



**ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO
CONECTADO A RED Y AUTÓNOMO PARA LA EMISORA, CORPORACIÓN
RADIAL VOZ DEL LAGO**

MANUEL ALEJANDRO AGUIRRE PEREZ
CÓDIGO 21131624949

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA
TUNJA, COLOMBIA
2022

**ANÁLISIS DE LA VIABILIDAD DE UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO
CONECTADO A RED Y AUTÓNOMO PARA LA EMISORA, CORPORACIÓN
RADIAL VOZ DEL LAGO**

MANUEL ALEJANDRO AGUIRRE PEREZ

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO ELECTROMECÁNICO

DIRECTOR (A):
PhD, FABIAN MAURICIO LEÓN VARGAS
CODIRECTOR
PhD, NAIRO JOSÉ CAVIELES ROJAS

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
ENERGÍAS
GRUPO DE INVESTIGACIÓN:
REM

UNIVERSIDAD ANTONIO NARIÑO
PROGRAMA INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA, ELECTRÓNICA Y BIOMÉDICA
TUNJA, COLOMBIA
2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado
_____,
Cumple con los requisitos para optar
Al título de _____.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

(Lema)

La inteligencia consiste no solo en el conocimiento, sino también en la destreza de aplicar los conocimientos en la práctica.

Aristóteles

AGRADECIMIENTOS

Dar gracias a mi madre y esposa, quienes con su apoyo y comprensión siempre han estado presentes en los buenos y malos momentos no solo durante el transcurso de mi proceso académico, sino también en las dificultades que la vida y las circunstancias me presentan día a día. De igual manera dar las gracias a todos y cada uno de los docentes que hicieron parte de este proceso de formación y a las personas que de una u otra forma también hicieron parte de este. Gracias por hacer parte de esta meta cumplida.

CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	16
ABSTRACT	17
INTRODUCCIÓN	18
OBJETIVOS	24
<hr/>	
1. MARCO TEÓRICO	27
<hr/>	
1.1 ENERGÍAS RENOVABLES	27
<hr/>	
1.2 TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES.....	27
1.2.1 Energía solar.....	27
<hr/>	
1.3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA	28
1.3.1 Efecto fotoeléctrico	29
1.3.2 Efecto fotovoltaico	29
1.3.3 Semiconductor.....	29
1.3.4 Celda fotovoltaica	29
1.3.5 Radiación solar	30
1.3.6 Tipos de radiación solar.....	31
1.3.6.1 Radiación solar directa	31
1.3.6.2 Radiación solar difusa	31
1.3.6.3 Radiación solar reflejada o de albedo	31
1.3.6.4 Radiación solar global	31
1.3.7 Unidades de radiación solar	32
1.3.7.1 Irradiancia.....	32
1.3.7.2 Irradiación.....	32
1.3.8 Hora-solar-pico.	32
<hr/>	
1.4 CONCEPTOS ELÉCTRICOS BÁSICOS.....	33
1.4.1 Corriente eléctrica.....	33
1.4.1.1 Corriente continua	33
1.4.1.2 Corriente alterna.....	33
1.4.2 Tensión eléctrica.....	33

1.4.3	Potencia eléctrica	34
1.4.4	Circuito eléctrico	34
1.4.4.1	Circuito serie	34
1.4.4.2	Circuito paralelo.....	34
1.4.4.3	Circuito serie-paralelo o mixto	35
<hr/>		
1.5	SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS.....	35
1.5.1	Tipos de sistemas solares fotovoltaicos.....	36
1.5.1.1	Sistema solar fotovoltaico conectado a red (On-Grid)	36
1.5.1.2	Sistema solar fotovoltaico aislado (Off-Grid)	37
<hr/>		
1.6	PRINCIPALES COMPONENTES QUE CONFORMAN UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	39
1.6.1	Panel solar o modulo fotovoltaico	39
1.6.2	Acumulador o batería.....	41
1.6.3	Regulador de carga	43
1.6.4	Inversor.....	43
<hr/>		
1.7	MANTENIMIENTO EN INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS.....	44
<hr/>		
1.8	INCLINACIÓN MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	44
<hr/>		
1.9	RADIODIFUSIÓN SONORA	45
1.9.1	Emisora de radio.....	45
1.9.2	Cabina de radio.....	46
1.9.3	Estación transmisora	46
<hr/>		
2	DISEÑO METODOLÓGICO.....	47
<hr/>		
2.1	PRIMERA ETAPA.....	47
<hr/>		
2.2	SEGUNDA ETAPA	47
<hr/>		
2.3	TERCERA ETAPA	48
2.3.1	Dimensionamiento sistema solar fotovoltaico On-Grid	48
2.3.1.1	Hora-solar-pico.....	48
2.3.1.2	Potencia fotovoltaica generada	48
2.3.1.3	Número de paneles solares.....	49

2.3.1.4 Selección del inversor	49
2.3.2 Dimensionamiento sistema solar fotovoltaico Off-Grid	50
2.3.2.1 Hora-solar-pico y número de paneles solares	50
2.3.2.2 Voltaje del sistema	50
2.3.2.3 Dimensionamiento regulador de carga	51
2.3.2.4 Dimensionamiento banco de baterías	51
2.3.2.5 Selección inversor	53
<hr/>	
2.4 CUARTA ETAPA	53
2.4.1 Costo de energía (kWh) generada por los sistemas solares fotovoltaicos..	53
2.4.2 Periodo de recuperación de la inversión.....	54
2.4.3 Relación de rendimiento	54
<hr/>	
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	56
<hr/>	
3.1 COORDENADAS GEOGRÁFICAS Y RECURSO SOLAR.....	56
3.1.1 Coordenadas geográficas cabina de radio	56
3.1.2 Coordenadas geográficas estación transmisora.....	57
3.1.3 Recurso solar cabina de radio y estación transmisora	58
<hr/>	
3.2 CONSUMO ENERGÍA CABINA DE RADIO Y ESTACIÓN TRANSMISORA..	61
3.2.1 Demanda de energía cabina de radio	62
3.2.2 Demanda de energía estación transmisora.....	62
<hr/>	
3.3 DISEÑO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ON-GRID Y OFF-GRID	63
3.3.1 Cálculo hora-solar-pico	64
3.3.2 Selección panel solar.....	64
3.3.3 Cálculo conductores	65
3.3.4 Diseño sistema solar fotovoltaico On-Grid cabina de radio	68
3.3.4.1 Cálculo potencia fotovoltaica.....	68
3.3.4.2 Cálculo número de paneles solares	68
3.3.4.3 Selección inversor de corriente	68
3.3.4.4 Cálculo conductor tramo en DC a la entrada del inversor	69
3.3.4.5 Cálculo conductor tramo en AC a la salida del inversor a cargas	70
3.3.4.6 Esquema	71
3.3.4.7 Costo de equipos y materiales	72
3.3.5 Diseño sistema solar fotovoltaico Off-Grid cabina de radio	73
3.3.5.1 Cálculo potencia AC	73

3.3.5.2	Selección voltaje del sistema	73
3.3.5.3	Cálculo potencia fotovoltaica.....	74
3.3.5.4	Cálculo número de paneles solares	74
•	Cálculo número de paneles en serie.....	74
•	Cálculo número de paneles en paralelo.....	74
3.3.5.5	Selección regulador de carga	75
3.3.5.6	Cálculo banco de baterías.....	76
3.3.5.7	Selección inversor de corriente	77
3.3.5.8	Cálculo conductor tramo en DC a la entrada del regulador.....	78
3.3.5.9	Cálculo conductor tramo en DC regulador-banco de baterías.....	79
3.3.5.10	Cálculo conductor tramo en DC banco de baterías-inversor.....	80
3.3.5.11	Cálculo conductor tramo en AC inversor a cargas	81
3.3.5.12	Esquema	82
3.3.5.13	Costo de equipos y materiales	83
3.3.6	Diseño sistema solar fotovoltaico On-Grid estación transmisora.....	84
3.3.6.1	Cálculo potencia fotovoltaica.....	84
3.3.6.2	Cálculo número de paneles solares	84
3.3.6.3	Selección inversor de corriente	84
3.3.6.4	Cálculo conductor tramo en DC a la entrada del inversor	85
3.3.6.5	Cálculo conductor tramo en AC a la salida del inversor a cargas	86
3.3.6.6	Esquema	88
3.3.6.7	Costo de equipos y materiales	88
3.3.7	Diseño sistema solar fotovoltaico Off-Grid estación transmisora.....	89
3.3.7.1	Cálculo potencia AC.....	89
3.3.7.2	Selección voltaje del sistema	89
3.3.7.3	Cálculo potencia fotovoltaica.....	90
3.3.7.4	Cálculo número de paneles solares	90
•	Cálculo número de paneles en serie.....	90
•	Cálculo número de paneles en paralelo.....	90
3.3.7.5	Selección regulador de carga	91
3.3.7.6	Cálculo banco de baterías.....	92
3.3.7.7	Selección inversor de corriente	93
3.3.7.8	Cálculo conductor tramo en DC a la entrada del regulador.....	94
3.3.7.9	Cálculo conductor tramo en DC regulador-banco de baterías.....	95
3.3.7.10	Cálculo conductor tramo en DC banco de baterías-inversor.....	96
3.3.7.11	Cálculo conductor tramo en AC inversor a cargas	97
3.3.7.12	Esquema	98
3.3.7.13	Costo de equipos y materiales	99

3.3.8	Orientación paneles solares cabina de radio y estación transmisora	100
3.3.9	Inclinación paneles solares cabina de radio y estación transmisora.....	100
3.3.9.1	Inclinación óptima paneles cabina de radio.....	100
3.3.9.2	Inclinación óptima paneles estación transmisora	101
<hr/>		
3.4	ANÁLISIS ECONÓMICO	101
3.4.1	Análisis económico cabina de radio sistema solar FV On-Grid	103
3.4.1.1	Costo nivelado de energía LCOE	103
3.4.1.2	Periodo de recuperación de la inversión	104
3.4.1.3	Relación de rendimiento.....	104
3.4.2	Análisis económico cabina de radio sistema solar FV Off-Grid	104
3.4.2.1	Costo nivelado de energía LCOE	105
3.4.2.2	Periodo de recuperación de la inversión	105
3.4.2.3	Relación de rendimiento.....	106
3.4.3	Análisis económico estación transmisora sistema solar FV On-Grid.....	106
3.4.3.1	Costo nivelado de energía LCOE	106
3.4.3.2	Periodo de recuperación de la inversión	107
3.4.3.3	Relación de rendimiento.....	107
3.4.4	Análisis económico estación transmisora sistema solar FV Off-Grid.....	107
3.4.4.1	Costo nivelado de energía LCOE	108
3.4.4.2	Periodo de recuperación de la inversión	109
3.4.4.3	Relación de rendimiento.....	109
<hr/>		
3.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	109
<hr/>		
	CONCLUSIONES.....	114
<hr/>		
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
<hr/>		
	Anexo A. Ficha técnica panel solar	122
	Anexo B. Ficha técnica inversor, On-Grid	124
	Anexo C. Ficha técnica conductores	125
	Anexo D. Ficha técnica regulador de carga	128
	Anexo E. Ficha técnica baterías.....	132
	Anexo F. Ficha técnica inversor, sistema Off-Grid cabina de radio.....	135
	Anexo G. Ficha técnica inversor, sistema Off-Grid estación transmisora.....	137

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Tipos de radiación solar.	32
Figura 2. Sistema solar fotovoltaico On-Grid.....	37
Figura 3. Sistema solar fotovoltaico Off-Grid.....	38
Figura 4. Partes de un panel solar.	40
Figura 5. Coordenadas geográficas cabina de radio.....	56
Figura 6. Ubicación emisora.....	57
Figura 7. Coordenadas geográficas estación transmisora	57
Figura 8. Ubicación estación transmisora	58
Figura 9. Esquema de conexión sistema solar FV On-Grid, cabina de radio	72
Figura 10. Esquema de conexión sistema solar FV Off-Grid, cabina de radio	83
Figura 11. Esquema de conexión sistema solar FV On-Grid, estación transmisora	88
Figura 12. Esquema de conexión sistema solar FV Off-Grid, estación transmisora	99

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Niveles de tensión más comunes empleados en sistemas fotovoltaicos Off-Grid.	51
Tabla 2. Coordenadas geográficas, cabina de radio y estación transmisora.	58
Tabla 3. Datos irradiación, cabina de radio y estación transmisora base de datos PVGIS.	59
Tabla 4. Datos irradiación, cabina de radio y estación transmisora base de datos NASA.	60
Tabla 5. Datos irradiación PVGIS, NASA e IDEAM cabina de radio y estación transmisora.....	61
Tabla 6. Consumo de energía en cabina de radio.....	62
Tabla 7. Consumo de energía en estación transmisora	63
Tabla 8. Principales características panel solar, CSun 370-72M.	65
Tabla 9. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la entrada del inversor, sistema solar FV On-Grid cabina de radio.	69
Tabla 10. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la salida del inversor, sistema solar FV On-Grid cabina de radio.....	71
Tabla 11. Costo de equipos y materiales sistema On-Grid cabina de radio.....	73
Tabla 12. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la entrada del regulador, sistema solar FV Off-Grid cabina de radio.....	78
Tabla 13. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor en el tramo regulado-banco de baterías, sistema solar FV Off-Grid cabina de radio.....	79
Tabla 14. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor en el tramo banco de baterías-inversor, sistema solar FV Off-Grid cabina de radio.....	80
Tabla 15. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la salida de inversor, sistema solar FV Off-Grid cabina de radio.....	81
Tabla 16. Costo de equipos y materiales sistema Off-Grid cabina de radio.....	83
Tabla 17. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la entrada del inversor, sistema solar FV On-Grid estación transmisora.	86
Tabla 18. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la salida del inversor, sistema solar FV On-Grid estación transmisora.	87
Tabla 19. Costo de equipos y materiales sistema On-Grid estación transmisora.	89
Tabla 20. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la entrada del regulador, sistema solar FV Off-Grid estación transmisora.	94

Tabla 21. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor en el tramo regulador-banco de baterías, sistema solar FV Off-Grid estación transmisora.	95
Tabla 22. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor en el tramo banco de baterías-inversor, sistema solar FV Off-Grid estación transmisora.	96
Tabla 23. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la salida de inversor, sistema solar FV Off-Grid estación transmisora.	97
Tabla 24. Costo de equipos y materiales sistema Off-Grid estación transmisora.	99
Tabla 25. Variables para el análisis económico cabina de radio sistema solar fotovoltaico On-Grid.	103
Tabla 26. Variables para el análisis económico cabina de radio sistema solar fotovoltaico Off-Grid.	105
Tabla 27. Variables para el análisis económico sistema solar fotovoltaico On-Grid estación transmisora.	106
Tabla 28. Variables para el análisis económico sistema solar fotovoltaico Off-Grid estación transmisora.	108
Tabla 29. Equipos que conforman los diseños de los sistemas solares FV, On-grid y Off-grid cabina de radio	111
Tabla 30. Equipos que conforman los diseños de los sistemas solares FV, On-grid y Off-grid estación transmisora.....	112

ABREVIATURAS TÉCNICAS

Abreviatura	Definición
FV	Foto voltaico
DC	Corriente continua
AC	Corriente alterna
kWh	Kilovatio hora
LCOE	Costo nivelado de energía

ABREVIATURAS

Abreviatura	Definición
ACPM	Aceite Combustible Para Motores
HSP	Hora-Solar-Pico
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio
PVGIS	Sistema de Información Geográfica Fotovoltaica
UPME	Unidad de Planeamiento Minero Energético
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
GEI	Gases de Efecto Invernadero
FNCER	Fuentes No Convencionales de Energía Renovables
PEN	Plan Energético Nacional
OMN	Organización Meteorológica Mundial
AM	Masa de Aire
STC	Condiciones estándar de ensayo
CREG	Comisión Reguladora de Energía y Gas
UV	Ultravioleta
TRM	Tasa de cambio Representativa del Mercado

RESUMEN

La energía solar puede ser aprovechada a través de instalaciones fotovoltaicas que provean una alternativa de energía eléctrica más amigable con el ambiente y potencialmente rentable en el largo plazo. En este trabajo de grado se analiza la viabilidad de un sistema solar fotovoltaico On-Grid y Off-Grid para la Corporación Radial Voz del Lago, emisora comunitaria que presta sus servicios radiales a la comunidad del municipio de Aquitania en el departamento de Boyacá. En ocasiones la estación transmisora de la emisora queda fuera de funcionamiento debido a fallas en el suministro eléctrico y no cuentan con un sistema de respaldo que supla la demanda de energía, por su parte en la cabina de radio la principal necesidad radica en la disminución del costo de la factura de energía; por esta razón, se analizan en total cuatro sistemas solares fotovoltaicos, un sistema solar FV On-Grid y Off-Grid para la cabina de radio y un sistema solar fotovoltaico On-Grid y Off-Grid para la estación transmisora. Se determina el recurso solar para las ubicaciones de interés analizando tres bases de datos, a partir de las cuales se obtiene el valor de $4,05 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$, posteriormente se estima la demanda de energía eléctrica aproximada de la cabina de radio la cual se establece en 7,83 kWh/día, y 8,88 kWh/día para la estación transmisora. Con lo anterior, se procede a realizar el diseño de los sistemas solares fotovoltaicos On-Grid y Off-Grid, seguido de un análisis económico para determinar la viabilidad de cada uno. Los resultados demuestran que los dos tipos de sistemas analizados, resultan viables económicamente para los propietarios de la emisora, ya que el costo de la energía generada a partir de estos, es menor que el costo de la energía convencional. Así mismo, el periodo de recuperación de la inversión para la cabina de radio a partir del sistema solar fotovoltaico conectado a red se daría en 4 años, y 14 años a partir del sistema solar FV autónomo, en cuanto a la estación transmisora esta recuperación de la inversión sería en 3 años para el sistema solar fotovoltaico conectado a red y para el sistema solar FV autónomo sería de 14 años.

Palabras clave: (Energía solar fotovoltaica, sistema solar fotovoltaico On-Grid, sistema solar fotovoltaico Off-Grid, Radio comunitaria).

ABSTRACT

Solar energy can be harnessed through photovoltaic installations that provide a more environmentally friendly and potentially cost-effective power alternative in the long run. This degree study analyzes the feasibility of an On-Grid and Off-Grid photovoltaic system for the Voz del Lago Radio Corporation, a community radio station that provides radio services to the community of the municipality of Aquitaine in the department of Boyacá. Sometimes the transmitter station of the station is out of operation due to power failures and do not have a backup system to meet the demand for energy, For its part in the radio cabin the main need lies in the decrease in the cost of the energy bill; for this reason, we analyze in total four photovoltaic solar systems, a solar PV system On-Grid and Off-Grid for the radio cabin and an On-Grid and Off-Grid solar photovoltaic system for the transmitter station. Determine the solar resource for the locations of interest by analyzing three databases, from which the value of $4.05 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ is obtained, then estimated the approximate electrical energy demand of the radio cabin which is set at 7,83 kWh/día, and 8.88 kWh/día for the transmitter station. With the above, the design of the solar photovoltaic systems On-Grid and Off-Grid, followed by an economic analysis to determine the viability of each. The results show that the two types of systems analyzed are economically viable for the owners of the station, since the cost of energy generated from them is lower than the cost of energy conventionally. Likewise, the payback period for the radio cabin from the grid-connected photovoltaic solar system would occur in 4 years, and 14 years from the autonomous PV solar system, Regarding the transmitter station this recovery of the investment would be in 3 years for the solar photovoltaic system connected to grid and for the solar system autonomous PV would be of 14 years.

Keywords: (Solar photovoltaic energy, On-Grid solar photovoltaic system, Off-Grid solar photovoltaic system, Community radio).

INTRODUCCIÓN

El sol emite una cantidad de energía, tal que en una hora la tierra puede llegar a recibir la energía necesaria para suplir la demanda de un año a nivel mundial. Esta energía llega al planeta en forma de radiación solar, la cual al ingresar a la atmósfera se descompone en: radiación directa, radiación difusa y radiación de albedo o reflejada [1]. Un sistema solar fotovoltaico es un conjunto de componentes eléctricos y electrónicos que generan energía eléctrica, a partir de la radiación solar. El principal componente de estos sistemas es el módulo fotovoltaico o panel solar. Los sistemas FV se pueden clasificar en: conectados a red (On-Grid) en estos sistemas la energía generada tiene que ser consumida de inmediato porque no se almacena, autónomos (Off-Grid) la energía generada es almacenada en baterías o acumuladores para luego ser consumida, por la carga que se encuentre conectada al sistema [2].

Gracias a la posición geográfica que posee Colombia en la mayoría de su territorio se dispone de un buen recurso solar (radiación solar), la cual se puede aprovechar para el desarrollo de proyectos de energías renovables, especialmente la solar fotovoltaica [3]. El departamento de Boyacá conformado por 123 municipios perteneciente a la región andina, se encuentra ubicado en el centro oriente del país y lo atraviesa la cordillera oriental [4]. La radiación solar en el departamento es variable puede ir de $3,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ a $4,0 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ día y llegar en algunas zonas $5,0 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ y $5,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ día [5].

El municipio de Aquitania, ubicado en la cordillera oriental y perteneciente a la provincia de Sugamuxi, se encuentra a una altitud media de 3030 m.s.n.m, su temperatura promedio se halla alrededor de los 10 °C [6]. La radiación solar en el municipio está comprendida entre $4,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ y $5,0 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ día, dato tomado del atlas interactivo de radiación solar del IDEAM [5].

En Colombia la radiodifusión sonora ha contribuido al desarrollo del país en ámbitos como la política, lo social y lo cultural. La radio comunitaria tiene como objetivo principal fomentar el desarrollo de las comunidades donde se encuentren [7]. La Corporación Radial Voz del Lago emisora comunitaria, ubicada en el municipio de Aquitania en el departamento de Boyacá, inicia su emisión en el año de 1972 realizando su primera transmisión al aire pero al poco tiempo tiene que ser apagada para nuevamente en el año 1979 iniciar su radiodifusión sonora hasta el día de hoy,

prestando su servicio a la comunidad, informando y brindando entretenimiento a través de su difusión sonora con programación musical que acompaña al campesino día a día en sus labores. Igualmente, la emisora realiza su aporte a la cultura del municipio por medio de los programas sociales que emite.

En el presente documento para facilitar su comprensión, así como el análisis técnico realizado. Se divide la emisora en dos locaciones de estudio: cabina de radio y estación transmisora.

Las estaciones transmisoras de cualquier emisora, por lo general se ubican en zonas rurales debido a aspectos técnicos y normativos. Para la estación transmisora de la emisora Corporación Radial Voz del Lago el suministro de energía eléctrica en ocasiones se vuelve deficiente, ya que en temporada de verano los sistemas de riego para cultivos que se encuentran a los alrededores de la estación, operan con mayor frecuencia estos equipos de riego operan con electrobombas lo que ocasiona una sobrecarga a la red eléctrica de la vereda, dando origen a fallas en el suministro eléctrico causando que la emisora quede fuera de funcionamiento, ya que en este caso la estación no cuenta con un sistema de respaldo que supla la demanda de energía eléctrica que requiere. Mientras que para la cabina de radio la principal necesidad radica en la disminución del costo de la factura de energía.

Por las razones antes mencionadas se realiza un análisis para determinar la viabilidad de un sistema solar fotovoltaico On-Grid y Off-Grid, para la emisora Corporación Radial Voz del Lago. Analizando un sistema fotovoltaico conectado a red y autónomo para la cabina de radio, ubicada en la cabecera municipal, lugar donde se realiza la producción y programación de la emisora, del mismo modo se analiza un sistema fotovoltaico conectado a red y autónomo para la estación transmisora, ubicada en la Vereda Cajón cuarto mal paso. El suministro de energía eléctrica que requiere la emisora para su funcionamiento es el que demandan los diferentes equipos necesarios para la radiodifusión sonora.

El alcance del presente trabajo corresponde a la realización del diseño de un sistema solar fotovoltaico On-Grid y Off-Grid para dos locaciones (cabina de radio y estación transmisora), ubicaciones que conforman la emisora Corporación Radial Voz del Lago. Para tal fin se desarrolla punto a punto el dimensionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos mencionados anteriormente. Por medio del análisis de datos se determina el recurso solar disponible, así como la demanda energética de cada ubicación, de igual modo, se realizan los cálculos necesarios para conocer la cantidad y las especificaciones técnicas de cada componente que conforman

dichos sistemas. Posteriormente se realiza un análisis económico para determinar la viabilidad de cada sistema solar fotovoltaico diseñado, finalizando con el análisis de resultados y las respectivas conclusiones.

Los resultados esperados con el desarrollo del presente estudio, corresponde a un documento técnico donde se analizan dos tipos de sistemas solares fotovoltaicos (On-Grid y Off-Grid), como parte de dicho documento anexa toda la documentación técnica a que haya lugar (fichas técnicas de los equipos que conforman los sistemas solares FV diseñados). Igualmente, el documento incluye un análisis donde se conoce el potencial energético solar y la demanda de energía eléctrica de cada ubicación en estudio, el número de módulos fotovoltaicos, regulador de carga, banco de baterías y se selecciona el inversor de corriente. Así mismo, se realiza un análisis económico para los sistemas solares fotovoltaicos propuestos, con la finalidad de conocer el costo y la viabilidad económica que presenta cada sistema solar fotovoltaico para los propietarios de la emisora Corporación Radial Voz del Lago.

Las limitaciones correspondientes al desarrollo de este trabajo están relacionadas con la posible imprecisión de los datos de irradiación solar, ya que estos se obtienen de bases de datos que proporcionan esta información, lo que podría ocasionar una variación en los cálculos realizados, si se comparara con datos recolectados in-situ. Otra limitación corresponde a la escasa casi nula literatura sobre sistemas solares fotovoltaicos On-Grid y Off-Grid para cabinas de radio y estaciones transmisoras de radiodifusión sonora.

Los beneficiarios directos del presente estudio, corresponde a los propietarios de la emisora Corporación Radial Voz del Lago.

ANTECEDENTES

A continuación, se muestra el resultado de la revisión bibliográfica que se realizó para este trabajo de grado, en donde se citan los estudios con mayor similitud al que se plantea en este documento, para el diseño de un sistema solar fotovoltaico Off-Grid.

Sonia Muñoz Abelairas, en su tesis realiza el diseño de un sistema solar fotovoltaico con el fin de cubrir la demanda de energía eléctrica, que requiere para su funcionamiento una estación base (BTS) ubicada en Valmuel, Teruel España. Sonia Muñoz realiza una descripción de cada componente que conforma una instalación solar fotovoltaica aislada, igualmente dimensiona la instalación teniendo en cuenta: la carga a cubrir, factores medio ambientales, radiación solar, y coordenadas geográficas. Una de las conclusiones que arrojó este trabajo hace referencia, a que la inversión inicial es elevada pero que se puede contrarrestar con el bajo costo de operación y mantenimiento, de igual manera, se hace una gran contribución al medio ambiente ya que no se generarían emisiones de CO₂ a la atmósfera [8].

Cesar Iván Guevara Sempertegui, en su tesis de grado analiza la viabilidad de un sistema solar fotovoltaico para una estación base de celular ubicada en el caserío Santa Rosa-Salique-Jaen-Cajamarca, en el Perú. El autor diseña una instalación solar fotovoltaica autónoma, calcula y dimensiona cada componente del sistema, llegando a las siguientes cantidades 32 módulos fotovoltaicos, dos controladores de carga, 16 baterías y un inversor de corriente. El autor concluyó que es un proyecto viable, el cual tendrá un retorno de la inversión de 3 años y 6 meses, además observa que según la fuente o la base de datos que se utilice para obtener el dato de radiación solar, está puede variar considerablemente lo que afectará el resultado de los cálculos realizados [9].

Luis Gabriel Amezquita Pardo, en su trabajo de grado, realiza el diseño de un sistema de energía renovable, híbrido (solar-eólico) con el fin de suplir la demanda energética de una estación de telecomunicaciones del Ejército Nacional de Colombia. El diseño tiene como objetivo eliminar al máximo la dependencia de combustibles fósiles (ACPM) y garantizar el funcionamiento de esta estación base, ya que por cuestiones logísticas en la llegada del combustible, está queda fuera de funcionamiento, el recurso solar en la ubicación del proyecto presenta un valor de 4

$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$, dato obtenido de la base de datos de la NASA y comparado con datos recopilados por la UPME y el IDEAM [10].

A continuación, se muestra el resultado de la revisión bibliográfica realizada para este trabajo de grado, en donde se citan los estudios o trabajos relacionados con el diseño de sistemas solares fotovoltaicos On-Grid.

En el trabajo tipo tesis de **Victoria Torres Pancorbo**, realiza el diseño de una instalación fotovoltaica conectada a red para una vivienda familiar. El objetivo de la instalación solar fotovoltaica es el autoabastecimiento energético y el excedente inyectarlo a la red eléctrica, la instalación de los módulos fotovoltaicos se proyecta que se realice en el tejado de la vivienda. Victoria estima la demanda de energía de la vivienda, así como el recurso solar con el que se dispone. Para el dimensionamiento del sistema calcula cada componente que conforma un sistema solar conectado a red (número de módulos fotovoltaicos, inversor de corriente y sección transversal de los conductores para cada tramo), una de sus conclusiones hace referencia a que la mayor inversión inicial se daría en la adquisición de los módulos fotovoltaicos y el inversor, respecto al retorno de la inversión lo estima alrededor de 9 o 10 años [11].

Ana Katherine Rodríguez Manrique, (et al.) en su artículo presentan un análisis técnico-económico para el diseño de un sistema solar fotovoltaico conectado a red. Con el fin de cubrir el 100, 70 y 40 por ciento de la demanda de energía eléctrica de tres tipos de viviendas en el municipio de Chía Cundinamarca. La instalación de los paneles solares se realiza en los tejados de cada vivienda, dichos tejados no presentan ninguna inclinación. Establece el valor de la radiación solar en la sabana de Bogotá la cual corresponde a $3,57 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$, posteriormente determinan la demanda de energía de cada tipo de vivienda, con estos datos dimensionan y seleccionan cada equipo que conforman el sistema solar FV On-Grid propuesto. La viabilidad de un proyecto de este tipo, dependerá de la disponibilidad de área para la instalación, ya que es una relación directamente proporcional con la capacidad de generación eléctrica. Se estima que el retorno de la inversión sea a los 7 años y 6 meses [12].

A continuación, se muestra el resultado de la revisión bibliográfica que se realizó para este trabajo de grado, en donde se cita el estudio relacionado con el análisis económico, el cual será empleado como referencia para determinar la viabilidad económica de los sistemas solares fotovoltaicos propuestos en este documento.

Fabián León Vargas, (et al.) en su trabajo tipo artículo estudian la prefactibilidad de sistemas eólicos y solares, para autoabastecimiento residencial en cuatro localidades de Colombia (Bogotá, Cúcuta, Manizales y Pasto). Para obtener los valores de radiación solar, velocidad y dirección del viento instalan una estación meteorológica en la Universidad Antonio Nariño, en las ciudades donde se realizó el estudio. El sistema solar FV se dimensiona para cubrir la demanda mensual de 200 kWh para una vivienda promedio. Para realizar el análisis económico y determinar la prefactibilidad de los sistemas solares fotovoltaicos, calculan los costos nivelados de energía (LCOE), el periodo de recuperación de la inversión y la relación de rendimiento [13].

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una propuesta para autoabastecimiento energético de la emisora Corporación Radial Voz del Lago, a través de un sistema solar fotovoltaico conectado a red y autónomo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar el potencial energético solar (radiación solar), en la ubicación geográfica de la cabina de radio y la estación transmisora de la emisora Corporación Radial Voz del Lago.
- Definir la demanda energética, que requiere la emisora en cada ubicación.
- Diseñar un sistema solar fotovoltaico conectado a red y uno autónomo, que permita suplir la demanda energética de la emisora (cabina de radio y estación transmisora).
- Determinar el periodo de retorno de la inversión de cada una de las configuraciones propuestas.

