



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

**“MODELADO Y SIMULACIÓN DE UNA MICRO-RED
INTELIGENTE APLICANDO CONTROL FUZZY-
GENÉTICO PARA LA ÓPTIMA GESTIÓN ENERGÉTICA
EN ESCENARIOS PROSUMERS”**

Trabajo de Titulación:

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES:

CRISTIAN WILSON TAPIA ALVARADO.

DIANA KAROLINA ULLOA MENTA.

Riobamba – Ecuador

2022



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

**“MODELADO Y SIMULACIÓN DE UNA MICRO-RED
INTELIGENTE APLICANDO CONTROL FUZZY-GENÉTICO
PARA LA ÓPTIMA GESTIÓN ENERGÉTICA EN ESCENARIOS
PROSUMERS”**

Trabajo de Titulación:

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN

AUTORES: CRISTIAN WILSON TAPIA ALVARADO.

DIANA KAROLINA ULLOA MENTA.

DIRECTOR: ING. MAYRA ALEJANDRA PACHECO CUNDURI M.Sc

Riobamba – Ecuador

2022

©2022, Cristian Wilson Tapia Alvarado; Diana Karolina Ulloa Menta.

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.

Nosotros, **CRISTIAN WILSON TAPIA ALVARADO** y **DIANA KAROLINA ULLOA MENTA**, declaramos que el presente trabajo de titulación es de nuestra autoría y los resultados de este, son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos 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, 4 de marzo del 2022



Diana Karolina Ulloa Menta
C.I: 020213301-3



Cristian Wilson Tapia Alvarado
C.I: 110576380-7

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE 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 SIMULACIÓN DE UNA MICRO-RED INTELIGENTE APLICANDO CONTROL FUZZY-GENÉTICO PARA LA ÓPTIMA GESTIÓN ENERGÉTICA EN ESCENARIOS PROSUMERS**”, realizado por **CRISTIAN WILSON TAPIA ALVARADO** y **DIANA KAROLINA ULLOA MENTA**, 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
Ing. Andrés Fernando Morocho Caiza PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 ANDRES FERNANDO MOROCHO CAIZA	4-marzo-2022
Ing. Mayra Alejandra Pacheco Cunduri DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN.	 MAYRA ALEJANDRA PACHECO CUNDURI	4-marzo-2022
Ing. Fausto Ramiro Cabrera Aguayo MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 FAUSTO RAMIRO CABRERA AGUAYO	4-marzo-2022

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación está dedicado a las personas que contribuyeron en mí para poder hacer realidad mis metas de forma especial a mi mamá Susana Alvarado, mi hermana Jenny Tapia y a Jorge Torres por estar presentes en mi ser, brindándome motivación y depositando confianza en mis estudios universitarios.

A mis amigos, familiares, compañeros de carrera, docentes de cátedra, por compartir experiencias, ciencia tanto en el ámbito educativo, social y extracadémico.

Cristian Tapia.

El presente trabajo está dedicado a mis padres Edison Ulloa y Anita Menta que han sido el pilar fundamental para poder culminar mi carrera universitaria.

A mi abuelita María Trinidad Sánchez que siempre me apoyo y creyó en mí para jamás rendirme. A todos mis familiares, amigos y docentes me han aportado en mi formación personal y académica.

Diana Ulloa

AGRADECIMIENTO

Al pilar fundamental del hogar, mi familia que a pesar de la distancia siempre estaban cuando los necesitaba, son quienes guiaron mis pasos para cumplir mi meta. De igual manera, a la Ing. Mayra Pacheco, Ing. Pablo Lozada, Ing. Fausto Cabrera e Ing. José Guerra, por ser guías para la realización del presente trabajo de titulación, quienes nos apoyaron para la culminación de esta etapa.

Cristian Tapia.

Agradezco a mis padres, mis hermanos, mis abuelitos, mi cuñada y a todas las personas que a lo largo de estos años me han brindado su ayuda permitiéndome culminar esta bonita etapa de mi vida. Agradecida con mis docentes que marcaron mi etapa educativa: Ing. Mayra Pacheco, Ing. Pablo Lozada, Ing. Fausto Cabrera e Ing. Jesús Rodríguez

Diana Ulloa

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS	xv
RESUMEN	xvi
SUMMARY	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	MARCO TEÓRICO	5
1.1	Tipos de generación de la energía.....	5
1.1.1	<i>Análisis comparativo de los tipos de generación de energía</i>	5
1.2	Red eléctrica inteligente	6
1.2.1	<i>Perfil De Carga</i>	10
1.2.2	<i>Tecnologías de generación distribuida</i>	10
1.2.3	<i>Panel solar</i>	12
1.2.3.1	<i>Análisis de selección del panel solar.</i>	14
1.2.4	<i>Batería</i>	15
1.2.4.1	<i>Análisis de selección de la batería.</i>	17
1.2.5	<i>Convertidor dc-dc</i>	18
1.2.6	<i>Algoritmo de seguimiento MPPT</i>	21
1.2.7	<i>Convertidor dc-ac</i>	24
1.2.7.1	<i>Análisis comparativo del inversor monofásico</i>	26
1.2.8	<i>Control clásico VS control moderno</i>	27
1.2.9	<i>Control Inteligente</i>	27
1.2.9.1	<i>Control por lógica difusa</i>	28
1.2.9.2	<i>Algoritmo genético</i>	31
1.2.9.3	<i>Control fuzzy-genético</i>	35
1.2.9.4	<i>Redes neuronales</i>	36
1.3	Criterios de dimensionamiento de una micro-red	36

1.3.1	<i>Panel Solar</i>	36
1.3.2	<i>Sistema de almacenamiento de energía local</i>	38
CAPITULO II		
2.	MARCO METODOLÓGICO	40
2.1	Requerimientos para la arquitectura del modelo de la micro-red.	40
2.2	Concepción de la arquitectura de la micro-red.	41
2.2.1	<i>Consumo de carga del usuario prosumer</i>	43
2.2.2	<i>Dimensionamiento del panel</i>	44
2.2.3	<i>Dimensionamiento de los sistemas de almacenamiento de energía</i>	45
2.2.4	<i>Datos de irradiancia</i>	45
2.2.5	<i>Datos de temperatura</i>	46
2.3	Arquitectura del modelo de la micro-red para Matlab/Simulink	48
2.3.1	<i>Subsistema usuario</i>	49
2.3.2	<i>Subsistema panel solar</i>	49
2.3.3	<i>Subsistema MPPT -Buck</i>	50
2.3.3.1	<i>Control MPPT- INC PV</i>	50
2.3.3.2	<i>Convertidor Buck</i>	51
2.3.4	<i>Subsistema batería</i>	51
2.3.5	<i>Subsistema carga prosumer</i>	52
2.3.5.1	<i>Potencia prosumer</i>	52
2.3.5.2	<i>Error de potencia</i>	53
2.3.6	<i>Subsistema de batería comunitaria</i>	53
2.3.7	<i>Subsistema de Control y gestión prosumer</i>	53
2.3.7.1	<i>Algoritmo genético en la potencia del prosumer</i>	53
2.3.7.2	<i>Control Fuzzy de la batería prosumer</i>	55
2.3.7.3	<i>Control Fuzzy de la Red Eléctrica</i>	57
CAPITULO III		
3.	Resultado y Discusión	59
3.1	Casos de estudio	59
3.2	Resultados y comportamiento del control fuzzy-genético y control rule base.	62
3.2.1	<i>Análisis del sistema aplicando un control fuzzy-genético.</i>	62
3.2.2	<i>Análisis del sistema aplicando un control rule base.</i>	63
CONCLUSIONES		80
RECOMENDACIONES		82
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Cotejo de generación de energía.	6
Tabla 2-1:	Datos de la curva de carga residencial.	8
Tabla 3-1:	Ventajas y desventajas de los tipos de tecnologías de generación distribuida.	11
Tabla 4-1:	Comparativa de paneles solares en base a la información OCU, pv Europe y SunFields.	15
Tabla 5-1.	Comparativa de baterías según el mercado ecuatoriano.	17
Tabla 6-1:	Ecuaciones características de los convertidores dc-dc.	21
Tabla 7-1:	Análisis comparativo de algoritmos MPPT.....	23
Tabla 8-1:	Ventajas y desventajas de convertidores DC-AC.....	26
Tabla 9-1:	Control clásico vs control moderno.	27
Tabla 10-1:	Tipo de funciones de transferencia.....	29
Tabla 11-1:	Tipo de sistema en función a los rangos de operación.	38
Tabla 1-2:	Características del panel seleccionado.	40
Tabla 2-2:	Características de la batería seleccionada.	40
Tabla 3-2:	Características del convertidor seleccionado.....	41
Tabla 4-2:	Datos de potencia máxima y mínima.	43
Tabla 5-2:	Perfil de carga base para generación de n número de usuarios prosumer.	44
Tabla 6-2:	Resultados de dimensionamiento del panel solar.	45
Tabla 7-2:	Resultados del desarrollo del ítem 1.4.2.....	45
Tabla 8-2:	Características del algoritmo genético.	54
Tabla 9-2:	Representación tabular de la información de entrada y salida del control fuzzy.	56
Tabla 10-2:	Representación tabular de la información de entrada y salida del control fuzzy de la red.	58
Tabla 1-3:	Perfiles de irradiancia y temperatura por usuario prosumer.	59
Tabla 2-3:	Graficas resultantes por número de caso del control fuzzy-genético VS control rule base.	64

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Curva de demanda carga residencial.....	8
Gráfico 1-2: Datos de irradiancia solar (W/m ²) vs Tiempo (s).	46
Gráfico 2-2: Líneas de datos de Temperatura (°C) vs Tiempo (s).	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Consumo promedio mensual de electricidad por empresa distribuidora y grupo de consumo.....	7
Figura 2-1:	Arquitectura de una micro-red.....	9
Figura 3-1:	Características principales de las tecnologías de generación.	10
Figura 4-1:	Eficiencia de la célula y salida de potencia del módulo solar por diferentes tipos.	13
Figura 5-1:	Diagrama esquemático de una celda de Plomo-acido.	16
Figura 6-1:	Diagrama esquemático de una celda de Litio.	16
Figura 7-1:	Topología del convertidor reductor (Buck).	18
Figura 8-1:	Estado del convertidor Buck. a) switch on. b) switch off.	19
Figura 9-1:	Topología del convertidor elevador (Boost).	19
Figura 10-1:	Estados del convertidor Boost a) switch on y b) switch off.....	20
Figura 11-1:	Topología de convertidor tipo reductor-elevador (Buck-boost).....	20
Figura 12-1:	Algoritmo Perturbar y Observar.	22
Figura 13-1:	Diagrama de flujo algoritmo incremental.	23
Figura 14-1:	Estudio de potencia Vs tiempo de los algoritmos MPPT P&O y IC.....	24
Figura 15-1:	Inversor de medio puente monofásico.	25
Figura 16-1:	Esquema del inversor (a) y Diagrama de tiempos de voltaje y corriente.	26
Figura 17-1:	Lazo de control difuso.....	28
Figura 18-1:	Identificación de componente de la lógica difusa.	29
Figura 19-1:	Proceso del sistema de inferencia difusa.	30
Figura 20-1:	Proceso del sistema de inferencia difusa.	31
Figura 21-1:	Estructura básica de un algoritmo genético.....	32
Figura 22-1:	Datos obtenidos de la ciudad de Riobamba mediante Solar App- CCEEA.....	37
Figura 1-2:	Elementos y características de la micro-red a simular.	42
Figura 2-2:	Datos promedios anuales de temperatura de la ciudad de Riobamba.....	47
Figura 3-2:	Datos promedios de temperatura por horas.	48
Figura 4-2:	Subsistema Usuario.	49
Figura 5-2:	Caracterización del subsistema panel solar.....	49
Figura 6-2:	Curva de I-V del panel fotovoltaico.	50
Figura 7-2:	Bloque del convertidor dc-dc y el algoritmo MPPT.	50

Figura 8-2:	Control MPPT- IC PV.....	51
Figura 9-2:	Convertidor implementado tipo Buck.....	51
Figura 10-2:	Sistema de carga o descarga de la batería.....	52
Figura 11-2:	Bloque de potencia del usuario prosumer.....	53
Figura 12-2:	Bloque de error.....	53
Figura 13-2:	Diagrama de bloque del algoritmo genético.	55
Figura 14-2:	Bloque de control de la batería en Simulink.....	55
Figura 15-2:	Diagrama de bloques para el control fuzzy de la batería	56
Figura 16-2:	Control de conmutación red eléctrica, red renovable.....	57
Figura 17-2:	Diagrama de bloques para el control fuzzy para la conexión o desconexión a la red.	57

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1-1:	Potencia en función de energía sobre tiempo.	7
Ecuación 2-1:	Función gaussiana	30
Ecuación 3-1:	Función sigmoidea	30
Ecuación 4-1:	Consumo diario para el usuario prosumer.	37
Ecuación 5-1:	Consumo diario dimensionado para el usuario prosumer.	37
Ecuación 6-1:	Potencia del panel fotovoltaico.	38
Ecuación 7-1:	Número de módulos fotovoltaicos.....	38
Ecuación 8-1:	Ah/día	38
Ecuación 9-1:	Batería paralelo.	39
Ecuación 10-1:	Baterías de serie	39

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: Programa de Interpolación.

ANEXO B: Ficha Técnica JINKO JKM340M-60H

ANEXO C: Ficha Técnica de la batería GEL BATTERY 12 V 100 AH

ANEXO D: Datos para el dimensionamiento del panel según cceea.mx

ANEXO E: Tabla de Irradiancia solar (W/m^2) para los 15 usuarios prosumers ciudad de Riobamba a cuartos de hora.

ANEXO F: Datos de Temperatura para los 15 usuarios prosumers de la ciudad de Riobamba.

ANEXO G: Control y gestión de la red de distribución.

ANEXO H: Control de la batería.

ANEXO I: Código de algoritmo genético.

ANEXO J: Algoritmo MPPT.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

PCC: punto de acoplamiento común.

DG: generación distribuida.

RNA: redes neuronales artificiales.

EMS: sistema de gestión energética.

AGs: algoritmo genético.

NIST: Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de los Estados Unidos.

EPRI: Instituto de Investigación Eléctrica.

ECR: Comisión Europea de Investigación.

IEC: Comisión Electrotécnica Internacional.

HAN: Red de área domestica (Home Area Network).

SOC: estado de carga.

DOD: profundidad de descarga.

MCC: modo de conducción continua.

MCD: modo de conducción discontinua.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo de investigación fue modelar y simular de una micro-red inteligente aplicando un control fuzzy-genético para la óptima gestión energética en escenarios que incluyan usuarios tipo prosumer. Para el proceso se realizó un estudio de perfil de carga residencial, obtención de datos de irradiancia y temperatura, para el dimensionamiento de una micro-red con tecnología fotovoltaica operando en modo grid-on, interconectado a la red. Respecto a la simulación se utilizó el software Matlab/Simulink 2018b para implementar los elementos que componen una micro-red. El control inteligente implementado es un fuzzy-genético desarrollado en un script, aplicando un controlador fuzzy tipo Mamdani y un algoritmo genético genérico. Para validar se comparó con un control rule base para una gestión y optimización energética. El control fuzzy-genético, con el AGs nos da una maximización de los parámetros de potencia, obteniendo un comportamiento dinámico en tiempo cuarto-horarios. El controlador fuzzy gestiona el estado de carga de batería, teniendo una carga en horario [7:30 a 17:30]h, la descarga a partir de 17:30 h abarcando una demanda máxima de [18:00 a 22:00]h con un rango de potencia de [95 -116]W y la conexión con la red de distribución. No obstante, el control rule base establece reglas obteniendo un estado de carga oscilatorio y un perfil de carga lineal con un comportamiento estático. Se concluye que el control fuzzy-genético implementado en la micro-red gestiona el consumo y generación, solventando en el tiempo de mayor demanda prosumer, obteniendo una minimización al costo energético. No obstante, el control rule base es un on-off, obteniendo una mala gestión en zona de mayor demanda. Obteniendo una optimización del 5%. Se recomienda en la investigación que se aplique variables de costo energético y tiempo de mayor demanda, para visualizar la gestión y transacciones energéticas que realiza un usuario.

Palabras clave: <TECNOLOGÍA Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <INTELIGENCIA ARTIFICIAL>, <ELECTRÓNICA DE POTENCIA>, <CONTROL FUZZY Y GENÉTICO>, <MICRO-RED INTELIGENTE>, <GESTIÓN ENERGÉTICA>, <USUARIO PROSUMER>, <OPTIMIZACIÓN>.



0170-DBRA-UPT-2022

2022-01-31

SUMMARY

The objective of this research work was to model and simulate a micro-smart grid applying a fuzzy-genetic controller for optimal energy management in environments including prosumer users. For the process, a residential load profile study was carried out, obtaining data of irradiance and temperature for the dimensioning of a micro-smart grid with photovoltaic technology operating in grid-on mode, interconnected to the network. According to the simulation, the Matlab/Simulink 2018b software was used to implement the elements that make up a micro-smart grid. The intelligent control implemented is a fuzzy genetic developed in a script, applying a fuzzy controller type Mamdani and a generic genetic algorithm to validate was compared with a base rule control for energy management and optimization. The control fuzzy-genetic with the AGs maximizes the power parameters, obtaining a dynamic behavior in a quarter hour. The fuzzy controller manages the state of battery charge, having a charge in hours [7:30 to 17:30], discharge from 17:30 covering a maximum demand from [18:00 to 22:00]h with a power range of [95 - 116]W and connection to the distribution network. However, the rule base control sets rules obtaining an oscillatory load state and a linear load profile with a behavior static. It is concluded that the fuzzy-genetic control implemented in the micro-network manages the consumption and generation, solving in the time of greater prosumer demand, obtaining a minimization of energy cost. However, the base rule control is an on-off, getting poor management in the area of greatest demand, obtaining an optimization of 5%. It is recommended in the research that variables of energy cost and time of greater demand are applied to visualize the energy management and transactions carried out by a user.

Keywords: <TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCE>, <ARTIFICIAL INTELLIGENCE>, <POWER ELECTRONICS>, <FUZZY AND GENETIC CONTROL> <MICRO-SMART GRID>, <ENERGY MANAGEMENT>, <PROSUMER USER>.



Firma: electrónicamente por:
LENIN
IVAN LARA

INTRODUCCIÓN

El presente escrito explica el proceso y elaboración de la implementación realizada en el software Matlab-Simulink 2018b del tema modelado y simulación de una micro-red inteligente aplicando un control fuzzy-genético para la óptima gestión energética en escenarios que incluyan usuarios tipo prosumers. La simulación contiene elementos tales como: un bloque de datos, un sistema de almacenamiento, bloque panel fotovoltaico, un convertidor DC, un algoritmo MPPT, un control difuso empleando el método Mamdani para gestionar la bidireccionalidad energética, un algoritmo genético para maximizar la potencia demandada por el usuario, obtenido de esta forma el control fuzzy-genético.

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 Riobamba y dando apertura de temas como el que actualmente nos encontramos describiendo en el documento.

El estudio se realizó con 15 perfiles de irradiancia, temperatura y carga de usuarios prosumer, dado el costo computacional requerido se implementó un escenario con 3 sistemas, en consecuencia, se creó 5 casos de estudio en donde se valora la eficiencia energética otorgada por el sistema de control donde se evaluó parámetros como potencia prosumer, error de potencia y estado de la batería concluyendo mediante graficas una valoración de gestión óptima de un 5 %.

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.

Investigar los elementos y características que componen una micro-red inteligente.

Modelar la micro-red inteligente desde el punto de vista de red de distribución para 15 usuarios tipo prosumers.

Diseñar y simular los algoritmos de control fuzzy-genéticos para su óptima gestión energética de la micro-red en el software Matlab/Simulink.

Valorar la mejora en la gestión energética que aporta el sistema de control fuzzy- genético comparado con un rule-base.

Estos objetivos se encuentran desarrollados en:

El **capítulo I**, se da a conocer el estudio bibliográfico relacionado al tipo de generación de energía, red eléctrica inteligente y criterios de dimensionamiento que otorgaron el conocimiento necesario e indispensable para la realización de la investigación.

En el **capítulo II**, contiene 3 fases de desarrollo para poder crear el control fuzzy genético para una micro-red en la que incluye usuarios tipo prosumer, en la primera fase se obtienen los parámetros para el modelado, en la segunda fase se implementan los elementos de electrónica de potencia para tener un usuario prosumer, en la última fase da lugar al control fuzzy-genético en la batería y para red eléctrica.

En el **capítulo III**, muestra los resultados y comparativas de la gestión energética dada por el control rules base y el control fuzzy-genético en una micro-red con usuarios tipo prosumer.

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Las redes de energía eléctrica se orientan hacia un modelo de generación distribuida, en el cual, las fuentes renovables obtendrán un considerable protagonismo y los mencionados prosumidores conjeturarán una transformación radical (PwC global power & utilities 2014). El prosumers posee la posibilidad de satisfacer sus necesidades y al mismo tiempo tiene la opción de comercializar energía eléctrica y/o almacenarla (Palacios Solorzano, Samper y Alberto 2016). En un contexto de redes inteligentes de distribución en el que los prosumidores convergen en una micro-red 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, con la asistencia de sistemas de gestión de energía residencial que solventa la respuesta a la demanda diaria solicitada. El consumo planificado mitiga la red de distribución en momentos alta demanda o cuando el precio del mercado es alto (Palacios Solorzano, Samper y Alberto 2016). 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 (Sanango Fernández 2015).

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

La propuesta del control fuzzy-genético proyecta una transformación en la visión de la generación y el consumo del mercado eléctrico, 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 micro-red bidireccional mediante la integración de fuentes de energía renovables y el uso del concepto usuario prosumers (productores-consumidores de energía) .

OBJETIVO GENERAL

Modelar y simular de una micro-red inteligente aplicando control fuzzy-genético para la óptima gestión energética en escenarios que incluyan usuarios tipo prosumers (productores-consumidores de energía).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Investigar los elementos y características que componen una micro-red inteligente.
- Modelar la micro-red inteligente desde el punto de vista de red de distribución para 15 usuarios tipo prosumers.
- Diseñar y simular los algoritmos de control fuzzy-genéticos para su óptima gestión energética de la micro-red en el software Matlab/Simulink.
- Valorar la mejora en la gestión energética que aporta el sistema de control fuzzy- genético comparado con un rule-base.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO

En el presente capítulo se da a conocer el estudio bibliográfico relacionado al tipo de generación de energía, red eléctrica inteligente y criterios de dimensionamiento que otorgaron el conocimiento necesario e indispensable para la realización de la investigación.

1.1 Tipos de generación de la energía

El concepto se basa en convertir algún tipo de energía ya sea química, cinética, térmica, lumínica, nuclear u solar en energía eléctrica (Solar Energy International 2020). Para ello se presenta las dos generaciones, las cuales son:

Generación centralizada de energía. - Usualmente en el mundo la energía eléctrica es generada por grandes estaciones para luego ser distribuida mediante las líneas de alta y media tensión que transitan por varios kilómetros de distancia intercalando en estaciones para que el usuario final pueda obtener energía eléctrica, este esquema se toma como nombre generación centralizada o producción energética tradicional (Enlight 2021, 4-5).

Generación distribuida. - Se define como aquellos sistemas en las cuales la capacidad de generación es pequeña y que ofrece la energía eléctrica al consumidor final o a la red de distribución y están asociados con el uso de fuentes de energía renovable (Tecnalia 2007, 9-10).

El concepto de generación distribuida (GD) ha modificado significativamente el modelo transmisión y distribución de electricidad tradicional, ya que, producir energía eléctrica residencial, reduce pérdidas en el transporte, aumenta la eficiencia y confiabilidad del sistema, maximiza el uso de los recursos, reduce el tamaño de las plantas eléctricas y por tanto la contaminación ambiental (Quintero Valencia 2008, 105-112).

1.1.1 *Análisis comparativo de los tipos de generación de energía*

Como se mencionó anteriormente existen dos formas de generación de energía, por lo cual es necesario determinar cuál de ella representa una mejor opción, con el uso de la tabla 1-1 el modelo de generación centralizada representa un mayor costo en términos de estructura ya que se necesita crear extensiones denominadas subestaciones con el fin de poder llegar a las residencias más apartadas y generando un intercambio unidireccional, mientras que, el modelo de generación

distribuida ocasiona un menor costo a largo plazo por su estructura independiente que se acopla a la residencia representando menos perdidas y brindando un intercambio bidireccional.

Tabla 1-1: Cotejo de generación de energía.

Generación centralizada	Generación distribuida
Son dependientes de las centrales de generación de energía ya sean públicas o privadas.	Son totalmente independientes de las centrales de energía, ya que su instalación depende únicamente del recurso renovable que se esté utilizando.
Uso principal de fuentes de energía no renovable y renovables clásicas en gran número.	Hace uso de fuentes de energía renovable.
Los costos de instalación son elevados, debido al gran número de materiales utilizados debido a que llegan a ser una extensión de alguna red primaria.	Los costos de instalación son menores en relación con la generación centralizada, ya que, al ser sistemas autónomos y a base de energía renovable el número de materiales utilizados para llegar a un punto específico es inferior.
Solo existe un intercambio unidireccional.	El intercambio de energía es bidireccional.

Fuente: (Mártel 2019)

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

1.2 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).

Usuario prosumer. - Son hogares que son tanto productores como consumidores de electricidad. Un prosumidor tiene una unidad de producción descentralizada conectada a la red y tiene dos tipos de intercambios con la red: importaciones de energía cuando la producción local es insuficiente para igualar el consumo local y exportaciones de energía cuando la producción local excede el consumo local (Gautier, Jacqmin y Poudon 2017).

Obtención del perfil de usuario prosumer.

Para determinar el perfil de consumo de carga del usuario prosumer, se tomó como referencia en el consumo promedio, otorgado por la agencia de regulación y control de electricidad (ARCONEL) en dónde se menciona que el consumo promedio por usuario representa la cantidad de energía en kWh en un período de 30 días ver figura 1-1 (Agencia de Regulación y Control-ARCONEL 2018, 102).

Empresa	Industrial	Otros	Comercial	Residencial	Alumbrado Público	Promedio Total
CNEL-Guayaquil	46.187,51	8.315,97	1.227,17	210,60	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-Miagro	140.631,50	3.576,48	696,85	130,27	22,14	383,52
CNEL-Manabí	23.862,53	4.459,83	978,16	152,05	30,19	350,48
CNEL-EI Oro	13.022,70	3.708,07	553,74	129,38	26,40	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-Bolivar	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	347,70	82,78	16,09	300,78
E.E. Quito	5.946,86	1.666,75	554,43	139,73	18,00	294,45
E.E. Centro Sur	4.933,20	985,70	377,87	97,43	21,26	227,20
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	24,20	197,35
E.E. Norte	3.338,62	1.014,57	315,00	95,61	18,56	189,27
E.E. Riobamba	7.198,04	756,01	280,70	83,37	16,88	164,04
E.E. Sur	950,51	510,67	332,59	82,95	15,93	139,90
Total Empresas Eléctricas	4.562,50	1.172,50	447,29	112,59	18,79	243,41
Total general	9.904,69	2.490,97	656,36	135,26	21,13	322,52

Figura 1-1: Consumo promedio mensual de energía eléctrica por empresa distribuidora y grupo de consumo.

Fuente: (Agencia de Regulación y Control-ARCONEL 2018)

Para el presente trabajo de investigación se tomó como dato de referencia el 83,37 kWh correspondiente a la ciudad de Riobamba como se resalta en la figura 1-1.

Mientras tanto “el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) considera que para alcanzar una vida digna es preciso un consumo mínimo de 0.5 kWh / día de electricidad por usuario” (Antolín y Guijarro 2014).

Los datos obtenidos se encuentran expresados en unidades de energía y fueron convertidos a unidades de potencia considerando la unidad de tiempo. La ecuación 1-1 permite determinar los valores máximos y mínimos necesarios para crear un rango de consumo eléctrico por día expresados en Watts.

