



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS DE
GENERACIÓN RENOVABLE Y ALMACENAMIENTO DE
ENERGÍA PARA MICROREDES AC/DC CON CAPACIDAD DE
CONEXIÓN ON-GRID/ OFF-GRID”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR:

VICENTE ANDRÉS CABRERA PÉREZ

Riobamba – Ecuador

2022



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

**“MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS DE
GENERACIÓN RENOVABLE Y ALMACENAMIENTO DE
ENERGÍA PARA MICROREDES AC/DC CON CAPACIDAD DE
CONEXIÓN ON-GRID/ OFF-GRID”**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTOR: VICENTE ANDRÉS CABRERA PÉREZ

DIRECTOR: ING. MAYRA ALEJANDRA PACHECO CUNDURI M. Sc

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Vicente Andrés Cabrera Pérez.

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, **VICENTE ANDRÉS CABRERA PÉREZ**, declaro que el presente trabajo de titulación es de mí autoría y los resultados de este, son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 11 de agosto del 2022.



Vicente Andrés Cabrera Pérez

C.I: 172363001-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El Trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto de Investigación, “**MODELADO Y DIMENSIONAMIENTO DE SISTEMAS DE GENERACIÓN RENOVABLE Y ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PARA MICROREDES AC/DC CON CAPACIDAD DE CONEXIÓN ON-GRID/ OFF-GRID**” realizado por **VICENTE ANDRÉS CABRERA PÉREZ**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Dr. Geovanny Estuardo Vallejo Vallejo. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2022-08-11
Ing. Mayra Alejandra Pacheco Cunduri. DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN.		2022-08-11
Ing. Jorge Luis Hernández Ambato. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2022-08-11

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis padres Vicente y Anabel a mi hermano Ricardo que siempre me brindaron el apoyo para nunca decaer en los momentos más difíciles, a mis amigos que de alguna forma me motivaron para lograr este objetivo.

Vicente Cabrera

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por permitirme culminar esta meta, a mis padres, a mi tutor de clase, a mi tutora académica Ing. Mayra Pacheco, al Ing. Jorge Hernández que me ayudaron con su conocimiento y guía para la realización de este trabajo, a mis amigos y quienes formaron parte de mi vida universitaria quienes estuvieron en buenos y malos momentos, pero siempre brindándome su apoyo para cumplir esta meta.

Vicente Cabrera

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xiii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I	
1. MARCO TEÓRICO.....	5
1.1 Microred.....	5
1.2 Modos de operación de la microred.....	6
1.3 Evolución de las microredes.	7
1.4 Gestión de la demanda en redes eléctricas inteligentes.....	8
1.5 Situación y gestión de energía renovable en Ecuador.....	9
1.6 Tipos de generación de la energía.	9
1.7 Fuentes de energía renovable.	10
1.7.1 <i>Energía Solar</i>	10
1.7.1.1 <i>Energía solar térmica</i>	10
1.7.1.2 <i>Sistema térmico solar</i>	11
1.7.1.3 <i>Energía solar fotovoltaica</i>	11
1.7.1.4 <i>Paneles solares</i>	12
1.7.1.5 <i>Modelado de paneles solares</i>	12
1.7.1.6 <i>Tecnologías de paneles solares</i>	14
1.7.1.7 <i>Tipos de paneles solares</i>	15
1.7.1.8 <i>Criterio de dimensionamiento de panel solar</i>	15
1.8 Convertidor dc-dc.....	16
1.9 Algoritmo de seguimiento MPPT.....	19
1.10 Baterías.....	21
1.10.1 <i>Baterías de flujo vanadio</i>	21
1.10.2 <i>Baterías ion- litio</i>	21

1.10.3	<i>Batería de plomo ácido</i>	21
1.11	Tipos de baterías con ciclos de profundidad	22
1.11.1	<i>Criterio de dimensionamiento de baterías</i>	22
1.11.2	<i>Red eléctrica inteligente</i>	23
1.12	Controladores PID	23
1.13	Control Inteligente	26
1.13.1	<i>Control por lógica difusa</i>	27
1.13.2	<i>Definiciones fundamentales</i>	27
1.13.3	<i>Inferencia Difusa</i>	29
1.14	Inversores	30

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	33
2.1	Requerimientos para la arquitectura del modelo de la microred.	33
2.2	Concepción general del diseño de la microred	34
2.3	Fases de desarrollo	35
2.4	Dimensionamiento del sistema	35
2.4.1	<i>Selección del panel solar</i>	36
2.4.2	<i>Selección de la batería</i>	36
2.4.3	<i>Características del sistema</i>	37
2.4.4	<i>Conexión on/off grid</i>	42
2.5	Diseño del Sistema	42
2.5.1	<i>Características de operación de la microred</i>	43
2.5.2	<i>Bloque de parametrización</i>	43
2.5.3	<i>Panel solar</i>	44
2.5.4	<i>Controlador elevador Boost</i>	44
2.5.5	<i>MPPT</i>	45
2.5.6	<i>Baterías</i>	45
2.5.6.1	<i>Control PID de la batería</i>	46
2.5.6.2	<i>Control fuzzy de la batería</i>	47
2.5.7	<i>Inversor</i>	49
2.5.8	<i>Control de inversor.</i>	50

CAPITULO III

3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
3.1	Casos de estudio	51
3.1.1	<i>Usuarios con configuración igual excepto generación fotovoltaica</i>	51

3.1.2	<i>Usuarios con configuración igual excepto capacidad de almacenamiento.....</i>	64
	CONCLUSIONES.....	65
	RECOMENDACIONES.....	66
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Proyectos de redes inteligentes en algunas partes del mundo.	8
Tabla 2-1:	Comparación de paneles solares.....	15
Tabla 3-1:	Ecuaciones características de los convertidores dc-dc.	19
Tabla 4-1:	Comparación de las baterías por su tecnología y duración.....	22
Tabla 1-2:	Características de configuración del panel solar, batería y convertidor DC-DC.	33
Tabla 2-1:	Características del panel Jinko Tiger Pro.	36
Tabla 3-2:	Ficha técnica de Batería de ciclo profundo.	36
Tabla 4-2:	Datos históricos de tiempo de Santo Domingo.	38
Tabla 5-2:	Consumo promedio mensual de energía eléctrica por empresa distribuidora	41
Tabla 6-2:	Resultados correspondientes al dimensionamiento del panel.....	42
Tabla 7-2:	Representación tabular de la información de entrada y salida del control fuzzy	48
Tabla 1-3:	Resultados del comportamiento del usuario 1.....	51
Tabla 2-3:	Comportamiento del usuario 2.	52
Tabla 3-3:	Comportamiento del usuario 3.	54
Tabla 4-3:	Comportamiento del usuario 4.	55
Tabla 5-3:	Comportamiento del usuario 5.	56
Tabla 6-3:	Comportamiento usuario 1.	58
Tabla 7-3:	Comportamiento usuario 2.	59
Tabla 8-3:	Comportamiento usuario 3.	60
Tabla 9-3:	Comportamiento usuario 4.	61
Tabla 10-3:	Comportamiento usuario 5.	62
Tabla 11-3:	Comportamiento usuario 1.	64
Tabla 12-3:	Comportamiento usuario 2.	65
Tabla 13-3:	Comportamiento usuario 3.	66
Tabla 14-3:	Comportamiento usuario 4.	67
Tabla 15-3:	Comportamiento usuario 5.	68
Tabla 16-3:	Comportamiento usuario 1.	70
Tabla 17-3:	Comportamiento usuario 2.	71
Tabla 18-3:	Comportamiento usuario 3.	72
Tabla 19-3:	Comportamiento usuario 4.	73
Tabla 20-3:	Comportamiento usuario 5.	74
Tabla 21-3:	Resultados de error RMSE caso 1.	76
Tabla 22-3:	Resultados de error RMSE caso 2.	76
Tabla 23-3:	Valores totales de error RMSE.....	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Esquema eléctrico propuesto microred.....	3
Figura 2-1:	Esquema de una Microred eléctrica.....	6
Figura 3-1:	Microred aislada.....	7
Figura 4-1:	Microred conectada a la red.....	7
Figura 5-1:	Esquema de un sistema fotovoltaico.....	12
Figura 6-1:	Componentes de la radiación solar.....	13
Figura 7-1:	Diferentes tipos de células solares utilizadas.....	14
Figura 8-1:	Topología de un convertidor reductor(Buck).....	16
Figura 9-1:	Estado del convertidor Buck. a) encendido. b) Apagado.....	17
Figura 10-1:	Topología del convertidor elevador (Boost).....	17
Figura 11-1:	Estados del convertidor Boost a) encendido y b) apagado.....	18
Figura 12-1:	Topología de un convertidor reductor elevador(Buck-Boost).....	18
Figura 13-1:	Algoritmo Perturbar y Observar.....	19
Figura 14-1:	Diagrama de flujo conductancia incremental.....	20
Figura 15-1:	Estructura básica de un controlador PID.....	24
Figura 16-1:	Lazo de control difuso.....	27
Figura 17-1:	Identificación de componente de la lógica difusa.....	28
Figura 18-1:	Funciones de pertenencia.....	28
Figura 19-1:	Proceso del sistema de inferencia difusa.....	29
Figura 20-1:	Modelo de un inversor.....	30
Figura 21-1:	Esquema del inversor (a) y Diagrama de tiempos de voltaje y corriente.....	31
Figura 22-1:	Inversor trifásico formado por tres inversores monofásicos.....	32
Figura 1-2 :	Topología de la microrred a simular en el software MATLAB 2018b.....	34
Figura 2-2:	Metodología a usar en el dimensionamiento del sistema.....	35
Figura 3-2:	Diseño de la microrred implementada en el software MATLAB 2018b.....	43
Figura 4-2:	Bloque de parametrización.....	43
Figura 5-2:	Diseño del panel solar.....	44
Figura 6-2:	Curva de I-V del panel solar.....	44
Figura 7-2:	Controlador Buck en Matlab.....	44
Figura 8-2:	Control MPPT-IC.....	45
Figura 9-2 :	Sistema de carga o descarga baterías.....	45
Figura 10-2:	Diseño de control PID de Batería.....	46

Figura 11-2:	Lazo de control cerrado en cascada a) solución lazo interno. b) solución lazo externo.....	47
Figura 12-2:	Diseño del controlador fuzzy de batería.....	47
Figura 13-2:	Diagrama de bloques para el control fuzzy.....	49
Figura 14-2:	Inversor en matlab.....	49
Figura 15-2:	Control de inversor y red	50

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1:	.....	15
Ecuación 2-1:	.....	15
Ecuación 3-1:	.....	15
Ecuación 4-1:	.....	16
Ecuación 5-1:	.....	22
Ecuación 6-1:	.....	23
Ecuación 7-1:	.....	23
Ecuación 8-1:	.....	24
Ecuación 9-1:	.....	24
Ecuación 10-1:	.....	25
Ecuación 11-1:	.....	25
Ecuación 12-1:	.....	25
Ecuación 13-1:	.....	25
Ecuación 14-1:	.....	25
Ecuación 15-1:	.....	26
Ecuación 16-1:	.....	26
Ecuación 17-1:	.....	26
Ecuación 18-1:	.....	29
Ecuación 19-1:	.....	29

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Grafico 1-2:	Climograma Santo Domingo.....	37
Grafico 2-2:	Líneas de datos de Temperatura (°C) vs Tiempo (s).	38
Grafico 3-2:	Datos de irradiancia (W/m ²) vs tiempo (s)	39
Grafico 4-2:	Promedio de horas sol al día en Santo Domingo de los Tsáchilas.	40
Grafico 5-2:	Horas totales de sol al día en Santo Domingo de los Tsáchilas.	40
Grafico 6-2:	Curva de demanda carga residencial.	41

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Ficha técnica del panel solar

ANEXO B: Ficha técnica de la Batería

ANEXO C: Código control de batería.

ANEXO D: Valores Horarios de Irradiancia y Temperatura

ANEXO E: Algoritmo MPPT

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

DG: Generación distribuida.

EMS: Sistema de gestión energética.

IEC: Comisión Electrotécnica Internacional.

SOC: Estado de carga.

DOD: Profundidad de descarga.

SEP: Sistema eléctrico de potencia.

AC: Corriente alterna.

DC: Corriente directa.

ON-GRID: Conectado a la red

OFF-GRID: Desconectado de la red

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue modelar y dimensionar un sistema de generación y almacenamiento de energía renovable para la microred AC/DC con capacidad de conexión on-grid/off-grid. Para lo cual se definió el tipo de modelo de la microred mediante el uso de valores de irradiancia y temperatura con respecto a enero 2021 de la ciudad de Santo Domingo, un controlador elevador Boost, un inversor, un control a base de lógica difusa y un tiempo de simulación de 24 segundos, la implementación se dio mediante el software Matlab/Simulink 2018b. El control se basa en la lógica difusa para una verificación de carga o descarga de la batería, de tal forma que si los paneles no logran abastecer la demanda y las baterías no contienen energía se hace uso de la red eléctrica tradicional, por otro lado, si la batería se encuentra cargada ésta entra en funcionamiento y no se utiliza la energía de la red, de esta manera se cumple por usuario una conexión on-grid/off-grid. Para el análisis de los resultados se realizó una comparativa con un controlador PID con el fin de verificar que el flujo sea 500kw de potencia promedio y confrontar las curvas de carga y descarga de la batería del usuario con conexión on-grid y off-grid obteniendo una gestión de la energía. Se concluye que el control fuzzy siguiendo la metodología implementada en la microred se evidencia la conexión on-grid, off-grid y cubre el requerimiento de potencia; por otro lado, el control PID también logra cumplir este requerimiento de potencia, según el caso se evidencia la conexión on-grid, como off-grid. Se recomienda en la investigación que se aplique un algoritmo genético para una mejor optimización y gestión de energía en su funcionamiento.

PALABRAS CLAVES: <SISTEMA DE GENERACION RENOVABLE> <CONEXIÓN ON GRID/OFF GRID> <ELECTRÓNICA DE POTENCIA> <LÓGICA DIFUSA> <MICRORED INTELIGENTE> <GESTIÓN ENERGÉTICA>.

1855-DBRA-UTP-2022



SUMMARY

This research aimed to model and dimension a generation and storage of renewable energy system for the AC/DC microgrid with on-grid/off-grid connection capacity. For which the type of microgrid model was defined by using the irradiance and temperature values to January 2021 from Santo Domingo city, a Boost elevator controller, an inverter, a control based on fuzzy logic, and a simulation time of 24 seconds; the implementation was given using the Matlab/Simulink 2018b software. The control is based on fuzzy logic for verification of battery charge or discharge, in such a way that if the panels fail to supply the demand and the batteries do not contain energy, the Electric power distribution network is used; on the other hand, If the battery is charged, it comes into operation, and the power from the grid is not used, in this way the user fulfills an on-grid/off-grid connection. To analyze the results, a comparison was made with a PID controller to verify that the flow is 500kw of average power and confront the charge and discharge curves of the user's battery with on-grid and off-grid connections, obtaining energy management. It is concluded that the fuzzy control following the methodology implemented in the microgrid shows the on-grid and off-grid connection and covers the power requirement; depending on the case, the on-grid or off-grid connection is evidenced. It is recommended in the research that a genetic algorithm be applied for better optimization and energy management in its operation.

Keywords: <RENEWABLE GENERATION SYSTEM> <ON GRID/OFF GRID CONNECTION> <POWER ELECTRONICS> <FUZZY LOGIC> <INTELLIGENT MICROGRID> <ENERGY MANAGEMENT>



Lenin Lara
0602546103

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo, se enmarca en el modelado y dimensionamiento de sistemas de generación renovable y almacenamiento de energía para microredes AC/DC con capacidad de conexión on-grid/ off-grid, a través del uso de la herramienta de software Matlab/Simulink. El sistema simulado contiene los siguientes elementos: un bloque de datos, un sistema de almacenamiento, bloque panel fotovoltaico, un convertidor DC-DC, un control difuso empleando el método Mamdani para gestionar la direccionalidad energética y un inversor.

Las redes eléctricas de distribución están estructuradas de forma piramidal, es decir la empresa suministradora es la única que puede brindar el servicio eléctrico al usuario, en consecuencia, si se llegara a producir un corte eléctrico, los usuarios residenciales solo tiene la opción de esperar a que se realicen las reparaciones, creando una necesidad y surgiendo un mercado eléctrico autónomo e independiente, en donde proyectos de investigación como: “Análisis y Diseño de un mercado eléctrico comunitario mediante la integración de generación renovable, sistemas de almacenamiento de energía local y algoritmos de control inteligente” a cargo del Grupo de Investigación en Tecnologías de Electrónica y Automatización (GITEA) perteneciente a la Facultad de Informática y Electrónica de la Escuela de ingeniería en Electrónica y Automatización, sirven de punto de partida para la innovación en la ciudad de Santo Domingo y dando apertura de temas como el que actualmente nos encontramos describiendo en el documento.

El estudio de carga se realizó con 1 perfil de irradiancia, temperatura horarias y carga de usuarios constantes, dado el costo computacional, se elaboró un escenario con 2 casos el primero con generación fotovoltaica variable y el segundo con capacidad de almacenamiento variable en donde se valora la eficiencia energética otorgada por el sistema de control donde se evaluó parámetros como, voltaje, corriente, potencia, y estado de la batería concluyendo mediante gráficas una gestión energética.

A continuación, se presenta los objetivos presentados, evaluados y culminados en base a una metodología bibliográfica e implementada por autores y empresas de gran impacto.

Se investigaron los equipos de generación y almacenamiento de energía que componen una microred inteligente, luego se **establecieron** los perfiles de generación para una microred con potencia promedio de 500kW, y, así **modelar** la microred desde el punto de vista de red de distribución para el caso de estudio planteado, posterior a eso se procedió a **diseñar y simular** los algoritmos de control para la conexión y desconexión de la microred., para finalmente **evaluar** los modelos de control para los casos de estudio planteados.

Estos objetivos se encuentran desarrollados en:

El estudio comienza con trabajo de revisión bibliográfico relacionado al tipo de generación de energía, perfiles de generación y criterios de dimensionamiento que otorgaran el conocimiento necesario e indispensable para la realización de la investigación.

Se continua con el planteamiento de los casos de estudio con 5 usuario donde se definen parámetros, elementos de potencia y el control fuzzy de la batería para la microred.

A partir de la simulación de los casos de estudio se procede a mostrar los resultados al evaluar los casos de estudio haciendo una comparativa entre un control PID y un control Fuzzy en una microred.

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Tomando como punto de partida la estructura de la red eléctrica de distribución tradicional implementada en la mayoría de los países a nivel mundial, entre ellos Ecuador, nos damos cuenta de que se encuentra orientada puramente al beneficio de las empresas distribuidoras, dentro de la estructura anteriormente mencionada, el abonado o usuario final cumple únicamente un papel pasivo (Fernandez, 2015). De esta manera, en un contexto de redes inteligentes de distribución en el que los usuarios convergen en una microrred y pueden planificar el consumo y almacenamiento de la energía suministrada desde la red de distribución y de fuentes de energía renovable, siendo la más empleada por los usuarios tecnología fotovoltaica (Palacios Solorzano, Samper, & Vargas, 2016). Por ello un nuevo modelo plantea una transformación en la estructura actual de la red en donde se involucren fuentes de energía renovable y minimiza los problemas de distribución. La propuesta del control fuzzy proyecta una transformación en la visión de la generación eléctrica, mediante un cambio en el panorama de generación y utilización de la energía eléctrica en zonas residenciales, tomando como punto clave la democratización energética, ya que, mediante ella se desenlaza el esquema tradicional unidireccional de generación centralizada y fomenta la colaboración a niveles de microrred bidireccional mediante la integración de fuentes de energía renovables y el uso del concepto usuario prosumer.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

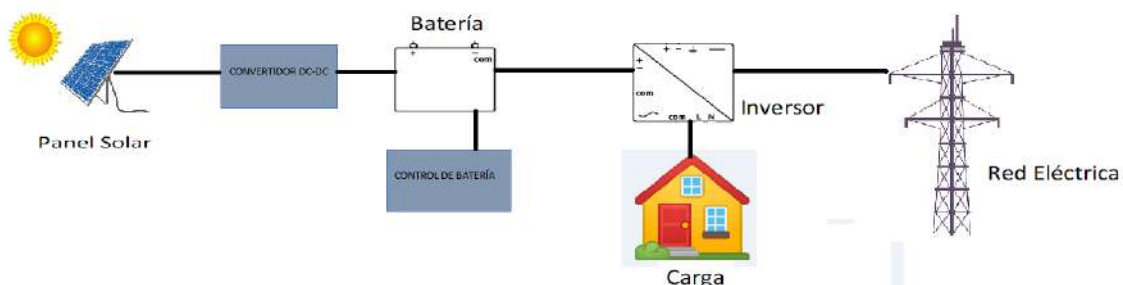


Figura 1-1:Esquema eléctrico propuesto microrred

Realizado por: Cabrera. V, 2022

Mediante el presente trabajo de investigación se propone un esquema eléctrico de la microrred que se va analizar, en donde vamos a tener usuarios finales, sistemas de almacenamiento y un punto de conexión a la red eléctrica, el sistema de control de la microrred nos va a permitir controlar ese punto de conexión y desconexión de la red principal, así como el sistema de renovables y almacenamiento de energía de la microrred, con el cual se fomenta la contribución a niveles de microrred bidireccional.

OBJETIVO GENERAL

Modelar y dimensionar sistemas de generación renovable y almacenamiento de energía para microredes ac/dc con capacidad de conexión on-grid/ off-grid.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estudiar en literatura el estado del arte relacionado a los sistemas de generación renovable y almacenamiento de energía para microredes, así como las características, ventajas y desventajas de las acciones de conexión On-Grid / Off-Grid.
- Establecer los requerimientos y perfiles de generación, almacenamiento y consumo a tener en cuenta en el diseño y dimensionamiento de una microred basada en un caso de estudio que considere generación fotovoltaica y un perfil de demanda energética promedio de 500kW.
- Determinar una metodología que permita realizar el dimensionamiento y optimización de la microred que cumpla con los requerimientos y caso de estudio planteado.
- Desarrollar los modelos que representen la microred y los algoritmos de control de conexión On-Grid / Off-Grid para llevar a cabo simulaciones de operación y funcionamiento basados en los perfiles de generación, almacenamiento y consumo establecidos en los requerimientos.
- Evaluar mediante simulaciones los modelos planteados y la metodología de dimensionamiento y optimización desarrollados para el caso de estudio considerado de una microred con generación renovable, almacenamiento de energía y capacidad de conexión On-Grid / Off-Grid.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se describe el estado del arte en relación con sistemas de generación y almacenamiento renovable para conexiones On-Grid / Off-Grid.

1.1 Microred

Una microred es un sistema de media- baja tensión de pequeña y mediana escala que crea energía eléctrica utilizando mayormente fuentes renovables no convencionales (eólico, fotovoltaico, biomasa, etcétera.)(Chica & Guaman, 2017).

Las microredes se hallan ubicadas cerca del consumidor destinados a minimizar la distancia física y eléctrica entre la generación y las cargas, con la intención de mejorar la fiabilidad, reducir las pérdidas por transmisión y minimizar las emisiones de carbono. Permanecen formadas por cargas y fuentes distribuidas que trabajan como una exclusiva entidad controlable que puede conectarse y desconectarse intencionalmente de la red primordial mediante interruptores constantemente y una vez que cumpla con los límites eléctricos definidos, o sea, las fluctuaciones de voltaje y frecuencia no son aceptables (Chica & Guaman, 2017).

Una microred puede tener diferentes configuraciones dependiendo de la disponibilidad, ubicación y características de las fuentes de energía y la distribución geográfica de las cargas. Su capacidad máxima es menor a 10MVA (Chica & Guaman, 2017).

Los beneficios de las microredes son:

- Aumento en la calidad y confiabilidad del sistema
- Descentralización de la generación
- Reducción del precio de la electricidad, tanto en la transmisión como distribución.
- Óptima utilización de tecnologías de energías renovables

La figura 2-1 muestra como se ve una microred con elementos de generación, almacenamiento y carga.

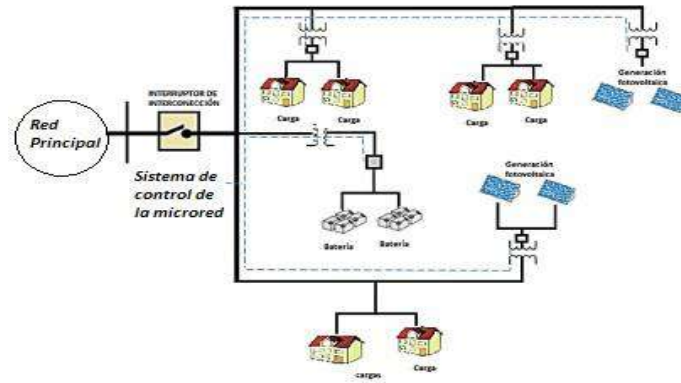


Figura 2-1:Esquema de una Microred eléctrica.
Realizado por: Cabrera. V, 2022

1.2 Modos de operación de la microred

La microred puede operar de manera aislada o conectada a la red. También, en su operación usual la microred debería ser capaz de desconectarse y reconectarse al sistema eléctrico de potencia al que pertenece.

La desconexión de la microred puede ser intencional u ocasionada por fallas en los equipos; por su parte, la reconexión se realiza para que la microred vuelva a formar parte del sistema eléctrico de potencia, siempre que cumpla con los rangos de voltaje, frecuencia y ángulo de fase establecido por el estándar ANSI C84.1-2006.

Luego de la reconexión, las fuentes deben volver a funcionar bajo el estándar de IEEE 1547 (Chica & Guaman, 2017).

- **Aislada:** Una microred aislada debe tener diferentes parámetros de estabilidad para proveer la potencia requerida de las cargas en el sistema como se muestra en la figura 3-1, asegurando así el funcionamiento de cada una de estas, siendo los parámetros de voltaje y frecuencia de mayor transcendencia. Esta configuración de operación tiene una amplia reserva de energía en cuanto a generación distribuida y en sistema de almacenamiento (Chica & Guaman, 2017).



Figura 3-1: Microred aislada.
Fuente: (SRL, 2020)

- **Conectada a la red:** En la figura 4-1 se muestra una microred que para formar parte del sistema eléctrico de potencia debe cumplir con parámetros establecidos por el estándar ANSI C84.1-2006 que tiene relación con la sincronización de voltaje, frecuencia y ángulos de fase de los dos sistemas. La conexión inicia de inmediato que se encuentren en rangos permitidos, esta forma de operación de la microred asegura un óptimo trabajo de las cargas. Con esta configuración se establece nuevas formas de desempeño de la microred obedeciendo a los requerimientos del SEP (Chica & Guaman, 2017).

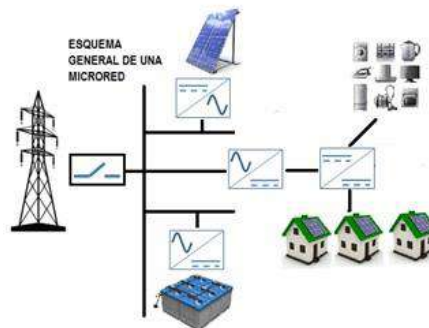


Figura 4-1: Microred conectada a la red.
Fuente: (Gaona.E, Mancera.P, & Trujillo.C, 2017)

1.3 Evolución de las microredes.

Las microredes fueron evolucionando de distinta forma alrededor del mundo, ya que no todos los gobiernos han desarrollado políticas correctas que fomenten su desarrollo. Los países más elaborados han realizado enormes avances, en lo cual el resto de los países iniciaron a dar pequeños pasos, la tabla 1-1 explica la evolución de proyectos y su trascendencia.

Tabla 1-1:Proyectos de redes inteligentes en algunas partes del mundo.

Redes inteligentes en América Latina	Redes inteligentes en América del Norte	Redes inteligentes en Europa	Redes inteligentes en Asia
<ul style="list-style-type: none"> •Puerto Rico: La microred incluye plantas de gas, eólicas, residuos sólidos y fotovoltaicos. •Sistema Integrado de energía de la Mesa del Sol: Está formado por un sistema fotovoltaico (50kW) •Huatocondo : Huatocondo es la primera localidad de Chile con una microred eléctrica 	<ul style="list-style-type: none"> •Boston Bar - BC Hydro (Canadá): La microred está formada por dos generadores hidráulicos de 4,32 MVA y tiene una potencia total instalada de 3 MW. •Smart Grid City (Boulder-Colorado): El plan cuenta con la conexión de 35.000 domicilios y organizaciones con sistemas automatizados •Ohio Grid Smart: Los sistemas de almacenamiento de energía, recursos de generación distribuida, recursos web y dispositivos informativos 	<ul style="list-style-type: none"> •Dinamarca: Tiene el potencial de energía eólica más alta del mundo y lo ha aprovechado para generar el 30% de su electricidad •Bronsbergen Holiday Park microgrid (Netherlands): La capacidad de generación es de 315 kW y satisface 208 casas vacacionales. •The Residential Microgrid of Am Steinweg in Stutensee (Germany): Tiene diferentes instalaciones fotovoltaicas de 35 kWp y un banco de baterías de plomo ácido. •Proyecto de microrredes de la comunidad de la isla de Kythnos (Grecia): El proyecto está formado por un conjunto fotovoltaico que electrifica casas con controladores de carga. •Vizcaya (España): Proyecto español cuyo principal objetivo es estudiar la viabilidad de instalar microrredes sobre la red de media tensión 	<ul style="list-style-type: none"> •Hachinohe project (Japan): El proyecto trata de utilizar la distribución de electricidad y la comunicación, consta de un motor de gas, varios sistemas fotovoltaicos, caldera de vapor y baterías para almacenamiento. •Singapur: El proyecto piloto está ubicado en Pulau Ubin y tiene como objetivo estudiar la respuesta a la demanda de energía, la gestión de la carga y el compromiso por parte del usuario •Sistema de energía distribuida (Nepal): Tiene un total de 2.200 plantas micro hidráulicas con una potencia total de 20 MW.

Fuente: (Chica & Guaman, 2017)
 Realizado por: Cabrera. V, 2022

1.4 Gestión de la demanda en redes eléctricas inteligentes

Con el fin de proporcionar energía limpia, accesible, confiable, económica y socialmente viable, han surgido medidores inteligentes para reducir la pérdida de los sistemas que componen la red inteligente y mejorar la calidad del servicio a través del entorno de comunicación. Los medidores de energía electromecánicos y digitales tienen serias limitaciones debido a su cálculo limitado de los costos de energía. De hecho, el consumo de KWH se suma a lo largo del tiempo, independientemente del momento en que se suministre la energía o de los costos de fabricación. Esta es una de las razones por las que las empresas de servicios públicos están reemplazando los medidores de electricidad residenciales, comerciales e industriales por medidores analógicos que permiten diferentes períodos de tiempo de producción de electricidad mediante la generación de facturas a precios en tiempo real (Pascual Miqueleiz, 2016).

Las empresas de distribución pueden planificar mejor la producción y el mantenimiento y reducir los costos de medición del consumo porque las mediciones se realizan de manera más precisa y remota. Reduzca las pérdidas comerciales al facilitar la detección de fraudes y robos. Los consumidores pueden ahorrar energía y crear horarios de consumo a través de la gestión de la información, haciendo que los pagos sean más frecuentes y precisos. Promover la adopción de la automatización del hogar mediante la reducción del consumo de energía (Bermeo & Bravo, 2019).

1.5 Situación y gestión de energía renovable en Ecuador

Durante la vigencia de la REGULACIÓN No. CONELEC 004/11 que fue aprobada desde el 14 de abril del 2011 y codificada desde el 2012, basándose en el “Tratamiento para la energía producida con recursos energéticos renovables no convencionales” estableciendo requisitos, precios, período de vigencia y forma de despacho para la energía eléctrica entregada al Sistema Nacional Interconectado y sistemas aislados con la intervención de energías no convencionales como: eólica, fotovoltaica, geotérmica, biomasa, biogás e hidroeléctricas menores a 50 MW (CONELEC, 2011), la vigencia de los precios serán de 15 años. Esta regulación cumplió el objetivo de incentivar al sector privado a la generación de energía eléctrica no convencional, que obtuvo una masiva participación de generadores fotovoltaicos por lo que la nueva REGULACIÓN No. CONELEC 001/13 que se basa en “La participación de los generadores de energía eléctrica producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales” buscando fomentar la participación de otras energías renovables no convencionales como por ejemplo centrales de biomasa y biogás para todas aquellas empresas que hubieren suscrito hasta el 31 de diciembre de 2016 y su vigencia será igual de 15 años (CONELEC, 2011).

1.6 Tipos de generación de la energía.

El término se fundamenta en transformar cualquier tipo de energía así sea química, cinética, térmica, lumínica, nuclear u solar en energía eléctrica (SOLAR ENERGY, 2020). Para eso se muestra ambas generaciones, las cuales son:

Generación centralizada. -Comúnmente en el planeta la energía eléctrica es generada por monumentales estaciones para después ser distribuida por medio de las líneas de alta y media tensión que circulan por diversos kilómetros de distancia intercalando en estaciones para que el cliente final logre obtener energía eléctrica, este esquema se toma como nombre generación centralizada o producción energética clásico (ENLIGTH, 2021).

Generación distribuida. - Se define como esos sistemas en las cuales la función de generación es pequeña y que da la energía eléctrica al consumidor final o a la red de repartición y permanecen asociados con la utilización de fuentes de energía renovable (TECNALIA, 2007).

Los beneficios de tener este tipo de tecnología en los hogares según (Chica & Guaman, 2017) son los siguientes:

- Minimizar las pérdidas de energía.
- Ayuda a estabilizar los flujos de energía en momentos de demanda máxima.
- Mejora la calidad del servicio eléctrico.
- Al estar cerca de los consumidores, evita el transporte de energía a grandes distancias.
- Amigable con el medio ambiente al utilizar fuentes de energías renovables

1.7 Fuentes de energía renovable.

Se definen como energías renovables a aquellas que se producen de manera continua y son inagotables a escala humana además tiene la ventaja adicional de poder complementarse entre sí favoreciendo la integración entre ellas, son consideradas con el medio ambiente, y sus efectos negativos son muchos menores que los de las energías convencionales, por ello se empleara en el presente trabajo la energía fotovoltaica (Formación, 2007).

1.7.1 Energía Solar

El uso de energía solar parece ser la alternativa más prometedora ya que permite diferentes formas de adquisición y conversión. Por tanto, las células solares convierten la luz solar en energía eléctrica. El colector de calor directo lo absorbe y lo transfiere a otro medio como el agua. Las plantas de energía solar utilizan baterías de espejos para enfocar los rayos del sol en un colector central generado por el vapor que impulsa una turbina. Sin embargo, se está estudiando la posibilidad de una reducción significativa de los rayos solares en la superficie de la Tierra por la posibilidad de sintetizar paneles gigantes en órbita geoestacionaria para irradiar la energía recolectada de la tierra (Formación, 2007).

1.7.1.1 Energía solar térmica

Se trata de capturar la energía del sol a través de paneles solares y convertirla en calor. El calor almacenado en el colector se puede utilizar para satisfacer una variedad de necesidades. Por ejemplo, el agua caliente se puede utilizar para uso doméstico o industrial, o para calentar hogares, hoteles, escuelas, fábricas. También puede mantenerlo fresco durante los meses más cálidos. En agricultura realizamos otro tipo de aplicaciones como invernaderos solares que mejoran la calidad y cantidad de cultivos, secadores agrícolas que consumen menos energía cuando se combinan con sistemas, energía solar que

no consume agua, y plantas de depuración o desalación de agua. Tipo de combustible (Pascual Miqueleiz, 2016).

