.452
		ITM bipolar 100 [A]	2	\$ 50.000	\$ 100.000
		Total, Categoría			\$ 13.406.572
	Paneles FV*				
		Módulo AXITEC AC-260/156-60S	24	\$ 127.513	\$ 3.060.312
		Estructura K-EST-S6 y accesorios de conexionado 6px250 [W] c/u = 1,5 [kW]	4	\$ 167.101	\$ 668.404
		Inversor/Carg. ENAIR MULTIPOWER 3 [kVA]/48[V], con MPPT solar 60 [A]	2	\$ 376.436	\$ 752.872
		ITM bipolar 40 [A]	4	\$ 30.000	\$ 120.000
		Total, Categoría			\$ 4.601.588
	Batería *				
		ENERGY BATTERY 15 OpzS 1875	1	\$ 2.250.000	\$ 2.250.000
		Desconectador-Fusible Tx160[A]	1	\$ 50.000	\$ 50.000
		Total, Categoría			\$ 2.300.000
		Total, Sistema			\$ 20.308.160
Subestación					
	Inversores*				
		Inversor Phoenix 48/5000	3	\$ 2.200.000	\$ 6.600.000
		Desconectador-Fusible Tx160[A]	3	\$ 50.000	\$ 150.000
		Kit de paralelismo Phoneix	1	\$ 50.000	\$ 50.000
		Total, Categoría			\$ 6.800.000

	Transformadores				
		Transformador Mora 5 [kVA]	3	\$ 897.000	\$ 2.691.000
		ITM 20 [A]	3	\$ 4.000	\$ 12.000
		Poste de eucalipto impregnado 9[m]	3	\$ 25.000	\$ 75.000
		Total, Categoría			\$ 2.778.000
		Malla de tierra	1	\$ 500.000	\$ 500.000
		Total, Sistema			\$ 10.078.000
Distribución					
	Conductor				
		Conductor Acero Galvanizado 9,4 [mm ²] x [km]	30	\$ 100.000	\$ 3.000.000
		Desconectador-Fusible T x 1 [A]	3	\$ 10.000	\$ 30.000
		Total, Categoría			\$ 3.030.000
	Postación				
		Poste de eucalipto impregnado 9[m]	300	\$ 25.000	\$ 7.500.000
		Aisladores	300	\$ 1.000	\$ 300.000
		Total, Categoría			\$ 7.800.000
	Transformadores				
		Transformador Mora 1,5 [kVA]	9	\$ 480.000	\$ 4.320.000
		Desconectador-Fusible K x 1 [A]	9	\$ 10.000	\$ 90.000
		Mallas de Tierra	9	\$ 100.000	\$ 900.000
		Total, Categoría			\$ 5.310.000

	Consumos				
		Empalme	9	\$ 30.000	\$ 270.000
		Equipo de Medida	9	\$ 15.000	\$ 135.000
		ITM 10 [A]	9	\$ 5.000	\$ 45.000
		Instalación eléctrica domiciliaria	9	\$ 100.000	\$ 900.000
		Total, Categoría			\$ 1.350.000
		Total, Sistema			\$ 17.490.000
Obras Civiles					
		Caseta de maquina 25 m^2		\$ 3.000.000	\$ 3.000.000
		Caseta de maquina 12 m^2		\$ 1.440.000	\$ 1.440.000
		Cimientos de hormigón para torre	2	\$ 350.000	\$ 700.000
		Cimientos de hormigón estructura FV	4	\$ 250.000	\$ 1.000.000
		Cercado exterior 700 [m^2]		\$ 1.400.000	\$ 1.400.000
		Cercado interior 25 [m^2]		\$ 50.000	\$ 50.000
		Total, Obras Civiles			\$ 7.590.000
		Total, Inversión (equipamiento y materiales)			\$ 55.466.160
Mano de Obra					
	Calificada				

		Jefatura de Ingeniería	1	\$ 1.120.000	\$ 4.480.000
		Jefatura de Obras (civiles)	1	\$ 840.000	\$ 840.000
		Jefatura Obras (Eléctricas)	1	\$ 840.000	\$ 2.520.000
		Prevención de Riesgos	1	\$ 700.000	\$ 2.800.000
		Instaladores/Técnicos Electricistas	3	\$ 600.000	\$ 5.400.000
		Técnicos Obras civiles	2	\$ 600.000	\$ 1.200.000
		Total, Mano de Obra calificada			\$ 17.240.000
	No Calificada				
		Jornal ayudante obras civiles	5	\$ 420.000	\$ 2.100.000
		Jornal Ayudante eléctrico	5	\$ 420.000	\$ 6.300.000
		Bodeguero y logística	1	\$ 420.000	\$ 1.680.000
		Total, Mano de Obra No calificada			\$ 10.080.000
		Total, Mano de Obra			\$ 27.320.000
Transporte y estadía					
		Arriendo Camioneta 4x4	1	\$ 1.800.000	\$ 7.200.000
		Camión de transporte	1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
		Pasajes personal calificado	9	\$ 250.000	\$ 2.250.000
		Viáticos y estadía del personal	9	\$ 980.000	\$ 22.540.000
		Total, Transporte y estadía			\$ 33.990.000
Importaciones					
	(* equipo importado)				

		Transporte marítimo		\$ 3.000.000	3.000.000,00
		Seguros de importación sobre el valor		2%	\$ 542.163,20
		Honorarios de importación sobre el valor		1%	\$ 271.082
		Total, gastos de Importación			\$ 3.813.244,80
		Costos Directos Totales			\$ 120.589.405
		Imprevistos		2%	\$ 2.411.788
		Otros Gastos Generales		2%	\$ 2.411.788
		Valor Neto de los Costos			\$ 125.412.981
		IVA		19%	\$ 23.828.466
		VALOR TOTAL (IVA incluido)			\$ 149.241.447
		Valor total por hogar			\$ 16.582.383
		Valor por [kW] instalado			\$ 9.949.430

Tabla 20: Presupuesto de la propuesta de proyecto. Elaboración propia.