Ecuación 1-1: Potencia en función de energía sobre tiempo.

$$P = \frac{E_{(kWh)}}{t_{(h)}}$$

Donde:

$E_{(kWh)}$: Energía

$t_{(h)}$: Tiempo

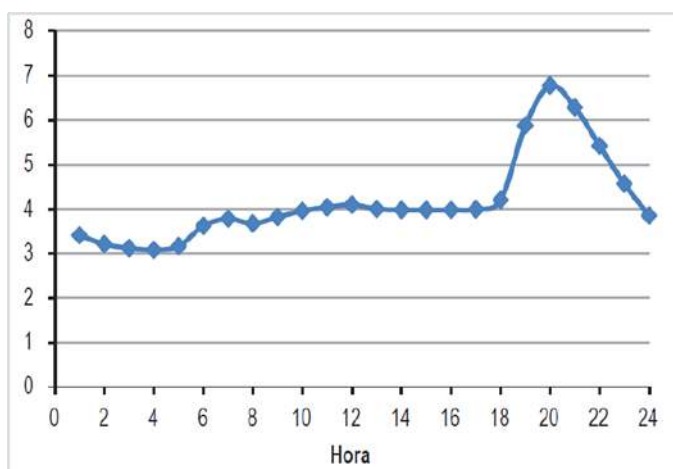


Gráfico 1-1: Curva de demanda carga residencial.

Fuente: (CONELEC 2013)

Los rangos de operación y consumo del usuario prosumer se tomaron de la figura 2-1 y tabla 2-1, que representa un perfil de carga del sector residencial ecuatoriano, en la cual se concluye que la mayor demanda está en el rango de 19h00 - 22h00, la demanda media entre 06h00 - 17h00 y de 23h00 - 24h00, y la demanda mínima de 01h00 - 05h00 (Ulloa Arízaga 2015, 66).

Tabla 2-1: Datos de la curva de carga residencial.

Tiempo (h)	Porcentaje (%)
1	3,40
2	3,30
3	3,20
4	3,00
5	3,10
6	3,80
7	3,90
8	3,80
9	3,90
10	4,00
11	4,10
12	4,20
13	4,10
14	4,10
15	4,10
16	4,10
17	4,10
18	4,30

Tiempo (h)	Porcentaje (%)
19	5,90
20	7,00
21	6,30
22	5,50
23	4,50
24	3,90

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021.

Micro-red inteligente. - Es la agrupación de cargas y microfuentes que funcionan de manera conjunta en un solo sistema controlable que son capaces de auto proveerse y funcionar de manera autónoma (Dobakhshari, y otros 2011, 38-43). A la micro-red se la entiende también como una celda controlada del sistema de energía. Por ejemplo, esta celda podría ser dirigida como una sola carga, ya que, puede responder en segundos para satisfacer las necesidades del sistema de transmisión; mientras que para el cliente una micro-red es diseñada para satisfacer sus necesidades (Lasseter 2002, 305-308) (Tecnalia 2007, 15-26).

Arquitectura de la micro-red inteligente. - En la figura 2-1 se observa la arquitectura de la micro-red inteligente, la cual está constituida por, una o más unidades de generación convencional o de energía renovable, sistemas de almacenamiento ya sea hidráulico electroquímico o mecánico, sistemas de adecuación de potencia ya sean inversores, rectificadores, reguladores de carga, sistemas de control y gestión energética y el consumo dado por las cargas (Fossati 2011, 13-20).

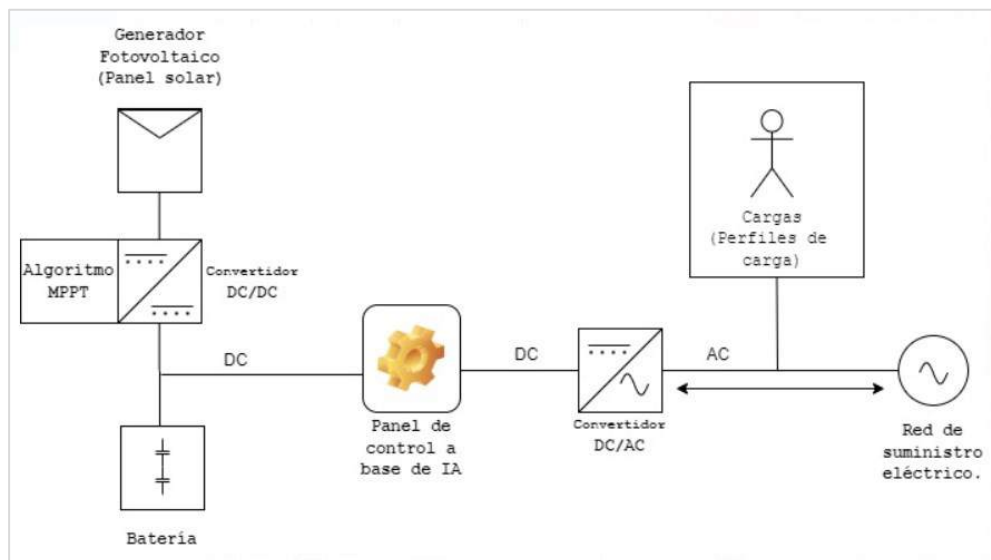


Figura 2-1: Arquitectura de una micro-red.

Fuente: (Arcos-Aviles, y otros 2017)

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021.

1.2.1 Perfil De Carga

El perfil de carga consiste en conocer el comportamiento de la energía o potencia eléctrica en el tiempo (periodos cuartos horarios), para analizar detalladamente los consumos mensuales. (DISNORTE-DISSUR 2021) de tal forma que la información sirva para determinar los valores de potencia máxima y mínima que utiliza el usuario con el fin de poder seleccionar y dimensionar los elementos que conforman su micro-red autónoma a base de energía renovable.

1.2.2 Tecnologías de generación distribuida

Las fuentes distribuidas se pueden agrupar bajo diferentes puntos de vista. A criterio de su positividad para el medio ambiente y la fuente de energía primaria que utilizan, estas tecnologías se pueden clasificar en: convencionales o tradicionales y fuentes únicas o alternativas (Chuqui Quinteros 2014, 21-53).

Se utilizan varias tecnologías de pequeña generación y almacenamiento (menos de 250 kW) para minimizar la demanda máxima y proporcionar respaldo de generación de energía en caso de un corte de la red. Estas tecnologías se dividen en dos categorías amplias: producción y almacenamiento. La tecnología de producción incluye: motores de combustión interna, microturbinas, celdas de combustible, celdas solares fotovoltaicas (PV), energía solar térmica y eólica, la figura 3-1 nos muestra las principales características, mientras que la tabla 3-1 describe las ventajas y desventajas de cada tipo de tecnología (Tecnalia 2007, 10-12) representando la mejor opción la energía solar, debido a la zona en la que se encuentra el Ecuador, tiene un ángulo de incidencia solar de forma directa convirtiéndola en una tecnología viable local (Mena Erazo 2010).

Tecnologías	Energía primaria	Potencia (MW)	Rendimiento eléctrico ¹ (%)	Coste inversión ² (€/kW)	Disponibilidad comercial
Motor alternativo	Gas natural, diesel, biogás, propano	0,08-20	28-42 % (gas natural) 30-50 % (diesel) 80-85 % (cogeneración)	500-900	Actual
Turbina de gas	Gas natural, biogás, propano	0,25-500	25-60 % 70-90 % (cogeneración)	600-1400 (CHP)	Actual
Minihidráulica	Agua	0,01-10	80-90 %	1000-1800	Actual
Eólica	Viento	0,005-5	43 %	1100-1700	Actual
Solar térmica³	Sol	0,0002-200	13-21 %	3500-8000	Actual
Fotovoltaica	Sol	< 0,001-0,1	14 %	5000-7000	Actual
Biomasa	Biomasa		32 %	1500-2500	Actual
Microturbina	Gas natural, hidrógeno, propano, diesel, biogás	0,025-0,4	25-30 % Hasta 85 % (cogeneración)	900-2000	Actual (limitada)
Pila de Combustible	Gas natural, metano, propano, hidrógeno	1 kW – 11 MW	35-65 % Hasta 85% (cogeneración)	2500-3700	Algunas ya disponibles (PAFC, MCFC, PEMFC, SOFC)

Figura 3-1: Características principales de las tecnologías de generación.
Fuente: (Tecnalia 2007, 13)

Tabla 3-1: Ventajas y desventajas de los tipos de tecnologías de generación distribuida.

Tipos de tecnologías de generación distribuida	Ventajas	Desventajas
Moteres alternos	<ul style="list-style-type: none"> - Eficiencia de conversión eléctrica relativamente alta. - Permite una rápida instalación. - Presenta un excelente modularidad, casi cualquier edificación relacionada con la carga puede estar bien ligada (rango de kW a MW). 	<ul style="list-style-type: none"> - Los costos de mantenimiento representan los más elevados con relación a las demás tecnologías de GD, además que necesitan un mantenimiento frecuente. - Los motores principalmente a diésel y gasolina producen niveles altos de emisión de gases de efecto invernadero. - Su funcionamiento supone un nivel de ruido excesivo, que generalmente sobrepasa los 70 dB.
Turbina de gas	<ul style="list-style-type: none"> - El calor residual producto de la generación puede ser aprovechado. - Permite establecer una red de servicio y mantenimiento. - Son bastante fiables. - Pueden emplear combustible residual. 	<ul style="list-style-type: none"> - Para cargas parciales su eficiencia es relativamente baja (su rendimiento puede disminuir hasta un 25% a media carga). El rendimiento es bajo cuando se trata exclusivamente del eléctrico. - Las prestaciones disminuyen cuanto menor es la potencia instalada. - Su funcionamiento supone un nivel de ruido excesivo, que generalmente es mayor a los 60 dB.
Minihidráulica	<ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo y mínimo mantenimiento. - No emite gases contaminantes debido a que su combustible es el agua. - Su utilización es paralela a otros usos del agua como el riego, industria, entre otros. 	<ul style="list-style-type: none"> - Alto costo de construcción. - Riesgo de inundación por rotura de la presa. - Cambios en los ecosistemas, problemas con la flora y fauna del lugar
Eólica	<ul style="list-style-type: none"> - Energía no contaminante debido a que su combustible es el viento. - Fácil montaje y desmantelamiento de un parque eólico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Provocan un impacto visual o paisajístico. - Impacto ambiental debido al ruido y modificación del suelo por instalación de los aerogeneradores. - Afectación de la fauna circundante a la localización de los aerogeneradores.
Solar térmica	<ul style="list-style-type: none"> - Disminución de pérdidas debido a que estos sistemas se deben localizar cerca de los centros de consumo. - Utilización alterna del fluido portador del calor para la producción del agua caliente sanitaria. 	<ul style="list-style-type: none"> - Debido a las altas temperaturas alcanzadas por lo materiales, esta tecnología presenta problemas de duración y fiabilidad. - Impacto visual.
Solar fotovoltaica	<ul style="list-style-type: none"> - No contamina. - El mantenimiento es mínimo. - Muy útil en países en vías de desarrollo, ya que, no necesita extensión de la red eléctrica principal lo que aumenta los consta de inversión, mientras que los sistemas de energía solar son independientes y autónomos. - Elevada vida útil. - Existe una resolución para aplicar este tipo de tecnología lo que facilita su instalación. - Según la Regulación N° CONELEC-004/11 la energía fotovoltaica es la que 	<ul style="list-style-type: none"> - En pequeñas instalaciones puede originar un problema visual. - Presenta un deficiente rendimiento energético cuando las condiciones ambientales no son óptimas, además que la energía que obtenemos es mínima en relación con la cantidad de radiación que se recibe.

Tipos de tecnologías de generación distribuida	Ventajas	Desventajas
	supone mayor beneficio al momento de vender excedentes.	
Biomasa y residuos energéticamente valorizables	<ul style="list-style-type: none"> - Tecnología renovable (siempre que se replanten tantos árboles y plantas como sean utilizadas), limpia y barata. • Tecnologías simples. - Suministrada por un sin número de productos. - Al contrario de las energías eólica y solar, la de la biomasa es fácil de almacenar. - La energía derivada de la biomasa es renovable indefinidamente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Económicamente resulta poco rentable, debido al alto contenido en residuos inutilizables, el transporte de éstos resulta bastante problemática, por esta razón se debe obtener la energía en el mismo lugar donde se obtiene el desecho. - Para el caso de biocombustibles se deben realizar cambios tecnológicos en los motores, tomando en cuenta además que la eficiencia de éstos es menor.
Pilas de combustible	<ul style="list-style-type: none"> - Baja emisión de gases contaminantes. • Presentan una eficiencia relativamente buena, que bordea el 50%. - Producen un mínimo de ruido, gracias a esto pueden instalarse en sitios como bibliotecas u hospitales. - La cogeneración térmica o eléctrica es posible en algunos procesos y en edificaciones. - Elevada vida útil (las del tipo PAFC y SOFC), por encima de las 20000 horas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Presentan un elevado costo y la degradación progresiva del electrolito (las del tipo PEMFC y MCFC), por debajo de las 3000 horas, lo que no permite alcanzar una vida útil en función de su rentabilidad - De presentarse variaciones de carga son muy poco eficientes a una respuesta instantánea a este tipo de inconvenientes. - Al ser una tecnología aún en desarrollo, no se encuentran muchas aplicaciones, originalmente están orientadas al sector del transporte.

Fuente: (Universidad Politécnica de Cartagena, 2008; Chuqui Quinteros, 2014; Tecnalia, 2007; ipcc, 2011; CONELEC, 2011 (Mena Erazo 2010)

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021.

1.2.3 *Panel solar*

Un panel solar es un dispositivo que aprovecha la energía del solar para generar calor o electricidad. De acuerdo con estos dos propósitos, podemos distinguir un colector solar, que produce agua caliente en generalmente para uso residencial con ayuda del calor solar, y un panel fotovoltaico que genera electricidad a partir de la radiación solar que incide sobre los paneles solares (AutoSolar 2021).



Figura 4-1: Eficiencia de la célula y salida de potencia del módulo solar por diferentes tipos.

Fuente: (pv Europa 2018)

Hay tres tipos: monocristalino, policristalino y amorfo.

- Las células monocristalinas son generalmente más eficientes, lo que significa que se necesitan menos placas para generar la energía requerida.
- Los paneles económicos de celdas policristalinas son teóricamente ineficientes y requieren más paneles para satisfacer la demanda.
- El panel amorfo consiste en un panel solar delgado (silicio amorfo) y es mucho más flexible que los demás.

El análisis de la figura 4-1, nos indica que la potencia del panel de control se muestra en el eje Y izquierdo. Es decir, lo que alimenta cada panel solar cae bajo esa tecnología. El eje X (eje inferior) representa el tipo de tecnología. De izquierda a derecha, PMulti (policristalino), PMono (monocristalino) y NMano (monocristalino de alta pureza). El eje Y en el lado derecho de muestra la eficiencia de la celda en cada caso.

La barra verde nos muestra las capacidades estándar de esta tecnología con el rendimiento correspondiente. Entonces, por ejemplo, en el caso de PMono PERC (Tecnología PERC), el estándar es de 300W y la eficiencia de la celda es del 21%. Como se puede observar, los paneles solares más eficientes son aquellos que combinan tecnologías monocristalinas HIT e IBC utilizando silicio tipo N, principalmente Panasonic y SunPower. Y un poco más allá están los paneles que utilizan la tecnología de silicio MonoPERC tipo P (pv Europa 2018).

La barra verde representa las capacidades estándar de esta tecnología con el rendimiento correspondiente. Entonces, por ejemplo, en el caso de PMono PERC (Tecnología PERC), el estándar es de 300W y la eficiencia de la celda es del 21%. Como se puede observar, los paneles solares más eficientes son aquellos que combinan tecnologías monocristalinas HIT e IBC

utilizando silicio tipo N, principalmente Panasonic y SunPower. Y un poco más allá están los paneles que utilizan la tecnología de silicio MonoPERC tipo P (pv Europa 2018).

1.2.3.1 Análisis de selección del panel solar.

La selección se basa en los resultados presentados por la organización de consumidores y usuarios OCU que se encarga de realizar pruebas de confiabilidad a diversos productos en los cuales constan módulos fotovoltaicos y baterías.

El análisis de desempeño incluye tres pruebas: generación de energía, manejo de alta radiación, electroluminiscencia (imágenes para detectar fallas o posibles fallas del panel) y prueba de corriente de fuga a tierra (seguridad eléctrica) (OCU, Así los analizamos 2018).

De acuerdo con los criterios se realizó la tabla 4-1 que se encuentra ordenada en base a la clasificación de la calidad global OCU y contiene información que se utilizó para determinar el tipo de panel.

El criterio de selección se basa en:

1. Calidad global OCU
2. Tipo de tecnología
3. Eficiencia
4. Potencia máxima
5. Precio

Teniendo en consideración estos criterios se depura la tabla 4-1.

Iniciando con el primer criterio de la calidad global OCU y el tipo de tecnología se puede descartar al producto con codificación A4 ya que presenta un tipo de tecnología de gama baja en relación con los demás productos presentados.

El segundo filtro que se utilizará será la eficiencia y potencia máxima eliminando de esta manera al producto con codificación A3 ya que su eficiencia es del 19,4% en relación con los demás productos.

Cómo último filtro se tiene el precio de referencia julio 01 2021 obteniendo de esta manera al producto con codificación A2, ya que, posee un precio de \$105,83 y una potencia máxima superior al producto con codificación A1.

Tabla 4-1: Comparativa de paneles solares en base a la información OCU, pv Europe y SunFields.

Codificación	Producto	Potencia máxima [Wp]	Eficiencia	Calidad global OCU	Tipo de tecnología en células	Precio Referenci a Julio 01 2021
A1	PANASONIC VBHN335SJ53	335 Wp	20,40%	82,00%	Heterounión HIT	\$ 305,95
A2	JINKO JKM340M-60H	340 Wp	20,15%	79,00%	Monocristalino PERC	\$ 205,83
A3	PANASONIC VBHN325SJ47 2020	335 Wp	19,40%	78,00%	HIT	\$ 427,50
A4	REC 280TP 2020	280 Wp	17,00%	78,00%	Policristalino	\$317,22

Fuente: (Tecnología Solar e Hidráulica S.L. 2021)

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021.

1.2.4 Batería

Un sistema fotovoltaico resulta eficiente con un adecuado sistema de almacenamiento para optimizar y garantizar un rendimiento interrumpido cumpliendo con características de; tener periodo de estado de carga (SOC) y profundidad de descarga irregulares y variables, soportar cambios de temperatura y realización de un mantenimiento mínimo.

Batería de plomo-ácido. - Denominadas como baterías de plomo abierto son denominadas electroquímicas debido que, contiene placas en serie sumergidas en ácido sulfúrico, donde la placa positiva es dopada de dióxido de plomo y la placa negativa de plomo esponjoso. Respecto a su mantenimiento, se debe tener un control del nivel máximo y mínimo del ácido, en caso de que llegue a nivel mínimo crítico deben ser rellenados con agua destilada con precaución en los bornes para prevenir que se sulfaten. Con respecto a las ecualizaciones, se debe realizar cada 20 ciclos controlando los niveles de carga y densidad aumentado el voltaje a 2,6V/celda a 25 °C para que estén equilibrados en cada célula (AutoSolar 2021).

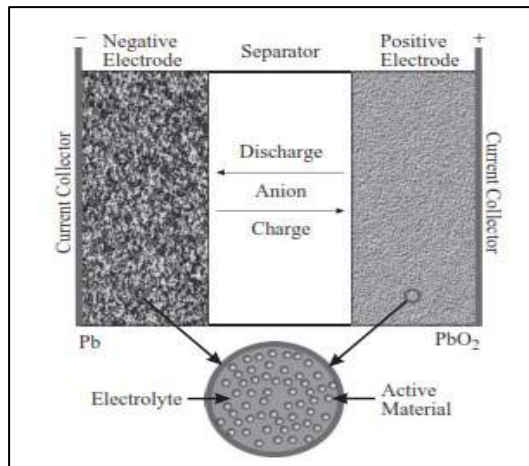


Figura 5-1: Diagrama esquemático de una celda de Plomo-acido.
Fuente: (Rahn y Wang 2013).

En la figura 5-1 ilustra una celda de batería Pb-acido, compuesta por electrodo negativo hecho de plomo (Pb), el electrodo positivo dopado con oxido de plomo (PbO₂) y un aislante electrónico. Los tres componentes están dopados de un electrolito de buena conducción de las especies iónicas dentro de la celda. También existe una fase gaseosa, reacción secundaria no deseables que produce reducción de la vida útil de la batería (Rahn y Wang 2013, 11-22).

Batería de litio. - Su característica de alta densidad de energía están dominando una fracción del mercado de vehículos híbridos eléctricos, considerando el peso y volumen como factores importantes. El ciclo de vida es largo considerado mayor a 500 ciclos, con una tasa menor del 10% mensual de autodescarga. La figura 6-1 ilustra una celda de iones de litio, con electrodo positivo compuesto de óxido de metal de litio correspondiente a metal de transición y electrodo negativo con carbonato de litio (Rahn y Wang 2013, 11-22).

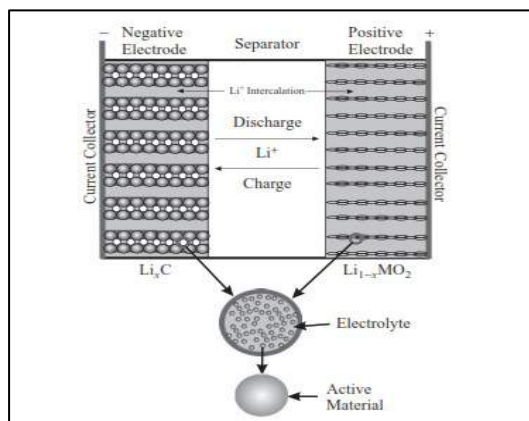


Figura 6-1: Diagrama esquemático de una celda de Litio.
Fuente: (Rahn y Wang 2013)

Las baterías de Litio tienen un electrolito para liberar electrones mediante procesos químicos para almacenar energía. No obstante, su exposición al aumento de temperatura conlleva a un riesgo de combustión o explosión, por lo tanto, requieren de un sistema de protección y seguridad. Estas baterías tienen la característica de no poseer efecto de memoria, es así como su rentabilidad no se ve afectada en un proceso cíclico de carga y descarga. Además, permite una gran capacidad de almacenamiento de un promedio de 3200 ciclos comprometido un tiempo de vida útil duradero (AutoSolar 2021).

Batería de níquel cadmio. - La batería tiene un diseño específico con la finalidad de evitar acumulación de presión debido a formación de gases durante una sobrecarga. En consecuencia, las baterías ya no requieren mantenimiento más que en recargar. Estas características amplían su ámbito de aplicación desde energía portátil liviana hasta energía de alta capacidad y velocidad, incluso energía de reserva (Linden y Reddy 2002, 14.1-28.1).

1.2.4.1 Análisis de selección de la batería.

Para aprovechar la energía solar, se necesita un almacenamiento de energía confiable para ello se utilizó la información de la empresa Renovaenergía S.A. que es una empresa especializada en el diseño de ingeniería, suministro e instalación de componentes y sistemas de energías renovables, en particular sistemas fotovoltaicos, sistemas fotovoltaicos aislados o aislados y conectados a red. Para sistemas solares fotovoltaicos autónomos o tipo isla, se puede utilizar 1 o varios paneles solares fotovoltaicos, utilizando reguladores MPPT exclusivamente cargar una o varias baterías de ciclo profundo (Renovaenergía S.A 2009).

Tomando en consideración el uso de baterías de ciclo profundo se indagó entre las baterías más utilizadas en el Ecuador y se obtuvo la tabla 5-1.

Tomando en consideración la capacidad se eliminó el producto con codificación B1 debido a que su capacidad pequeña y también el producto con codificación B3 ya que el precio es elevado con respecto al producto B2.

Tabla 5-1. Comparativa de baterías según el mercado ecuatoriano.

Codificación	Producto	Voltaje Nominal	Capacidad a 25°C	Tipo de Tecnología	Precio Referencia Julio 01 2021
B1	Batería Aokly 6FM18 (12V18Ah)	12 V	15,30 Ah	AGM	\$ 150,00
B2	JFM100-12(12 V100AH)	12 V	100,00 Ah	AGM VRLA	\$ 200,00

Codificación	Producto	Voltaje Nominal	Capacidad a 25°C	Tipo de Tecnología	Precio Referencia Julio 01 2021
B3	DC12-150(12V150Ah)	12 V	150,00 Ah	AGM VRLA	\$ 784,00

Fuente: (Tecnología Solar e Hidráulica S.L. 2021)

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021.

1.2.5 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 y Bautista, Electrónica de potencia 2001, 204-228).

El modo de conducción de un convertidor se da de dos formas, 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} (Ortega 2002, 18-32).

Convertidor Reductor. - Genera una tensión de salida promedio bajo en comparación de la tensión de entrada V_d en dc ver figura 7-1. Su aplicación destaca en fuentes de alimentación de dc reguladas y a un control de velocidad de motores dc.

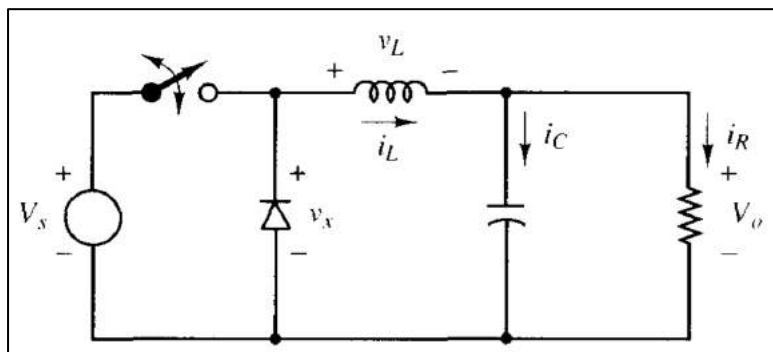


Figura 7-1: Topología del convertidor reductor (Buck).

Fuente: (Hart, Vuelapluma y Bautista, Electrónica de potencia 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 8-1a, cuando el interruptor está en estado de on por un tiempo el t_{on} , conduce corriente en el inductor y el diodo

de polariza inversamente, dando como resultado un voltaje positivo a través del inductor (Mohan, Undeland y Robbins 1995, 161-199).

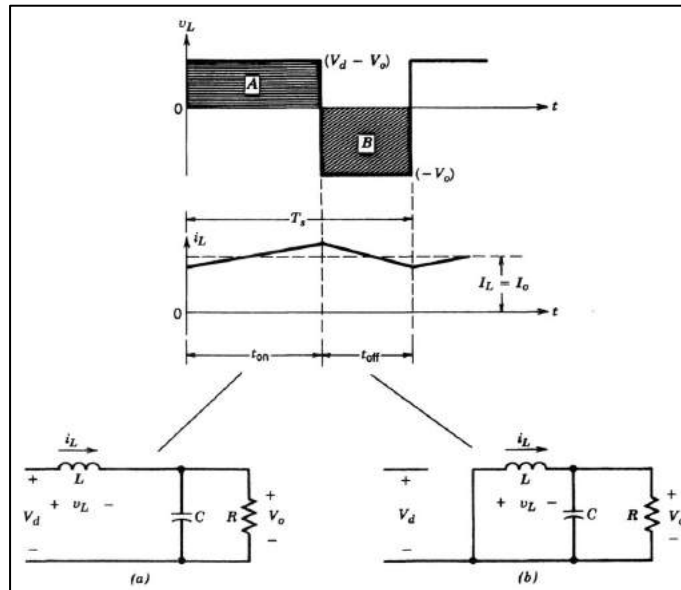


Figura 8-1: Estado del convertidor Buck. a) switch on. b) switch off.
Fuente: (Mohan, Undeland y Robbins 1995)

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 $v_L = -v_o$, con se ilustra en la figura 8-1b.

Convertidor elevador. - Se ilustra en la figura 9-1, 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 y Robbins 1995, 161-199).