Un sistema muy popular para aprovechar la energía solar es el calor. Los colectores proporcionan los medios para lograr este aporte de temperatura. Un colector es una superficie que absorbe calor cuando se expone a la radiación solar y se convierte en líquido. Hay 3 formas dependiendo de la temperatura que pueda alcanzar en el lado receptor. De esta forma puedes categorizarlos como: Captura directa a baja temperatura, temperatura del líquido por debajo del punto de ebullición. Temperatura promedio del líquido de captura con bajo índice de concentración superior a 100 °C. Captura de índice de concentración alta a alta temperatura, temperatura del líquido superior a 300 (Bermeo & Bravo, 2019).

1.7.1.2 Sistema térmico solar

El sistema foto térmico convierte la radiación solar en calor y la transfiere al fluido activo. Luego, el calor se usa para mover edificios, agua y turbinas para generar electricidad, secar granos y destruir desechos peligrosos.

Colector de temperatura media. - un dispositivo que concentra la radiación solar para proporcionar calor útil, generalmente a altas temperaturas de 100 a 300 ° C. Este tipo tiene un concentrador estático y un surco parabólico que guía a todos los receptores a través de un espejo. El tamaño será menor. Su desventaja es que su uso se limita a zonas muy aisladas, ya que solo trabajan sobre el componente directo de la radiación solar (Fragoso, 2007).

Colector de alta temperatura. - existen 3 tipos de receptores parabólicos, sistemas cilindro-parabólicos de nueva generación y sistemas de torre central. Opera a temperaturas superiores a 500 ° C y se utiliza para generar y transmitir energía a la red eléctrica. En algunos países, los sistemas operados por fabricantes independientes, instalados donde estén disponibles, se esperan días nublados (Fragoso, 2007).

1.7.1.3 Energía solar fotovoltaica

Es una conversión directa de la energía contenida en la radiación , esta no produce humo ni ruido (Santos.A, Díaz.D, Fernández.E., & M.A., 2016), ya que , choca con la tierra en forma de fotones exponiendo el material semiconductor a la luz solar. Los cristales crean una diferencia de potencial debido a la acción de los fotones. Se visualiza en la siguiente figura 5-1.

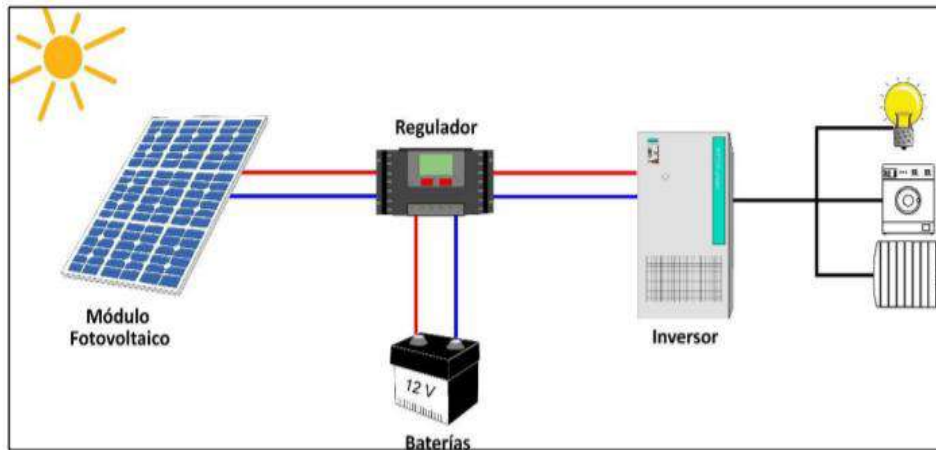


Figura 5-1: Esquema de un sistema fotovoltaico.
Fuente: (Solar, 2016)

Uno de los usos más comunes de la energía fotovoltaica es proporcionar energía. Especialmente electrificación residencial, sistemas de bombeo, Sistema de visualización de carreteras, sistema de comunicación, etc. La segunda opción utiliza energía solar para inyectar directamente a la red. Clásico (en este caso instalado y capacidad).

1.7.1.4 Paneles solares

Los paneles solares fotovoltaicos se utilizan para aprovechar la energía radiante del sol. Los paneles solares están hechos de materiales semiconductores con propiedades específicas que se pueden conectar eléctricamente para generar voltaje y corriente para su uso en aplicaciones diarias (Santos.A, Díaz.D, Fernández.E., & M.A., 2016).

1.7.1.5 Modelado de paneles solares

El sol es la fuente de energía más importante e inagotable de la Tierra, todas las cuales giran directa o indirectamente alrededor del sol y son muy eficientes. En teoría, la energía liberada a la tierra por la luz solar durante una hora es suficiente para alimentar a todos los habitantes de la tierra cada año si se utilizan técnicas de conversión y utilización.

El sol emite $3,83 \times 10^{26}$ W. La tierra recibe $1,74 \times 10^{17}$ W, el espacio absorbe alrededor del 16% y la atmósfera Piense en un 6%. Aproximadamente 4 millones de emisiones de energía solar exajulio hacia la Tierra cada año ($1\text{EJ} = 10^{18}\text{J}$). La radiación solar es una colección de energía radiante o electromagnética. La energía transferida al sol y a la superficie terrestre es discontinua y cambia con el tiempo. Nubes, estaciones, ángulos de incidencia, reflectancia, radiación.

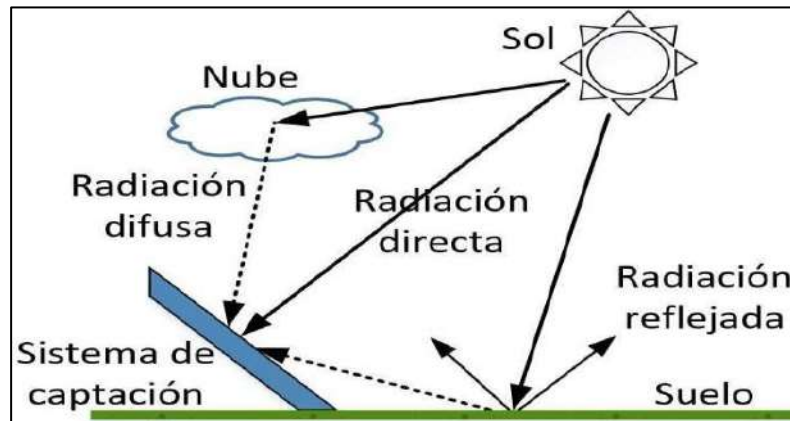


Figura 6-1: Componentes de la radiación solar.

Fuente: (Santos.A, Díaz.D, Fernández.E., & M.A., 2016)

Se escapó de la atmósfera y tiene un coeficiente de masa de $1,376 \text{ W} / \text{m}^2$. En este caso, el aire 0 determinado por la longitud de trayectoria óptima fuera Atmósfera terrestre. Las copias atmosféricas se dividen en tres categorías: difusión directa y reflexión. Entonces Se utiliza el resultado de la combinación de tres tipos de copias, conocido como radiación terrestre.

La radiación directa es la radiación que proviene del sol sin cambiar su dirección. La radiación posicional y difusa son efectos que ocurren en la atmósfera. Dispersión parcial de la radiación solar en días climáticos Permita que la radiación difusa alcance alrededor del 15% del mundo. radiación La reflexión (albedo) ocurre cuando la radiación incidente está en el medio o La cantidad de radiación reflejada desde la superficie de la Tierra es Reflectancia superficial o albedo.

Las células solares son el componente básico de un sistema de energía solar y sus características básicas son las siguientes: Efecto solar eficiente, descubierto en 1839 por el físico francés Alexandre Edmond Becquerel, las primeras células construidas para lograr una eficiencia del 1% Según el inventor norteamericano Fritts, hoy en día existen muchos tipos de células solares, Aproximadamente un 25% de eficiencia, puede encontrar paneles solares disponibles con una eficiencia inferior al 20%. También conocido como módulo solar o solar Se utiliza para convertir la luz solar o los fotones en energía eléctrica (CC) (Santos.A, Díaz.D, Fernández.E., & M.A., 2016).

1.7.1.6 Tecnologías de paneles solares

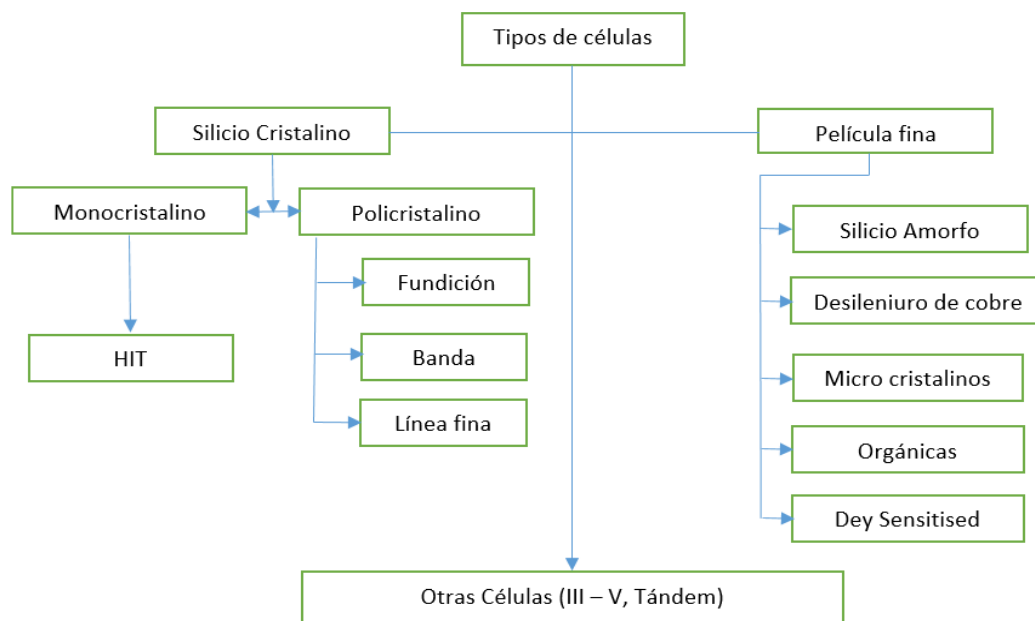


Figura 7-1: Diferentes tipos de células solares utilizadas.

Fuente: (Lata García, 2019)

En la figura 7-1 las células de película delgada pueden estar compuestas de telururo de cadmio (CdTe), amorfo (a-Si), cobre, galio, indio y selenio (GIS / CIGS). Este grupo también tiene células solares orgánicas (OPC), y las ventajas de usar células de película delgada en paneles solares son su flexibilidad y excelente capacidad para adaptarse a diferentes superficies. Se baja mediante una paca y se puede producir en serie. Sencillez de fabricación. Entre las deficiencias, podemos mencionar la gran huella debido a un deterioro significativo y degradación del rendimiento en comparación con otros tipos de paneles. Las células en tándem se forman apilando y fusionando dos células con una capa delgada de silicio amorfo. La forma en que funcionan es absorber el espectro y superponerlo al mismo tiempo. El rendimiento mejora en comparación con las células individuales, ya sean cristalinas o amorfas. Otros tipos de celdas usan elementos de los grupos III y V de la tabla periódica, como GaAs, InGaP, InGaAs y GaSb. Algunas baldosas constan de elementos del grupo IV (Lata García, 2019).

Las células solares de silicio monocristalino están fabricadas con un lingote de silicio cilíndrico, y tienen un color característico azul oscuro con silicio de alta pureza y alta concentración, incluso en pruebas de laboratorio que alcanzaron una eficiencia del 24,7% según la marca. La eficiencia varía del 15% al 21%. La desventaja de este tipo de paneles es su precio en comparación con otras opciones del mercado. En las células solares de poli silicio, el proceso de cristalización del silicio es diferente, el silicio se funde y se vierte en un molde para continuar el proceso de corte. El color característico es azul claro, la superficie es rugosa y la eficiencia es menor que la del 14% de monocristal. Eficiencia de placas comerciales y 19,8% en pruebas de laboratorio. Debido a que el silicio no es puro y es fácil de comprar, es más barato que el cristal simple. Una de las desventajas es la baja resistencia al calor (Lata García, 2019).

1.7.1.7 Tipos de paneles solares

Este apartado se basa en los paneles solares disponibles en el Ecuador de forma exacta en las empresas RENOVAENERGIA S. A y PROVIENTO. S. A representadas en la tabla 2-1.

Tabla 2-1: Comparación de paneles solares

Tipo de Panel Solar	Eficiencia %	Potencia W
SUNLINK SL280-24M 300W, 24V	15.4	300
Jinko Solar Tiger Pro JKM550M-72HL4-V	17.11	409
Jinko Solar Tiger Pro JKM535M-72HL4-V	20.75	398
Panel Solar 230Wp /12VDC Monocristalino RESUN	20	230

Fuente: (Renovaenergía S.A., s.f.)

Realizado por: Cabrera. V, 2022

1.7.1.8 Criterio de dimensionamiento de panel solar

Según Solar Center, 2019, describe los pasos y las ecuaciones que permiten dimensionar los paneles solares a utilizar en la implementación del modelo el cual se describe de manera exacta en el siguiente capítulo (CENTER, 2019).

Se inicia con el valor de consumo de la residencia por día dimensionado en un 25% (con el fin de cubrir pérdidas) sobre el valor C_d previamente calculado (ver ecuación 1-1). Para suplir la demanda existente se procede a calcular el valor de potencia (P_f), en base a la ecuación 2-1 la cual manifiesta el valor C_d sobre la hora solar mínima y de forma finiquita la cuantificación del número de módulos según la ecuación 3-1.

$$C_D = \frac{C_{ME}}{30 \text{ dias}} \text{ kwh/dia} \quad \text{Ecuación 1-1}$$

$$C_d = C_D * 0.25 \quad \text{Ecuación 2-1}$$

$$P_f = \frac{C_d}{H_{sp}} \quad \text{Ecuación 3-1}$$

Donde:

C_{ME} =Consumo mensual de energía.

C_D =Consumo diario

Hsp= Hora solar promedio

Y así podemos calcular el número de módulos a usar en el sistema con la siguiente ecuación

$$NM = \frac{P_f}{P_m} \quad \text{Ecuación 4-1}$$

Donde:

P_m = Potencia del modulo

1.8 Convertidor dc-dc

En electrónica de potencia son circuitos electrónicos que modifican una tensión de entrada a una salida continua regulada, accionando el flujo de energía por elementos conmutadores. Existen 3 topología básica como: convertidor Buck, convertidor Boost y convertidor Buck-Boost (Hart, Vuelapluma, & Bautista, 2001).

El modo de conducción de un convertidor se da de dos maneras, el modo de conducción continua (MCC); el modo de conducción discontinua (MCD); la primera, el flujo de corriente que pasa por la carga oscila en un rango de valor mínimo y máximo, pero de ningún modo llega ser cero. En modo MCD, el flujo de corriente tiende a ser nula en un tiempo T_{off} , estado donde el transistor está en estado on. En adicción, el ciclo de trabajo es la conmutación del periodo donde el transistor está cerrado, considerando al periodo T como la suma del tiempo de conducción T_{on} y el tiempo de bloqueo T_{off} .

Convertidor Reductor. - Genera una tensión de salida promedio bajo en comparación de la tensión de entrada V_s en dc ver figura 8-1. Su aplicación destaca en fuentes de alimentación de dc reguladas y a un control de velocidad de motores dc.

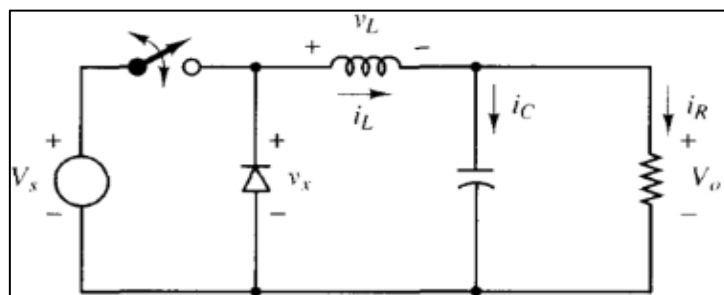


Figura 8-1: Topología de un convertidor reductor(Buck).

Fuente: (Hart, Vuelapluma, & Bautista, 2001).

En la figura 9-1 se ilustra las formas de onda para el modo de operación de conducción continua donde hay un flujo continuo de corriente en el inductor. No obstante, en la figura 9-1a, cuando el interruptor está en estado de on por un tiempo el ton, conduce corriente en el inductor y el diodo se polariza inversamente, dando como resultado un voltaje positivo a través del inductor (Mohan, Undeland, & Robbins, 1995).

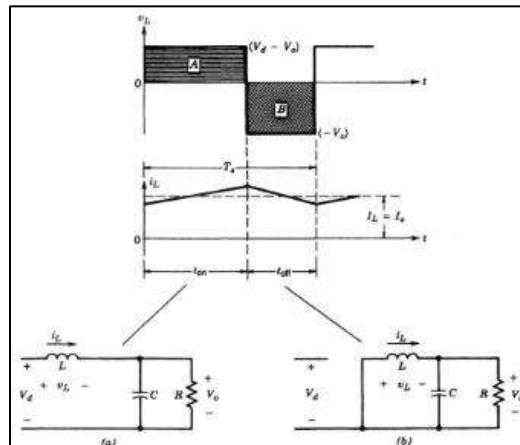


Figura 9-1: Estado del convertidor Buck. a) encendido. b) Apagado.
Fuente: (MOHA; Mohan, Undeland, & Robbins, 1995)

Este voltaje ocasiona un incremento lineal en la corriente del inductor i_L . El estado en off es debido al almacenamiento de energía en el inductor misma que continúa fluyendo. Ahora la corriente a través del diodo y $V_L = -V_o$ como se ilustra en la figura 9-1b.

Convertidor elevador. - Se ilustra en la figura 10-1, denominado convertidor elevador debido que, incrementa el voltaje de salida con relación al de entrada. En su aplicación destaca en fuentes de alimentación dc reguladas y en frenado regenerativo de motores dc. En su funcionamiento, en estado on el diodo esta polarizado inversamente, aislando la sección de salida. No obstante, en estado off, en la salida suministra energía del inductor y la fuente de alimentación dc (Mohan, Undeland, & Robbins, 1995).

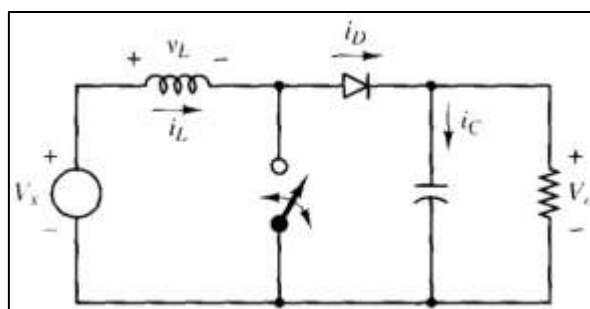


Figura 10-1: Topología del convertidor elevador (Boost).
Fuente: (Hart, Vuelapluma, & Bautista, 2001)

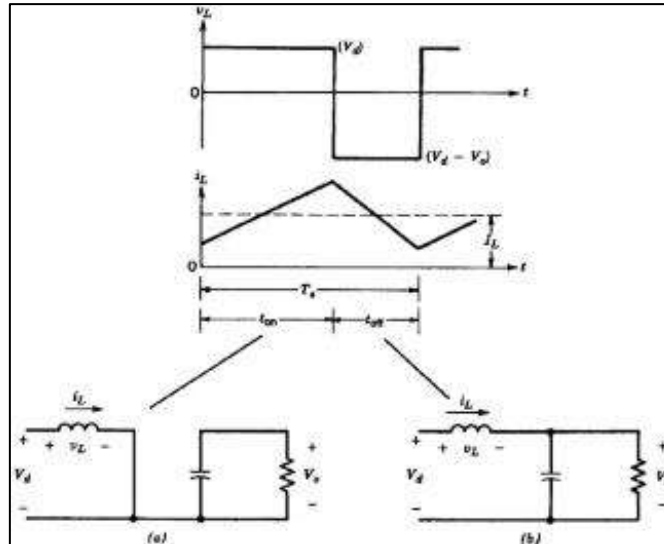


Figura 11-1: Estados del convertidor Boost a) encendido y b) apagado.
Fuente: (Mohan, Undeland, & Robbins, 1995)

En la figura 11-1 se ilustra las formas de onda para el modo de operación de conducción continua. Cuando está en estado on, el diodo está en inversa y la corriente aumenta linealmente. No obstante, en estado off, la corriente de la bobina no varía instantáneamente, por lo tanto, el diodo se polariza en directa generando un flujo de corriente en la bobina (Hart, Vuelapluma, & Bautista, 2001).

Convertidor reductor-elevador.- Con lleva a una tensión de salida que puede ser menor o mayor al voltaje de entrada, como se ilustra en la figura 12-1 la inversión de polaridad del convertidor brinda dos casos en función al ciclo de trabajo, el primero cuando $D > 0.5$ la tensión de salida será mayor que el de entrada, sin embargo, si $D < 0.5$ la salida será menor que la entrada (Hart, Vuelapluma, & Bautista, 2001).

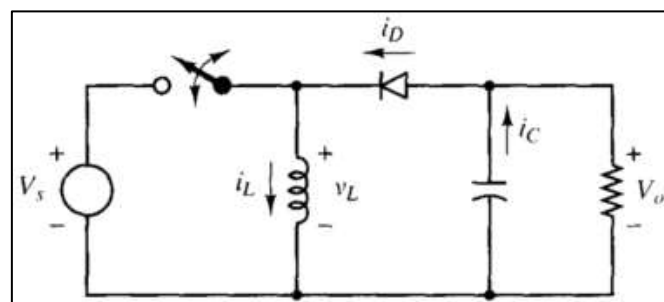


Figura 12-1: Topología de un convertidor reductor elevador(Buck-Boost).
Fuente: (Hart, Vuelapluma, & Bautista, 2001)

Los elementos pasivos y activos de los convertidores cuando operaran en modo de corriente permanente se basan en las ecuaciones de la tabla 3-1, donde V_0/V_s es la relación entre la tensión de salida con el de entrada, $\Delta V_0/V_s$ el rizado de la tensión de salida y L_{min} el límite de variación de corriente en las bobinas. Además, el ciclo de trabajo (D), inductor (L), capacitor (C), resistencia (R) y frecuencia de conmutación (f).

Tabla 3-1: Ecuaciones características de los convertidores dc-dc.

Tipo de convertidor	Reductor	Elevador	Reductor-elevador
V_0/V_s	D	$\frac{1}{1-D}$	$\frac{D}{1-D}$
$\Delta V_0/V_s$	$\frac{1-D}{8LCf^2}$	$\frac{D}{RCf}$	$\frac{D}{RCf}$
L_{min}	$\frac{(1-D)R}{2f}$	$\frac{D(1-D)^2R}{2f}$	$\frac{(1-D)^2R}{2f}$

Fuente: (Hart, Vuelapluma, & Bautista, 2001)

Realizado por: Cabrera. V, 2022

1.9 Algoritmo de seguimiento MPPT

La generación de energía en el sistema fotovoltaico está sujeta a cambios en los niveles de radiación solar y temperatura, es por ello que estos algoritmos MPPT se enfocan en optimizar y aumentar la eficiencia del sistema fotovoltaico, el algoritmo busca el voltaje y corriente que generan una mayor potencia de salida.

Perturbar y observar (P&O). – Esta técnica es habitualmente usada por su estructura simple y las pocas variables que se precisan medir, como se muestra en la Figura 13-1, el algoritmo funciona regulando el ciclo de trabajo de un transistor en un convertidor de potencia dc-dc que se conecta en los terminales del panel.

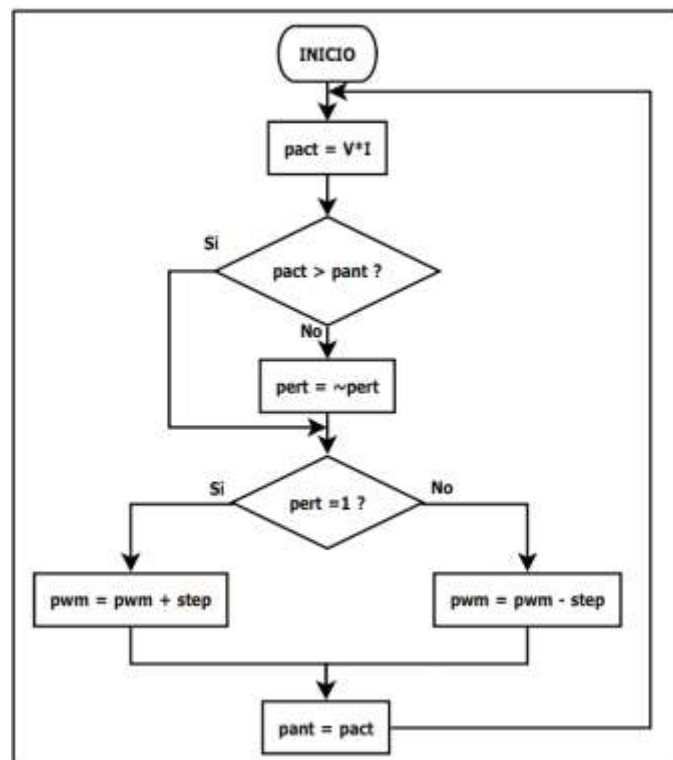


Figura 13-1: Algoritmo Perturbar y Observar.

Fuente: (Ruiz, Beristain, Sosa, & Nelson, 2010)

El criterio de funcionamiento es el siguiente: si el voltaje de operación tiene un seguimiento en una dirección y la potencia de salida incrementa, entonces el punto de operación se desplazó hacia el MPPT en secuencia, debería perturbarse el voltaje de operación en la misma dirección. Sin embargo, si la potencia de salida decreció, el punto de operación se movió en dirección arbitraria al MPPT por consiguiente el voltaje de operación debe ser perturbado en dirección opuesta.

Conductancia incremental. – Esta técnica MPPT consiste en que la pendiente de curva V-I del módulo PV es cero, donde se considera negativo hacia la derecha y positivo hacia la izquierda. La búsqueda de este algoritmo reside en la relación de la conducción incremental y la conducción instantánea, obteniendo un ciclo de trabajo del convertidor dc-dc modificado operando en el punto MPPT como se muestra en la figura 14.1.

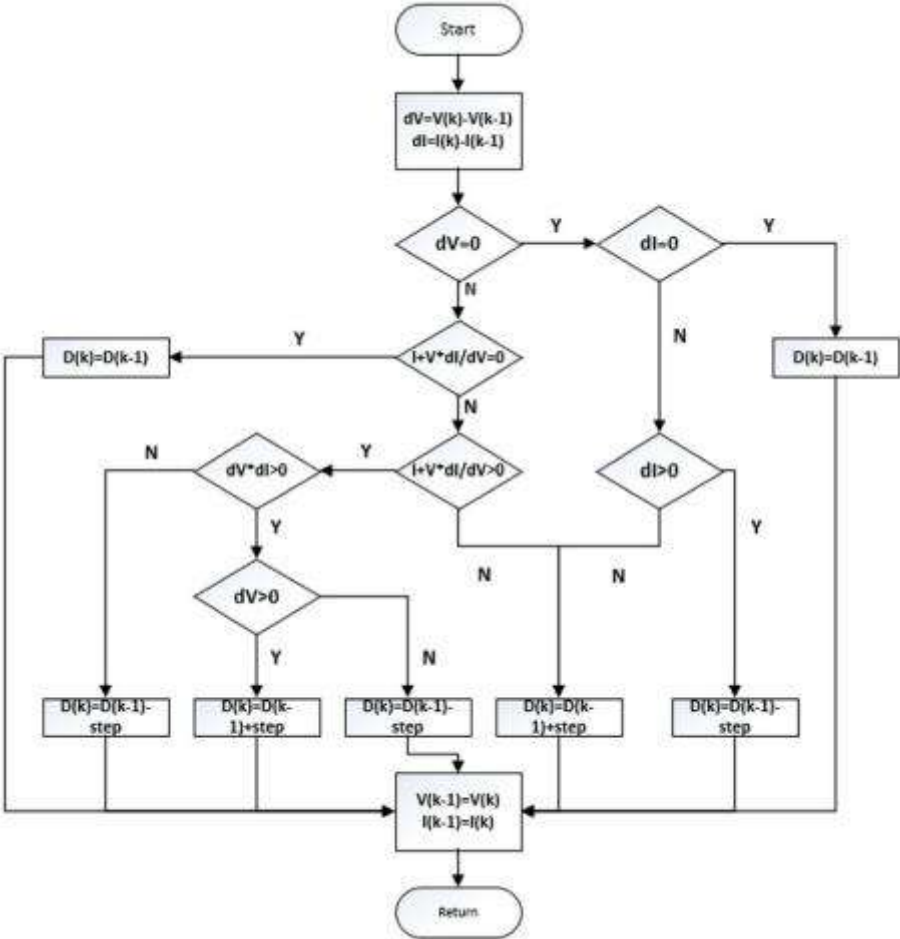


Figura 14-1: Diagrama de flujo conductancia incremental.

Fuente: (Shang, Guo, & Zhu, 2020)

En el diagrama de flujo se implementa la técnica de conductancia incremental donde se compara la conductancia incremental y la instantánea, dado su respuesta se establece el modo de operación, a la izquierda el algoritmo considera que la conductancia incremental es mayor que la instantánea este cambia de signo, luego, se debe disminuir el ciclo de trabajo para que de forma conjunta decremente la conductancia incremental, cuando esté operando a la derecha del MPPT sucede el ciclo de forma alterna.

1.10 Baterías

A continuación, se presentan el tipo de baterías utilizadas dentro de los sistemas de almacenamiento para energía renovable.

1.10.1 Baterías de flujo vanadio

Son baterías que almacenan energía eléctrica con principios electroquímicos, su componente principal es un elemento abundante en la corteza terrestre, el vanadio en forma líquida. Estas baterías usan pares redox disueltos en mezclas de ácido sulfúrico, separados por una membrana para que los fluidos de las diferentes cargas eléctricas no se mezclen, realizando un bombeo continuo desde los depósitos de acumulación generando de esta manera corriente eléctrica. La cantidad de energía que puede almacenar depende de la cantidad de líquidos que se coloca (Chica & Guaman, 2017).

1.10.2 Baterías ion- litio

Las baterías de ion-litio están formadas por varias celdas electroquímicas que usan sal de litio como electrolito. Durante la carga se producen reacciones electroquímicas generando un flujo de los electrones en un circuito cerrado, permitiendo que la batería se recargue debido a la diferencia de potencial en los electrodos, son muy utilizadas en la industria de dispositivos electrónicos, por ejemplo: celulares, laptops, etc. Algunos son usados en autos eléctricos, debido a que tienen una alta capacidad de almacenamiento (Chica & Guaman, 2017).

1.10.3 Batería de plomo ácido

Las baterías de plomo ácido almacenan energía eléctrica a modo de energía química, el material de carga positiva, el óxido de plomo y la carga negativa, el plomo metálico. El proceso de carga se hace por medio de un generador de corriente continua (CC) colocado en los polos de la batería y del generador. Esta tecnología es bastante usada, gracias a su tamaño e instantánea contestación a cargas pequeñas, además son susceptibles a las altas corrientes o sobrecargas de las baterías, corriendo el peligro de minimizar su vida útil (Chica & Guaman, 2017).

1.11 Tipos de baterías con ciclos de profundidad

Se basa en la empresa RENOVAENERGIA S. A especializada en el diseño de ingeniería, suministro e instalación de componentes y sistemas de energías renovables, de forma particular en sistemas fotovoltaicos aislados y conectados a red. (Renovaenergía S.A., s.f.).

La comparativa se da en relación con la tecnología y capacidad, a continuación, se muestra algunas de las baterías en la tabla 14-1:

Tabla 4-1: Comparación de las baterías por su tecnología y duración.

Tipo de batería	Tecnología	Capacidad a 25°C
JFM100-12(12V100AH)	AGM VRLA	100 Ah
Aokly 6FM18 (12V18AH)	AGM	18 Ah
Aokly 6GFM150G(12V150AH)	AGM	150 Ah
DC12100 12V100AH	AGM VRLA	100 Ah

Fuente: (Renovaenergía S.A., s.f.)

Realizado por: Cabrera. V, 2022

1.11.1 Criterio de dimensionamiento de baterías

Los parámetros considerados para el dimensionamiento es el tipo de sistema, consumo diario y eficiencia.

En primera instancia se debe de considerar que el inversor no entrega el 100% de su capacidad en base a autores se utilizará el 93% esto con el fin de elevar el consumo y sopesar las pérdidas. Se inician con la ecuación 4-1 la cual nos permite calcular el valor de amperios por hora, la ecuación 5-1 y la ecuación 6-1 manifiestan el número de baterías en paralelo y serie respectivamente (CENTER, 2019).

$$\text{Ah/día} = \frac{C_d}{\frac{E_f \cdot I}{V_s}} \quad \text{Ecuación 5-1}$$

Donde:

Ef_I= Eficiencia del inversor

Vs=Voltaje del sistema

Y para el numero de baterías en paralelo la siguiente ecuación

$$B_p = \frac{\frac{\text{Ah/día} * \text{días autonomía}}{\text{Pro}_d}}{C_b}$$

Ecuación 6-1

Donde:

Pro_d= probabilidad de descarga

Cb= capacidad de la batería en Ah

Y la siguiente para las baterías en serie

$$B_s = \frac{V_s}{V_b}$$

Ecuación 7-1

Donde:

Vs= voltaje del sistema

Vb= Voltaje de batería

1.11.2 Red eléctrica inteligente

El aumento gradual y la exigencia de calidad en la demanda eléctrica ha obligado a expandir la conceptualización de red eléctrica tradicional a una red inteligente en donde está comprenda de sistemas de transmisión y distribución, tecnologías digitales y energías renovables para un flujo bidireccional entre generadores, consumidores y los llamados usuarios prosumer, minimizando los costos en generación y transmisión de tal forma que mejora la eficiencia y confiabilidad representada a gran escala o a menor escala como una micro-red inteligente (Hassan & Radman, 2010).

1.12 Controladores PID

Los controladores PID son los controladores que se han utilizado mayoritariamente en el control de los procesos industriales. Los controladores PID, integran 3 actividades: proporcional (P), integral (I) y derivativa (D). Dichos controladores son los llamados P, I, PI, PD y PID (CORTÉS, 2017).

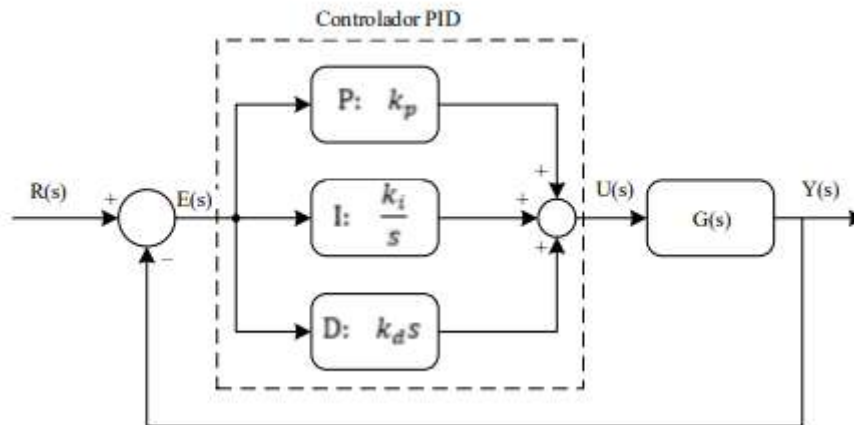


Figura 15-1: Estructura básica de un controlador PID.