JUSTIFICACIÓN

En la actualidad la economía depende de un suministro confiable, constante y asequible de electricidad. Pero considerando el cambio climático por el que estamos atravesando esto, está impulsando una transformación en la forma en que se genera electricidad a nivel mundial. En los próximos 25 años se visualiza un crecimiento en la demanda energética global, lo que conlleva a que se aumenten las fuentes de energías renovables como: energía solar fotovoltaica, energía eólica, entre otras; colaborando en la generación de energía eléctrica limpia [14].

El 81% de la energía que se consume en el mundo proviene de fuentes de energía convencionales las cuales emplean combustibles fósiles como, por ejemplo: petróleo, carbón y gas natural. Mientras que sólo un 19% es generado con fuentes renovables como biomasa, energía solar, energía geotérmica, energía eólica y demás. Como consecuencia de la quema de combustibles fósiles que generan gases de efecto invernadero (GEI), algunos países han considerado empezar a migrar a fuentes de energía renovables para contribuir a la disminución del cambio climático. China, Alemania, España y Estados Unidos lideran la capacidad instalada de energía solar [15].

En Colombia cerca del 78% de la demanda energética es generada con fuentes de energía tradicionales las cuales emplean la quema de combustibles fósiles, mientras que un 22% se genera con fuentes renovables. Colombia cuenta con gran disponibilidad de Fuentes No Convencionales de Energía Renovables (FNCER) que aún son poco aprovechadas, si se considera una formidable reducción en el costo que genera el uso e implementación de estas tecnologías [15].

En el país la ley 1715 de 2014 tiene como objetivo incentivar la generación eléctrica diversificando el sistema energético actual a partir de fuentes renovables. Esto con capitales públicos o privados, principalmente en zonas no interconectadas contribuyendo a la sostenibilidad energética del país y aportando al desarrollo económico sostenible, del mismo modo, disminuyendo la emisión de gases de efecto invernadero.

En el plan energético nacional PEN 2020-2050 se pronostica un crecimiento en la demanda energética nacional, este incremento estaría alrededor del 21% o 48% respecto a la demanda energética actual. Por esta razón le apunta a la modernización en la forma en que se genera y se consume la energía eléctrica, las energías renovables (solar, eólica, geotérmica) toman fuerza como unas de las

principales fuentes de generación. Para alcanzar los objetivos del PEN 2020-2050, se examinó la posibilidad de seguir generando con fuentes convencionales e incluir las fuentes no convencionales. Así mismo, se toma en consideración la descentralización de la generación y se contempla la posibilidad de normativizar la generación distribuida. Con lo anterior se apunta al desarrollo energético sostenible del país (UPME).

Según la agencia internacional de la energía (IEA) por sus siglas en inglés, pronosticó un crecimiento para el 2020 del 4% con respecto al 2019 en la generación eléctrica con fuentes renovables, la capacidad instalada fue de 198 *GW* con este tipo de tecnologías. La generación solar fotovoltaica contó con una potencia instalada de 125 *GW* a nivel mundial en el 2020, esto con la construcción de nuevas plantas de generación fotovoltaica. A pesar de la crisis generada por la pandemia, para 2022 se espera que la capacidad fotovoltaica instalada aumente hasta 149 *GW*. Siendo Europa, Estados Unidos, China e India los países que lideran la implementación de tecnologías de generación eléctrica renovable [16].

Por lo anteriormente expuesto y con la realización de este trabajo, se pretende dar a conocer las energías renovables, en especial la solar fotovoltaica a pequeña escala para autoconsumo. Esto con el objetivo de aportar a la disminución de gases de efecto invernadero (GEI) que directa o indirectamente la emisora está contribuyendo a generar y que están dando origen al calentamiento global. Igualmente, se quiere contribuir con el análisis de la viabilidad de un sistema solar fotovoltaico On-Grid y Off-Grid para la emisora Corporación Radial Voz del Lago. Con lo que se quiere la disminución en el costo de la factura de energía y que actúe como sistema de respaldo cuando se presenten fallas en el fluido eléctrico. Con lo anterior se espera que la emisora siga haciendo su contribución a los habitantes del municipio de Aquitania (Boyacá), por medio de la radiodifusión sonora.

1. MARCO TEÓRICO

A continuación, se hará una descripción detallada de las principales temáticas abordadas en el presente trabajo, tales como energías renovables y sus clasificaciones, energía solar fotovoltaica, conceptos eléctricos, tipos de sistemas solares fotovoltaicos y sus componentes, mantenimiento de una instalación solar fotovoltaica, inclinación de los paneles solares y se finaliza este apartado con una explicación de conceptos relacionados con la radiodifusión sonora; el objetivo de exponer dichas temáticas es ilustrar al lector sobre ellas y que de este modo pueda comprender de una mejor manera el desarrollo del proyecto.

1.1 ENERGÍAS RENOVABLES

Se considera energías renovables aquellas que provienen de fuentes naturales, éstas son inagotables y renovables, pueden producir energía de manera ilimitada y limpia. La utilización de las energías renovables empieza con el descubrimiento del fuego por los primeros humanos, ya que para mantenerlo encendido era necesario utilizar hojas secas, pedazos de troncos o alguna grasa animal; esto se podría considerar (Biomasa). Más adelante en la historia se emplea la energía del viento (energía eólica) para mover molinos con estos se podía moler granos de diferentes cereales para obtener harina, de igual manera se empleaba esta energía para bombear agua de pozos profundos.

1.2 TIPOS DE ENERGÍAS RENOVABLES

Contamos con diversas fuentes de energías renovables, cada una con diferentes características ventajas y desventajas. Estas provienen de distintos recursos naturales, algunas de estas son: energía solar, energía eólica, energía mareomotriz, energía geotérmica, energía hidráulica, biomasa.

1.2.1 Energía solar

El Sol se considera una estrella, la cual está a una distancia promedio de la tierra de 150 millones de km; según estudios realizados demuestran que el Sol se mantendrá inalterable por miles de millones de años más, por lo que se puede considerar como una fuente inagotable de energía. Esta estrella es principalmente gas y plasma compuesta por un 71% de hidrógeno, 27% de helio y un 2% de otros gases y metales pesados, en cuanto a su estructura el Sol está formado por síes

regiones (núcleo, zona radiativa, zona convectiva, fotosfera, cromosfera y corona), la temperatura en su superficie puede alcanzar los 5525,85 grados Celsius y la energía que irradia corresponde a $63000 \frac{\text{kW}}{\text{m}^2}$. Cada segundo el Sol convierte 4,4 millones de toneladas de masa en energía, para tener una idea cada gramo de materia solar genera la energía equivalente a 2.5 millones de galones de gasolina durante su combustión. El astro rey como también es conocido provee el 99,7% de la energía empleada en la tierra para la mayoría de los procesos naturales que aquí tienen lugar [17].

La energía solar como su nombre lo indica proviene del sol y llega a nuestro planeta en forma de radiación electromagnética. Puede ser aprovechada en forma de calor, principalmente para la cocción de alimentos y el calentamiento de agua del mismo modo, para generar electricidad de manera indirecta por medio de plantas termoeléctricas o para generación de electricidad de forma directa mediante sistemas solares fotovoltaicos. Como ya se mencionó anteriormente esta fuente de energía renovable se puede llegar a considerar inagotable [18, p. 3].

1.3 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Los comienzos de la energía solar fotovoltaica como fuente de energía renovable se dan con el descubrimiento del efecto fotovoltaico por Alexandre Edmond Becquerel en (1839), luego en (1877) William Grylls Adams y Richard Evans Day, crean la célula fotovoltaica de selenio. Cabe resaltar que en estos descubrimientos la cantidad de electricidad que se llegaba a generar era mínima por ello no se empleaba en ninguna aplicación, más que emplearla en algún propósito lo que se logró demostrar es que se podía llegar a producir energía eléctrica sólo transformando la luz que nos proporciona el sol, a través de materiales semiconductores, en este caso el selenio. Gerald Pearson en (1953) patenta la primera célula fotovoltaica de silicio, gracias a esta invención Daryl Chaplin y Calvin Fuller, perfeccionan la célula fotovoltaica logrando generar electricidad en mayores cantidades para ser empleada en aplicaciones útiles. Debido a estos descubrimientos e invenciones, se da origen a las placas fotovoltaicas o módulos fotovoltaicos que conocemos hoy en día [19].

1.3.1 Efecto fotoeléctrico

El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones al incidir una luz, por lo general ultravioleta (UV) en un metal electropositivo (capaz de ceder electrones), generando un flujo de electrones [20], [21].

1.3.2 Efecto fotovoltaico

El efecto fotovoltaico es un caso puntual del efecto fotoeléctrico. El efecto fotovoltaico se define como la capacidad de un material para absorber fotones (partículas de la luz del sol) [22]. Este efecto se presenta cuando hay una diferencia de potencial entre dos puntos de un mismo material semiconductor, pero con distinto dopaje, generando una corriente eléctrica.

1.3.3 Semiconductor

Los semiconductores son materiales que los podemos encontrar en la naturaleza, los más conocidos por su uso en la industria son el silicio (Si) y el germanio (Ge) aunque también se consideran materiales semiconductores el azufre (S), boro (B) y cadmio (Cd). Estos materiales tienen la capacidad de actuar como conductores eléctricos y permitir el paso de la corriente o pueden actuar como aislantes y no permitir el paso de ésta. Podemos encontrar los semiconductores intrínsecos los cuales se encuentran en la naturaleza en estado puro y los semiconductores extrínsecos de igual manera puros, pero a estos por medio de procesos químicos se le adicionan impurezas (otros materiales) proceso denominado dopaje, los semiconductores extrínsecos son los empleados para la producción de componentes electrónicos [23]. Los semiconductores tipo N y tipo P empleados en la construcción de celdas fotovoltaicas, se logran dopando el material (silicio) en estado puro con fósforo (P) y boro (B) respectivamente.

1.3.4 Celda fotovoltaica

Se considera un dispositivo capaz de convertir la luz del sol compuesta por fotones en electricidad, esto se logra por medio del efecto fotovoltaico. Las celdas están construidas de materiales semiconductores habitualmente de silicio tipo N y silicio tipo P. La función de la celda fotovoltaica consiste en transformar los fotones, en un flujo de electrones generando una corriente eléctrica, esto se da cuando la placa tipo N absorbe los fotones de la luz del sol, ocasionando que se desprendan los

electrones de los átomos del material semiconductor estos quedando libres, en la placa tipo P al ser dopada con boro se genera un hueco para cada átomo. Cuando se une la placa tipo N y la placa tipo P se origina el flujo de electrones desde la zona N a la zona P, para ocupar los huecos de los electrones en los átomos. Las celdas son elaboradas en forma de placas muy delgadas de alrededor de $300\ \mu\text{m}$ de espesor, siendo la lámina tipo N de menor espesor que la tipo P. Una celda fotovoltaica se asemeja en su comportamiento un diodo, posee una terminal positiva o ánodo que corresponde a la zona tipo P y una terminal negativa o cátodo que corresponden a la zona tipo N, siendo esta zona la que está siempre en contacto con la luz. Las celdas son conectadas en serie con el fin de aumentar el voltaje o la tensión y en paralelo para aumentar la corriente, esta corriente generada por las celdas corresponde a corriente continua DC, en cuanto a la potencia que puede llegar a entregar una celda es muy baja y puede estar alrededor de 1 a 2 W [24], [25].

1.3.5 Radiación solar

En el sol en su núcleo se dan constantes reacciones nucleares de fusión que conllevan a una gran liberación de energía. La radiación solar es la energía que emite el sol y se propaga en el espacio en todas direcciones en forma de ondas electromagnéticas, la radiación solar se encarga de dinamizar los procesos atmosféricos y climatológicos del planeta tierra. No toda la radiación solar generada llega a la superficie terrestre, puesto que es absorbida por las nubes, vapor de agua, partículas en suspensión y otra gran parte es dispersada por la capa de ozono ubicada en la estratosfera. Esta energía solar llega a nuestro planeta en forma de radiación electromagnética o luz, la radiación electromagnética se distribuye en un espectro de diversas longitudes de onda, tales como longitud de onda corta (rayos gama) y longitud de onda larga (ondas de radio). El sol emana energía en forma de radiación que se encuentra dentro de la longitud onda corta, distribuida en la banda ultravioleta, visible e infrarroja. Las longitudes de onda corta comprendidas entre $0.25\ \mu\text{m}$ y $4.0\ \mu\text{m}$ son las empleadas en el estudio de las celdas fotovoltaicas, ya que entre menor longitud de onda mayor energía [26].

Cabe mencionar que al aumentar la altura sobre el nivel del mar se disminuye la cantidad de radiación solar específicamente la radiación difusa que incide sobre una superficie, ya que disminuyen las capas (nubes, ozono) que dispersan la radiación solar en la atmósfera [27], pero a su vez al aumentar la elevación sobre el nivel del mar aumenta la cantidad de radiación ultravioleta UV incidente, lo que puede

ocasionar una degradación más temprana del módulo fotovoltaico puesto que es el elemento de la instalación fotovoltaica que está expuesto a esta radiación.

1.3.6 Tipos de radiación solar

Se puede distinguir tres tipos de radiación solar en función de cómo inciden los rayos del sol sobre una superficie.

1.3.6.1 Radiación solar directa

Llega a la superficie terrestre directamente del sol y no presenta ningún cambio de dirección [28].

1.3.6.2 Radiación solar difusa

Se presenta cuando la radiación directa es dispersada o absorbida por la atmósfera como por ejemplo nubes, gases presentes en el ambiente, partículas en suspensión. Ocasionando que esta cambie su dirección [28].

1.3.6.3 Radiación solar reflejada o de albedo

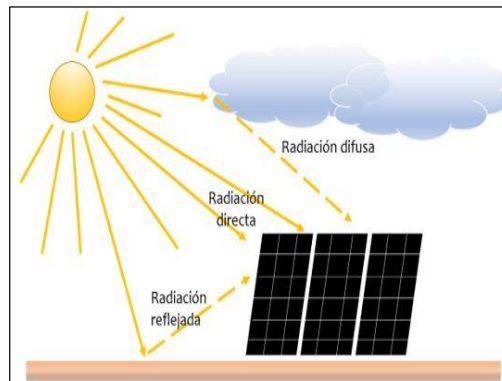
Proviene de superficies que reflejan la radiación como la superficie terrestre, edificaciones, montañas. Proviene de diferentes direcciones [1].

1.3.6.4 Radiación solar global

Agrupar los tres tipos de radiación solar (directa, difusa y reflejada), siendo la suma total de estas. Así mismo, se define como la cantidad de energía que puede llegar a percibir una superficie. Esta cantidad de energía dependerá de la hora del día así como de la ubicación geográfica [29].

La Figura 1 ilustra tres tipos o clases de radiación solar, que se pueden percibir en la superficie terrestre.

Figura 1. Tipos de radiación solar.



Fuente: SUNFIELDS (2015)

1.3.7 Unidades de radiación solar

1.3.7.1 Irradiancia

Se define como la cantidad de radiación solar que se puede llegar a obtener por unidad de área. Es la potencia de la radiación solar que incide sobre una superficie en un instante de tiempo su unidad de medida es $\frac{W}{m^2}$, también se puede formular como $\frac{kW}{m^2}$ [28].

1.3.7.2 Irradiación

Cantidad de energía por unidad de superficie que se recibe en un periodo de tiempo, se expresa en unidades de $\frac{Wh}{m^2}$ o se puede expresar en julios por metro cuadrado $\frac{J}{m^2}$ [28].

La radiación solar es un término que se emplea para generalizar, pero no mide ninguna magnitud, por esta razón se emplean los conceptos irradiancia e irradiación para cuantificar la cantidad de energía solar que llega a la superficie de la tierra [30].

1.3.8 Hora-solar-pico

Las horas solar pico (HSP) son la cantidad de energía que se puede llegar a recibir por unidad de área en un periodo de tiempo, su unidad es $\frac{kWh}{m^2}$. Esta energía que se recibe no es la misma, depende de factores como la ubicación geográfica y de las

condiciones climatológicas del lugar, de igual manera influye la época y el mes del año [31]. Entre más cerca al paralelo del ecuador o línea ecuatorial se puede llegar a percibir más horas solar pico debido a que estas zonas no poseen todas las estaciones del año, solo se cuenta con la estación de verano (temporada seca) e invierno (temporada de lluvia).

1.4 CONCEPTOS ELÉCTRICOS BÁSICOS

1.4.1 Corriente eléctrica

La corriente eléctrica se puede definir como el paso de electrones que transportan una carga a través de un medio conductor por un circuito eléctrico cerrado, los electrones se desplazan del polo negativo al polo positivo de una fuente de tensión [32], su unidad de medida es el amperio (A).

1.4.1.1 Corriente continua

La corriente continua no tiene ninguna variación respecto al tiempo, los electrones siempre se desplazan en la misma dirección, por esta razón el voltaje se mantiene constante. La corriente continua (CC/DC) se puede almacenar en acumuladores o baterías para luego ser empleada cuando se requiera [33].

1.4.1.2 Corriente alterna

La corriente alterna cambia su sentido respecto al tiempo cíclicamente, un sentido o polaridad positivo y un sentido o polaridad negativo, esta corriente alterna (CA/AC) por lo general describe una onda de tipo sinusoidal. Dentro de los principales parámetros que se deben considerar de este tipo de corriente son la frecuencia que corresponde a los ciclos por segundo que la onda se repite, y el otro corresponde a la tensión o voltaje que por lo general debe ser el voltaje RMS o eficaz [33]. Esta corriente es la que se emplea en nuestras viviendas, así como en gran parte de la industria.

1.4.2 Tensión eléctrica

La tensión o voltaje se define como la diferencia de potencial eléctrico que se presenta entre dos puntos de un circuito, este potencial eléctrico produce que los electrones se desplacen de un punto de alto potencial a un punto de menor potencial, su unidad de medida es el voltio (V).

1.4.3 Potencia eléctrica

La potencia eléctrica es el trabajo o la energía transformada o generada en un tiempo determinado [33]. Igualmente se puede definir la potencia, como la razón de cambio a la cual se emplea la energía [34]. Su unidad de medida corresponde al vatio o watt (W).

1.4.4 Circuito eléctrico

Es un conjunto de elementos conectados en una trayectoria cerrada que permiten el paso de la corriente eléctrica, con el objetivo de realizar una tarea determinada. En los circuitos eléctricos se debe contar como mínimo con tres elementos principales (generador, conductor y receptor) los cuales son indispensables para el funcionamiento de estos, así mismo, en los circuitos eléctricos es necesario que se cuente con dispositivos de maniobra y protección [35], esto con el fin de prevenir incidentes de tipo eléctrico y proteger los diferentes elementos que conforman el circuito.

1.4.4.1 Circuito serie

Sus componentes se encuentran conectados uno a continuación de otro (el final de un elemento es el comienzo del otro), todos los elementos se encuentran conectados sobre el mismo conductor, en este tipo de circuito la corriente se ve forzada a circular por todos los componentes del circuito para recorrer del polo negativo al polo positivo, ya que solo tiene una trayectoria para fluir [35]. Dentro de las principales características que se pueden señalar del circuito serie se encuentran: el valor de la corriente eléctrica que circula por el circuito es la misma para todos los componentes, el valor de la tensión es distinta para cada elemento del circuito. Una de las desventajas que presenta este circuito es que si llegara a fallar un componente todo el circuito dejaría de operar.

1.4.4.2 Circuito paralelo

En este circuito todos los componentes se encuentran conectados a un punto común, los componentes están conectados como mínimo a dos conductores distintos, en este circuito la corriente tiene diferentes trayectorias para que fluya del polo negativo al polo positivo [35]. Dentro de las principales características que se pueden destacar del circuito paralelo se encuentran: el valor de la corriente eléctrica que circula por el circuito es diferente para cada componente, el valor de la tensión

es igual para todos los elementos del circuito, la falla de un elemento del circuito no implica que este deje de operar, pero con alguna restricción.

1.4.4.3 Circuito serie-paralelo o mixto

Es una combinación de los circuitos serie y paralelo, dentro de un mismo conjunto de componentes que combina la trayectoria de la corriente eléctrica [34].

1.5 SISTEMAS SOLARES FOTOVOLTAICOS

Un sistema solar fotovoltaico se puede definir como el conjunto de equipos que transforman la energía que proviene del sol en corriente continua DC en primera medida, para luego ser convertida en corriente alterna AC para ser empleada en distintas aplicaciones de acuerdo a las necesidades que se presenten.

La eficiencia de los sistemas solares fotovoltaicos o instalación fotovoltaica depende de diversos factores, los cuales se dividen en factores propios y factores externos. Dentro de los factores propios que afectan la eficiencia en la generación de energía se hallan todos los equipos, así como el cableado (conductores eléctricos) que conforman el sistema; las principales causas que pueden conllevar a la disminución en la eficiencia de la instalación fotovoltaica son: la calidad de los equipos, el tipo de tecnología de los componentes, la suciedad, el principio de funcionamiento y el diseño de la instalación. El efecto de reflexión se considera también un factor propio, está relacionado directamente con el vidrio o cristal que protege las celdas fotovoltaicas, el cual provoca una diferencia en los índices de refracción lo que afecta la eficiencia del sistema hasta en un 3%. En cuanto a los factores externos que pueden llegar a afectar la eficiencia en la generación de energía eléctrica de los sistemas solares fotovoltaicos se encuentran: las condiciones climáticas, la inclinación de los módulos, las sombras, la conexión y configuración de los componentes [36].

Dentro de las ventajas comunes de los sistemas solares fotovoltaicos o instalaciones fotovoltaicas se encuentran [37]:

- Se caracterizan por su simplicidad y la facilidad para su instalación.
- Se pueden considerar modulares.
- Su mantenimiento es simple y el costo de éste es bajo.
- Presenta una alta fiabilidad.

- No generan ningún tipo de contaminación ambiental.
- Su funcionamiento no genera ningún tipo de contaminación auditiva.
- Los módulos fotovoltaicos considerados el principal componente de la instalación fotovoltaica, presentan una vida útil elevada.

Dentro de las desventajas comunes de los sistemas solares fotovoltaicos se encuentran:

- En los sistemas solares autónomos (Off-Grid) es necesario implementar un banco de acumuladores, lo que aumenta el costo de este tipo de sistema.
- Pueden llegar a afectar los ecosistemas, cuando se tratan de sistemas solares fotovoltaicos a gran escala (granjas solares).
- Pueden llegar a generar un efecto visual nocivo, si no se logran integrar las instalaciones fotovoltaicas con su entorno.

1.5.1 Tipos de sistemas solares fotovoltaicos

Se pueden separar los sistemas solares fotovoltaicos en dos grupos: Sistemas conectados a red y Sistema aislado o también conocido como sistema autónomo [37, p. 66].

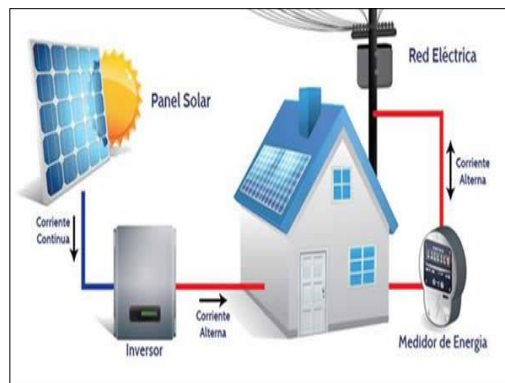
1.5.1.1 Sistema solar fotovoltaico conectado a red (On-Grid)

Este tipo de sistema genera energía eléctrica que es inyectada a la red existente, se genera en centrales solares fotovoltaicas a gran escala. Aunque en la actualidad también se implementa a pequeña escala para cubrir una demanda determinada como por ejemplo el de una vivienda, y el restante de la energía que se genera es inyectada a la red, esto con el propósito de disminuir el costo de la factura de energía, en este caso el sistema solar está conectado en paralelo con la red eléctrica. Este tipo de sistema está conformado por los siguientes equipos: Panel solar o módulo solar fotovoltaico, inversor de corriente y medidor de energía bidireccional (opcional si se desea vender algún excedente de energía a los operadores de red) [37, p. 68]. Dichos componentes se ilustran en la Figura 2.

Dentro de las ventajas puntuales de este tipo de sistema solar fotovoltaico se encuentran [37]:

- Este tipo de sistema también puede ser implementado a pequeña escala sin que afecte su eficiencia en la generación de energía eléctrica.
- La generación de energía puede llegar a coincidir con las horas pico de demanda energética.
- La generación de energía eléctrica a pequeña escala por ejemplo para una vivienda familiar con este tipo de sistema solar fotovoltaico, se puede dar en este mismo lugar donde se encuentran las cargas o se da la demanda, disminuyendo aún más los costos y las pérdidas por distribución.
- No es necesario disponer de espacios adicionales para la instalación, si no que se pueden aprovechar los espacios ya existentes dentro de las edificaciones en particular los techados de las viviendas o las azoteas de los edificios.

Figura 2. Sistema solar fotovoltaico On-Grid.



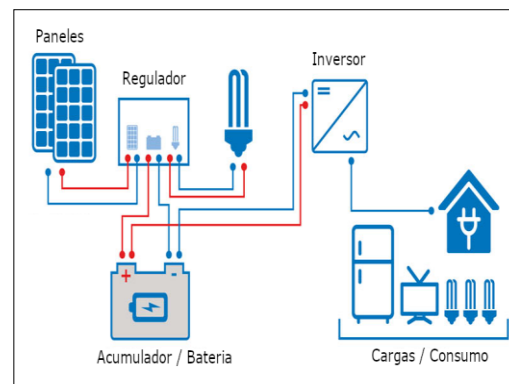
Fuente: ICARUS DESARROLLO SOLAR (2020)

1.5.1.2 Sistema solar fotovoltaico aislado (Off-Grid)

En este sistema la energía generada puede ser almacenada en acumuladores (baterías) para luego ser consumida, es mayormente implementado en zonas rurales y alejadas donde el acceso a la red eléctrica es complejo debido a condiciones geográficas. Este sistema es usado principalmente para autoabastecimiento, se pueden destacar dos aplicaciones principales: espaciales y terrestres, en las aplicaciones espaciales se destacan las empleadas en los satélites que orbitan la tierra, luego en las aplicaciones terrestres tenemos las empleadas en sistemas de telecomunicaciones (BTS), sistemas de bombeo, suministro eléctrico en zonas aisladas de difícil acceso [38].

Este tipo de sistema está conformado por los siguientes equipos: Panel solar o módulo fotovoltaico, regulador de carga, acumuladores o baterías e inversor de corriente [37, p. 67]. En la Figura 3 se pueden identificar los principales componentes de los sistemas fotovoltaicos Off-Grid mencionados anteriormente.

Figura 3. Sistema solar fotovoltaico Off-Grid.



Fuente: Helio Esfera (2017)

Las ventajas puntuales de este tipo de sistema solar fotovoltaico son:

- Este tipo de sistema solar fotovoltaico genera y almacena la energía eléctrica para ser consumida en el momento que se requiera, incluso en las noches cuando no hay radiación solar o en días de baja captación solar.
- Es de gran beneficio para personas, comunidades o empresas ubicadas en zonas rurales que no cuentan con suministro eléctrico convencional, y requiere de un suministro eléctrico constante y confiable durante todo el día sin importar las condiciones climáticas.
- Con la implementación de este tipo de sistema solar fotovoltaico se logra la autosuficiencia energética, ya que no se depende de la red eléctrica convencional.

1.6 PRINCIPALES COMPONENTES QUE CONFORMAN UN SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO

1.6.1 Panel solar o modulo fotovoltaico

Se considera el principal componente de una instalación solar fotovoltaica, este es el encargado de generar energía eléctrica en forma de corriente continua DC gracias a la radiación solar. La cantidad de paneles solares que conformarán la instalación fotovoltaica está directamente relacionado con la demanda de energía eléctrica a cubrir, así como la radiación solar disponible en el lugar donde se realizará la instalación [37, p. 67]. Los paneles solares están conformados por una combinación de celdas fotovoltaicas, la conexión de varias celdas fotovoltaicas conforma una red de celdas que a su vez forman un panel solar o modulo fotovoltaico, así mismo, estos pueden conectarse en circuito serie, paralelo o mixto para conformar un arreglo solar [39, pp. 108–109].

Las principales características operacionales de los paneles solares están dadas por los fabricantes bajo condiciones estándar de ensayo (STC) las cuales corresponden a: una irradiancia de $1000 \frac{W}{m^2}$, espectro estándar en la superficie terrestre de AM 1.5G y una temperatura de 25°C [40].

Como sea mencionado el principal componente de los módulos fotovoltaicos corresponde a las celdas solares, pero como se puede observar en la Figura 4 estos paneles solares están conformados por diferentes componentes los cuales se describen a continuación [25]:

- Marco de aluminio: brinda rigidez y permite el ensamble con otros módulos fotovoltaicos, así mismo, permite el acoplamiento con la estructura de soporte.
- Cristal: su función es proteger las celdas solares de golpes e impactos que les puedan causar algún daño. Generalmente este cristal es de vidrio templado.
- Encapsulado: protege a las celdas solares del deterioro por la exposición a los rayos UV, otra función es minimizar las posibles vibraciones de las células que se puedan presentar al momento del transporte, instalación o mantenimiento del módulo fotovoltaico.
- Caja de conexiones: contiene las conexiones para facilitar la instalación de los paneles solares.

Figura 4. Partes de un panel solar.



Fuente: SAVE ENERGY (2019)

Los tipos de paneles solares están caracterizados por la tecnología constructiva de las células fotovoltaicas, podemos encontrar tres tipos de células fotovoltaicas las cuales son las más comunes en el mercado: monocristalino, policristalino y amorfo. Estas células están construidas de silicio, el material más común empleado para este tipo de tecnología puesto que sus características físico-químicas lo convierten en un muy buen material semiconductor.

- Silicio monocristalino: se caracterizan por tener un color azul oscuro uniforme, puede tener una eficiencia entre el 15% y el 17% [31]. Este tipo de módulo fotovoltaico es mayormente empleado donde las condiciones climáticas son adversas en particular lugares muy nublados, zonas de tormentas, terrenos propensos a lluvias fuertes. Puesto que este panel solar es capaz de captar una mayor radiación solar a bajas temperaturas, pero no soporta muy bien el sobrecalentamiento.

- Silicio policristalino: el color que caracteriza estas células es azul claro no uniforme presenta distintos tonos de azul y tiene una eficiencia entre el 12% y el 14% [25]. Este tipo de panel es empleado en climas cálidos, es recomendado para instalaciones de mediana y baja potencia. No presenta una gran diferencia en la eficiencia, con un panel monocristalino y su costo si es considerablemente menor.

- Silicio amorfo o capa fina: se caracteriza por presentar un color marrón oscuro, su eficiencia es menor al 10% [31]. Debido a su bajo rendimiento es empleado en relojes y calculadoras, se usa en aplicaciones de muy baja potencia. Este panel tiene la ventaja de ser una lámina flexible.

En la actualidad se ha avanzado en dos nuevas tecnologías de células solares igualmente a base de silicio como las descritas anteriormente, estas nuevas células se conocen con el nombre de silicio en bandas y película de silicio, se caracterizan por ser flexibles lo que brinda mayor versatilidad en diversas aplicaciones industriales, comerciales etc. De igual forma se han desarrollado nuevos métodos constructivos para las celdas fotovoltaicas que conforman los paneles solares amorfos o también conocidos como capa fina, en esta nueva tecnología constructiva el silicio ya no es cortado en láminas, si no que se aplica pulverizado lo que evita el desperdicio de material y por ende disminuye los costos de fabricación [37].

1.6.2 Acumulador o batería

Las baterías son las encargadas de almacenar la electricidad que genera el arreglo solar, con el propósito de ser consumida en el instante que se requiera como por ejemplo en la noche cuando no hay radiación solar o cuando los niveles de radiación solar están bajos y los paneles no logran generar la cantidad de energía para la que fueron dimensionados, en estos casos son empleados los acumuladores. Este elemento es propio de los sistemas solares aislados (Off-Grid).