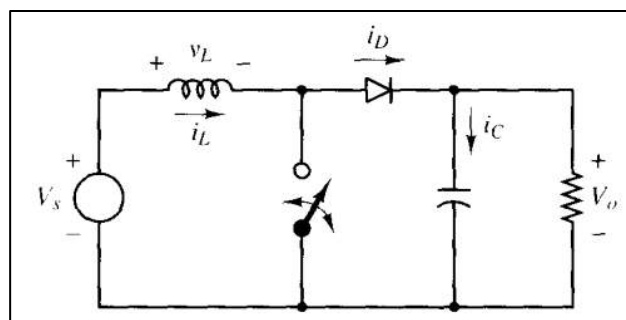


Figura 9-1: Topología del convertidor elevador (Boost).
Fuente: (Hart, Vuelapluma y Bautista, Electrónica de potencia 2001)

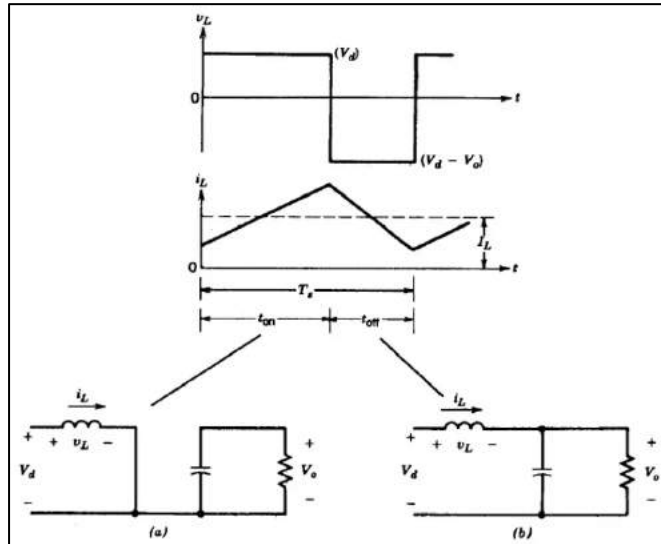


Figura 10-1: Estados del convertidor Boost a) switch on y b) switch off.
Fuente: (Mohan, Undeland y Robbins 1995)

En la figura 10-1 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 y Bautista, Electrónica de potencia 2001, 204-228).

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 11-1 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 y Bautista 2001).

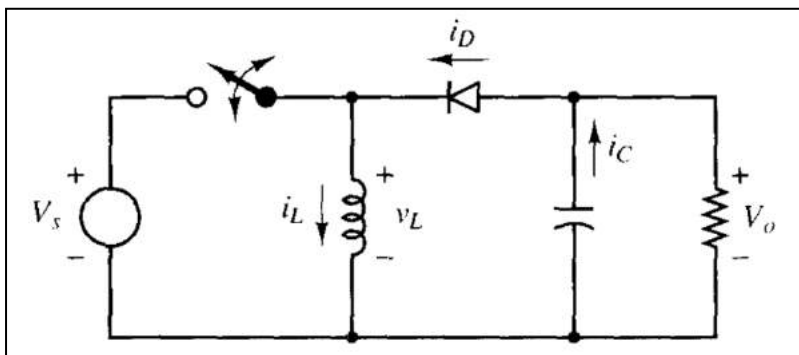


Figura 11-1: Topología de convertidor tipo reductor-elevador (Buck-boost).
Fuente: (Hart, Vuelapluma y Bautista 2001)

Los elementos pasivos y activos de los convertidores cuando operaran en modo de corriente permanente se basan en las ecuaciones de la tabla 6-1, 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 6-1: 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 y Bautista 2001)

Realizado por: Tapia, C.; Ulloa, D, 2021.

1.2.6 Algoritmo de seguimiento MPPT

Los algoritmos MPPT (Maximum Power Point Tracker), permiten mejorar la eficiencia de un sistema fotovoltaico, con la maximización de la potencia de salida de los módulos PV, para hacer que el panel fotovoltaico genere un pico de potencia dependiendo de la irradiancia solar, por consiguiente, el algoritmo busca el voltaje y corriente que generen una mayor potencia de salida.

Perturbar y observar (P&O). - La técnica MPPT de perturbar y observar cómo se ilustra en la figura 12-1 regula el ciclo de trabajo de un transistor en un convertidor de potencia DC-DC que está conectado en los terminales del panel solar y dado a la simplicidad del arreglo, es habitualmente utilizado.

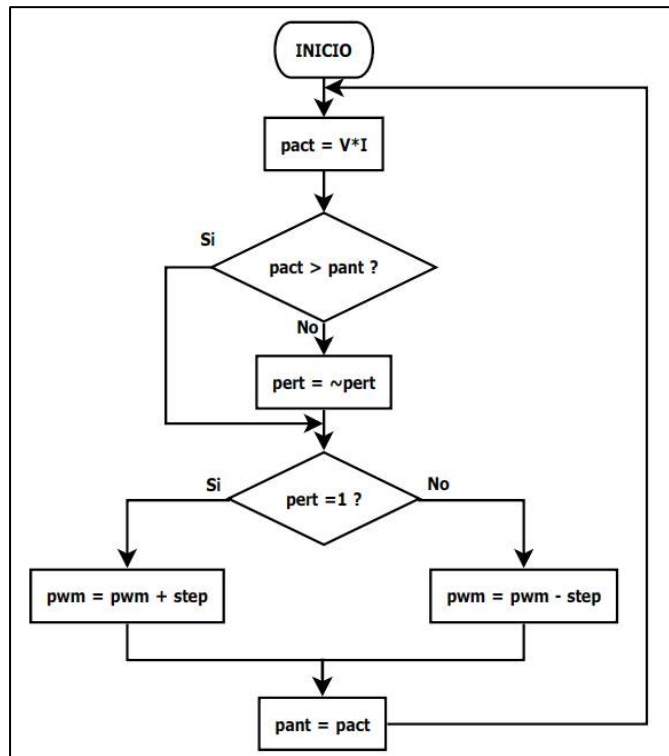


Figura 12-1: Algoritmo Perturbar y Observar.

Fuente: (Ruiz, y otros 2010)

El criterio de funcionamiento consiste en: si el voltaje de operación tiene un seguimiento a una dirección y la potencia salida incrementa, entonces el punto de operación se desplazó hacia el MPP en secuencia, el voltaje de operación deberá perturbarse en la misma dirección. No obstante, si la potencia de salida decreciente, entonces el punto de operación se movió a dirección contraria de la ubicación del MPP en consecuencia el voltaje de operación debe ser perturbado a dirección opuesta (Ruiz, y otros 2010, 18-19).

Conductancia incremental. - La técnica MPPT de conductancia incremental consiste en que la pendiente de curva V- I del módulo PV es cero, considerado negativo hacia la derecha y positivo la izquierda. La búsqueda del MPPT consiste en la relación de la conductancia incremental y la conductancia instantánea, obteniendo un ciclo de trabajo del convertidor DC-DC modificado operando en el punto MPPT.

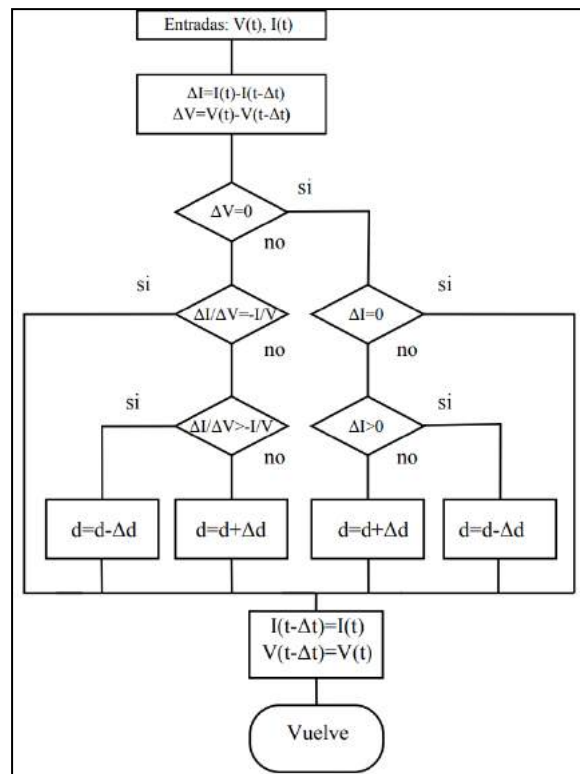


Figura 13-1: Diagrama de flujo algoritmo incremental.
Fuente: (Echeverría, y otros 2014)

La figura 13-1 ilustra el diagrama de flujo implementado la técnica de conductancia incremental donde se compran la conductancia incremental y la instantánea, dado su respuesta se establece el modo de operación, a la izquierda del MPPT considera que la conductancia incremental es mayor que la instantánea esta cambia de signo, por lo tanto, se debe disminuir el ciclo de trabajo para que de forma conjunta decremente la conductancia instantánea. Cuando esté operando a la derecha del MPPT sucede el ciclo de forma alterna (Echeverría, y otros 2014, 3-4).

Selección de algoritmo MPPT

Un algoritmo MPPT permite mejorar la eficiencia de potencia de un panel solar, misma que, permite la conmutación ajustando el ciclo de trabajo para el transistor o tiristor del convertidor. Es así que, en la tabla 7-2, se analiza los algoritmos MPPT.

Tabla 7-1: Análisis comparativo de algoritmos MPPT.

Algoritmo MPPT.	Ventajas	Desventajas.
Perturbar y Observar	<ul style="list-style-type: none"> • Opera como método iterativo. • Potencia aumenta tras una perturbación. 	<ul style="list-style-type: none"> • En cambios atmosféricos, el método, errónea su dirección de seguimiento MPPT.

Algoritmo MPPT.	Ventajas	Desventajas.
	<ul style="list-style-type: none"> • Perturbación variable para minimizar pérdidas de oscilación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Funciona si la variación potencia de perturbación es mayor a la potencia en condiciones atmosféricas.
Conductancia Incremental.	<ul style="list-style-type: none"> • Busca superar las limitaciones del método P&O. • No existe la necesidad de introducir una perturbación. • En el punto MPPT opera sin oscilar hasta detecte un cambio de corriente. • Aplicado en DSP o microcontroladores. 	<ul style="list-style-type: none"> • No puede distinguir múltiples máximos. • Incrementar la velocidad de rastreo MPPT, causa una oscilación.

Fuente: (Telechea 2015).

Realizado por: Tapia, C.; Ulloa, D, 2021.

Como nos menciona Meza, García Mendoza, & Mora, 2018 “el algoritmo de conductancia incremental extrae un porcentaje mayor de potencia en comparación con el algoritmo de perturbar y observar, como se evidencia en la figura 14-1” y que se comprobó que el algoritmo P&O tiene relación directa con el tiempo de convergencia en el punto máximo es decir que si la perturbación es grande el tiempo para alcanzar el PMP será mayor mientras que en el algoritmo IC el tiempo de convergencia es casi instantáneo.

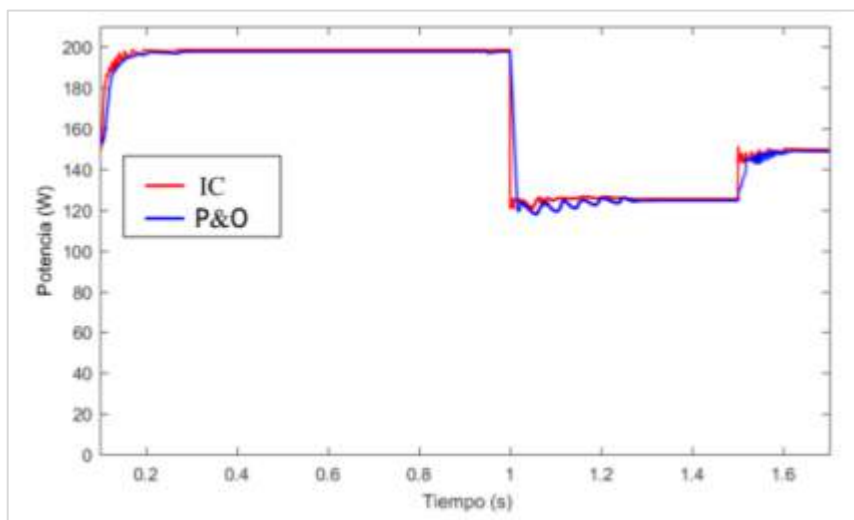


Figura 14-1: Estudio de potencia Vs tiempo de los algoritmos MPPT P&O y IC.
Realizado por: Tapia, C.; Ulloa, D, 2021.

1.2.7 Convertidor dc-ac

Es también denominado inversor dc-ac un equipo capaz de convertir corriente Directa, DC a corriente Alterna, AC es empleado donde la fuente de energía es dc talque se emplea en fuentes como: baterías, paneles solares, motor-generator dc y las cargas que admiten energía ac. A continuación, se presenta los tipos de inversores según Dokić & Blanuša, 2015.

Inversor monofásico- medio puente. - La configuración del inversor de medio puente monofásico se ilustra en la figura 15-1. Donde los interruptores S1 y S2 son divisores conmutados por compuerta como un BJT, GTO, IGBT, MOSFET, etc., de potencia. Cuando el transistor o tiristor está cerrado, la corriente fluye en dirección a I_o (Singh y Khanchandani 2008, 40-70).

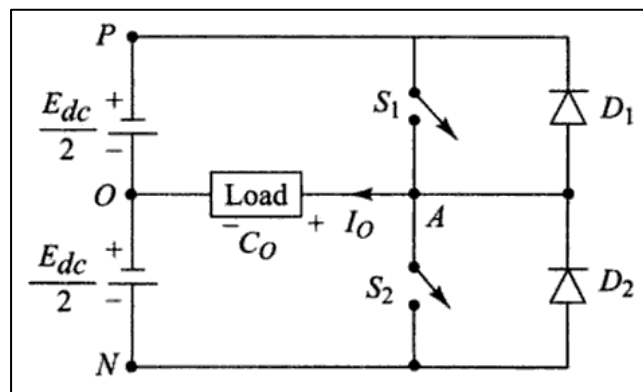


Figura 15-1: Inversor de medio puente monofásico.
Fuente: (Singh y Khanchandani 2008).

Con una carga inductiva la corriente de carga no puede variar instantáneamente con el voltaje de salida. Por lo tanto, el funcionamiento del inversor de medio puente se divide en 4 modos de operación.

Inversor monofásico - puente completo. - Tiene una fuente de alimentación en dc que funciona como generador de voltaje. No obstante, si el inversor se alimenta de un rectificador se debe incluir un capacitor en paralelo para filtrar los armónicos de tensión. El inversor logra un voltaje $+ V_{dc}$ se salida ver figura 16-1a, debido a la conmutación de dos pares de interruptes (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 (Dokić y Blanuša 2015, 110-115).

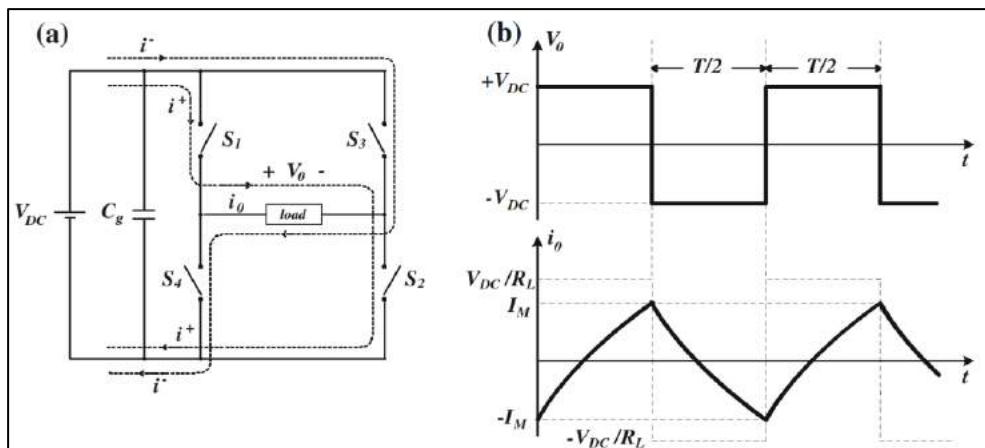


Figura 16-1: Esquema del inversor (a) y Diagrama de tiempos de voltaje y corriente.
Fuente: (Dokić y Blanuša 2015)

Debido a esto, en la figura 16-1b, 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.

1.2.7.1 Análisis comparativo del inversor monofásico

En la tabla 8-1 se expresan las ventajas y desventajas según Dokić & Blanuša, 2015 y considerando una red eléctrica ecuatoriana estándar para residencias de 110 V, el inversor puente completo representa la mejor opción, ya que trabaja con voltajes bajos sin reducirlos a la mitad de su valor, un filtro de armónicos con el uso del capacitor en paralelo a la fuente dc y la bidireccionalidad de corriente que ofrece sus diodos antiparalelo para retrocesos de corriente reactiva a diferencia del inversor medio puente que es utilizado en mayor parte para voltajes altos en dc (Agencia de Regulación y Control-ARCONEL 2018) (Singh y Khanchandani 2008) (Dokić y Blanuša 2015).

Tabla 8-1: Ventajas y desventajas de convertidores DC-AC.

Inversor	Ventaja	Desventaja
Inversor medio puente	<ul style="list-style-type: none"> Sus capacitores tienen como objetivo dividir el voltaje más no de intervenir como filtro de armónicos de manera directa. Ideal cuando se trabajan en altos voltajes en dc. Posee diodos antiparalelos con el fin de brindar protección contra cortocircuitos. 	<ul style="list-style-type: none"> La tensión en la carga es la mitad de la fuente dc.
Inversor puente completo	<ul style="list-style-type: none"> Ideal para trabajar con voltajes bajos expresados en dc. Filtra los armónicos por tener un capacitor en paralelo a la fuente dc 	<ul style="list-style-type: none"> Se produce un cortocircuito al no tener incorporado los diodos antiparalelos cuando los pares de interruptores están encendidos.

Inversor	Ventaja	Desventaja
	<ul style="list-style-type: none"> • Incorpora diodos antiparalelos para una conmutación bidireccional en corriente. 	

Fuente: (Dokić y Blanuša 2015)

Realizado por: Tapia, C; Ulloa, D, 2021.

1.2.8 Control clásico VS control moderno

Mediante la tabla 9-1 podemos expresar que los métodos clásicos o convencionales enfatizan la comprensión física y utilizan matemáticas que los métodos de control moderno por tanto los métodos de control clásicos o convencionales sean más fáciles de entender, por ello el control moderno representa la mejor opción ya que a más de lo expuesto anteriormente presenta mayor opcionalidad al momento de resolver un problema.

Tabla 9-1: Control clásico vs control moderno.

Control Clásico	Control Moderno
Es utilizado para sistemas de tipo Continuo Lineales Invariantes en el tiempo	Para sistemas Digitales - lineales o no lineales
Hacen uso de métodos de regulación tales como: sistemas mecánicos, hidráulicos, neumáticos o eléctricos y electrónicos	El procesador es la principal herramienta del Control Moderno, dando la posibilidad de implementar controles de sistemas no lineales y multivariables.
Todas las señales son continuas y los sistemas son lineales. Si no son lineales, se realizan estrategias de linealización.	<ul style="list-style-type: none"> - Control Robusto Intenta hacer que el control sea independiente de posibles incertidumbres en el modelo del sistema. - Control Inteligente Se basa en técnicas de inteligencia artificial que intentan estimular las estrategias del pensamiento humano a través del procesamiento digital. Algunos de ellos son lógica difusa, redes neuronales, algoritmos genéticos. - Control Adaptativo Intenta reajustar automáticamente el sistema de control en caso de desviaciones en las propiedades físicas del sistema. Hacen que el control de las variaciones del modelo sea matemáticamente independiente.

Fuente: (Guzmán Sandoval 2011); (Cordova Mendoza 2013)

Realizado por: Tapia, C; Ulloa, D, 2021.

1.2.9 Control Inteligente

Comprende una serie de técnicas, que se toman esencialmente de la Inteligencia Artificial, con las que se intentan resolver problemas de control inaccesibles utilizando los métodos clásicos (R. Galán, y otros 2000, 43-48) (R. Sanz 1990, 6-9).

El análisis operativo del control automático se ha investigado intensamente en los últimos años y la literatura sobre este tema es muy extensa. Como resultado, han evolucionado con el tiempo y

se enfrentan a nuevos desafíos en relación con el desarrollo de sistemas energéticos claramente delimitados regionalmente: empresas como la energía eólica, las células solares y el almacenamiento de energía. Sin embargo, se debe tener en cuenta la integración de sistemas inseguros. Las últimas opiniones sobre la resolución de estos problemas consideran el uso de control inteligente con redes neuronales, lógica difusa, algoritmos genéticos, técnicas de optimización heurística y más (Bevrani y Hiyama 2011).

1.2.9.1 Control por lógica difusa

Se define como un control con el uso de terminologías que pueden analizarse mediante criterios comunes. Por lo tanto, es fundamental que estas variables y estos datos pasen por un proceso de adaptación antes de poder ser insertados en el bucle de control. En la figura 17-1 se pueden ver los diferentes cambios que experimentan dentro del bucle de control difuso (Kouro y Musalem 2002, 1-7).

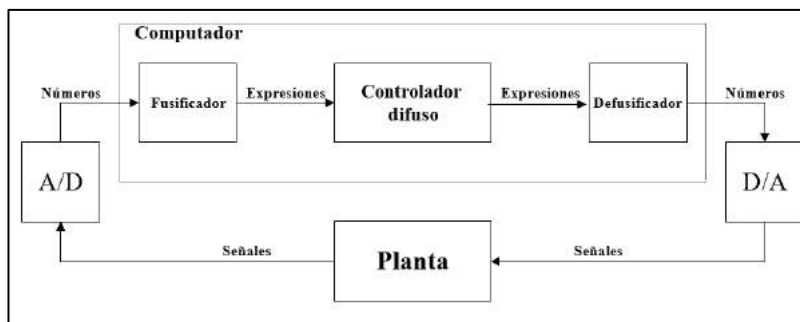


Figura 17-1: Lazo de control difuso

Fuente: (Kouro y Musalem 2002).

Definiciones fundamentales: para entender de mejor manera el control difuso, se presente a continuación una breve descripción de los componentes de este y para un entendimiento más amplio se puede observar la figura 18-1 (Bermeo Ramón y Bravo Quinga 2019, 20-21).

- 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.

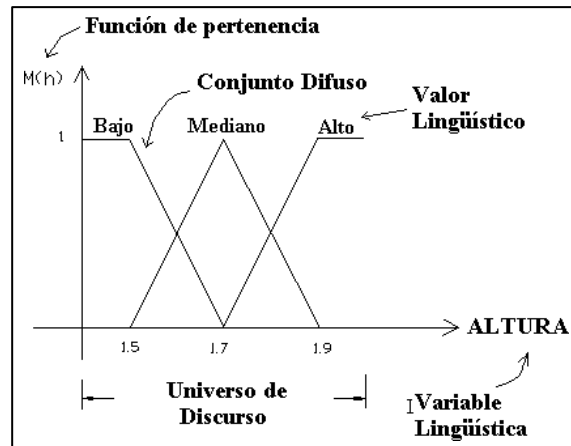


Figura 18-1. Identificación de componente de la lógica difusa.
 Fuente: (Línea 2015)

- Función de pertenencia: Concede a cada componente de cada grupo un nivel de pertenencia. Las funciones más utilizadas se muestran en la tabla 10-1 son:

Tabla 10-1: Tipo de funciones de transferencia.

Número	Tipo de función	Representación gráfica.
1	Función triangular	
2	Función trapezoidal	
3	Función Gaussiana	
4	Función sigmoidea	

Fuente: (Línea 2015)

Realizado por: Tapia, C; Ulloa, D, 2021.

1. Función triangular: Esta 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: Utiliza valores reales a, b y c siendo c es mayor que cero.

Ecuación 2-1: Función gaussiana

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

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.

Ecuación 3-1: Función sigmoidea

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

- **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 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 Ramón y Bravo Quinga 2019, 20-25).

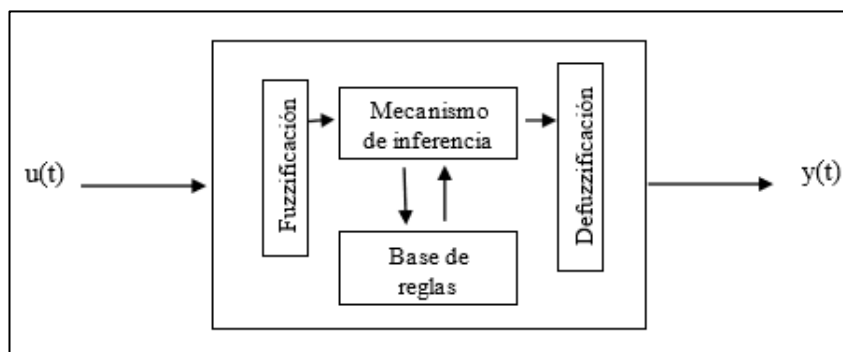


Figura 19-1: Proceso del sistema de inferencia difusa.

Fuente: (Bermeo Ramón y Bravo Quinga 2019); (De Los Ríos, Ipanaqué Alama y Sánchez Dedios 2004).

- **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 y Musalem 2002, 1-7).

- **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” qué son decretadas del controlador hacia la planta mediante el uso de operaciones difusas tales como OR, AND y NOT (Bermeo Ramón y Bravo Quinga 2019, 20-25).

- **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 ver figura 20-1 de inferencia dentro de las más utilizadas son la injerencia por cuadros mínimos Mamdami, producto de Larsen, Drástico y Bounded (Bermeo Ramón y Bravo Quinga 2019, 20-25).

Método de inferencia	Definición
Mamdani minimum inference, R_M	$\min(\mu, \mu_w(z)), \forall z$
Larsen product inference, R_L	$(\mu \times \mu_w(z)), \forall z$
Drastic product inference, R_{DP}	$\begin{cases} \mu & \text{para } \mu_w(z) = 1 \\ \mu_w(z) & \text{para } \mu = 1 \\ 0 & \text{para } \mu < 1 \text{ y } \mu_w < 1 \end{cases}$
Bounded product inference, R_B	$\max(\mu + \mu_w(z) - 1, 0)$

Figura 20-1: Proceso del sistema de inferencia difusa.

Fuente: (De Los Ríos, Ipanaqué Alama y Sánchez Dedios 2004)

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 y Musalem 2002). El método más usado en la defuzzificación es del centroide definido donde se transforma la salida difusa en un número real que constituye el centro de gravedad del conjunto difuso de salida (Bermeo Ramón y Bravo Quinga 2019, 20-25).

1.2.9.2 Algoritmo genético

Un AG es un procedimiento qué Busca emular la teoría de la evolución biológica de Darwin para dar sentencia a los problemas planteados, en ese sentido se inicia con una población que posteriormente elige a los individuos de mayor potencial para reproducirlos e imitarlos y conseguir una concepción de individuos más adaptados (Arranz de la Peña y Parra Truyol 2007, 1-8).

En esencia, los individuos de una población compiten entre sí por recursos como alimentos, agua y refugio. Incluso los miembros de la misma especie a menudo compiten entre sí para encontrar

una pareja. Los individuos más exitosos tienen más probabilidades de tener más descendencia para sobrevivir y atraer parejas. Por el contrario, las personas menos talentosas tendrán menos hijos. Esto significa que los genes de los individuos más adecuados continuarán propagándose a más individuos (Jiménez y Al-Hadithi 2014, 6-8).

Esquema básico

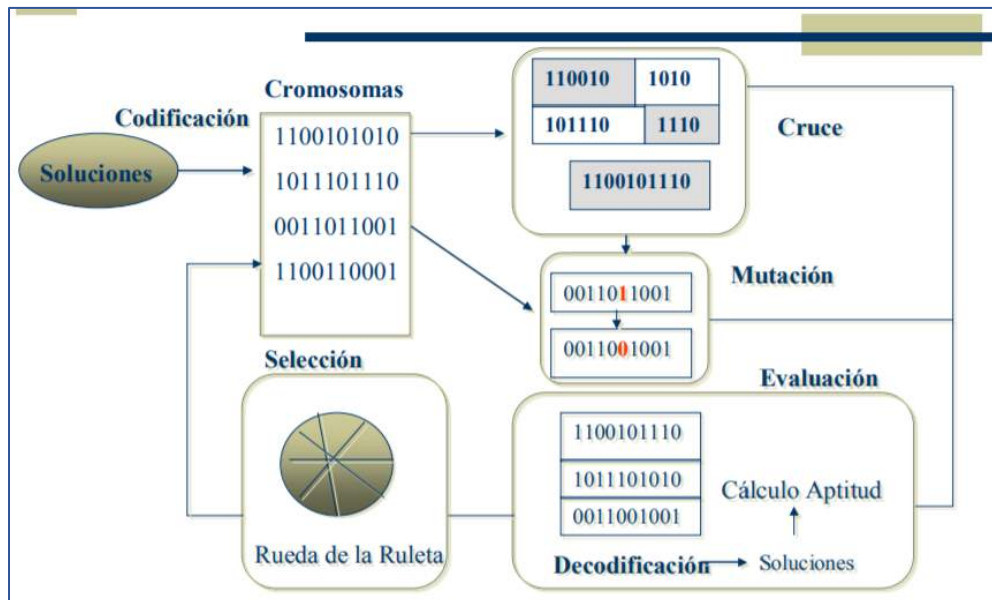


Figura 21-1. Estructura básica de un algoritmo genético.