Fuente: (CORTÉS, 2017)

En la figura 15-1 se observa la composición elemental de un controlador PID. $R(s)$ es el costo consigna, $E(s)$ el error del sistema, P es la acción proporcional de ganancia k_p , I es la acción integral de ganancia $k_i s$, D es la acción derivativa de ganancia $k_d s$, $U(s)$ la reacción del controlador y $Y(s)$ la reacción del sistema final.

Controlador proporcional: P

Se plantea que un control es de tipo proporcional una vez que la salida del controlador $u(t)$ es proporcional al error $e(t)$:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) \quad \text{Ecuación 8-1}$$

Expresando como funcionalidad de transferencia el valor del controlador queda:

$$C_p(s) = K_p \quad \text{Ecuación 9-1}$$

Donde K_p es una ganancia ajustable. Un controlador proporcional puede mantener el control de cualquier planta estable, sin embargo, tiene manejo reducido y error en sistema persistente (off-set) (CORTÉS, 2017).

Controlador integral: I.

Se plantea que un control es de tipo integral una vez que la salida del controlador $u(t)$ es proporcional a la integral del error $e(t)$:

$$u(t) = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau \quad \text{Ecuación 10-1}$$

Expresando como funcionalidad de transferencia el costo del controlador queda:

$$C_i(s) = \frac{K_i}{s} \quad \text{Ecuación 11-1}$$

La señal de control $u(t)$ tiene un costo distinto de cero una vez que la señal de error $e(t)$ es cero. Por lo cual se concluye que, dada una alusión constante, o perturbaciones, el error en sistema persistente es cero (CORTÉS, 2017).

Controlador proporcional-integral: PI.

Se plantea que un control es de tipo proporcional-integral una vez que la salida del controlador $u(t)$ es proporcional al error $e(t)$, sumado a una porción proporcional a la integral del error $e(t)$:

$$u(t) = k_p e(t) + \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau \quad \text{Ecuación 12-1}$$

Donde T_i se llama tiempo integral y es quien adapta la acción integral. La capacidad de transferencia resulta:

$$C_{pi}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad \text{Ecuación 13-1}$$

En un control proporcional, si no existe señal de error, la señal de control va a ser cero, se necesita que exista error para tener un costo de acción de control. En la acción integral, una vez que exista un error diminuto positivo se obtendrá una acción de control creciente, y si fuera negativo la señal de control va a ser decreciente. Al relacionar lo antes expuesto, se deduce que se va a tener un error de estado estacionario igual a cero. En la industria, varios controladores usan solamente una acción PI. Se puede enseñar que un control PI es correcto para todos los procesos donde la dinámica es en esencia de primer orden. Esto se lo hace en forma fácil, ejemplificando, por medio de una prueba de escalón (CORTÉS, 2017).

Controlador proporcional-derivativo:

PD. Se plantea que un control es de tipo proporcional-derivativo una vez que la salida del controlador $v(t)$ es proporcional al error $e(t)$, sumado a una porción proporcional a la derivada del error $e(t)$:

$$u(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad \text{Ecuación 14-1}$$

Donde T_d es una constante de llamada tiempo derivativo. Esta acción tiene carácter de previsión, lo cual hace más inmediata la acción de control, aunque tiene la desventaja fundamental que amplifica las señales de sonido y puede ocasionar saturación en el actuador. La acción de control derivativa jamás se usa por sí sola, ya que solo es eficaz a lo largo de periodos transitorios. La funcionalidad transferencia de un controlador PD resulta:

$$C_{pd}(s) = K_p(1 + T_d s) \quad \text{Ecuación 15-1}$$

Una vez que una acción de control derivativa se añade a un controlador proporcional, posibilita obtener un controlador de alta sensibilidad, o sea que responde a la rapidez del cambio del error y genera una corrección significativa antecedente de que el tamaño del error se vuelva bastante enorme. Aunque el control derivativo no perjudica en forma directa al error en estado estacionario, incorpora amortiguamiento al sistema y, por consiguiente, posibilita un costo más enorme que la ganancia K , lo que causa una optimización en la exactitud en estado estable (CORTÉS, 2017).

Controlador proporcional-integral-derivativa: PID.

Se plantea que un control es de tipo proporcional-integral-derivativo una vez que la salida del controlador $v(t)$ es proporcional al error $e(t)$, sumado a una porción proporcional a la integral del error $e(t)$ más una porción proporcional a la derivada del error $e(t)$ (CORTÉS, 2017):

$$u(t) = K_p e(t) + K_p/T_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad \text{Ecuación 16-1}$$

Esta acción combinada concentra los resultados positivos de todas las 3 actividades de control particulares. Su funcionalidad de transferencia resulta:

$$C_{pd} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) \quad \text{Ecuación 17-1}$$

1.13 Control Inteligente

El control inteligente comprende una serie de métodos básicamente tomados de la Inteligencia artificial las cuales tienen como finalidad dar solución a problemas intratables por metodologías clásicas (Sanz, 1990).

El análisis operativo del control automático se ha estudiado ampliamente en los últimos años y la literatura sobre este tema es muy extensa. Como resultado han evolucionado con el tiempo y enfrentan nuevos desafíos relacionados con el desarrollo de sistemas de energía que están claramente restringidos por región: operaciones como energía eólica, células solares y sistemas de almacenamiento de energía. Sin embargo, se debe considerar la integración de sistemas inciertos. Las últimas opiniones sobre cómo

resolver estos problemas consideran el uso de control inteligente mediante redes neuronales, lógica difusa, algoritmos genéticos, técnicas de optimización heurística y más (Bevrani & Hiyama, Intelligent automatic generation control, 2011).

1.13.1 Control por lógica difusa

El control difuso, se define como un control mediante el uso de terminologías que puedan ser analizadas por medio del criterio común. Por consiguiente, es indispensable que estas variables y datos sufran un proceso de adecuación antes de poder ser intercaladas dentro del lazo de control en la Figura 16-1 se puede observar las distintas modificaciones que sufren estos dentro del lazo de control difuso (Kouro & Musalem, 2002).

Una vez declarado los tipos y estados de las variables en modo lingüístico se llegan a fundamentar las relaciones lógicas entre cada una de ellas de tal manera que se niegan a utilizar las reglas tales como: si...entonces (IF-THEN), el conjunto de estas reglas explica la lógica común y acepta producir una acción deseada (Kouro & Musalem, 2002).

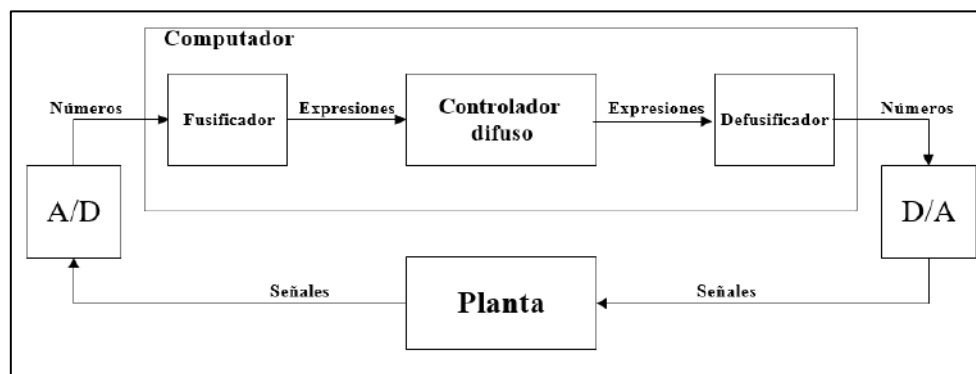


Figura 16-1: Lazo de control difuso.
Fuente: (Kouro & Musalem, 2002)

1.13.2 Definiciones fundamentales

Para entender de mejor manera el control difuso, se presente a continuación una breve descripción de los componentes del mismo y para un entendimiento más amplio se puede observar la Figura 17-1 (Bermeo & Bravo, 2019).

- Universo de discurso: Se representan cada uno de los valores que aborda las variables lingüísticas.
- Variables lingüísticas: Extensión de caracteres a evaluar.
- Conjunto difuso: Conjunto de elementos que constituye los valores lingüísticos.

- Valores lingüísticos: Conceptualización de cada componente que componen los conjuntos difusos.

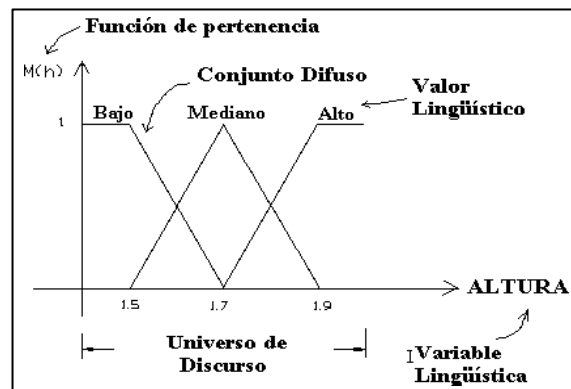


Figura 17-1: Identificación de componente de la lógica
 Fuente: (Línea, 2015)

- Función de pertenencia: Concede a cada componente de cada grupo un nivel de pertenencia. Las funciones más utilizadas se muestran en la figura 18-1 son:

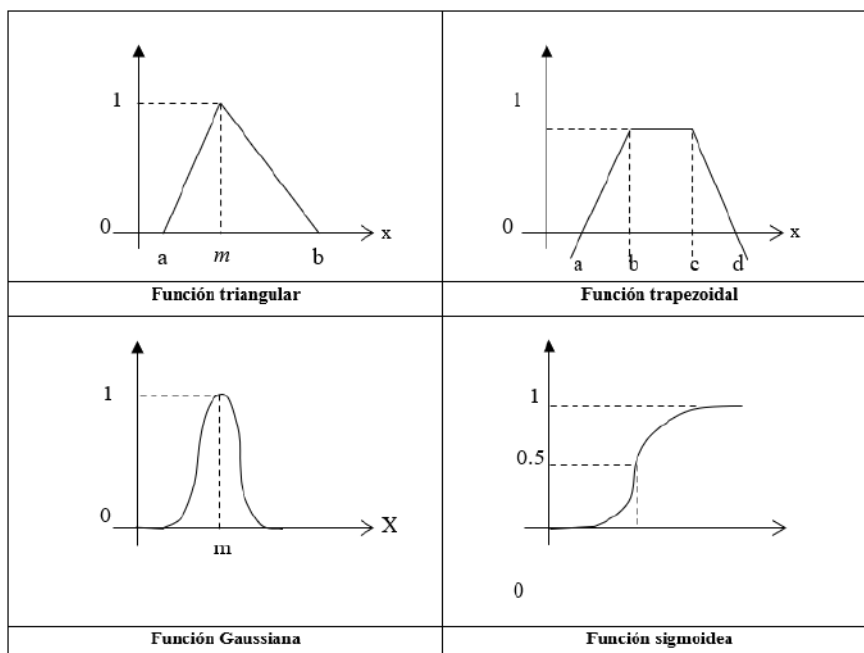


Figura 18-1: Funciones de pertenencia.
 Fuente: (Línea, 2015)

1. Función triangular: Está determinada por el intervalo $a < m < b$ siendo, a “inferior”, m “modal”, b “superior”.
2. Función Trapezoidal: Sirve para determinar los valores intermedios en el cual el valor de la tolerancia se establece por el valor lingüístico del conjunto difuso los cuales se encuentran en los bordes.
3. Función Gaussiana: Se define por la ecuación 17-1, en la cual a, b y c son valores reales y c es mayor que cero.

$$f(x) = ae^{\frac{(x-b)^2}{2c^2}}$$

Ecuación 18-1

4. Función sigmoidea: Se basa en una función incluyendo el rango que va desde cero a uno y específica una progresión temporal desde la cota más baja hasta llegar a un límite de crecimiento acelerado por parte intermedia no lineal para lo cual se tiene la expresión en la ecuación 18-1.

$$\frac{1}{1 + e^{-t}} * t$$

Ecuación 19-1

1.13.3 Inferencia Difusa

La sinopsis sobre el sistema de inferencia difusa se puede observar en la Figura 19-1, que posee como fin encontrar el valor de control $y(t)$ acorde a la representación de los estados de entrada $u(t)$ tomando como punto de partida las reglas establecidas por el conocimiento experto. El desarrollo de los sistemas de inferencia se divide en cuatro ciclos los cuales se describen a continuación (Bermeo & Bravo, 2019).

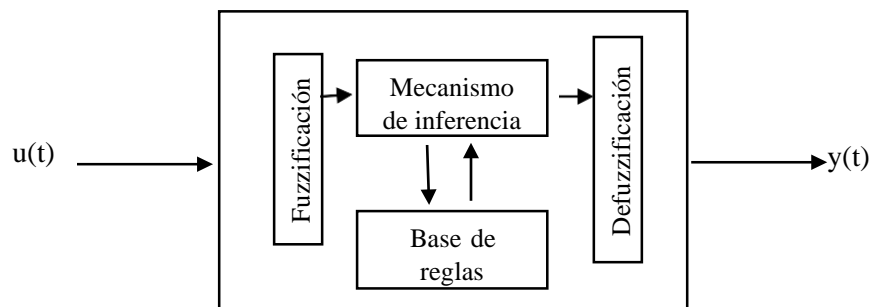


Figura 19-1:Proceso del sistema de inferencia difusa.

Fuente: (Bermeo & Bravo, 2019)

Fuzzificación.- Es un proceso que sede un grado de pertenencia a los valores de entrada mediante la correspondencia en el estado de variables y funciones de un conjunto difuso (Kouro & Musalem, 2002).

Base de reglas.- Es una composición de antecedentes asociados con un conjunto difuso consecuente la base de reglas es facilitadas por el conocimiento del experto y son expresadas de forma “IF-THEN” que son decretadas del controlador hacia la planta mediante el uso de operaciones difusas tales como OR, AND y NOT (Bermeo & Bravo, 2019).

Mecanismo de inferencia. - Se diagnostica mediante las conclusiones o las acciones de control dentro de las funciones de reglas activas y su grado de verdad. Existen diversos mecanismos de inferencia

dentro de las más utilizadas son la inferencia por cuadros mínimos Mamdani, producto de Larsen, Drástico y Bounded. (Bermeo & Bravo, 2019).

Defuzzificación.- Al obtener las correspondencias lógicas de las variables de entrada y salida el siguiente paso es convertirlas a un número real que pertenezca al conjunto difuso consecuente (Kouro & Musalem, 2002). El método más usado en la defuzzificación es del centroide definida por (2.5), donde se transforma la salida difusa en un número real que constituye el centro de gravedad del conjunto difuso de salida (Bermeo Ramón & Bravo Quinga, 2019).

1.14 Inversores

Son equipos electrónicos con un circuito capaz de transformar corriente continua en corriente alterna (CC/CA) en la figura 20-1 se muestra un modelo de un inversor.



Figura 20-1: Modelo de un inversor.
Fuente: (Solar, 2016)

Los inversores se pueden calificar en dos grupos: monofásicos y trifásicos, cada uno con elementos de electrónica de potencia, (BJT, MOSFET, IGBT) para su activación y desactivación controlada, y modulación de ancho de pulso “PWM” del inglés pulse-width modulation para producir AC. Estos equipos son indispensables en una microred con fuentes de energías renovables dado que la generación de estos tipos de tecnologías aporta con corriente continua, de tal manera no puede ser utilizado en la red eléctrica convencional (Chica & Guaman, 2017).

Inversor monofásico - puente completo. - Tiene una fuente de alimentación en dc que funciona como generador de voltaje. Sin embargo, si el inversor se alimenta de un rectificador se debería integrar un capacitor en paralelo para filtrar los armónicos de tensión. El inversor consigue un voltaje + Vdc de salida ver figura 21-1a, gracias a la conmutación de dos pares de interruptores (S1, S2) y (S3, S4), si un par está en estado on el otro estará apagado. En adicción, se produce un cortocircuito cuando los dos pares de interruptores están encendidos simultáneamente.

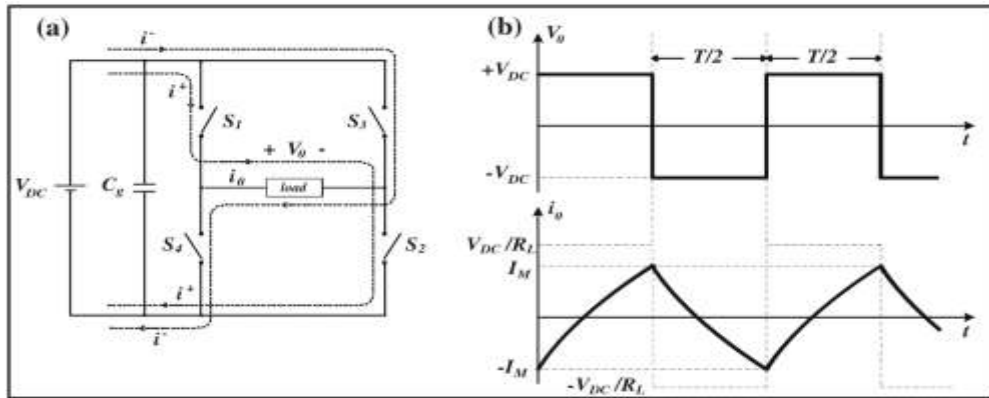


Figura 21-1:Esquema del inversor (a) y Diagrama de tiempos de voltaje y corriente.
Fuente: (DOKIĆ & BLANUSA, 2015)

Por tanto, en la figura 21-1b, se analiza la forma de corriente para una impedancia, donde la corriente de carga en medio ciclo tiene valores positivos como negativos, es decir, los interruptores deben poder conducir en ambas direcciones.

Inversores trifásicos. - Tienen la posibilidad de conectar 3 puentes inversores monofásicos medios (o completos) en paralelo como se muestra en la figura 22-1a, para conformar la configuración de un inversor trifásico. Las señales de control de compuerta de los inversores monofásicos se tienen que adelantar o atrasar 120° entre sí para obtener voltajes trifásicos balanceados. Por consiguiente, el secundario del transformador se conecta en delta para remover los armónicos múltiplos impares del tercer armónico ($n=3,6,9, \dots$) que aparecen en los voltajes de salida y la configuración del circuito se muestra en la figura 22-1b. Si las dimensiones y etapas de los voltajes de salida de los inversores monofásicos no permanecen perfectamente balanceadas, los voltajes trifásicos de salida se desbalancean.

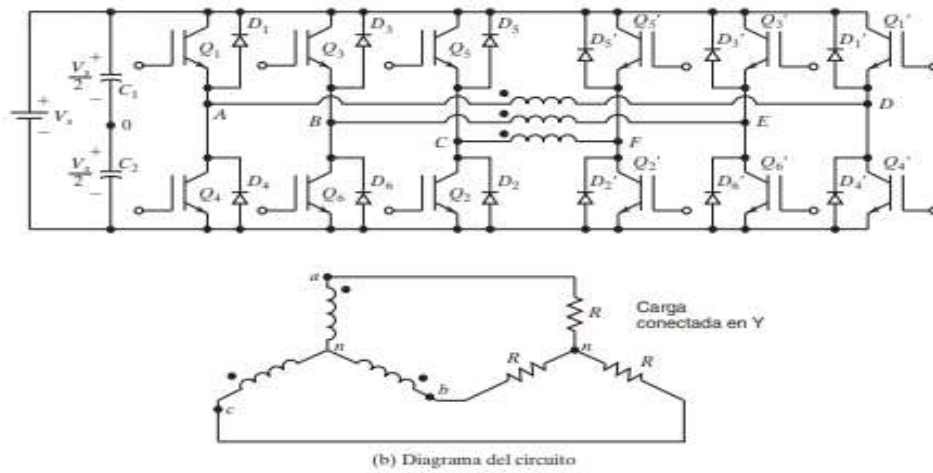
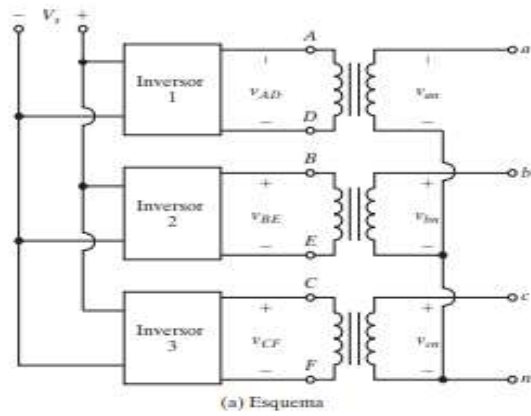


Figura 22-1: Inversor trifásico formado por tres inversores monofásicos.
Fuente: (MUHAMMAD, 2015)

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo contiene los requerimientos y diseño del sistema implementado en el software MATLAB/Simulink 2018b.

2.1 Requerimientos para la arquitectura del modelo de la microred.

Se requiere que el sistema de desarrolló cumpla con los siguientes requerimientos para el modelado, dimensionamiento y simulación de una microred inteligente aplicando control fuzzy para la gestión energética.

Modelado de la microred

- Utilizar el software de simulación MATLAB 2018b.
- Tiempo de simulación 24 segundos.
- Escenarios con 5 usuarios y potencia promedio total de generación 500kW/mes.
- Parámetros de configuración del panel solar y la batería, los valores se tomaron de la selección del panel solar y batería, y características del convertidor seleccionado.

Tabla 1-2: Características de configuración del panel solar, batería y convertidor DC-DC.

Elemento	Características	Parámetro
Panel solar Jinko modelo Tiger Pro de 144 células	Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmax)	398 W
	Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	37.91 V
	Voltaje en circuito abierto(Voc)	10.50 A
	Corriente de cortocircuito (Isc)	46.57 V
Batería Batería Aokly 12V 150AH	Voltaje nominal	12V
	Capacidad nominal	150 Ah
	Estado inicial de carga	40 %
	Tiempo de respuesta de la batería	5 seg
Convertidor DC-DC tipo Boost	Voltaje de entrada	37.91
	Frecuencia de conmutación	10 kHz
	Lmin	0.0065 H
	Rizado	5%
	Capacitor	112.59 μ F
	Voltaje de salida	400

Realizado por: Cabrera. V .2022

- Capacidad de conexión on-grid y off-grid para los usuarios.

- Utilizar los valores referenciales de consumo promedio, respecto a la ciudad de Santo Domingo, con valores de potencia consumida mensual de 100 kW, 125kW, 75kW, 150kW y 50 kW, para los usuarios 1 al 5, respectivamente.
- Tabular los datos horarios de irradiancia y temperatura con respecto a la ciudad de Santo Domingo.

Simulación de la microrred

- En el software Matlab/Simulink implementar los elementos como panel fotovoltaico, convertidor boost, batería, control y gestión de red.
- Utilizar un control PID para la gestión del estado de carga de la batería.
- Utilizar la técnica de desarrollo de controladores difusos tipo Mamdani para el control difuso del estado de carga de la batería.

2.2 Concepción general del diseño de la microrred

Con el fin de poder cumplir con los requerimientos del sistema en modo on-grid u off-grid se presenta la figura 1-2 La cual nos indica que por cada usuario existirá panel solar, batería, controlador de carga, inversor ya que estos elementos permiten el correcto funcionamiento de la red de distribución en cualquier modo que esta se encuentre.

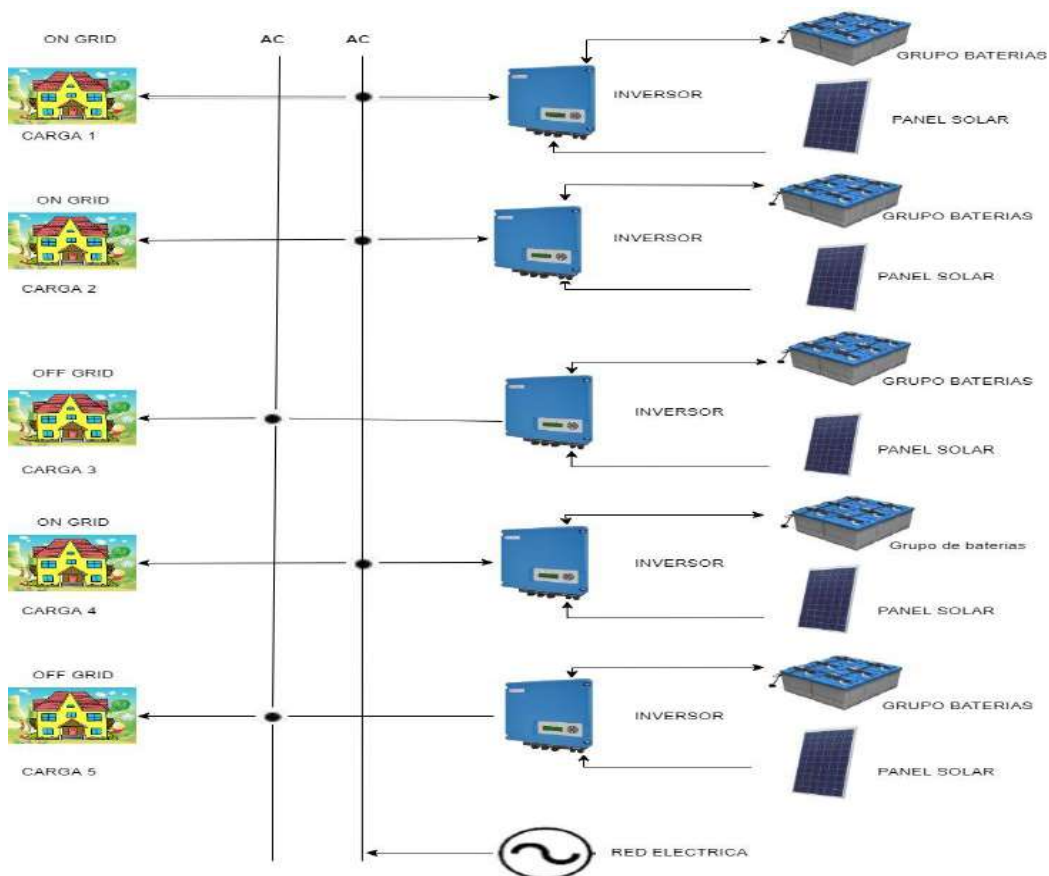


Figura 1-2 : Topología de la microrred a simular en el software MATLAB 2018b.
Realizado por: Cabrera. V .2022

2.3 Fases de desarrollo

La metodología que se ha llevado a cabo en este trabajo se puede dividir en 3 etapas como se muestra en la figura 2-2:

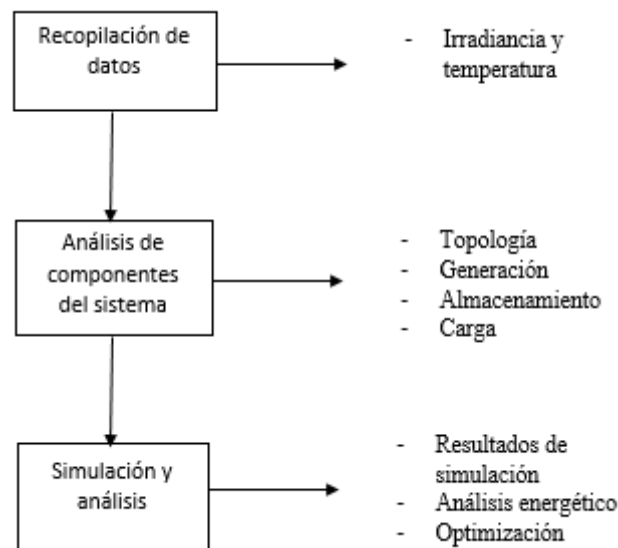


Figura 2-2: Metodología a usar en el dimensionamiento del sistema.
Realizado por: Cabrera. V .2022

Recopilación de datos. - Se obtuvieron los datos del lugar sobre la temperatura e irradiación.

Análisis de componentes del sistema. - Se realizó la topología que se muestra en la figura 1-2 y los elementos propuestos para realizar el análisis de optimización y dimensionamiento. Se eligió esta topología por ser compatible con las instalaciones existentes. En cuanto a los elementos que la conforman, se tuvo en cuenta la importancia de los datos recopilados para la generación fotovoltaica como elemento de recurso renovable.

Simulación y análisis. – Se realizó la simulación del sistema con los diferentes componentes que conforman la microred y se procedió hacer un análisis de los resultados obtenidos por la simulación.

2.4 Dimensionamiento del sistema

En el presente caso de estudio se toma en consideración 5 usuarios con el objetivo de poder ser dimensionados con respecto a las siguientes potencias de consumo mensual 100 kW, 125kW, 75kW, 150kW y 50 kW ya que de forma promedio expresan un valor de 500 kW.

2.4.1 Selección del panel solar

Se basa en el capítulo 1, tabla 3-1, con criterio de depuración de eficiencia y potencia, comparando los valores descritos en las características, obteniendo como resultado el panel Jinko Tiger Pro con una eficiencia de 20,75% y una potencia de 398 W indispensables para cumplir con los requerimientos del sistema ver tabla 2-1.

Tabla 2-1:Características del panel Jinko Tiger Pro.

Características del producto	
Potencia máxima (Pmax)	398 W
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmax)	37.91 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax)	10.50 A
Voltaje en circuito abierto(Voc)	46.57 V
Corriente de cortocircuito (Isc)	11.14 A
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.28%/°C
Coefficiente de temperatura de Isc	0.048%/°C
Numero de celdas	144
Tipo de células	P tipo monocristalino

Fuente: (Renovaenergía S.A., s.f.)

Realizado por: Cabrera, V,2022

2.4.2 Selección de la batería

En relación con lo expuesto en la tabla 5-1 se realiza la selección en base a la tecnología y capacidad de carga y descarga con base en los ciclos profundos presentados por cada batería. Es por ello que al realizar la segmentación se obtuvo como resultado la batería de sí ciclo profundo Aokly. Ya que esta presenta una mayor capacidad en relación a las demás baterías a continuación la tabla 3-2 describe las características de la misma.

Tabla 3-2:Ficha técnica de Batería de ciclo profundo.

Batería Aokly	
Voltaje nominal	24V
Capacidad nominal	150 Ah
Estado inicial de carga	100%

Tiempo de respuesta de la batería	5 seg
Parámetros en descarga	
Capacidad máxima	150 Ah
Voltaje de corte	14.1
Voltaje completamente cargado	11.10
Corriente nominal de descarga	1500 A
Resistencia interna	35 m ohms
Capacidad a voltaje nominal	159 Ah

Fuente: (Renovaenergía S.A., s.f.)
Realizador por: Cabrera, V, 2022

2.4.3 Características del sistema

Datos de Temperatura

Según datos de Climate-data el clima en Santo Domingo es tropical, en los veranos hay una buena cantidad de lluvia, mientras que en los inviernos muy poco. La temperatura anual en Santo Domingo se encuentra a 23.2°C como se muestra en el grafico 1-2 donde el eje x son los meses del año denotados en número y el eje y la temperatura en °C y °F.

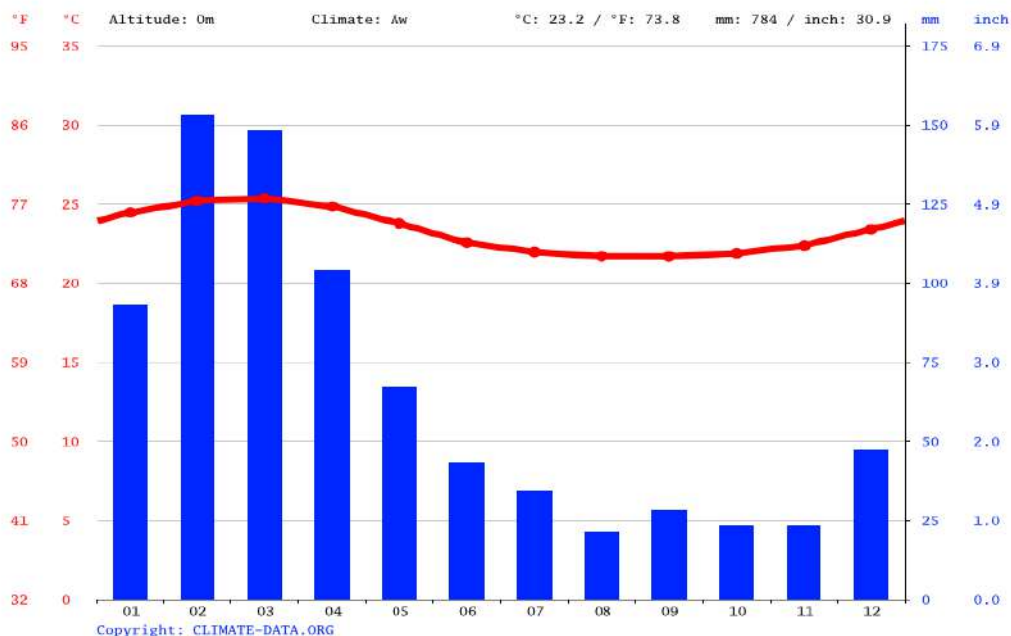


Grafico 1-2:Climograma Santo Domingo.
Fuente: (Domingo, 2019)

Teniendo así a agosto como el mes más seco con 21 mm de lluvia, la mayor parte de la precipitación es en febrero, promediando 153 mm. El mes más cálido es marzo, la temperatura promedio en ese mes es

de 25.3°C, septiembre es el más frío con temperaturas promediando 21.7°C como se muestra en la tabla 4-2, para la simulación se usaron datos horarios del mes de enero 2021 como se observa en la gráfica 2-2.