Dentro del sistema solar FV, el papel de las baterías consiste en [25, p. 19]:

- Almacenar energía durante un periodo de tiempo generalmente días.
- Entregar una potencia instantánea elevada.
- Establecer el voltaje o tensión de la instalación

Igualmente es importante considerar las siguientes características de la batería al momento de elegir y calcularla. Para que tenga un correcto funcionamiento dentro de la instalación, puesto que es el elemento que implica mayor inversión dentro del sistema.

- Capacidad: capacidad que tiene la batería, para suministrar corriente cuando se encuentra cargada al 100% durante un periodo de tiempo. La cantidad de energía eléctrica que puede almacenar la batería durante la carga es la misma que puede entregar durante la descarga, su unidad de medida es el Amperio hora (Ah).
- Eficiencia de carga: razón entre la cantidad de energía necesaria para cargar la batería y la energía que se está almacenando. Esta relación tiene que estar cercana al 100%.

- Autodescarga: descarga progresiva de la batería sin estar en funcionamiento.
- Profundidad de descarga: se considera el porcentaje que se determine que se pueda llegar a descargar la batería, este parámetro está directamente relacionado con la vida útil de la batería entre menor sea la profundidad de descarga mayor será la vida útil del acumulador.

Hoy en día se puede encontrar en el mercado gran variedad de baterías para sistemas solares fotovoltaicos, estas presentan diferentes características básicamente en su tecnología constructiva y vida útil la cual está medida en años. A continuación, se mencionan algunos tipos de acumuladores: Batería de litio, batería AGM, batería Gel, batería estacionaria, batería de plomo ácido y batería Monoblock.

A continuación, se mencionan los cuatro tipos de baterías más utilizados en instalaciones fotovoltaicas [41].

- Batería Monoblock: Batería de plomo ácido si bien es el acumulador más económico, este requiere de mantenimiento constante, se recomienda en aplicaciones domésticas que no incluyan electrodomésticos como lavadoras o refrigeradores, en general ningún aparato eléctrico con un motor, debido a que se disminuiría su vida útil más rápidamente. Se estima una vida útil para este tipo de acumulador que puede estar entre 3 a 5 años.
- Batería AGM: Batería de plomo ácido, en este tipo de acumulador el electrolito es absorbido por unos separadores fabricados de fibra de vidrio, por esta razón esta batería no requiere mayor mantenimiento y es totalmente sellada. Se puede implementar en instalaciones de mediana potencia, en las cuales requieran de la utilización de máquinas o electrodomésticos con motor eléctrico. La vida útil para este tipo de acumulado oscila entre 5 a 8 años.
- Batería de GEL: Este tipo de batería se considera una versión mejorada de los acumuladores AGM, en este caso su electrolito es un compuesto gelificado el cual no emite ningún tipo de gas, por esta razón es un acumulador sellado el cual no requiere de mantenimiento constante. Esta batería es recomendada para ser instalada a bajas temperaturas, es muy empleada en instalaciones fotovoltaicas de uso diario, ya que soporta altos picos de corriente de cualquier máquina eléctrica. Bajo condiciones normales de uso esta batería puede alcanzar una vida útil de 9 a 12 años aproximadamente.

- Batería estacionaria: Este tipo de acumulador es el que tiene un mayor costo, pero a su vez el que presenta una mayor vida útil. Recomendada para cualquier tipo de instalación fotovoltaica de baja, media o gran potencia.

Cabe resaltar que la vida útil de cualquier acumulador depende en gran medida de los ciclos de carga y descarga, por esta razón la vida útil de los acumuladores que se mencionaron anteriormente es aproximada y puede aumentar o disminuir dependiendo de las características de la instalación fotovoltaica.

1.6.3 Regulador de carga

Este dispositivo es imprescindible en un sistema solar fotovoltaico Off-Grid, ya que permite controlar la carga y la descarga de las baterías, así como las descargas profundas [37, p. 67]. Podemos encontrar dos tipos de reguladores:

- Regulador PWM: este tipo de regulador es el más empleado en instalaciones con acumuladores de 12 y 24 V su tecnología de construcción es simple. Se usa en sistemas solares simples de pequeña y mediana escala. Depende de la tensión de los acumuladores [42].

- Regulador MPPT: su eficiencia es mayor al del regulador PWM, no depende de la tensión de las baterías, es empleado en instalaciones fotovoltaicas de mayor complejidad de mediana y gran escala. Su precio es considerablemente mayor al del regular PWM. Trabaja de acuerdo al mpp de los módulos fotovoltaicos [42].

1.6.4 Inversor

Este equipo es el encargado de transformar la corriente continua DC que genera el arreglo de paneles solares en corriente alterna AC empleada para uso doméstico e industrial [37, p. 67]. Componente obligatorio tanto en instalaciones conectadas a red como en instalaciones autónomas, debe garantizar los niveles de tensión requeridos, así como la frecuencia de la red [25, pp. 24–27].

Podemos encontrar básicamente tres tipos de inversores según el tipo de instalación solar fotovoltaica: inversor para sistema solar FV conectado a red, inversor para sistema solar FV autónomo, inversor para sistema solar FV híbrido [42, p. 10].

Cabe resaltar que el inversor no se calcula si no que se selecciona con base a: Tipo de inversor (On-Grid u Off-Grid), potencia del sistema, tensión y corriente a la entrada del inversor, rango de tensión, potencia, tensión, corriente y frecuencia a la salida del inversor, potencia pico, sobrecarga y eficiencia [42, p. 11].

1.7 MANTENIMIENTO EN INSTALACIONES SOLARES FOTOVOLTAICAS

Con el objetivo de garantizar un correcto funcionamiento y prolongar la vida útil de los equipos que conforman la instalación, es necesario realizar un mantenimiento periódico a la instalación una o dos veces al año [8]. El mantenimiento a instalaciones solares fotovoltaicas es sencillo y se considera un mantenimiento de tipo preventivo - Mantenimiento módulos fotovoltaicos: inspección visual, limpieza esta se realiza con agua sin ningún tipo de detergente. - Mantenimiento inversor: inspección visual, verificar el estado de los conductores y su conexión, si es necesario reajustar los bornes de conexión, verificar si el equipo presenta alguna alarma en su memoria. - Mantenimiento banco de acumuladores: inspección visual, medir y verificar los niveles de tensión, verificar la temperatura de los acumuladores, verificar el estado de los conductores y su conexión. - Mantenimiento regulador de carga: inspección visual, verificar el estado de los conductores y su conexión, si es necesario reajustar los bornes de conexión, verificar si el equipo presenta alguna alarma en su memoria, si es posible identificar posibles caídas de tensión y puntos calientes [43].

1.8 INCLINACIÓN MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

El ángulo de inclinación de los módulos fotovoltaicos está directamente relacionado con la cantidad de radiación que llega a incidir sobre el panel. Para obtener la mayor eficiencia posible de los paneles solares, estos deben inclinarse con un ángulo (β_0) de tal forma que los rayos del sol incidan con un ángulo de 90° sobre la superficie del módulo fotovoltaico, esto con el objetivo de captar la mayor cantidad de radiación durante un determinado periodo de tiempo. El ángulo que forma la superficie del módulo fotovoltaico respecto al sol se denomina ángulo óptimo, como se mencionó anteriormente debe ser de 90° . Dado que en muchos casos no es posible lograr la perpendicularidad entre los paneles solares y el sol, ya que la instalación de los módulos se realiza en tejados o estructuras de soporte que ya presentan una inclinación fija, esto no permite a los paneles seguir la trayectoria del sol a lo largo del día y que siempre se mantenga un ángulo de incidencia de 90° , se deben considerar pérdidas asociadas a la inclinación fija [40], [44]. Para calcular el ángulo óptimo de inclinación (β_0), formado entre el panel solar respecto a la horizontal, es

necesaria conocer la ubicación geográfica (coordenadas geográficas) del lugar donde se instalarán los módulos fotovoltaicos, exactamente la latitud de la locación.

1.9 RADIODIFUSIÓN SONORA

Las señales de radio se propagan a través de un medio, mediante ondas electromagnéticas las cuales presentan diferentes características tales como: longitud, amplitud y frecuencia [45]. Se puede distinguir tres elementos indispensables en un sistema de radio [46]:

- Transmisión: el transmisor genera corriente de alta potencia la cual se transforma en vibraciones eléctricas las cuales se irradian por medio de una antena.
- Modulación: las vibraciones eléctricas tienen que ser moduladas antes de ser irradiadas por la antena. La modulación del sonido es la encargada de definir el tipo de sistema que se emplea para enviar la onda portadora desde el transmisor hasta el receptor, se puede diferenciar dos tipos de sistemas radiales FM o AM, frecuencias empleadas en la radio difusión sonora.
- Recepción: un receptor de radio capta las vibraciones eléctricas las cuales son transformadas en sonidos audibles para el ser humano.

1.9.1 Emisora de radio

El sonido es el elemento principal que transforma una emisora, se debe eliminar al máximo el ruido y las interferencias que se puedan generar, para brindar a los oyentes un sonido de calidad [46]. Una emisora de radio es un medio de comunicación que ofrece servicios por medio de la radiodifusión sonora, su emisión está compuesta por programas radiales como por ejemplo (musicales, culturales, deportivos, educativos, noticias).

Las emisoras se clasifican de acuerdo a los siguientes aspectos [47]:

- Servicio: servicio directo y servicio indirecto. El servicio directo lo presta el estado por medio de entidades públicas. El servicio indirecto es prestado por personas naturales o jurídicas, entidades privadas con previa autorización (concesión) otorgada por el estado.
- Programación: emisoras comerciales el servicio es prestado con fines de lucro, complace los gustos de los oyentes, emisoras de interés público el servicio se presta

sin ningún tipo de lucro, su programación está basada en programas que les ayuden a las comunidades a mejorar su calidad de vida, emisoras comunitarias la programación de estas emisoras está dirigida a cubrir diferentes aspectos (cultura, educación, información etc.) de una comunidad.

- Tecnología de transmisión: AM (Amplitud Modulada) varía la amplitud de las ondas portadoras de radiofrecuencia con el fin de generar ondas moduladas. FM (Frecuencia Modulada) la amplitud de la onda portadora siempre permanece constante, a la vez que su frecuencia varía. La emisión de la señal FM consta de mayor fidelidad y pureza del sonido, mientras que en AM esto no se logra [46].

- Cubrimiento del servicio: cubrimiento zonal estas estaciones cubren amplias zonas de diferentes municipios o ciudades, cubrimiento zonal restringido el cubrimiento de estas estaciones se da únicamente a un municipio o ciudad previamente autorizado, cubrimiento local restringido solo cubre una zona determinada dentro de un municipio o ciudad.

1.9.2 Cabina de radio

Es el lugar donde se realiza la producción y la programación de la emisora, esta puede ser de manera directa o previamente grabada. Estas cabinas cuentan con una serie de equipos que pueden controlar la calidad del sonido [46, p. 81].

1.9.3 Estación transmisora

Se define como la combinación de transmisor, receptor y una o varias antenas transmisoras, situada en un punto fijo.

2 DISEÑO METODOLÓGICO

Este proyecto tuvo en cuenta una serie de etapas consecutivas, con la intención de cumplir de igual manera con cada objetivo específico planteado y de esta manera dar desarrollo al proyecto propuesto, dichas etapas se mencionan a continuación.

2.1 PRIMERA ETAPA

En esta etapa se indagó en distintas bases de datos, con el fin de establecer la radiación solar de las distintas ubicaciones de interés. Las coordenadas geográficas (Latitud y longitud) de la cabina de radio y estación transmisora, se obtuvieron empleando recursos tecnológicos como aplicaciones móviles (google maps, google Earth). A partir de las coordenadas geográficas, se consultó en diversas fuentes de información sobre radiación solar, con el fin de conocer el recurso solar en las distintas locaciones. Las bases de datos que se emplearon para este propósito fueron:

- Centro científico de la Unión Europea (PVGIS)
- Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)

Como se mencionó anteriormente para este trabajo se emplean bases de datos para conocer el recurso solar disponible en las distintas locaciones en estudio. No se realizaron toma de datos ni mediciones en el lugar, ya que no se contó en el momento con los equipos requeridos, así como tampoco se contemplaron los recursos económicos para el alquiler o la adquisición de los equipos para tal fin en la fase de planificación del proyecto. Cabe señalar que para obtener valores relevantes de los niveles de radiación se tendría que recopilar datos cuando menos durante un año, tiempo que excedería el cronograma del proyecto. Por otra parte, no se halló una estación meteorológica cercana en funcionamiento, que pudiera suministrar datos de radiación.

2.2 SEGUNDA ETAPA

Para esta etapa se establece el consumo de energía eléctrica que demanda la cabina de radio y la estación transmisora de la emisora. La demanda de energía fue determinada a partir de las facturas de energía, considerando las condiciones de facturación correspondientes para cada ubicación. Con lo anterior se procede a

analizar los datos de facturación energética percibidos por la cabina de radio y estación transmisora, para definir de forma aproximada la energía eléctrica (kWh) consumida regularmente en cada ubicación de la emisora.

2.3 TERCERA ETAPA

Con la recopilación de la información obtenida en las etapas uno y dos, se procede a diseñar el sistema solar fotovoltaico para el autoabastecimiento energético de la emisora Corporación Radial Voz del Lago, de acuerdo con dos configuraciones; conectado a red (On-Grid) y autónomo (Off-Grid).

2.3.1 Dimensionamiento sistema solar fotovoltaico On-Grid

2.3.1.1 Hora-solar-pico

La cantidad de horas-solar-pico (HSP) en cada ubicación se calcula a partir de la ecuación [48, p. 6]:

$$HSP = \frac{\text{Irradiación ubicación}}{1000 \text{ W/m}^2} \quad (1)$$

2.3.1.2 Potencia fotovoltaica generada

La potencia del generador fotovoltaico es necesaria para la selección del inversor. Para el cálculo de esta se emplea la ecuación [8]:

$$P_p = \frac{E}{HSP} \quad (2)$$

Donde:

- P_p = Potencia fotovoltaica
- E = Energía diaria demandada
- HSP = Horas solar pico

2.3.1.3 Número de paneles solares

El cálculo del número de paneles solares o módulos fotovoltaicos se determinará a partir de la ecuación [49]:

$$N_T = \frac{P_p}{P_{\text{panel}}} \quad (3)$$

Donde:

- N_T = Número total de módulos
- P_p = Potencia fotovoltaica
- P_{panel} = Potencia del panel

Así mismo, para elegir el módulo fotovoltaico se analizaron sus características principales como: potencia, costo y tipo. Estas características varían dependiendo del fabricante, así como de su tecnología, con lo anterior se seleccionará la mejor opción para el proyecto en cuanto a sus características técnico-económicas.

Las principales características técnicas del panel solar que se deben considerar son:

- Corriente de corto circuito.
- Tensión de circuito abierto.
- Potencia máxima.
- Corriente de máxima potencia.
- Tensión de máxima potencia.

2.3.1.4 Selección del inversor

Para un sistema solar fotovoltaico conectado a red (On-Grid). El inversor se selecciona en función de: la potencia fotovoltaica del sistema, la tensión de salida en AC y la frecuencia de la red eléctrica, para Colombia 60 Hz, así mismo, se debe considerar la tensión máxima del sistema solar FV y la corriente a la entrada del inversor.

2.3.2 Dimensionamiento sistema solar fotovoltaico Off-Grid

2.3.2.1 Hora-solar-pico y número de paneles solares

El cálculo de las horas-solar-pico, número de módulo fotovoltaicos y potencia fotovoltaica en los sistemas solares FV autónomos (Off-Grid), se determina de manera similar a los sistemas solares FV conectados a red (On-Grid), por esta razón se emplean las mismas ecuaciones (1),(2) y (3). Además de la ecuación (3), para el número de paneles solares en serie y paralelo se emplean las ecuaciones (4) y (5) [8]. El voltaje de trabajo del módulo fotovoltaico (V_p) seleccionado corresponde a 24V y el voltaje del sistema (V_{sist}) corresponde a 48 V.

$$N_s = \frac{V_{sist}}{V_p} \quad (4)$$

Donde:

N_s = Número de módulos en serie
 V_{sist} = Voltaje del sistema
 V_p = Voltaje de trabajo del módulo

$$N_p = \frac{P_p}{N_s * P_{panel}} \quad (5)$$

Donde:

N_p = Número de módulos en paralelo
 P_p = Potencia fotovoltaica
 N_s = Número de módulos en serie
 P_{panel} = Potencia del panel

2.3.2.2 Voltaje del sistema

La elección del voltaje de operación del sistema es de gran importancia, ya que este permite calcular de forma adecuada y realizar una correcta elección de los diferentes equipos que conforman el sistema solar fotovoltaico Off-Grid. En la Tabla 1 se presentan los diferentes niveles de tensión más comunes a utilizar en este tipo de sistemas solares fotovoltaicos, su elección se da en función a la potencia alterna (AC) [50].

Tabla 1. Niveles de tensión más comunes empleados en sistemas fotovoltaicos Off-Grid.

POTENCIA AC (kW)	VOLTAJE DEL SISTEMA (V)
< 1.5	12
1.5 a 5	24 o 48
> 5	48 o más

Fuente: Alonso Abella (2017)

2.3.2.3 Dimensionamiento regulador de carga

Para la elección del regulador de carga se debe considerar: - La tensión del regulador tiene que ser igual al voltaje del sistema fotovoltaico. - La corriente nominal del regulador debe ser mayor a la corriente máxima de entrada al controlador [48].

La corriente máxima de entrada al regulador de carga se puede calcular a partir de la ecuación [8] :

$$I_{\max E} = 1,25 * N_p * I_{sc} \quad (6)$$

Donde:

- $I_{\max E}$ = Corriente máxima de entrada
- 1,25 = Factor de protección
- N_p = Número de filas de paneles solares en paralelo
- I_{sc} = Corriente de corto circuito del módulo fotovoltaico

2.3.2.4 Dimensionamiento banco de baterías

El cálculo del banco de baterías se realiza con base en: la profundidad de descarga de las baterías, días de autonomía del sistema FV, capacidad de las baterías y energía demandada. Igualmente se emplean las ecuaciones (7), (8), (9), (10), (11) y (12) las cuales se describen a continuación [8], [48]:

- Capacidad del banco de baterías

$$C_U = E * N \quad (7)$$

Donde:

C_U = Capacidad del banco de baterías
 E = Energía diaria demandada
 N = Días de autonomía

- Capacidad nominal del banco de baterías, esta capacidad debe ser mayor que la capacidad del banco de baterías C_U .

$$C = \frac{C_U}{P_d} \quad (8)$$

Donde:

C = Capacidad nominal del banco de baterías
 C_U = Capacidad del banco de baterías
 P_d = Profundidad de descarga

- Capacidad nominal del banco de baterías en Ah.

$$C_{ne,Ah} = \frac{C}{V_{sist}} \quad (9)$$

Donde:

$C_{ne,Ah}$ = Capacidad nominal del banco de baterías en Ah
 C = Capacidad del banco de baterías
 V_{sist} = Voltaje del sistema

- El número de baterías en serie se calcula a partir de la ecuación:

$$Bat_{serie} = \frac{V_{sist}}{V_{batería}} \quad (10)$$

- El número de baterías en paralelo se calcula a partir de la ecuación:

$$\text{Bat}_{\text{paralelo}} = \frac{C_{\text{ne,Ah}}}{\text{capacidad de la batería Ah}} \quad (11)$$

- El número total de baterías se obtiene con la ecuación:

$$N_{\text{total Bat}} = \text{Bat}_{\text{serie}} * \text{Bat}_{\text{paralelo}} \quad (12)$$

2.3.2.5 Selección inversor

Para seleccionar el inversor de corriente, de un sistema solar FV autónomo se hace necesario conocer la potencia de las cargas en corriente alterna AC, además de emplear la ecuación (13) para conocer la potencia del inversor a seleccionar.

$$P_{\text{inv}} = 1,2 * P_{\text{AC}} \quad (13)$$

Donde:

$$\begin{aligned} P_{\text{inv}} &= \text{Potencia del inversor} \\ 1,2 &= \text{Factor de seguridad} \\ P_{\text{AC}} &= \text{Potencia en alterna AC} \end{aligned}$$

2.4 CUARTA ETAPA

En esta etapa se determina el precio de la energía (kWh) generada por los sistemas solares fotovoltaicos propuestos, de igual modo, se define el periodo de retorno de la inversión y la relación de rendimiento. Esto con el fin de conocer la rentabilidad o la no viabilidad de los sistemas solares fotovoltaicos propuestos. Se consultó el costo del kWh generado convencionalmente, a partir de información obtenida del operador de red EBSA Empresa de Energía de Boyacá S.A.E.S.P.

2.4.1 Costo de energía (kWh) generada por los sistemas solares fotovoltaicos

Este sería un costo nivelado de energía simplificado (LCOE) , el cual se calcula por medio de la ecuación [13]:

$$LCOE = \frac{EC + IC + \sum_{n=1}^{LT} \frac{ARC}{(1+r)^n}}{\sum_{n=1}^{LT} \frac{12 + E_R}{(1+r)^n}} \quad (14)$$

Donde:

LCOE =	Costo nivelado de energía
EC =	Costo equipos
IC =	Costo de instalación
ARC =	Costos anuales recurrentes
LT =	Vida útil del sistema solar FV
E _R =	Energía total generada por el sistema
r =	Tasa de descuento

2.4.2 Periodo de recuperación de la inversión

La recuperación de la inversión se calcula a través de la ecuación [13]:

$$\text{Periodo de recuperación} = \frac{EC + IC}{12 * E_R * C_{ref} - ARC} \quad (15)$$

Donde:

Periodo de recuperación =	Periodo de recuperación de la inversión
EC =	Costo equipos
IC =	Costo de instalación
E _R =	Energía total generada por el sistema
ARC =	Costos anuales recurrentes
C _{ref} =	Costo de la energía (kWh) generada convencionalmente

2.4.3 Relación de rendimiento

Si este valor es menor a uno se considera que la inversión puede llegar a ser una pérdida total. La relación de rendimiento se determina a partir de la ecuación [13]:

$$\frac{\text{Retorno total}}{\text{Costo total}} = \frac{12 * E_R * LT * C_{ref}}{EC + IC + (ARC * LT)} \quad (16)$$

Donde:

$$\frac{\text{Retorno total}}{\text{Costo total}} =$$

Relación de rendimiento

$$E_R =$$

Energía total generada por el sistema

$$LT =$$

Vida útil del sistema solar FV

$$C_{ref} =$$

Costo de la energía (kWh) generada convencionalmente

$$EC =$$

Costo equipos

$$IC =$$

Costo de instalación

$$ARC =$$

Costos anuales recurrentes

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

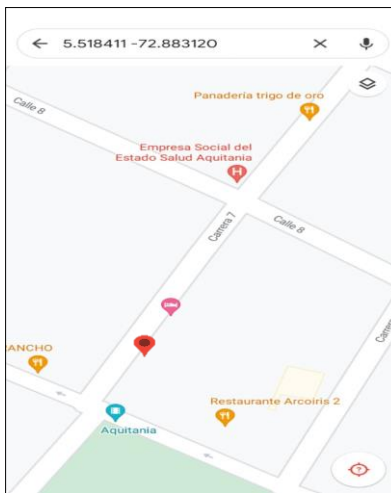
3.1 COORDENADAS GEOGRÁFICAS Y RECURSO SOLAR

La cabina de radio y la estación transmisora conforman la emisora Corporación Radial Voz del Lago, localizada en el municipio de Aquitania en el departamento de Boyacá. Georreferenciado por las coordenadas (5.517,-72.883), con una temperatura promedio de 10 °C y una altitud media de 3030 m.s.n.m.

3.1.1 Coordenadas geográficas cabina de radio

La cabina de radio se localiza en la cabecera municipal. Con ayuda del recurso tecnológico Google maps se logra determinar las coordenadas geográficas de esta ubicación, las cuales corresponden a (5.518411, -72.883120).

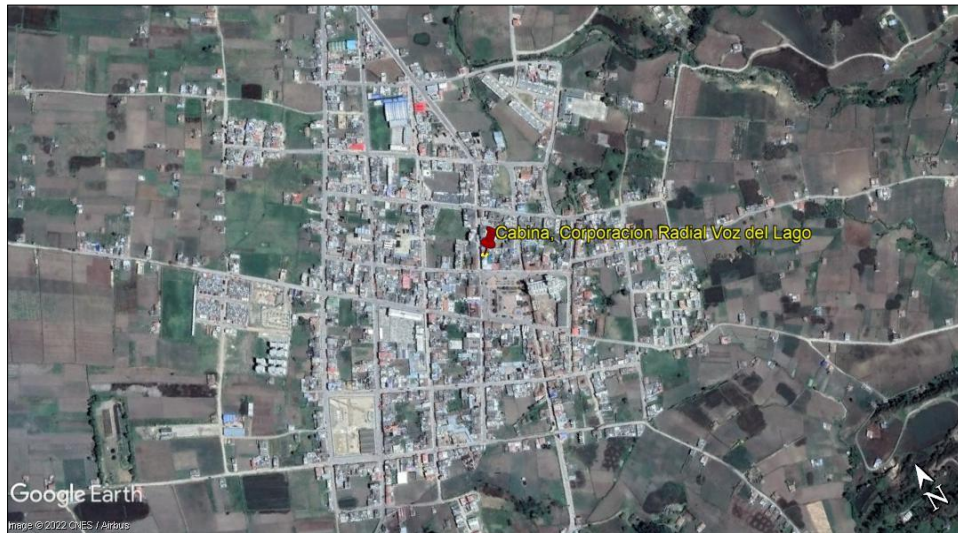
Figura 5. Coordenadas geográficas cabina de radio



Fuente: Google maps (2022)

Por medio del recurso tecnológico de Google Earth-Pro. En la Figura 6 se puede visualizar la ubicación dentro del municipio de Aquitania de la emisora Corporación Radial Voz del Lago, lugar donde se encuentra ubicada la cabina radial.

Figura 6. Ubicación emisora

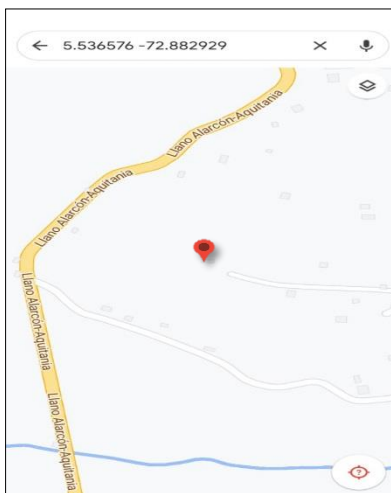


Fuente: Google Earth-Pro (2022)

3.1.2 Coordenadas geográficas estación transmisora

La estación transmisora se ubica en la vereda cajón cuarto malpaso. Con ayuda del recurso tecnológico Google maps se logra determinar las coordenadas geográficas de esta ubicación, las cuales corresponden a (5.536576, -72.882929).

Figura 7. Coordenadas geográficas estación transmisora



Fuente: Google maps (2022)

Por medio del recurso tecnológico de Google Earth - Pro. En la Figura 8 se puede visualizar la ubicación de la estación transmisora de la emisora Corporación Radial Voz del Lago dentro del municipio de Aquitania (Boyacá).

Figura 8. Ubicación estación transmisora



Fuente: Google Earth – Pro (2022)

3.1.3 Recurso solar cabina de radio y estación transmisora

Al conocer las coordenadas geográficas de las distintas ubicaciones, se puede proceder a determinar el recurso solar disponible en las locaciones de la cabina de radio y estación transmisora. En la Tabla 2 se pueden observar dichas coordenadas.

Tabla 2. Coordenadas geográficas, cabina de radio y estación transmisora.

UBICACIÓN	LATITUD	LONGITUD
Cabina de radio	5.518411	-72.883120
Estación transmisora	5.536576	-72,882929

Fuente: Elaboración propia (2022)

De acuerdo al IDEAM en la región de la Orinoquia y región Andina reciben una radiación solar de $4,5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ día. Dentro de la región andina podemos destacar el centro y norte de Boyacá, de especial interés para el desarrollo de este trabajo. En

la región andina se presentan dos periodos de radiación solar uno alto y uno bajo. Los meses de enero y febrero muestran una mayor irradiación, así mismo, los meses de julio y agosto se consideran periodos altos; en el periodo bajo están los meses de abril, mayo, octubre y noviembre con una menor irradiación [3]. El municipio de Aquitania en el departamento de Boyacá perteneciente a la región andina, donde tendrá lugar el análisis propuesto en este documento, presenta dichos periodos de radiación.

Al consultar las bases de datos PVGIS y NASA, se puede observar que la información obtenida es la misma, la irradiación percibida por las dos ubicaciones de interés es igual. Ya que dichas bases de datos reportan los datos para un área que es aproximadamente de 2500 km². La distancia entre ubicaciones no supera los 3 km, dichos datos se reportan en la Tabla 3 y Tabla 4 respectivamente.

Empleando la base de datos PVGIS Photovoltaic Geographical Information System, del centro científico de la Unión Europea [51], y con las coordenadas geográficas mostradas en la Tabla 2 se determinó el recurso solar en las distintas ubicaciones. Los datos mostrados a continuación están comprendidos entre el año 2005 y 2015, evaluados en $\frac{kWh}{m^2}$ día. En la Tabla 3 se observan los datos obtenidos con esta fuente.

Tabla 3. Datos irradiación, cabina de radio y estación transmisora base de datos PVGIS.

RADIACIÓN SOLAR CABINA DE RADIO Y ESTACIÓN TRANSMISORA, BASE DE DATOS PVGIS														
Mes	Días por mes	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Promedio mensual kWh/m ²	Promedio diario kWh/m ²
Enero	31	164,22	179,81	189	181,47	169,36	204,02	214,47	208,8	211,31	198,24	187,57	191,66	6,18
Febrero	28,25	162,81	192	191,94	175,75	178,94	168,56	156,22	202,68	153,14	191,18	154,97	175,29	6,20
Marzo	31	202,83	145,5	168,22	187,91	152,71	147,85	147,34	150,24	169,57	206,27	188,72	169,74	5,48
Abril	30	129	126	153,96	151,9	146,62	150,13	148,91	134,1	161,54	126,84	130,69	141,79	4,73
Mayo	31	149,29	150,92	137,52	142,66	141,31	151,77	155,07	151,55	148,77	163,14	149,78	149,25	4,81
Junio	30	136,49	138,85	128,94	150,07	135,96	163,61	145,67	162,14	150,89	120,85	121,45	141,36	4,71
Julio	31	143,35	133,65	156,34	130,24	125,31	168,21	159,4	138,44	165,06	140,72	155,79	146,96	4,74
Agosto	31	138,22	138,97	131,8	139,93	137,65	148,13	166,09	147,98	164,27	158,46	140,22	146,52	4,73
Septiembre	30	138,07	142,49	126,4	146,21	152,05	153,68	141,17	82,9	163,04	157,78	151,62	141,40	4,71
Octubre	31	154,14	140,04	153,2	155,59	154,14	162,89	150,7	167,6	175,06	153,14	167,05	157,60	5,08
Noviembre	30	141,43	153,48	148,16	137,17	167,79	142,72	156,22	179,69	153,17	155,18	145,14	152,74	5,09
Diciembre	31	177,78	168,66	175,08	197,1	198,44	178,39	180,24	185,51	176,34	184,67	167,28	180,86	5,83

Fuente: Elaborada a partir de PVGIS (2022).

Empleando la base de datos de la NASA National Aeronautics and Space Administration, agencia de los Estados Unidos, encargada de la investigación aeronáutica y aeroespacial civil [52], y con las coordenadas geográficas mostradas en la Tabla 2 se determinó el recurso solar en las dos ubicaciones propuestas. Los datos mostrados a continuación están evaluados en $\frac{kWh}{m^2}$ día. En la Tabla 4 se observan los datos obtenidos a partir de esta fuente.

Tabla 4. Datos irradiación, cabina de radio y estación transmisora base de datos NASA.