Fuente: (Arranz de la Peña y Parra Truyol 2007)

Uno de los propósitos es lograr que el tamaño de la población sea lo suficientemente extenso para asegurar la variedad de soluciones para ello se deben seguir los pasos básicos de un algoritmo genético (Arranz de la Peña y Parra Truyol 2007, 1-8) figura 21-1 que son:

- Evaluar la puntuación de cada uno de los cromosomas generados.
- Determinar la reproducción de los cromosomas siendo los más aptos los que tengan más probabilidad de reproducirse.
- Con cierta probabilidad de mutación mutaron gema del nuevo individuo general.
- Organizar la nueva población.

Codificación

Los individuos (posibles soluciones a problemas) se pueden representar mediante una serie de parámetros (denominados genes) que, agrupados, forman una cadena de valor (comúnmente denominada cromosoma). Algunas de las teorías basadas en algoritmos genéticos que no siempre incluyen el alfabeto $\{0, 1\}$, que se utiliza para representar a un individuo, utilizan este alfabeto.

Cuando se seleccionan dos pares de padres, los cromosomas a menudo se combinan utilizando operadores de hibridación y mutación. Las formas básicas de estos operadores se describen a continuación. El operador de cruce toma dos pares seleccionados de padres y corta la secuencia cromosómica en posiciones seleccionadas al azar (Alander 1992, 65-69).

Selección

Los algoritmos de selección se encargan de seleccionar a las personas en edad fértil y a las que no. La supervivencia de personas más sanas debería tener mayores oportunidades reproductivas. Porque se trata de imitar lo que ocurre en la naturaleza. Por lo tanto, las elecciones individuales están vinculadas a valores ajustados. Sin embargo, a medida que la población se vuelve más uniforme durante las próximas generaciones, no es necesario eliminar por completo las opciones reproductivas para los individuos mal adaptados (Marcos, y otros 2010, 11-42).

- Selección por el método de la ruleta

A cada individuo de la población se le asigna una participación en relación con el ajuste de la rueda, de modo que la suma de todas las participaciones sea uniforme. Los mejores jugadores participan en los juegos de ruleta más que los inferiores. Generalmente, los juegos se ordenan después de los agujeros, por lo que la mayor parte está en la parte superior de la rueda. Para seleccionar una persona, simplemente genere un número aleatorio en intervalos $[0,1]$ y la rueda de la ruleta simplemente traerá a la persona de regreso a esa posición. Este lugar generalmente recibe probabilidades de ruleta de forma acumulativa hasta que la suma excede el valor obtenido al observar al individuo en la población. Es un método muy simple, pero no funciona para grandes poblaciones (Marcos, y otros 2010).

- Selección por el método del torneo

La idea principal de este método de selección es seleccionar objetos de herencia basándose en una comparación directa con la herencia. Hay dos versiones de selección de torneos, determinista y probabilística, que se detallan a continuación. En la versión determinista, se selecciona aleatoriamente un gran número de individuos (generalmente se selecciona $p = 2$). La persona más adecuada seleccionada será seleccionada y transmitida a la siguiente generación (Marcos, y otros 2010, 11-42).

Cruce

La idea principal de la endogamia se basa en el hecho de que la genética puede ser la causa misma de la bondad cuando se casa con dos humanos bien adaptados y se produce una descendencia que comparte el mismo gen padre. Al compartir los buenos rasgos de dos personas, sus hijos, o al menos algunos de ellos, deben tener una amabilidad definida hacia sus padres. No dan un paso atrás porque la cruz no le da a uno de los hijos los mejores rasgos y la descendencia es menos adaptable que sus padres. La elección de una estrategia de interferencia no destructiva garantiza que los mejores individuos pasen a la siguiente generación (Marcos, y otros 2010, 11-42).

Mutación

Por mutación en un individuo, uno de estos genes, generalmente uno, cambia su valor al azar. Aunque los individuos pueden seleccionarse directamente de una población existente y mutar antes de ser introducidos en una nueva población, las mutaciones se utilizan a menudo con operadores cruzados. Primero, se seleccionan dos individuos de la población para realizar el apareamiento. Si el cruce tiene éxito, la descendencia de uno o ambos mutará con una cierta probabilidad P_m (Marcos, y otros 2010, 11-42). De esta forma, se imita el comportamiento que ocurre en la naturaleza. Cuando nace la descendencia, generalmente no es muy importante pasar la carga genética de padres a hijos, ya que siempre ocurren algunos errores. El riesgo de mutación es muy bajo, generalmente menos del 1%. Esto se debe principalmente al hecho de que los individuos tienden a adaptarse más débilmente después de la mutación. Sin embargo, la mutación se lleva a cabo de manera que la probabilidad de ser probado en cualquier punto del espacio de búsqueda no sea cero.

- Aumenta o disminuye una pequeña cantidad de genes generados aleatoriamente.
- Multiplica genes con valores aleatorios cercanos a 1.

Evaluación

Para que un algoritmo genético funcione correctamente, debe existir un método para indicar si representa una solución adecuada a un problema planteado por los individuos de una población. Por lo tanto, para que se resuelva el tipo de problema, se deben derivar nuevos métodos para que surjan de la propia codificación del individuo. Esto se realiza mediante una función de evaluación que establece una medida del valor de la solución. Esta acción se llama mediación. En la naturaleza, la aptitud (o aptitud) de un individuo puede considerarse como la probabilidad de que

el individuo sobreviva y se reproduzca hasta la edad de procrear. Esta probabilidad depende del número de individuos de la población genética (Marcos, y otros 2010, 11-42).

En el mundo de los algoritmos genéticos, esta medida se utiliza para controlar la aplicación de operadores genéticos. Es decir, puede controlar cuántas selecciones, intersecciones, duplicados y mutaciones se realizan. El enfoque más común es crear un ajuste explícito para cada individuo de la población. A cada individuo se le asigna un valor de cumplimiento escalar de acuerdo con un proceso de evaluación claramente definido. Como se mencionó anteriormente, este procedimiento de evaluación depende del área del problema al que se aplica el algoritmo genético. La conformidad también se puede medir mediante el método de "codesarrollo". Por ejemplo, la relevancia de una estrategia de juego determina la estrategia opuesta aplicándola a toda la población (o fallando la muestra) (Koza 1992, 20-22).

1.2.9.3 Control fuzzy-genético

Micro-red es un concepto revolucionario que tiene como objetivo resolver algunos de los problemas de los grandes sistemas de energía centralizados. Si bien este concepto promete muchas ventajas, también plantea nuevos desafíos en términos de control y operación (Zuñiga Cortes, Caicedo Bravo y López Santiago 2016, 17-33).

El control para este tipo de sistemas se basa en algoritmos híbridos que utilizan lógica difusa y algoritmos genéticos debido a que la lógica difusa da paso para abordar la incertidumbre relacionada con diversas variables relacionadas con el problema de la gestión energética, por otra parte, los algoritmos genéticos se utilizan para buscar soluciones en el vasto espacio de investigación (Fossati, Diseño de algoritmos para la optimización de la gestión de la energía en microrredes eléctricas 2015, 15-25) en los cuales se puede observar los resultados indican que el desarrollo de controladores adecuados facilitara una participación competitiva de las energías renovables y la integración de las microrredes en el nuevo modelo de sistema eléctrico (Bordons, García Torres y Valverde 2015, 117-132).

El uso de este de sistema híbrido permite un diseño optimizado para redes eléctricas de baja y media tensión teniendo en consideración diferentes puntos de producción y configuraciones de red del algoritmo de control el cual determinar el punto de operación fusificado y optimizado (Barrenechea Gruber 2019, 2).

La flexibilidad de las AG hace que estas no solo puedan evaluar los puntos óptimos de las variables internas de la Bolsa de Valores, sino que también permitan la adición de variables externas para correlacionar información con el modelo de impacto de la bolsa. el entorno teniendo en cuenta los intereses del evaluador o decisor (Cantillo Pallares, Bastidas y Marlon 2009, 27-

34). El sistema difuso ha demostrado tener una capacidad muy alta para satisfacer la necesidad de identificar la iniciación de eventos y seleccionar señales del sistema de óptima gestión, útiles para el diagnóstico automático de eventos en el sistema de transmisión (Llano, Zapata y Ovalle 2007, 125-134).

1.2.9.4 Redes neuronales

Hace unos 100 años, la electricidad cambió todas las industrias. Hoy, inteligencia artificial (IA) tiene el poder de transformarlos nuevamente y provocar una nueva revolución industrial. La inteligencia artificial va más allá de las novelas de ciencia fantástica y ahora desde usar un asistente personal virtual hasta organizar el teléfono donde sugiera una canción que nos guste. Además de hacernos la vida más fácil, los sistemas inteligentes nos ayudan (Leyva-Vázquez 2018).

Las redes neuronales en control se usan por su amplia capacidad de comprender la conducta de variables no lineales dentro de un proceso. Esta habilidad llega a ser utilizada para el diseño de sistemas que actúen como simulador identificador y controlador (R. Galán, y otros 2000, 43-48).

La propia red neuronal actúa como un estimador universal. Entonces, qué acción es correcta y qué acción es incorrecta, para producir una mejor respuesta y, por lo tanto, los parámetros se pueden ajustar para un mejor rendimiento del sistema de control. Ahora se usa ampliamente en sistemas de reconocimiento, predicción, etc. Sin embargo, los sistemas de control también tienen aplicaciones, ya que tienen la gran ventaja de poder cambiar parámetros según reglas definidas para lograr un objetivo en particular (Gonzalez 2018).

1.3 Criterios de dimensionamiento de una micro-red

Para el desarrollo de este ítem se tomó como referencia el webinar impartido por la empresa Solar Center la cual nos menciona los pasos a seguir para un dimensionamiento. A continuación, se describen los pasos y ecuaciones a utilizar en el presente ítem.

1.3.1 Panel Solar

El proceso inicia con la ecuación 4-1 donde se calcula el consumo por día de cada residencia para posteriormente dimensionarlo en un 20% más sobre el valor calculado COND ver ecuación 5-1, ya que, esto compensará las pérdidas. Obtenido el CONDD se calcula la potencia necesaria para suplir la demanda, considerando la figura 22-1, la cual nos indica el valor de la hora solar mínima calculando de esta manera la potencia del panel mediante la ecuación 6-1 y como último paso tenemos el cálculo del #Mod expresado por la ecuación 7-1 (Solar Center 2019).

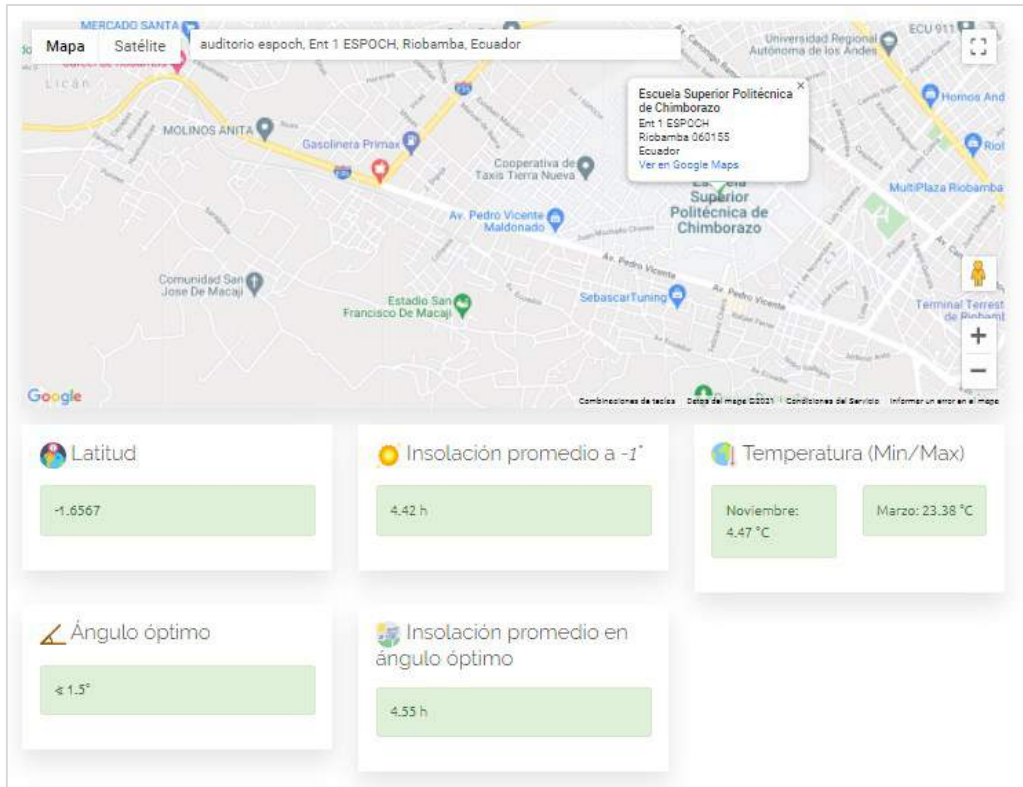


Figura 22-1: Datos obtenidos de la ciudad de Riobamba mediante Solar App- CCEEA.
Fuente: Tapia, C; Ulloa, D, 2021.

Ecuación 4-1: Consumo diario para el usuario prosumer.

$$COND = \frac{CME}{30 \text{ días}} \text{ kW/día}$$

Donde:

CME: Consumo mensual en Energía.

Ecuación 5-1: Consumo diario dimensionado para el usuario prosumer.

$$CONDD = COND * 1,20 \text{ kW/día}$$

Donde:

COND: Consumo diario sobredimensionado.

Ecuación 6-1: Potencia del panel fotovoltaico.

$$P_{foto} = \frac{CONDD}{HSm} W$$

Donde:

HSm: Hora solar mínima

Ecuación 7-1: Número de módulos fotovoltaicos.

$$\#Mod = \frac{P_{foto}}{PMS}$$

Donde:

CONDD: Consumo diario dimensionado.

Pfoto: Es la potencia obtenida.

PMS: Es la potencia del panel seleccionado.

1.3.2 Sistema de almacenamiento de energía local

El dimensionamiento de las baterías tomó en consideración el tipo de voltaje del sistema, consumo diario y eficiencia (Solar Center 2019).

En primera instancia se debe de determinar el voltaje del sistema para ello utilizamos la tabla 11-1 donde se deduce que el valor 24 V y se prosigue a la ecuación 8-1 que sirve para calcular los amperios por día y donde se debe de considerar que la eficiencia del inversor muchas de las veces no entregan el 100%, para lo cual se utilizará el 93%, ya que, al utilizar este valor se eleva el consumo y amortigua las pérdidas. La ecuación 9-1 representa el número de baterías que te dispondrán de manera paralelo y la ecuación 10-1 la forma serial ya con estos valores se puede calcular el valor total (Solar Center 2019).

Tabla 11-1: Tipo de sistema en función a los rangos de operación.

Rangos de operación	Tipo de sistema
1 a 2 kWh	12 V
2001 a 4 kWh	24 V
4001 en adelante	48 V

Fuente: (Center Solar. 2019)

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021.

Ecuación 8-1: Ah/día

$$\frac{Ah}{dia} = \frac{\frac{CONDD}{EDI}}{VoltS} \frac{Ah}{dia}$$

Donde:

CONDD: Consumo diario dimensionado.

EDI: Eficiencia del inversor.

VoltS: Voltaje del sistema.

Ecuación 9-1: Batería paralelo.

$$BatPa = \frac{\frac{Ah}{dia} * DAut}{\frac{PDD}{CaBat}}$$

Donde:

BatPa: Baterías en paralelo.

$\frac{Ah}{dia}$: Consumo de amperios hora por día.

DAut: Días de autonomía.

PDD: Profundidad de descarga de la batería.

CaBat: Capacidad de la batería seleccionada.

Ecuación 10-1: Baterías de serie

$$BatSe = \frac{VoltS}{V_{BatS}}$$

Donde:

BatSe: Baterías en serie.

VoltS: Voltaje del sistema.

V_{BatS}: Voltaje de la batería seleccionada.

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

Este capítulo contiene 3 fases de desarrollo en la implementación del control fuzzy-genético para una micro-red en la que incluye usuarios tipo prosumer, en la primera fase se obtienen los parámetros para el modelado, en la segunda fase se implementan los elementos de electrónica de potencia para tener un usuario prosumer, en la última fase da lugar al control fuzzy-genético en la batería y para red eléctrica.

2.1 Requerimientos para la arquitectura del modelo de la micro-red.

Basado en el en la revisión de del estado del arte realizada en el capítulo 1, se define los requerimientos para el modelado y simulación de una micro-red inteligente aplicando control fuzzy-genético para la óptima gestión energética en escenarios prosumers.

Modelado de la micro-red

- Utilizar el software de simulación Matlab 2018b.
- Trabajar en tiempo discreto paso de 0.001s.
- Considerar la red eléctrica de 110v a 60Hz ac.
- Utilizar la tabla 1-2 para la configuración y el dimensionamiento del panel, la tabla 2-2 para los parámetros del bloque de batería y la tabla 3-2 para el convertidor Buck.

Tabla 1-2: Características del panel seleccionado.

Característica	Datos
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmax):	33.93 V
Corriente en el punto de máxima potencia (Imax):	10.02 A
Voltaje en circuito abierto (Voc):	41 V
Corriente de cortocircuito (Isc):	10.82 A
Coefficiente de temperatura de Voc	-0.29 %/°C
Coefficiente de temperatura de Isc	0.048 %/°C
Tipo de Células:	120

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021.

Tabla 2-2: Características de la batería seleccionada.

Característica	Datos
----------------	-------

Voltaje nominal	24 V
Capacidad nominal	100Ah
Estado inicial de carga	40%
Tiempo de repuesta	30s

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021.

Tabla 3-2: Características del convertidor seleccionado.

Descripción	Datos
Voltaje de entrada	41V
Frecuencia de conmutación	50khz
Lmin	5.1875 μ H
Rizado	5%
Capacitor	826 μ F
Voltaje de salida	24V

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021.

- Utilizar los valores referenciales de energía de consumo máximo de 83,37 kWh. y mínimo 0,5 kWh.
- Tabular los datos a cuartos horarios de irradiancia y temperatura con respecto a la ciudad de Riobamba.

Simulación de la micro-red

- Implementar en el software Matlab/Simulink los elementos como panel fotovoltaico, MPPT- Buck, batería, carga, batería comunitaria, un generador, control y gestión de red.
- Optimizar la variable de potencia prosumer mediante el uso del algoritmo genético.
- Determinar el error de potencia mediante la diferencia entre la potencia del panel y la potencia del usuario prosumer para generar el control fuzzy.
- Combinar el algoritmo genético y el control fuzzy de tal forma que funcionen de manera conjunta.
- Utilizar el sistema Mamdani para la elaboración del control fuzzy
- Definir las variables lingüística y reglas de control para la batería y la red de distribución.

2.2 Concepción de la arquitectura de la micro-red.

La figura 1-2 se ilustra la arquitectura de la micro-red inteligente la cual se simulará en el software Matlab/Simulink.

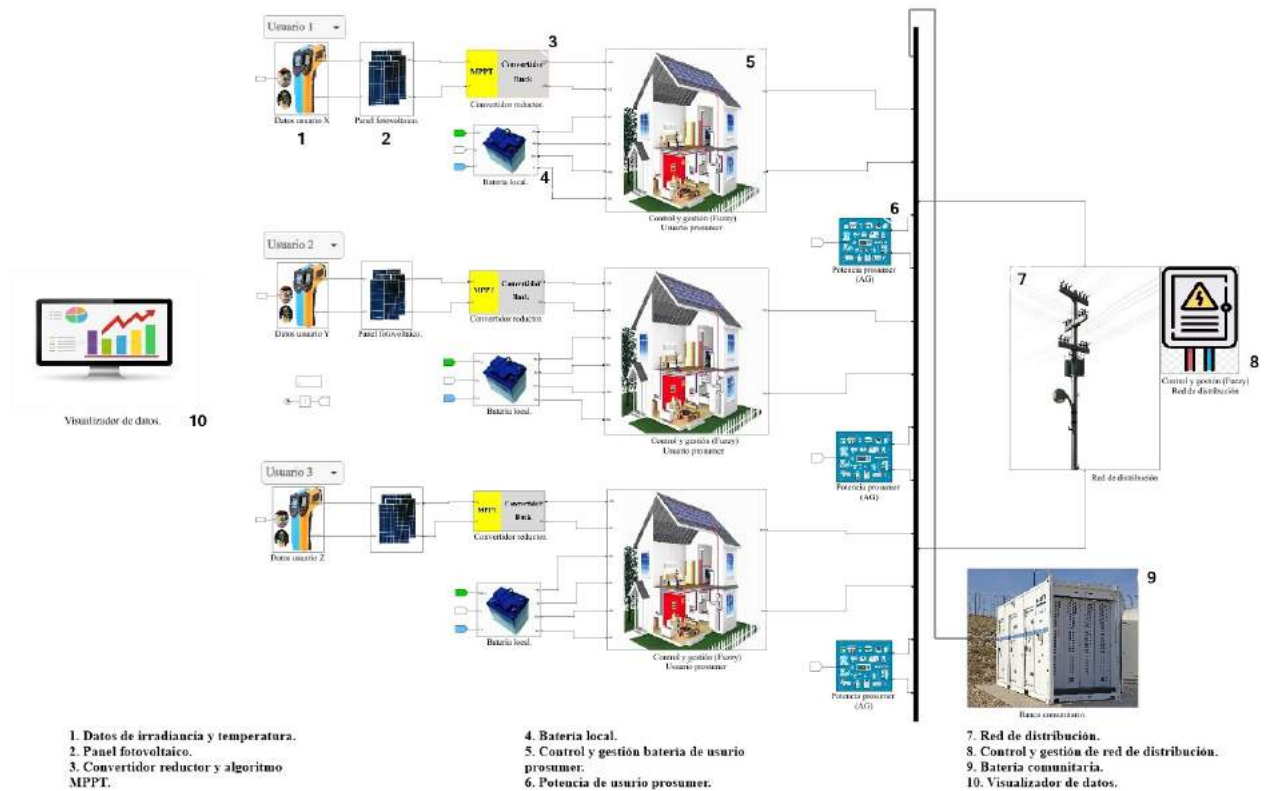


Figura 1-2: Elementos y características de la micro-red a simular.
 Realizado por: Tapia, C; Ulloa, D, 2021

La figura 1-2 la cual describe una micro-red residencial conectada a una red convencional con un sistema de almacenamiento, un generador de tipo fotovoltaico y una carga residencial según como se manifiesta en el estado del arte del capítulo I.

La arquitectura de la micro-red inteligente presenta 3 usuarios y consta de 11 partes:

1. 15 vectores diferentes de irradiancia y temperatura que han sido parametrizados en un sistema cuarto horario
2. Un panel solar por usuario configurado y dimensionado según la tabla 1-2.
3. Un con el algoritmo MPPT de tipo conductancia incremental, permite determinar el ciclo de trabajo para llevar a cabo la conmutación en el convertidor.
4. Una batería parametrizada y dimensionada la tabla 2-2.
5. Un boque de control a base de lógica difusa tipo Mamdani que evalúa y toma una decisión conforme los datos del SOC de la batería del usuario (SOC_X), el error de potencia (EP_X), el estado de la batería (EB_X) y usuario prosumer (PUP_X).
6. Un bloque de optimización que se basa en la codificación, selección, cruce, mutación y evaluación para concretar así el algoritmo genético.

7. Un sistema interconectado de red de distribución.
8. Segundo sistema de control de red.
9. El banco de almacenamiento comunitario que realiza un registro de peticiones de potencia de cada usuario prosumer.
10. Una interfaz gráfica que brinda información sobre, el error de potencia, el estado de carga, la potencia prosumer como datos generales.

2.2.1 Consumo de carga del usuario prosumer

Utilizando los valores referenciales y las ecuaciones 4-1 y 5-1, determinamos los valores de potencia máxima y mínimo obsérvese la tabla 11-2 de forma continua se utilizó la tabla 4-2 en la que se puede observar el tiempo y la equivalencia de la potencia consumida por la carga donde fue considerado los valores máximos, mínimos y de media, valores indispensables para la obtención de la función de Lagrange (Fgp) que definió los diferentes rangos y tipo de demanda expresados en la tabla 5-2.

$$P_{maxh} = \frac{83.34_{(kWh)}}{720_{(h)}}$$

$$P_{max} \sim = 116 (W)$$

Este valor representa el consumo de potencia máxima por día.

$$P_{minh} = \frac{0.5_{(kWh)}}{24_{(h)}}$$

$$P_{minh} \sim = 21 (W)$$

Este valor representa el consumo de potencia mínima por día.

Tabla 4-2: Datos de potencia máxima y mínima.

Potencia Máxima	Potencia Mínima
$P_{maxh} = \frac{83.34_{(kWh)}}{720_{(h)}}$ $P_{max} \sim = 116 (W)$	$P_{minh} = \frac{0.5_{(kWh)}}{24_{(h)}}$ $P_{minh} \sim = 21 (W)$

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

Para garantizar el funcionamiento del control ese debe de considerar las cargas o consumo de usuario de manera aleatoria (Sanango Fernández, Desarrollo de un Algoritmo de Interrelación

para Microredes de Distribución Eléctrica. 2015) teniendo en consideración este criterio la aleatoriedad se dará dentro de los rangos anteriormente mencionados.

$$F_{gp} = \frac{(29 * x * (x - 3) * (x - 5))}{14} - \frac{(69 * x * (x - 3) * (x - 7))}{20} - \frac{(7 * x * (x - 5) * (x - 7))}{8}$$

Tabla 5-2: Perfil de carga base para generación de n número de usuarios prosumer.

Tiempo	Porcentaje	Función "Fgp"	Redondeo de resultados	Rangos de consumo	Tipo de demanda en base a la figura 4-1
1	3,40	29,51	30	21 W - 30 W	BAJA
2	3,30	27,31	27		
3	3,20	25,15	25		
4	3,00	21,00	21		
5	3,10	23,05	23	23 W - 39 W	BAJA MEDIA
6	3,80	38,77	39		
7	3,90	41,17	41	39 W - 49 W	MEDIA
8	3,80	38,77	39		
9	3,90	41,17	41		
10	4,00	43,61	44		
11	4,10	46,07	46		
12	4,20	48,56	49		
13	4,10	46,07	46		
14	4,10	46,07	46		
15	4,10	46,07	46		
16	4,10	46,07	46		
17	4,10	46,07	46	51 W - 92 W	MEDIA/ALTA
18	4,30	51,07	51		
19	5,90	91,71	92	82 W - 116 W	ALTA
20	7,00	116,00	116		
21	6,30	101,17	101		
22	5,50	81,78	82		
23	4,50	56,14	56	41 W - 56 W	ALTA-MEDIA
24	3,90	41,17	41		

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

2.2.2 Dimensionamiento del panel

Para determinar la potencia y número de paneles solares se utilizó las características brindadas por el JINKO JKM340M-60H para la realización de los cálculos descritos en el apartado 1.4.1 de

tal forma que obtuvimos como resultado lo expresado en la tabla 6-2, valores que sirvieron para la generación del código.

Tabla 6-2: Resultados de dimensionamiento del panel solar.

Consumo diario por usuario prosumer	Consumo diario dimensionado por usuario prosumer	Potencia del panel fotovoltaico.	Número de módulos fotovoltaicos
<i>COND</i> = 2,778 kW/día	<i>COND</i> = 3,33 kWh/día	<i>P_{foto}</i> = 880,95 W.	# <i>Mod</i> \cong 3

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

2.2.3 Dimensionamiento de los sistemas de almacenamiento de energía

Para determinar el consumo de amperio hora por día , el número de baterías en serie y paralelo se utilizó los pasos descritos en el apartado 1.4.2 obteniendo como resultado lo expresado en la tabla 14-2, la cual no indica que el consumo de amperios hora por día para un sistema de almacenamiento de energía es de 149 Ah/día para cual se utilizó 3 batería en paralelo y 2 en serie con un total de 6 baterías como se indica en la tabla 7-2 para el bloque de almacenamiento de energía comunitaria, mientras que el bloque almacenamiento de energía comunitaria tiene un consumo de 1.12 Ah/día por los 15 perfiles generados y un total de 69 baterías.