Tabla 4-2:Datos históricos de tiempo de Santo Domingo.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Juli o	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	24,4	25,2	25,3	24,8	23,8	22,5	21,9	21,7	21,7	21,9	22,4	23,4
Temperatura min. (°C)	22,8	23,6	23,7	23,2	22,3	21,1	20,5	20,1	20	20,3	20,6	21,6
Temperatura Max. (°C)	27,2	27,6	27,9	27,5	26,4	25,3	24,8	24,9	25	25,1	25,8	26,7
Precipitación (mm)	93	153	148	104	67	43	34	21	28	23	23	47
Humedad (%)	80%	81%	81%	82%	83%	83%	82%	81%	81%	80%	79%	79%
Días lluviosos (días)	9	13	13	11	9	7	6	4	5	4	3	5
Horas de sol (horas)	6,7	7	7,6	7,6	5,6	4,4	3,6	3,8	3,9	3,5	4,1	5,8

Fuente: (Domingo, 2019)

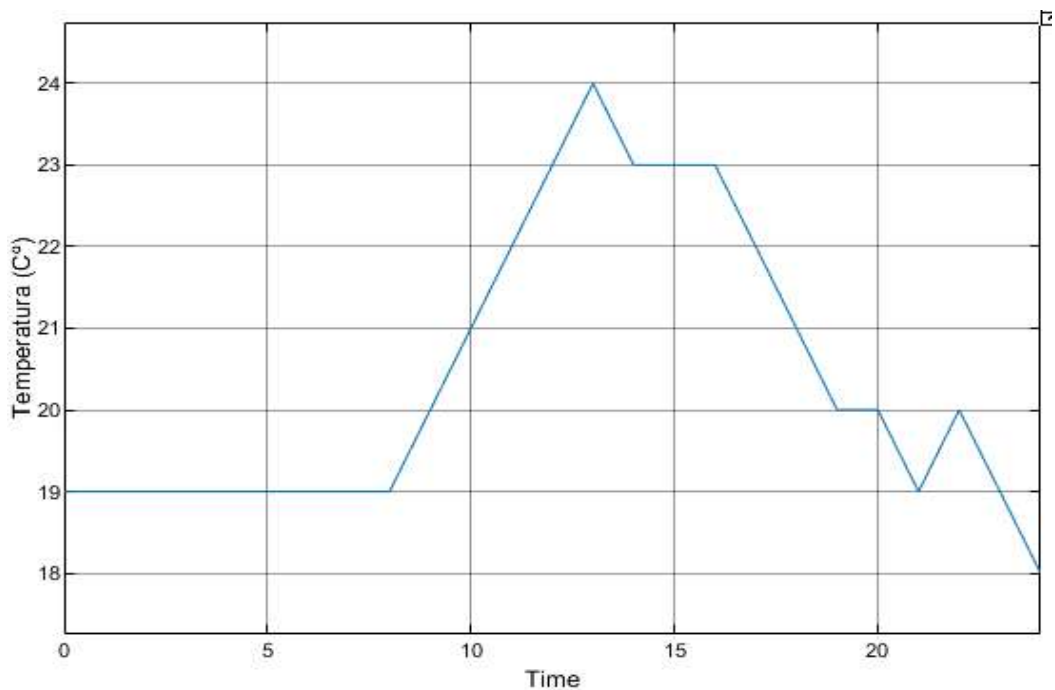


Gráfico 2-2:Líneas de datos de Temperatura (°C) vs Tiempo (s).
Realizador por: Cabrera, V, 2022

Datos de irradiación

Teniendo en cuenta que la provincia de interés para la instalación de los paneles solares en la microrred es la de Santo Domingo de los Tsáchilas, se hace el análisis del nivel de insolación durante los meses del año para determinar el valor de irradiación más bajo que existe en la provincia. Los datos se obtuvieron de la página TuTiempo.net considerando parámetros ángulo de incidencia solar, latitud, declinación, y ángulo horario necesarios para determinar el eje x en consideraciones de tiempo iniciando de las 6:00 hasta las 18:00, para la simulación se usa este valor ya que el dimensionamiento de la

instalación se realiza para las peores condiciones de funcionamiento dando como resultado el grafico 3-2.

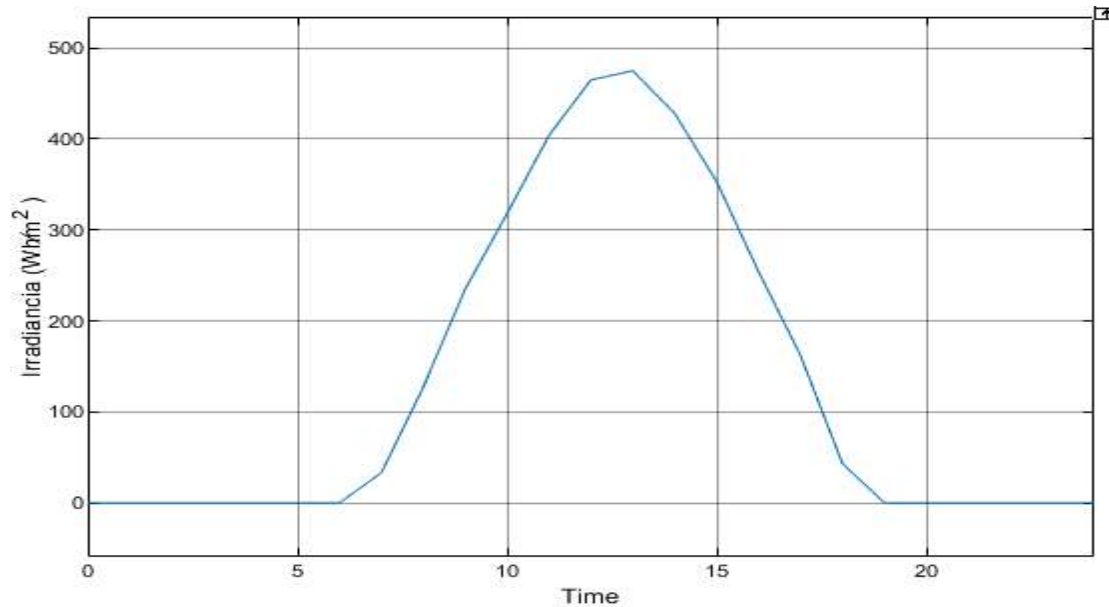


Grafico 3-2:Datos de irradiancia (W/m2) vs tiempo (s)

Realizador por: Cabrera, V, 2022

Horas sol

En Los gráficos 4-2 y 5-2 se observa que el mes con más horas en Santo Domingo es abril con una media de 7.56 horas de sol, a lo largo de abril hay un total de 234.39 horas de sol. El mes con menos horas diarias es enero con un promedio de 3.4 horas de sol al día con un total de 108.6 horas de sol a lo largo de ese mes, en Santo Domingo se cuentan alrededor de 1927.24 horas de sol durante todo el año. En promedio se tiene 63.49 horas sol al mes (Domingo, 2019).

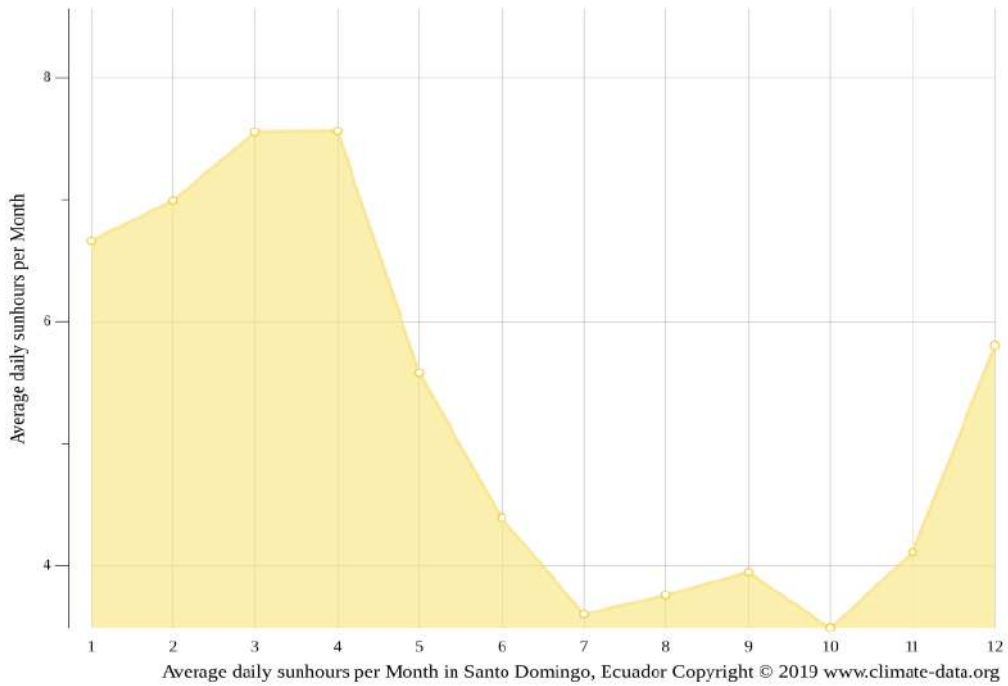


Grafico 4-2: Promedio de horas sol al día en Santo Domingo de los Tsáchilas.
Fuente: (Domingo, 2019)

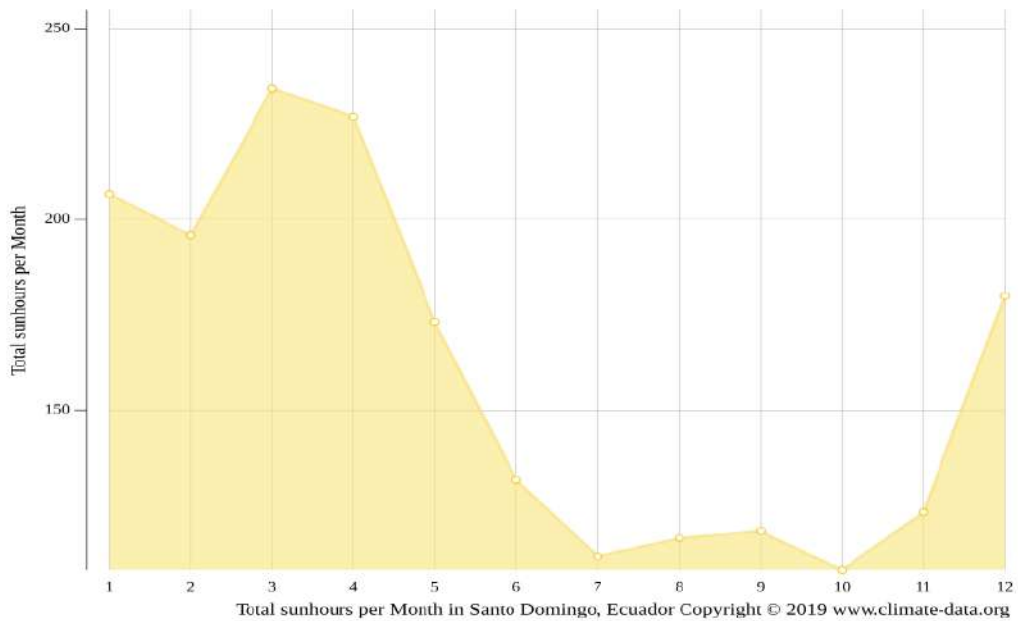


Grafico 5-2: Horas totales de sol al día en Santo Domingo de los Tsáchilas.
Fuente: (Domingo, 2019)

Análisis de carga

Para determinar el consumo de una vivienda, nos basaremos en el consumo promedio otorgado por la agencia de regulación y control de electricidad (ARCONEL) en donde nos muestra el consumo promedio que representa la cantidad de energía mensual en kWh (ARCONEL, 2018).

Para el presente trabajo de investigación se tomó como dato de referencia 109.24 kWh correspondiente a la ciudad de Santo Domingo.

En la tabla 5-2 se presenta el consumo promedio mensual de energía por empresa y en el grafico 6-2 la curva de demanda de carga residencial donde el eje x representa el tiempo y el eje y el consumo en porcentaje de potencia residencial.

Tabla 5-2:Consumo promedio mensual de energía eléctrica por empresa distribuidora

Empresa	Industrial	Otros	Comercial	Residencial	Alumbrado publico	Promedio final
CNEL.-Guayaquil	46.187,51	8.315,97	1.227,17	210,6	18,84	548,19
CNEL.-Sucumbios	56.821,00	1.689,25	505,02	117,74	21,26	530,97
CNEL.-Guayas los Ríos	45.951,75	5.083,53	1.235,21	180,58	24,47	450,04
CNEL.-Sta. Elena	48.860,40	5.170,01	965,97	134,58	27,12	398,87
CNEL.-Milagro	140.631,50	3.576,48	696,95	130,27	22,14	383,52
CNEL.-Manabí	23.862,53	4.459,83	978,16	152,05	30,19	350,48
CNEL.-El Oro	13.022,70	3.708,07	553,74	129,38	26,4	343,71
CNEL.-Esmeraldas	14.030,31	2.764,94	621,25	137,28	23,22	290,73
CNEL.-Los Ríos	11.481,07	2.349,08	713,06	122,65	31,51	255,02
CNEL.-Sto. Domingo	34.672,70	1.914,26	550,29	109,24	19,34	232,66
CNEL.-Bolívar	306,59	520,08	310,54	65,41	26,43	114,22
Total CNEL, EP	34.179,93	4.203,76	918,09	157,85	23,55	404,23
E. E. Galápagos	209,55	1.413,89	832,42	171,03	12,58	341,32
E. E. Cotopaxi	5.729,82	1.203,11	347,7	82,78	16,09	300,78
E. E. Quito	5.946,86	1.666,75	554,43	139,73	18	294,45
E. E. Centro Sur	4.933,20	985,7	377,87	97,43	21,26	227,2
E. E. Ambato	1.720,91	1.133,62	333,47	96,75	23,08	201,07
E. E. Azogues	5.524,63	544,78	327,98	77,45	24,2	197,35
E. E. Norte	3.338,62	1.014,57	315	95,61	18,56	189,27
E. E. Riobamba	7.198,04	756,01	280,7	83,37	16,88	164,04
E. E. Sur	950,51	510,67	332,59	82,95	15,93	139,9
Total Empresas Eléctricas	4.564,50	1.172,60	447,29	112,59	18,79	243,41
Total General	9.904,69	2.490,97	656,36	135,26	21,13	322,52

Fuente: (ARCONEL, 2018)

Realizador por: Cabrera, V, 2022

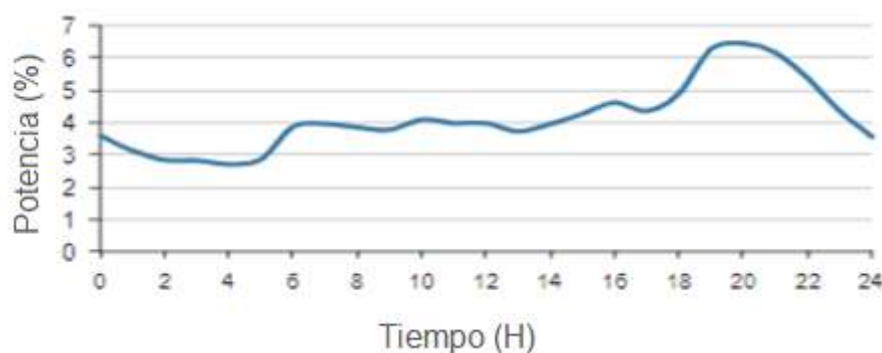


Grafico 6-2:Curva de demanda carga residencial.

Fuente: (CONELEC, 2013)

2.4.4 Conexión on/off grid

Los parámetros de funcionamiento para el bloque panel solar se basan en los datos de irradiancia, temperatura y hora solar pico correspondiente a la ciudad de Santo Domingo estos datos permiten crear los diferentes perfiles indispensables para realizar los cálculos con respecto al consumo diario potencia fotovoltaica número de módulos estos datos se obtuvieron con las ecuaciones 1-1 a la 7-1 que están en el capítulo I. Estas se describen de forma compacta en la tabla 6-2.

Tabla 6-2: Resultados correspondientes al dimensionamiento del panel.

Numero de usuario	Potencia Total fotovoltaica (kW)	Número de módulos mínimo	Ah/día	Baterías en paralelo	Baterías en serie
Usuario 1	2.09	5	186.47	2	4
Usuario 2	2.06	7	232.97	2	4
Usuario 3	1.57	3	140.01	2	4
Usuario 4	3.36	8	280.02	2	4
Usuario 5	0.821	2	92.96	1	4

Realizador por: Cabrera, V, 2022

2.5 Diseño del Sistema

Como se puede observar en la figura 3-2 se tiene el diseño de una microred la cual ya tiene sus componentes como paneles solares, baterías, inversor, convertidor todos interconectados para su funcionamiento el cual se explicará a continuación.

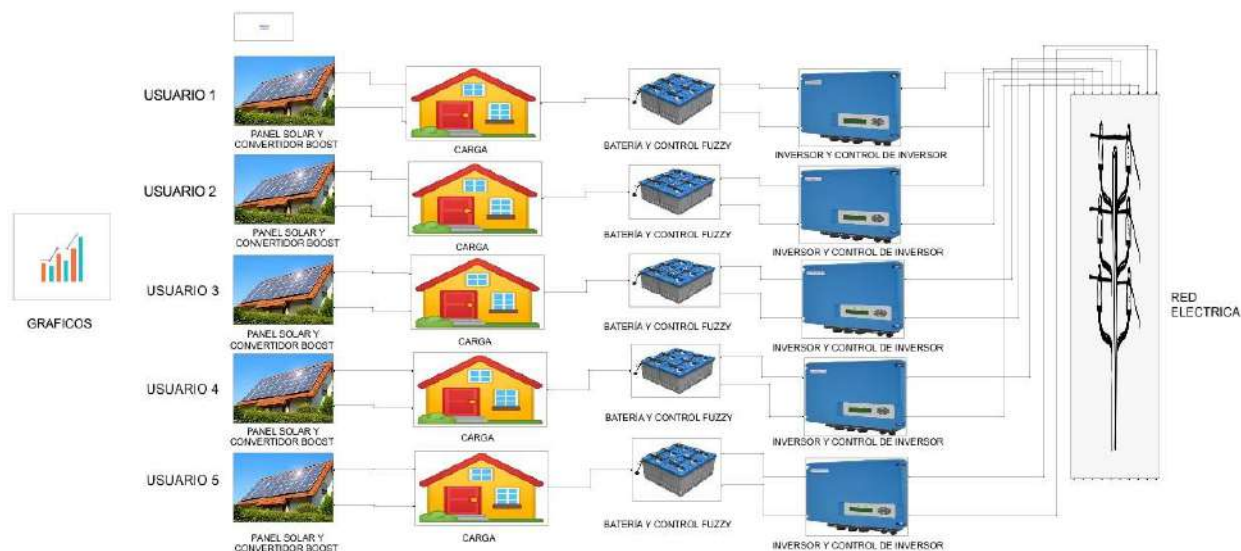


Figura 3-2: Diseño de la microrred implementada en el software MATLAB 2018b.
Realizado por: Cabrera. V .2022

2.5.1 Características de operación de la microrred

Mediante el uso de los arreglos vectoriales de irradiancia y temperatura representados mediante una señal discretizada que ingresa al panel solar generando un voltaje y una corriente. Dichos valores son utilizados por el controlador elevador boost el cual mediante su topología aumenta el voltaje a 400 voltios, mediante un convertidor dc-dc bidireccional para la batería se controla el voltaje que entra, se utilizó 4 baterías de 12 voltios en serie.

El control se basa en la lógica difusa para un control de carga o descarga de la batería, para ello se pueden presentar dos casos descritos de tal forma que si los paneles no logran abastecer la demanda y las baterías no contienen energía se hace uso de la red eléctrica tradicional. Por otro lado si la batería se encuentra cargada esta entra en funcionamiento y no se utiliza la energía de la red de esta manera se cumple por usuario una conexión on grid/off grid.

2.5.2 Bloque de parametrización

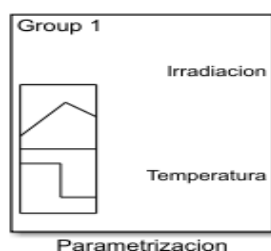


Figura 4-2: Bloque de parametrización.
Realizado por: Cabrera. V .2022

La figura 4-2 contiene los arreglos vectoriales promedio correspondientes al mes de enero del año 2021, con el fin de poder parametrizar a los 5 usuarios presentes en la implementación del modelo en Matlab /Simulink.

2.5.3 Panel solar

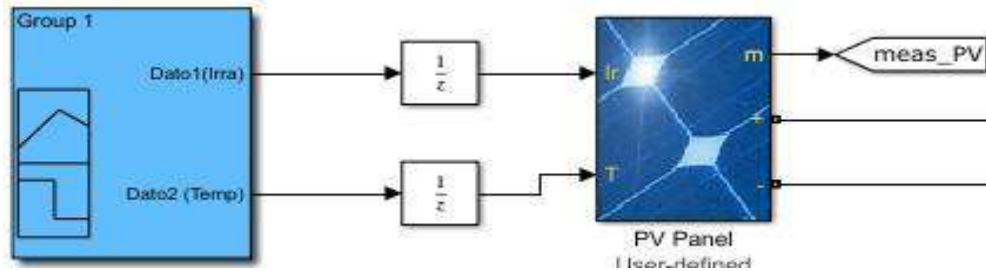


Figura 5-2: Diseño del panel solar
Realizado por: Cabrera. V .2022

En la figura 5-2 se utilizó el bloque disponible en Simulink el cual solicita los datos otorgados por el bloque de parametrización con el fin de poder obtener un voltaje y corriente que posteriormente será utilizado por el convertidor boost, en la figura 6-2 se muestra la curva característica I-V del panel solar.

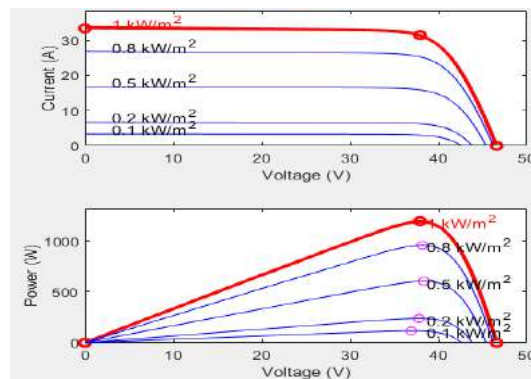


Figura 6-2: Curva de I-V del panel solar.
Realizado por: Cabrera. V .2022

2.5.4 Controlador elevador Boost.

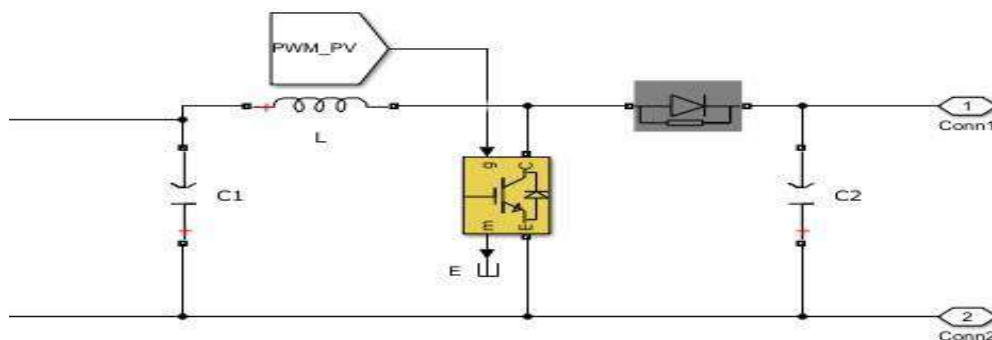


Figura 7-2: Controlador Buck en Matlab.
Realizado por: Cabrera. V .2022

El modelo se establece acorde a la figura 9-1 donde mediante pruebas se acoplaron sus valores, la conmutación es por modulación de ancho de pulsos (PWM) denotado como PWM_PV para el convertidor, el voltaje de entrada de 47 V que ingresa a los terminales para obtener un valor de salida de 400V, definiendo así los valores como se muestra en la figura 7-2 en la cual cada elemento pasivo tiene una abreviatura y valor de $C1=65.45\mu\text{F}$, $L=0.095$, $C2=65.45\mu\text{F}$ y un elemento activo como el transistor IGBT con una resistencia interna $R_{on}=1\text{m}\Omega$, resistencia de snubber $R_s=0.1\text{M}\Omega$.

2.5.5 MPPT

El meas_PV son datos de V_{PV} y I_{PV} que son entradas para el bloque INC_algoritmo, como se muestra en la figura 8-2, en las condiciones iniciales del algoritmo parte con un $D_{init}=0.42$, un $D_{max}=0.95$, un $D_{min}=0.01$ y un seguimiento $\Delta D=0.000005$, valor que permite aumentar o disminuir el ciclo de trabajo, el código de programación se muestra en el anexo E. la variable duty, ingresa a una modulación por ancho de pulso (PWM) con un tiempo de muestra de 0.01s y una frecuencia de conmutación de $10\text{e}3$ H.

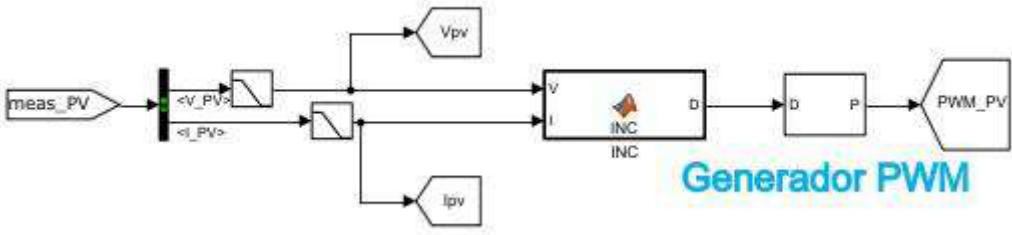


Figura 8-2: Control MPPT-IC.
Realizado por: Cabrera. V .2022

2.5.6 Baterías

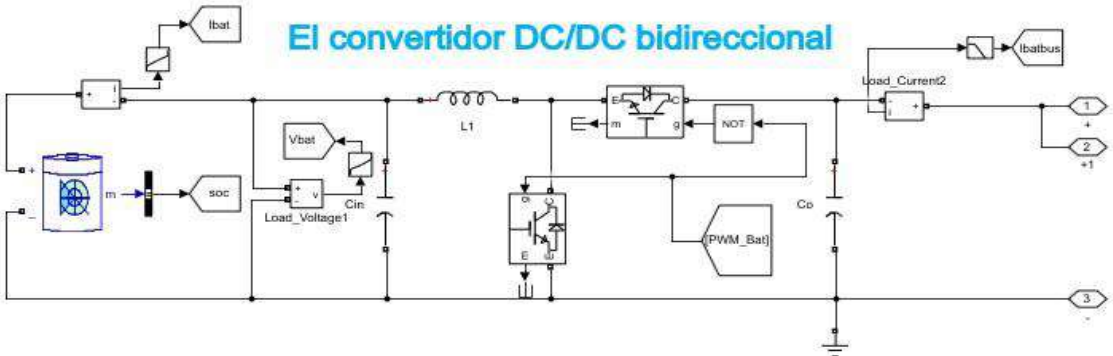


Figura 9-2 : Sistema de carga o descarga baterías.
Realizado por: Cabrera. V .2022

Para el sistema de batería se utilizó un convertidor DC-DC bidireccional como se observa en la figura 9-2, donde este mantiene el voltaje y corriente que viene de los paneles solares y que pasa por la carga, los pulsos que genera el control y que entra en los transistores permite controlar la carga y descarga de la batería, además se tiene un inductor $L=0.1164$ y un capacitor $C=48.25 \mu\text{F}$ que permite almacenar y filtrar picos de corriente que se inyecta a la batería.

2.5.6.1 Control PID de la batería.

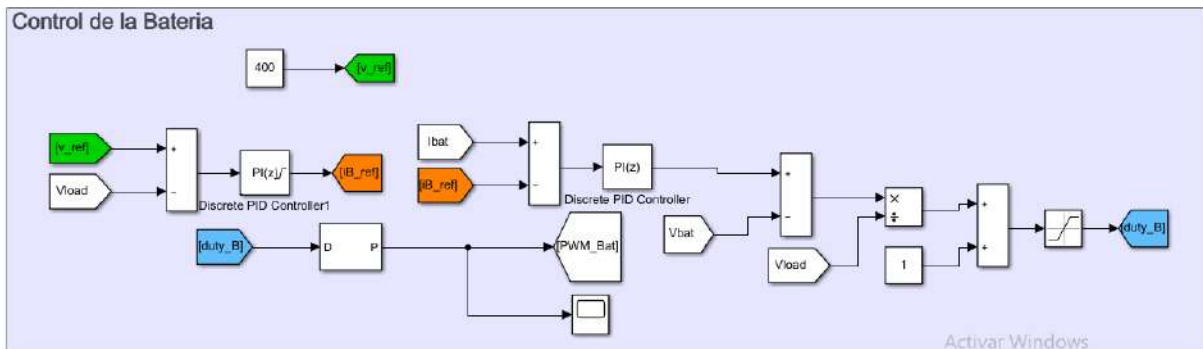


Figura 10-2: Diseño de control PID de Batería.

Realizado por: Cabrera. V .2022

En la figura 10-2 para el control PID se va a trabajar en dos bloques donde se quiere controlar la corriente y para ello se necesita una corriente de referencia que debe depender del voltaje, esto se genera en el primer bloque, se genera el error con el voltaje de referencia y el voltaje en la carga V_{load} la cual nos genera la corriente de referencia i_{B_ref} que se usa en el segundo bloque aplicando un error con la corriente de la batería para generarnos un pulso y así controlar la carga y descarga de la batería, estos bloques tienen una ganancia, para el primer bloque $k_p=0.0468$ y para el segundo bloque $k_p= 1091.389$ mientras que la ganancias $k_i=2.356$ para el primer bloque, $k_i=94.247$ para el segundo, respectivamente, se los limita, el primer bloque al valor de corriente de descarga y en el segundo bloque a un rango de 0

a 0.95 para generar la señal PWM_Bat, los parámetros de ganancias se basaron en el modelo que se muestra en la figura 11-2.

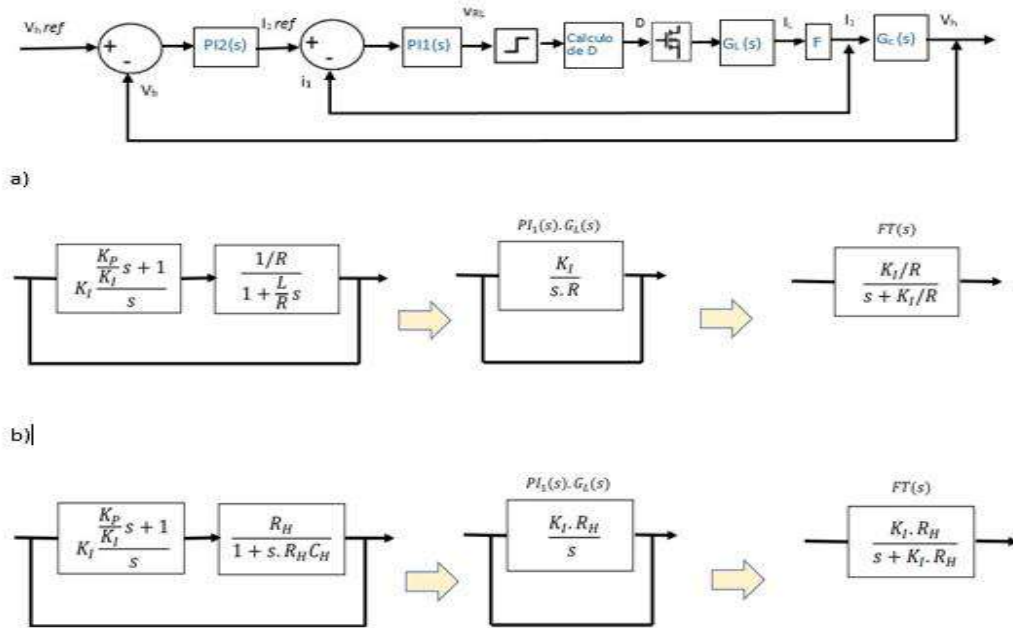


Figura 11-2: Lazo de control cerrado en cascada a) solución lazo interno. b) solución lazo externo. Realizado por: Cabrera. V .2022

2.5.6.2 Control fuzzy de la batería

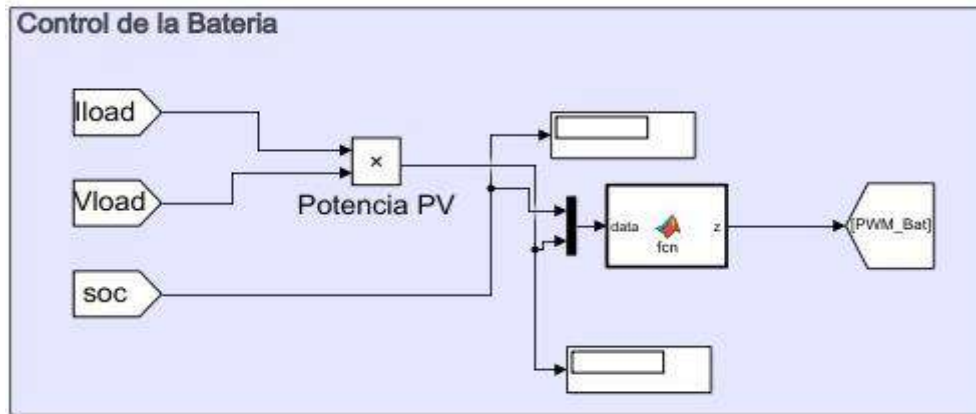
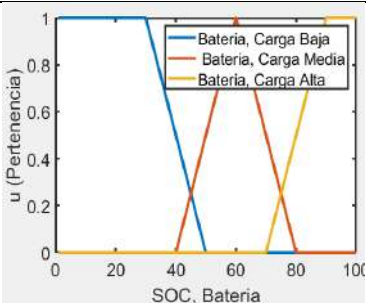
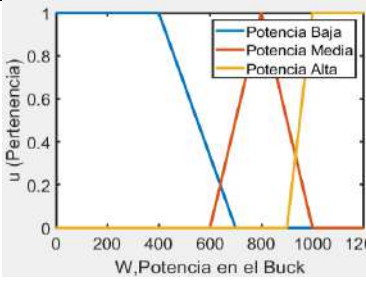
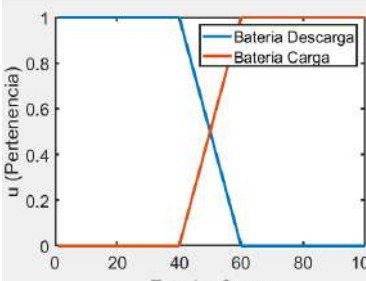


Figura 12-2: Diseño del controlador fuzzy de batería. Realizado por: Cabrera. V .2022

La figura 12-2 representa el sistema de control fuzzy para la operación de carga o descarga de batería, las variables de entrada al bloque fcn es el estado de carga (SOC) y la potencia de carga P_P, pasando por el proceso de fusificación y defusificación obteniendo un pulso de salida PWM_Bat para las etapas de carga y descarga.

El código dentro del bloque fcn se basa en la figura 13-2 y de manera más detallada se lo puede observar en el anexo G la cual considera la información del SOC de la batería y la potencia de carga obteniendo como resultado el estado de la batería (EB_X) ver tabla 7-2.

Tabla 7-2: Representación tabular de la información de entrada y salida del control fuzzy.