Anexo E. Flujos de Costos

Los flujos de costos en un horizonte de 20 año, en cada comunidad estudiada para la evaluación social de proyecto

Flujo de Costos de Acovinto																					
Costos/Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Operación		\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000
Mantenimiento Pre-proyecto	\$ 29.610.000																				
Ing. De detalle	\$ 15.134.000																				
Inversión	\$ 98.359.603																				
Reposición de equipos													\$ 3.639.409								
Valor Residual																					-\$ 5.464.000
Ingresos Tarifarios		-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000
Flujo de Costos	\$ 143.103.603	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 10.508.412	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 6.869.003	\$ 1.405.003

Tabla 21: Flujo de costos para el proyecto en la comunidad de Acovinto. Elaboración propia.

Flujo de Costos de Caleta Obispio y Las Araucarias																					
Costos/Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Operación		\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000
Mantenimiento Pre-proyecto	\$ 29.610.000																				
Ing. De detalle	\$ 15.134.000																				
Inversión	\$ 112.872.042																				
Reposición de equipos													\$ 4.601.588								
Valor Residual																					-\$ 11.093.232
Ingresos Tarifarios		-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000
Flujo de Costos	\$ 157.616.042	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	\$ 12.921.835	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	\$ 8.320.247	-\$ 2.772.985

Tabla 22: Flujo de costos para el proyecto en las comunidades de Caleta Obispio y Las Araucarias. Elaboración propia.

Flujo de Costos de Alto Mañilhue																					
Costos/Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Operación		\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000	\$ 6.528.000
Mantención		\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346	\$ 4.592.346
Pre-proyecto	\$ 29.610.000																				
Ing. De detalle	\$ 15.134.000																				
Inversión	\$ 119.273.034																				
Reposición de equipos													\$ 4.601.588								
Valor Residual																					-\$ 25.082.596
Ingresos Tarifarios		-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000	-\$ 2.160.000
Flujo de Costos	\$ 164.017.034	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	\$ 13.561.934	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	\$ 8.960.346	-\$ 16.122.250

Tabla 23: Flujo de costos para el proyecto en la comunidad de Alto Mañilhue. Elaboración propia.

Anexo F. Diagrama General de Conexión del Sistema Completo

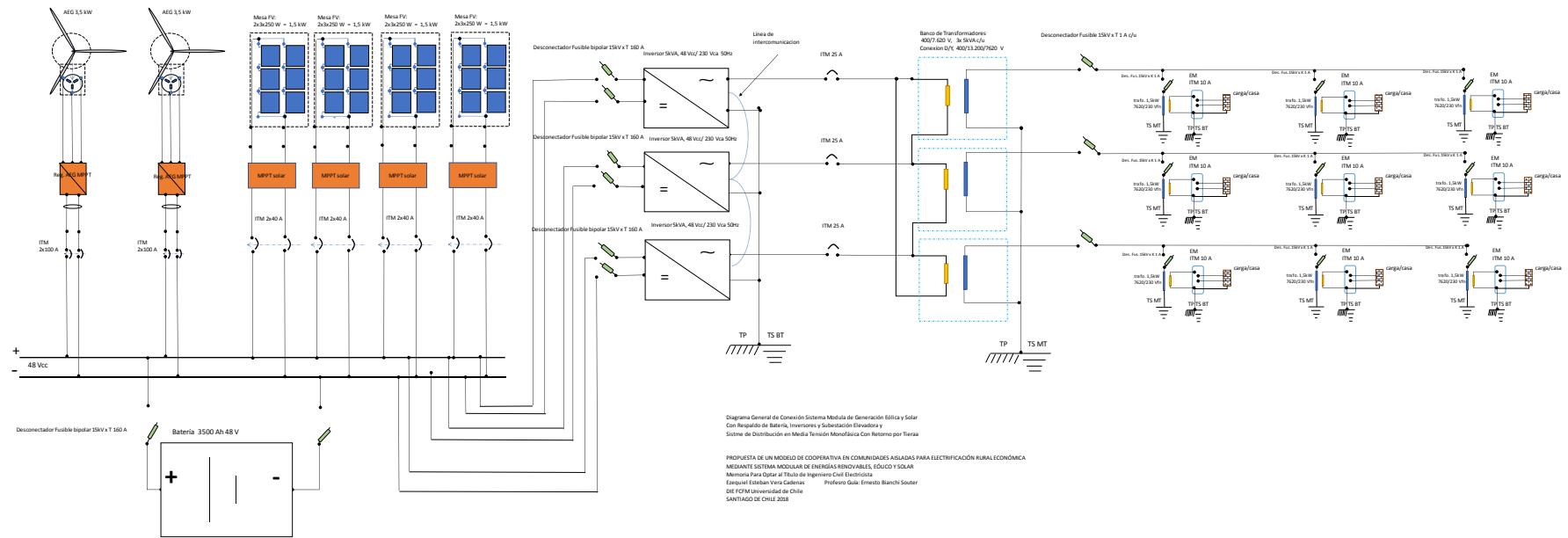


Ilustración 51: Diagrama general de conexiones de los sistemas de generación, acumulación, transformación y distribución propuestos. Elaboración propia