Tabla 7-2: Resultados del desarrollo del ítem 1.4.2.

	Consumo de amperio hora por día.	Número de baterías en paralelo	Número de baterías en serie
Sistema de almacenamiento de energía local	149 Ah/día	3	2
Sistema de almacenamiento de energía comunitario	1.12k Ah/día	23	3

Fuente: (Center Solar. 2019)

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

2.2.4 Datos de irradiancia

Los datos de irradiancia solar se obtuvieron de la página TuTiempo.net considerando los parámetros como; el ángulo de incidencia de radiación solar, la declinación, inclinación, latitud y ángulo horario necesarios para determinar la en el eje x consideramos el tiempo, tomado datos cuarto-horarios, considerando una escala de 0.25 segundos equivalente a 15 minutos ver. Sin embargo, para la extracción de datos se realizó mediante el uso de la media entre valores por cada

hora iniciando desde las 6:00, dividió en 4 tiempos por intervalo de 1 hora según lo manifiesta Sanango Fernández, 2015; Villa Endara, 2017, escalando valores a cuarto horario, obteniendo como resultado el gráfico 1-2.

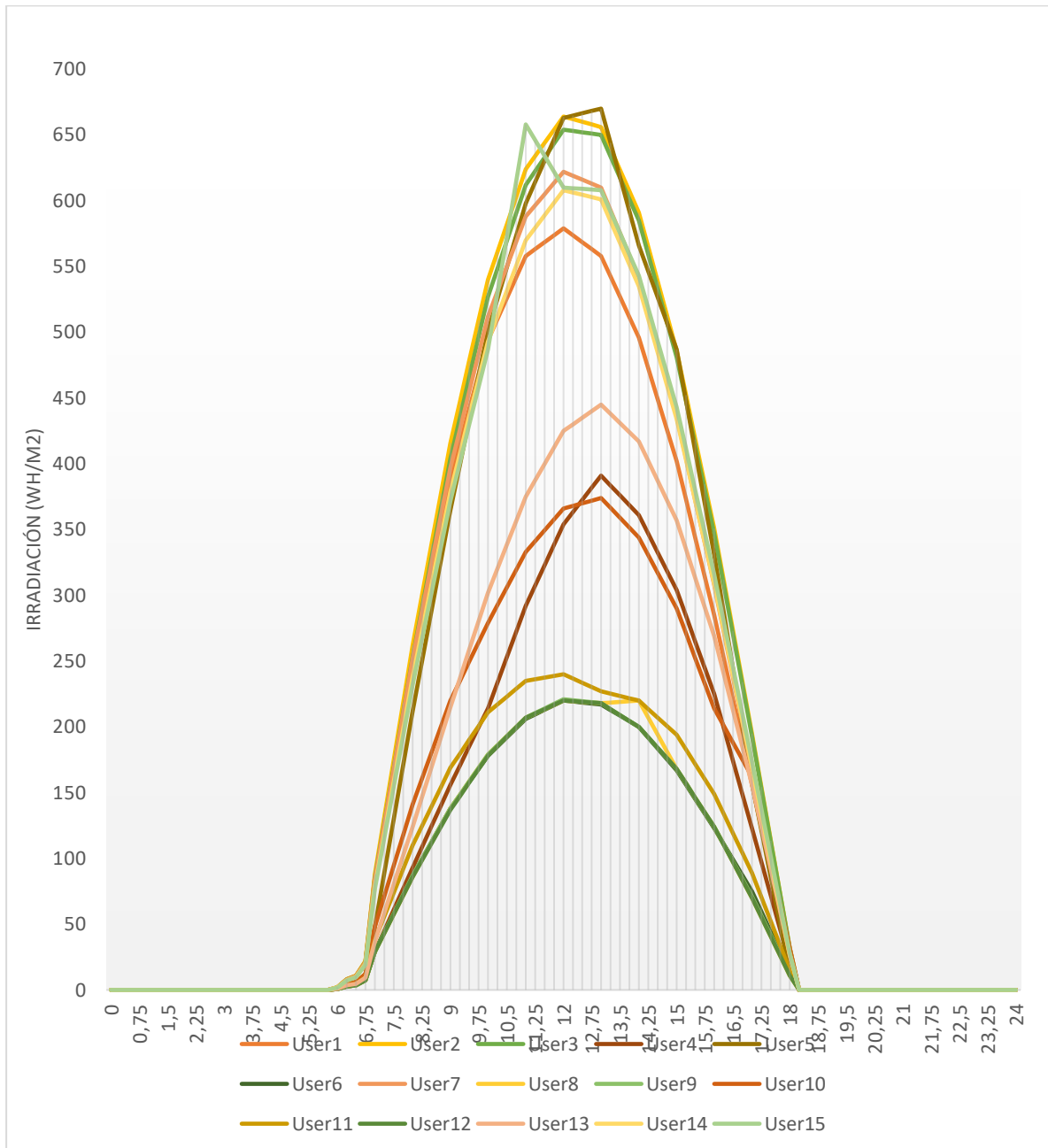


Gráfico 1-2: Datos de irradiancia solar (W/m²) vs Tiempo (s).
Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021.

2.2.5 Datos de temperatura

En la provincia de Chimborazo, ciudad de Riobamba, como se muestra en la figura 2-2 se tiene una temperatura promedio máxima de 19 °C y una temperatura promedio mínima de 9 °C mensual, los datos recolectados para este apartado fueron obtenidos de la página Weather Spark. (Spark 2021)

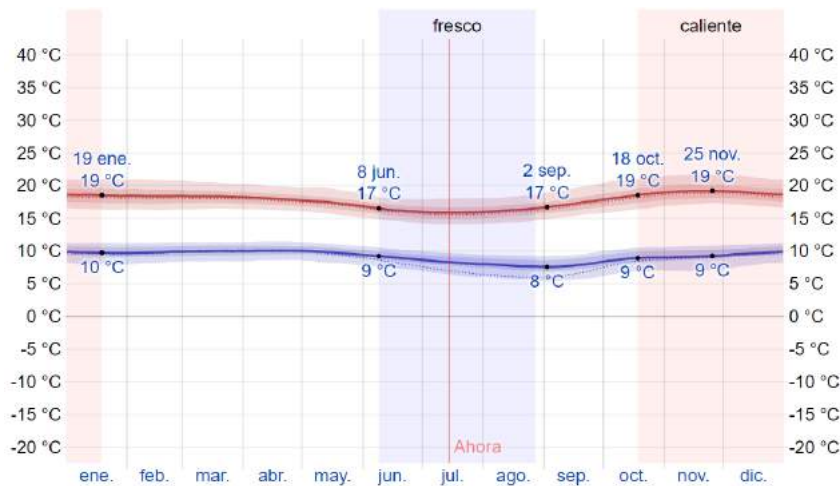


Figura 2-2: Datos promedios anuales de temperatura de la ciudad de Riobamba.
Fuente: (Spark 2021)

El comportamiento promedio de la temperatura al día tiene la forma de una campana de Gauss como se observa en la figura 3-2, considerando que de 00:00 a 06:00, un promedio de 10 °C, de 06:00 a 13:00 un comportamiento creciente hasta alcanzar un pico de 18 °C, de 13:00 a 21:00 un decrecimiento hasta tener una temperatura de 12 °C y para tener una temperatura promedio de 10 °C en el horario de 21 a 24 horas.

Los datos para simulación se consideran en cuarto horario, pero la temperatura varía de decimas de grados centígrados entre horas, por lo tanto, se toman los valores enteros y se discretizan a intervalos de 0.25 seg. por dato ver en donde se encuentran los datos contenidos en una tabla mientras que la gráfica 2-2 muestra de manera gráfica los datos a utilizar en temperatura.

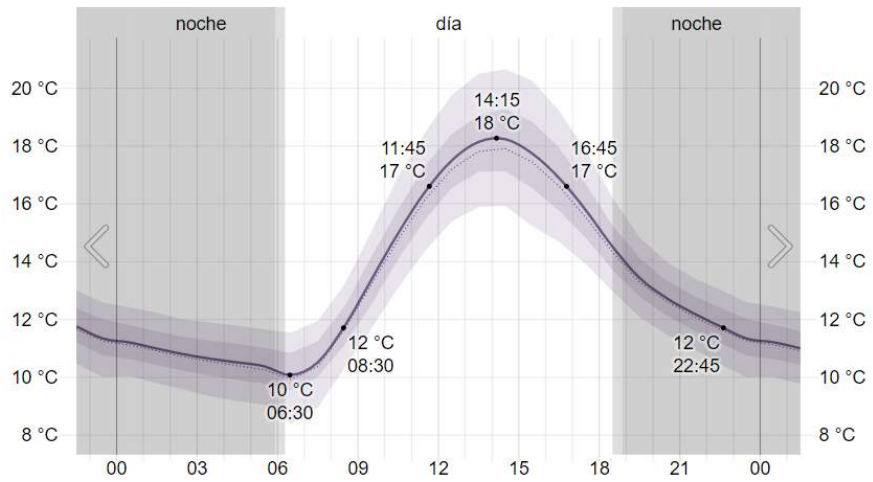


Figura 3-2: Datos promedios de temperatura por horas.

Fuente: (Spark 2021)

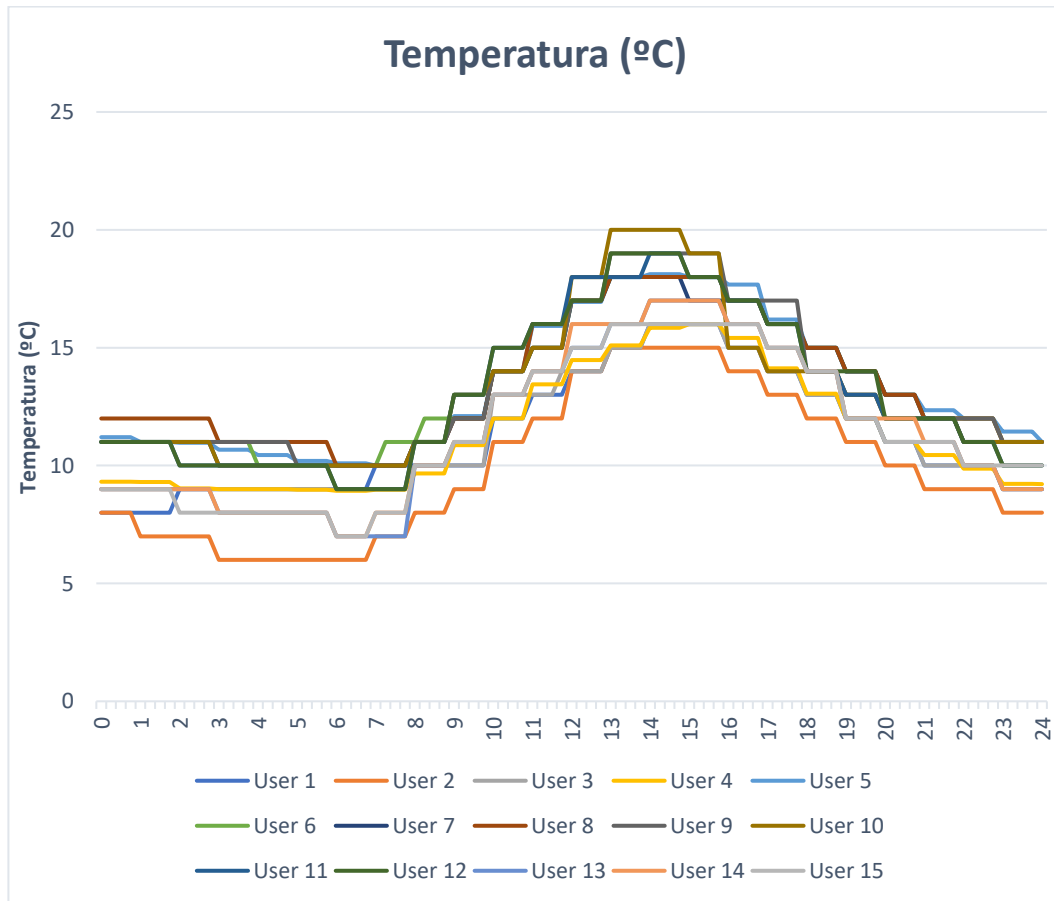


Gráfico 2-2: Líneas de datos de Temperatura (°C) vs Tiempo (s).

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021.

2.3 Arquitectura del modelo de la micro-red para Matlab/Simulink

Este apartado esta desarrollado por secciones para describir de una forma más clara y precisa la arquitectura del modelo determinado especificando de esta manera el subsistema usuario, panel sola, MPPT-Buck, batería, carga prosumer, control y gestión prosumer.

2.3.1 *Subsistema usuario*

En la periferia de la figura 4-2 consta de un combo box para seleccionar los datos de un usuario a través de la variable User_x, un subsistema usuario que contiene 15 signal builder con datos de irradiancia y temperatura, seleccionados mediante un switch de 3 entradas, 2 de datos y 1 de control, dando como salida Irradiancia y Temperatura.

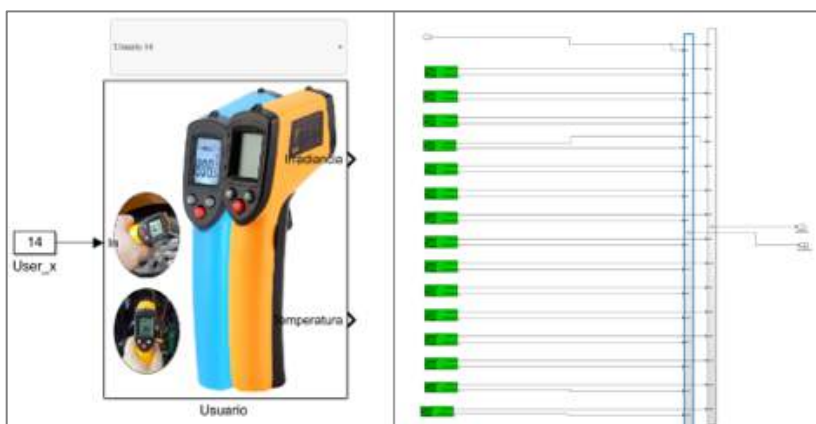


Figura 4-2: Subsistema Usuario.
Realizado por: Tapia. C & Ulloa. D, 2021

2.3.2 *Subsistema panel solar*

Los datos del subsistema usuario ver figura 5-2 en la cual se ingresan al panel solar, mediante las entradas Ir y T, el bloque de PV esta parametrizado según la tabla 1-2, la salida está dada por los terminales Pa+ Pa- de voltaje dc, los datos de voltaje y corriente del panel solar Vpv y Ipv correspondientemente se pueden observar en la figura 6-2.

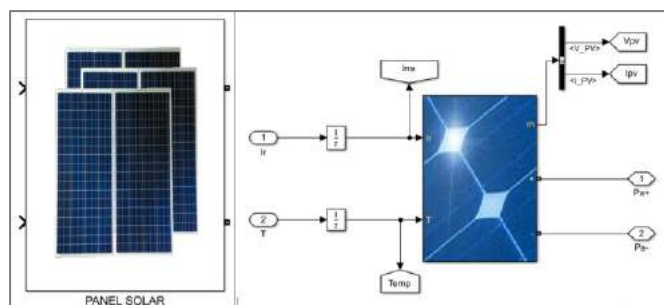


Figura 5-2: Caracterización del subsistema panel solar.
Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

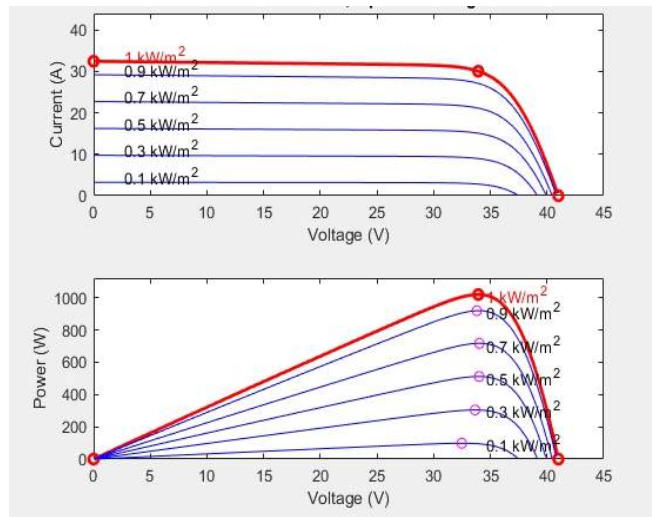


Figura 6-2: Curva de I-V del panel fotovoltaico.

2.3.3 Subsistema MPPT -Buck

Este subsistema está conformado por un algoritmo MPPT, tipo de conductancia incremental (INC) y un convertidor dc-dc de topología reductor (Buck) ilustrado en la figura 7-2.

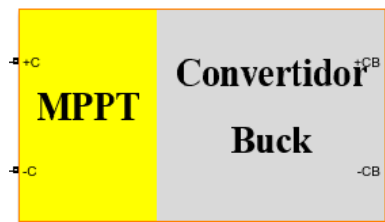


Figura 7-2: Bloque del convertidor dc-dc y el algoritmo MPPT.
Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

2.3.3.1 Control MPPT- INC PV

Los datos de V_{pv} y I_{pv} son estradas para el bloque `mpp_t_algorithmo`, como se ilustra en la figura 8-2, en las condiciones iniciales del algoritmo parte con un `duty_init = 0.05`, un `duty_min = 0.01`, un `duty_max = 0.7854` y un seguimiento `deltaD_in = 1.25e-3`, valor que permite incrementar o reducir el ciclo de trabajo, el código de programación se muestra en el Anexo O. La variable `duty`, ingresa a una modulación por ancho de pulso (PWM) con un tiempo de muestra de 0.1s y una frecuencia de conmutación de 50e3 Hz.

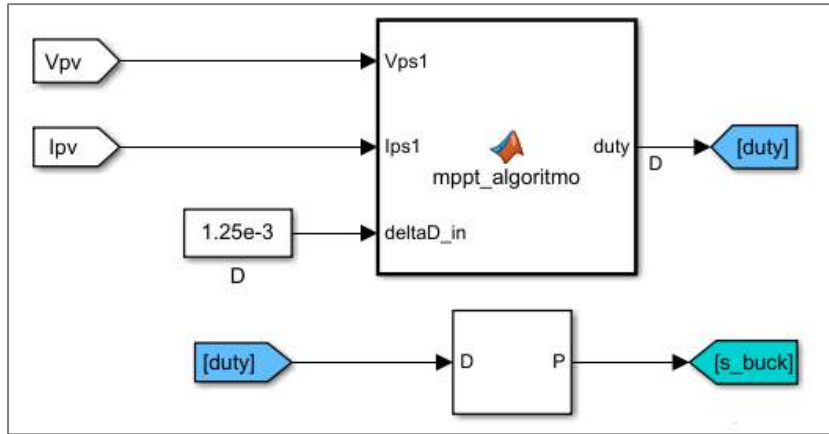


Figura 8-2: Control MPPT- IC PV.

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

2.3.3.2 Convertidor Buck

El modelo se fundamenta en la figura 9-1 y sus valores fueron acoplados mediante pruebas, la conmutación es mediante modulación por ancho de pulsos (PWM) denotado como *s_buck* para el convertidor, el voltaje de entrada es de 41V que ingresan a los terminales C+ y C- para obtener un valor de salida de 24 V, definiendo así los valores como se ilustra en la figura 32-2 en la cual cada elemento pasivo tiene una abreviatura y valor de $C1 = 188\text{mF}$, $L = 51,82\mu\text{H}$, $C2 = 0,85\text{mF}$, $R_{\text{buck}} = 1\Omega$ y un elemento activo como el transistor IGBT con una resistencia interna $R_{\text{on}} = 15\text{m}\Omega$, resistencia de Snubber $R_s = 0.1\text{M}\Omega$.

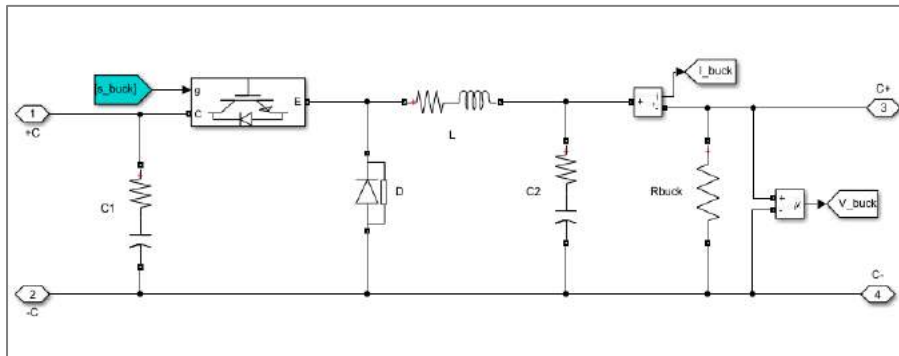


Figura 9-2: Convertidor implementado tipo Buck.

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

2.3.4 Subsistema batería

El sistema de almacenamiento local utilizado se ilustra en la figura 10-2, consta de dos modos de operación, color verde sección de carga y color rojo para descarga. Los switches 1,2,3,4 tienen señal binaria de entrada dada por el control fuzzy para su conmutación. Además de un inductor $L = 0,5\text{mH}$, y un capacitor $C = 635\mu\text{F}$ que permite almacenar voltaje y filtrar los picos de corriente

que se inyecta a la batería que está configurada según la tabla 5-2 obteniendo el estado de carga (SOC), corriente y tensión.

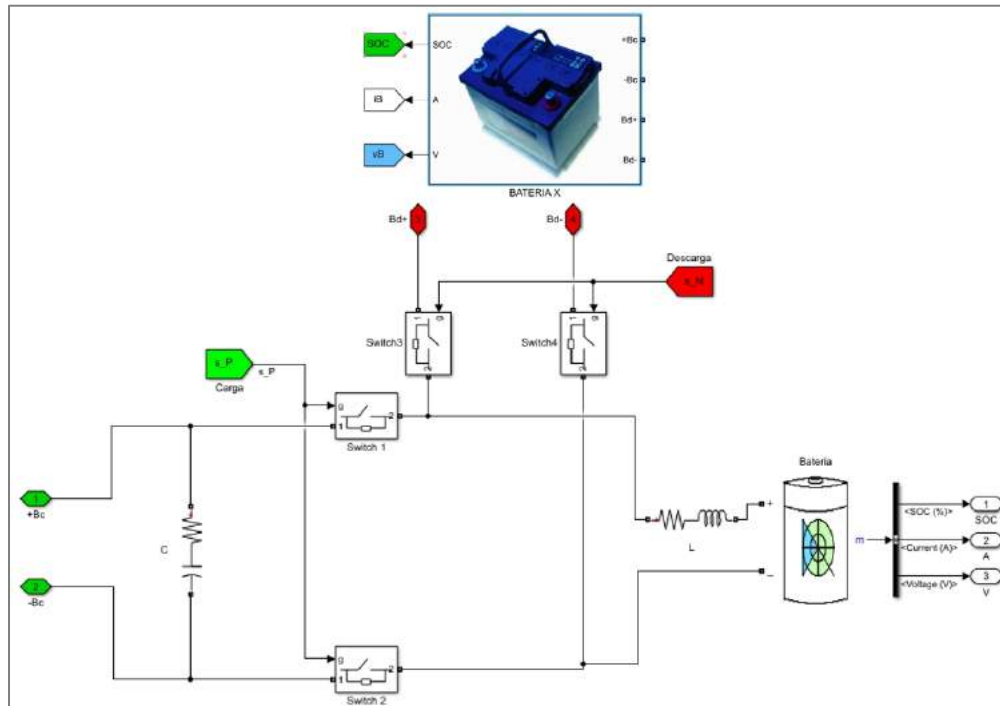


Figura 10-2: Sistema de carga o descarga de la batería.
Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

2.3.5 Subsistema carga prosumer

Compuesto por un bloque de Matlab *function*, donde contiene el código del AG obteniendo como resultado la potencia que requiere el usuario prosumer al día, definido en rangos por cada cuarto horario y el error de potencia según lo manifiesta Sanango Fernández, 2015 y Villa Endara, 2017.

2.3.5.1 Potencia prosumer

La figura 34-2, ilustra un bloque PUP X, donde está el algoritmo genético para generar un perfil de datos aleatorios dentro de los rangos de consumo expresados por la tabla 11-2 de tal forma que se obtiene la variable P_pros que representa la potencia solicitada por el usuario prosumer.

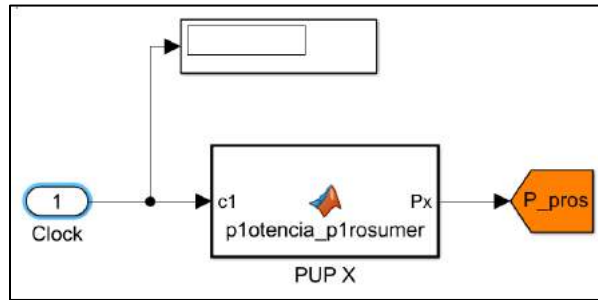


Figura 11-2: Bloque de potencia del usuario prosumer.
 Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

2.3.5.2 Error de potencia

El parámetro del error es el resultado de la diferencia entre en P_{pv} y P_{pro} expresados por la figura 12-2; si el error es negativo el panel solar no satisface la potencia requerida por el usuario, no obstante, si el error es positivo señala que la potencia del panel solar si cumple con la necesidad del usuario.

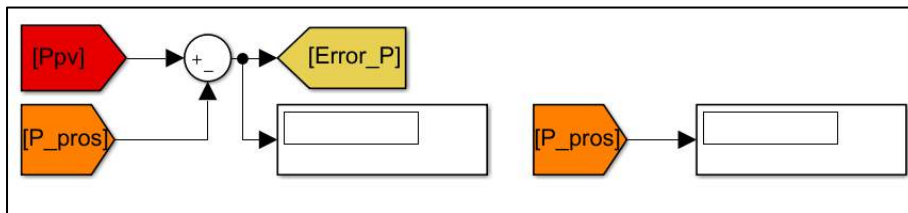


Figura 12-2: Bloque de error
 Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

2.3.6 Subsistema de batería comunitaria

La batería comunitaria brinda un registro datos sobre los pedidos de los usuarios en intervalos de tiempo, es decir, una demanda de energía eléctrica en base a la potencia prosumer P_{pro} .

2.3.7 Subsistema de Control y gestión prosumer

Contiene el algoritmo genético que optimiza la potencia del usuario y el control fuzzy de la batería prosumer.

2.3.7.1 Algoritmo genético en la potencia del prosumer

La figura 13-2 representa el procedimiento del algoritmo genético para optimizar los rangos la potencia del prosumer. Para una mejor referencia del proceso se toma la tabla 8-2 e iniciamos con la:

Fase 1. _ La población inicial descrita en rangos en la tabla 22-2 toma un valor random del rango para el intervalo de tiempo descrito, el tamaño de la población es de 10 individuos.

Fase 2. _ Es la codificación binaria, transformar de valor decimal a binario obteniendo un tamaño de cromosoma 7.

Fase 3. _ La función de costo correspondiente a $x^2 + 1$ donde se evalúa los individuos de una población.

Fase 4. _ Selección, se emplea el método de la ruleta basado en las probabilidades para determinar el mejor cromosoma de un individuo.

Fase 5. _ Cruzamiento, se selecciona otro individuo de la población por método de la ruleta, para realizar un cruzamiento y generar mejores hijos.

Fase 6. _ mutación, la probabilidad de mutación es de 7 y se escoge de forma aleatoria la posición para mutar el gen, obteniendo nuevos individuos en la población.

Fase 7. _ decodificación, tenido la nueva población se transforma de valor binario a decimal para obtener un valor numérico.

Tabla 8-2: Características del algoritmo genético.