Tipo de dato	Variables lingüísticas	Conjunto universo	Subconjuntos del universo	Funciones de membresía	Fuzzificación
Dato de entrada SOC batería	x=SOC	X=0-100 (SOC_X)	Baja (SOC_B) 100:0,0,30,50 Media(SOC_M) 100:40,60,80 Alta(SOC_A) 100:70,90,100,100	Trapezoidal triangular	
Dato de entrada Potencia carga	x=Potencia producida en la carga	X=0- 1200 (P_P_X)	Baja(P_P_B) 1200:0,0,400,700 Media (P_P_M) 1200:600,800,1000 Alta (P_P_A) 1200:900,1000,1200,1200	Trapezoidal triangular	
Dato de salida Estado de carga	x=Estado de la batería EB	X= 0-100 (EB_X)	Batería Descarga (EB_D) Batería carga (EB_C)	Trapezoidal	

Realizado por: Cabrera. V .2022

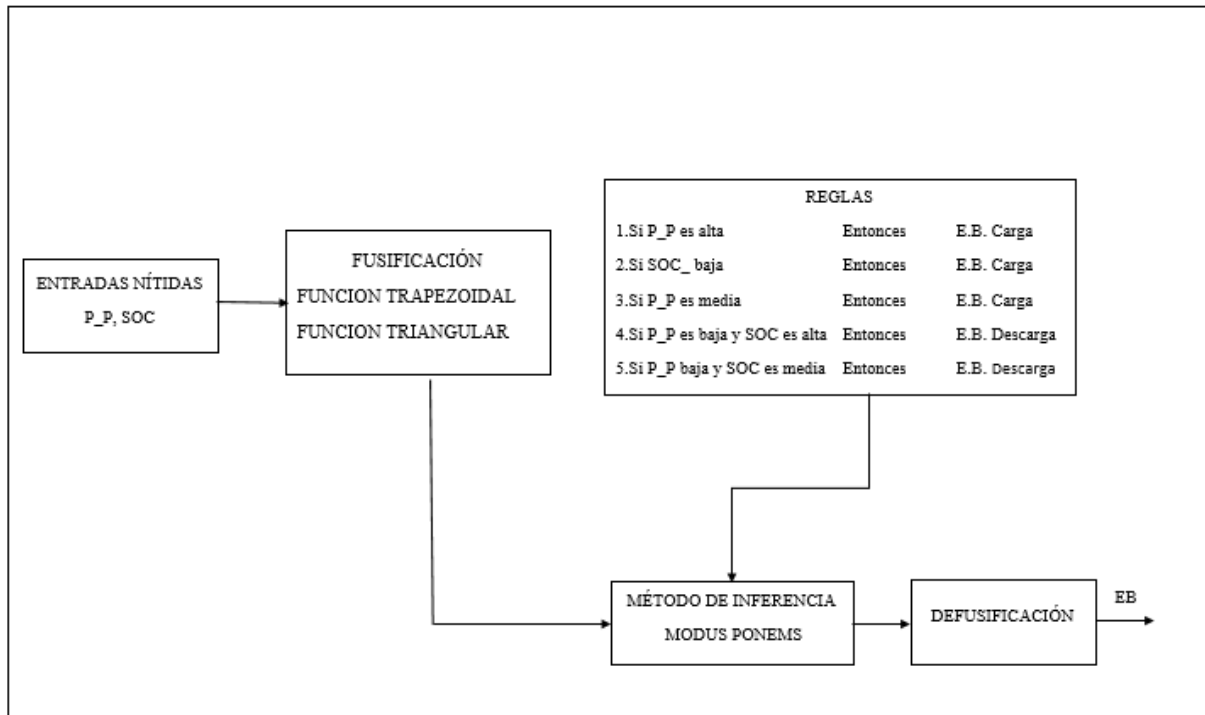


Figura 13-2: Diagrama de bloques para el control fuzzy.
Realizado por: Cabrera. V .2022

2.5.7 Inversor

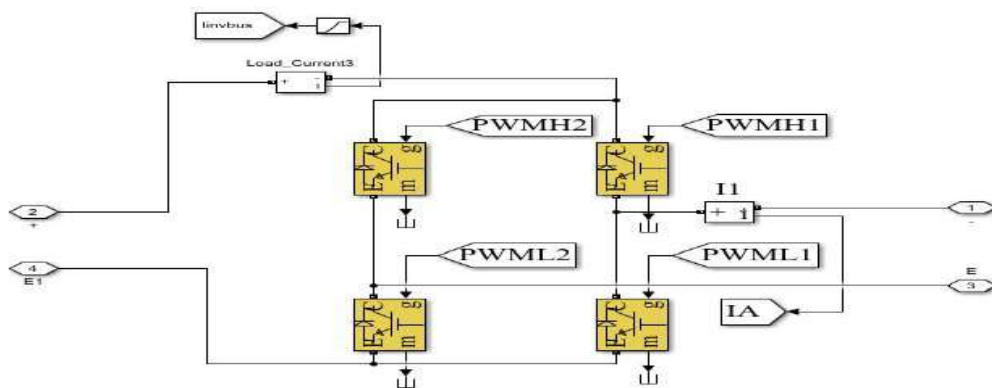


Figura 14-2: Inversor en matlab
Realizado por: Cabrera. V .2022

El inversor en la figura 14-2 es un puente H completo y funciona de manera que ayuda a transformar la corriente dc en ac para así poder inyectar a la red en donde mediante las variables monitoreadas nos ayudan a entregar o generar potencia, estos pulsos nos lo brinda el control del inversor.

2.5.8 Control de inversor.

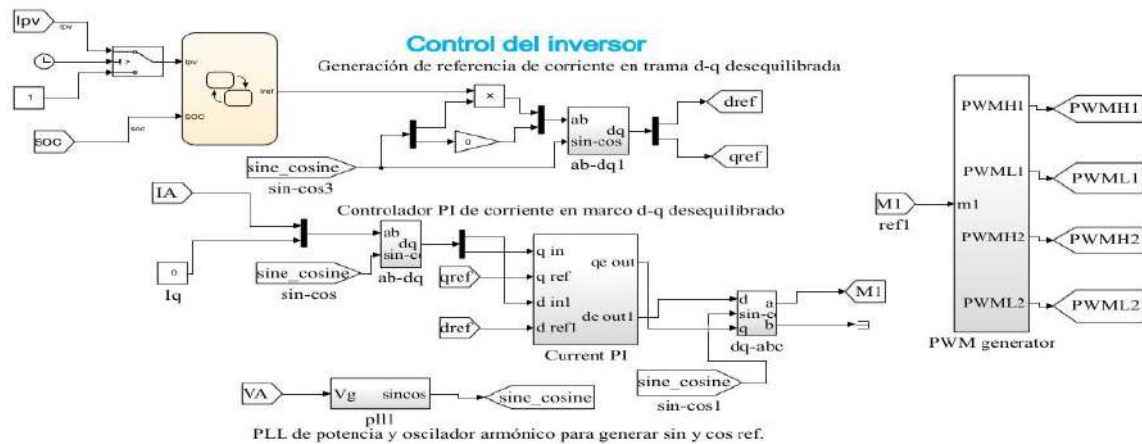


Figura 15-2: Control de inversor y red.

Realizado por: Cabrera. V .2022.

El control del inversor se ilustra en la figura 15-2 el cual funciona de la siguiente manera se monitorea la variable I_{pv} y SOC las cuales mediante un espacio de estado da una corriente de referencia, mediante ecuaciones de una trama d-q desequilibrada la cual compara las ondas senoidales y cosenoidales de la red con la corriente de referencia dada a la salida del espacio de estados y genera los pulsos que van a ingresar a los transistores IGBT en el inversor para controlar la corriente en dc y convertirla en ac, así mismo como la conexión o desconexión de la red tradicional.

CAPITULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

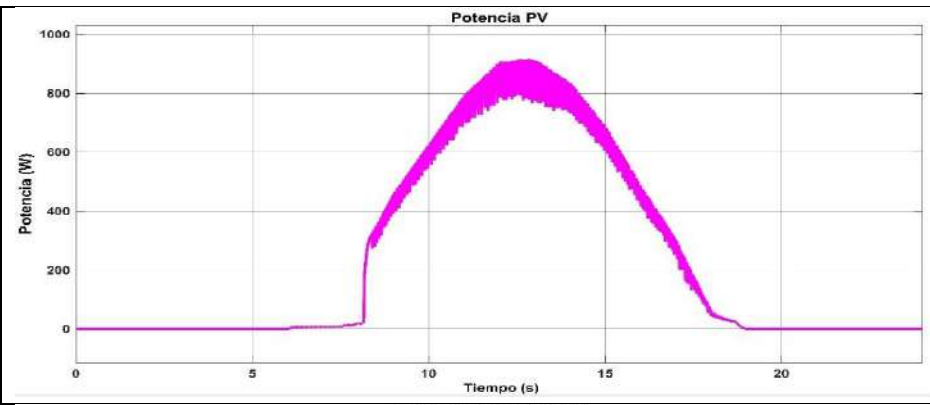
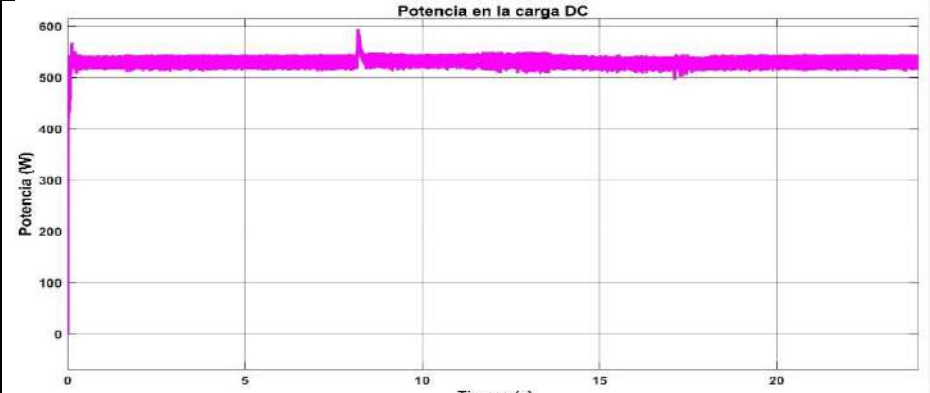
En este capítulo van los resultados que se van a dividir en dos casos, conectados a la red (on-grid) y aislados de la red (off-grid), así como vamos a evaluar algunas variables.

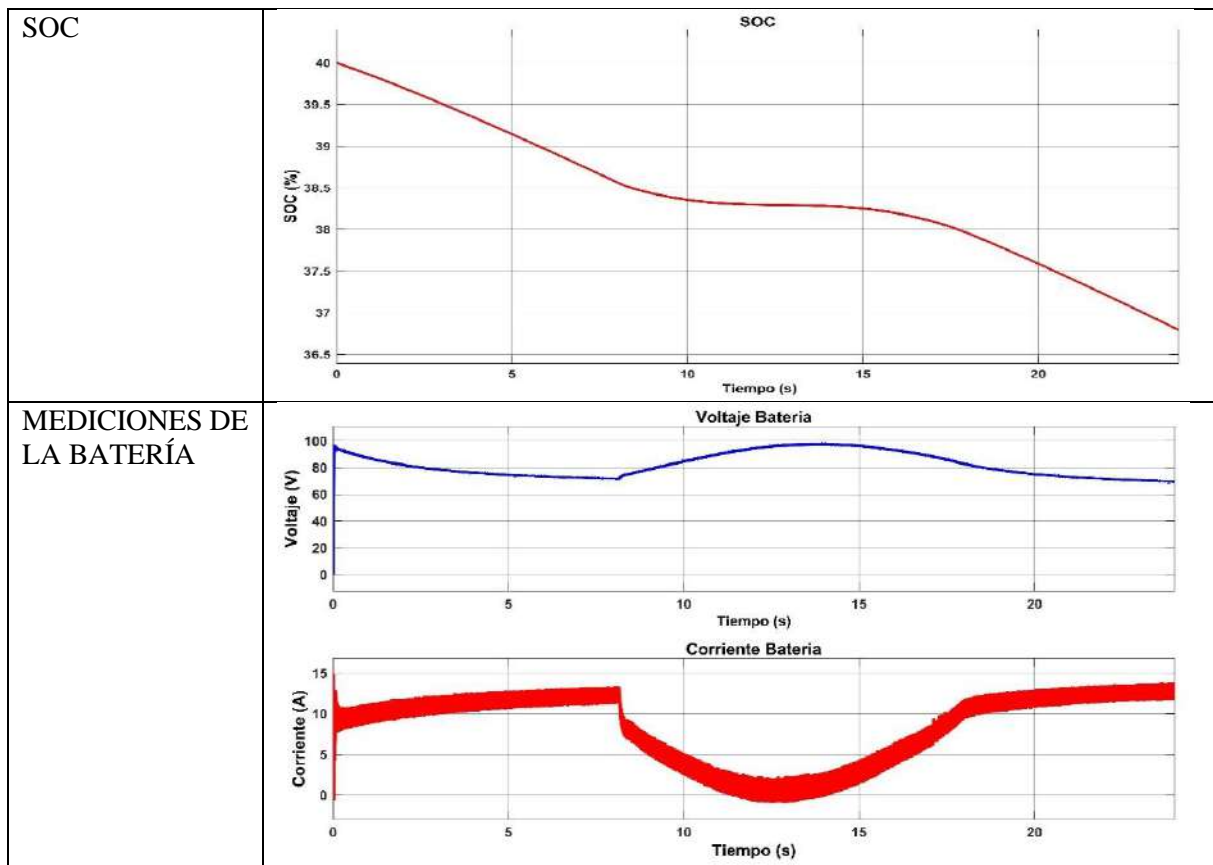
3.1 Casos de estudio

3.1.1 Usuarios con configuración igual excepto generación fotovoltaica.

Resultados control PID

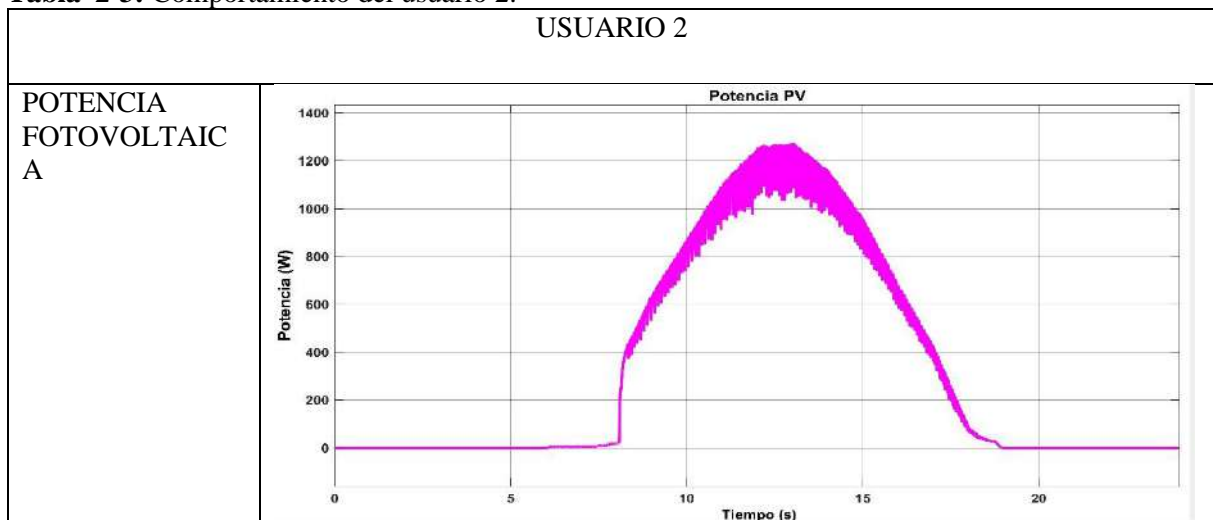
Tabla 1-3:Resultados del comportamiento del usuario 1.

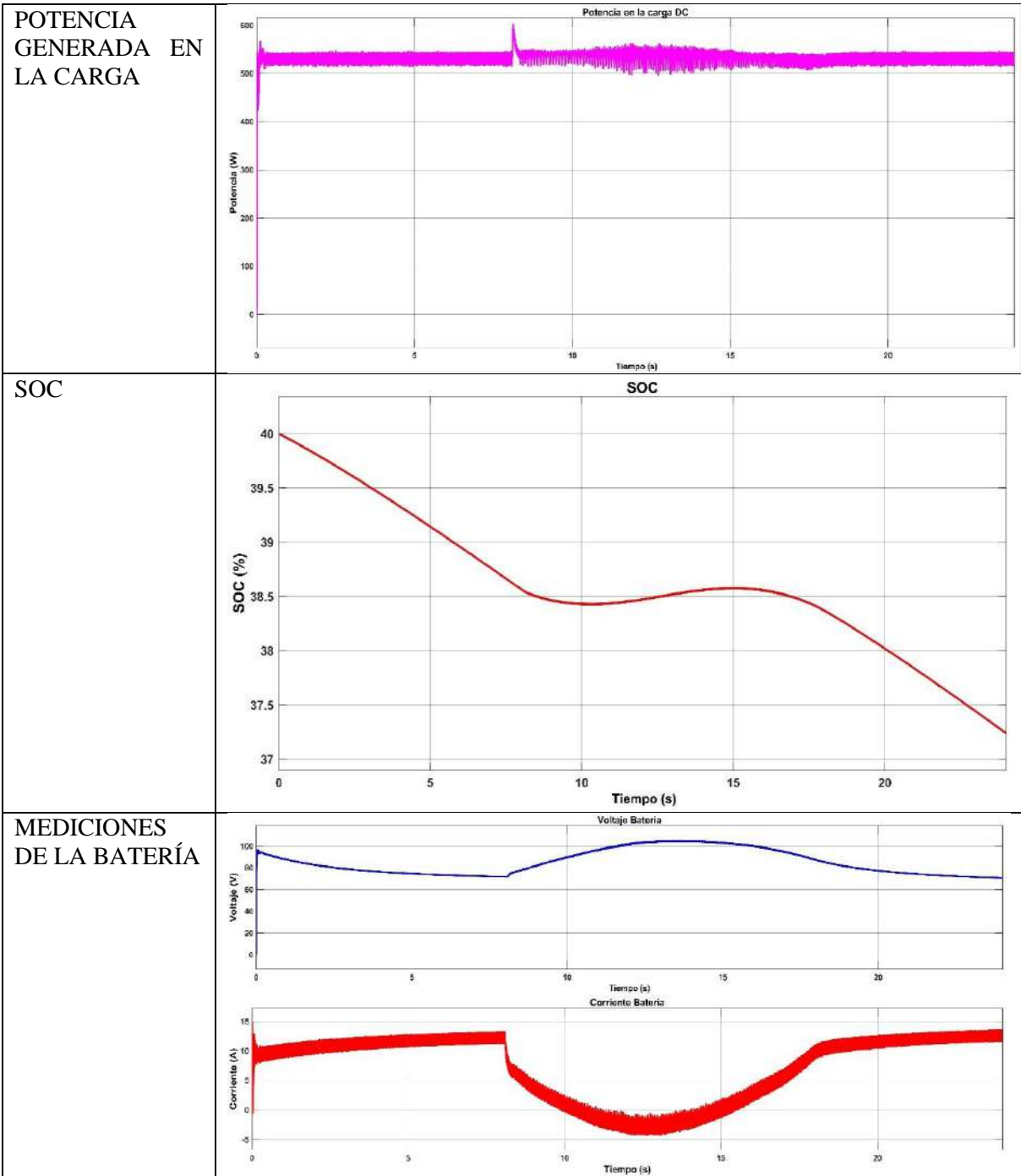
USUARIO 1	
POTENCIA FOTOVOLTAICA	
POTENCIA GENERADA EN LA CARGA	



Realizado por: Cabrera. V .2022.

Tabla 2-3: Comportamiento del usuario 2.



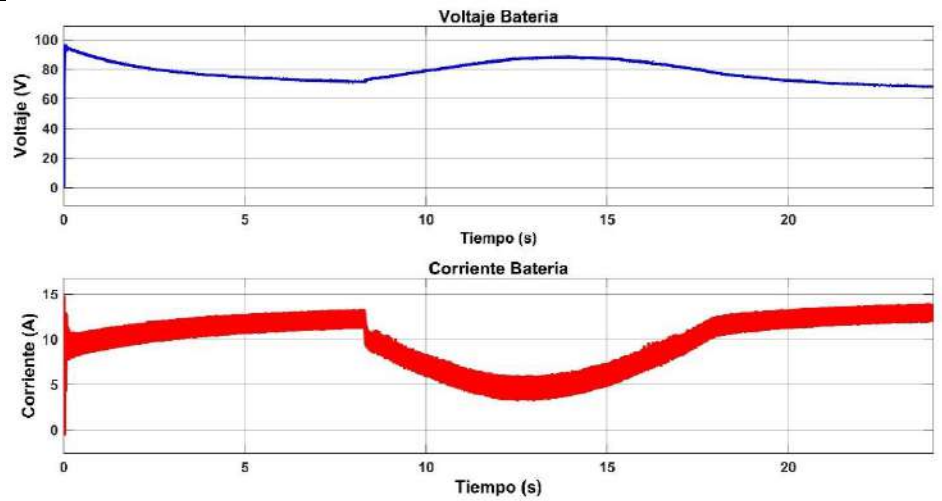


Realizado por: Cabrera. V .2022.

Tabla 3-3: Comportamiento del usuario 3.

USUARIO 3	
<p>POTENCIA FOTOVOLTAICA</p>	<p style="text-align: center;">Potencia PV</p>
<p>POTENCIA GENERADA EN LA CARGA</p>	<p style="text-align: center;">Potencia en la carga DC</p>
<p>SOC</p>	<p style="text-align: center;">SOC</p>

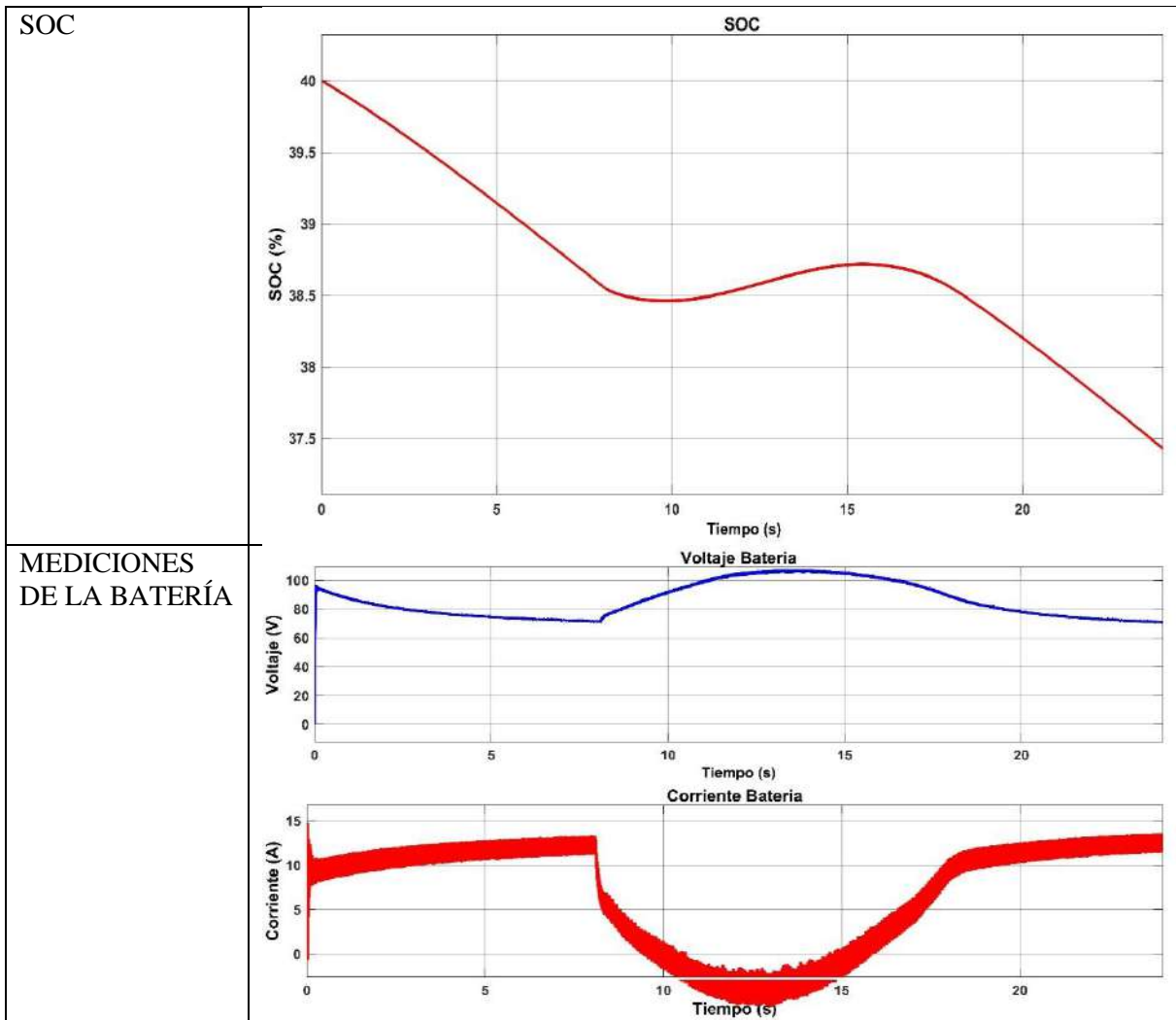
MEDICIONES DE LA BATERÍA



Realizado por: Cabrera. V .2022.

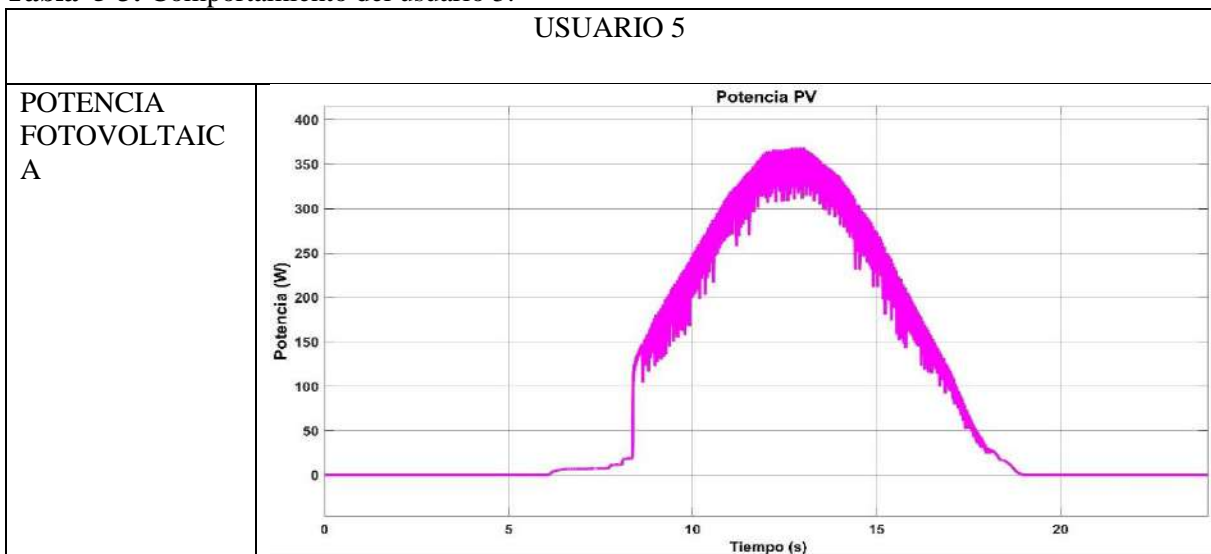
Tabla 4-3: Comportamiento del usuario 4.

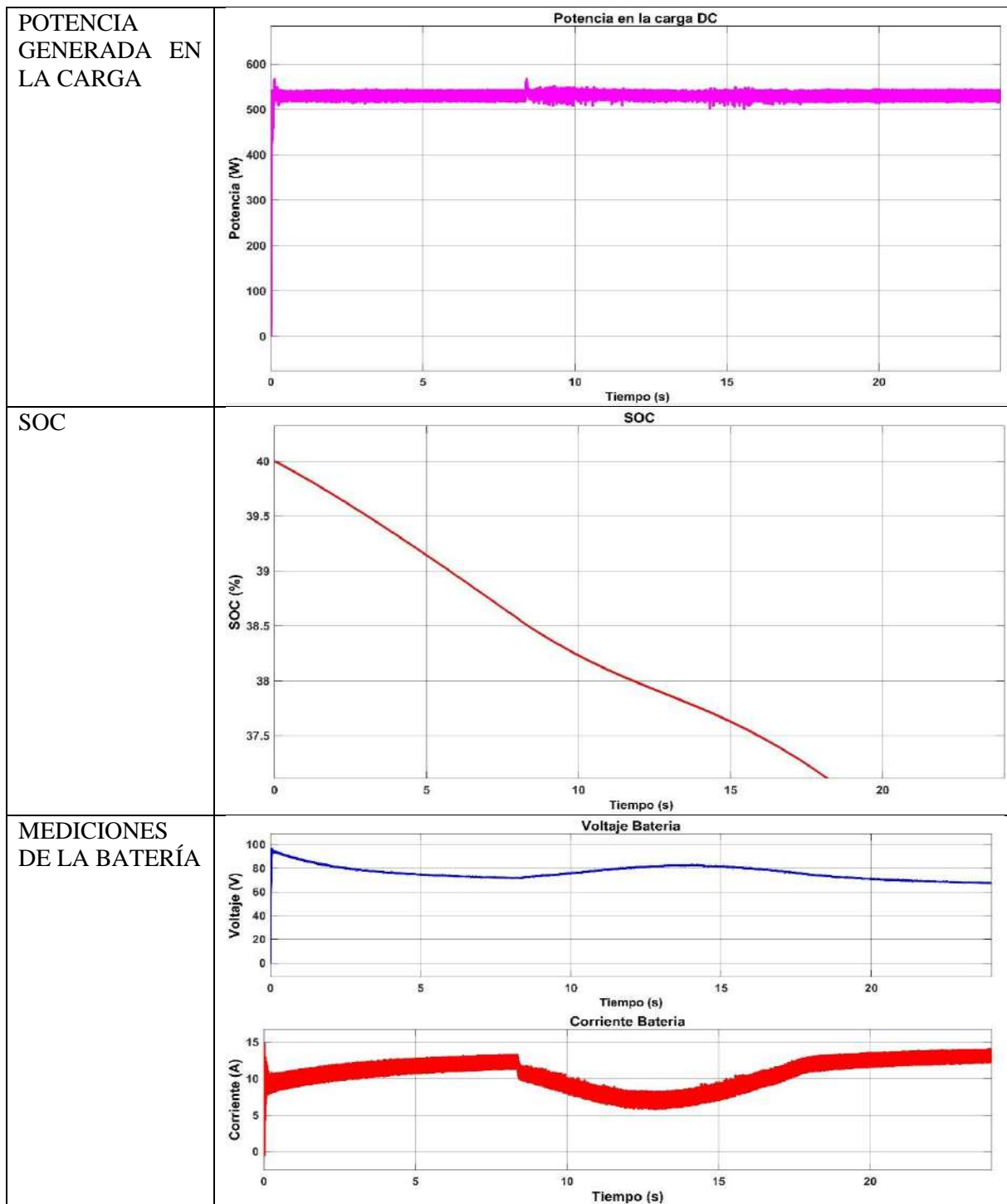
USUARIO 4	
<p>POTENCIA FOTOVOLTAICA</p>	
<p>POTENCIA GENERADA EN LA CARGA</p>	



Realizado por: Cabrera. V .2022.

Tabla 5-3: Comportamiento del usuario 5.





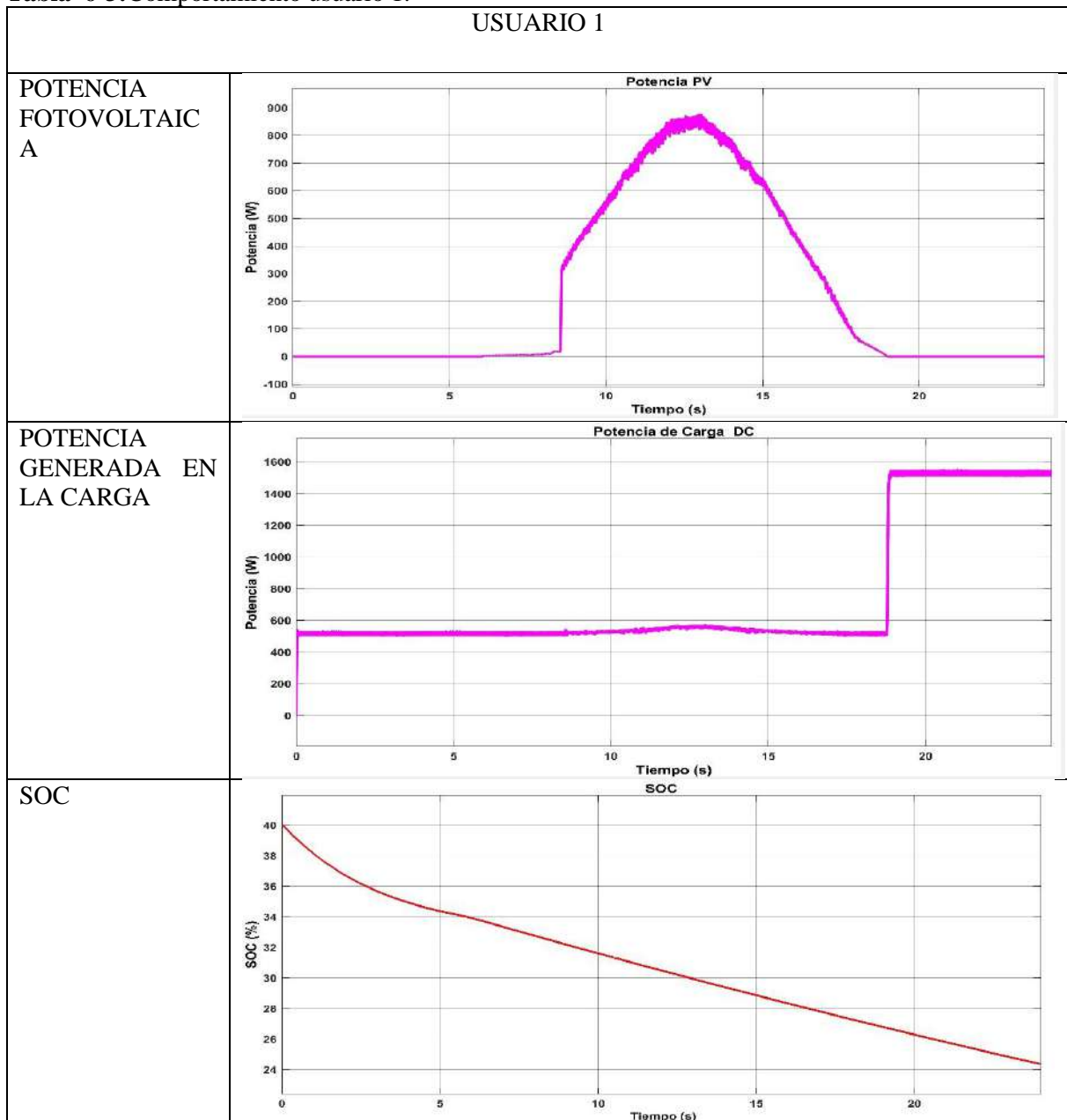
Realizado por: Cabrera. V .2022.

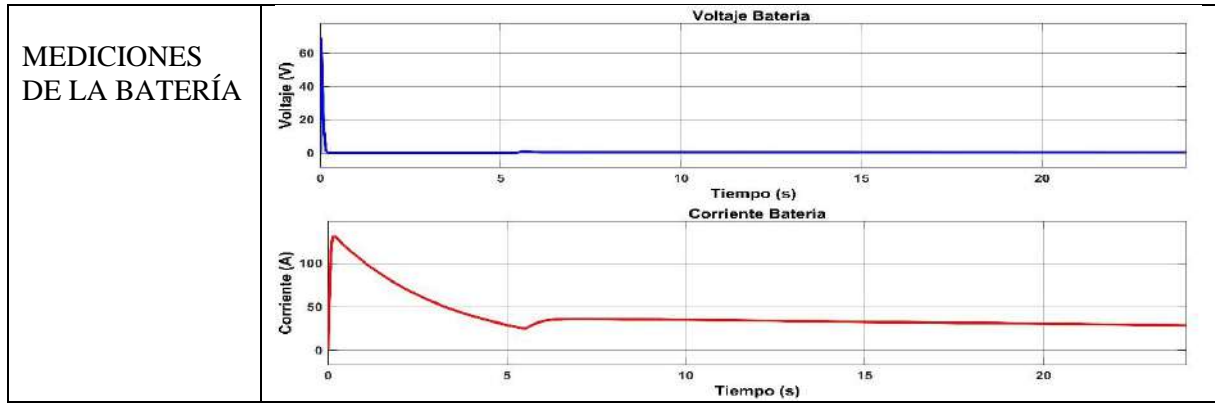
En este caso se realizó la simulación del funcionamiento de la microred, con una potencia demandada de 530 W y una capacidad de la batería de 150 Ah, el número de paneles solares que se usa en cada usuario se toma del dimensionamiento del panel, se puso en una escala de 100 a 1 la capacidad de la batería para que se muestre un mejor porcentaje de carga y descarga, se puede observar las gráficas mostradas en las tablas 1-3 a la 5-3, se evidencia una diferente potencia fotovoltaica ya que cada usuario cuenta con un número de paneles diferente, cuando no hay generación fotovoltaica la batería cubre la

potencia demandada por la carga, en este caso la capacidad de las baterías es alta entonces puede abastecer significativamente la potencia consumida por la carga, su estado de carga no llega por debajo del 30% por lo tanto no es necesario estar en el modo on-grid (conectado a la red), para conectarse a la red no debe haber generación fotovoltaica y el SOC (estado de carga) ser menor al 30 %, cuando existe generación fotovoltaica mayor a la que consume la carga, disminuye la velocidad con que se descarga la batería, ya que la potencia solo cubre la potencia consumida en la carga y no genera la suficiente para poner a cargar la batería.