RADIACIÓN SOLAR CABINA DE RADIO Y ESTACIÓN TRANSMISORA, BASE DE DATOS NASA		
Mes	Día por mes	Promedio diario <i>kWh/m²</i>
Enero	31	5,2
Febrero	28,25	5,17
Marzo	31	4,45
Abril	30	4,05
Mayo	31	4,16
Junio	30	4,07
Julio	31	4,06
Agosto	31	4,14
Septiembre	30	4,57
Octubre	31	4,6
Noviembre	30	4,59
Diciembre	31	4,88

Fuente: Elaborada a partir de NASA (2022).

En la Tabla 5 se muestran los datos obtenidos a partir de las tres fuentes empleadas para conocer el recurso solar en las dos locaciones de estudio (cabina de radio y estación transmisora).

Tabla 5. Datos irradiación PVGIS, NASA e IDEAM cabina de radio y estación transmisora.

IRRADIACIÓN kWh/m ²			
	PVGIS	NASA	IDEAM
Cabina de radio	4,71	4,05	4,5
Estación transmisora	4,71	4,05	4,5

Fuente: Elaboración propia (2022)

Los datos de PVGIS y NASA mostrados en la Tabla 5 corresponden al mes menos favorable (donde se presenta una menor irradiación solar). Al elegir el periodo de menor irradiación se asegura que la energía eléctrica fotovoltaica generada, alcance a cubrir en su totalidad la energía demanda en los periodos (meses, días) de baja irradiación [8].

Por consiguiente los anteriores datos corresponden al valor de irradiación percibida por la ubicación de la cabina de radio y estación transmisora, para efecto de los cálculos realizados se tomó el valor de $4,05 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ día, que corresponde al dato obtenido de la base de datos de la NASA, esta base de datos realiza una recopilación de datos de alrededor de 20 años, frente a 10 años de PVGIS. Por su parte, el dato de irradiación que nos proporciona el IDEAM es general para gran parte de la región andina, así mismo para gran parte del departamento de Boyacá, a diferencia de los dos primeros datos que se obtuvieron a partir de las coordenadas geográficas de cada locación. Por lo anteriormente expuesto se emplean los datos obtenidos de la base de datos de la NASA, ya que representan mayor fiabilidad por el tiempo en el que son compilados.

3.2 CONSUMO ENERGÍA CABINA DE RADIO Y ESTACIÓN TRANSMISORA

Para determinar el consumo de energía de cada ubicación, se recurrió a las facturas de energía que suministra el operador de red, que en este caso corresponde a la Empresa de Energía de Boyacá S.A. E.S.P. EBSA, lo anterior para establecer un perfil de consumo aproximado de cada locación de la emisora.

3.2.1 Demanda de energía cabina de radio

Para esta ubicación se analiza el consumo de energía demandada durante el año 2021, el operador de red realiza el periodo de facturación mensualmente en esta locación. En la Tabla 6 se muestran los datos del consumo energético percibidos por la cabina de radio.

Tabla 6. Consumo de energía en cabina de radio.

CONSUMO DE ENERGÍA CABINA DE RADIO, AÑO 2021			
Mes	Días por mes	Consumo mensual kWh	Consumo diario kWh
Enero	31	252	8,13
Febrero	28,25	246	8,71
Marzo	31	220	7,10
Abril	30	250	8,33
Mayo	31	220	7,10
Junio	30	246	8,20
Julio	31	257	8,29
Agosto	31	227	7,32
Septiembre	30	235	7,83
Octubre	31	236	7,61
Noviembre	30	246	8,20
Diciembre	31	223	7,19
Promedio diario			7,83

Fuente: Elaboración propia (2022)

Como se puede observar en la Tabla 6, después de analizar los consumos mensuales durante un año, se puede determinar que la energía diaria aproximada requerida en la cabina radial para satisfacer sus requerimientos corresponde a 7,83 kwh.

3.2.2 Demanda de energía estación transmisora

En esta ubicación se analiza el consumo de energía demandada a partir de abril del año 2020 hasta marzo del año 2021, el operador de red realiza el periodo de facturación trimestral en esta locación. En la Tabla 7, se muestran los datos del consumo energético percibidos por la estación transmisora.

Tabla 7. Consumo de energía en estación transmisora

CONSUMO DE ENERÍA ESTACIÓN TRANSMISORA, AÑOS 2020 - 2021				
	Mes	Días por mes	Consumo trimestral kWh	Consumo diario kWh
Año 2020	Abril	30	766	8,42
	Mayo	31		
	Junio	30		
	Julio	31	750	8,15
	Agosto	31		
	Septiembre	30		
	Octubre	31	730	7,93
	Noviembre	30		
Diciembre	31			
Año 2021	Enero	31	995	11,02
	Febrero	28,25		
	Marzo	31		
Promedio diario				8,88

Fuente: Elaboración propia (2022)

Al analizar los consumos trimestrales obtenidos de las facturas de energía durante un año, se puede determinar que la energía diaria aproximada necesaria para cubrir los requerimientos energéticos de la estación transmisora corresponde a 8,88 kWh.

3.3 DISEÑO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ON-GRID Y OFF-GRID

En toda instalación eléctrica se debe dar cumplimiento al Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, así como a la Norma Técnica Colombiana NTC 2050 que hace referencia al Código Eléctrico Colombiano. Para los sistemas solares fotovoltaicos no es la excepción.

El RETIE aplica para paneles solares fotovoltaicos que proporcionan energía eléctrica a edificaciones residenciales, comerciales, industriales y públicas, así como en instalaciones conectadas a la red. Pero realiza una excepción en instalaciones para autoconsumo con potencias menores a 150 W y no conectadas a la red, [53]. En general para los sistemas solares On-Grid y Off-Grid y todos sus componentes (módulo fotovoltaico, inversor, regulador de carga, banco de baterías) tienen que cumplir lo estipulado en la norma NTC 2050 sección 690 [54].

Como se mencionó anteriormente en este trabajo, para los diseños propuestos se eligió el mes que presenta menores niveles de irradiación, pero aun así se hace necesario considerar un sobredimensionamiento correspondiente a pérdidas y factores de corrección, como por ejemplo condiciones climáticas poco favorables (periodos de baja captación solar) que puedan disminuir la generación de energía eléctrica de los sistemas solares fotovoltaicos On-Grid analizados en este documento y esto ocasione que los equipos de la emisora no operen adecuadamente. En cuanto a los sistemas solares FV Off-Grid este sobredimensionamiento tiene como objetivo garantizar que el banco de acumuladores logre recargarse adecuadamente, para de esta forma poder cumplir su función principal que es la de suministrar en su totalidad la energía demandada en cualquier instante de tiempo. En particular se utilizó un 20% de sobredimensionamiento (se recomienda no exceder este valor) [2].

Para los valores de costos de equipos y materiales, así como para el análisis económico, la conversión monetaria de pesos colombianos COP a dólares estadounidenses USD, se hizo tomando en cuenta una tasa de cambio representativa del mercado TRM de \$4129,87 COP, correspondiente al día 28 de junio de 2022 [55].

3.3.1 Cálculo hora-solar-pico

Teniendo en cuenta que el valor de irradiación solar para las dos ubicaciones de interés es el mismo y corresponde a $4,05 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ día. La estimación de la hora solar pico se calcula a partir de la ecuación (1). Este valor será tenido en cuenta para el diseño de cada sistema.

$$\text{HSP} = 4,05 \text{ h}$$

3.3.2 Selección panel solar

El panel solar empleado para el diseño de las distintas configuraciones propuestas en este trabajo será un módulo de tecnología monocristalino, ya que dentro de sus características se encuentra que este tipo de panel se adapta mejor a condiciones climáticas adversas y es capaz de captar una mayor irradiación solar a bajas temperaturas. De igual modo su potencia y eficiencia es mayor que otro tipo de tecnología de módulos fotovoltaicos. Por lo expuesto anteriormente se eligió un panel solar del fabricante CSun, modelo CSun 370-72M, este panel solar presenta una potencia de 370 W, ver ANEXO A.

En la Tabla 8 se pueden observar las principales características del panel solar seleccionado.

Tabla 8. Principales características panel solar, CSun 370-72M.

CARACTERÍSTICAS PANEL SOLAR	
PARÁMETROS	VALOR
Corriente de corto circuito (Isc)	9,90 A
Tensión de circuito abierto (Voc)	47,5 V
Potencia máxima (W)	370 W
Corriente de máxima potencia (Impp)	9,52 A
Tensión de máxima potencia (Vmpp)	38,9 V
Voltaje de trabajo del módulo fotovoltaico	24 V

Fuente: ANEXO A

3.3.3 Cálculo conductores

Para el cálculo de los conductores eléctricos es necesario diferenciar las zonas o tramos de la instalación fotovoltaica.

Para sistemas solares fotovoltaicos On-Grid las zonas o tramos corresponden a:

- Conexión entre paneles: los módulos ya cuentan con su cableado y su respectivo conector. Las características del conductor del módulo fotovoltaico seleccionado son: cable tipo manguera 4 mm² calibre internacional o 12 AWG calibre americano y su conector es del tipo MC4, ver ANEXO A.
- Entrada al inversor: esta es una zona en corriente continua DC corresponde al tramo de cableado que hay desde los módulos fotovoltaicos al inversor.
- Salida del inversor: este tramo corresponde a la salida hacia las cargas en corriente alterna AC.

Para sistemas solares fotovoltaicos Off-Grid los tramos o zonas corresponden a:

- Conexión entre paneles: los módulos ya cuentan con su cableado y su respectivo conector. Las características del conductor del módulo fotovoltaico seleccionado son: cable tipo manguera 4 mm² calibre internacional o 12 AWG calibre americano y su conector es del tipo MC4, ver ANEXO A.
- Entrada al regulador: esta es una zona en corriente continua DC corresponde al tramo de cableado que hay desde los módulos fotovoltaicos al inversor.
- Regulador-banco de baterías: esta es una zona en corriente continua DC, corresponde al tramo de cableado que hay desde el regulador de carga a las baterías.
- Banco de baterías-inversor: esta es una zona en corriente continua DC, corresponde al tramo de cableado que hay desde el banco de baterías hacia el inversor.
- Salida del inversor: este tramo corresponde a la salida hacia las cargas en corriente alterna AC.

Para el cálculo de la sección transversal de los conductores en corriente continua, se emplea la ecuación (17) [11]. Para calcular la variable I de la ecuación mencionada anteriormente, se debe considerar la corriente de corto circuito y las características del tramo para el cual se esté calculando el calibre del conductor, tal como lo especifica en código eléctrico colombiano NTC 2050 sección 690 [54]. Por consiguiente se emplea como referencia la corriente de corto circuito (I_{SC}) de los paneles solares seleccionados, ver Tabla 8.

$$S = \frac{2 * L * I}{\Delta u * C} \quad (17)$$

Donde:

- S = Sección transversal del conductor en mm²
- L = Longitud del conductor en m
- I = Corriente DC que circulará por los conductores de acuerdo al tramo de la instalación fotovoltaica que se esté analizando.
- Δu = Caída de tensión

C = Conductividad del elemento que conforma el conductor, cobre
56 m/Ω * mm²

Para el cálculo de la sección transversal de los conductores en corriente alterna, se emplea la ecuación (18), la cual solo presenta un cambio en una de sus variables, respecto a la ecuación (17).

$$S = \frac{2 * L * I_{AC} * \cos \varphi}{\Delta u * C} \quad (18)$$

Donde:

S = Sección transversal del conductor en mm²

L = Longitud del conductor en m

I_{AC} = Corriente AC que circulará por los conductores de acuerdo a la instalación en corriente alterna.

cos φ = Factor de potencia, ya que no se presentan cargas inductivas se toma el valor de 0,85

Δu = Caída de tensión

C = Conductividad del elemento que conforma el conductor, cobre
56 m/Ω * mm²

En sistemas solares fotovoltaicos para las zonas en corriente continua DC, el valor máximo admisible para la caída de tensión es de 1,5% y se recomienda no superar el 0,5%, así mismo, para la salida en corriente alterna el valor máximo admisible para la caída de tensión es del 2% [56].

En instalaciones solares fotovoltaicas, los conductores eléctricos más comerciales son: 6 mm², 10 mm², 16 mm², 35 mm² y 50 mm². Hay algunas recomendaciones para la utilización de estos conductores dependiendo del tramo dentro de la instalación, tramo paneles - inversor 6 mm², tramo paneles - regulador 6 mm², tramo regulador - banco de baterías 10 mm² a 16 mm², tramo banco de baterías - inversor 50 mm². Cabe resaltar que lo anterior solo son recomendaciones la elección del conductor también dependen de otras variables como por ejemplo la corriente máxima que soportan dichos conductores.

3.3.4 Diseño sistema solar fotovoltaico On-Grid cabina de radio

3.3.4.1 Cálculo potencia fotovoltaica

El valor de la potencia fotovoltaica generada por el sistema solar FV se obtuvo a partir de la ecuación (2), así mismo, se estableció que la energía demandada por la cabina de radio corresponde a 7,83 kWh, valor obtenido en la Tabla 6. A la anterior energía se le sumará un 20% (sobredimensionamiento) que corresponde a pérdidas y factores de corrección. Siendo así la energía ($E = \text{energía demandada} * 1,2$), equivalente a **9,40 kWh**. Por tanto, el valor resultante para la potencia fotovoltaica corresponde a:

$$P_p = 2,32 \text{ kW} = 2320 \text{ W}$$

3.3.4.2 Cálculo número de paneles solares

El número de módulos fotovoltaicos se obtuvo a partir de la ecuación (3), considerando que el panel solar seleccionado, corresponde a un módulo monocristalino.

$$N_T = 6,27 \approx 7$$

Para la configuración de los paneles solares se decide que estén conectados en una sola serie de siete módulos, teniendo en cuenta que el valor de voltaje en el punto de máxima potencia (mpp) y la corriente de entrada al inversor se encuentran dentro de los rangos de operación de éste.

3.3.4.3 Selección inversor de corriente

La selección del inversor se da con base en la potencia fotovoltaica (P_p) calculada anteriormente la cual tiene un valor de 2320 W, así mismo, se debe considerar la tensión máxima del sistema solar FV y la corriente de entrada al inversor. Con base en lo anterior se eligió el inversor modelo MIC 2000 TL-X, del fabricante Growatt el cual tiene una potencia fotovoltaica de 2800 W y cuenta con dos entradas MPPT, una para cada string, ver ANEXO B. Cabe resaltar que este inversor de corriente seleccionado, cuenta con un algoritmo MPPT el cual permite lograr un balance óptimo entre voltaje y corriente en los paneles solares. Este inversor no se debe confundir con los controladores de carga de tipo MPPT empleados en sistemas solares fotovoltaicos Off-Grid. En este caso el algoritmo MPPT cumple la misma

función, la cual es maximizar el rendimiento de los módulos fotovoltaicos, pero implementado a un regulador de carga.

- La tensión máxima del sistema solar FV, se calcula a partir de la ecuación:

$$V_{mpp} = V_{mpp,Panel} * N_s \quad (19)$$

$$V_{mpp} = 38,9 * 7$$

$$V_{mpp} = 272,3 \text{ V}$$

- La corriente a la entrada del inversor, se calcula a partir de la ecuación:

$$I_{mpp} = I_{mpp,Panel} * N_p \quad (20)$$

$$I_{mpp} = 9,52 \text{ A}$$

Como se mencionó anteriormente la conexión de los paneles será una sola serie de siete módulos. En este caso no se cuenta con paneles en paralelo, por esta razón la corriente en el punto de máxima potencia I_{mpp} es la corriente en el punto de máxima potencia de un panel solar.

Con los valores calculados V_{mpp} e I_{mpp} , se puede comprobar en la ficha técnica del inversor que estos valores se encuentran dentro de los rangos de operación de éste, ver ANEXO B.

3.3.4.4 Cálculo conductor tramo en DC a la entrada del inversor

Para el cálculo del conductor a la entrada del inversor se emplea la ecuación (17). Para ello es necesario primero definir las condiciones de: longitud del tramo, corriente I y caída de tensión. En la Tabla 9 se presentan los valores de estos parámetros que serán utilizados para el cálculo de la sección transversal del conductor que se deberá emplear para este tramo.

Tabla 9. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la entrada del inversor, sistema solar FV On-Grid cabina de radio.

PARÁMETROS	
VARIABLES	VALOR
Longitud aproximada del tramo	20 m

Tabla 9. (continuación)

VARIABLES	VALOR
I	La corriente de cortocircuito de los paneles solares seleccionados corresponde a 9,90 A, ver Tabla 8. En este caso no se cuentan con paneles en paralelo, por consiguiente la corriente I será la corriente de corto circuito de un módulo fotovoltaico, la cual tiene un valor de I = 9.90 A.
Δu	La tensión en el punto de máxima potencia de los paneles solares elegidos corresponde a 38,9 V, ver Tabla 8. Se tienen siete módulos fotovoltaicos en serie con un $V_{mpp} = 272,3 V$. Como se mencionó anteriormente, la caída de tensión no debe superar el 1,5%, por tanto el valor de la caída de tensión es $\Delta u = 4,08 V$.

Fuente: Elaboración propia (2022)

Reemplazando las variables de la Tabla 9 en la ecuación (17) se obtiene:

$$S = 1,73 \text{ mm}^2$$

La sección transversal del conductor que se relaciona con el valor obtenido, es de $2,5 \text{ mm}^2$ calibre internacional o 14 AWG calibre americano, siendo este el calibre de conductor encontrado en el mercado o el más comercial. Siguiendo las recomendaciones mencionadas con anterioridad, para este tramo se emplea un conductor de calibre 6 mm^2 o 10 AWG, las especificaciones técnicas del conductor se pueden observar en el ANEXO C.

3.3.4.5 Cálculo conductor tramo en AC a la salida del inversor a cargas

Para el cálculo del conductor a la salida del inversor se emplea la ecuación (18). Para ello es necesario primero definir las condiciones de: longitud del tramo, corriente en AC y caída de tensión. En la Tabla 10 se presentan los valores de estos parámetros que serán utilizados para el cálculo de la sección transversal del conductor que se deberá emplear para este tramo.

Tabla 10. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la salida del inversor, sistema solar FV On-Grid cabina de radio.

PARÁMETROS	
VARIABLES	VALOR
Longitud aproximada del tramo	8 m
I_{AC}	La corriente alterna se calcula con base en la potencia AC, la cual se calculó en 326,25 W y la tensión AC 120 V. Se considera un factor de potencia de 0,85, ya que no se cuentan con cargas inductivas. Con los anteriores datos se obtiene el valor de $I_{AC} = 3,20 \text{ A}$.
Δu	La tensión en corriente alterna, en la cabina de radio corresponde a 120 V. Como se mencionó anteriormente, la caída de tensión no debe superar el 2% para este tramo. Por tanto, la caída de tensión tiene el valor de $\Delta u = 2,4 \text{ V}$.

Fuente: Elaboración propia (2022)

Reemplazando las variables de la Tabla 10 en la ecuación (18) se obtiene:

$$S = 0,81 \text{ mm}^2$$

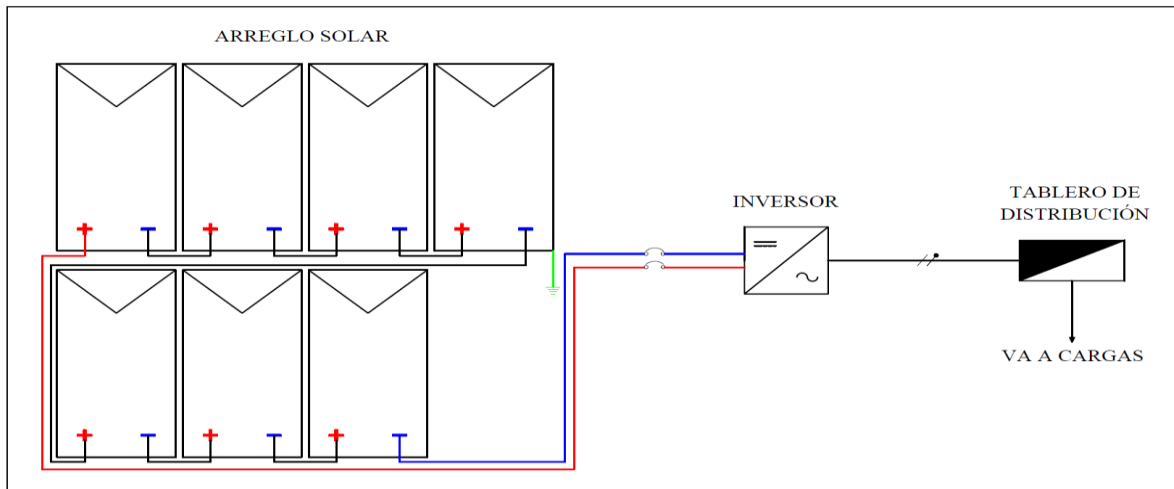
La sección transversal del conductor que se relaciona con el valor obtenido, es de 1 mm² calibre internacional o 18 AWG calibre americano, siendo este el calibre de conductor encontrado en el mercado o el más comercial. Sin embargo, atendiendo a la norma NTC 2025 del código eléctrico colombiano, el calibre mínimo que se debe emplear para instalaciones eléctricas corresponde al calibre 14 AWG o 2,5 mm² en calibre internacional. Las especificaciones técnicas del conductor se pueden observar en el ANEXO C.

3.3.4.6 Esquema

En la Figura 9 se puede observar el esquema del sistema solar fotovoltaico On-Grid diseñado para la ubicación de la cabina de radio. Como se ha mencionado, este sistema se encuentra conformado por siete módulos fotovoltaicos conectados en

circuito serie y un inversor de corriente. Este esquema se realizó a partir del software de diseño AutoCAD.

Figura 9. Esquema de conexión sistema solar FV On-Grid, cabina de radio



Fuente: Elaboración propia (2022)

3.3.4.7 Costo de equipos y materiales

En la Tabla 11 se presenta el costo de los diferentes equipos y materiales, que conforman el sistema solar fotovoltaico On-Grid, diseñado para la cabina de radio. La tasa de cambio empleada para la conversión monetaria, de pesos colombianos a dólares estadounidenses es \$4129,87 COP.

Tabla 11. Costo de equipos y materiales sistema On-Grid cabina de radio.

COSTO EQUIPOS Y MATERIALES						
Descripción	Cantidad	Unidad de medida	Valor Unitario (COP)	Valor Unitario (USD)	Sub-Total (COP)	Sub-Total (USD)
Panel Solar 370W 24V Monocristalino CSun	7	Uni	\$ 507.500,00	\$ 122,89	\$ 3.552.500,00	\$ 860,20
Inversor On Grid Growatt MIC 2000TL-X	1	Uni	\$ 2.301.258,00	\$ 557,22	\$ 2.301.258,00	\$ 557,22
Cable unifilar 6 mm ² solar PV ZZ - F Rojo	20	m	\$ 6.509,00	\$ 1,58	\$ 130.180,00	\$ 31,52
Cable unifilar 6 mm ² solar PV ZZ - F Nejo	20	m	\$ 6.611,00	\$ 1,60	\$ 132.220,00	\$ 32,02
Cable manguera 3x2.5 mm ² libre de halógenos	8	m	\$ 4.570,00	\$ 1,11	\$ 36.560,00	\$ 8,85
Estructura soporte 7 paneles	1	Uni	\$ 1.004.360,00	\$ 243,19	\$ 1.004.360,00	\$ 243,19
Accesorios		Uni	\$ 350.000,00	\$ 84,75	\$ 350.000,00	\$ 84,75
TOTAL					\$ 7.507.078,00	\$ 1.817,75

Fuente: Elaboración propia (2022)

NOTA: al momento de la realización de este documento el precio de los paneles solares, así como del inversor se encuentran exentos del IVA. Por otra parte, en el precio de los conductores, la estructura y los accesorios, ya se encuentra incluido el IVA.

3.3.5 Diseño sistema solar fotovoltaico Off-Grid cabina de radio

3.3.5.1 Cálculo potencia AC

El consumo de energía de la cabina de radio corresponde a 7,83 kWh, valor obtenido en la Tabla 6. Si se considera que la cabina de radio está en funcionamiento 24 horas del día, la potencia AC (P_{AC}) corresponde a 326,25 W.

$$P_{AC} = \frac{7830 \text{ W h}}{24 \text{ h}}$$

$$P_{AC} = 326,25 \text{ W}$$

3.3.5.2 Selección voltaje del sistema

El voltaje del sistema se selecciona a partir de la potencia AC (P_{AC}), la cual fue de 323,25 W, es decir 0,323 kW. Teniendo en cuenta que este valor de acuerdo con la Tabla 1, se ajusta a un voltaje de 12 V, este corresponderá al voltaje del sistema

empleado para la selección de los diferentes equipos que conforman el sistema FV Off-Grid.

3.3.5.3 Cálculo potencia fotovoltaica

El valor de la potencia generada por el sistema solar FV (P_p), se obtuvo a partir de la ecuación (2). Para este cálculo se tuvo en cuenta la energía demandada por la cabina de radio la cual corresponde a 7,83 kWh, valor obtenido en la Tabla 6. A esta energía se le sumará un 20% (sobredimensionamiento) que corresponde a pérdidas y factores de corrección. Siendo así la energía ($E = \text{energía demandada} * 1,2$), equivalente a **9,40 kWh**. Con lo anterior, el valor resultante para la potencia fotovoltaica corresponde a:

$$P_p = 2,32 \text{ kW} = 2320 \text{ W}$$

3.3.5.4 Cálculo número de paneles solares

El número de módulos fotovoltaicos se obtuvo a partir de la ecuación (3), considerando que el panel solar seleccionado corresponde a un módulo monocristalino.

$$N_T = 6,27 \approx 7$$

- **Cálculo número de paneles en serie**

A partir de la ecuación (4), se calcula el número de módulos fotovoltaicos en serie.

$$N_s = 2$$

- **Cálculo número de paneles en paralelo**

A partir de la ecuación (5), se obtiene el número de módulos fotovoltaicos en paralelo.

$$N_p = 3,14 \approx 4$$

Por lo anterior, la conexión de los paneles será la siguiente: dos módulos conectados en serie y cuatro ramas en paralelo, para un total de ocho módulos fotovoltaicos $N_T = 8$. Se calcula el número de módulos en serie y paralelo,

considerando las capacidades del regulador de carga elegido para este diseño, así mismo, para garantizar que los valores de corriente y voltaje se encuentren dentro de los parámetros de operación de éste.

3.3.5.5 Selección regulador de carga

Inicialmente se consideró un voltaje del sistema de 12 V. Como se mencionó anteriormente el voltaje del sistema se eligió según el criterio establecido en la Tabla 1, pero al realizar un análisis de los reguladores para distintas marcas y fabricantes que operan a ese voltaje, así mismo, considerando distintas conexiones entre paneles (serie, paralelo y mixto), el rango de corriente a la entrada del inversor, la tensión máxima a la entrada y potencia nominal no se encontraban dentro de los rangos de operación de los inversores a 12 V; de igual modo se consideró emplear varios reguladores de carga de 12 V, pero aun así la potencia fotovoltaica máxima a la entrada no estaba dentro del rango operacional de estos.

Por lo anterior, se decide establecer el voltaje del sistema en 48 V. Ya que, si se elige 24 V aun así la potencia fotovoltaica máxima a la entrada del regulador está por fuera de los rangos óptimos de operación, aunque la corriente a la entrada del inversor y la tensión máxima a la entrada estén dentro de los parámetros operacionales de los reguladores a 24 V.

El regulador de carga seleccionado corresponde a un Controlador de Carga de tipo MPPT 60A ML4860 12/24/48 SRNE, del fabricante SRNE, ver ANEXO D. Para que se cumpla que los rangos de operación óptima del regulador en mención estén dentro de los parámetros de éste, se elige una configuración de paneles mixto, dos paneles en serie y cuatro ramas en paralelo.

A partir de la ecuación (6) se calcula el valor de la corriente máxima de entrada al regulador.

$$I_{\max E} = 49,50 \text{ A}$$

La tensión máxima a la entrada del regulador se obtiene a partir del voltaje de circuito abierto del panel solar elegido, ver Tabla 8 y el número de módulos en serie, con lo anterior se obtiene:

$$\text{Max tensión a la entrada del regulador} = V_{oc} * N_s \quad (21)$$

$$\text{Max tensión a la entrada del regulador} = 47,5 * 2$$

Max tensión a la entrada del regulador = 95 V

Para calcular la potencia nominal que soporta el regulador de carga a su entrada, esta se obtiene a partir de: la potencia del panel solar elegido 370 W y el número total de módulos.

$$\text{Potencia nominal} = W_{\text{panel}} * N_T \quad (22)$$

$$\text{Potencia nominal} = 370 \text{ W} * 8$$

$$\text{Potencia nominal} = 2960 \text{ W}$$

Con los resultados obtenidos anteriormente se puede comprobar que estos valores se encuentran dentro de los rangos de operación del regulador de carga seleccionado, ver ANEXO D, el cual corresponde a la ficha técnica del controlador de carga.

3.3.5.6 Cálculo banco de baterías

Las baterías seleccionadas corresponden a la referencia, Batería GEL 12V 300 Ah Tensite, modelo GEL 12-300, marca Tensite, ver ANEXO E.

Para este diseño se opta por el tipo de baterías de GEL, ya que dentro de sus principales aplicaciones se encuentran que son aptas para la implementación en equipos o sistemas de comunicaciones, aplicaciones que concuerdan con la naturaleza de este trabajo, así mismo, este tipo de acumuladores presenta hasta un 50% más de vida útil comparado con otro tipo de baterías, [ANEXO E].

- La capacidad del banco de baterías se obtiene a partir de la ecuación (7), y se establece un día de autonomía para el banco de acumuladores.

$$C_U = 9,40 \text{ kWh}$$

- La capacidad nominal del banco de baterías se calcula a partir de la ecuación (8):

$$C = 18,8 \text{ kWh} = 18800 \text{ Wh}$$

La profundidad de descarga de la batería se establece en 50% ya que entre menor sea el ciclo de descarga, se prolongará la vida útil del acumulador.

- La capacidad nominal del banco de baterías en Ah, se obtiene a partir de la ecuación (9):

$$C_{ne,Ah} = 391,67 \text{ Ah}$$

- El número de baterías en serie se calcula a partir de ecuación (10):

$$Bat_{serie} = 4$$

- El número de baterías en paralelo se calcula a partir de la ecuación (11):

$$Bat_{paralelo} = 1.30 \approx 2$$

- El número total de baterías se calcula a partir de la ecuación (12):

$$N_{totalBat} = 8$$

A partir de los cálculos realizados anteriormente se determina que el banco de baterías estará conformado por un total de ocho baterías, que se conectarán de la siguiente manera: dos filas en paralelo con el fin de garantizar los Amperios hora (Ah) que se requieren, calculados en 391,67 Ah y cada fila con cuatro baterías en serie con el objetivo de sumar el voltaje del sistema elegido, el cual es de 48 V.

3.3.5.7 Selección inversor de corriente

Para la selección del inversor es necesario determinar su potencia (P_{inv}), para ello se emplea la ecuación (13) y el valor de la potencia AC ($P_{AC} = 326,25 \text{ W}$) calculada anteriormente, de igual manera para su selección se debe elegir en función del voltaje del sistema el cual se estableció en 48 V. Con lo anterior se eligió el inversor de tecnología MPPT del fabricante Victron Energy referencia Phoenix 48V 500VA 120V VE, modelo Direct 5-15R, el cual posee una potencia pico de 900 W y una potencia aparente para cargas no lineales de 500 VA, ver ANEXO F.

$$P_{inv} = 391,5 \text{ W}$$

La potencia aparente se calcula a partir de la potencia AC (potencia real o activa), y el factor de potencia para el cual se toma un valor de 0,85, ya que no se cuentan con cargas inductivas.

$$S = \frac{P}{fp}$$

$$S = \frac{326,25 \text{ W}}{0,85}$$

$$S = 383,82 \text{ VA}$$

3.3.5.8 Cálculo conductor tramo en DC a la entrada del regulador

Para el cálculo del conductor a la entrada del regulador se emplea la ecuación (17). Para ello es necesario primero definir las condiciones de: longitud del tramo, corriente I y caída de tensión. En la Tabla 12 se presentan los valores de estos parámetros que serán utilizados para el cálculo de la sección transversal del conductor que se deberá emplear para este tramo.