Tiempo	Rango inicial.	Población	Codificación
[0 - 4]	[29 - 34]	[30...32]	(30)1111000
[4 - 7]	[49 - 57]	[51...49]	(51)1100110
[7 - 16]	[63 - 71]	[68...70]	(68)1000100
[16 - 18]	[80 - 86]	[82...83]	(82)1010010
[18 - 22]	[100 - 116]	[105...100]	(105)1101001
[22 - 24]	[65 -75]	[70...69]	(70)1000110

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

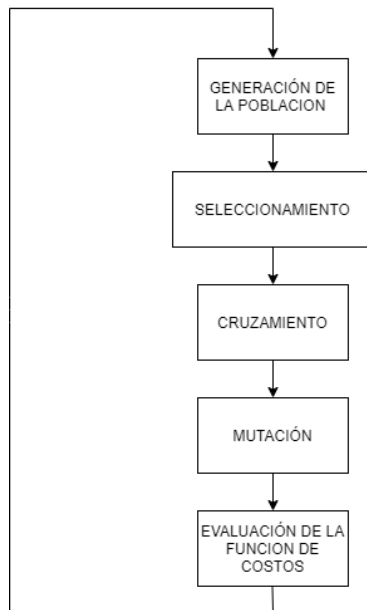


Figura 13-2. Diagrama de bloque del algoritmo genético.
 Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

2.3.7.2 Control Fuzzy de la batería prosumer

La figura 14-2 representa el sistema de control fuzzy para la operación de carga o descarga de la batería, las variables de entrada al bloque fuzzy_control_battery es el estado de carga (SOC) y el error de potencia Error_p, pasando por un proceso de fusificación y defusificación obteniendo una salida binaria para establecer etapa de carga s_P y etapa de descarga s_N.

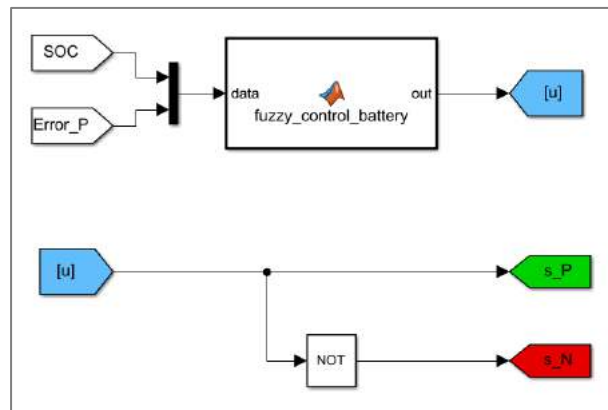


Figura 14-2: Bloque de control de la batería en Simulink
 Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

El código dentro del bloque fuzzy_control_battery se basa en la figura 15-2 y lo puedo observar de mejor manera en el anexo G la cual considera la información del SOC de la batería y del error de potencia obteniendo como resultado el estado de la batería (EB_X) véase la tabla 9-2.

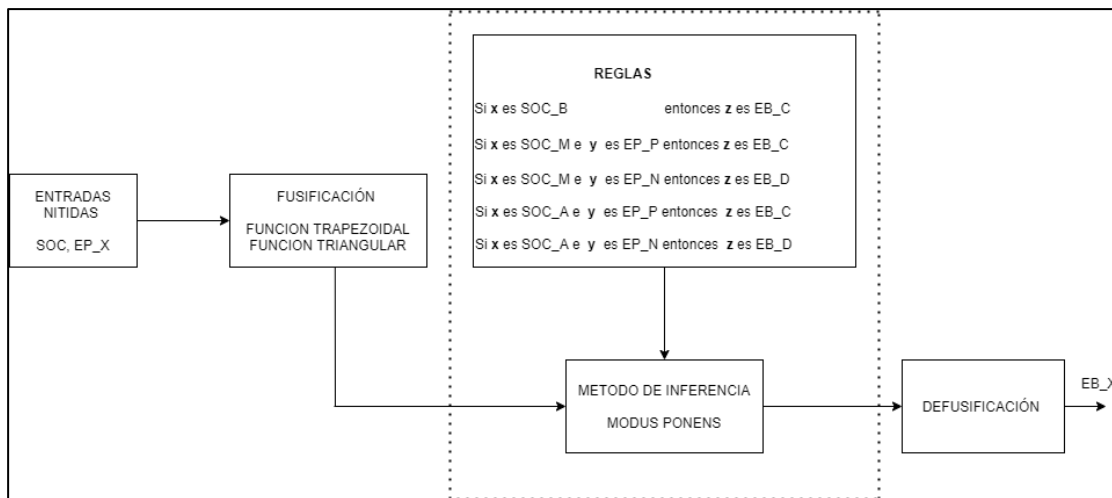


Figura 15-2: Diagrama de bloques para el control fuzzy de la batería

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

Tabla 9-2: Representación tabular de la información de entrada y salida del control fuzzy.

Tipo de dato y Parte de control	Variables lingüísticas	Conjunto universo	Subconjuntos del universo	Funciones de Membresía	Fuzzificación
Dato de entrada SOC de la Batería	$x = \text{SOC}$	$X = 0-100$ (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 Error de potencia	$x = \text{Error de Potencia}$	$X = [-200, 200]$ = EP_X	Negativo Positivo	Trapezoidal	
Dato de salida Estado de la Batería	$x = \text{Estado de Batería EB}$	$X = [0, 100]$ = EB_X	Batería Descarga (EB_D) Batería Carga (EB_C)}	Trapezoidal	

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

2.3.7.3 Control Fuzzy de la Red Eléctrica

La figura 16-2 representa el sistema de conmutación entre la red eléctrica y la red renovable, el bloque consta de tres variables como entrada tal como: el error de potencia Error_p, potencia prosumer P_pros y el estado de carga SOC, las cuales ingresan al bloque fuzzy_control_red y determinan el estado de conexión, tanto s_P_red que está conectado a la red eléctrica y s_N_red esta desconectado de la red eléctrica.

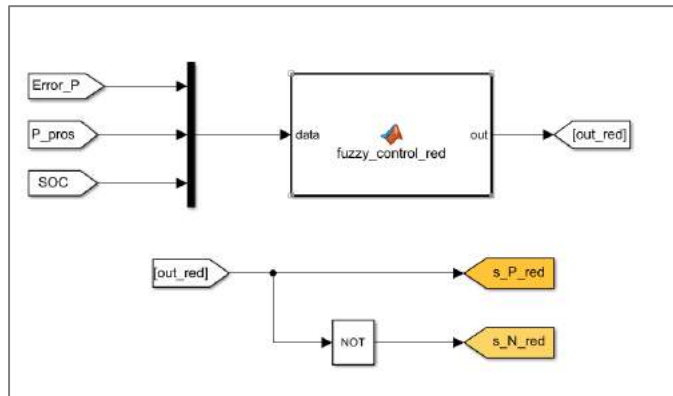


Figura 16-2: Control de conmutación red eléctrica, red renovable.
Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

El código dentro del bloque fuzzy_control_red se basa en la figura 17-2, consta de variables lingüísticas como PUP, SOC y EB_X, que están definidas con un conjunto universo y pasan a tomar funciones de membresía trapezoidal, conjunto con las reglas difusas y el método de inferencia tenemos resultados lingüístico, que pasan al proceso de defusificación para transformarlo a valores binarios para establecer la consumación de la red eléctrica. El código completo se puede observar en el anexo H la cual considera la información véase la tabla 10-2.

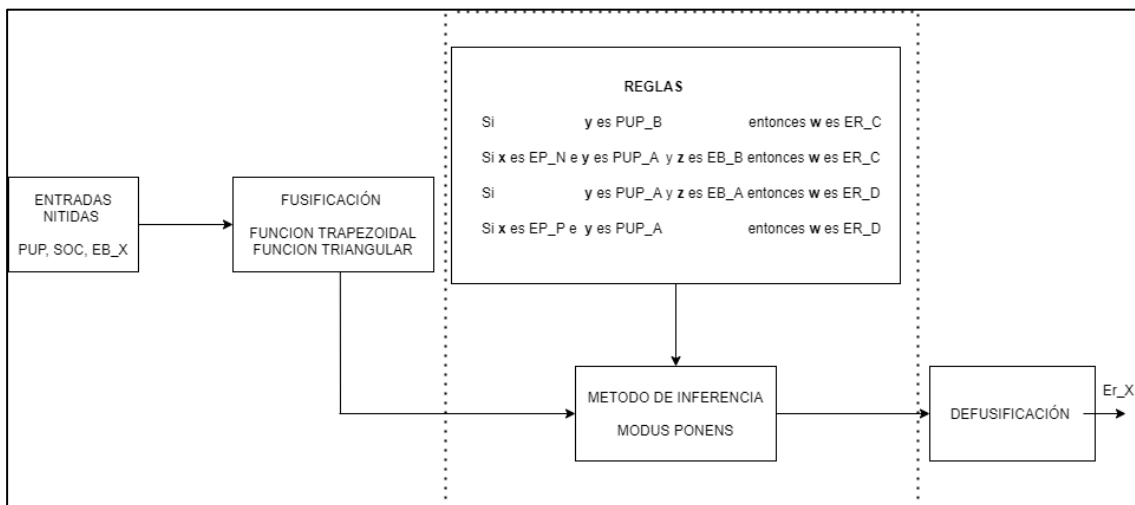
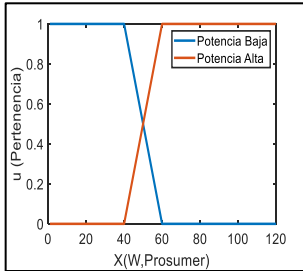
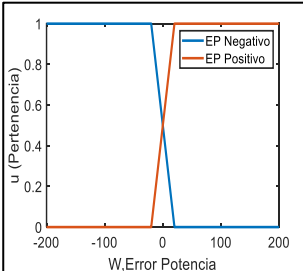
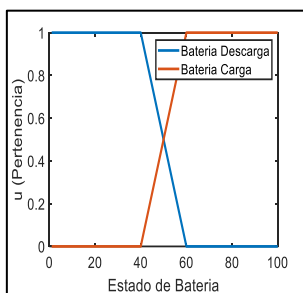
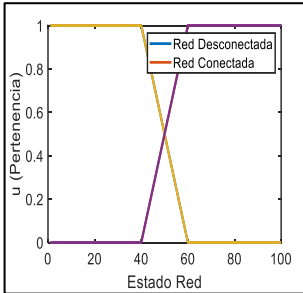


Figura 17-2: Diagrama de bloques para el control fuzzy para la conexión o desconexión a la red.
Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

Tabla 10-2: Representación tabular de la información de entrada y salida del control fuzzy de la red.

Tipo de dato y partes del control	Variables lingüísticas	Conjunto universo	Subconjuntos del universo	Funciones de membresía a utilizar	Fuzzificación
Dato de entrada Potencia del usuario prosumer	$x = PUP$	$X = [0 - 120]\% = PUP_X$	Baja, Alta	Trapezoidal	
Dato de entrada Error de potencia	$x = \text{Error de Potencia}$	$X = [-200 200] = EP_X$	Negativo Positivo	Trapezoidal	
Dato de entrada Estado de la Batería	$x = \text{Estado de Batería EB}$	$X = [0 100] = EB_X$	Batería Descarga (EB_D) Batería Carga (EB_C)}	Trapezoidal	
Dato de salida Estado Red Eléctrica ER	$x = \text{Estado Red Eléctrica ER}$	$X = [0 100] = ER_X$	Red Desconectada (ER_D), Red Conectada (ER_C)	Trapezoidal	

Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

CAPITULO III

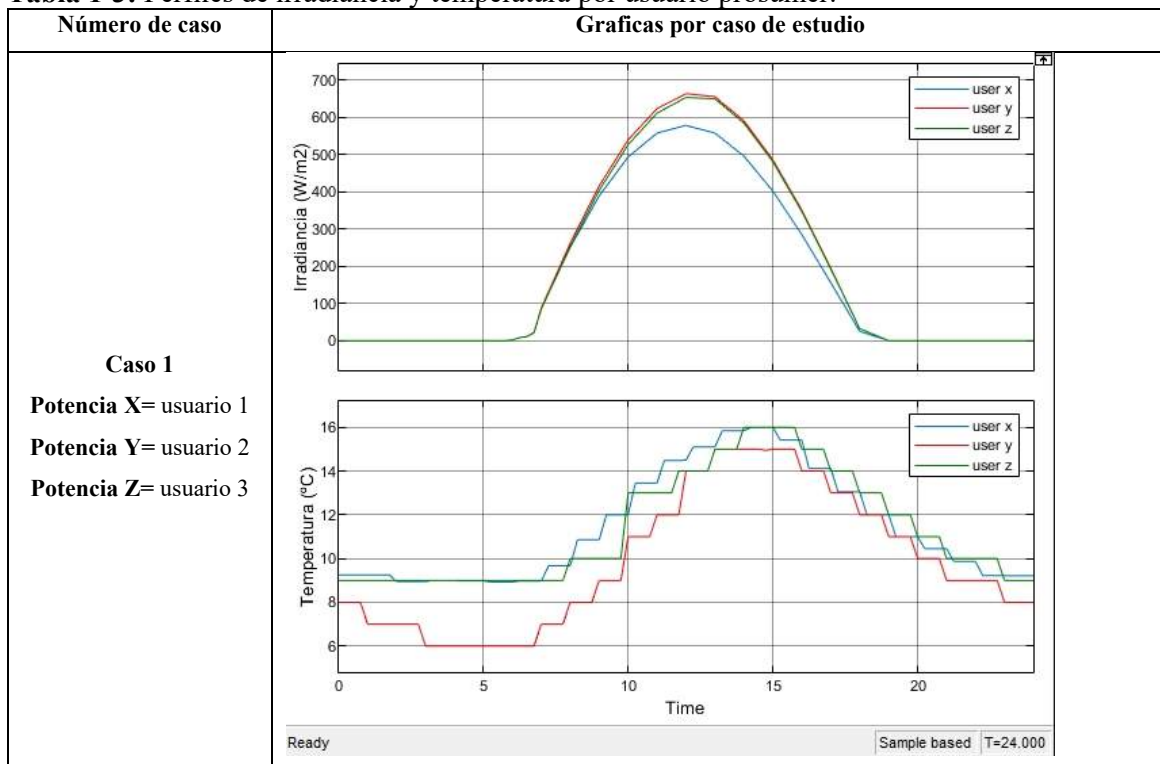
3. Resultado y Discusión

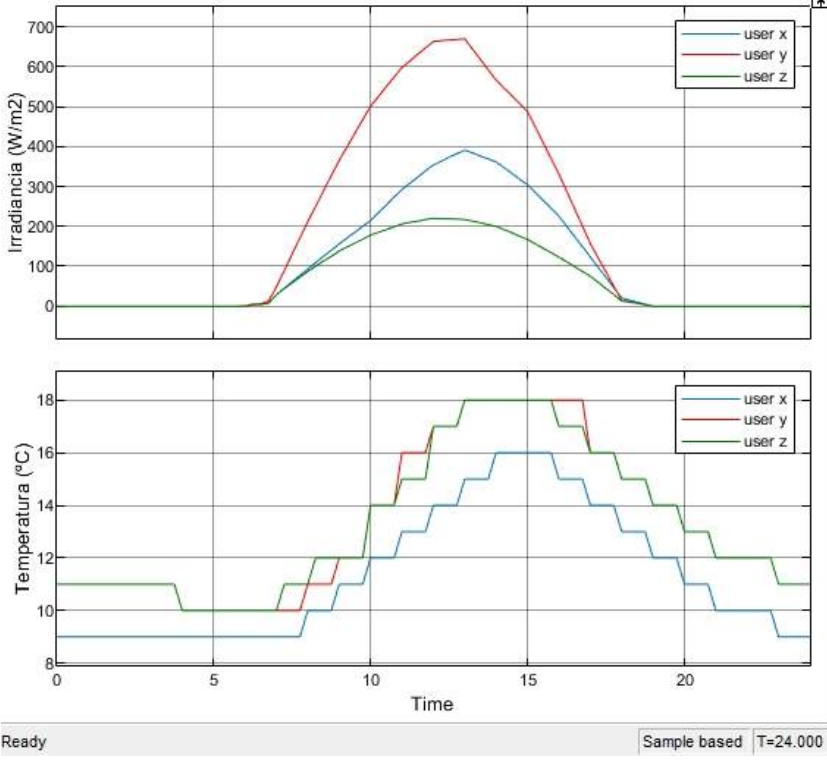
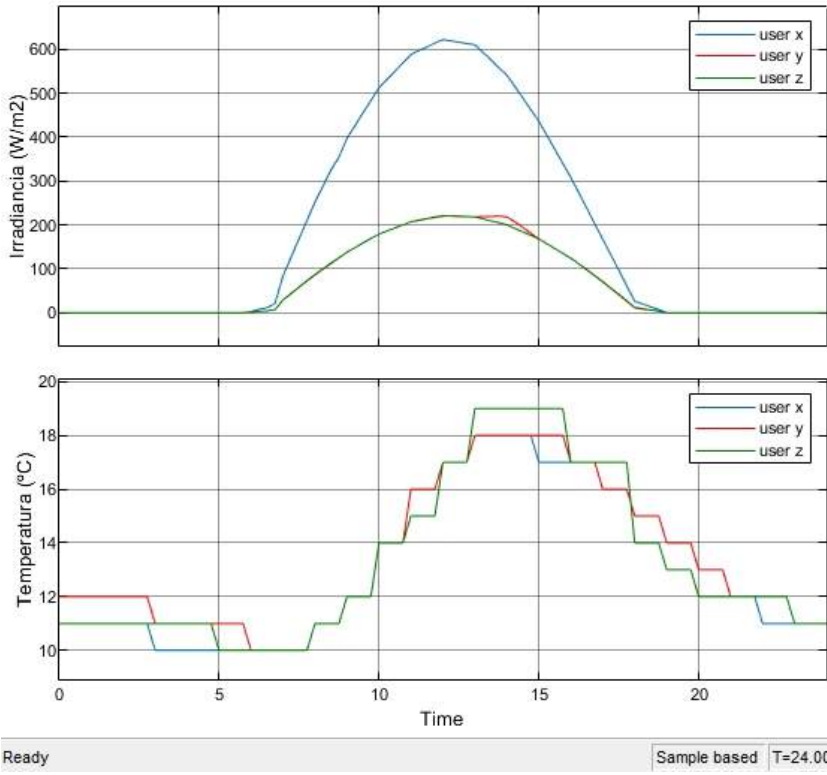
El presente capítulo indica los resultados y comparativas de la gestión energética dada por el control rules base y el control fuzzy-genético en una micro-red con usuarios tipo prosumer.

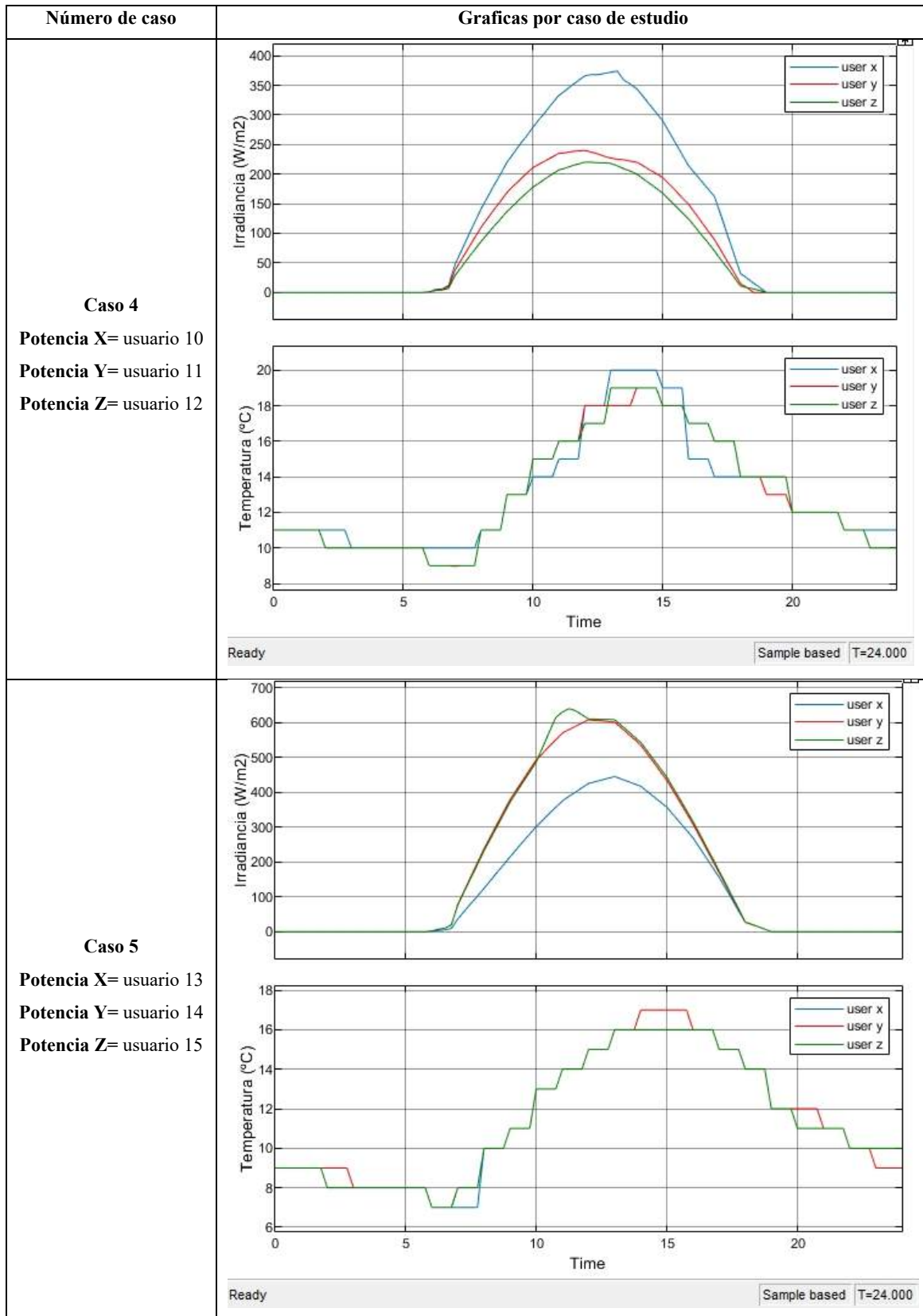
3.1 Casos de estudio

El modelo de gestión energética detallado en la sección 2.2 para los casos de estudio con el propósito de poder graficar, y comparar resultados, se ejecutó en un tiempo de 24 segundos con el fin de simular las 24 horas. La tabla 1-3 representa los datos de irradiancias y temperatura por cada caso de estudio.

Tabla 1-3: Perfiles de irradiancia y temperatura por usuario prosumer.



Número de caso	Graficas por caso de estudio
<p>Caso 2</p> <p>Potencia X= usuario 4</p> <p>Potencia Y= usuario 5</p> <p>Potencia Z= usuario 6</p>	 <p>The top graph displays irradiance over time. User y (red) has the highest peak at approximately 680 W/m², followed by user x (blue) at 400 W/m², and user z (green) at 220 W/m². All peaks occur between time 10 and 15. The bottom graph shows temperature profiles. User z (green) reaches the highest temperature of 18°C, user y (red) reaches 18°C, and user x (blue) reaches 16°C. All temperature increases occur between time 10 and 15.</p>
<p>Caso 3</p> <p>Potencia X= usuario 7</p> <p>Potencia Y= usuario 8</p> <p>Potencia Z= usuario 9</p>	 <p>The top graph displays irradiance over time. User x (blue) has the highest peak at approximately 620 W/m², followed by user z (green) at 220 W/m², and user y (red) at 200 W/m². All peaks occur between time 10 and 15. The bottom graph shows temperature profiles. User z (green) reaches the highest temperature of 19°C, user y (red) reaches 18°C, and user x (blue) reaches 17°C. All temperature increases occur between time 10 and 15.</p>



Realizado por: Tapia. C; Ulloa. D, 2021

3.2 Resultados y comportamiento del control fuzzy-genético y control rule base.

3.2.1 Análisis del sistema aplicando un control fuzzy-genético.

Potencia prosumer

El algoritmo genético implementado realiza una maximización en los rangos establecidos de generación de potencia prosumer con respecto al tiempo, el algoritmo debe brindar datos cuarto horarios generado así costo computacional debido que, se debe analizar una gran cantidad de datos en periodos cortos de tiempo. Pero, se obtiene un comportamiento dinámico, hay una variación de datos de potencia con relación al tiempo. Evidenciando que, en el tiempo de [0 – 7] h, un rango de demanda mínima denotado entre [24 - 39]W, una demanda media a partir de las [7 am – 16 pm], con potencia de oscila entre [59 - 70]W y una demanda máxima de [18 pm a 22 pm], su rango de potencia esta entre [95 -116]W.

Salida de control fuzzy-genético

El sistema trabaja de forma bidireccional, modo grid-on conectado a la red de distribución. En consecuencia, el rango horario de [0 – 7:30]h el control analizado que existe un SOC inicial del 40%, un rango de demanda [24 -39]W, establece que con el SOC de la batería no abastece para suministrar energía a la carga, por lo tanto, conecta a la red para solventar esa demanda como se ilustra en la leyenda Cf-r de la salida de control fuzzy-genético. No obstante, a partir de 7:30 h iniciar una etapa de carga en la batería, debido que existe mayor generación vs demandada. Los datos de irradiancia y temperatura tienen un rango horario entre [7 - 18] h, por ende, el control finaliza la etapa de carga y acciona la etapa de descarga en 17:30 h, como se evidencia en la leyenda Cf-b.

Estado de carga de la batería (SOC)

El funcionamiento del SOC en la batería lo establece el control fuzzy-genético, de manera que, en el rango de [0 – 7:30] h, se tiene un SOC inicial del 40%, aquí existe una conexión de la red. No obstante, en el horario [7:30 17:30] h el SOC incrementa gradualmente por presencia de irradiancia y temperatura, obteniendo un umbral del 73% de estado de carga, accionando el control un estado de descarga de la batería porque establece que puede solventar la demanda de la carga.

3.2.2 *Análisis del sistema aplicando un control rule base.*

Potencia prosumer

El código a base de reglas para generar el perfil de potencia prosumer, considera las mismas características entre los rangos de potencia y el tiempo de demanda que son; en el tiempo de [0 – 7] h, un rango de demanda mínima denotado entre [24 - 39]W, una demanda media a partir de las [7 am – 16 pm], con potencia de oscila entre [59 - 70]W y una demanda máxima de [18 pm a 22 pm], su rango de potencia esta entre [95 -116]W. No obstante, como se ilustra en la tabla 23-3, el comportamiento es estático con tendencia lineal, entre los intervalos de demanda.