Resultados control Fuzzy

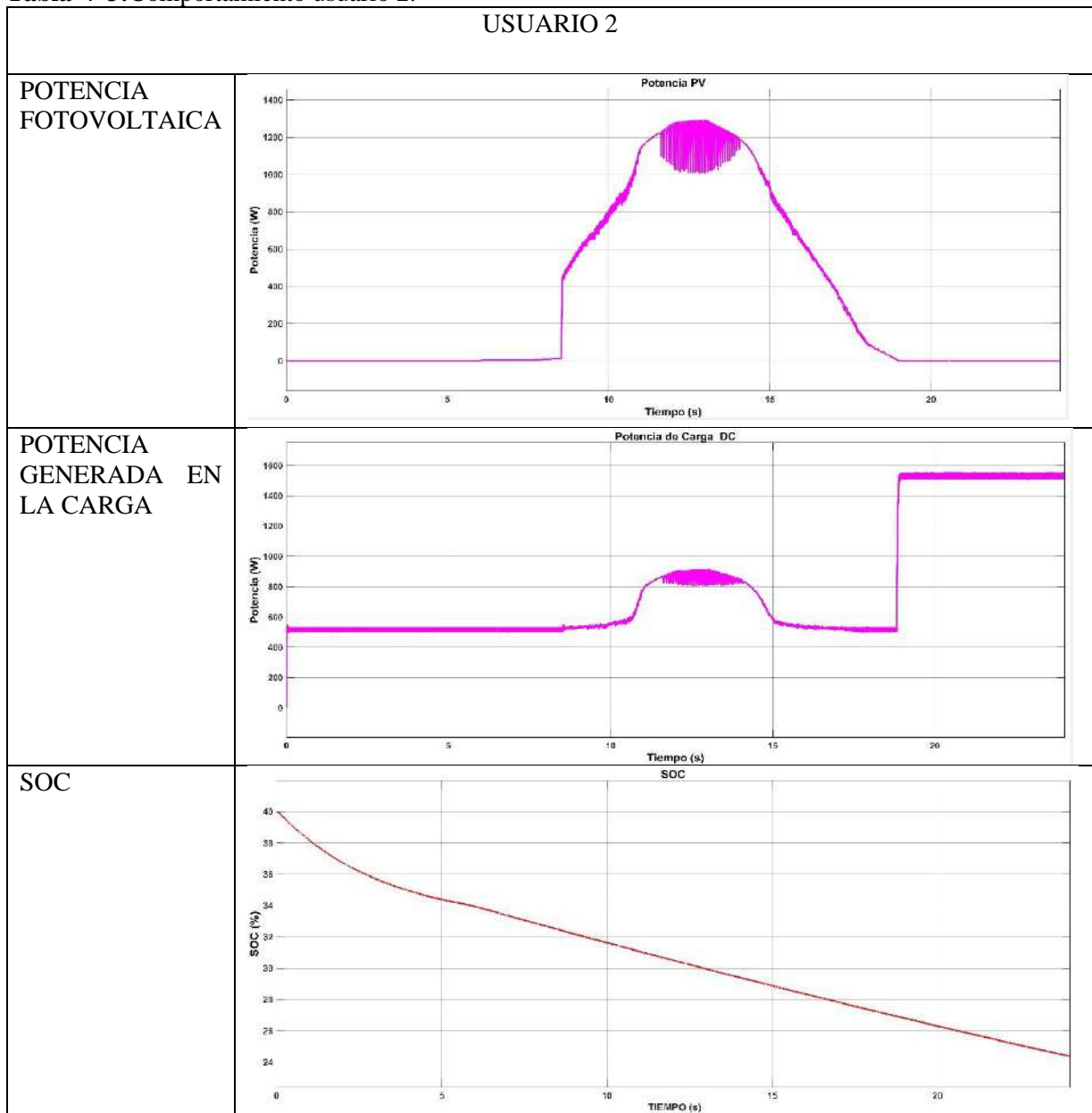
Tabla 6-3: Comportamiento usuario 1.

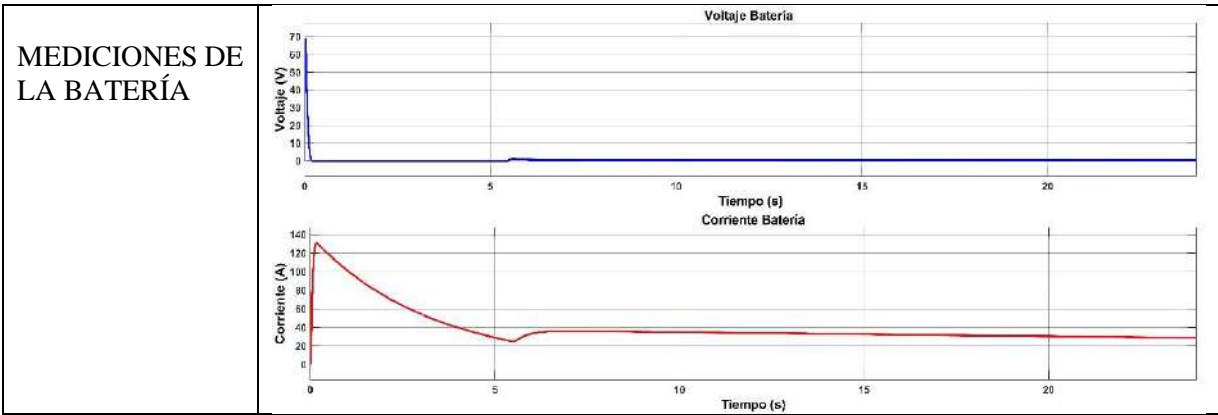




Realizado por: Cabrera. V .2022.

Tabla 7-3:Comportamiento usuario 2.



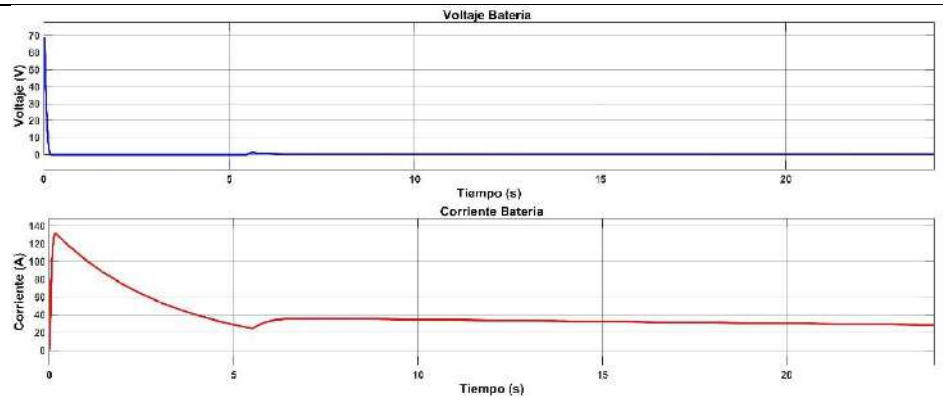


Realizado por: Cabrera. V .2022.

Tabla 8-3:Comportamiento usuario 3.

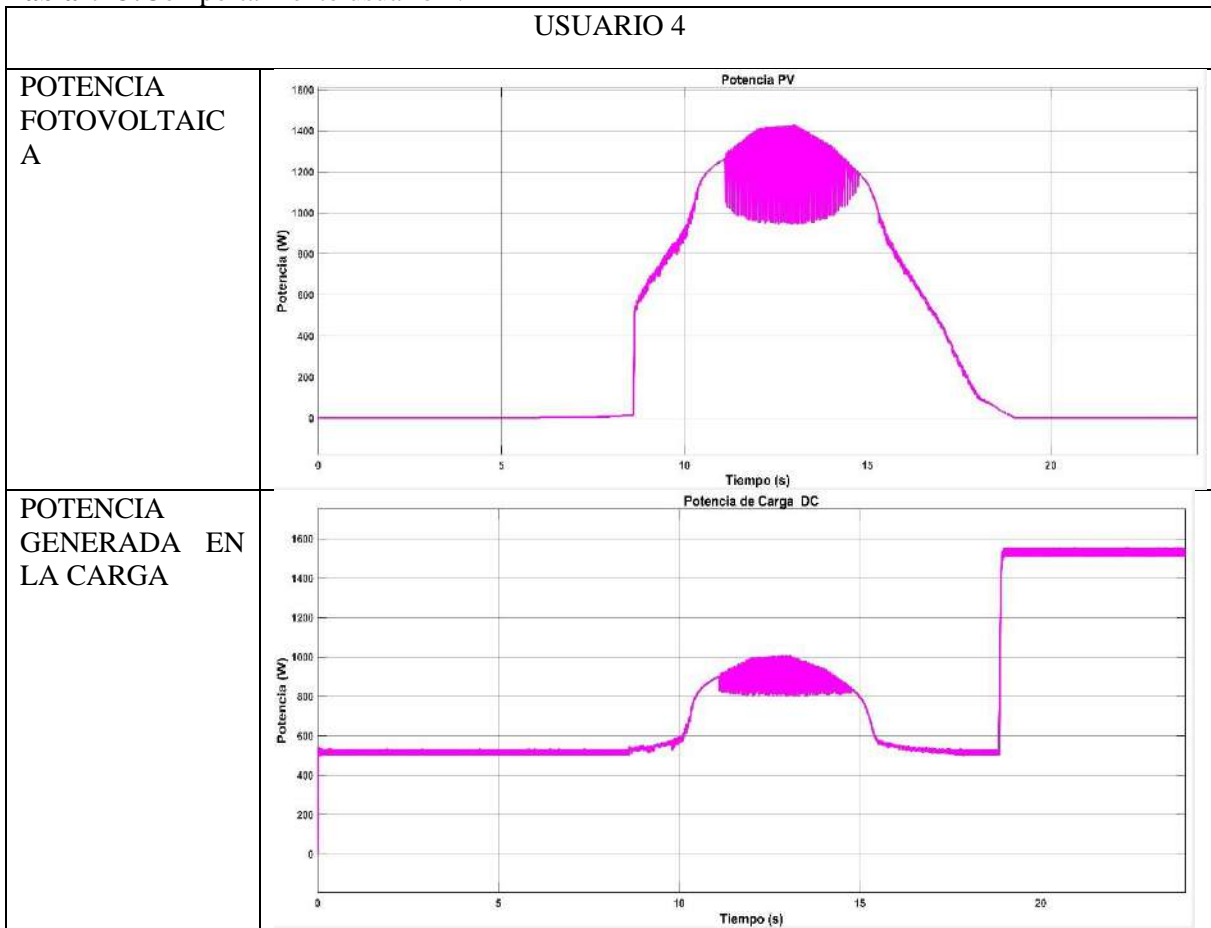
USUARIO 3	
<p>POTENCIA FOTOVOLTAICA</p>	
<p>POTENCIA GENERADA EN LA CARGA</p>	
<p>SOC</p>	

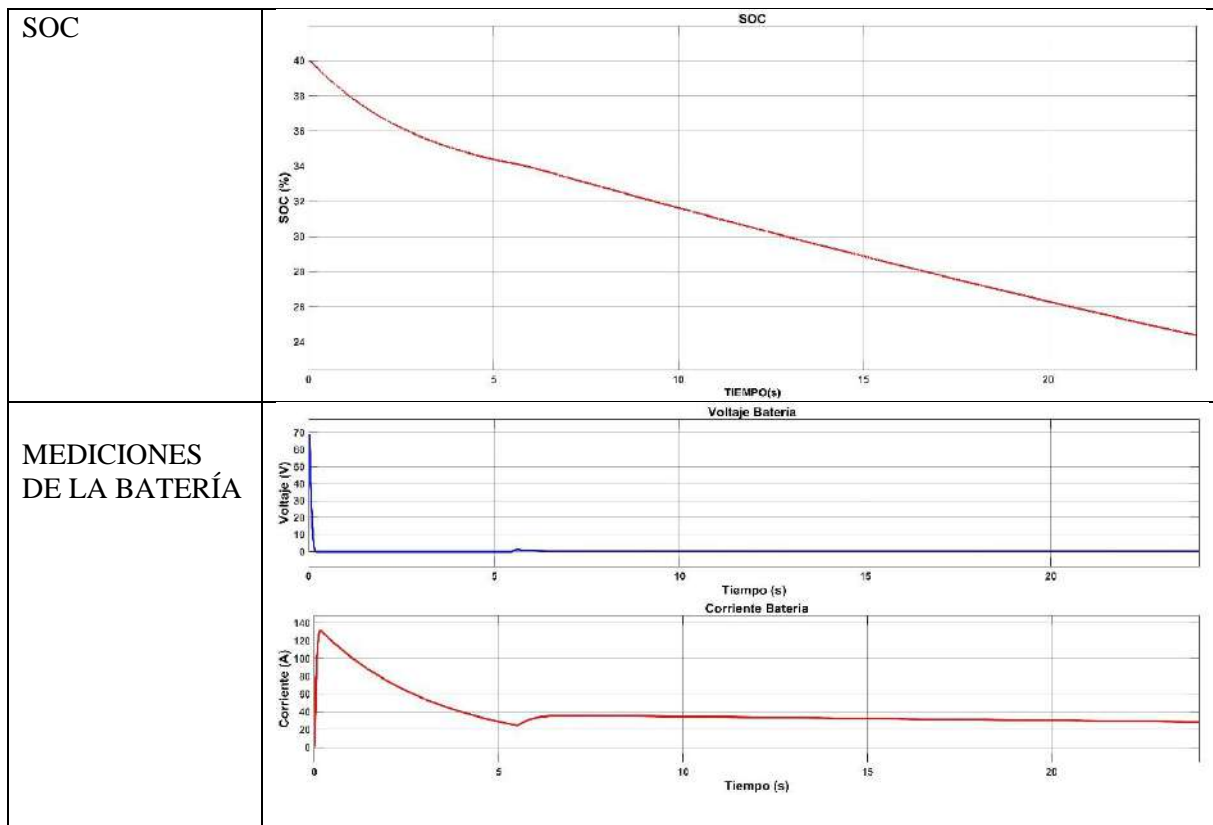
MEDICIONES DE LA BATERÍA



Realizado por: Cabrera. V .2022.

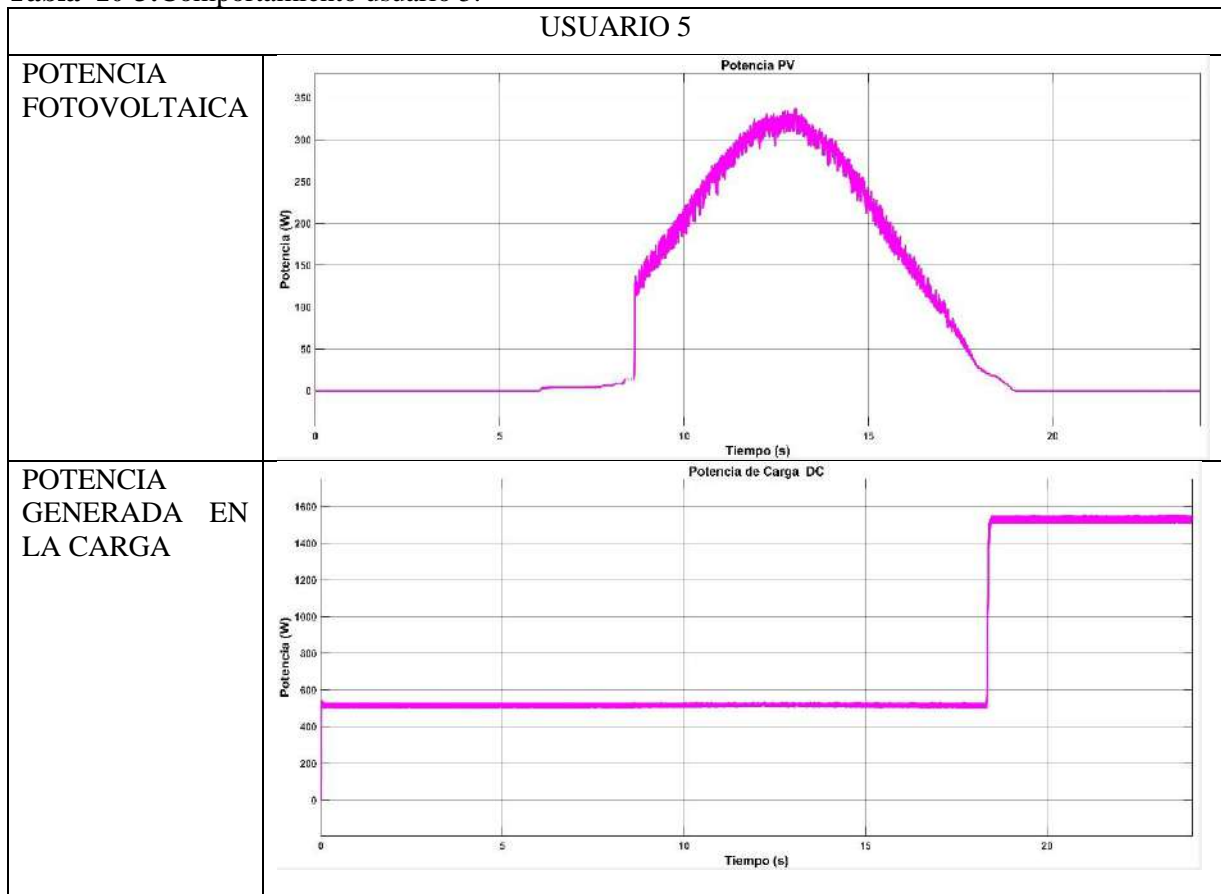
Tabla 9-3:Comportamiento usuario 4.

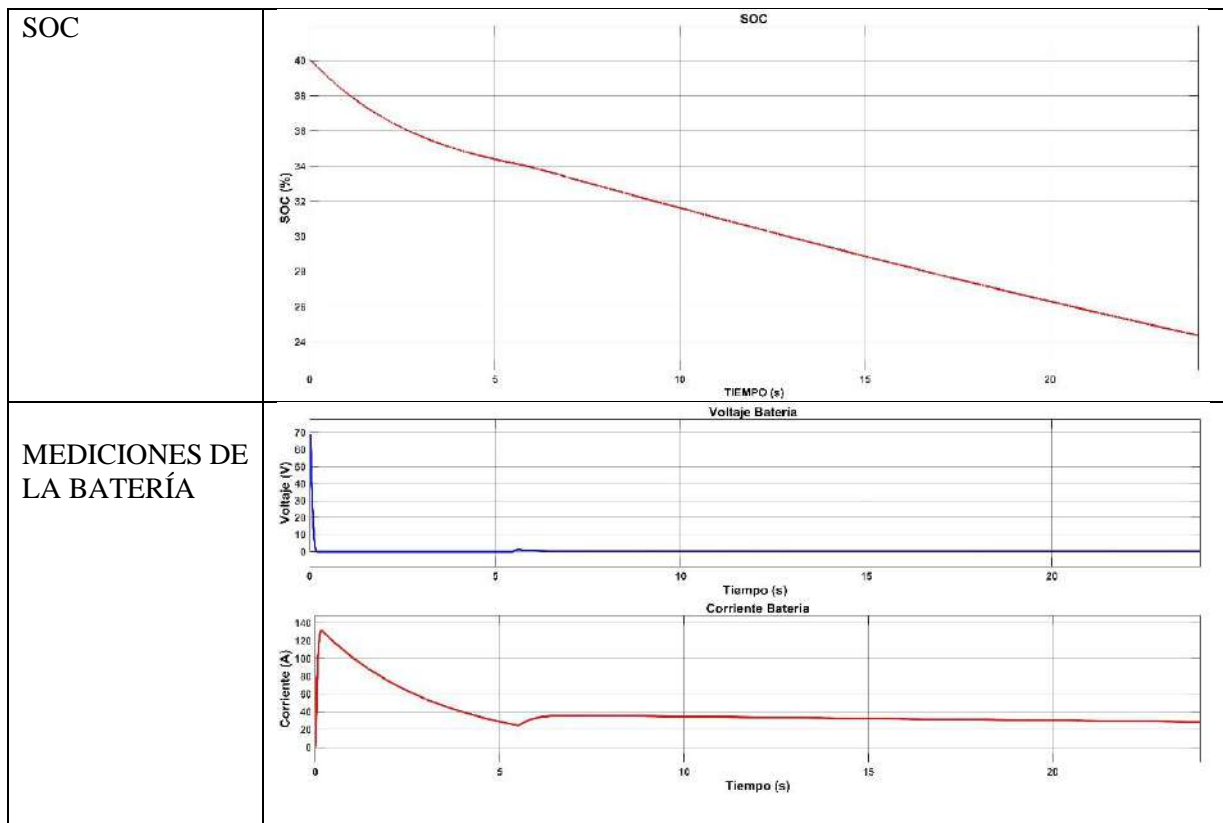




Realizado por: Cabrera. V .2022.

Tabla 10-3:Comportamiento usuario 5.





Realizado por: Cabrera. V .2022.

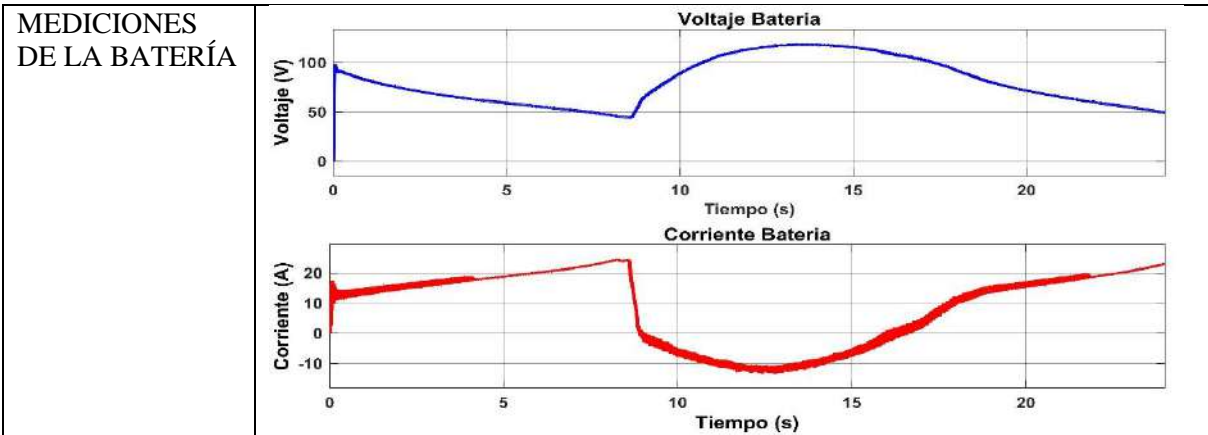
Se realizó la simulación del funcionamiento de la microred, con una potencia demandada de 530 W y una capacidad de la batería de 150 Ah, el número de paneles solares que se usa en cada usuario se toma del dimensionamiento del panel, se puso en una escala de 100 a 1 la capacidad de la batería para que se muestre un mejor porcentaje de carga y descarga, se puede observar las gráficas mostradas en las tablas 6-3 a la 10-3, cuando no hay generación fotovoltaica la batería cubre la potencia demandada por la carga, en este caso la capacidad de las baterías es alta por lo que puede abastecer la potencia consumida, en el momento que la generación fotovoltaica cubre la potencia consumida por la carga, experimenta un crecimiento en esta potencia debido a las perturbaciones en la potencia fotovoltaica generada y cuando no tiene perturbaciones se mantiene constante, por ello la batería se descarga de manera constante, la batería al llegar a descargarse más del 30% y no hay generación fotovoltaica entra en modo on-grid (conectado a la red), la potencia consumida experimenta un crecimiento y luego se mantiene estable.

3.1.2 Usuarios con configuración igual excepto capacidad de almacenamiento.

Resultados control PID

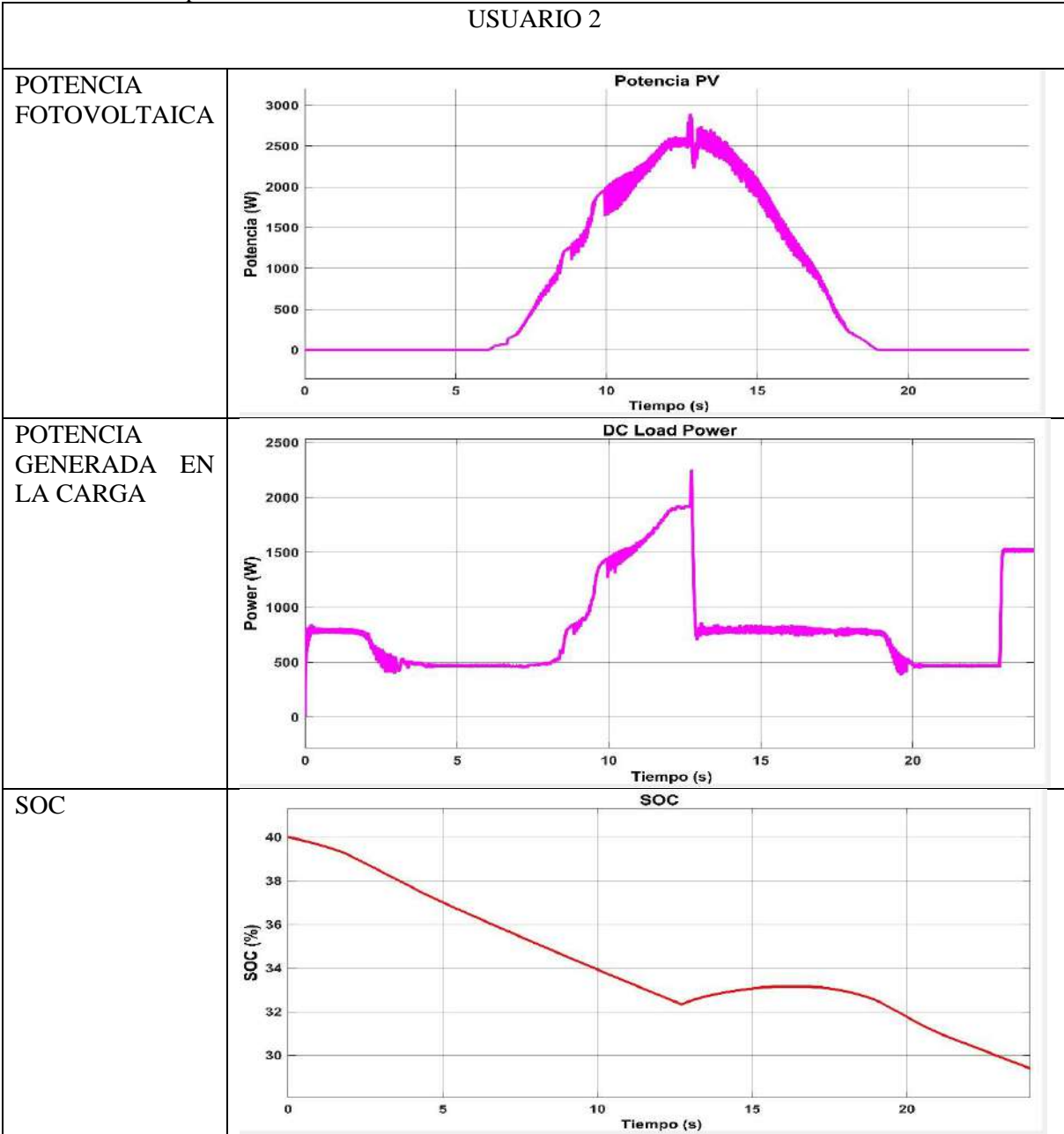
Tabla 11-3: Comportamiento usuario 1.

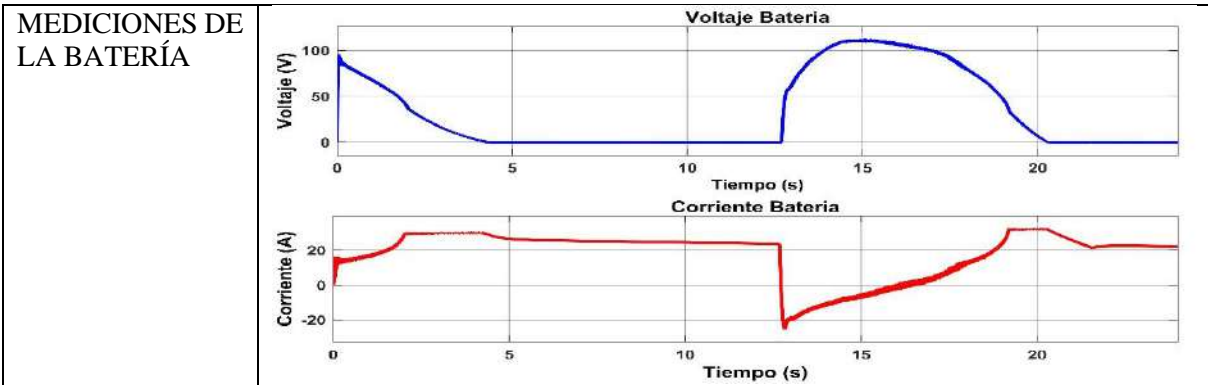
USUARIO 1	
POTENCIA FOTOVOLTAICA	<p>Potencia PV</p> <p>Potencia (W)</p> <p>Tiempo (s)</p>
POTENCIA GENERADA EN LA CARGA	<p>DC Load Power</p> <p>Power (W)</p> <p>Tiempo (s)</p>
SOC	<p>SOC</p> <p>SOC (%)</p> <p>Tiempo (s)</p>



Realizado por: Cabrera. V .2022.

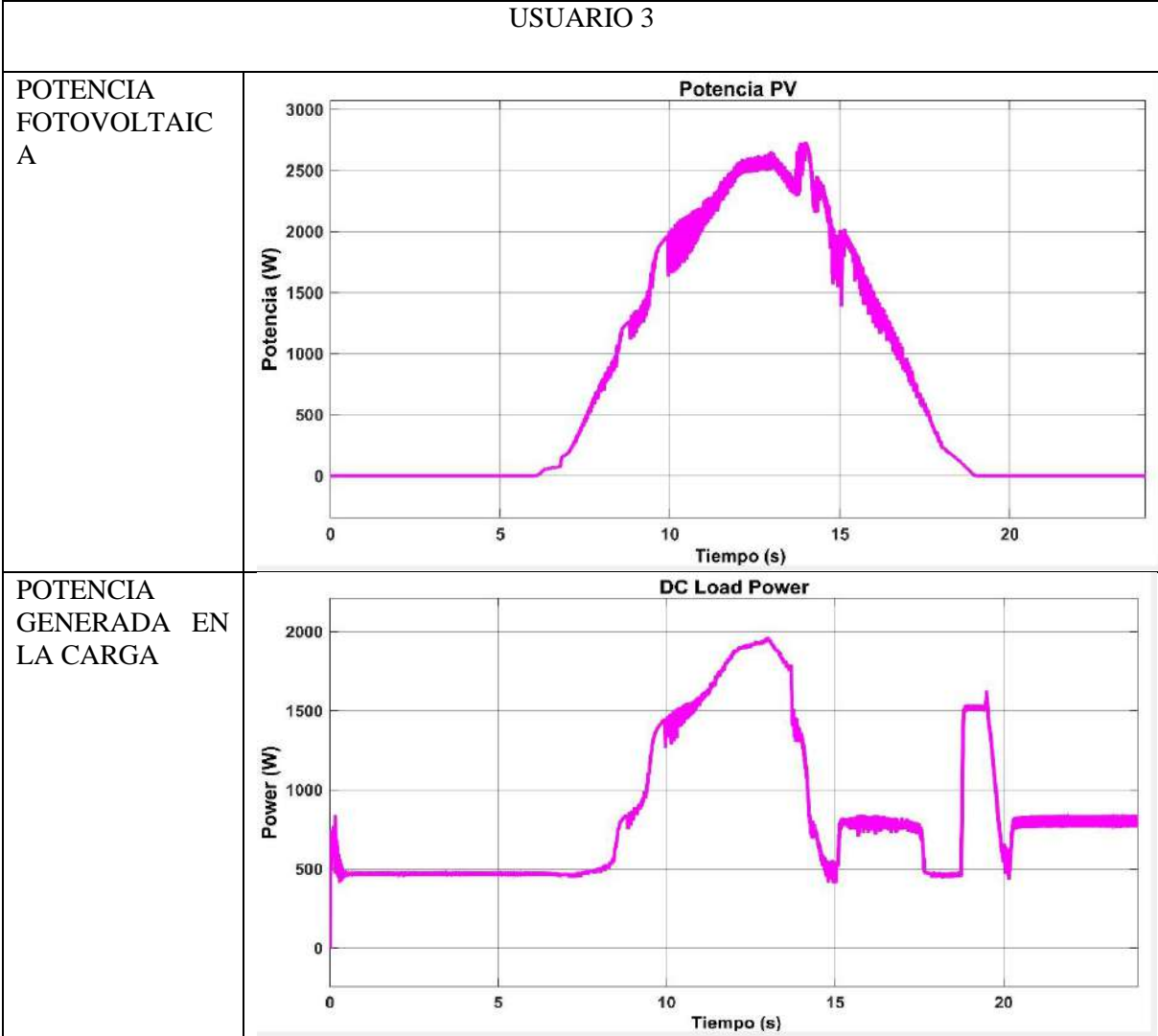
Tabla 12-3:Comportamiento usuario 2.