Tabla 12. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la entrada del regulador, sistema solar FV Off-Grid cabina de radio.

PARÁMETROS	
VARIABLES	VALOR
Longitud aproximada del tramo	20 m
I	La corriente de cortocircuito de los paneles solares elegidos tiene un valor de 9,90 A, ver Tabla 8. En este caso se cuenta con cuatro ramas de paneles en paralelo, por consiguiente el valor de la corriente es I = 39,6 A .
Δu	La tensión en el punto de máxima potencia de los paneles solares elegidos corresponde a 38,9 V, ver Tabla 8. Se tienen dos módulos fotovoltaicos en serie $V_{mpp} = 77,8 \text{ V}$. Como se mencionó anteriormente la caída de tensión no debe superar el 1,5%. Como resultado el valor de la caída de tensión es Δu = 1,17 V .

Fuente: Elaboración propia (2022)

Reemplazando las variables de la Tabla 12 en la ecuación (17) se obtiene:

$$S = 24,24 \text{ mm}^2$$

La sección transversal del conductor que se relaciona con el valor obtenido, es de 25 mm^2 calibre internacional o 4 AWG calibre americano, siendo este el calibre de conductor encontrado en el mercado o el más comercial. las especificaciones técnicas del conductor se pueden observar en el ANEXO C.

3.3.5.9 Cálculo conductor tramo en DC regulador-banco de baterías

Para el cálculo del conductor en el tramo regulador-banco de baterías se emplea la ecuación (17). Para ello es necesario primero definir las condiciones de: longitud del tramo, corriente I y caída de tensión. En la Tabla 13 se presentan los valores de estos parámetros que serán utilizados para el cálculo de la sección transversal del conductor que se deberá emplear para este tramo.

Tabla 13. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor en el tramo regulado-banco de baterías, sistema solar FV Off-Grid cabina de radio.

PARÁMETROS	
VARIABLES	VALOR
Longitud aproximada del tramo	3 m
I	Para este tramo igualmente se toma el valor de la corriente de cortocircuito de los paneles solares elegidos, la cual corresponde a 9,90 A, ver Tabla 8. En este caso se cuenta con cuatro ramas de paneles en paralelo por consiguiente el valor de la corriente es I = 39,6 A .
Δu	Para este tramo la tensión analizada corresponde al voltaje del sistema, establecido en 48 V. Como se mencionó anteriormente la caída de tensión no debe superar el 1,5%. Como resultado el valor de la caída de tensión es $\Delta u = 0,72 \text{ V}$.

Fuente: Elaboración propia (2022)

Reemplazando las variables de la Tabla 13 en la ecuación (17) se obtiene:

$$S = 5,89 \text{ mm}^2$$

La sección transversal del conductor que se relaciona con el valor obtenido, es de 6 mm^2 calibre internacional o 10 AWG calibre americano, siendo este el calibre de conductor encontrado en el mercado o el más comercial. Las especificaciones técnicas del conductor se pueden observar en el ANEXO C.

Atendiendo las recomendación del fabricante de las baterías, la sección transversal del conductor debe ser de 50 mm^2 calibre internacional o 1/0 AWG calibre americano, para la conexión entre acumuladores, ver ANEXO E.

3.3.5.10 Cálculo conductor tramo en DC banco de baterías-inversor

Para el cálculo del conductor en el tramo banco de baterías-inversor se emplea la ecuación (17). Para ello es necesario primero definir las condiciones de: longitud del tramo, corriente I y caída de tensión. En la Tabla 14 se presentan los valores de estos parámetros que serán utilizados para el cálculo de la sección transversal del conductor que se deberá emplear para este tramo.

Tabla 14. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor en el tramo banco de baterías-inversor, sistema solar FV Off-Grid cabina de radio.

PARÁMETROS	
VARIABLES	VALOR
Longitud aproximada del tramo	3 m
I	Para conocer la corriente que circula por este tramo, la cual corresponde a la corriente que entra al inversor, se emplea la ecuación [8]: $I_{Einv} = 1,25 * \frac{P_{AC}}{V_{sist} * \eta_{inv}}$ (η_{inv} = eficiencia del inversor), ver ANEXO F. Reemplazando las variables en la ecuación anterior se obtiene el valor de la corriente I_{Einv} , la cual equivale a la corriente I para este tramo $I_{Einv} = 1,25 * \frac{323.25 \text{ W}}{48 \text{ V} * 0,91} = 9,34 \text{ A}$.
Δu	Para este tramo la tensión analizada corresponde al voltaje del sistema, establecido en 48 V. Como se mencionó anteriormente la

Tabla 14. (continuación)

VARIABLES	VALOR
	caída de tensión no debe superar el 1,5%. Como resultado el valor de la caída de tensión es $\Delta u = 0,72 \text{ V}$.

Fuente: Elaboración propia (2022)

Reemplazando las variables de la Tabla 14 en la ecuación (17) se obtiene:

$$S = 1,39 \text{ mm}^2$$

La sección transversal del conductor que se relaciona con el valor obtenido, es de $2,5 \text{ mm}^2$ calibre internacional o 14 AWG calibre americano, siendo este el calibre de conductor encontrado en el mercado o el más comercial. Considerando las recomendaciones del fabricante del inversor, el calibre del conductor debe ser de 10 mm^2 calibre internacional o 8 AWG calibre americano para esta conexión, ver ANEXO F. Las especificaciones técnicas del conductor se pueden observar en el ANEXO C.

3.3.5.11 Cálculo conductor tramo en AC inversor a cargas

Para el cálculo del conductor a la salida del inversor se emplea la ecuación (18). Para ello es necesario primero definir las condiciones de: longitud del tramo, corriente en AC y caída de tensión. En la Tabla 15 se presentan los valores de estos parámetros que serán utilizados para el cálculo de la sección transversal del conductor que se deberá emplear para este tramo.

Tabla 15. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la salida de inversor, sistema solar FV Off-Grid cabina de radio.

PARÁMETROS	
VARIABLES	VALOR
Longitud aproximada del tramo	8 m

Tabla 15. (continuación)

VARIABLES	VALOR
I_{AC}	La corriente alterna se calcula con base en la potencia AC, la cual se calculó en 326,25 W y la tensión AC 120 V, se considera un factor de potencia de 0,85, ya que no se cuenta con cargas inductivas. Con los anteriores datos se obtiene el valor de $I_{AC} = 3,20 \text{ A}$.
Δu	La tensión en corriente alterna, en la cabina de radio corresponde a 120 V, como se mencionó anteriormente la caída de tensión no debe superar el 2% para este tramo. Por tanto, la caída de tensión tiene el valor de $\Delta u = 2,4 \text{ V}$.

Fuente: Elaboración propia (2022)

Reemplazando las variables de la Tabla 15 en la ecuación (18) se obtiene:

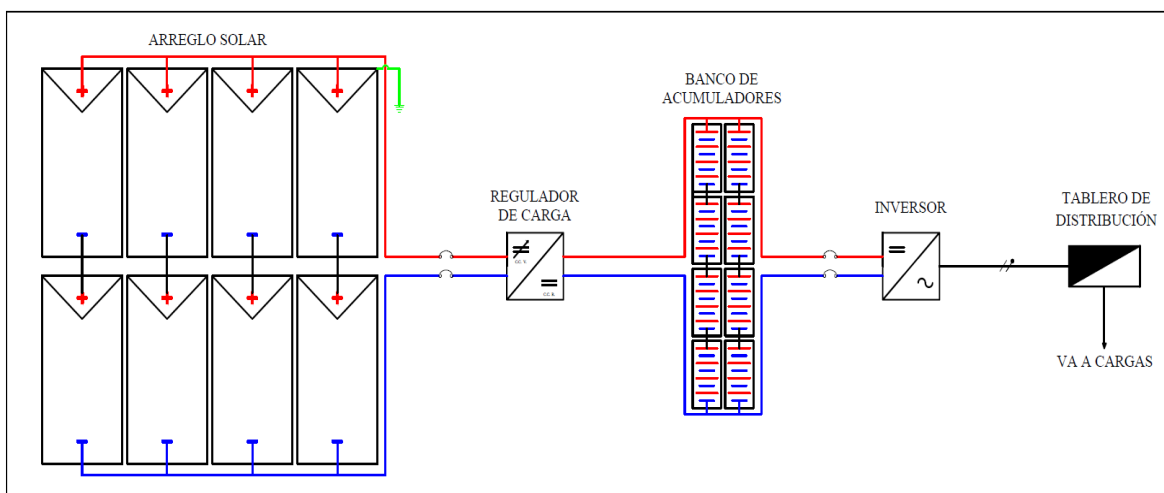
$$S = 0,32 \text{ mm}^2$$

La sección transversal del conductor que se relaciona con el valor obtenido, es de 1 mm^2 calibre internacional o 18 AWG calibre americano, siendo este el calibre de conductor encontrado en el mercado o el más comercial. Sin embargo, atendiendo a la norma NTC 2025 del código eléctrico colombiano, el calibre mínimo que se debe emplear para instalaciones eléctricas debe ser el correspondiente a un calibre 14 AWG o $2,5 \text{ mm}^2$ en calibre internacional. Las especificaciones técnicas del conductor se pueden observar en el ANEXO C.

3.3.5.12 Esquema

En la Figura 10 se puede observar el esquema del sistema solar fotovoltaico Off-Grid diseñando para la cabina de radio, como se ha mencionado este sistema se encuentra conformado por ocho módulos fotovoltaicos, un controlador de carga, un inversor de corriente y un banco de baterías el cual a su vez está conformado por ocho acumuladores. Este esquema se realizó a partir del software de diseño AutoCAD.

Figura 10. Esquema de conexión sistema solar FV Off-Grid, cabina de radio



Fuente: Elaboración propia (2022)

3.3.5.13 Costo de equipos y materiales

En la Tabla 16 se presenta el costo de los diferentes equipos y materiales, que conforman el sistema solar fotovoltaico Off-Grid, diseñado para la cabina de radio. La tasa de cambio empleada para la conversión monetaria, de pesos colombianos a dólares estadounidenses es \$4129,87 COP.

Tabla 16. Costo de equipos y materiales sistema Off-Grid cabina de radio

COSTO EQUIPOS Y MATERIALES						
Descripción	Cantidad	Unidad de medida	Valor Unitario (COP)	Valor Unitario (USD)	Sub-Total (COP)	Sub-Total (USD)
Panel Solar 370W 24V Monocristalino CSun	8	Uni	\$ 507.500,00	\$ 122,89	\$ 4.060.000,00	\$ 983,08
Controlador Carga MPPT 60A ML 4860 12/24/48 SRNE	1	Uni	\$ 1.212.694,00	\$ 293,64	\$ 1.212.694,00	\$ 293,64
Batería GEL 12V 300Ah Tensite	8	Uni	\$ 1.575.114,00	\$ 381,40	\$ 12.600.912,00	\$ 3.051,16
Inversor Victron Phoenix 48V 500VA 120V VE. Direc 5- 15R	1	Uni	\$ 861.000,00	\$ 208,48	\$ 861.000,00	\$ 208,48
Cable unifilar 25 mm ² solar PV ZZ - F Rojo	20	m	\$ 19.802,00	\$ 4,79	\$ 396.040,00	\$ 95,90
Cable unifilar 25 mm ² solar PV ZZ - F Nejo	20	m	\$ 19.802,00	\$ 4,79	\$ 396.040,00	\$ 95,90
Cable unifilar 6 mm ² solar PV ZZ - F Nejo	6	m	\$ 6.611,00	\$ 1,60	\$ 39.666,00	\$ 9,60
Cable unifilar 10 mm ² solar PV ZZ - F Nejo	6	m	\$ 10.234,00	\$ 2,48	\$ 61.404,00	\$ 14,87
Cable manguera 3x2.5 mm ² libre de halógenos	8	m	\$ 4.570,00	\$ 1,11	\$ 36.560,00	\$ 8,85
Estructura soporte 8 paneles	1	Uni	\$ 1.254.044,00	\$ 303,65	\$ 1.254.044,00	\$ 303,65
Accesorios		Uni	\$ 450.000,00	\$ 108,96	\$ 450.000,00	\$ 108,96
TOTAL					\$ 21.368.360,00	\$ 5.174,10

Fuente: Elaboración propia (2022)

NOTA: al momento de la realización de este documento el precio de los paneles solares, el controlador de carga, las baterías y el inversor se encuentran exentos del IVA. Por otra parte, en el precio de los conductores, la estructura y los accesorios, ya se encuentra incluido el IVA.

3.3.6 Diseño sistema solar fotovoltaico On-Grid estación transmisora

3.3.6.1 Cálculo potencia fotovoltaica

El valor de la potencia fotovoltaica generada por el sistema solar FV se obtuvo a partir de la ecuación (2), así mismo, se estableció que la energía demandada por la estación transmisora corresponde a 8,88 kWh, valor obtenido en la Tabla 7. A la anterior energía se le sumará un 20% (sobredimensionamiento) que corresponde a pérdidas y factores de corrección. Siendo así la energía ($E = \text{energía demandada} * 1,2$), equivalente a **10,66 kWh**. Por tanto, el valor resultante para la potencia fotovoltaica corresponde a:

$$P_p = 2,63 \text{ kW} = 2630 \text{ W}$$

3.3.6.2 Cálculo número de paneles solares

El número de módulos fotovoltaicos se obtuvo a partir de la ecuación (3), considerando que el panel solar seleccionado, corresponde a un módulo monocristalino.

$$N_T = 7,11 \approx 8$$

Para la configuración de los paneles solares se decide que estén conectados en una sola serie de ocho módulos, teniendo en cuenta que el valor del voltaje en el punto de máxima potencia (mpp) y la corriente de entrada al inversor se encuentran dentro de los rangos de operación de éste.

3.3.6.3 Selección inversor de corriente

La selección del inversor se da con base en la potencia fotovoltaica (P_p) calculada anteriormente la cual tiene un valor de 2630 W, así mismo, se debe considerar la tensión máxima del sistema solar FV y la corriente de entrada al inversor. Con base en lo anterior se eligió el inversor modelo MIC 2000 TL-X, del fabricante Growatt, el cual tiene una potencia fotovoltaica de 2800 W y cuenta con dos entradas MPPT,

una para cada string, ver ANEXO B. Cabe resaltar que este inversor de corriente seleccionado, cuenta con un algoritmo MPPT el cual permite lograr un balance óptimo entre voltaje y corriente en los paneles solares. Este inversor no se debe confundir con los controladores de carga de tipo MPPT empleados en sistemas solares fotovoltaicos Off-Grid. En este caso el algoritmo MPPT cumple la misma función, la cual es maximizar el rendimiento de los módulos fotovoltaicos, pero implementado a un regulador de carga.

- El valor de la tensión máxima del sistema solar FV, se obtuvo a partir de la ecuación (19).

$$V_{mpp} = 311,2 V$$

- El valor de la corriente a la entrada del inversor, se calcula a partir de la ecuación (20).

$$I_{mpp} = 9,52 A$$

Como se mencionó anteriormente la conexión de los paneles será una sola serie de ocho módulos. En este caso no se cuenta con paneles en paralelo, por esta razón la corriente en el punto de máxima potencia I_{mpp} es la corriente en el punto de máxima potencia de un panel.

Con los valores calculados V_{mpp} e I_{mpp} , se puede comprobar en la ficha técnica del inversor, que estos valores se encuentran dentro de los rangos de operación de éste, ver ANEXO B.

3.3.6.4 Cálculo conductor tramo en DC a la entrada del inversor

Para el cálculo del conductor a la entrada del inversor se emplea la ecuación (17). Para ello es necesario primero definir las condiciones de: longitud del tramo, corriente I y caída de tensión. En la Tabla 17 se presentan los valores de estos parámetros que serán utilizados para el cálculo de la sección transversal del conductor que se deberá emplear para este tramo.

Tabla 17. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la entrada del inversor, sistema solar FV On-Grid estación transmisora.

PARÁMETROS	
VARIABLES	VALOR
Longitud aproximada del tramo	15 m
I	La corriente de cortocircuito de los paneles solares seleccionados corresponde a 9,90 A, ver Tabla 8. En este caso no se cuentan con paneles en paralelo, por consiguiente la corriente I será la corriente de corto circuito de un módulo fotovoltaico, la cual tiene un valor de I = 9.90 A.
Δu	La tensión en el punto de máxima potencia de los paneles solares elegidos corresponde a 38,9 V, ver Tabla 8. Se tienen ocho módulos fotovoltaicos en serie con un $V_{mpp} = 311,2 V$. Como se mencionó anteriormente, la caída de tensión no debe superar el 1,5%, por tanto el valor de la caída de tensión es Δu = 4,67 V.

Fuente: Elaboración propia (2022)

Reemplazando las variables de la Tabla 17 en la ecuación (17) se obtiene:

$$S = 1,14 \text{ mm}^2$$

La sección transversal del conductor que se relaciona con el valor obtenido, es de 2,5 mm² calibre internacional o 14 AWG calibre americano, siendo este el calibre de conductor encontrado en el mercado o el más comercial. Siguiendo las recomendaciones mencionadas con anterioridad, para este tramo se emplea un conductor de calibre 6 mm² o 10 AWG, las especificaciones técnicas del conductor se pueden observar en el ANEXO C.

3.3.6.5 Cálculo conductor tramo en AC a la salida del inversor a cargas

Para el cálculo del conductor a la salida del inversor se emplea la ecuación (18). Para ello es necesario primero definir las condiciones de: longitud del tramo,

corriente en AC y caída de tensión. En la Tabla 18 se presentan los valores de estos parámetros que serán utilizados para el cálculo de la sección transversal del conductor que se deberá emplear para este tramo.

Tabla 18. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la salida del inversor, sistema solar FV On-Grid estación transmisora.

PARÁMETROS	
VARIABLES	VALOR
Longitud aproximada del tramo	2 m
I_{AC}	La corriente alterna se calcula con base en la potencia AC, la cual se calculó en 555 W y la tensión AC 120 V. Se considera un factor de potencia de 0,85, ya que no se cuentan con cargas inductivas. Con los anteriores datos se obtiene el valor de $I_{AC} = 5,44$ A.
Δu	La tensión en corriente alterna, en la estación transmisora corresponde a 120 V. Como se mencionó anteriormente, la caída de tensión no debe superar el 2% para este tramo. Por tanto, la caída de tensión tiene el valor de $\Delta u = 2,4$ V.

Fuente: Elaboración propia (2022)

Reemplazando las variables de la Tabla 18 en la ecuación (18) se obtiene:

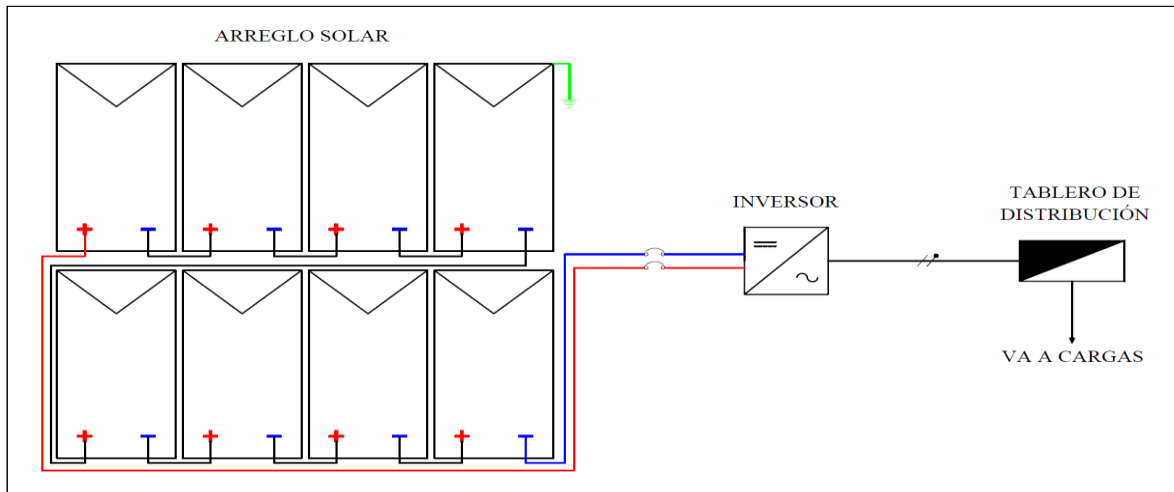
$$S = 0,14 \text{ mm}^2$$

La sección transversal del conductor que se relaciona con el valor obtenido, es de 1 mm^2 calibre internacional o 18 AWG calibre americano, siendo este el calibre de conductor encontrado en el mercado o el más comercial. Sin embargo, atendiendo a la norma NTC 2025 del código eléctrico colombiano, el calibre mínimo que se debe emplear para instalaciones eléctricas corresponde al calibre 14 AWG o $2,5 \text{ mm}^2$ en calibre internacional, las especificaciones técnicas del conductor se pueden observar en el ANEXO C.

3.3.6.6 Esquema

En la Figura 11 se puede observar el esquema del sistema solar fotovoltaico On-Grid diseñado para la ubicación de la estación transmisora, como se ha mencionado este sistema se encuentra conformado por ocho módulos fotovoltaicos conectados en serie y un inversor de corriente. Este esquema se realizó a partir del software de diseño AutoCAD.

Figura 11. Esquema de conexión sistema solar FV On-Grid, estación transmisora



Fuente: Elaboración propia (2022)

3.3.6.7 Costo de equipos y materiales

En la Tabla 19 se presenta el costo de los diferentes equipos y materiales, que conforman el sistema solar fotovoltaico On-Grid diseñado para la estación transmisora. La tasa de cambio empleada para la conversión monetaria, de pesos colombianos a dólares estadounidenses es \$4129,87 COP.

Tabla 19. Costo de equipos y materiales sistema On-Grid estación transmisora.

COSTO EQUIPOS Y MATERIALES						
Descripción	Cantidad	Unidad de medida	Valor Unitario (COP)	Valor Unitario (USD)	Sub-Total (COP)	Sub-Total (USD)
Panel Solar 370W 24V Monocristalino CSun	8	Uni	\$ 507.500,00	\$ 122,89	\$ 4.060.000,00	\$ 983,08
Inversor On Grid Growatt MIC 2000TL-X	1	Uni	\$ 2.301.258,00	\$ 557,22	\$ 2.301.258,00	\$ 557,22
Cable unifilar 6 mm ² solar PV ZZ - F Rojo	15	m	\$ 6.509,00	\$ 1,58	\$ 97.635,00	\$ 23,64
Cable unifilar 6 mm ² solar PV ZZ - F Nejo	15	m	\$ 6.611,00	\$ 1,60	\$ 99.165,00	\$ 24,01
Cable manguera 3x2.5 mm ² libre de halógenos	2	m	\$ 4.570,00	\$ 1,11	\$ 9.140,00	\$ 2,21
Estructura soporte 8 paneles	1	Uni	\$ 1.254.044,00	\$ 303,65	\$ 1.254.044,00	\$ 303,65
Accesorios		Uni	\$ 250.000,00	\$ 60,53	\$ 250.000,00	\$ 60,53
TOTAL					\$ 8.071.242,00	\$ 1.954,36

Fuente: Elaboración propia (2022)

NOTA: al momento de la realización de este documento el precio de los paneles solares, así como del inversor se encuentran exentos del IVA. Por otra parte, en el precio de los conductores, la estructura y los accesorios, ya se encuentra incluido el IVA.

3.3.7 Diseño sistema solar fotovoltaico Off-Grid estación transmisora

3.3.7.1 Cálculo potencia AC

El consumo de energía de la estación transmisora corresponde a 8,88 kWh, valor obtenido en la Tabla 7. Si se considera que la estación transmisora está en funcionamiento 16 horas del día, la potencia AC (P_{AC}) corresponden a 555 W.

$$P_{AC} = \frac{8880 \text{ Wh}}{16 \text{ h}}$$

$$P_{AC} = 555 \text{ W}$$

3.3.7.2 Selección voltaje del sistema

El voltaje del sistema se selecciona a partir de la potencia AC (P_{AC}), la cual fue de 555 W, es decir 0,555 kW. Teniendo en cuenta que este valor de acuerdo con la Tabla 1, se ajusta a un voltaje de 12 V, este corresponderá al voltaje del sistema

empleado para la selección de los diferentes equipos que conforman el sistema FV Off-Grid.

3.3.7.3 Cálculo potencia fotovoltaica

El valor de la potencia generada por el sistema solar FV (P_p), se obtuvo a partir de la ecuación (2). Para este cálculo se tuvo en cuenta la energía demandada por la estación transmisora la cual corresponde a 8,88 kWh, valor obtenido en la Tabla 7. A esta energía se le sumará un 20% (sobredimensionamiento) que corresponde a pérdidas y factores de corrección. Siendo así la energía ($E = \text{energía demandada} * 1,2$) equivalente a **10,66 kWh**. Con lo anterior, el valor resultante para la potencia fotovoltaica corresponde a:

$$P_p = 2,63 \text{ kW} = 2630 \text{ W}$$

3.3.7.4 Cálculo número de paneles solares

El número de módulos fotovoltaicos se obtuvo a partir de la ecuación (3), considerando que el panel solar seleccionado corresponde a un módulo monocristalino.

$$N_T = 7,11 \approx 8$$

- **Cálculo número de paneles en serie**

A partir de la ecuación (4), se calcula el número de módulos fotovoltaicos en serie.

$$N_s = 2$$

- **Cálculo número de paneles en paralelo**

A partir de la ecuación (5), se obtiene el número de módulos fotovoltaicos en paralelo.

$$N_p = 3,55 \approx 4$$

Por lo anterior, la conexión de los paneles será la siguiente: dos módulos conectados en serie y cuatro ramas en paralelo, para un total de ocho módulos fotovoltaicos $N_T = 8$. Se calcula el número de módulos en serie y paralelo,

considerando las capacidades del regulador de carga elegido para este diseño, así mismo, para garantizar que los valores de corriente y voltaje se encuentren dentro de los parámetros de operación de éste.

3.3.7.5 Selección regulador de carga

Inicialmente se consideró un voltaje del sistema de 12 V. Como se mencionó anteriormente el voltaje del sistema se eligió según el criterio establecido en la Tabla 1, pero al realizar un análisis de los reguladores para distintas marcas y fabricantes que operan a ese voltaje, así mismo, considerando distintas conexiones entre paneles (serie, paralelo y mixto), el rango de corriente a la entrada del inversor, la tensión máxima a la entrada y potencia nominal no se encontraban dentro de los rangos de operación de los inversores a 12 V; de igual modo se consideró emplear varios reguladores de carga de 12 V, pero aun así la potencia fotovoltaica máxima a la entrada no estaba dentro del rango operacional de estos.

Por lo anterior, se decide establecer el voltaje del sistema en 48 V, ya que, si se elige 24 V aun así la potencia fotovoltaica máxima a la entrada del regulador está por fuera de los rangos óptimos de operación, aunque la corriente a la entrada del inversor y tensión máxima a la entrada estén dentro de los parámetros operacionales de los reguladores a 24 V.

El regulador de carga seleccionado corresponde a un Controlador de Carga de tipo MPPT 60A ML4860 12/24/48 SRNE, del fabricante SRNE, ver ANEXO D. Para que se cumpla que los rangos de operación óptima del regulador en mención estén dentro de los parámetros de éste, se elige una configuración de paneles mixto, dos paneles en serie y cuatro ramas en paralelo.

A partir de la ecuación (6) se calcula el valor de la corriente máxima de entrada al regulador.

$$I_{\max E} = 49,50 \text{ A}$$

La tensión máxima a la entrada del regulador se calcula a partir del voltaje de circuito abierto del panel solar elegido, ver Tabla 8 y el número de módulos en serie. Con las variables anteriores y empleando la ecuación (21) se obtiene:

$$\text{Max tensión a la entrada del regulador} = 95 \text{ V}$$

La potencia nominal que soporta el regulador de carga a su entrada se calcula a partir de la potencia del panel solar elegido 370W, el número total de módulos y empleando la ecuación (22) se obtiene:

$$\text{Potencia nominal} = 2960 \text{ W}$$

Con los resultados obtenidos anteriormente se puede comprobar que estos valores se encuentran dentro de los rangos de operación del regulador de carga seleccionado, ver ANEXO D, el cual corresponde a la ficha técnica del controlador de carga.

3.3.7.6 Cálculo banco de baterías

Las baterías seleccionadas corresponden a la referencia, Batería GEL 12V 300 Ah Tensite, modelo GEL 12-300, marca Tensite, ver ANEXO E.

Para este diseño se opta por el tipo de baterías de GEL, ya que dentro de sus principales aplicaciones se encuentran que son aptas para la implementación en equipos o sistemas de comunicaciones, aplicaciones que concuerdan con la naturaleza de este trabajo, así mismo, este tipo de acumuladores presenta hasta un 50% más de vida útil comparado con otro tipo de baterías, [ANEXO E].

- La capacidad del banco de baterías se obtiene a partir de la ecuación (7), y se establece un día de autonomía para el banco de acumuladores.

$$C_U = 10,66 \text{ kWh}$$

- La capacidad nominal del banco de baterías se calcula a partir de la ecuación (8):

$$C = 21,32 \text{ kWh} = 21320 \text{ Wh}$$

La profundidad de descarga de la batería se establece en 50%, ya que entre menor sea el ciclo de descarga se prolongará la vida útil del acumulador.

- La capacidad nominal del banco de baterías en Ah, se obtiene a partir de la ecuación (9)

$$C_{ne,Ah} = 444,17 \text{ Ah}$$

- El número de baterías en serie se calcula a partir de la ecuación (10)

$$\mathbf{Bat_{serie} = 4}$$

- El número de baterías en paralelo se obtiene a partir de la ecuación (11)

$$\mathbf{Bat_{paralelo} = 1,48 \approx 2}$$

- El número total de baterías se calcula a partir de la ecuación (12)

$$\mathbf{N_{total_Bat} = 8}$$

A partir de los cálculos realizados anteriormente se determina que el banco de baterías estará conformado por un total de ocho baterías, que se conectarán de la siguiente manera: dos filas en paralelo con el fin de garantizar los Amperios hora (Ah) que se requieren, calculados en 444,17 Ah y cada fila con cuatro baterías en serie con el objetivo de sumar el voltaje del sistema elegido, el cual es de 48 V.

3.3.7.7 Selección inversor de corriente

Para la selección del inversor es necesario determinar su potencia (P_{inv}). Para ello se emplea la ecuación (13) y el valor de la potencia AC ($P_{AC} = 555 \text{ W}$) calculada anteriormente, de igual manera para su selección se debe elegir en función del voltaje del sistema el cual se estableció en 48 V. Con lo anterior se eligió el inversor de tecnología MPPT del fabricante Victron Energy referencia Phoenix 48V 800VA 120V VE, modelo Direct 5-15R, el cual posee una potencia pico de 1500 W y una potencia aparente para cargas no lineales de 800 VA, ver ANEXO G.

$$\mathbf{P_{inv} = 666 \text{ W}}$$

La potencia aparente se calcula a partir de la potencia AC (potencia real o activa), y el factor de potencia para el cual se toma un valor de 0,85 ya que no se cuenta con cargas inductivas.

$$S = \frac{P}{fp}$$

$$S = \frac{555 \text{ W}}{0,85}$$

$$\mathbf{S = 652.94 \text{ VA}}$$

3.3.7.8 Cálculo conductor tramo en DC a la entrada del regulador

Para el cálculo del conductor a la entrada del regulador se emplea la ecuación (17). Para ello es necesario primero definir las condiciones de: longitud del tramo, corriente I y caída de tensión. En la Tabla 20 se presentan los valores de estos parámetros que serán utilizados para el cálculo de la sección transversal del conductor que se deberá emplear para este tramo.