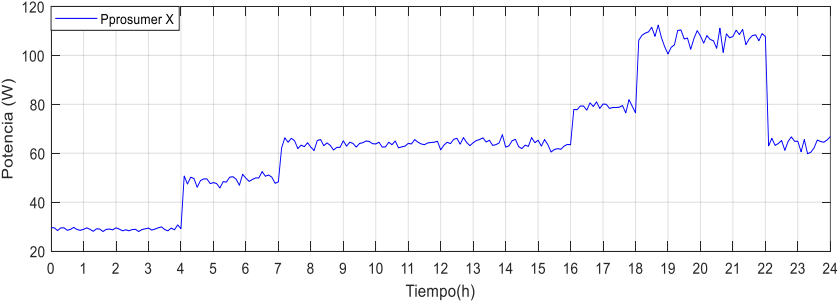
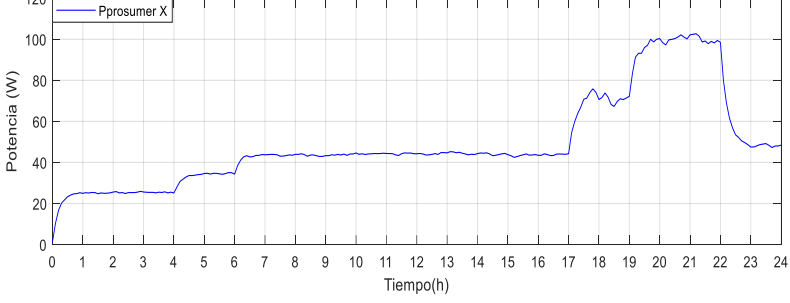
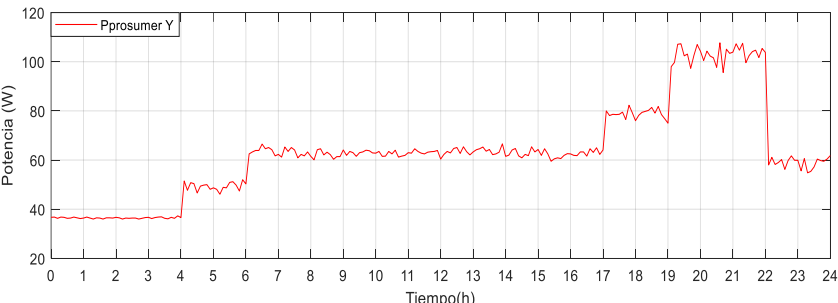
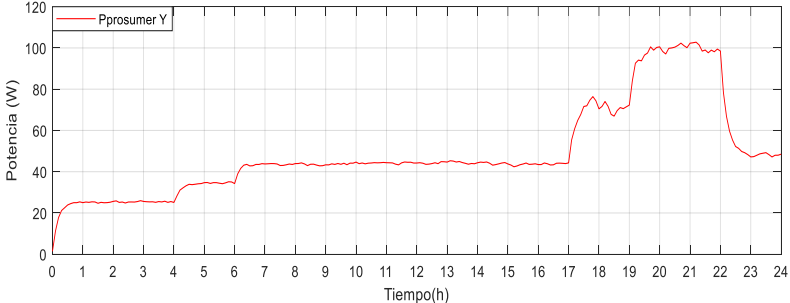
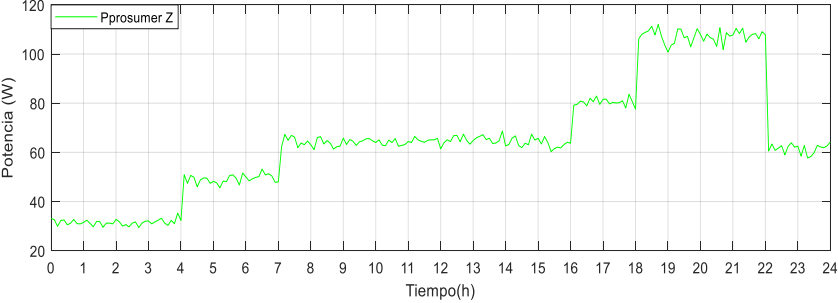
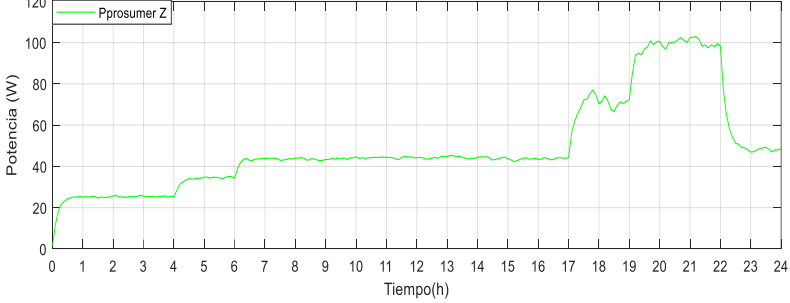
Salida de control rule base.

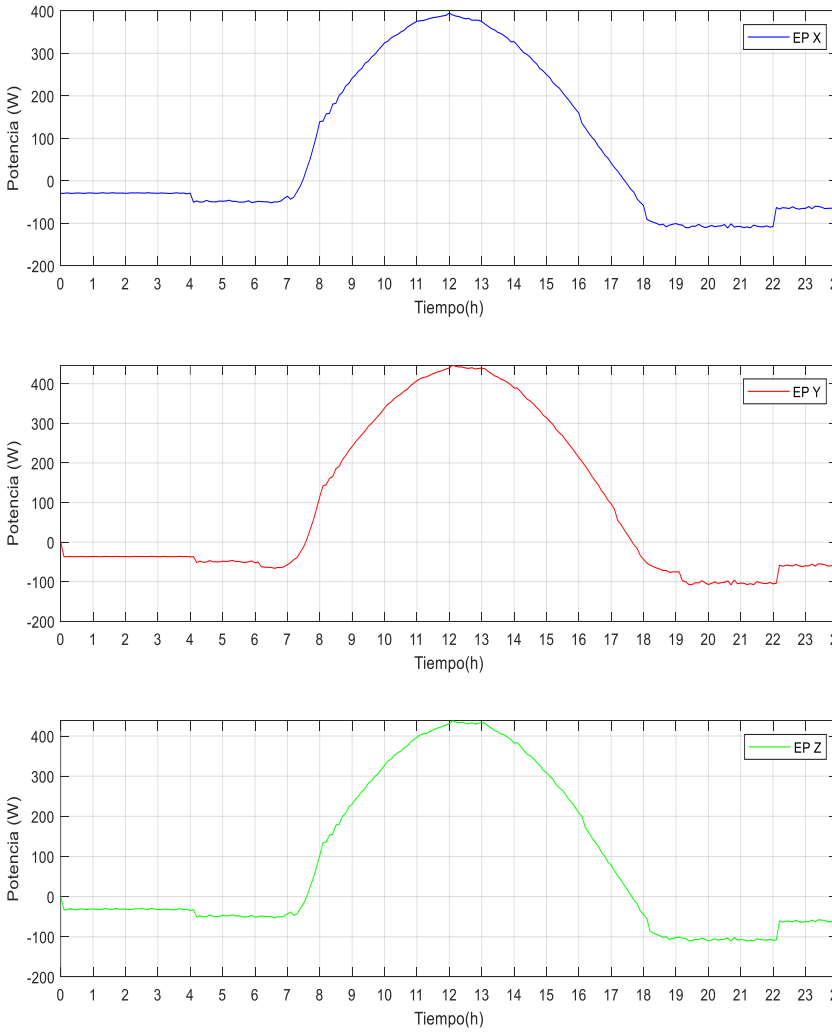
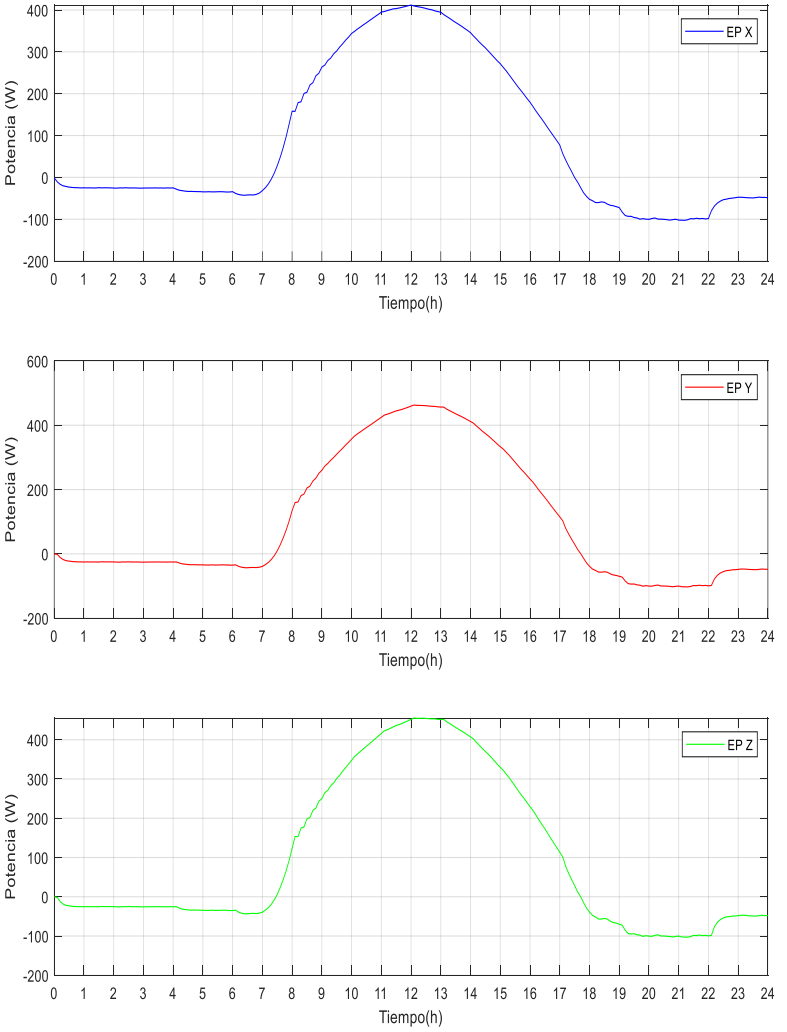
En un control a base de reglas, la activación y desactivación se realiza cuando se cumple las condiciones establecidas en la línea de código. Por lo tanto, evidenciamos que no se controla óptimamente la gestión energética del usuario prosumer. Debido que, las reglas de control permiten un control on-off sencillo.

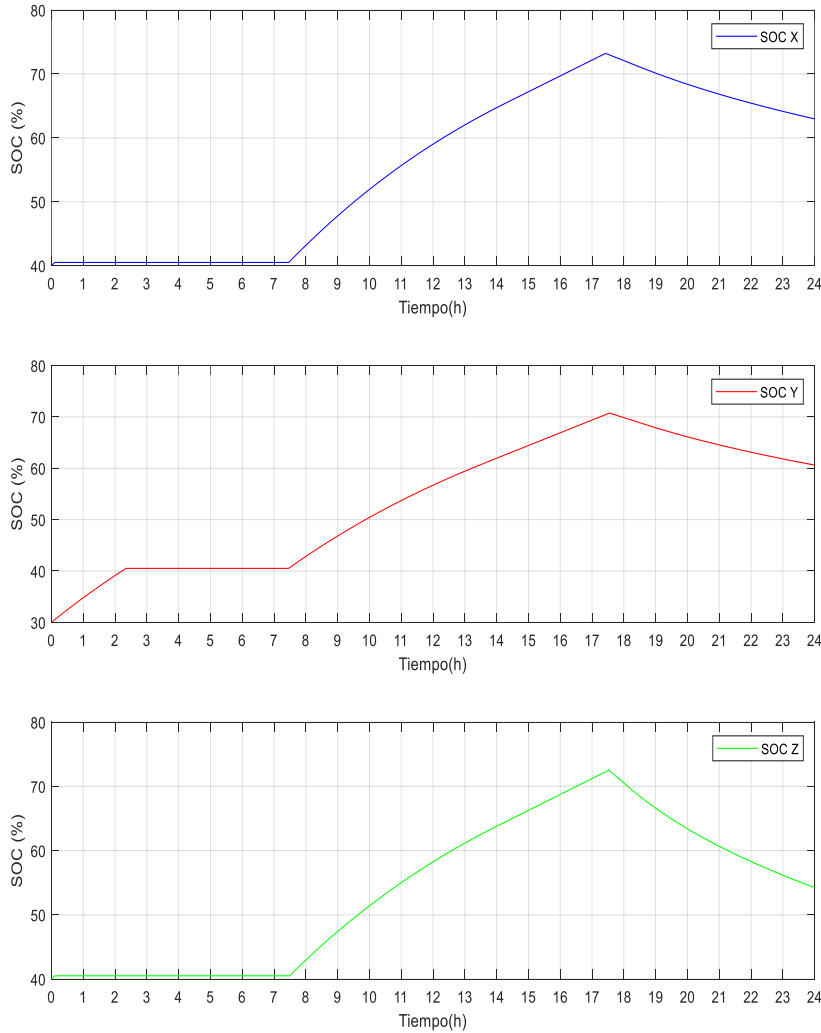
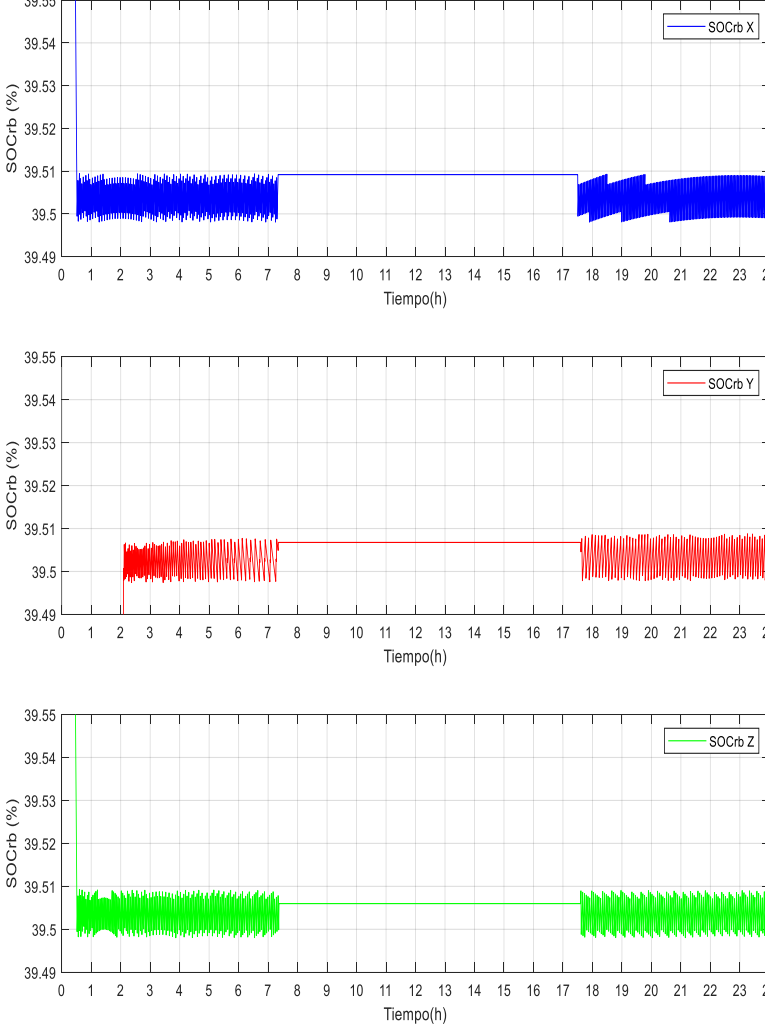
Estado de carga de la batería (SOC)

El estado de carga SOC en la batería aplicando un control rule base, evidencia un comportamiento oscilatorio, la razón es que el control al cumplir las condiciones establecidas da como resultado una activación y desactivación para etapa de carga y descarga. Dando como resultado, que no se optimiza la energía, en los tiempos de mayor demanda.

Tabla 2-3: Graficas resultantes por número de caso del control fuzzy-genético VS control rule-base.

Número de caso	Resultados "Control Fuzzy-Genética"	Resultados "Control Rule-Base"
<p>Caso 1</p> <p>X: Usuario 1</p> <p>Y: Usuario 2</p> <p>Z: Usuario 3</p>	<p style="text-align: center;">Potencia prosumer</p> 	<p style="text-align: center;">Potencia prosumer</p> 
		
		

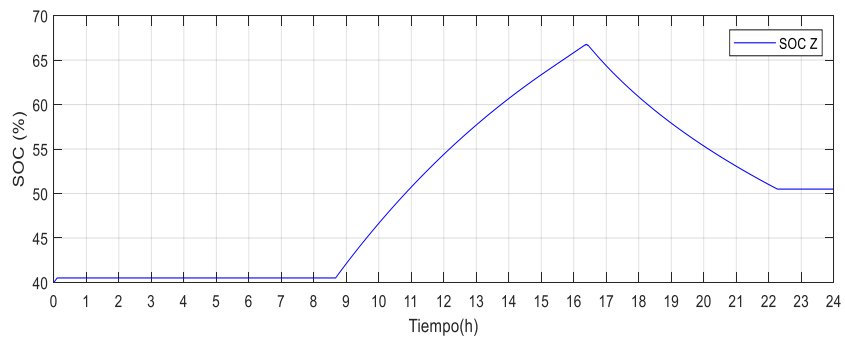
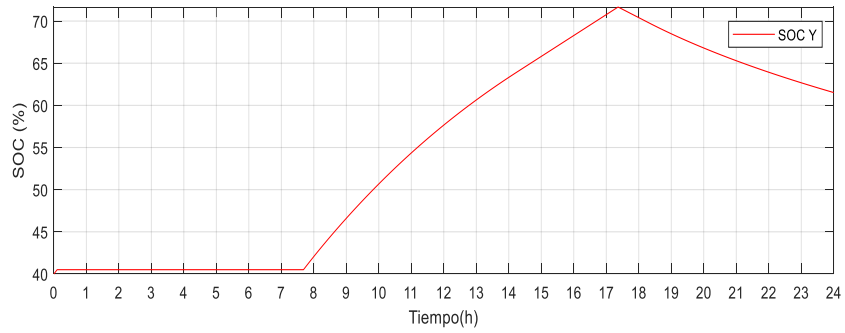
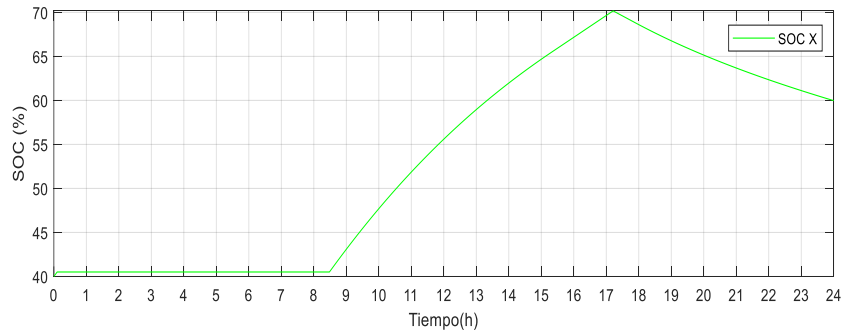
Número de caso	Resultados "Control Fuzzy-Genética" Error de potencia	Resultados "Control Rule-Base" Error de potencia
	 <p>The Fuzzy-Genetic control results show three plots for EP X (blue), EP Y (red), and EP Z (green). Each plot displays power error in Watts (W) on the y-axis (ranging from -200 to 400) against time in hours (h) on the x-axis (ranging from 0 to 24). All three plots exhibit a similar bell-shaped curve, peaking at approximately 380W at 12 hours. The error is near zero for the remainder of the 24-hour period.</p>	 <p>The Rule-Base control results show three plots for EP X (blue), EP Y (red), and EP Z (green). The EP X and EP Z plots are identical to those in the Fuzzy-Genetic control results, peaking at approximately 380W at 12 hours. However, the EP Y plot (red) shows a significantly higher peak of approximately 480W at 12 hours, with a y-axis scale extending to 600W. The error for EP Y is also near zero for the rest of the 24-hour period.</p>

Número de caso	Resultados "Control Fuzzy-Genética"	Resultados "Control Rule-Base"
	<p style="text-align: center;">SOC</p>  <p>The Fuzzy-Genetic control results show three SOC curves (X, Y, Z) over a 24-hour period. All curves start at a low SOC (40% for X and Z, 30% for Y) and rise to a peak around 18 hours before declining. SOC X peaks at approximately 74%, SOC Y at 71%, and SOC Z at 73%.</p>	<p style="text-align: center;">SOC</p>  <p>The Rule-Base control results show three SOCrb curves (X, Y, Z) over a 24-hour period. All curves start at 39.55% and drop to a noisy band between 39.50% and 39.51% until 7 hours. From 7 to 17 hours, they stabilize at a constant value of 39.51%. After 17 hours, they return to the noisy band.</p>

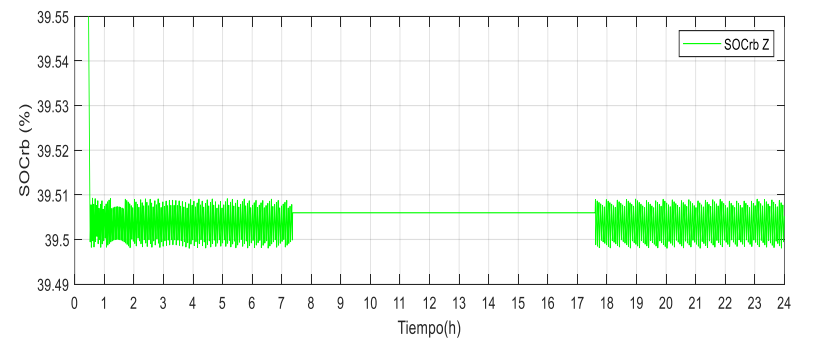
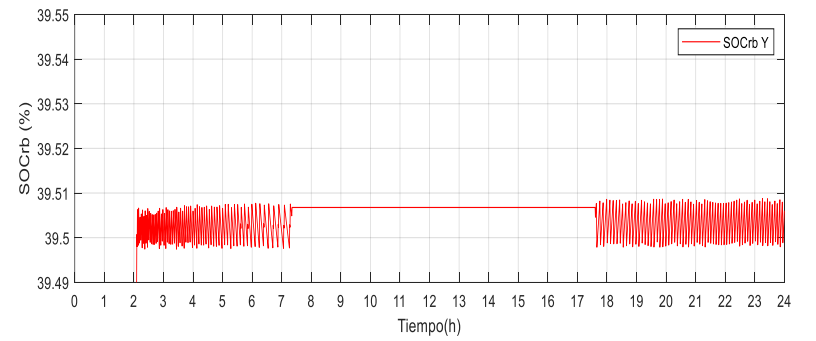
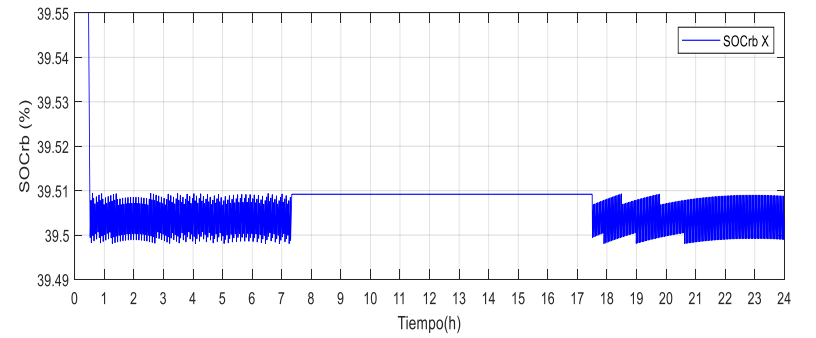
Número de caso	Resultados "Control Fuzzy-Genética" Salida control fuzzy-genético	Resultados "Control Rule-Base" Salida control rule base

Número de caso	Resultados “Control Fuzzy-Genética” Potencia prosumer	Resultados “Control Rule-Base” Potencia prosumer
Caso 2 X: Usuario 4 Y: Usuario 5 Z: Usuario 6		

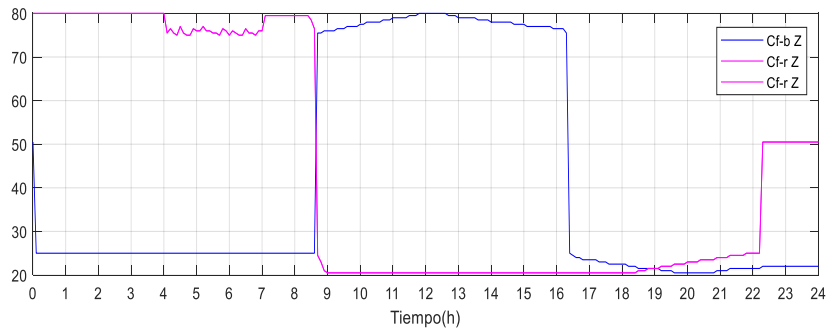
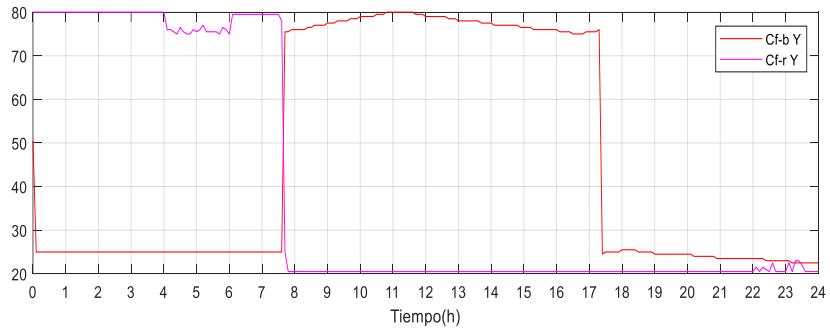
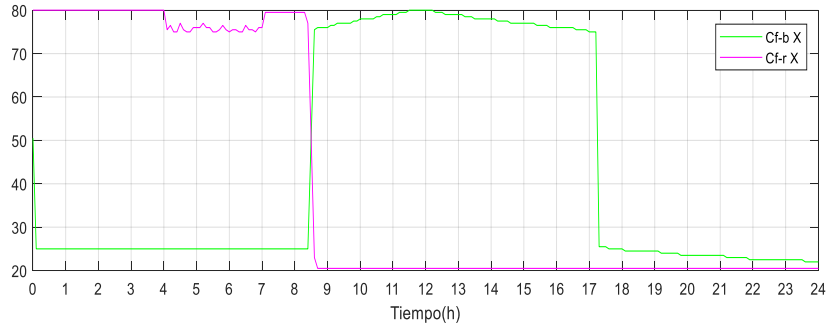
SOC



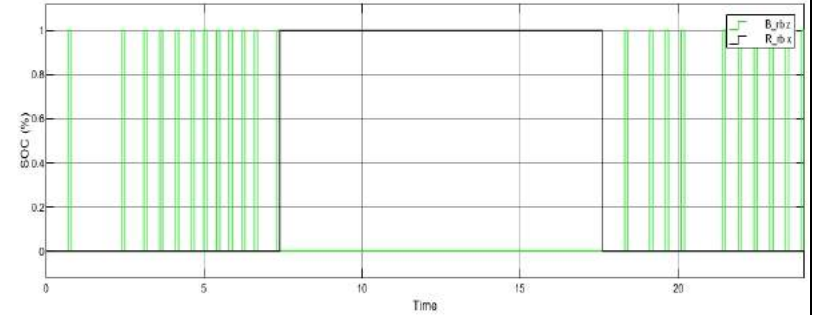
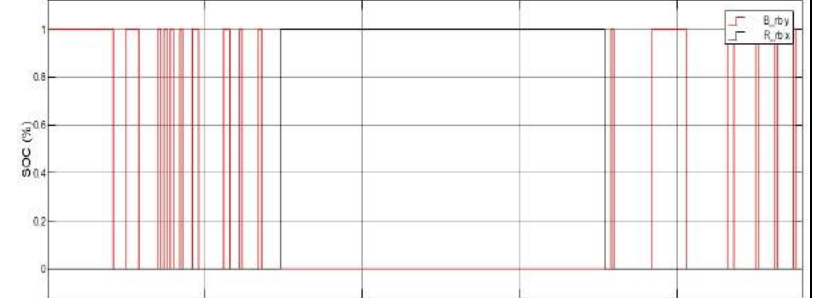
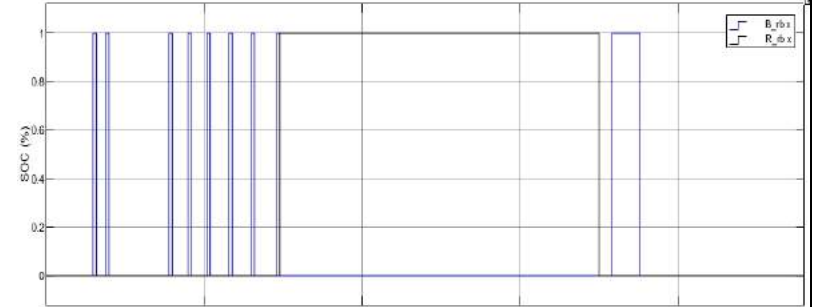
SOC