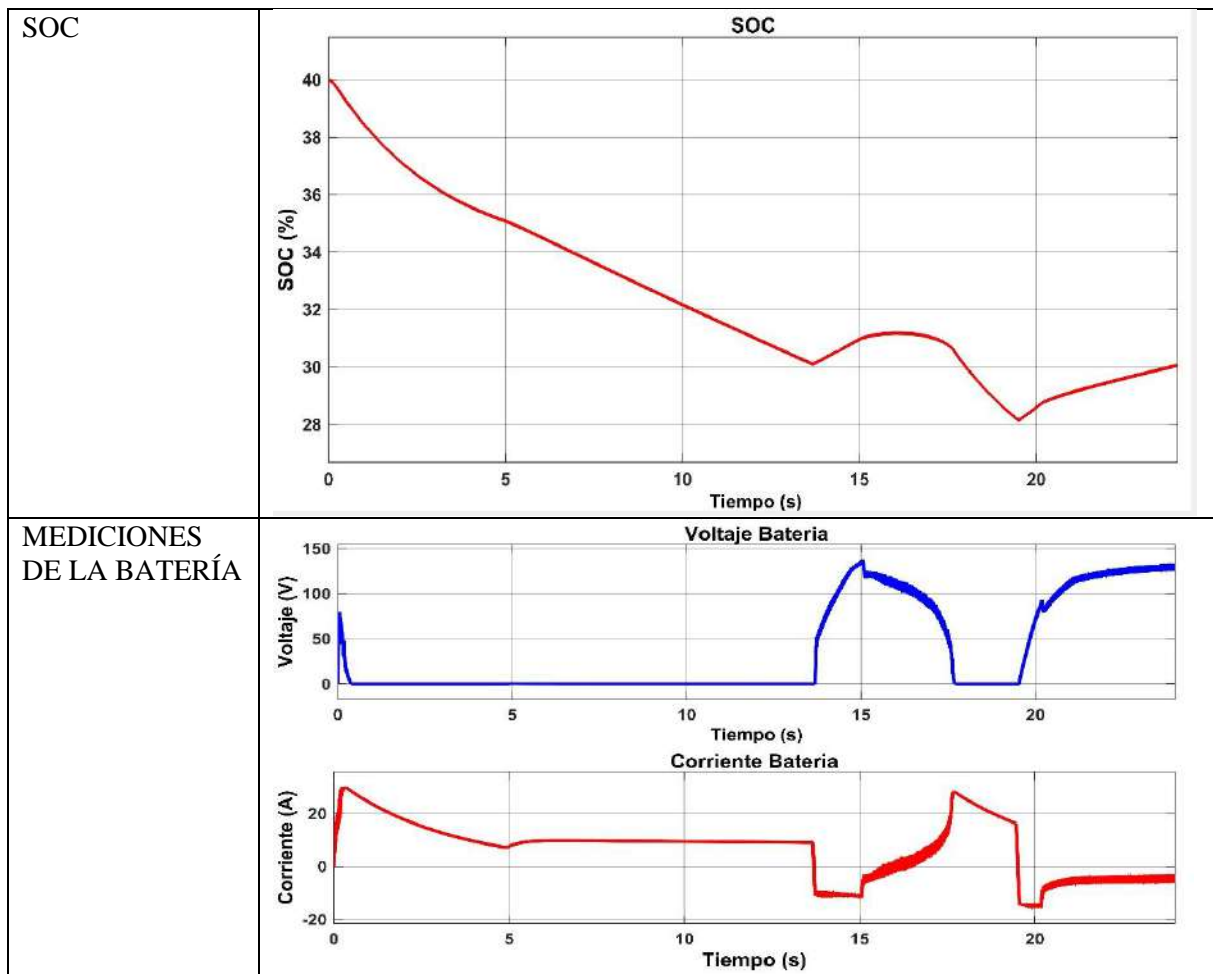




Realizado por: Cabrera. V .2022.

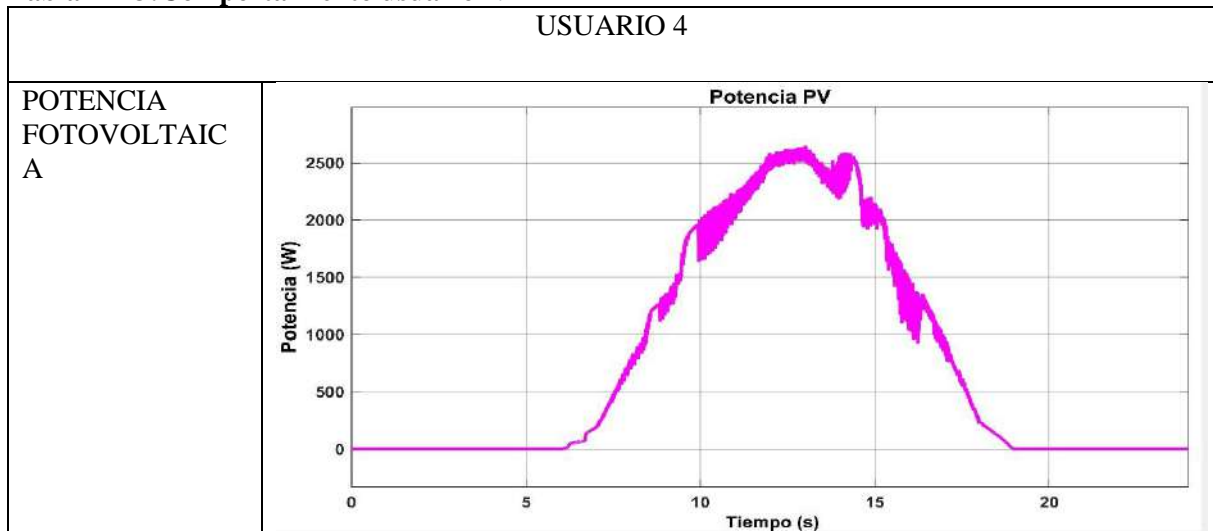
Tabla 13-3:Comportamiento usuario 3.

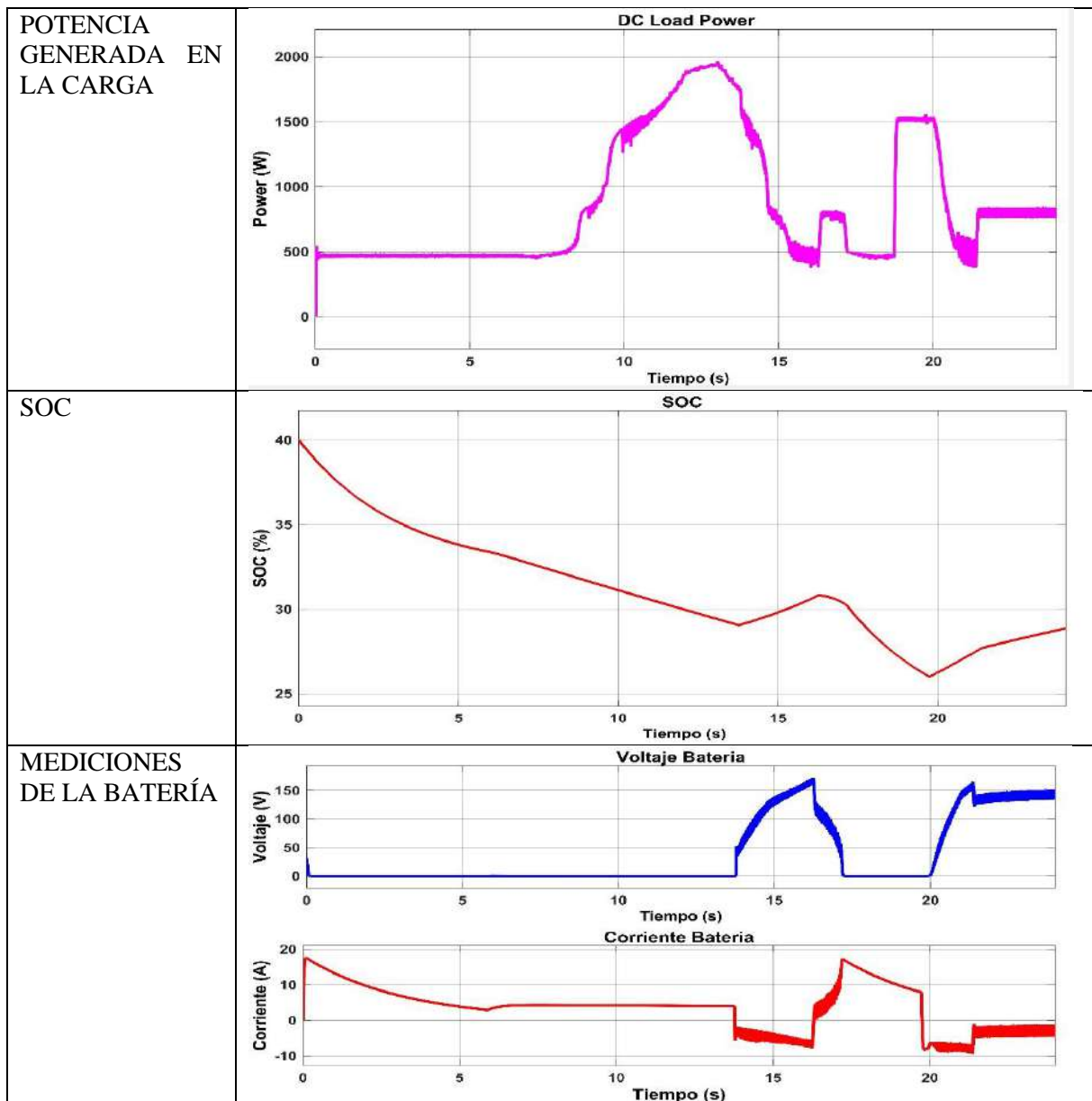




Realizado por: Cabrera. V .2022.

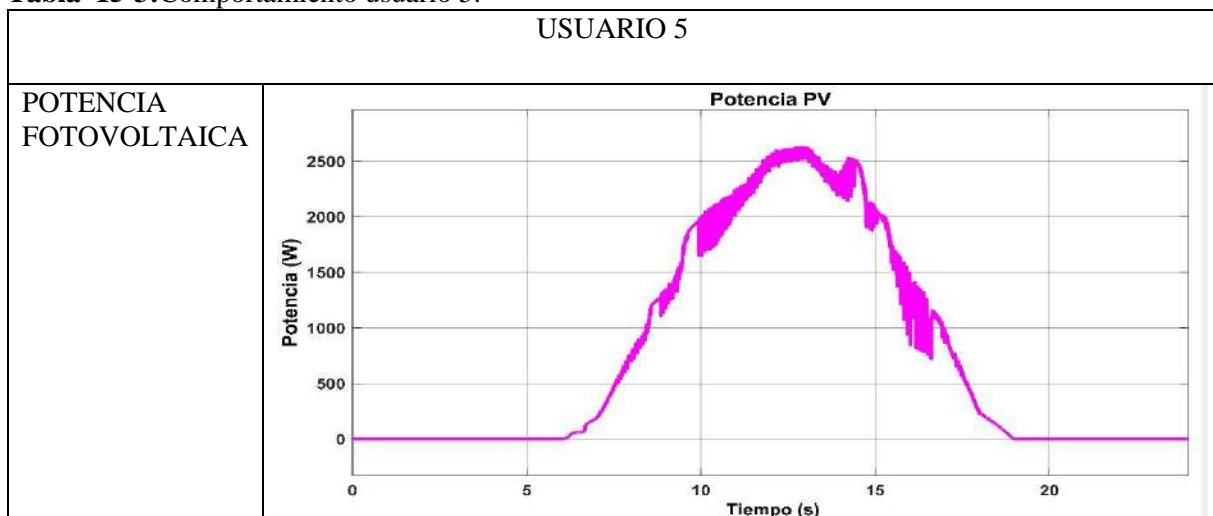
Tabla 14-3:Comportamiento usuario 4.

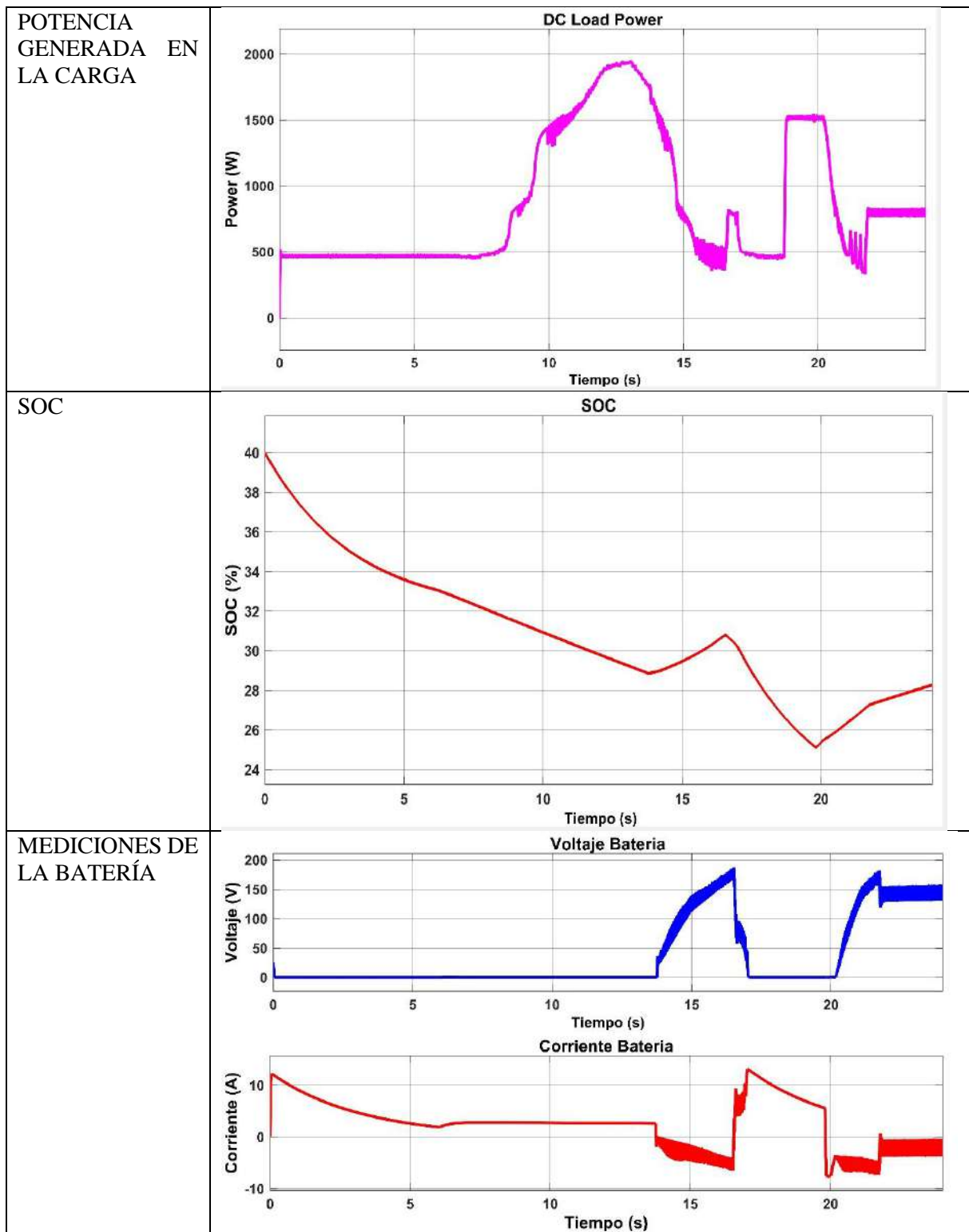




Realizado por: Cabrera. V .2022.

Tabla 15-3:Comportamiento usuario 5.





Realizado por: Cabrera. V .2022.

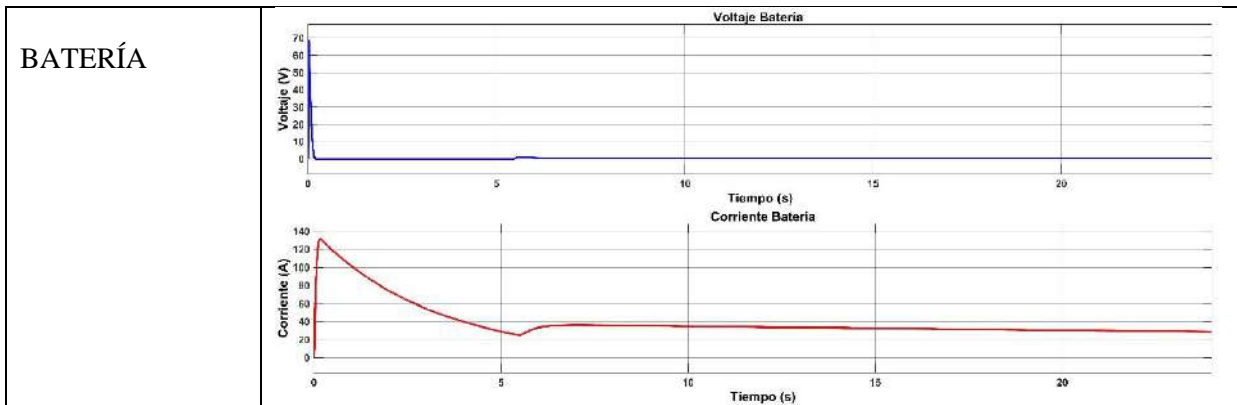
En este caso se realizó la simulación de la microred con una demanda de potencia de 800 W y una capacidad variante de la batería, una potencia fotovoltaica igual para todos los usuarios, se puso en una escala de 100 a 1 la capacidad de la batería, el comportamiento de la potencia demandada por la carga en los usuarios 1 al 5 va variando no hay mucha estabilidad, en el usuario 1 se evidencia más estabilidad

que en los demás usuarios, se puede observar este comportamiento en las gráficas de las tablas 11-3 a la 15-3, la batería en los usuarios abastece de manera significativa ,aunque su capacidad de almacenamiento es variante para cada usuario, se evidencia mucho porcentaje de descarga de la batería en el tiempo que no hay generación fotovoltaica, si la potencia generada por los paneles solares cubre el consumo en la carga, el sobrante de potencia es grande la batería entra en estado de carga mientras haya generación fotovoltaica en todos los usuarios, en el usuario 1 el comportamiento es diferente hay menos oscilación y menos porcentaje de descarga a comparación de los otros usuarios.

Resultados control Fuzzy

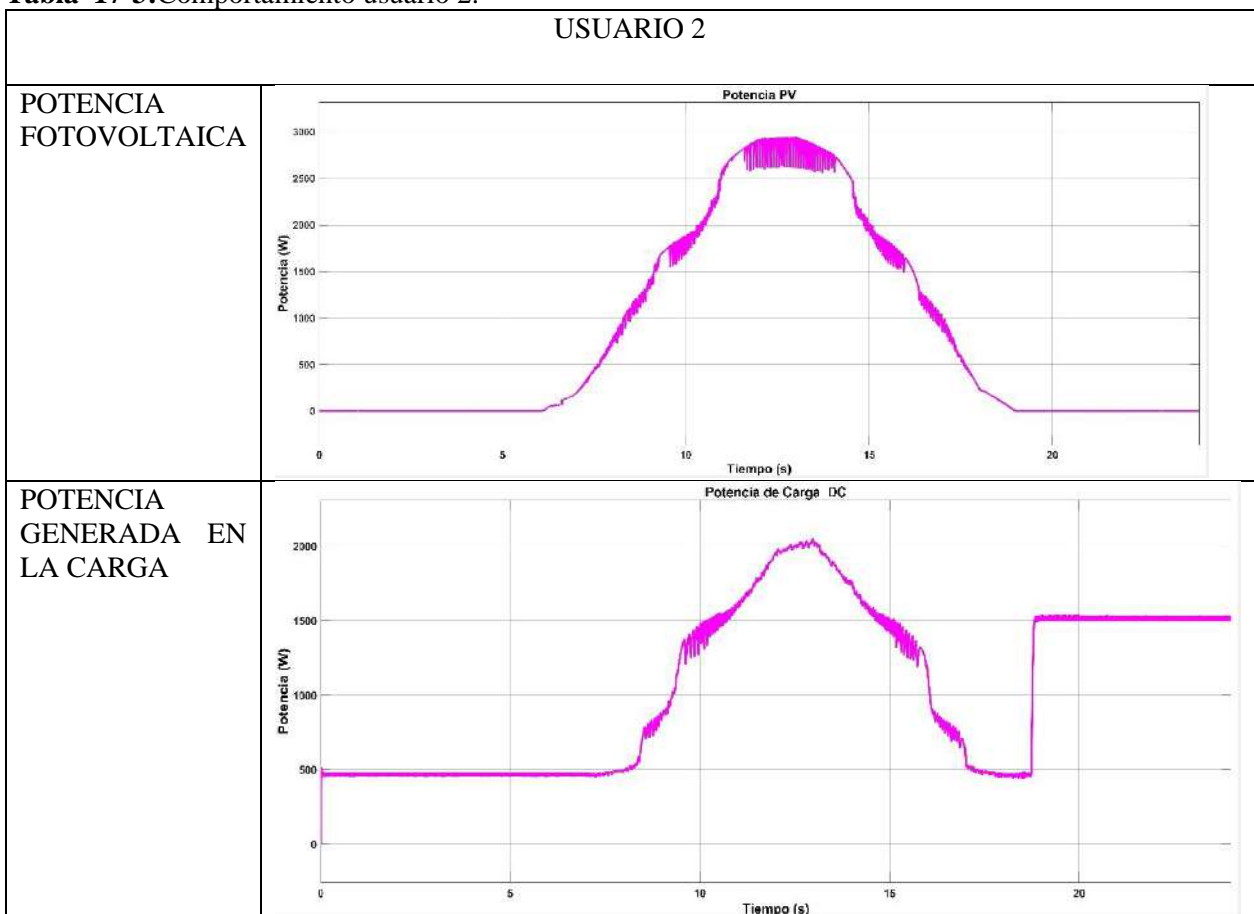
Tabla 16-3:Comportamiento usuario 1.

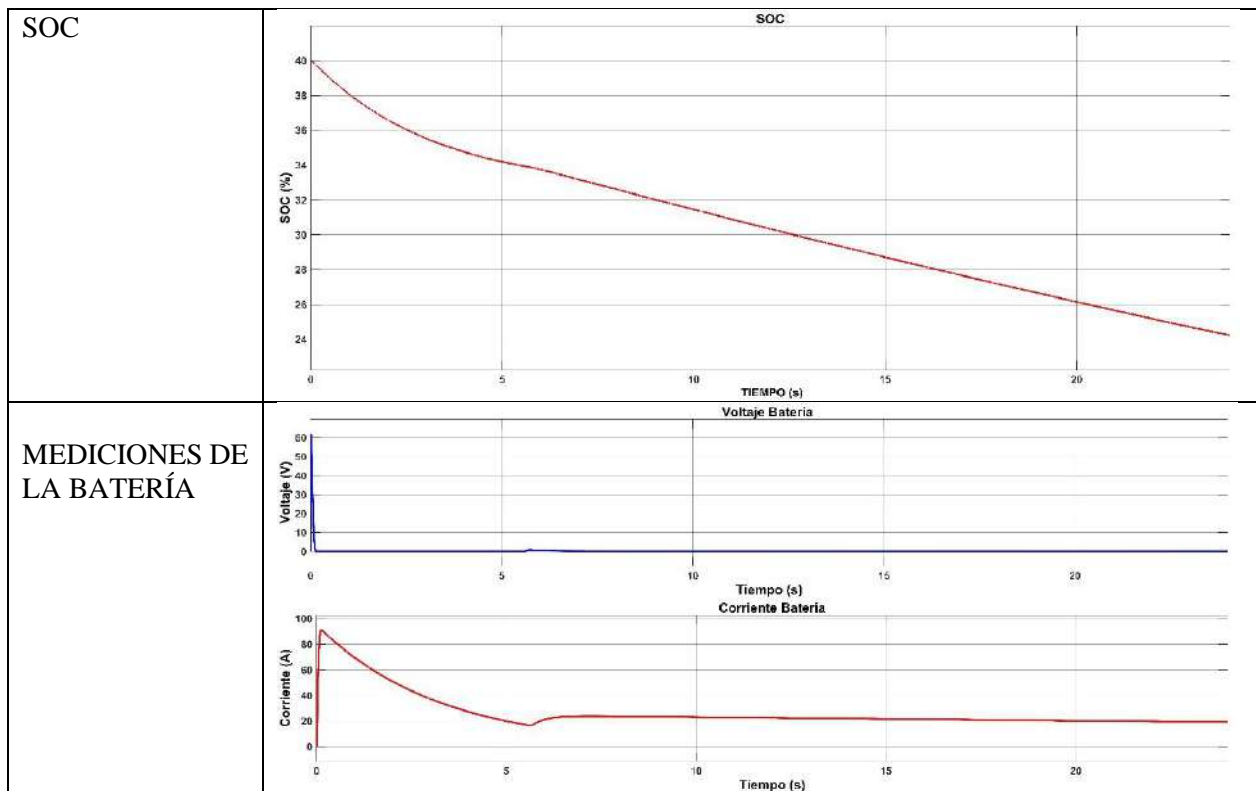
USUARIO 1	
POTENCIA FOTOVOLTAICA	
POTENCIA GENERADA EN LA CARGA	
SOC	



Realizado por: Cabrera. V .2022.

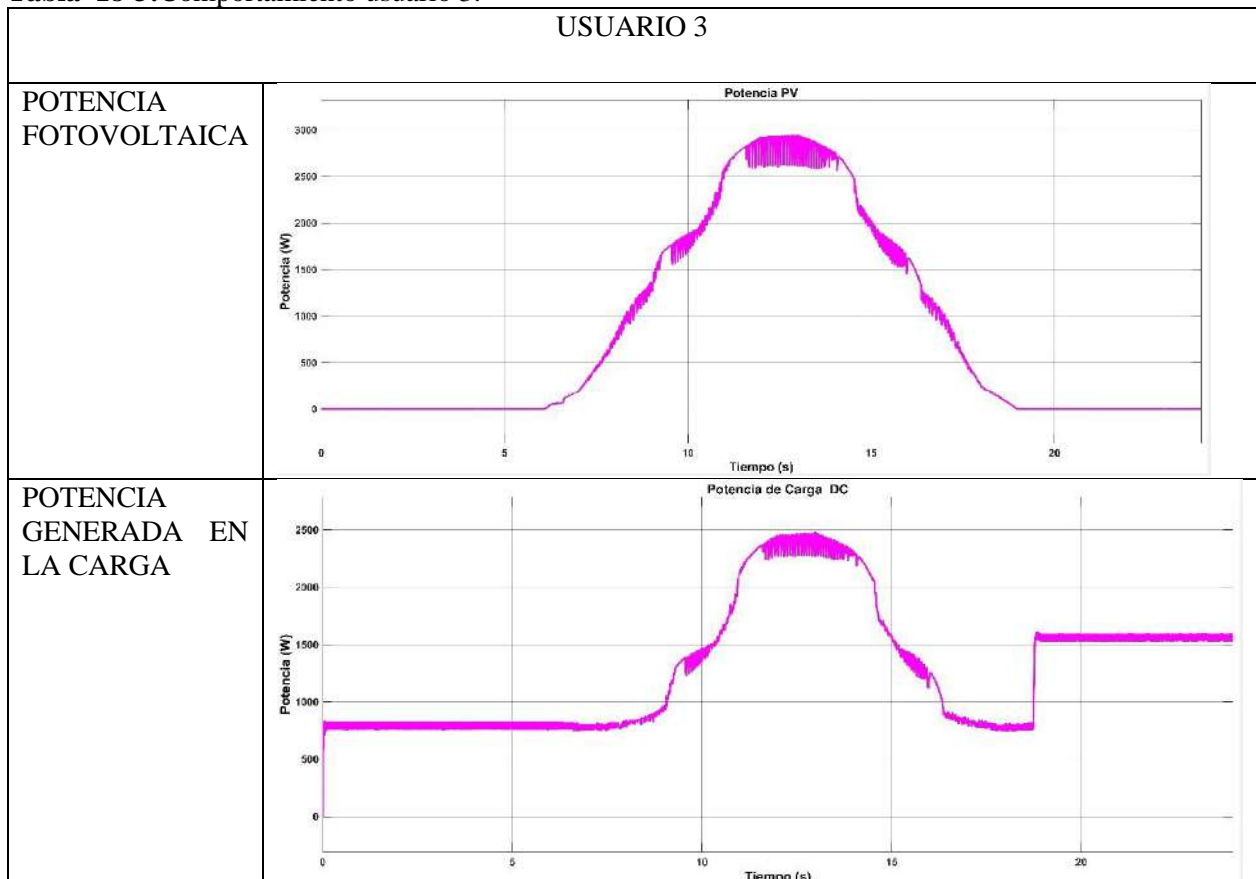
Tabla 17-3:Comportamiento usuario 2.

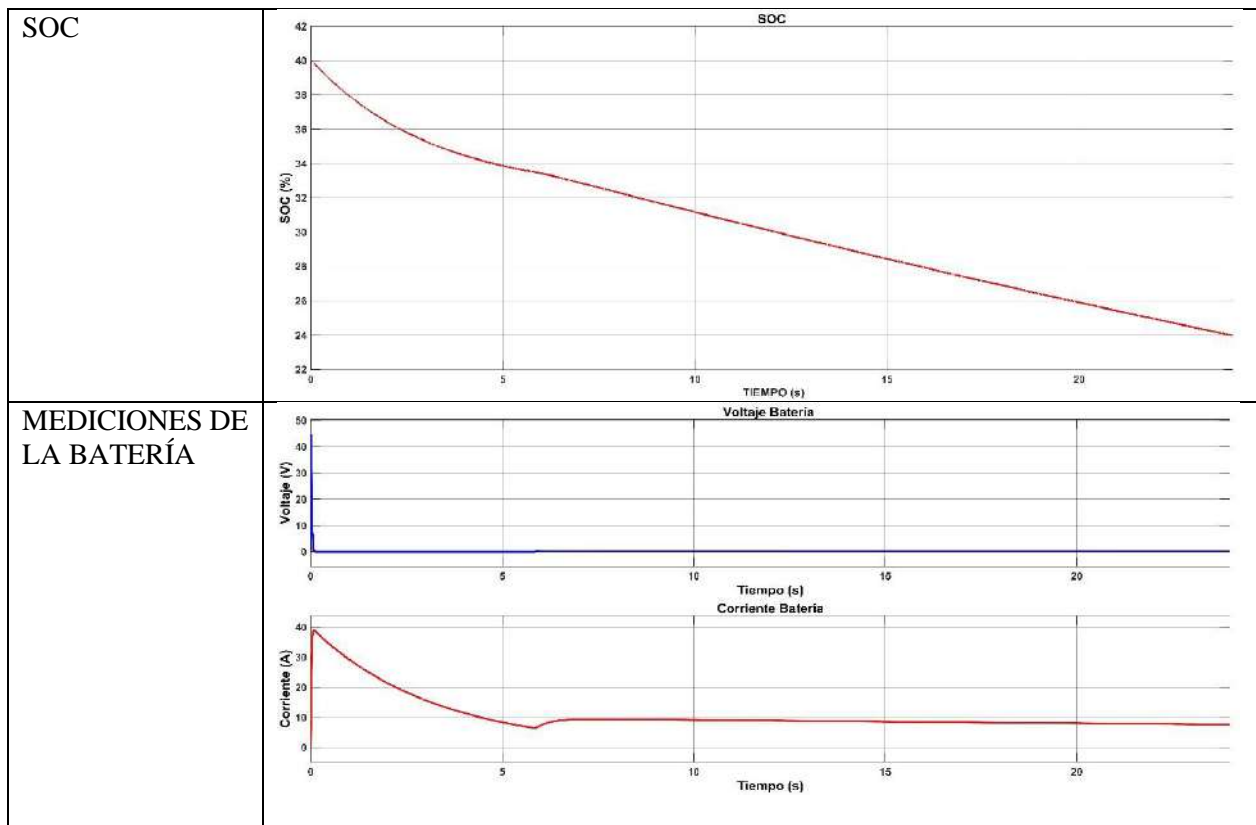




Realizado por: Cabrera. V .2022.

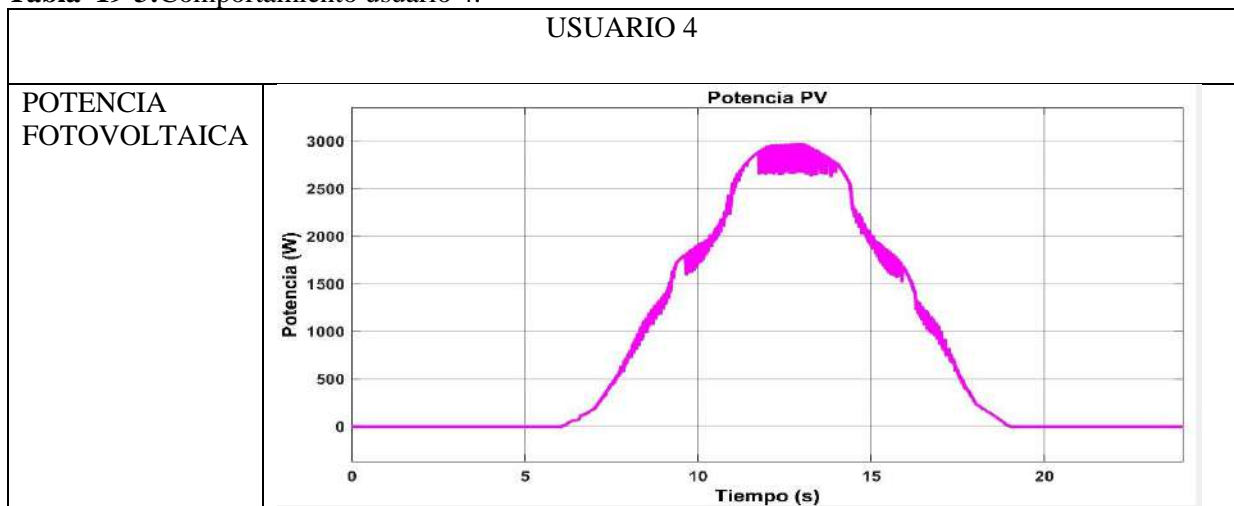
Tabla 18-3:Comportamiento usuario 3.

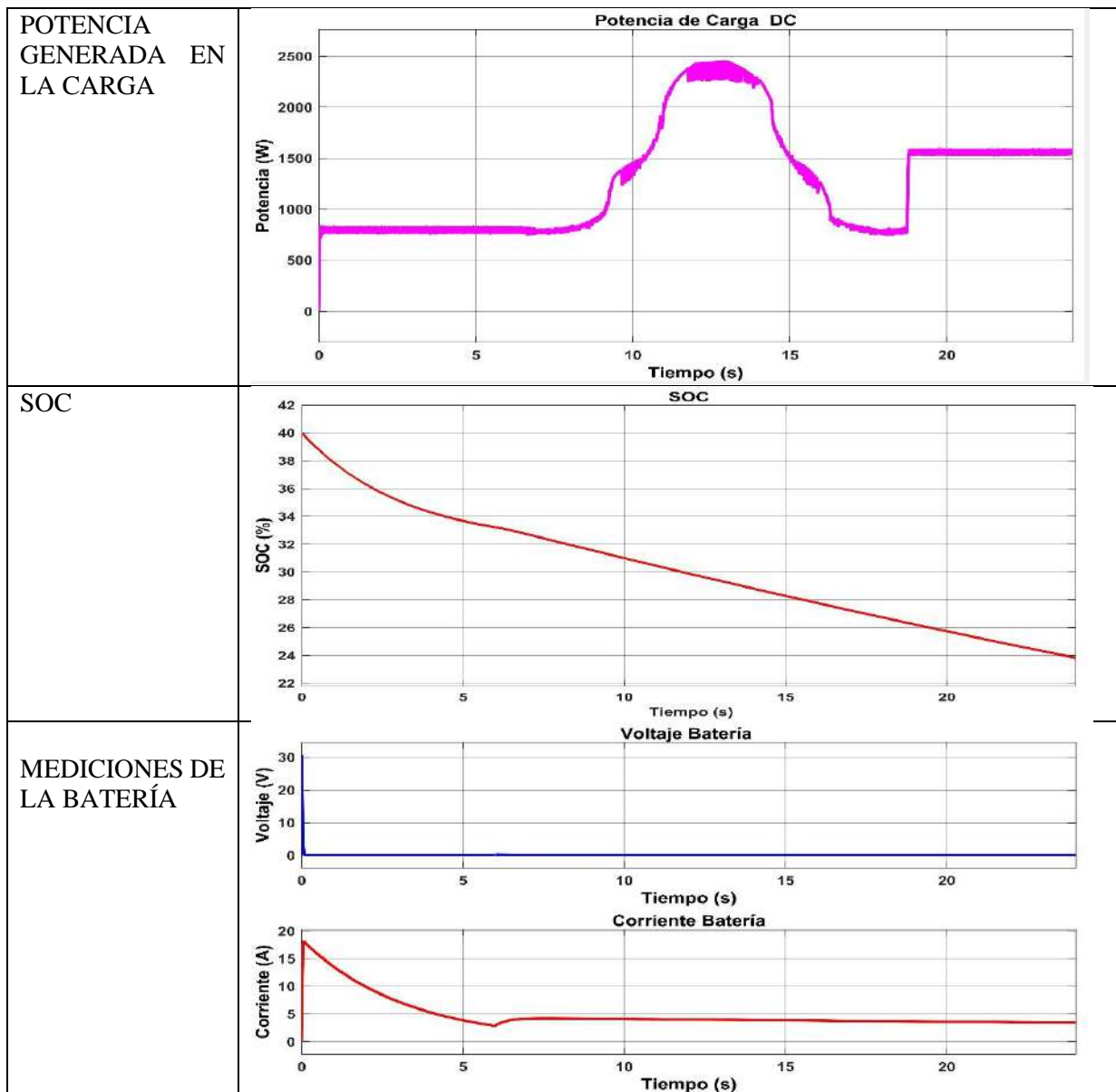




Realizado por: Cabrera. V .2022.