Tabla 20. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la entrada del regulador, sistema solar FV Off-Grid estación transmisora.

PARÁMETROS	
VARIABLES	VALOR
Longitud aproximada del tramo	15 m
I	La corriente de cortocircuito de los paneles solares elegidos tiene un valor de 9,90 A, ver Tabla 8. En este caso se cuenta con cuatro ramas de paneles en paralelo, por consiguiente el valor de la corriente es $I = 39,6 \text{ A}$.
Δu	La tensión en el punto de máxima potencia de los paneles solares elegidos corresponde a 38,9 V, ver Tabla 8. Se tienen dos módulos fotovoltaicos en serie $V_{mpp} = 77,8 \text{ V}$. Como se mencionó anteriormente la caída de tensión no debe superar el 1,5%. Como resultado el valor de la caída de tensión es $\Delta u = 1,17 \text{ V}$.

Fuente: Elaboración propia (2022)

Reemplazando las variables de la Tabla 20 en la ecuación (17) se obtiene:

$$S = 18,18 \text{ mm}^2$$

La sección transversal del conductor que se relaciona con el valor obtenido, es de 25 mm^2 calibre internacional o 4 AWG calibre americano, siendo este el calibre de conductor encontrado en el mercado o el más comercial. las especificaciones técnicas del conductor se pueden observar en el ANEXO C.

3.3.7.9 Cálculo conductor tramo en DC regulador-banco de baterías

Para el cálculo del conductor en el tramo regulador-banco de baterías se emplea la ecuación (17). Para ello es necesario primero definir las condiciones de: longitud del tramo, corriente I y caída de tensión. En la Tabla 21 se presentan los valores de estos parámetros que serán utilizados para el cálculo de la sección transversal del conductor que se deberá emplear para este tramo.

Tabla 21. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor en el tramo regulador-banco de baterías, sistema solar FV Off-Grid estación transmisora.

PARÁMETROS	
VARIABLES	VALOR
Longitud aproximada del tramo	2 m
I	Para este tramo igualmente se toma el valor de la corriente de cortocircuito de los paneles solares elegidos, la cual corresponde a 9,90 A, ver Tabla 8. En este caso se cuenta con cuatro ramas de paneles en paralelo por consiguiente el valor de la corriente es $I = 39,6 \text{ A}$.
Δu	Para este tramo la tensión analizada corresponde al voltaje del sistema, establecido en 48 V. Como se mencionó anteriormente la caída de tensión no debe superar el 1,5%. Como resultado el valor de la caída de tensión es $\Delta u = 0,72 \text{ V}$.

Fuente: Elaboración propia (2022)

Reemplazando las variables de la Tabla 21 en la ecuación (17) se obtiene:

$$S = 3,93 \text{ mm}^2$$

La sección transversal del conductor que se relaciona con el valor obtenido, es de 4 mm^2 calibre internacional o 12 AWG calibre americano, siendo este el calibre de conductor encontrado en el mercado o el más comercial. Siguiendo las recomendaciones mencionadas con anterioridad, para este tramo se emplea un

conductor de 6 mm² calibre internacional o 10 AWG calibre americano. Las especificaciones técnicas del conductor se pueden observar en el ANEXO C.

Atendiendo las recomendación del fabricante de las baterías la sección transversal del conductor debe ser de 50 mm² calibre internacional o 1/0 AWG calibre americano, para la conexión entre acumuladores, ver ANEXO E.

3.3.7.10 Cálculo conductor tramo en DC banco de baterías-inversor

Para el cálculo del conductor en el tramo banco de baterías-inversor se emplea la ecuación (17). Para ello es necesario primero definir las condiciones de: longitud del tramo, corriente I y caída de tensión. En la Tabla 22 se presentan los valores de estos parámetros que serán utilizados para el cálculo de la sección transversal del conductor que se deberá emplear para este tramo.

Tabla 22. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor en el tramo banco de baterías-inversor, sistema solar FV Off-Grid estación transmisora.

PARÁMETROS	
VARIABLES	VALOR
Longitud aproximada del tramo	2 m
I	Para conocer la corriente que circula por este tramo, la cual corresponde a la corriente que entra al inversor, se emplea la ecuación [8]: $I_{Einv} = 1,25 * \frac{P_{AC}}{V_{sist} * \eta_{inv}}$ (η_{inv} = eficiencia del inversor), ver ANEXO G. Reemplazando las variables en la ecuación anterior se obtiene el valor de la corriente I_{Einv} , la cual equivale a la corriente I para este tramo $I_{Einv} = 1,25 * \frac{555 W}{48 V * 0,91} = 15,88 A$
Δu	Para este tramo la tensión analizada corresponde al voltaje del sistema, establecido en 48V. Como se mencionó anteriormente

Tabla 22. (continuación)

VARIABLES	VALOR
Δu	la caída de tensión no debe superar el 1,5%. Como resultado el valor de la caída de tensión es $\Delta u = 0,72 \text{ V}$.

Fuente: Elaboración propia (2022)

Reemplazando las variables de la Tabla 22 en la ecuación (17) se obtiene:

$$S = 1,58 \text{ mm}^2$$

La sección transversal del conductor que se relaciona con el valor obtenido, es de $2,5 \text{ mm}^2$ calibre internacional o 14 AWG calibre americano, siendo este el calibre de conductor encontrado en el mercado o el más comercial. Considerando las recomendación del fabricante del inversor el calibre del conductor debe ser de 10 mm^2 calibre internacional o 8 AWG calibre americano para esta conexión, ver ANEXO G. las especificaciones técnicas del conductor se pueden observar en el ANEXO C.

3.3.7.11 Cálculo conductor tramo en AC inversor a cargas

Para el cálculo del conductor a la salida del inversor se emplea la ecuación (18). Para ello es necesario primero definir las condiciones de: longitud del tramo, corriente en AC y caída de tensión. En la Tabla 23 se presentan los valores de estos parámetros que serán utilizados para el cálculo de la sección transversal del conductor que se deberá emplear para este tramo.

Tabla 23. Parámetros para el cálculo de la sección transversal del conductor a la salida de inversor, sistema solar FV Off-Grid estación transmisora.

PARÁMETROS	
VARIABLES	VALOR
Longitud aproximada del tramo	3 m

Tabla 23. (continuación)

VARIABLES	VALOR
I_{AC}	La corriente alterna se calcula con base en la potencia AC, la cual se calculó en 555 W y la tensión AC 120 V, se considera un factor de potencia de 0,85, ya que no se cuentan con cargas inductivas. Con los anteriores datos se obtiene el valor de $I_{AC} = 5,44$ A.
Δu	La tensión en corriente alterna, en la cabina de radio corresponde a 120 V, como se mencionó anteriormente la caída de tensión no debe superar el 2% para este tramo. Por tanto, la caída de tensión tiene el valor de $\Delta u = 2,4$ V.

Fuente: Elaboración propia (2022)

Reemplazando las variables de la Tabla 23 en la ecuación (18) se obtiene:

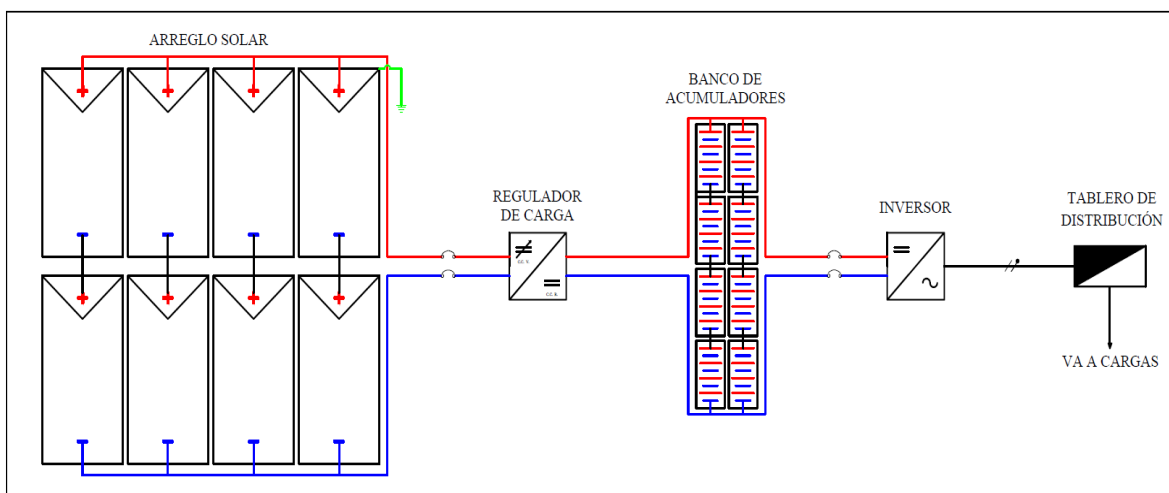
$$S = 0,21 \text{ mm}^2$$

La sección transversal del conductor que se relaciona con el valor obtenido, es de 1 mm² calibre internacional o 18 AWG calibre americano, siendo este el calibre de conductor encontrado en el mercado o el más comercial. Sin embargo, atendiendo a la norma NTC 2025 del código eléctrico colombiano, el calibre mínimo que se debe emplear para instalaciones eléctricas corresponde al calibre 14 AWG o 2,5 mm² en calibre internacional, las especificaciones técnicas del conductor se pueden observar en el ANEXO C.

3.3.7.12 Esquema

En la Figura 12 se puede observar el esquema del sistema solar fotovoltaico Off-Grid diseñando para la ubicación de la estación transmisora. Como se ha mencionado este sistema se encuentra conformado por ocho módulos fotovoltaicos, un controlador de carga, un inversor de corriente y un banco de baterías, el cual a su vez está conformado por 8 acumuladores. Este esquema se realizó a partir del software de diseño AutoCAD.

Figura 12. Esquema de conexión sistema solar FV Off-Grid, estación transmisora



Fuente: Elaboración propia (2022)

3.3.7.13 Costo de equipos y materiales

En la Tabla 24 se presenta el costo de los diferentes equipos y materiales, que conforman el sistema solar fotovoltaico Off-Grid, diseñado para la estación transmisora. La tasa de cambio empleada para la conversión monetaria, de pesos colombianos a dólares estadounidenses es \$4129,87 COP.

Tabla 24. Costo de equipos y materiales sistema Off-Grid estación transmisora.

Costo equipos y materiales						
Descripción	Cantidad	Unidad de medida	Valor Unitario (COP)	Valor Unitario (USD)	Sub-Total (COP)	Sub-Total (USD)
Panel Solar 370W 24V Monocristalino CSun	8	Uni	\$ 507.500,00	\$ 122,89	\$ 4.060.000,00	\$ 984,08
Controlador Carga MPPT 60A ML 4860 12/24/48 SRNE	1	Uni	\$ 1.212.694,00	\$ 293,64	\$ 1.212.694,00	\$ 294,64
Bateria GEL 12V 300Ah Tensite	8	Uni	\$ 1.575.114,00	\$ 381,40	\$ 12.600.912,00	\$ 3.052,16
Inversor Victron Phoenix 48V 800VA 120V VE. Direc 5- 15R	1	Uni	\$ 1.291.580,00	\$ 312,74	\$ 1.291.580,00	\$ 313,74
Cable unifilar 25 mm ² solar PV ZZ - F Rojo	15	m	\$ 19.802,00	\$ 4,79	\$ 297.030,00	\$ 72,92
Cable unifilar 25 mm ² solar PV ZZ - F Nejo	15	m	\$ 19.802,00	\$ 4,79	\$ 297.030,00	\$ 72,92
Cable unifilar 6 mm ² solar PV ZZ - F Nejo	4	m	\$ 6.611,00	\$ 1,60	\$ 26.444,00	\$ 7,40
Cable unifilar 10 mm ² solar PV ZZ - F Nejo	4	m	\$ 10.234,00	\$ 2,48	\$ 40.936,00	\$ 10,91
Cable manguera 3x2.5 mm ² libre de halógenos	3	m	\$ 4.570,00	\$ 1,11	\$ 13.710,00	\$ 4,32
Estructura soporte 8 paneles	1	Uni	\$ 1.254.044,00	\$ 303,65	\$ 1.254.044,00	\$ 304,65
Accesorios		Uni	\$ 450.000,00	\$ 108,96	\$ 450.000,00	\$ 109,96
TOTAL					\$ 21.544.380,00	\$ 5.227,72

Fuente: Elaboración propia (2022)

NOTA: al momento de la realización de este documento el precio de los paneles solares, el controlador de carga, las baterías y el inversor se encuentran exentos del IVA. Por otra parte, en el precio de los conductores, la estructura y los accesorios, ya se encuentra incluido el IVA.

3.3.8 Orientación paneles solares cabina de radio y estación transmisora

La orientación de los módulos fotovoltaicos debe ser tal que la energía que se genere sea la máxima posible, esto se puede lograr posicionando los paneles solares de cara al sur pero orientándose hacia el sureste o suroeste; esto para países que se encuentran por arriba de la línea ecuatorial [48]. En Colombia que la mayoría de su territorio se encuentra por encima de la línea imaginaria del ecuador, la orientación óptima para los paneles solares se daría, posicionándolos de cara al sur por lo citado anteriormente.

3.3.9 Inclinación paneles solares cabina de radio y estación transmisora

Una correcta inclinación de los paneles solares se da cuando los rayos incidentes del sol llegan al módulo fotovoltaico lo más perpendicularmente posible, esto garantiza un máximo de energía generada por el sistema FV. El ángulo de inclinación óptimo se calcula a partir de la ecuación [9]:

$$\beta_o = 3,7 + (0,69 * |\varphi|) \quad (23)$$

Donde:

$$\begin{aligned} \beta_o &= \text{Ángulo de inclinación óptimo} \\ |\varphi| &= \text{Latitud del lugar} \end{aligned}$$

3.3.9.1 Inclinación óptima paneles cabina de radio

A partir de la ecuación (23) se obtiene la inclinación óptima de los módulos fotovoltaicos. Para esta ubicación la latitud corresponde a (5.518411).

$$\beta_o = 3,7 + (0,69 * |\varphi|)$$

$$\beta_o = 3,7 + (0,69 * |5.518411|)$$

$$\beta_o = 3,7 + (0,69 * |5.518411|)$$

$$\beta_o = 7,51^\circ$$

3.3.9.2 Inclinación óptima paneles estación transmisora

A partir de la ecuación (23) se obtiene la inclinación óptima de los paneles solares. Para esta ubicación la latitud corresponde a (5.536576).

$$\beta_o = 3,7 + (0,69 * |\varphi|)$$

$$\beta_o = 3,7 + (0,69 * |5.536576|)$$

$$\beta_o = 3,7 + (0,69 * |5.536576|)$$

$$\beta_o = 7,52^\circ$$

3.4 ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el análisis económico se determina el valor del costo del kWh, generado por los generadores solares fotovoltaicos propuestos en este trabajo, así mismo, se establece el tiempo para la recuperación de la inversión y del mismo modo, se calcula el índice de rendimiento para estos sistemas solares fotovoltaicos. Lo anterior permite analizar la viabilidad económica para los propietarios de la emisora Corporación Radial Voz del Lago.

El costo del kWh generado convencionalmente tiene un valor de \$730,28 COP, para el periodo de facturación correspondiente al mes de junio de 2022. Este precio de la energía es el mismo para las dos ubicaciones en estudio: cabina de radio y estación transmisora. El anterior dato se tomó de las facturas de energía que proporciona el operador de red.

En este trabajo se asume que la inversión inicial se haría con recursos propios, directamente por los propietarios de la emisora.

Los costos de los equipos (EC) para los sistemas solares fotovoltaicos On-Grid analizados en este documento corresponden al valor de: paneles solares, inversor de corriente, cableado, estructura de soporte y accesorios. En cuanto a los sistemas solares FV Off-Grid el costo de los equipos (EC) corresponde al valor de: paneles solares, regulador de carga, banco de baterías, inversor de corriente, cableado, estructura de soporte y accesorios. El costo de instalación (IC) concierne al valor de

la instalación en general y las diferentes adecuaciones (obra civil a pequeña escala, instalación de tubería o canalización, cableado eléctrico) adaptaciones necesarias para la puesta en funcionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos, así mismo, dentro de estos costos se contempla la contratación del personal necesario para la realización de dichas adecuaciones e instalación de los equipos. Los costos anuales recurrentes (ARC) se relacionan a los costos de operación y mantenimiento necesarios para el correcto funcionamiento de los sistemas solares fotovoltaicos. El costo de instalación (IC) corresponde al 10%, así como los costos recurrentes (ARC) corresponden al 1% del costo de los equipos (EC) [13].

La tasa de descuento se puede definir como, el precio del capital a un valor actual y determina su valor en el futuro. Para la determinación de la tasa de descuento se pueden elegir entre tres métodos: - emplear la tasa de descuento de proyectos de similares características a la actividad económica analizada, - un método más sofisticado es utilizar modelos CAPM y WACC y por último la tasa de descuento se puede obtener sumando un factor de corrección por riesgo a la tasa mercado [57]. Por lo citado anteriormente para determinar la tasa de descuento en este trabajo, se opta por el método que permite emplear la tasa de descuento de un proyecto de similares características al que se plantea en este documento. Por lo cual, el valor de la tasa de descuento utilizada para los cálculos que se presentan a continuación corresponde a $r = 3\%$ [58], para una vida útil de los equipos estimada en $LT = 20$ años, considerando que aún se encuentran en funcionamiento generadores fotovoltaicos instalados hace 20 años y que con el desarrollo de nuevas tecnologías en los materiales de construcción de los equipos se puede llegar a obtener una vida útil entre 30 y 40 años [59].

La energía total mensual generada por los sistemas solares fotovoltaicos se calcula a partir de la ecuación:

$$E_R = 30 * P_m * n * HSP \quad (24)$$

Donde:

$E_R =$	Energía total generada por el sistema
$P_m =$	Potencia nominal del panel solar
$n =$	Número de paneles
$HSP =$	Hora-solar-pico

La energía total generada por el sistema (E_R) es una variable necesaria para calcular el costo nivelado de energía (LCOE), así como el periodo de recuperación de la inversión.

3.4.1 Análisis económico cabina de radio sistema solar FV On-Grid

A partir de la ecuación (24) se determina la cantidad total de energía generada por el sistema solar fotovoltaico:

Potencia nominal del panel solar: 370 W
 Número de paneles: 7
 Hora-solar-pico: 4,05 h

$$E_R = 314,68 \text{ kWh}$$

3.4.1.1 Costo nivelado de energía LCOE

En la Tabla 25 se presentan los valores de las diferentes variables necesarias para conocer el costo de la energía generada a partir del sistema solar fotovoltaico en mención. La tasa de cambio empleada para la conversión monetaria, de pesos colombianos a dólares estadounidenses es \$4129,87 COP.

Tabla 25. Variables para el análisis económico cabina de radio sistema solar fotovoltaico On-Grid.

VALOR VARIABLES		
VARIABLE	VALOR	VALOR
Costo equipos, EC	\$7.507.078,00 (COP)	1.817,75 (USD)
Costo instalación, IC	\$750.707,80 (COP)	181,78 (USD)
Costos anuales recurrentes, ARC	\$75.070,78 (COP)	18,18 (USD)
Vida útil, LT	20 años	
Tasa de descuento, r	3%	
Energía total generada por el sistema, E_R	314,68 kWh	
Costo de la energía (kWh) generada convencionalmente, C_{ref}	\$730,28 (COP)	0,18 (USD)

Fuente: Elaboración propia (2022)

Para conocer el precio de la energía generada a partir del sistema solar FV, se reemplazan las anteriores variables en la ecuación (14), obteniendo como resultado:

$$\text{LCOE} = \$166,87 \text{ COP} = \$0,04 \text{ USD}$$
$$\text{Costo convencional kWh} = \$730,28 \text{ COP} = 0,18 \text{ USD}$$

3.4.1.2 Periodo de recuperación de la inversión

El periodo de recuperación de la inversión del sistema solar fotovoltaico se determina a partir de la ecuación (15), y reemplazando los valores de las variables de la Tabla 25 se obtiene:

$$\text{Periodo de recuperación} = 3,08 \approx 4 \text{ años}$$

3.4.1.3 Relación de rendimiento

La relación de rendimiento del sistema solar fotovoltaico se determina a partir de la ecuación (16), y reemplazando los valores de las variables de la Tabla 25:

$$\frac{\text{Retorno total}}{\text{Costo total}} = 5,65$$

3.4.2 Análisis económico cabina de radio sistema solar FV Off-Grid

En los sistemas solares fotovoltaicos Off-Grid se debe considerar una reinversión que corresponde al cambio del banco de baterías, ya que este presenta una menor vida útil que el resto de los equipos que conforman el sistema solar FV, el costo total de los equipo para este sistema se estimó en \$21.368.360,00 COP o \$5.174,10 USD, ver Tabla 16. Este costo se incrementa a \$33.969.272,00 COP o \$8.225,86 USD, considerando el reemplazo del banco de baterías cuando finalice su vida útil.

A partir de la ecuación (24) se determina la cantidad total de energía generada por el sistema solar fotovoltaico:

Potencia nominal del panel solar: 370 W
Número de paneles: 8
Hora-solar-pico: 4,05 h

$$E_R = 359,64 \text{ kWh}$$

3.4.2.1 Costo nivelado de energía LCOE

En la Tabla 26 se presentan los valores de las diferentes variables necesarias para conocer el costo de la energía generada a partir del sistema solar fotovoltaico en mención. La tasa de cambio empleada para la conversión monetaria, de pesos colombianos a dólares estadounidenses es \$4129,87 COP.

Tabla 26. Variables para el análisis económico cabina de radio sistema solar fotovoltaico Off-Grid.

VALOR VARIABLES		
VARIABLE	VALOR	VALOR
Costo equipos, EC	\$33.969.272,00 COP	\$8.225,86 USD
Costo instalación, IC	\$3.396.927,20 COP	\$822,53 USD
Costos anuales recurrentes, ARC	\$339.692,72 COP	\$82,25 USD
Vida útil, LT	20 años	
Tasa de descuento, r	3%	
Energía total generada por el sistema, E_R	359,64 kWh	
Costo de la energía (kWh) generada convencionalmente, C_{ref}	\$730,28 COP	0,18 USD

Fuente: Elaboración propia (2022)

Para conocer el precio de la energía generada a partir del sistema solar FV, se reemplazan las anteriores variables en la ecuación (14), obteniendo como resultado:

$$\text{LCOE} = \$660,68 \text{ COP} = \$0,16 \text{ USD}$$

$$\text{Costo convencional kWh} = \$730,28 \text{ COP} = 0,18 \text{ USD}$$

3.4.2.2 Periodo de recuperación de la inversión

El periodo de recuperación de la inversión del sistema solar fotovoltaico se determina a partir de la ecuación (15), y reemplazando los valores de las variables de la Tabla 26 se obtiene:

$$\text{Periodo de recuperación} = 13,29 \approx 14 \text{ años}$$

3.4.2.3 Relación de rendimiento

La relación de rendimiento del sistema solar fotovoltaico se determina a partir de la ecuación (16), y reemplazando los valores de las variables de la Tabla 26:

$$\frac{\text{Retorno total}}{\text{Costo total}} = 1,43$$

3.4.3 Análisis económico estación transmisora sistema solar FV On-Grid

A partir de la ecuación (24) se determina la cantidad total de energía generada por el sistema solar fotovoltaico:

Potencia nominal del panel solar: 370 W
 Número de paneles: 8
 Hora-solar-pico: 4,05 h

$$E_R = 359,64 \text{ kWh}$$

3.4.3.1 Costo nivelado de energía LCOE

En la Tabla 27 se presentan los valores de las diferentes variables necesarias para conocer el costo de la energía generada a partir del sistema solar fotovoltaico en mención. La tasa de cambio empleada para la conversión monetaria, de pesos colombianos a dólares estadounidenses es \$4129,87 COP.

Tabla 27. Variables para el análisis económico sistema solar fotovoltaico On-Grid estación transmisora.

VALOR VARIABLES		
VARIABLE	VALOR	VALOR
Costo equipos, <i>EC</i>	\$8.071.242,00 COP	\$1.954,36 USD
Costo instalación, <i>IC</i>	\$807.124,20 COP	\$195,44 USD
Costos anuales recurrentes, <i>ARC</i>	\$80.712,42 COP	\$19,54 USD
Vida útil, <i>LT</i>	20 años	
Tasa de descuento, <i>r</i>	3%	
Energía total generada por el sistema, <i>E_R</i>	359,64 kWh	

Tabla 27. (continuación)

VARIABLE	VALOR	VALOR
Costo de la energía (kWh) generada convencionalmente, C_{ref}	\$730,28 COP	0,18 USD

Fuente: Elaboración propia (2022)

Para conocer el precio de la energía generada a partir del sistema solar FV, se reemplazan las anteriores variables en la ecuación (14), obteniendo como resultado:

$$\text{LCOE} = \$156,98 \text{ COP} = \$0,04 \text{ USD}$$

$$\text{Costo convencional kWh} = \$730,28 \text{ COP} = 0,18 \text{ USD}$$

3.4.3.2 Periodo de recuperación de la inversión

El periodo de recuperación de la inversión del sistema solar fotovoltaico se determina a partir de la ecuación (15), y reemplazando los valores de las variables de la Tabla 27:

$$\text{Periodo de recuperación} = 2,89 \approx 3 \text{ años}$$

3.4.3.3 Relación de rendimiento

La relación de rendimiento del sistema solar fotovoltaico se determina a partir de la ecuación (16), y reemplazando los valores de las variables de la Tabla 27:

$$\frac{\text{Retorno total}}{\text{Costo total}} = 6,01$$

3.4.4 Análisis económico estación transmisora sistema solar FV Off-Grid

En los sistemas solares fotovoltaicos Off-Grid se debe considerar una reinversión que corresponde al cambio del banco de baterías, ya que este presenta una menor vida útil que el resto de los equipos que conforman el sistema solar FV. El costo total de los equipos para este sistema se estimó en \$21.544.380,00 COP o 5.227,89 USD, ver Tabla 24. Este costo se incrementa a \$34.145.292,00 COP o 8.267,89 USD, considerando el reemplazo del banco de baterías cuando finalice su vida útil.

A partir de la ecuación (24) se determina la cantidad total de energía generada por el sistema solar fotovoltaico, mensualmente:

Potencia nominal del panel solar: 370 W
 Número de paneles: 8
 Hora-solar-pico: 4,05 h

$$E_R = 359,64 \text{ kWh}$$

3.4.4.1 Costo nivelado de energía LCOE

En la Tabla 28 se presentan los valores de las diferentes variables necesarias para conocer el costo de la energía generada a partir del sistema solar fotovoltaico en mención. La tasa de cambio empleada para la conversión monetaria, de pesos colombianos a dólares estadounidenses es \$4129,87 COP.

Tabla 28. Variables para el análisis económico sistema solar fotovoltaico Off-Grid estación transmisora.

VALOR VARIABLES		
VARIABLE	VALOR	VALOR
Costo equipos, EC	\$34.145.292,00 COP	\$8.267,89 USD
Costo instalación, IC	\$3.414.529,20 COP	\$826,79 USD
Costos anuales recurrentes, ARC	\$341.452,92 COP	\$82,68 USD
Vida útil, LT	20 años	
Tasa de descuento, r	3%	
Energía total generada por el sistema, E_R	359,64 kWh	
Costo de la energía (kWh) generada convencionalmente, C_{ref}	\$730,28 COP	\$0,18 USD

Fuente: Elaboración propia (2022)

Para conocer el precio de la energía generada a partir del sistema solar FV, se reemplazan las anteriores variables en la ecuación (14), obteniendo como resultado:

$$\text{LCOE} = \$664,10 \text{ COP} = \$0.16 \text{ USD}$$

$$\text{Costo convencional kWh} = \$730,28 \text{ COP} = 0,18 \text{ USD}$$

3.4.4.2 Periodo de recuperación de la inversión

El periodo de recuperación de la inversión del sistema solar fotovoltaico se determina a partir de la ecuación (15), y reemplazando los valores de las variables de la Tabla 28 se obtiene:

$$\text{Periodo de recuperación} = 13,37 \approx 14 \text{ años}$$

3.4.4.3 Relación de rendimiento

La relación de rendimiento del sistema solar fotovoltaico se determina con la ecuación (16), y reemplazando los valores de las variables de la Tabla 28:

$$\frac{\text{Retorno total}}{\text{Costo total}} = 1,42$$

3.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de los resultados obtenidos se puede evidenciar que los dos sistemas solares FV On-Grid y Off-Grid para las dos ubicaciones de estudio, cabina de radio y estación transmisora resultan rentables económicamente para realizar una inversión en un sistema solar fotovoltaico. Como se puede observar en el análisis económico realizado, el costo de la energía generada a partir de los sistemas solares fotovoltaicos analizados en este trabajo es menor que el costo del kWh que se consume de la red eléctrica, del mismo modo el retorno de la inversión necesaria se recupera en un periodo de tiempo menor al de la vida útil de los equipos, lo que hace viables estos sistemas solares fotovoltaicos diseñados.

La inversión inicial requerida para la implementación del sistema solar fotovoltaico On-Grid para la cabina de radio tendría un costo de \$8.257.785,80 COP o 1999,53 USD, valor correspondiente al costo de equipos e instalación. Para el sistema solar FV Off-Grid analizado para esta misma ubicación es necesaria una inversión inicial, considerando el costo de equipos e instalación, de \$23.505.196 COP o \$5691,51 USD; este valor corresponde a la inversión inicial requerida para la implementación. Sin embargo, para este tipo de sistema solar FV se debe considerar el costo de reemplazo del banco de baterías cuando finalice su vida útil, ya que es menor que la del resto de los equipos; incluyendo el costo que acarrea el cambio del banco de acumuladores. El costo total de lo que significa la inversión para este tipo de sistema solar fotovoltaico en esta locación es de \$37.366.199,20 COP o \$9047,79 USD.

Para la estación transmisora, la implementación del sistema solar fotovoltaico On-Grid, requiere de una inversión inicial de \$8.878.366,20 COP o \$2149,80 USD, valor que corresponde al costo de los equipos y su instalación. En cuanto a una posible implementación del sistema solar FV Off-Grid analizado en este documento, para esta misma locación la inversión inicial corresponde al valor de \$23.698.818 COP o 5738,39 USD, que representa el costo de los equipos e instalación. Como en el sistema solar fotovoltaico Off-Grid para la cabina de radio, en este tipo de sistemas solares FV de igual manera se debe considerar el cambio del banco de baterías al término de su vida útil; por esta razón, incluyendo el costo que implica el cambio del banco de baterías, el costo total de la inversión para este tipo de sistema fotovoltaico es \$37.559.821,20 COP o \$9094,67 USD. En este documento se proyectó un horizonte de 20 años de vida útil para los equipos que conforman los dos tipos de sistemas solares analizados.

De acuerdo al análisis económico realizado para conocer el costo nivelado de energía, a partir de los sistemas solares FV On-Grid y Off-Grid, indica que estos resultan viables además de rentables, ya que si se compara el costo de la energía convencional la cual tiene un valor por kWh de 730,28 COP, con el valor LCOE calculado para cada sistema, en todos los casos se evidencia un ahorro en el costo del kWh generado a partir de estos sistemas solares fotovoltaicos. Para la locación de la cabina de radio, considerando un aprovisionamiento energético a partir del sistema solar FV On-Grid, el ahorro respecto al valor del kWh convencional corresponde a 77,15% con un LCOE calculado de 166,87 COP para este sistema. Para esta misma locación, pero considerando un aprovisionamiento energético a partir del sistema solar fotovoltaico Off-Grid el ahorro respecto al valor del kWh convencional es 9,53% con un LCOE calculado para este sistema es de 660,68 COP.