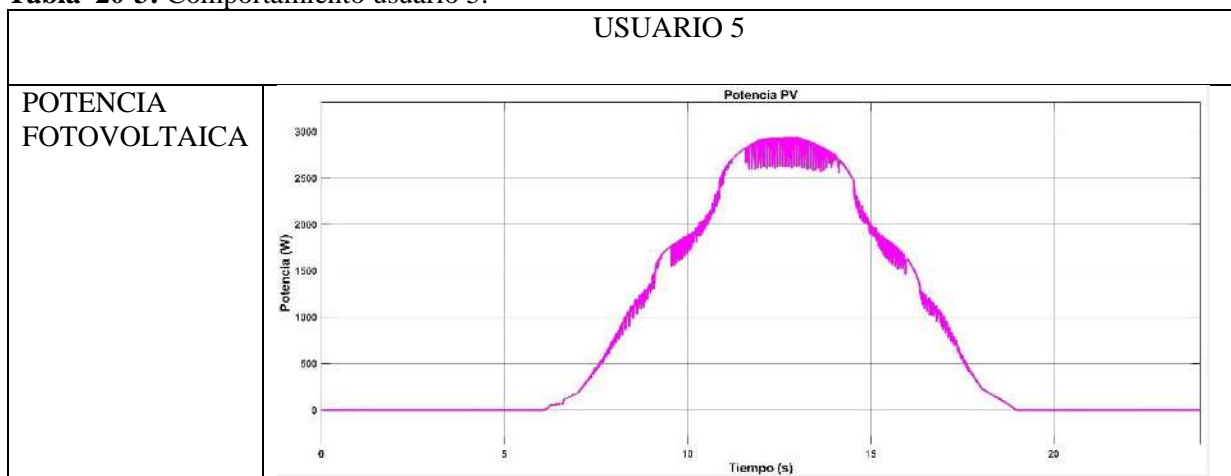
Tabla 19-3:Comportamiento usuario 4.

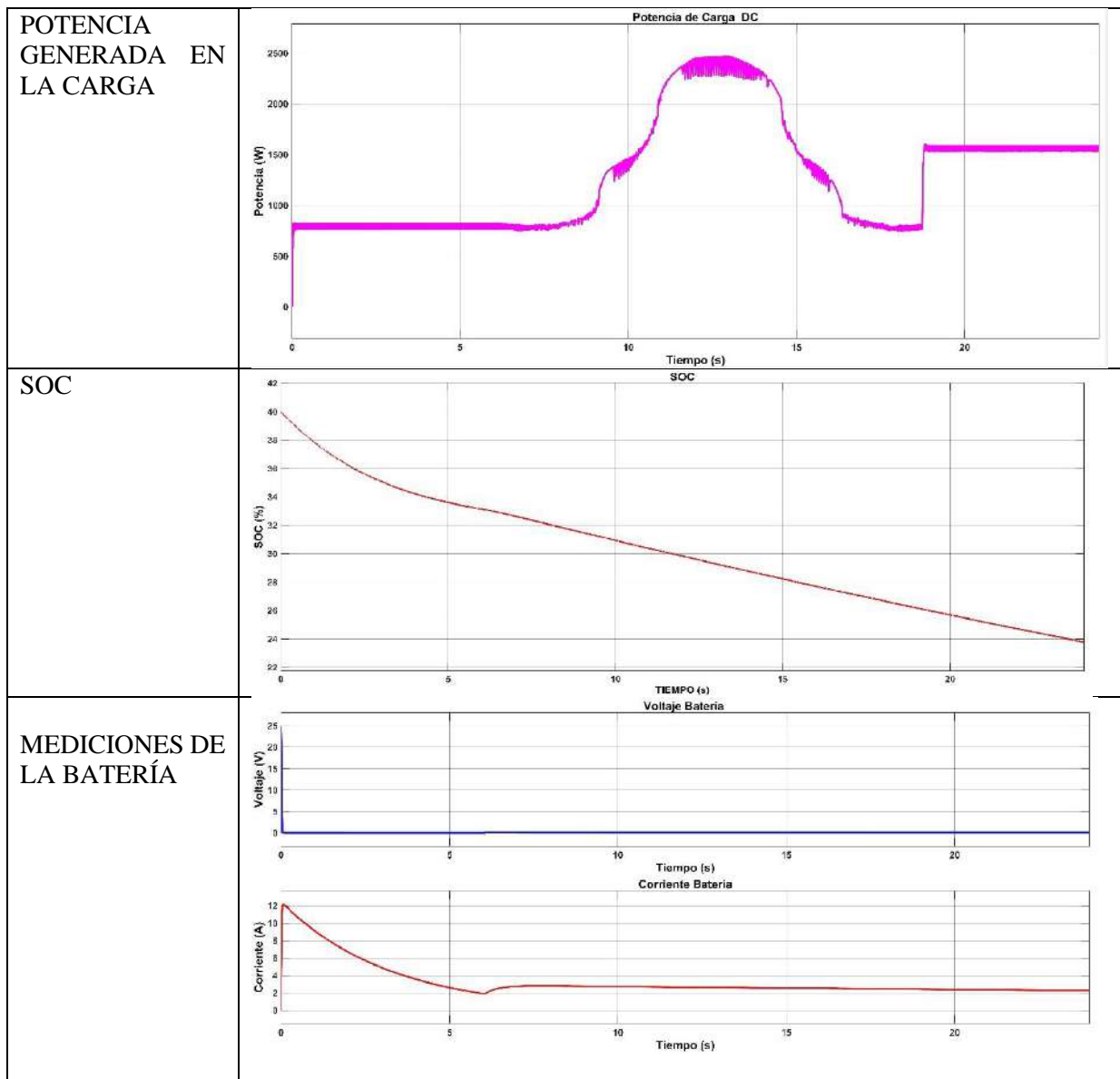




Realizado por: Cabrera. V .2022.

Tabla 20-3: Comportamiento usuario 5.





Realizado por: Cabrera. V .2022.

En este caso se realizó la simulación de la microred con una demanda de potencia de 800 W y una capacidad variante de la batería, una potencia fotovoltaica igual para todos los usuarios, se puso en una escala de 10 a 1 la capacidad de la batería, se puede observar las gráficas mostradas en las tablas 15-3 a la 20-3, cuando no hay generación fotovoltaica la batería cubre la potencia demandada por la carga, en este caso la capacidad de las baterías es alta por lo que puede abastecer la potencia consumida, en el momento que la generación fotovoltaica cubre la potencia consumida por la carga, experimenta un crecimiento en esta potencia debido a las perturbaciones en la potencia fotovoltaica generada y cuando no tiene perturbaciones se mantiene constante, por ello la batería se descarga de manera constante, la batería al llegar a descargarse más del 30% y no hay generación fotovoltaica por lo que entra en modo on-grid (conectado a la red), la potencia consumida experimenta un crecimiento y luego se mantiene estable.

Calculo de error cuadrático medio (RMSE)

Indicador

RMSE

Ecuación

$$\sqrt{\sum_{t=1}^n \frac{(X(t) - \hat{X}(t))^2}{N}}$$

Donde

$X(t)$ =valor actual

$\hat{X}(t)$ =valor de referencia

N= número de valores

Tabla 21-3: Resultados de error RMSE caso 1.

Usuario	Variable a controlar	Error Rmse PID (%)	Error Rmse Fuzzy (%)
3	Vbat	1.4798	2.6915
4	Vbat	1.4703	1.5259

Realizado por: Cabrera. V .2022.

Tabla 22-3: Resultados de error RMSE caso 2.

Usuario	Variable a controlar	Error Rmse PID (%)	Error Rmse Fuzzy (%)
3	Vbat	9.1552	1.4852
4	Vbat	9.0812	1.4863

Realizado por: Cabrera. V .2022.

Tabla 23-3: Valores totales de error RMSE

Control	Variable a controlar	Error promedio Rmse caso 1 (%)	Error Rmse promedio caso 2 (%)	Costo computacional
PID	Vbat	1.47	9.11	10 min
Fuzzy	Vbat	2.1087	1.4863	220 min

Realizado por: Cabrera. V .2022.

Se calcula el RMSE para los dos casos planteado comparando los dos controles de la batería, se utilizaron los usuarios 3 y 4 y se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla 21-3, se concluye que en el caso 1 el control PID tiene una mejor optimización de la variable de control, tiene un menor error RMSE a comparación del control fuzzy y en el caso 2 el control fuzzy tiene una mejor optimización ya que el error RMSE es menor que el error RMSE en el control PID.

CONCLUSIONES

- La microred implementada consta de los siguientes elementos; un sistema de generación fotovoltaico, un convertidor elevador, batería de níquel cadmio 12V a 150Ah, red de suministro eléctrico 230V a 50Hz, un control fuzzy tipo Mamdani para activar o desactivar la energía almacenada en la batería, un inversor, y un control del inversor, operando de esta manera en modo grid-on o en modo grid-off, teniendo una bidireccionalidad energética, optando por una generación residencial y un suministro de la red de distribución.
- En el primer caso con el control PID tiene una descarga muy baja ya que la capacidad puede abastecer la potencia en la carga cuando no hay generación fotovoltaica, no obstante, con el control fuzzy se evidencia una etapa de descarga mucho mayor necesitando una conexión por parte de la red luego de que los paneles ya no generen potencia y la batería este por debajo del 30%, concluyendo que el control PID trabaja de mejor manera en este caso con un error RMSE de 1.47% a comparación del Control fuzzy con un RMSE de 2.11%.
- En el segundo caso se evidencia que las perturbaciones por parte del PID son mas grandes que las del fuzzy, ya que al variar la capacidad de la batería y tener una generación fotovoltaica constante se crean oscilaciones, en el control fuzzy los resultados muestran que tiene un error RMSE del 1.48% a comparación del control PID que tiene un error RMSE de 9.11%, concluyendo que el control Fuzzy funciona de mejor manera para este caso.
- La función principal de las baterías es ser un ente regulador que equipara la generación y la demanda, es decir, que cuando exista exceso de generación estas se cargan y cuando la carga aumente entregan energía a la microred. Este comportamiento cíclico dependerá de la demanda estimada, que cambiará de acuerdo al lugar y costumbre de los consumidores.

RECOMENDACIONES

- Es recomendable hacer una metodología en base a los requerimientos del sistema para lograr un buen dimensionamiento y sacar los respectivos perfiles de carga para que funcione correctamente el sistema y tomar como referencia paneles solares que estén disponibles en el mercado.
- Para tener un adecuado modelado de la red de distribución es necesario hacerlo en base a criterios teóricos referenciales, y para evitar pérdidas de potencia en el sistema es necesario sobredimensionar a un 20 o 25% el panel solar para un mejor funcionamiento.
- Dependiendo de lo que desee el usuario puede poner más énfasis en una generación fotovoltaica mayor y una capacidad menor, o viceversa, dependiendo de su presupuesto.
- Para trabajar con perfiles de consumo variable y obtener una mejora en optimización y gestión energética se recomienda la implementación de algún algoritmo para la gestión de la carga en horarios de bajo, medio y alto consumo como el algoritmo genético, por ejemplo.
- Se recomienda utilizar un método de valoración para determinar si existe o no una mejora en el control y gestión energética.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL-ARCONEL. *Estadística anual y multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano.* 2018. pág. 102.

GAONA.E, MANCERA.P Y TRUJILLO.C. *Algoritmo de encaminamiento con reconfiguración de topología para red de sensores inalámbricos aplicada a una Microrred en modo "Isla".* 2017, Revista UIS Ingenierías, págs. 93-104.

SHANG, L, GUO, H Y ZHU, W. *An improved MPPT control strategy based on incremental conductance algorithm.* 28 de Junio de 2020, Prot Control Mod Power Syst 5, págs. 3-4.

ARCONEL. *Estadística Anual Multianual del sector Ecuatoriano 2018.* QUITO : CONELEC, 2018.

BERMEO RAMÓN, MICHAEL ALONSO Y BRAVO QUINGA, BRYAN DARWIN. *Diseño Y Simulación De Una Estrategia De Gestión Energética Para Microrredes Eléctricas Interconectadas.* 2019. págs. 20-25, Trabajo De Titulación, Previo A La Obtención Del Título De Ingenieros En Electrónica, Automatización Y Control. 039399.

BEVRANI, H Y HIYAMA, T. *Intelligent automatic generation control.* 2011.

CENTER SOLAR. *Cálculo y diseño de sistemas autónomos.* 2019.

CENTER, SOLAR. *Criterios de dimensionamiento de sistemas fotovoltaicos interconectados a la red.* 2019.

CHICA, A Y GUAMAN, J. *Modelo de estado estacionario de la microrred del laboratorio de balzay de la universidad de cuenca.* Cuenca : Universidad de cuenca, 2017.

CONELEC. Atlas solar del ecuador. *Atlas solar del ecuador.* [En línea] 8 de marzo de 2012. <http://biblioteca.olade.org/opac-tmpl/Documentos/cg00041.pdf>.

KOURO, S. Y MUSALEM, R. *Control mediante lógica difusa.* Técnicas Modernas en Automática, Vol. 1, págs. 1-7.

CORTÉS, JOSÉ. *Implementación de un sistema de control de temperatura para los hornos de termoformado de la maquina de láminas p7 de techoluz en tubasec c.a. riobamba : epoch,* 2017.

BERMEO, M.A Y BRAVO, B.D. *Diseño Y Simulación De Una Estrategia De Gestión Energética Para Microrredes Eléctricas Interconectadas.* Trabajo De Titulación, Previo A La Obtención Del Título De Ingenieros En Electrónica, Automatización Y Control. 2019, pág. 28.

DOKIĆ, B. y BLANUSA, B. *Power electronics.* s.l. : Springer, 2015. págs. 110-115.

DOMINGO, CLIMA SANTO. Climate-Data. *Climate-Data.* [En línea] 5 de Mayo de 2019. <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/santa-elena-province/santo-domingo-228128/>.

HASSAN, R Y RADMAN, G. *Encuesta sobre Smart Grid.* Actas de la IEEE SoutheastCon 2010 (SoutheastCon). págs. 210-213.

ENLIGTH. *Guía completa para la instalación de sistemas de energía solar y almacenamiento de energía para industrias.* Mexico : s.n., 2021, págs. 16-19.

PASCUAL MIQUELEIZ, J. M. *Estrategias avanzadas de gestión energética basadas en predicción para microrredes electrotérmicas.* 2016, págs. 8-9.

RUIZ, LUIS, Y OTROS. *Estudio del Algoritmo de Seguimiento de Punto de Máxima Potencia Perturbar y Observar.* 2010, Revista de ingeniería eléctrica, electrónica y computacion., págs. 18-19.

FERNANDEZ, SANANGO. [En línea] Junio de 2015. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22762/1/TESIS%20DESARROLLO%20DE%20UN%20ALGORITMO%20DE%20INTERRELACION%20PARA%20MICROREDES%20DE%20DISTRIBUCION%20EL%20ECTRICA.pdf>.

FORMACIÓN, E. *Energía solar fotovoltaica.* s.l. : FC Editorial, 2007.

FRAGOSO, R.M. *Estado del arte de energías alternativas .* Mexico : Tesis para obtencion del titulo de ingenieria civil., 2007.

TECNALIA, L. *Guía completa de la Generación Distribuida.* 2007, págs. 15-26.

HART, D. W., VUELAPLUMA Y BAUTISTA, A. B. *Electrónica de potencia.* Madrid : Prentice Hall, 2001. Vol. 32.

INTERNACIONAL., SOLAR ENERGY. Solar Energy Internacional (SEI). *Solar Energy Internacional (SEI).* [En línea] Diciembre de 2020. [https://es.solarenergytraining.org/..](https://es.solarenergytraining.org/)

LATA GARCÍA, J. C. Mejoras al dimensionamiento óptimo de sistemas híbridos con energías renovables. 2019 de 03 de 2019.

LÍNEA, A. Lógica difusa. [En línea] 23 de Noviembre de 2015. <http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/investigacion/mod/page/view.php?id=9131&inpopup=1>.

MOHA, N, UNDELAND Y ROBBINS. *Power Electronics"Converters, Aplicaciones,Design".* s.l. : [Libro].- [s.1]: Wiley jhon & Sons Inc,1995. - pag 161-199.

MOHAN, NED, UNDELAND, TORE Y ROBBINS, WILLIAM. *Power Electronics"Converters, Aplicaciones,Design".* s.l. : Wiley John & Sons Inc, 1995.

MUHAMMAD, H., RASHID. *Electronica de potencia.* Mexico : pearson educacion, 2015.

PROVIENTO S.A. Proyectos Realizados. *ProViento S.A.* [En línea] 2020. [Citado el: 25 de noviembre de 2021.] <https://proviento.com.ec/39-proyectos-realizados>.

RENOVAENERGÍA S.A. Los Sistemas Solares Fotovoltaicos reducen el costo de tu planilla eléctrica. *Renovaenergía.* [En línea] 2009. [https://www.renova-energia.com/.](https://www.renova-energia.com/)

RENOVAENERGÍA S.A. Proyectos Representativos. *Renovaenergía S.A.* [En línea] [Citado el: 25 de noviembre de 2021.] [https://www.renova-energia.com/la-empresa/proyectos-representativos/.](https://www.renova-energia.com/la-empresa/proyectos-representativos/)

SANTOS.A, COLMENAR, Y OTROS. *Generación.* Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia (España) : s.n., 2016.

SANZ, R. Arquitectura de Control Inteligente de Procesos. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid : Tesis Doctoral. Depto. De Automática, Ing. Electrónica e Informática Industrial, 1990.

SOLAR ENERGY, INTERNACIONAL. Solar Energy Internacional(SEI). [En línea] diciembre de 2020. [https://es.solarenergytraining.org/..](https://es.solarenergytraining.org/)

SOLAR, C. Cenitsolar. [En línea] 26 de 07 de 2016. http://www.cenitsolar.com/imagenes/esquema_asilada.jpg.

SRL, SER SOLAR. Ser Solar - Tecnología LED y Energía Solar. *sersolar.uy.* [En línea] 15 de Diciembre de 2020. <https://www.sersolar.uy/index.html>.

PALACIOS SOLORZANO, JUAN PABLO **ICON, SAMPER, MAURICIO EDUARDO** **ICON Y VARGAS, ALBERTO.** *Tarifación Dinámica de Redes Inteligentes de Distribución usando Optimización Multiobjetivo* 2016, Revista Técnica "Energía".

ANEXOS

ANEXO A:Ficha técnica del panel solar

www.jinkosolar.com

Jinko Solar
Building Your Dream in Solar

Tiger Pro 72HC

530-550 Watt

MONO-FACIAL MODULE

P-Type

Positive power tolerance of 0~+3%

ISO 14001:2015 (QC) / ISO 14001:2015 (EM)
ISO 9001:2015 Quality Management System
ISO 14001:2015 Environment Management System
ISO 45001:2018 Occupational Health and safety management system



MBS HC Technology

Key Features

 Multi Busbar Technology Better light trapping and current collection to improve module power output and reliability.	 Durability Against Extreme Environmental Conditions High salt mist and ammonia resistance.
 Reduced Hot Spot Loss Optimized electrical design and lower operating current for reduced hot spot loss and better temperature coefficient.	 Enhanced Mechanical Load Certified to withstand wind load (2400 Pascal) and snow load (2400 Pascal).
 Longer Life-time Power Yield 0.55% annual power degradation and 25 year linear power warranty.	 CE ISO 9001 ISO 14001 ISO 45001 POSITIVE QUALITY

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

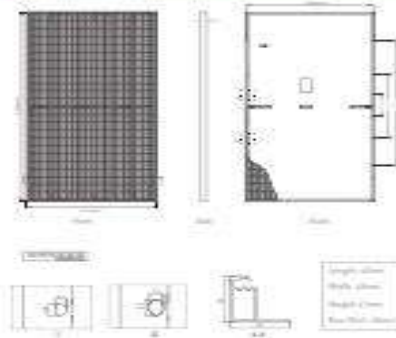


12 Year Product Warranty

25 Year Linear Power Warranty

0.55% Annual Degradation Over 25 years

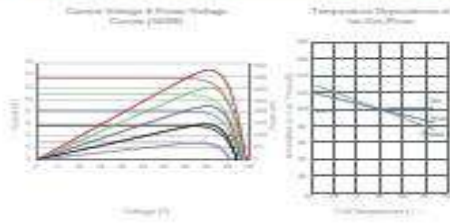
Engineering Drawings



Packaging Configuration

Dimensions in this sheet:
 Dimensions in millimeters, unless stated otherwise.

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	72 Cells Monocrystalline
Dimensions	1745x1040
Weight	22.2kg (49.0lb)
Mount Type	Standard Backsheet (EVA)
Mounting Hole	High Performance, Low Vibration, Extruded Steel
Mounting Hole	Standard Aluminum Extrusion
Mounting Hole	4x4 Bolt
Mounting Hole	100% Threaded
Mounting Hole	11.4mm, 11.4mm to 11.4mm length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKW550-T01A (60 Cells, 72 Cells)	JKW550-T01A (60 Cells, 72 Cells)	JKW550-T01A (60 Cells, 72 Cells)	JKW550-T01A (60 Cells, 72 Cells)	JKW550-T01A (60 Cells, 72 Cells)
Maximum Power (P _{max})	430Wp	430Wp	430Wp	430Wp	430Wp
Maximum Power Voltage (V _{mp})	40.2V	40.2V	40.2V	40.2V	40.2V
Maximum Power Current (I _{mp})	10.71A	10.71A	10.71A	10.71A	10.71A
Open-circuit Voltage (V _{oc})	47.2V	47.2V	47.2V	47.2V	47.2V
Short-circuit Current (I _{sc})	11.71A	11.71A	11.71A	11.71A	11.71A
Module Efficiency @ STC	20.8%	20.8%	20.8%	20.8%	20.8%
Operating Temperature (T _o)	-40°C ~ 85°C				
Maximum System Voltage	1500VDC (UL1741)				
Maximum System Current	20A				
Panel Protection	IP68				
Temperature coefficient of P _{max}	-0.40%/°C				
Temperature coefficient of V _{oc}	-0.30%/°C				
Temperature coefficient of I _{sc}	0.06%/°C				
Standard Operating Cell Temperature (SOCT)	25°C				

STC: ☀️ Irradiance 1000 W/m² 🌡️ Cell Temperature 25°C 📏 AM1.5
 NOCT: ☀️ Irradiance 800 W/m² 🌡️ Ambient Temperature 25°C 📏 AM1.5 🌬️ Wind Speed 1m/s

ANEXO B: Ficha técnica de la Batería



YINGDE AOKLY POWER CO., LTD

6GFM150G (12V/150Ah)

GENERAL FEATURES

- Longer cycle life: special paste formula, over dimensioned negative plate, optimized manufacturing process, additives for deep discharge.
- Special high quality separators boost up the battery internal performance.
- Using oxygen recombination technology, maintenance-free.
- Using patented GEL electrolyte, particularly designed for solar energy system.
- Wide operation temperature range: -40°C - +60°C
- Designed to have a lifespan of 12 years for float charging at 25°C
- High strength ABS battery container. (Flame-retardant ABS container is optional)



APPLICATIONS

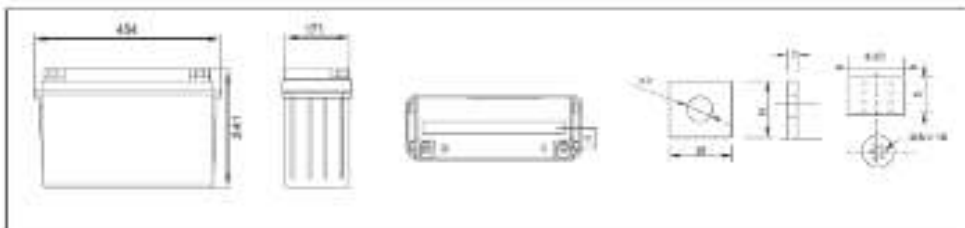
- Electric tools
- Vehicle in place of walking
- Lawn mowers
- Golf trolleys and golf cart
- Power system of special network or local area network
- Electric toys
- Railway and marine systems
- Fire alarms
- Solar and wind power system
- Electric wheelchairs
- Medical equipment



SPECIFICATIONS

Model	Nominal Voltage	12V			
	Rated Capacity (10hr-rate)	150Ah			
Dimensions	Length	Width	Height	Total Height	
	484mm (19.08")	171mm (6.73")	241mm (9.49")	241mm (9.49")	
Weight	Approx. 44.2kg±3%				
Capacity @25°C (77°F)	20 Hour (15A, 10.8V)	5 Hour (25.6A, 10.5V)	3 Hour (22.6A, 10.2V)	1 Hour (21.5A, 9.8V)	
	150Ah	126Ah	113Ah	82.5Ah	
Internal Resistance	Fully charged at 25°C, approx. 3.5mΩ				
Max. Discharge current	1500A (3 Sec.)				
Capacity Affected by Temp. (20hr)	40°C (104°F)	25°C (77°F)	0°C (32°F)	-15°C (5°F)	
	102%	100%	83%	83%	
Self Discharge Rate @25°C (77°F)	After 3 months Storage		After 6 months Storage		After 12 months Storage
	81%		82%		84%
Charge Method	Cycle Use			Float Charging	
	14.1-14.4V (initial current less than 50A) @25°C (77°F)			13.5-13.8V@25°C (77°F)	

DIMENSIONS & TERMINALS

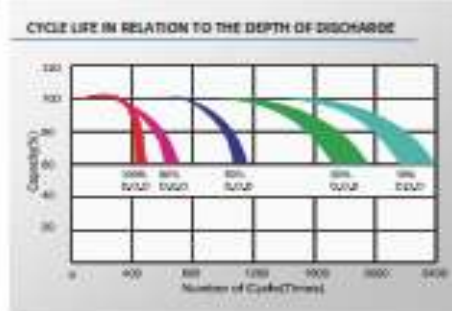
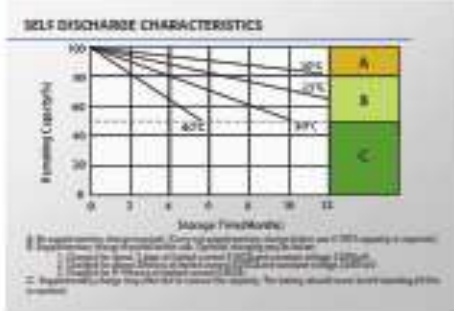
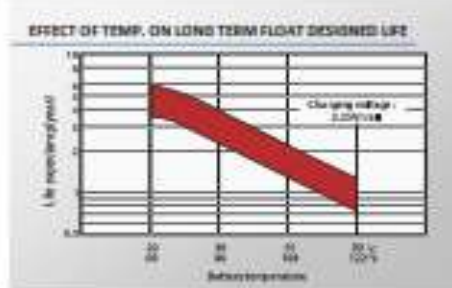
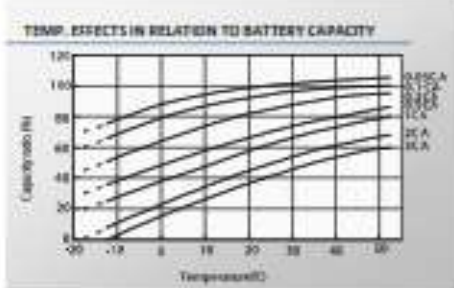
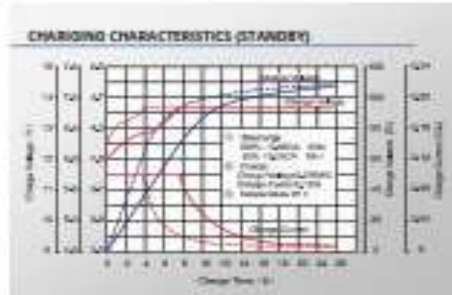
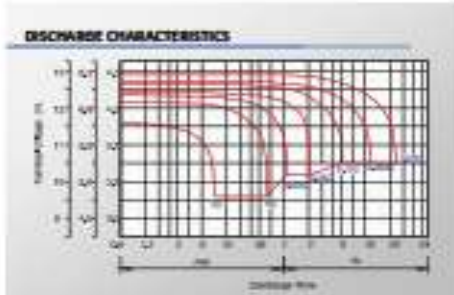


PI/2



PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Constant Current (Amp.) and Constant Power (Watt) Discharge Table @25°C (77°F)													
Cell Voltage	Time	Discharge Time											
		3min	10min	15min	30min	1hr	2hr	3hr	4hr	5hr	8hr	10hr	20hr
9.80V	A	942.00	281.00	235.00	157.00	83.00	48.00	35.50	27.80	22.80	18.20	14.50	7.80
	W	9587.00	5110.00	5117.00	5897.00	884.00	530.00	494.70	510.30	708.80	883.00	187.40	91.00
10.20V	A	838.00	283.00	223.00	138.00	78.00	46.00	34.50	26.80	21.80	15.20	14.20	7.80
	W	4372.00	2834.00	2474.00	2689.00	860.00	531.00	388.50	312.80	260.80	284.10	187.00	88.00
10.50V	A	738.00	285.00	223.00	141.00	75.00	43.00	33.20	26.50	21.10	15.80	13.90	7.80
	W	4322.00	2674.00	2206.00	1820.00	873.00	522.00	382.30	321.00	208.90	283.40	184.80	88.70
10.80V	A	639.00	287.00	226.00	146.00	73.00	44.00	31.80	26.30	21.50	15.20	13.80	7.80
	W	4478.00	2534.00	2270.00	2301.00	848.00	514.00	487.30	308.00	254.50	279.00	164.00	88.80
11.10V	A	586.00	288.00	268.00	156.00	70.00	43.00	31.20	25.40	21.00	14.80	13.10	7.20
	W	4374.00	2403.00	1931.00	3356.00	828.00	506.00	377.10	302.40	230.50	178.80	158.50	85.50




```

1 - clc, clear all, close all
2
3
4 %% x =SOC
5 % X =0-100(SOC_X)
6 % Baja = 100;0,0,30,50(SOC_B) Media = 100;40,60,80(SOC_M) Alta = 100,70,90,100,100(SOC_A)
7 - SOC_X = 1:1:100;
8 - SOC_B = trapmf(SOC_X,[0,0,25,55]);
9 - SOC_M = trimf(SOC_X,[25,55,85]);
10 - SOC_A = trapmf(SOC_X,[55,85,100,100]);
11
12 - figure(1)
13 - plot(SOC_B,'LineWidth',3),hold on
14 - plot(SOC_M,'LineWidth',3),hold on
15 - plot(SOC_A,'LineWidth',3), xlim([0, 100])
16 - set(gca,'FontSize',18,'LineWidth',2)
17 - xlabel('SOC, Bateria'),ylabel('u (Pertenenencia)')
18 - legend('Carga Baja','Carga Media','Carga Alta')
19
20 %% x =Error de Potencia
21 % X =-1100 1100(EP_X)
22 % Error_Negativo = 2200;-1100,-1100,-20,20(EP_N) Error Positivo = 2200:-20,40,1100,1100(EP_P)
23
24 - EP_X = -1100:1:1100;
25 - EP_N = trapmf(EP_X,[-1100,-1100,-100,100]);
26 - EP_P = trapmf(EP_X,[-100,100,1100,1100]);
27
28 - figure(2)
29 - plot(EP_X,EP_N,'LineWidth',3),hold on
30 - plot(EP_X,EP_P,'LineWidth',3), xlim([-1100, 1100])
31 - set(gca,'FontSize',18,'LineWidth',2)
32 - xlabel('W,error potencia'),ylabel('u (Pertenenencia)')
33 - legend('Error Negativa','Error Positivo')
34
35 %% x =EB Estado Bateria
36 % X =0,100(EB_X)
37 % T = Bateria Descarga = 100;0,0,40,60(EB_D) Bateria Carga = 100;-40,60,100,100(EB_C)
38
39 - EB_X = 1:1:100;
40 - EB_D = trapmf(EB_X,[0,0,40,60]);
41 - EB_C = trapmf(EB_X,[40,60,100,100]);
42
43 - figure(3)
44 - plot(EB_D,'LineWidth',3), hold on
45 - plot(EB_C,'LineWidth',3), xlim([0, 100])
46 - set(gca,'FontSize',18,'LineWidth',2)
47 - xlabel('Estado Carga'),ylabel('u (Pertenenencia)')
48 - legend('Bateria Descarga','Bateria Carga')
49
50 %% datos entrada controlador
51 %entrada SOC Bateria
52 - x=40;
53 - y=-100;

```

ANEXO D: Valores Horarios de Irradiancia y Temperatura

Tiempo (H)	Irradiancia	Temperatura
0	0	19
1	0	19
2	0	19
3	0	19
4	0	19
5	0	19
6	0	19
7	33	19
8	127	19
9	235	20
10	318	21
11	401	22
12	465	23
13	475	24
14	428	23
15	353	23
16	254	23
17	162	22
18	46	21
19	0	20
20	0	19
21	0	19
22	0	20
23	0	19

ANEXO E: Algoritmo MPPT

```
1      % f= 10000hz (G)
2      function D = INC(V, I)
3
4      Dinit = 0.42; %Initial value for D output
5      Dmax = 0.95; %Maximum value for D
6      Dmin = 0.01; %Minimum value for D
7      deltaD = 0.000005; %Increment value used to increase/decrease the duty cycle
8
9      persistent Vold Pold Dold M Iold;
10
11      dataType = 'double';
12
13      if isempty(Vold)
14          Vold=0;
15          Pold=0;
16          Iold=0;
17          Dold=Dinit;
18          M=1;
19      end
20      P= V*I;
21      dV= V - Vold;
22      dP= P - Pold;
23      dI= I - Iold;
24      M=1;
25
26      if M < 0.005
27          D=Dold;
28      else
29          if dV == 0
30              if dI == 0
31                  D=Dold - (M*deltaD);
32              else
33                  D=Dold + (M*deltaD);
34              end
35          else
36              if dI/dV == -I/V
37                  D=Dold;
38              elseif dI/dV > -I/V
39                  D=Dold - (M*deltaD);
40              else
41                  D=Dold + (M*deltaD);
42              end
43          end
44      end
45      end
46
47      if D >= Dmax || D <= Dmin
48          D=Dold;
49      end
50
51      Dold=D;
52      Vold=V;
53      Pold=P;
54      Iold=I;
```



epoch

**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 05 / 10 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: VICENTE ANDRES CABRERA PEREZ
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Carrera: ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Título a optar: INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.

1855-DBRAI-UPT-2022