En cuanto a la estación transmisora, teniendo en cuenta un aprovisionamiento energético a partir del sistema solar fotovoltaico On-Grid el ahorro respecto al valor del kWh convencional es de 78,51% con un costo nivelado de energía calculado para este sistema solar FV de 156,98 COP, mientras que para el sistema Off-Grid para esta misma locación el porcentaje de ahorro respecto al valor del kWh convencional es 9,06% con un costo nivelado de energía calculado para este sistema de 664,10 COP. Cabe resaltar que estos porcentajes de ahorro obtenidos para los cuatro sistemas solares fotovoltaicos diseñados, para las locaciones de la cabina de radio y estación transmisora pueden variar, ya que el precio del kWh convencional cambia mes a mes. Así mismo, es importante destacar que estos valores mostrados en porcentajes se calcularon con base en los costos de la inversión total para cada sistema analizado.

El ahorro que se espera obtener por parte de los propietarios de la emisora Corporación Radial Voz del Lago, con una posible implementación de un sistema solar fotovoltaico, corresponde a un ahorro directo en la disminución del costo de la factura de energía, debido a que no se consideró una posible venta de energía al operador de red. La energía generada a partir de los sistemas solares fotovoltaicos propuestos se asume únicamente para autoconsumo.

Para la instalación de los sistemas solares On-Grid, estos requieren de menor espacio para los equipos porque solo están conformados por los módulos fotovoltaicos y el inversor de corriente, de estos solo el inversor requiere de un recinto que lo proteja de la intemperie, esto desde el punto vista técnico resulta de gran importancia, puesto que en la locación de la estación transmisora el espacio es reducido. En cuanto a los sistemas solares FV Off-Grid estos requieren de mayor espacio para la ubicación e instalación de los diferentes equipos que lo conforman, debido a que los equipos como por ejemplo el regulador de carga, el banco de acumuladores y el inversor de corriente no pueden estar al aire libre, requieren de un lugar para su ubicación, desde el punto vista técnico esto representa un inconveniente para la instalación de este tipo de sistemas solares FV, ya que en especial en la locación de la estación transmisora el espacio es reducido.

El área requerida para la instalación de los módulos fotovoltaicos, en la cabina de radio se hace necesario disponer de un área de 13,58 m² para el sistema solar fotovoltaico On-Grid, en cuanto al sistema solar FV Off-Grid para esta misma ubicación se debe disponer de un área de 15,53m². En cuanto a la estación transmisora, la instalación de los paneles solares requieren de un área de 15,53m², tanto para el sistema solar fotovoltaico On-Grid como Off-Grid.

Después de finalizar los diseños realizados para los sistemas solares fotovoltaicos On-Grid y Off-Grid, para la cabina de radio. En la Tabla 29 se puede observar los equipos que conforman cada sistema propuesto con sus principales características.

Tabla 29. Equipos que conforman los diseños de los sistemas solares FV, On-grid y Off-grid cabina de radio

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ON-GRID			
CANTIDAD	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
7	Panel solar	- Monocristalino	- Potencia 370 W

Tabla 29. (continuacion)

CANTIDAD	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
		- CSUN 370-72M - Marca CSUN	
1	Inversor	- MIC 2000 TL-X - Marca Growatt	- Potencia fotovoltaica 2800 W
SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO Off-GRID			
CANTIDAD	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
8	Panel solar	- Monocristalino - CSUN 370-72M	- Potencia 370 W
1	Controlador de carga	- MPPT 60A ML4860 12/24/48 SRNE - Marca SRNE	- Corriente máxima de entrada 60 A - Tensión a la entrada 150 V - Potencia nominal 3200 W/48 V
8	Baterías	- GEL 12V 300 Ah Tensite, modelo GEL 12-300 - Marca, Tensite	- Capacidad 300 Ah - Voltaje 12 V
1	Inversor	- Phoenix 48V 500VA 120V VE, modelo Direct 5-15R - Marca Victron Energy	- Potencia pico 900 W - Potencia aparente 500 VA

Fuente: Elaboración propia (2022)

Después de finalizar los diseños realizados para los sistemas solares fotovoltaicos On-Grid y Off-Grid, para la estación transmisora. En la Tabla 30 se puede observar los equipos que conforman cada sistema propuesto con sus principales características.

Tabla 30. Equipos que conforman los diseños de los sistemas solares FV, On-grid y Off-grid estación transmisora

SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO ON-GRID			
CANTIDAD	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
8	Panel solar	- Monocristalino - CSUN 370-72M - Marca CSUN	- Potencia 370 W
1	Inversor	- MIC 2000 TL-X - Marca Growatt	- Potencia fotovoltaica 2800 W
SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO Off-GRID			
CANTIDAD	EQUIPO	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
8	Panel solar	- Monocristalino - CSUN 370-72M	- Potencia 370 W
1	Controlador de carga	- MPPT 60A ML4860 12/24/48 SRNE - Marca SRNE	- Corriente máxima de entrada 60 A - Tensión a la entrada 150 V - Potencia nominal 3200 W/48 V
8	Baterías	- GEL 12V 300 Ah Tensite, modelo GEL 12-300 - Marca, Tensite	- Capacidad 300 Ah - Voltaje 12 V
1	Inversor	- Phoenix 48V 800VA 120V VE, modelo Direct 5-15R - Marca Victron Energy	- Potencia pico 1500 W - Potencia aparente 800 VA

Fuente: Elaboración propia (2022)

Los equipos empleados para el diseño de los sistemas solares fotovoltaicos aquí propuestos, así como las fichas técnicas de estos, se obtuvieron del catálogo web de la compañía AutoSolar, con sede física en el municipio de Chía Cundinamarca.

CONCLUSIONES

- En esta tesis se determinó el potencial energético solar (radiación solar) empleando tres bases de datos (PVGIS, NASA e IDEAM), el valor de la radiación solar empleada para los respectivos cálculos fue el obtenido a partir de la base de datos de la NASA el cual corresponde $4,05 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ día. Teniendo en cuenta que no hay una distancia importante entre ubicaciones y esta no representa una variación relevante en el valor de irradiación, se consideró el mismo valor de radiación solar para la locación de la cabina de radio y la estación transmisora.

- En esta tesis se definió la demanda energética, requerida por la emisora en cada ubicación, a partir del análisis realizado a las facturas de energía eléctrica suministradas por el operador de red, igualmente se tuvo en cuenta el periodo de facturación en cada locación. Con lo anterior se estableció que la energía diaria que demanda la cabina de radio corresponde a 7,83 kWh, y de 8,88 kWh para la estación transmisora.

- En esta tesis se diseñó un sistema solar fotovoltaico On-Grid para la cabina de radio, el cual está conformado por siete paneles solares de 370 W y un inversor de corriente el cual posee una potencia fotovoltaica de 2800 W. En cuanto al sistema solar FV Off-Grid diseñado para la cabina de radio, está conformado por ocho módulos fotovoltaicos de 370 W, un regulador de carga 3200 W/48 V, ocho baterías de 300 Ah/12 V y un inversor de corriente 900 W/500 VA.

El diseño del sistema solar FV On-Grid para la estación transmisora, está conformado por ocho módulos fotovoltaicos de 370 W y un inversor de corriente el cual posee potencia fotovoltaica de 2800 W. El diseño del sistema solar fotovoltaico Off-Grid para la estación transmisora está conformado por ocho paneles solares de 370 W, un regulador de carga 3200 W/48 V, ocho baterías de 300 Ah/12 V y un inversor de corriente 1500 W/800 VA.

- En esta tesis se determinó el periodo de retorno de la inversión para cada una de las configuraciones propuestas, a partir del análisis económico realizado para conocer la viabilidad de los sistemas solares fotovoltaicos planteados, de dicho análisis se obtuvo que para el sistema solar FV On-Grid para la cabina de radio, el LCOE presenta un valor de \$166,87 COP, con un periodo de recuperación de la inversión de aproximadamente 4 años. Por su parte para el sistema solar fotovoltaico

Off-Grid para esta misma locación se obtuvo un valor LCOE de \$660,68 COP, con un periodo de recuperación de la inversión de aproximadamente 14 años.

Del análisis económico realizado para conocer la viabilidad del sistema solar fotovoltaico On-Grid para la estación transmisora se obtuvo que el LCOE tiene un valor de \$156,98 COP, y el periodo de recuperación de la inversión se daría en aproximadamente 3 años. En cuanto al sistema solar FV Off-Grid para esta misma ubicación, el valor del LCOE corresponde a \$664,10 COP y el periodo de recuperación de la inversión se daría en aproximadamente 14 años.

- Se concluye que los sistemas solares fotovoltaicos On-Grid y Off-Grid, resultan viables para una posible implementación por parte de los propietarios de la emisora Corporación Radial Voz del Lago, en las dos locaciones de estudio (cabina de radio y estación transmisora), ya que el análisis económico realizado así lo demuestra, puesto que el costo nivelado de energía LCOE en cada sistema analizado es menor que el costo de la energía generada convencionalmente, así como el periodo de recuperación de la inversión se encuentra por debajo de la vida útil de los equipos, para un horizonte propuesto de 20 años. En cuanto al diseño de los sistemas solares FV On-Grid se observa que están conformados por un menor número de equipos, caso contrario con los sistemas solares fotovoltaicos Off-Grid que requiere de mayor número de equipos lo cual conlleva a una inversión más elevada, así mismo, se debe disponer de mayor espacio para la disposición de estos componentes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Martínez, “Proyecto Piloto B Estrategia Regional de Innovación de Arica y Parinacota Energía Sustentable para la Agricultura Intensiva bajo Condiciones de RADIACIÓN SOLAR-CONCEPTOS Y APLICACIONES Unidades de energía Equivalencias,” no. 2006, pp. 1–4, 2016, [Online]. Available:
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/informativos/NR40616.pdf>.
- [2] O. Perpiñan Lamigueiro, *Energía Solar Fotovoltaica*. 2012.
- [3] IDEAM, *Distribución espacial y temporal de la irradiación global horizontal en Colombia*. .
- [4] “Localización - Gobernación de Boyacá.”
<https://www.boyaca.gov.co/localizacion/> (accessed Jul. 29, 2021).
- [5] “Atlas Interactivo - Radiación IDEAM.”
<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasRadiacion.html> (accessed Aug. 05, 2021).
- [6] “Nuestro municipio - Alcaldía Municipal de Aquitania en Boyacá.”
<http://www.aquitania-boyaca.gov.co/municipio/nuestro-municipio> (accessed Jul. 29, 2021).
- [7] M. Andrés and Á. Moreno, “El desafío de las radios comunitarias,” *Anagramas Rumbos y Sentidos la Comun.*, vol. 6, no. 12, pp. 61–77, 2008.
- [8] S. M. Abelairas, “Diseño de una instalación fotovoltaica para una estación base en Teruel, España.,” *Universidad de Cantabria*, 2016.
- [9] C. I. Guevara, “viabilidad de un sistema fotovoltaico para suministrar energía eléctrica a la estación base celular de la empresa claro ubicado en el caserío santa rosa-sallique-jaen-cajamarca,” *Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo*, 2018.
- [10] L. A. Pardo, “Diseño de un sistema de energía híbrido (solar-olico) para el soporte de las telecomunicaciones en el cerro Girasoles del Ejército nacional de Colombia,” *Universidad Piloto de Colombia*, 2019.

- [11] V. T. Pancorbo, “instalación fotovoltaica conectada a red,” Universidad Rey Juan Carlos, 2013.
- [12] A. K. Rodríguez Manrique, Á. I. Cadena Monroy, and A. J. Aristizábal Cardona, “Diseño de sistemas de energía solar fotovoltaica para usuarios residenciales en Chía, Cundinamarca,” *Rev. Mutis*, vol. 5, no. 1, pp. 55–65, 2015, doi: 10.21789/22561498.1019.
- [13] F. León-Vargas, M. García-Jaramillo, and E. Krejci, “Pre-feasibility of wind and solar systems for residential self-sufficiency in four urban locations of Colombia: Implication of new incentives included in Law 1715,” *Renew. Energy*, vol. 130, pp. 1082–1091, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2018.06.087.
- [14] “Electricidad - Combustibles y tecnologías - IEA.” <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity> (accessed Aug. 05, 2021).
- [15] González, *Integración de las Energías Renovables No Convencionales en Colombia*. 2015, p. 370.
- [16] “Electricidad renovable - Renovables 2020 - Análisis - IEA.” <https://www.iea.org/reports/renewables-2020/renewable-electricity-2#abstract> (accessed Aug. 06, 2021).
- [17] “GENERALIDADES DEL SOL - IDEAM.” <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/generalidades-del-sol> (accessed Aug. 11, 2022).
- [18] *Cuidemos el planeta* (2018), “Energías renovables,” 2018, [Online]. Available: <https://cuidemoselplaneta.org/energias-renovables-espana/>.
- [19] J. L. Oviedo-Salazar, M. H. Badii, A. Guillen, and O. Lugo Serrato, “History and Use of Renewable Energies,” *Daena Int. J. Good Conscienc.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–18, 2015, [Online]. Available: [http://www.spentamexico.org/v10-n1/A1.10\(1\)1-18.pdf](http://www.spentamexico.org/v10-n1/A1.10(1)1-18.pdf).
- [20] M. Flores, “Efecto fotoeléctrico,” 2018.
- [21] I.E.S. El Clot departamenta de Física y Química, “Física Cuántica,” pp. 1–15, 2008.

- [22] J. Miralles and R. Massanés, “Versión digital A M B I E N T A L 16 Energía fotovoltaica,” p. 34, 2000.
- [23] “Qué son los semiconductores: funcionamiento y aplicaciones.” <https://www.diariomotor.com/que-es/tecnologia/semiconductores/> (accessed Jan. 14, 2022).
- [24] “Celda fotovoltaica. ¿Qué es y cómo funciona una celda solar?” <https://solar-energia.net/energia-solar-fotovoltaica/elementos/panel-fotovoltaico/celula-fotovoltaica> (accessed Jan. 15, 2022).
- [25] T. Días and G. Carmona, “Componentes de una instalación solar fotovoltaica 1,” p. 22, 2020.
- [26] “Radiación solar - IDEAM.” <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar-ultravioleta> (accessed Jun. 12, 2022).
- [27] “LA RADIACIÓN SOLAR Y SU PASO POR LA ATMÓSFERA - IDEAM.” <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/la-radiacion-solar-y-su-paso-por-la-atmosfera> (accessed Sep. 13, 2022).
- [28] M. Valdés, D. Riveros, and R. Aracibia, “Radiación Solar,” *La Radiac. Sol.*, p. 80, 2012.
- [29] “Características de la radiación solar - IDEAM.” <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/caracteristicas-de-la-radiacion-solar> (accessed Jun. 12, 2022).
- [30] “Qué es la irradiancia solar Irradiación solar.” <https://solar-energia.net/que-es-energia-solar/radiacion-solar/irradiacion-solar> (accessed Jan. 19, 2022).
- [31] J. I. Palacios Rios and A. Morales Benavides, “Productividad de Paneles Solares Monocristalinos,” *Somim*, pp. 73–81, 2017.
- [32] P. Roberto, “Definiciones fundamentales.”
- [33] SEAT, “Conceptos básicos de electricidad,” p. 36, 2010, [Online]. Available: http://www.hacienda.go.cr/cifh/sidovih/cursos/material_de_apoyo-F-C-CIFH/3MaterialdeapoyocursosINA/Fundamentoselectronicaparainformaticos/Conceptosbaselect.pdf.


- [34] T. L. Floyd, Principios de Circuitos Eléctricos. 2007.
- [35] O. Rivera, "Circuitos eléctricos. Magnitudes," in Circuitos Electricos, 2014, p. 18.
- [36] P. Gonzalez, F. Jurado, and D. Granados, "Análisis de eficiencia y degradación de un sistema fotovoltaico interconectado a la red eléctrica," Rev. Iberoam. Ciencias., 2018, [Online]. Available: <http://www.reibci.org/index.html>.
- [37] J. C. Schallenberg et al., Energías renovables y eficiencia energética. 2008.
- [38] L. M. Charry, Ana Cristina; Alvarez, "Diseño de un sistema solar fotovoltaico autónomo para la estación aeronáutica araracuara de la aeronáutica civil de Colombia," UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS, 2017.
- [39] J. Ortiz, "Viabilidad técnico-económica de un sistema fotovoltaico de pequeña escala," Visión Electrónica algo más que un estado sólido, vol. 7, no. 1, pp. 103–117, 2013, doi: 10.14483/22484728.3858.
- [40] J. Cepeda and A. Sierra, "Aspectos que afectan la eficiencia en los paneles fotovoltaicos y sus potenciales soluciones," NAFA SCR Doc., vol. 07/80, p. 17, 2007.
- [41] "¿Cuales son los años de vida de cada tipo de batería en una instalación solar? - Damia Solar Electrosol Energia S.L." https://www.damiasolar.com/actualidad/blog/articulos-sobre-la-energia-solar-y-sus-componentes/cuales-son-los-anyos-de-vida-de-cada-bateria-solar_1 (accessed Sep. 17, 2022).
- [42] "Inversores Y Baterías," Acad. las Renov., pp. 1–30, 2018, [Online]. Available: <https://www.santafe.gob.ar/ms/academia/wp-content/uploads/sites/27/2019/12/Módulo-4-Inversores-reguladores-baterías.pdf>.
- [43] L. M. Forero, "Instalaciones Fotovoltaicas," p. 39, 2019.
- [44] D. M. Hernández, "Control digital para convertidor multinivel alimentado con energía solar," in Alimentado Con Energía Solar, vol. 3, 2008, pp. 10–22.

- [45] “Cómo funciona la radio.” <https://www.lavanguardia.com/vida/junior-report/20190214/46410737753/radio-como-funciona-marconi-campo-electromagnetico-ciencia.html> (accessed Jun. 24, 2022).
- [46] J. Garcia-Camargo, LA RADIO POR DENTRO Y POR FUERA. 1980.
- [47] “Clasificación de las emisoras.” <https://mintic.gov.co/portal/inicio/Micrositios/Radiodifusion-Sonora/Clasificacion-de-las-emisoras/> (accessed Jun. 24, 2022).
- [48] O. Carmona López, A. Vidal Santo, A. Martínez López, J. Conde, and J. Tinoco Magaña, “Estudio de la viabilidad técnica para la implementación de un sistema de autoconsumo eléctrico basado en paneles fotovoltaicos para una vivienda,” Rev. QUID, vol. 0, no. 26, pp. 29–38, 2016.
- [49] Asociación Municipal de Colonos del Pato - AMCOP, “Informe de calculos para sistema solar fotovoltaico,” Abb, 2017.
- [50] M. Alonso Abella, “Dimensionado de sistemas fotovoltaicos_Anexo I: Otros métodos de dimensionado de sistemas FV autónomos [material de clase],” Master en Energías Renov. y Merc. Energético (Curso Energía Sol. Fotovoltaica), p. 73, 2017.
- [51] “JRC Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) - European Commission.” https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/es/#MR (accessed Feb. 02, 2022).
- [52] “POWER | Data Access Viewer.” <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> (accessed Feb. 02, 2022).
- [53] Ministerio de Minas y Energía, RETIE: Anexo General. 2019.
- [54] N. Técnica, “INCONTEC, Norma Técnica colombiana 2050,” 2013.
- [55] “Comportamiento del mercado del dólar durante el día (información en tiempo real) | Banco de la República.” <https://www.banrep.gov.co/es/estadisticas/comportamiento-del-mercado-del-dolar-durante-el-dia-informacion-tiempo-real> (accessed Jun. 28, 2022).
- [56] Institute for Energy Diversification and Saving - IDAE, Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones Conectadas a Red. 2011, p. 46.

- [57] B. Herrera, "Acerca de la tasa de descuento en proyectos," *Quipukamayoc*, vol. 15, no. 29, pp. 101–108, 2008, [Online]. Available: <http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quipu/article/view/5284>.
- [58] M. A. Villegas, L. J. Espinal, J. Cecilia, and V. Garavito, "Factibilidad financiera de un proyecto de energía solar fotovoltaica financiado mediante un acuerdo de compra PPA," 2020.
- [59] G. F. Velasco and E. Cabrera, "Generación solar fotovoltaica dentro del esquema de generación distribuida para la provincia de Imbabura," *Esc. Politécnica del Ejército-Maestría en Energías Renov.*, pp. 1–7, 2009, [Online]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9350/1/P72.pdf>.

Anexo A. Ficha técnica panel solar

Mono

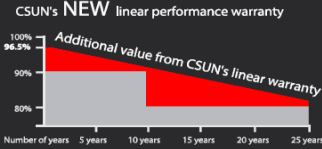


**Powerguard Insurance
Global Coverage**


The power output shall not be less than 96.5% of the minimum power output stated in the product data sheet in the first year of the product's life cycle. The loss of power output shall not exceed 0.7% per year thereafter, ending with 80,18% in the 25th year.


■ CSUN ■ Standard warranty

CSUN's **NEW** linear performance warranty



Number of years: 5 years, 10 years, 15 years, 20 years, 25 years





CSUN 370-72M

High efficiency PERC tech for esthetic applications

Module Fire Performance: Type 1 (UL 1703)
Fire Resistance Rating: Class C (IEC 61730)

CSUN370-72M CSUN365-72M
CSUN360-72M CSUN355-72M

19.07%

Module efficiency

370 W

Highest power output

10 years

Material & workmanship warranty

25 years

Linear power output warranty

-  Industry leading conversion efficiency
-  Positive tolerance offer
-  Passed salt mist & ammonia corrosion, blowing sand and hail testing
-  Certified to withstand wind (2400 Pa) and snow load (5400 Pa)
-  Excellent performance under weak light condition
-  Good temperature coefficient enables better output in hot climates

- China Sunergy Co., Ltd. designs, manufactures and delivers high efficiency solar cells and modules to the world from its production centers based in China, Turkey, South Korea and Vietnam.
- Founded in 2004, China Sunergy is well known for its advanced solar cell technology, reliable product quality, and excellent customer service.
- As one of leading PV enterprises, China Sunergy has delivered more than 4.0GW of solar products to residential, commercial, utility and off-grid projects all around the world.

All information and data are subject to change without notice and are provided without liability.



All rights reserved by CSUN
Version 4/2019

Electrical Characteristics at Standard Test Conditions (STC)

Module Type	CSUN 370-72M	CSUN 365-72M	CSUN 360-72M	CSUN 355-72M
Maximum Power - P _{mpp} (W)	370	365	360	355
Positive Power Tolerance	0~3%	0~3%	0~3%	0~3%
Open Circuit Voltage - Voc (V)	47,5	47,2	47,1	47,0
Short Circuit Current - Isc (A)	9,90	9,72	9,67	9,58
Maximum Power Voltage - V _{mpp} (V)	38,9	38,8	38,6	38,4
Maximum Power Current - I _{mpp} (A)	9,52	9,41	9,33	9,24
Module Efficiency	19,07%	18,81%	18,55%	18,30%

Electrical data relates to standard test conditions (STC) : irradiance 1000W/m² ; AM 1.5 ; cell temperature 25°C measuring uncertainty of power is within ±3%. Certified in accordance with IEC61215, IEC61730-1/2 and UL 1703

Electrical Characteristics at Normal Operating Cell Temperature (NOCT)

Module Type	CSUN 370-72M	CSUN 365-72M	CSUN 360-72M	CSUN 355-72M
Maximum Power - P _{mpp} (W)	272	268	265	261
Maximum Power Voltage - V _{mpp} (V)	43,7	43,4	43,3	43,3
Maximum Power Current - I _{mpp} (A)	7,98	7,83	7,79	7,72
Open Circuit Voltage - Voc (V)	36,2	36,3	36,0	35,8
Short Circuit Current - Isc (A)	7,52	7,40	7,36	7,29

Electrical data relates to normal operating cell temperature (NOCT): irradiance 800 W/m² ; wind speed 1 m/s ; cell temperature 45°C ambient temperature 20°C measuring uncertainty of power is within ±3%

Temperature Characteristics

Voltage Temperature Coefficient	-0,307%/K
Current Temperature Coefficient	+0,039%/K
Power Temperature Coefficient	-0,423%/K

Maximum Ratings

Maximum System Voltage (V)	1000&1500
Series Fuse Rating (A)	20
Reverse Current Overload (A)	27

Mechanical Characteristics

Dimensions	1956 × 992 × 40 mm
Weight	22 kg
Frame	Anodized aluminum profile
Front Glass	White toughened safety glass, 3.2 mm
Cell Encapsulation	EVA (Ethylene-Vinyl-Acetate)
Back Sheet	Composite film
Cells	6 × 12 monocrystalline solar cells (5 BB 156,75 × 156,75 mm)
Junction Box	With 6 bypass diodes, rated current ≥ 13 A, IP ≥ 67 , TUV & UL
Cable	Length 900 mm, 1 × 4 mm ²
Connector	Compatible with MC4

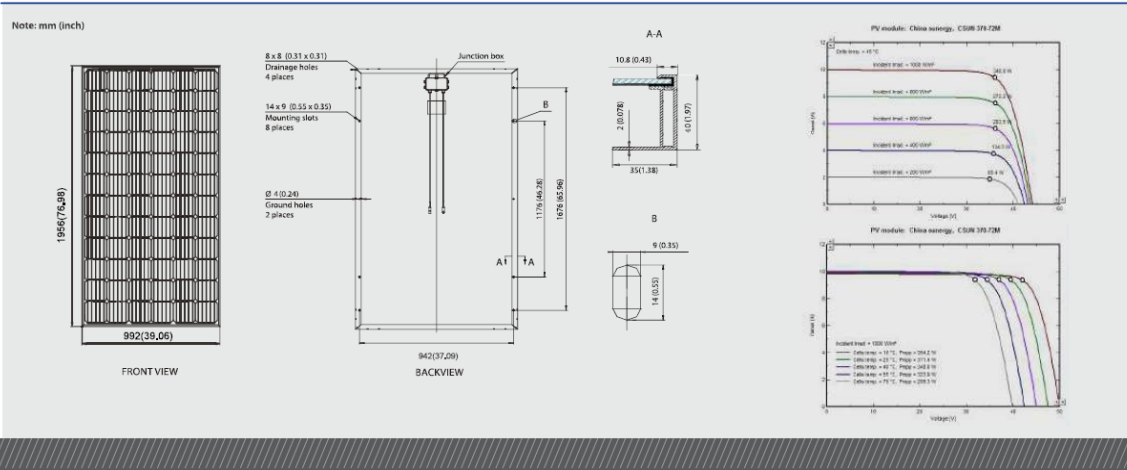
Packaging

Container 20'	260 pcs.
Container 40'	624 pcs.
Container 40'HC	672 pcs.

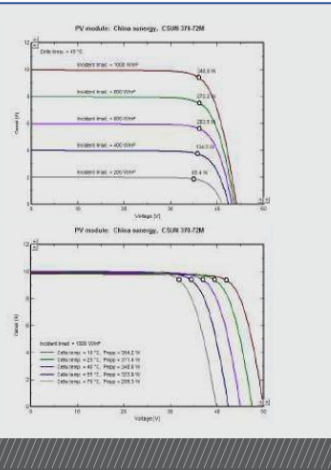
System Design

Temp. Range	-40°C to + 85°C
Hail	Max. diameter of 25mm with impact speed of 23m/s
Max. Capacity	Snow 5400 Pa, wind 2400 Pa
Application Class	A
Safety Class	II

Dimensions



IV-Curves



Anexo B. Ficha técnica inversor, On-Grid

GROWATT · PRODUCT

Datasheet	MIC 1500TL-X	MIC 2000TL-X	MIC 2500TL-X	MIC 3000TL-X
Input Data (DC)				
Max. recommended PV power (for module STC)	2100W	2800W	3500W	4200W
Max. DC voltage	500V	500V	550V	550V
Start voltage	50V	50V	80V	80V
Nominal voltage	250V	360V	360V	360V
MPP voltage range	50V-500V	50V-500V	65V-550V	65V-550V
No. of MPP trackers	1			
No. of PV strings per MPP tracker	1			
Max. input current per MPP tracker	13A			
Max. short-circuit current per MPP tracker	16A			
Output data(AC)				
AC nominal power	1500W	2000W	2500W	3000W
Max. AC apparent power	1500VA	2000VA	2500VA	3000VA
Nominal AC voltage (range*)	Default:240V split-phase, optional:208V & 240V single phase , 183-228@208V 211-264V@240V			
AC grid frequency (range*)	50/60 Hz (45-55Hz/55-65 Hz)			
Max. output current	7.1A	9.5A	11.9A	14.3A
Adjustable power factor	0.8leading...0.8lagging			
THDI	<3%			
AC grid connection type	Single phase			
Efficiency				
Max. efficiency	97.4%	97.4%	97.6%	97.6%
European efficiency	97.0%	97.0%	97.0%	97.1%
MPPT efficiency	99.9%			
Protection Devices				
DC reverse polarity protection	yes			
DC switch	yes			
AC/DC surge protection	Type III / Type III			
Insulation resistance monitoring	yes			
AC short-circuit protection	yes			
Ground fault monitoring	yes			
Grid monitoring	yes			
Anti-islanding protection	yes			
Residual-current monitoring unit	yes			
AFCI protection	yes			
General Data				
Dimensions (W / H / D)	274/254/138mm			
Weight	6kg	6kg	6.2kg	6.2kg
Operating temperature range	- 25°C ... + 60°C			
Noise emission (typical)	≤25 dB(A)			
Nighttime power consumption	< 0.5W			
Topology	Transformerless			
Cooling	Natural convection			
Protection degree	IP65			
Relative humidity	0-100%			
Altitude	4000m			
DC connection	H4/MC4(Optional)			
AC connection	Connector			
Display	OLED+LED/WIFI+APP			
Interfaces: RS485 / USB/Wi-Fi/GPI&S/ RF/LAN	Yes/Yes/Optional/Optional/Optional/Optional			
Warranty: 5 years / 10 years	Yes /Optional			
CE, AS4777, AS/NZS 3100, CEI 0-21, VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1, UTE C 15-71-2-1, EN 50549, IEC 60068, IEC 61683, IEC 62116, IEC 61727, INMETRO, G98, EN61000-6-2, EN61000-6-3, EN61000-3-2, EN61000-3-3, IEC/EN62109-1, IEC/EN62109-2, UL1741, IEEE1547				

Anexo C. Ficha técnica conductores

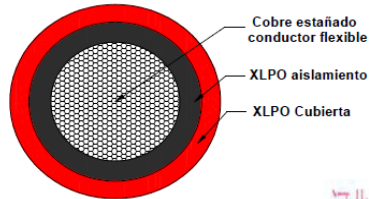
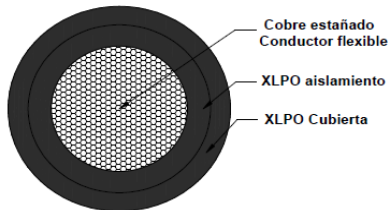


Hebei Huatong Wires & Cables Group Co., Ltd

Address: Hua Tong Avenue, Fengnan Industrial Development Zone, Tangshan, Hebei Province China
 Email: coco.ding@huatongcables.cn Website: www.huatongcables.com

Datos Técnicos

Item	Descripcion	Unit	1	2	3
1	estándar		EN 50618, EN 60228		
2	Descripción de producto		PV Cable H1Z2Z2-K		
3	Voltaje	KV (DC)	1.5		
4	Conductor	Number & section (Nos*mm ²)	1*6	1*10	1*16
		Material	Flexible cobre alambre estañado, clase 5		
		Max. diametro de alambre unico (mm)	0.31	0.41	0.41
5	Aislamiento	Material	XLPO (Poliolefina reticulada), libre de halógenos		
		Espesor nominal (mm)	0.70	0.70	0.70
		Color	Negro		
6	Cubierta	Material	XLPO (Poliolefina reticulada), libre de halógenos		
		Espesor nominal (mm)	0.80	0.80	0.90
		Color	Negro, rojo		
7	Approx. diametro del cable	mm	6.0	7.40	8.60
8	Max. CC. resistencia of conductor a 20°C	ohm/km	3.39	1.950	1.240
9	Marca sobre el cable	por tinta	▲ TÜV EN 50618 H1Z2Z2-K DC 1.5kV 1×6mm ² Hebei Huatong Wires & Cables Group Co., Ltd 2020 XXXm	▲ TÜV EN 50618 H1Z2Z2-K DC 1.5kV 1×10mm ² Hebei Huatong Wires & Cables Group Co., Ltd 2020 XXXm	▲ TÜV EN 50618 H1Z2Z2-K DC 1.5kV 1×16mm ² Hebei Huatong Wires & Cables Group Co., Ltd 2020 XXXm



河北华通线缆集团股份有限公司
 Coco Ding
 HEBEI HUATONG WIRES & CABLES GROUP CO., LTD.



Hebei Huatong Wires&Cables Group Co.,Ltd

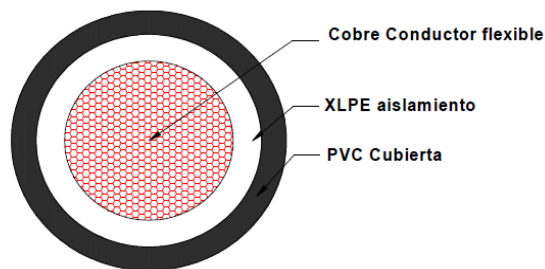
Address:Huatong Avenue,Fengnan Industrial Development Zone,Tangshan,Hebei Province China

Email: coco.ding@huatongcables.cn Website:www.huatongcables.com

Specifications

0.6/1KV RV-K Cables 1*50mm²

Item	Descripción		Unit	Datos
1	Estándar		/	IEC60502-1, EN/IEC60228, IEC60332-1, UNE 21123-2
2	Construction			
2.1	Conductor	Material	/	Flexible cobre alambre clase 5
		Numero de conductor	Nos	1
		Sección nominal	mm ²	50
		Max. diametro de alambre unico (mm)	Nos	0.41
		Diametro del conductor approx.	mm	9.4
2.2	Aislamiento	Material	/	XLPE, color natural
		Espesor nominal	mm	1.0
2.3	Cubierta	Material	/	PVC, color negro, no propagación de la llama
		Espesor nominal	mm	1.4
		Diametro del cable approx.	mm	14.6
3	Electrical and mechanical specifications			
3.1	Voltaje	U ₀ /U	KV	0.6/1
3.2	Max. CC. resistencia del conductor a 20°C		Ω/Km	0.386
3.3	Temperatura maxima al servicio normal		°C	90
3.4	Temperatura maxima al cortocircuito (5s max.)		°C	250
4	Cable drawing			



河北华通线缆集团股份有限公司
Coco Ding
HEBEI HUATONG WIRES&CABLES GROUP CO.,LTD.



Hebei Huatong Wires & Cables Group Co., Ltd

Address: Huatong Avenue, Fengnan Industrial Development Zone, Tangshan, Hebei Province China

Email: coco.ding@hualongcables.cn Website: www.huatongcables.com

Specifications

0.6/1KV RZ1-K Cables 1*50mm²

Item	Descripción		Unit	Datos
1	Estándar		/	IEC60502-1, EN/IEC 60228, EN/IEC 60332-1, UNE 21123-4
2	Construction			
2.1	Conductor	Material	/	Flexible cobre alambre clase 5
		Numero de conductor	Nos	1
		Sección nominal	mm ²	50
		Max. diametro de alambre unico (mm)	Nos	0.41
		Diametro del conductor approx.	mm	9.4
2.2	Aislamiento	Material	/	XLPE, color natural
		Espesor nominal	mm	1.0
2.3	Cubierta	Material	/	PO(Poleolefina), color verde, libre de halógenos, con baja emisión de humos y no propagador del fuego
		Espesor nominal	mm	1.4
		Diametro del cable approx.	mm	14.6
3	Electrical and mechanical specifications			
3.1	Voltaje	U_0/U	KV	0.6/1
3.2	Max. CC. resistencia del conductor a 20 °C		Ω/Km	0.386
3.3	Temperatura maxima al servicio normal		°C	90
3.4	Temperatura maxima al cortocircuito (5s max.)		°C	250
4	Cable drawing			
<p style="text-align: right;"> 河北华通线缆集团股份有限公司 Coco Ding HEBEI HUATONG WIRES&CABLES GROUP CO.,LTD. </p>				

Anexo D. Ficha técnica regulador de carga



Maximum Power Point Tracking ML Series

MI4860 & ML4860-LI
Solar Charge and Discharge Controller

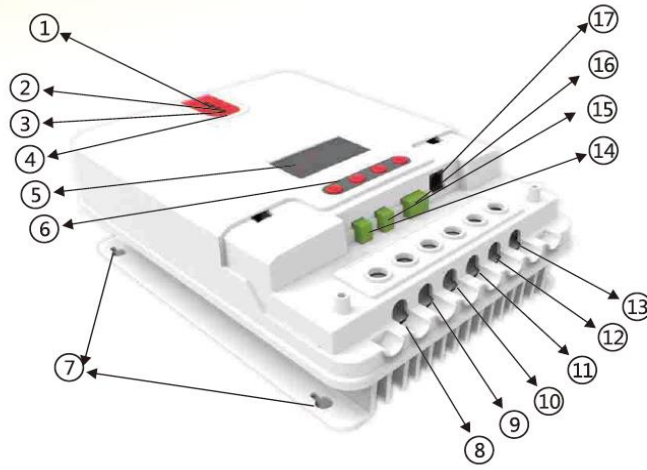


Features

- With the advanced dual-peak or multi-peak tracking technology, when the solar panel is shadowed or part of the panel fails resulting in multiple peaks on the I-V curve, the controller is still able to accurately track the maximum power point.
- A built-in maximum power point tracking algorithm can significantly improve the energy utilization efficiency of photovoltaic systems, and raise the charging efficiency by 15% to 20% compared with the conventional PWM method.
- A combination of multiple tracking algorithms enables accurate tracking of the optimum working point on the I-V curve in an extremely short time.
- The product boasts an optimum MPPT tracking efficiency of up to 99.9%.
- Advanced digital power supply technologies raise the circuit's energy conversion efficiency to as high as 98%.
- Different charging program options including those for gel batteries, sealed batteries and open batteries, customized ones, etc. are available.
- The controller features a limited current charging mode. When the solar panel power exceeds a certain level and the charging current is larger than the rated current, the controller will automatically lower the charging power and bring the charging current to the rated level.
- Instantaneous large current startup of capacitive loads is supported.
- Automatic recognition of battery voltage is supported.
- LED fault indicators and an LCD screen which can display abnormality information help users to quickly identify system faults.
- Historical data storage function is available, and data can be stored for up to a year.
- The controller is equipped with an LCD screen with which users can not only check device operating data and statuses, but also modify controller parameters.
- The controller supports standard Modbus protocol, fulfilling the communication needs of various occasions.
- All communications are electrically isolated, so users can rest assured in usage.
- The controller employs a built-in over-temperature protection mechanism. When temperature surpasses the set value, the charging current will decline in linear proportion to the temperature and discharging will be halted so as to curb the temperature rise of the controller, effectively keeping the controller from being damaged by overheat.
- With the help of an external battery voltage sampling function, battery voltage sampling is exempted from the effect of line loss, making control more precise.
- Featuring a temperature compensation function, the controller can automatically adjust charging and discharging parameters in order to extend the battery's service life.
- The controller also features a battery over-temperature protection function, and when the external battery temperature exceeds the set value, charging and discharging will be shut off so as to protect components from being damaged by overheat.
- TVS lightning protection

www.srnesolar.com

Appearance picture is as below



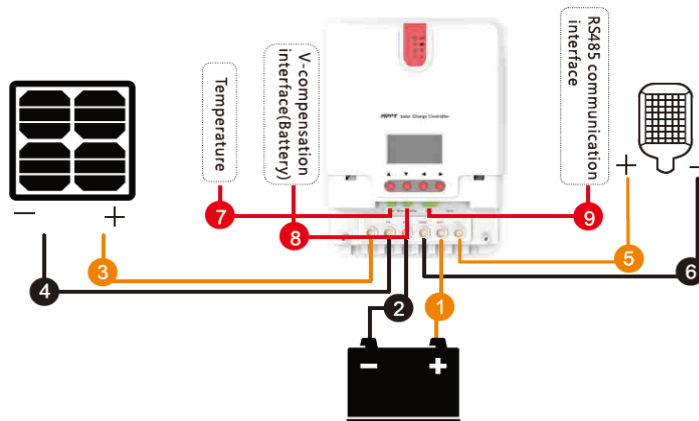
No.	Item	No.	Item
j	Charging indicator	s	Battery "-" interface
k	Battery indicator	⓫	Load "-" interface
l	Load indicator	⓬	Battery "+" interface
m	Abnormality indicator	⓭	Load "+" interface
n	LCD screen	⓮	External temperature sampling interface
o	Operating keys	⓯	Battery voltage compensation interface
p	Installation hole	⓰	RS485 communication interface
q	Solar panel "+" interface	⓱	RS232 communication interface
r	Solar panel "-" interface		

Product Detail



Wiring diagram is as below

Remove the two screws on the solar charge controller panel, and then start wiring. For installation security, we recommend the following wiring sequence. However, wiring without following this order will not damage the solar charge controller.



- ① External temperature sampling interface connection
- ② Battery voltage sampling line connection
- ③ Communication cable connection
- ④ Connect power line

⚠ Warning: Risk of electric shock! We strongly recommend access insurance or circuit breaker at photovoltaic array end, load end and battery end, to prevent electric shock from occurring during wiring or misoperation. Before wiring, ensure that insurance or circuit breaker is disconnected.

⚠ Warning: High pressure danger! Photovoltaic array may generate very high open circuit voltage. Before wire connection, disconnect the breaker or insurance. Be careful in the process of wiring.

⚠ Warning: Risk of explosion. Short circuit of battery positive and negative terminals and wires connected to them will cause fire or explosion. Please be careful during operation.

Please connect battery first, then connect load, and finally connect the solar panel, please follow the connection mode of "+ +" first and then "- -".

⑤ Power On

Tip: ML series solar charge controller only starts the solar charge controller via wiring at the battery end, but ML - LI can start the solar charge controller via power of PV array. This applies to starting the solar charge controller and activating lithium battery when lithium battery BMS is in the protection state and cannot export electricity externally.

When all the power line connections are firm and reliable, recheck whether the wiring is correct, and whether positive and negative ends are connected reversely. After confirmation, connect battery fuse or circuit breaker, observe whether LED indicator is lit, and whether LCD screen displays content. If there is no display, disconnect the fuse or circuit breaker immediately and recheck whether the circuit connection is correct.

If battery is powered on normally, connect the solar panel. If solar charge controller charging indicators are on normally or flashing, start battery charging.

When battery and photovoltaic is well connected, then connect load fuse or circuit breaker. At this time, you can use manual mode to test whether the load On and Off is normal. See load working mode and operation.

⚠ Warning: When the solar charge controller is under normal charging state, disconnecting battery connection will affect solar charge controller DC load. In a severe case, the load can be damaged.

⚠ Warning: Within 10 minutes after solar charge controller charging stops, battery reverse polarity operation may damage internal components of the solar charge controller.

⚠ Attention:

1) Battery insurance installation site should be as close as possible to the battery end. Recommended installation distance shall be no more than 150 mm.

2) When solar charge controller is not connected to a remote temperature sensor, battery temperature is a fixed value of 25 °C.

3) If the inverter is connected in the system, please connect inverter directly with battery, and do not connect solar charge controller with the load end.

⑥ Close wiring cover




Product Specification Parameter

Parameter	Value
Model	ML4860/ML4860-LI
System voltage	12V/24V/36V/48V Auto
No-load loss	0.7 W to 1.2W
Battery voltage	9V to 70V
Max. solar input voltage	150V (25°C), 145V (-25°C)
Max. power point voltage range	Battery voltage +2V to 120V
Rated charging current	60A
Rated load current	20A
Max. capacitive load capacity	10000uF
Max. photovoltaic system input power	800W/12V; 1600W/24V; 2400W/36V; 3200W/48V
Conversion efficiency	≤ 98%
MPPT tracking efficiency	> 99%
Temperature compensation factor	-3mv/°C/2V (default)
Operating temperature	-35°C to +45°C
Waterproof level	IP32
Weight	3.6kg
Communication method	RS232 RS485
Altitude	≤ 3000m
Product dimensions	285*205*93mm

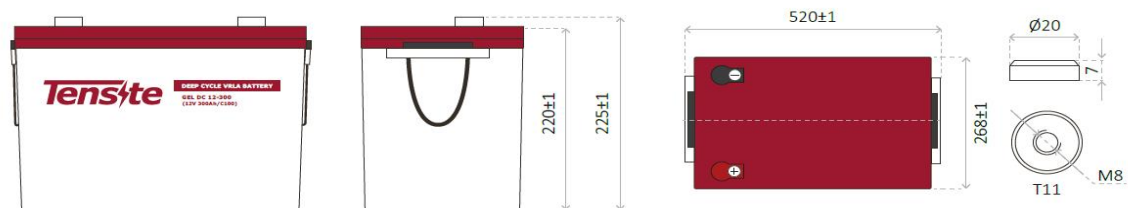
Anexo E. Ficha técnica baterías



CHARACTERISTICS

-  Compact size ideal for any type of use.
-  Great performance due to its deep discharge cycle life.
-  Perfect to use as accumulator in photovoltaic installations.

DIMENSIONS



Tensite
info@tensitebatteries.com
www.tensitebatteries.com

GEL BATTERY 12V 300 AH

GEL SERIES BATTERY

GEL series batteries are manufactured with special separators and silica gel immobilizing the electrolyte inside the battery. The proven silica gel technology can improve battery cycle life and performance at wider temperature range. The deep discharge cycle life is increased 50% compared normal battery.



APPLICATION

- Emergency Power System
- Communication equipment
- Telecommunication systems
- Uninterruptible power supplies
- Power tools
- Marine equipment
- Medical equipment
- Solar and wind power system

GENERAL FEATURES

- Safety Sealing
- Non-spillable construction
- High power density
- Excellent recovery from Deep discharge
- Thick plates and high active materials
- Longer life and low self-discharge design

TECHNICAL SPECIFICATIONS

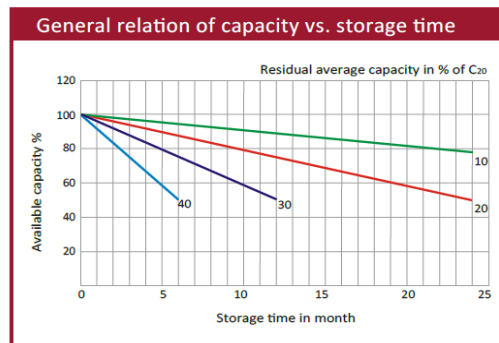
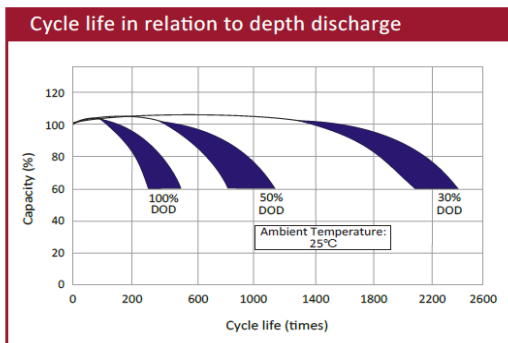
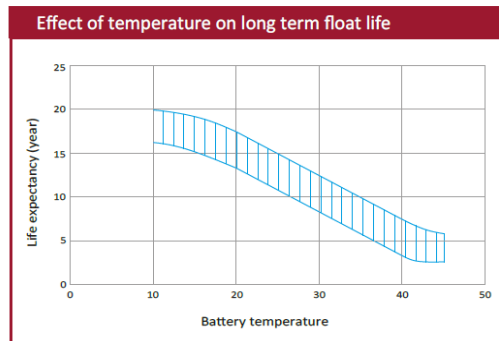
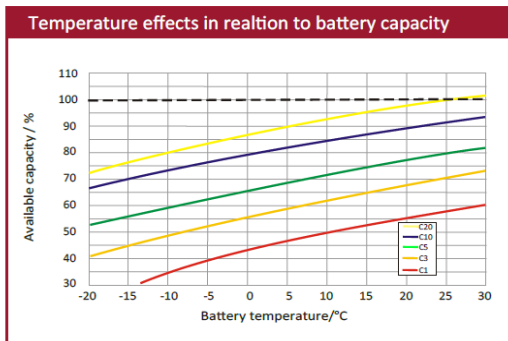
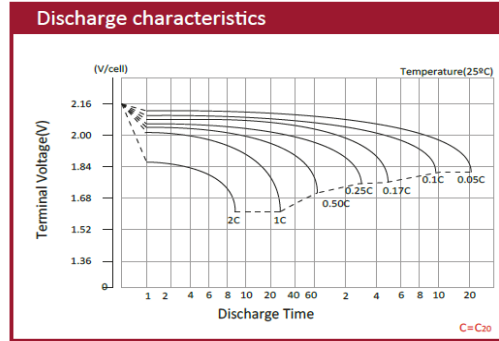
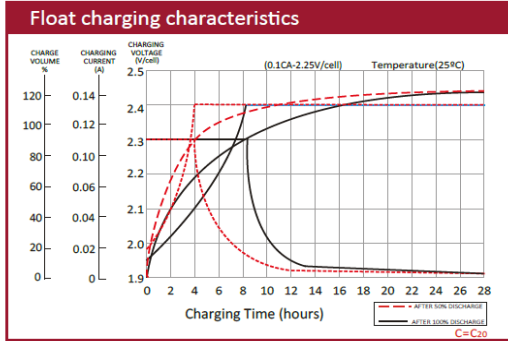
BATTERY MODEL	Nominal voltage		12V	
	Rated capacity (100 hour rate)		300Ah	
DIMENSION	Cells Per battery		6	
	Length	Width	Height	Total Height
APPROX. WEIGHT	520 mm	268 mm	220 mm	225 mm
CAPACITY @ 25°C	67.0 kg ± 3%			
	10 hour rate (25.0A)	5 hour rate (43.7A)	3 hour rate (66.2A)	1 hour rate (161.5A)
MAX. DISCHARGE CURRENT	250.0 Ah	218.7 Ah	198.7 Ah	161.5 Ah
INTERNAL RESISTANCE	2000 A (5 sec.)			
CAPACITY AFFECTED BY TEMP. (10 HR)	Full charged Vat 25°C: Approx. 2.0mΩ			
CHARGE METHOD @25°C	40°C	25°C	0°C	
	103%	100%	86%	
CHARGE METHOD @25°C	Cycle Use		Standby Use	
	14.4-15.0V (Initial charging current less than 27A)		13.50-13.80V	

BATTERY DISCHARGE TABLE

CONSTANT CURRENT (AMP) AND CONSTANT POWER (WATT) DISCHARGE TABLE AT 25 °C

F.V / TIME	5 min	10 min	15 min	30 min	45 min	60 min	2 h	3 h	5 h	8 h	10 h	20 h
1.80	A	656.8	437.5	351.8	234.5	168.3	165.0	93.0	68.0	45.0	28.0	13.00
	W	1224.8	815.9	656.0	437.3	313.8	307.7	173.4	126.8	83.9	52.2	25.7
1.75	A	696.2	463.8	369.3	241.5	173.3	170.0	95.3	69.7	45.7	28.3	13.13
	W	1298.3	864.9	688.8	450.5	323.2	317.0	177.8	130.0	85.2	52.7	25.9
1.70	A	788.1	525.0	386.9	248.6	178.3	174.9	97.7	71.4	46.4	28.6	13.38
	W	1469.8	979.1	721.6	463.6	332.6	326.2	182.1	133.2	86.4	53.3	26.4
1.65	A	775.0	516.3	404.5	255.6	183.4	179.9	99.5	72.8	47.0	28.8	13.55
	W	1445.3	962.8	754.4	476.7	342.0	335.4	185.6	135.7	87.7	53.8	26.7
1.60	A	840.6	560.0	422.1	262.6	188.4	184.8	101.4	74.1	47.7	29.1	13.63
	W	1567.8	1044.4	787.2	489.8	351.4	344.7	189.1	138.2	89.0	54.3	26.8

BATTERY CHARACTERISTICS



Anexo F. Ficha técnica inversor, sistema Off-Grid cabina de radio



Inversores Phoenix

250VA – 1200VA 230V y 120V, 50Hz o 60Hz

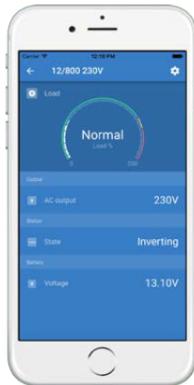
www.victronenergy.com



Phoenix 12/375 VE.Direct



Phoenix 12/375 VE.Direct



Puerto de comunicación VE.Direct

El puerto VE.Direct puede conectarse a:

- Un ordenador (se necesita un cable de interfaz VE.Direct a USB)
- Smartphones Apple y Android, tabletas, mackbooks y demás dispositivos (se necesita una mochila VE.Direct a Bluetooth Smart)

Totalmente configurable:

- Niveles de disparo de la alarma y restablecimiento por tensión baja de la batería.
- Niveles de desconexión y reinicio por tensión baja de la batería.
- Desconexión dinámica: nivel de desconexión dependiente de la carga
- Tensión de salida 210 - 245V
- Frecuencia 50 Hz o 60 Hz
- On/off del modo ECO y sensor de nivel del modo ECO

Seguimiento:

- Tensión y corriente de entrada/salida, % de carga y alarmas

Fiabilidad probada

La topología de puente completo más transformador toroidal ha demostrado su fiabilidad a lo largo de muchos años.

Los inversores están a prueba de cortocircuitos y protegidos contra el sobrecalentamiento, ya sea debido a una sobrecarga o a una temperatura ambiente elevada.

Alta potencia de arranque

Necesaria para arrancar cargas como convertidores para lámparas LED, halógenas o herramientas eléctricas.

Modo ECO

En modo ECO, el inversor se pondrá en espera cuando la carga descienda por debajo de un valor predeterminado (carga mínima: 15W). Una vez en espera, el inversor se activará brevemente (ajustable; por defecto: cada 2,5 segundos). Si la carga excede el nivel predeterminado, el inversor permanecerá encendido.

Interruptor on/off remoto

Se puede conectar un interruptor On/Off remoto a un conector bifásico o entre el positivo de la batería y el contacto de la izquierda del conector bifásico.

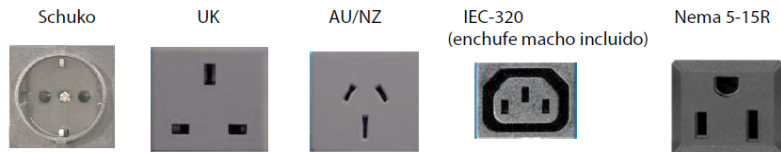
Diagnóstico LED

Por favor, consulte el manual para obtener su descripción.

Para transferir la carga a otra fuente CA: el conmutador de transferencia automático

Para nuestros inversores de menor potencia recomendamos nuestro conmutador de transferencia automático Filax. El tiempo de conmutación del "Filax" es muy corto (menos de 20 milisegundos), de manera que los ordenadores y demás equipos electrónicos continuarán funcionando sin interrupción.

Disponible con tres tomas de corriente distintas



Bornes de tornillo

No se necesitan herramientas especiales para su instalación

Inversor Phoenix	12 voltios 24 voltios 48 voltios	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia cont a 25°C (1)		250VA	375VA	500VA	800VA	1200VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C		200 / 175W	300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Pico de potencia		400W	700W	900W	1500W	2200W
Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)		230VCA o 120VCA +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%				
Rango de tensión de entrada		9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0V				
Desconexión por CC baja (ajustable)		9,3 / 18,6 / 37,2V				
Dinámica (dependiente de la carga)		Desconexión dinámica, ver https://www.victronenergy.com/live/ve.direct:phoenix-inverters-dynamic-cut-off				
Desconexión por CC baja (totalmente ajustable)						
Reinicio y alarma por CC baja (ajustable)		10,9 / 21,8 / 43,6V				
Detector de batería cargada (ajustable)		14,0 / 28,0 / 56,0V				
Eficacia máx.		87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%	90 / 90 / 91%	91 / 91 / 92%
Consumo en vacío		4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W	6,5 / 7 / 9,5W	7 / 8 / 10W
Consumo en vacío predeterminado en modo ECO (Intervalo de reintento: 2,5 s, ajustable)		0,8 / 1,3 / 2,5W	0,9 / 1,4 / 2,6W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0
Ajuste de potencia de parada y arranque en modo ECO		Ajustable				
Protección (2)		a - f				
Rango de temperatura de trabajo		-40 to +65°C (refrigerado por ventilador) (reducción de potencia del 1,25% por cada °C por encima de 25°C)				
Humedad (sin condensación)		máx. 95%				
CARCASA						
Material y color		Chasis de acero y carcasa de plástico (azul RAL 5012)				
Conexión de la batería		Bornes de tornillo				
Sección de cable máxima:		10mm ² / AWG8	10mm ² / AWG8	10mm ² / AWG8	25/10/10mm ² / AWG4/8/8	35/25/25 mm ² / AWG 2/4/4
Tomas de corriente CA estándar		230V: Schuko (CEE 7/4), IEC-320 (enchufe macho incluido) UK (BS 1363), AU/NZ (AS/NZS 3112) 120V: Nema 5-15R				
Tipo de protección		IP 21				
Peso		2,4kg / 5,3lbs	3,0kg / 6,6lbs	3,9kg / 8,5lbs	5,5kg / 12lbs	7,4kg / 16,3lbs
Dimensiones (al x an x p en mm.) (al x an x p, pulgadas)		86 x 165 x 260 3,4 x 6,5 x 10,2	86 x 165 x 260 3,4 x 6,5 x 10,2	86 x 172 x 275 3,4 x 6,8 x 10,8	105 x 216 x 305 4,1 x 8,5 x 12,1 (12V modelo: 105 x 230 x 325)	117 x 232 x 327 4,6 x 9,1 x 12,9 (12V modelo: 117 x 232 x 362)
ACCESORIOS						
On/Off remoto		Sí				
Conmutador de transferencia automático		Filax				
ESTÁNDARES						
Seguridad		EN-IEC 60335-1 / EN-IEC 62109-1				
EMC		EN 55014-1 / EN 55014-2 / IEC 61000-6-1 / IEC 61000-6-2 / IEC 61000-6-3				
Directiva de automoción		ECE R10-4				
1) Carga no lineal, factor de cresta 3:1 2) Claves de protección: a) cortocircuito de salida b) sobrecarga c) tensión de la batería demasiado alta d) tensión de la batería demasiado baja e) temperatura demasiado alta f) ondulación CC demasiado alta						



Alarma de batería

Indica que la tensión está demasiado alta o demasiado baja por medio de una alarma visual y sonora y de un relé de señalización remota



Mochila VE.Direct a Bluetooth Smart (Debe pedirse por separado)



Monitor de baterías BMV

El monitor de baterías BMV dispone de un avanzado sistema de control por microprocesador combinado con un sistema de alta resolución para la medición de la tensión de la batería y de la carga/descarga de corriente. Aparte de esto, el software incluye unos complejos algoritmos de cálculo para determinar exactamente el estado de la carga de la batería. El BMV muestra de manera selectiva la tensión, corriente, Ah consumidos o el tiempo restante de carga de la batería. El monitor también almacena una multitud de datos relacionados con el rendimiento y uso de la batería.

Anexo G. Ficha técnica inversor, sistema Off-Grid estación transmisora

Inversor Phoenix	12 voltios 24 voltios 48 voltios	12/250 24/250 48/250	12/375 24/375 48/375	12/500 24/500 48/500	12/800 24/800 48/800	12/1200 24/1200 48/1200
Potencia cont a 25°C (1)		250VA	375VA	500VA	800VA	1200VA
Potencia cont. a 25°C / 40°C		200 / 175W	300 / 260W	400 / 350W	650 / 560W	1000 / 850W
Pico de potencia		400W	700W	900W	1500W	2200W
Tensión / frecuencia CA de salida (ajustable)		230VCA o 120VCA +/- 3% 50Hz o 60Hz +/- 0,1%				
Rango de tensión de entrada		9,2 - 17 / 18,4 - 34,0 / 36,8 - 62,0V				
Desconexión por CC baja (ajustable)		9,3 / 18,6 / 37,2V				
Dinámica (dependiente de la carga)		Desconexión dinámica, ver https://www.victronenergy.com/live/ve-direct:phoenix-inverters-dynamic-cutoff				
Desconexión por CC baja (totalmente ajustable)						
Reinicio y alarma por CC baja (ajustable)		10,9 / 21,8 / 43,6V				
Detector de batería cargada (ajustable)		14,0 / 28,0 / 56,0V				
Eficacia máx.		87 / 88 / 88%	89 / 89 / 90%	90 / 90 / 91%	90 / 90 / 91%	91 / 91 / 92%
Consumo en vacío		4,2 / 5,2 / 7,9W	5,6 / 6,1 / 8,5W	6 / 6,5 / 9W	6,5 / 7 / 9,5W	7 / 8 / 10W
Consumo en vacío predeterminado en modo ECO (Intervalo de reinicio: 2,5 s, ajustable)		0,8 / 1,3 / 2,5W	0,9 / 1,4 / 2,6W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0W	1 / 1,5 / 3,0
Ajuste de potencia de parada y arranque en modo ECO		Ajustable				
Protección (2)		a - f				
Rango de temperatura de trabajo		-40 to +65°C (refrigerado por ventilador) (reducción de potencia del 1,25% por cada °C por encima de 25°C)				
Humedad (sin condensación)		máx. 95%				
CARCASA						
Material y color		Chasis de acero y carcasa de plástico (azul RAL 5012)				
Conexión de la batería		Bornes de tornillo				
Sección de cable máxima:		10mm ² / AWG8	10mm ² / AWG8	10mm ² / AWG8	25/10/10mm ² / AWC4/8/8	35/25/25 mm ² / AWG 2/4/4
Tomas de corriente CA estándar		230V: Schuko (CEE 7/4), IEC-320 (enchufe macho incluido) UK (BS 1363), AU/NZ (AS/NZS 3112) 120V: Nema 5-15R				
Tipo de protección		IP 21				
Peso		2,4kg / 5,3lbs	3,0kg / 6,6lbs	3,9kg / 8,5lbs	5,5kg / 12lbs	7,4kg / 16,3lbs
Dimensiones (al x an x p en mm.) (al x an x p, pulgadas)		86 x 165 x 260 3.4 x 6.5 x 10.2	86 x 165 x 260 3.4 x 6.5 x 10.2	86 x 172 x 275 3.4 x 6.8 x 10.8	105 x 216 x 305 4.1 x 8.5 x 12.1 (12V modelo: 105 x 230 x 325)	117 x 232 x 327 4.6 x 9.1 x 12.9 (12V modelo: 117 x 232 x 362)
ACCESORIOS						
On/Off remoto		Sí				
Conmutador de transferencia automático		Filax				
ESTÁNDARES						
Seguridad		EN-IEC 60335-1 / EN-IEC 62109-1				
EMC		EN 55014-1 / EN 55014-2 / IEC 61000-6-1 / IEC 61000-6-2 / IEC 61000-6-3				
Directiva de automoción		ECE R10-4				

- 1) Carga no lineal, factor de cresta 3:1
2) Claves de protección:
a) cortocircuito de salida
b) sobrecarga
c) tensión de la batería demasiado alta
d) tensión de la batería demasiado baja
h) temperatura demasiado alta
f) ondulación CC demasiado alta



Alarma de batería

Indica que la tensión está demasiado alta o demasiado baja por medio de una alarma visual y sonora y de un relé de señalización remota



**Mochila VE.Direct a Bluetooth Smart
(Debe pedirse por separado)**



Monitor de baterías BMV

El monitor de baterías BMV dispone de un avanzado sistema de control por microprocesador combinado con un sistema de alta resolución para la medición de la tensión de la batería y de la carga/descarga de corriente. Aparte de esto, el software incluye unos complejos algoritmos de cálculo para determinar exactamente el estado de la carga de la batería. El BMV muestra de manera selectiva la tensión, corriente, Ah consumidos o el tiempo restante de carga de la batería. El monitor también almacena una multitud de datos relacionados con el rendimiento y uso de la batería.