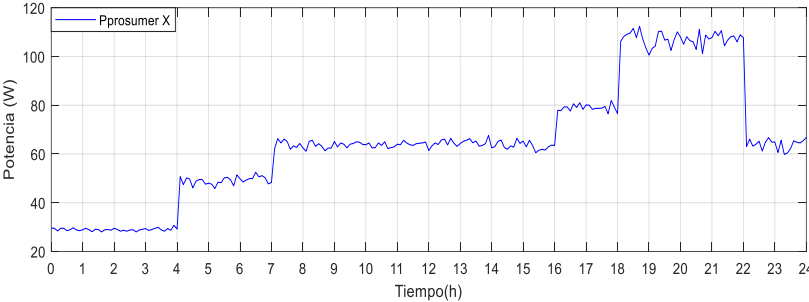
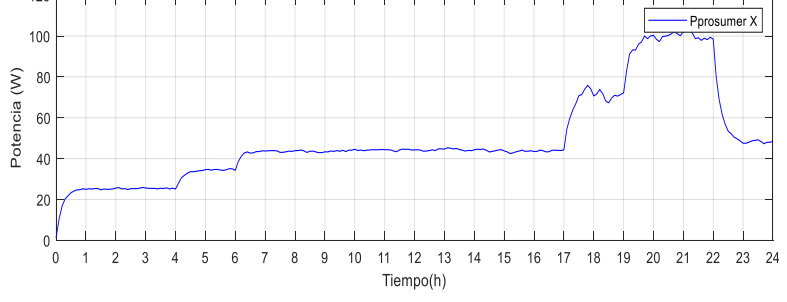
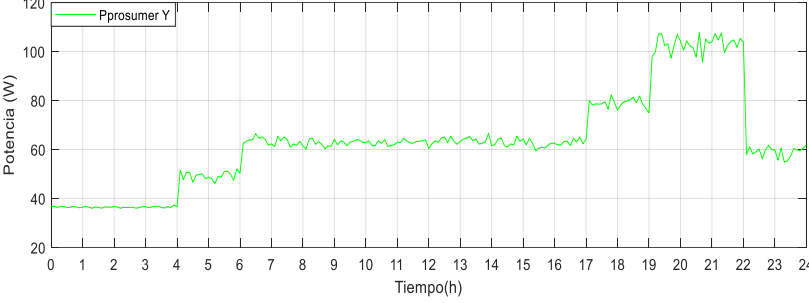
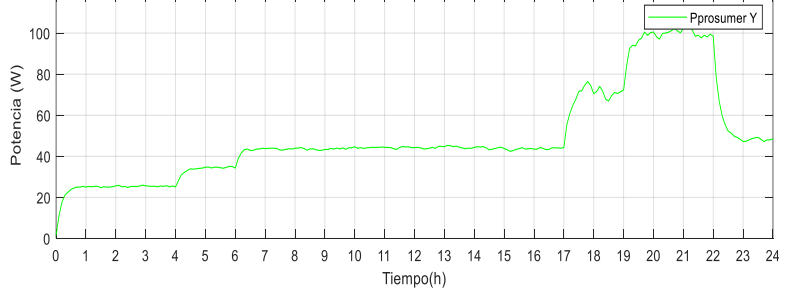
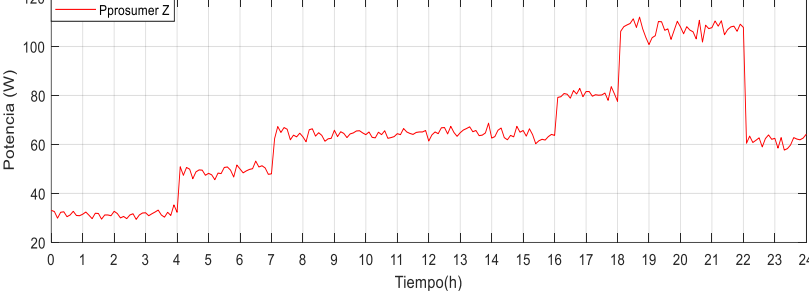
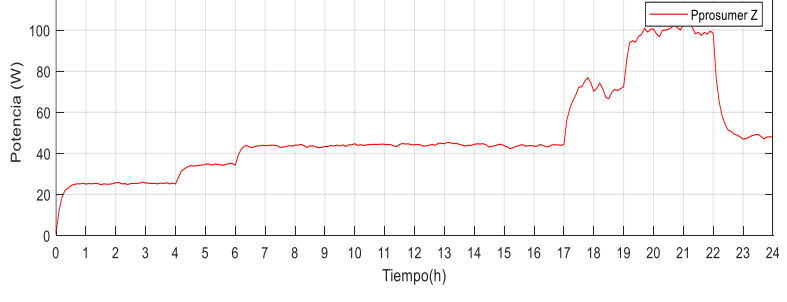


Salida control fuzzy-genético

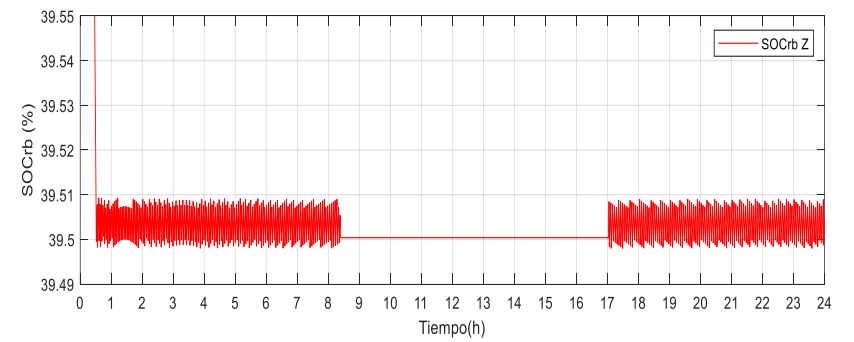
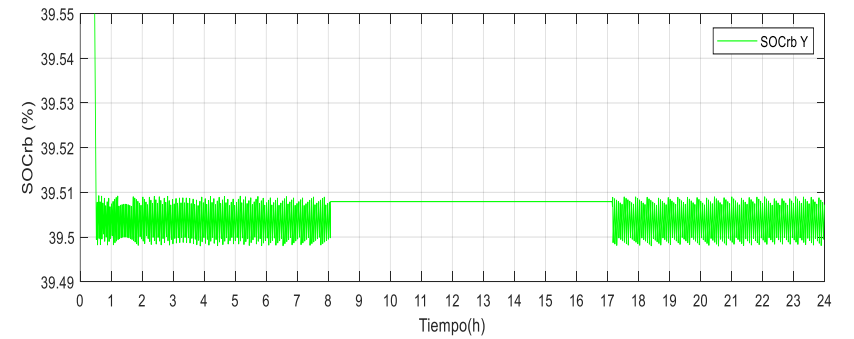
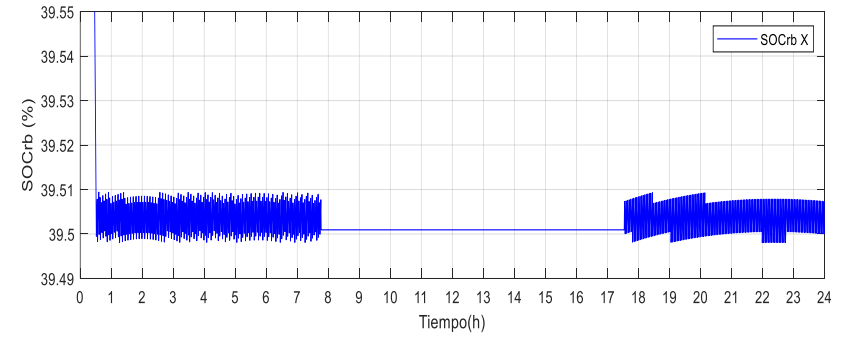
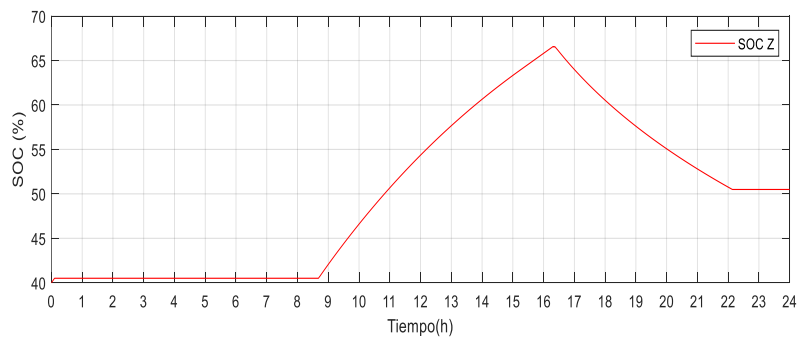
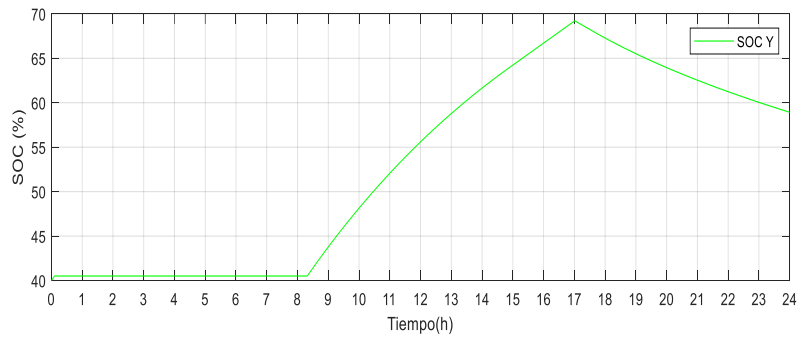
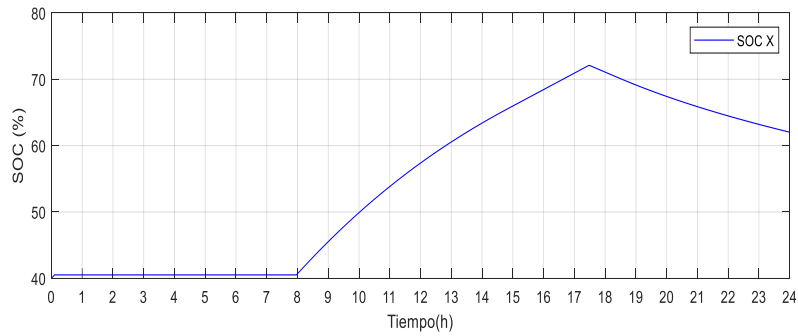


Salida control rule base

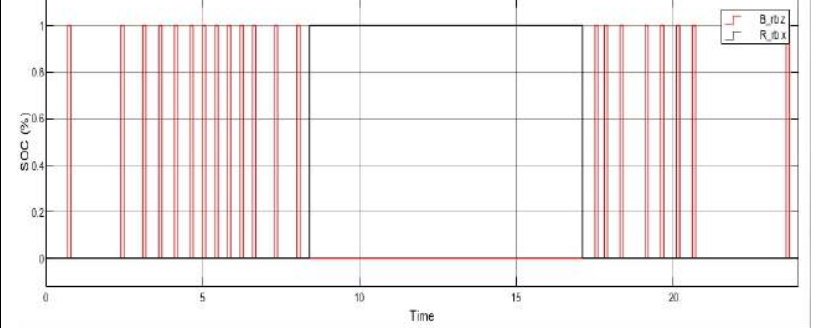
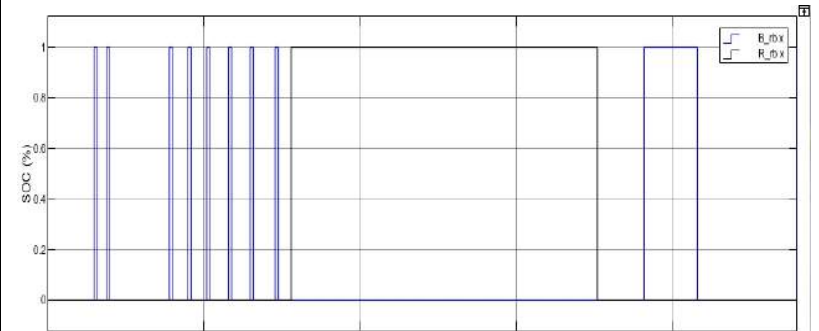
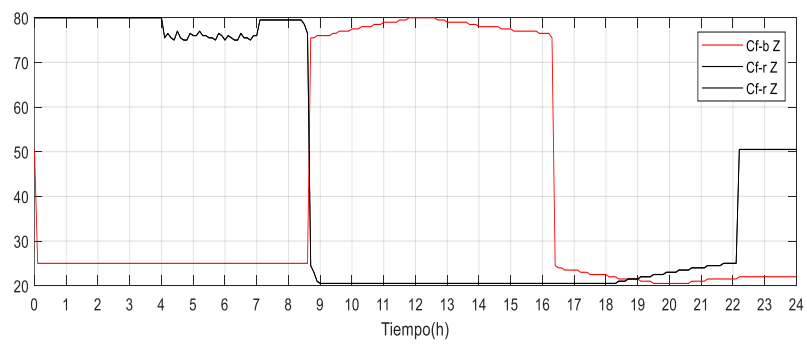
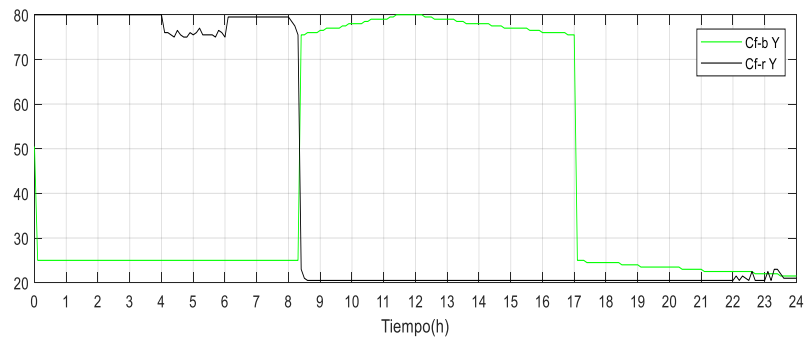
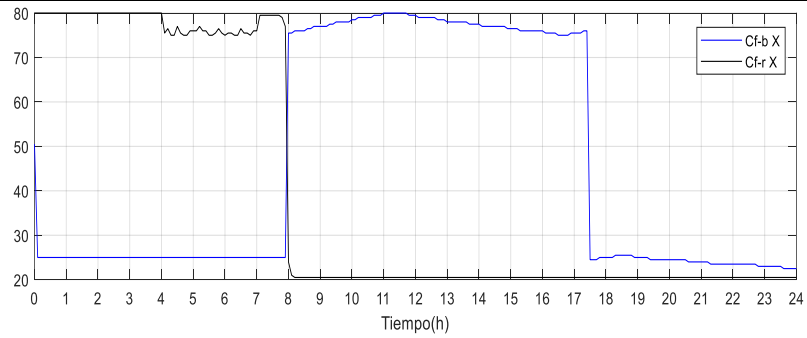


Número de caso	Resultados “Control Fuzzy-Genética”	Resultados “Control Rule-Base”
	Potencia prosumer	Potencia prosumer
Caso 3 X: Usuario 7 Y: Usuario 8 Z: Usuario 9		
		
		

SOC

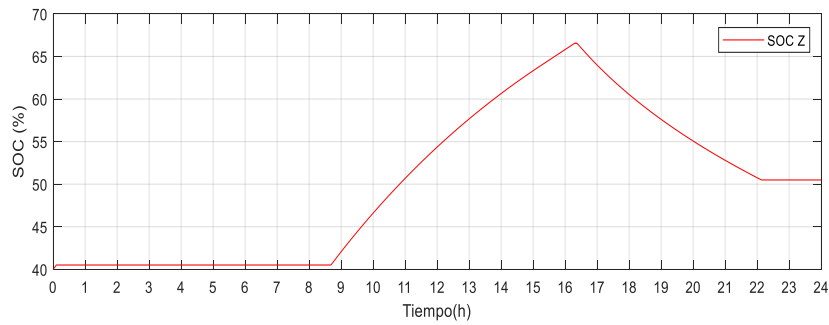
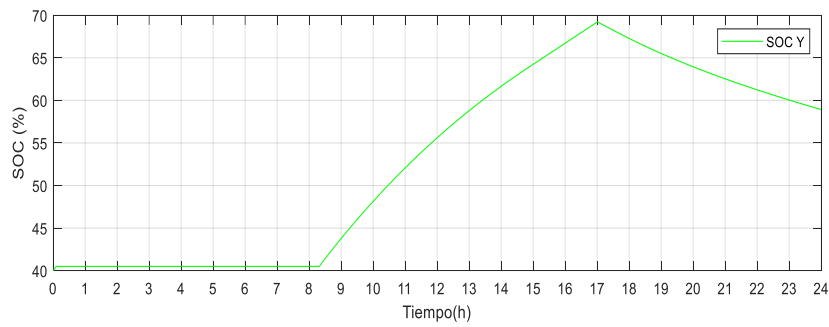
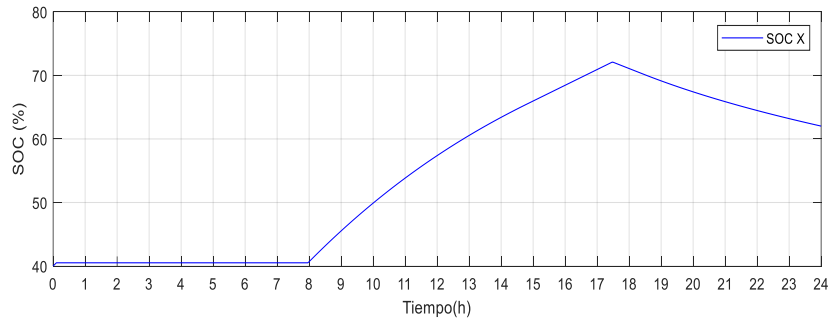


Salida control fuzzy-genético



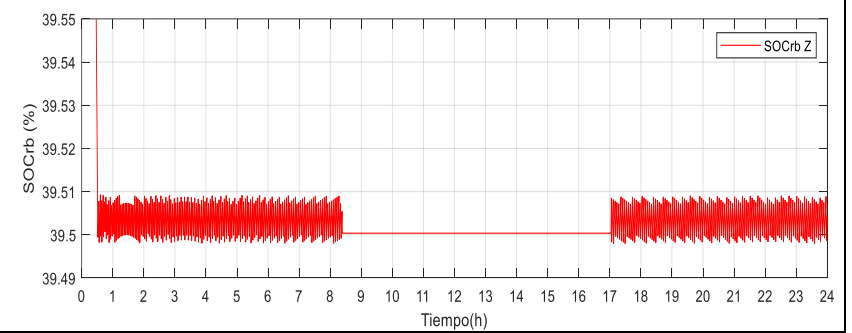
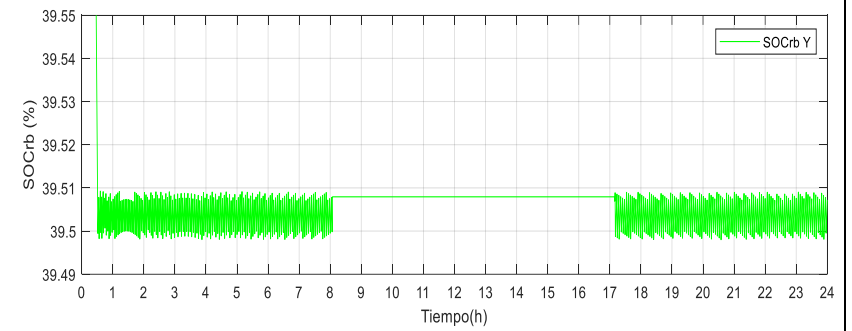
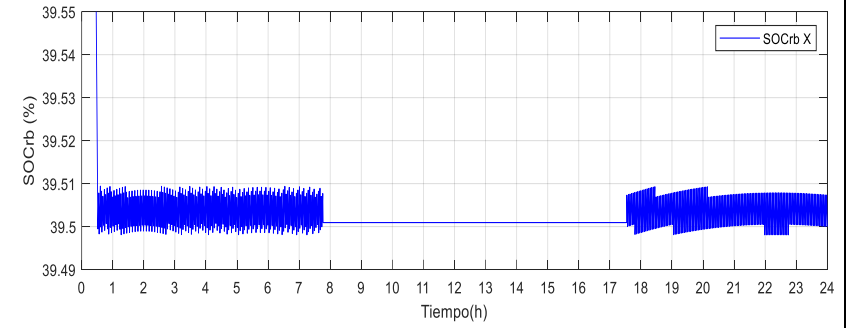
Número de caso	Resultados “Control Fuzzy-Genética” Potencia prosumer	Resultados “Control Rule-Base” Potencia prosumer
Caso 4 X: Usuario 10 Y: Usuario 11 Z: Usuario 12		

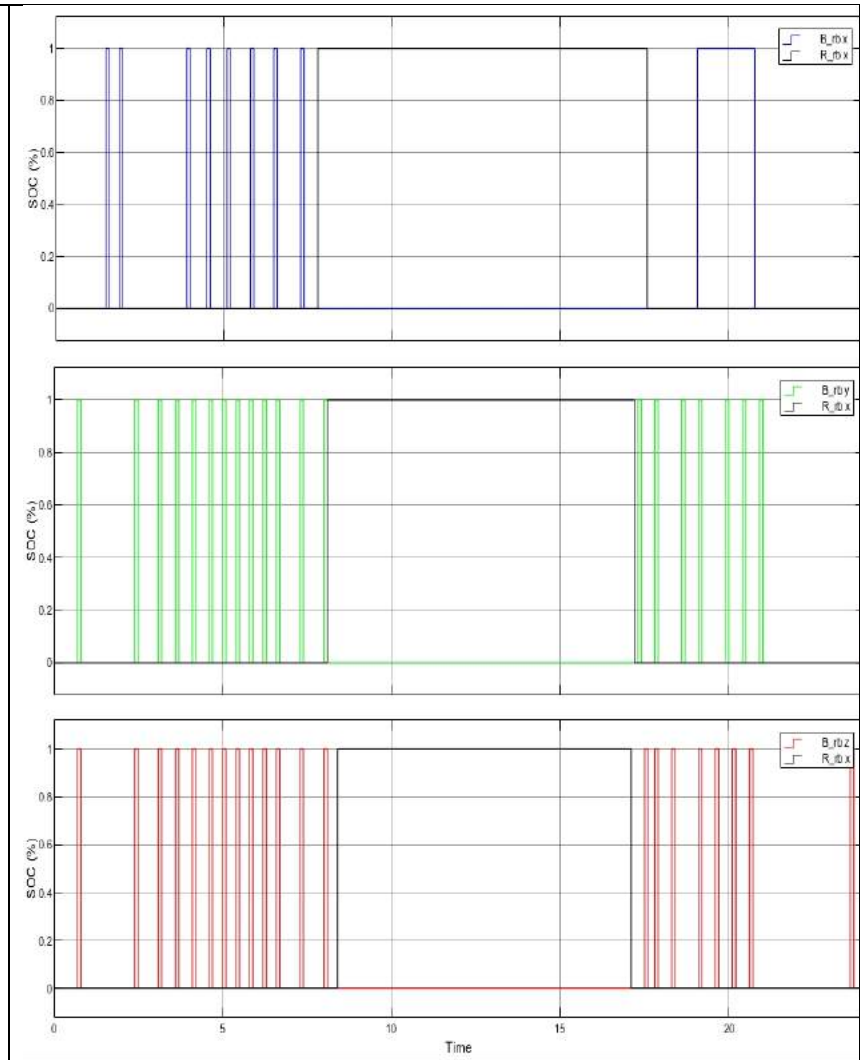
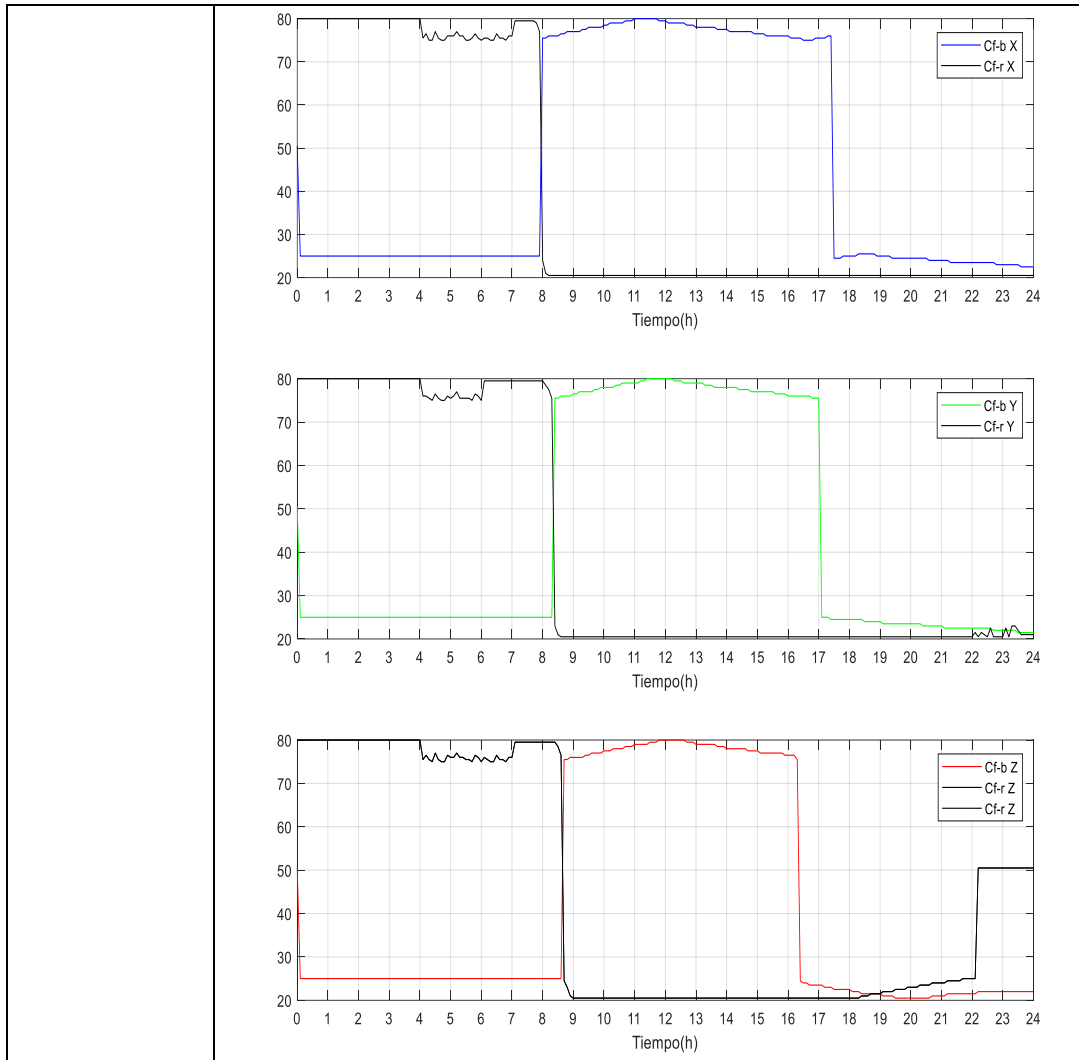
SOC

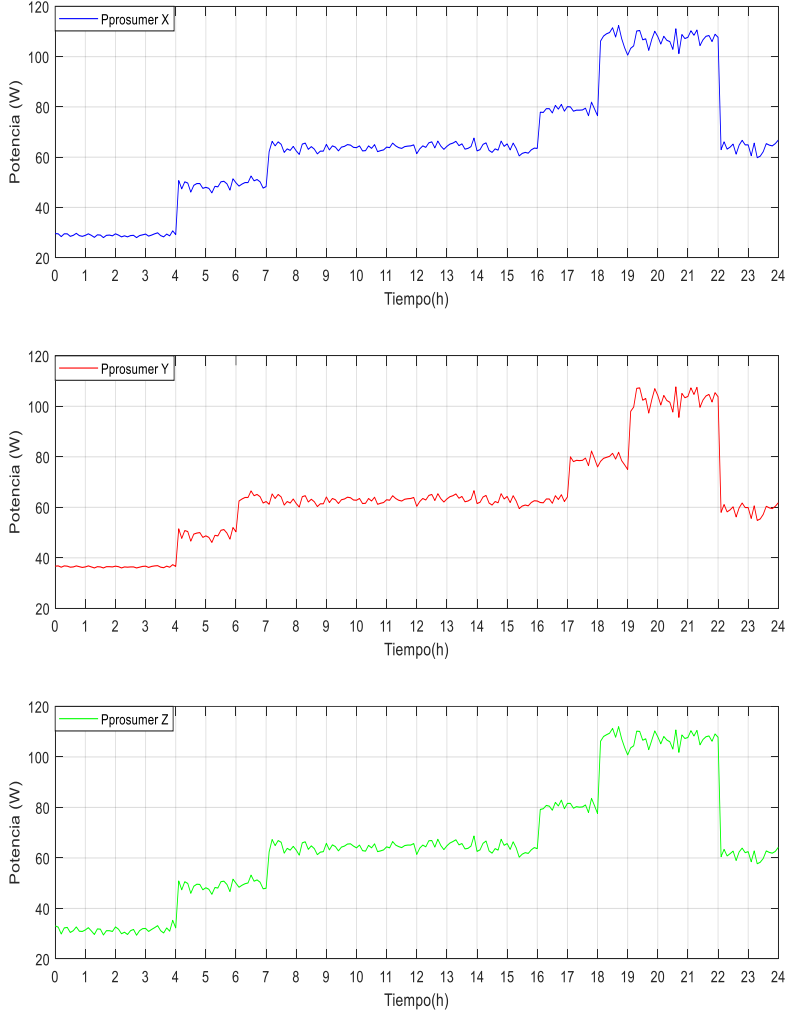
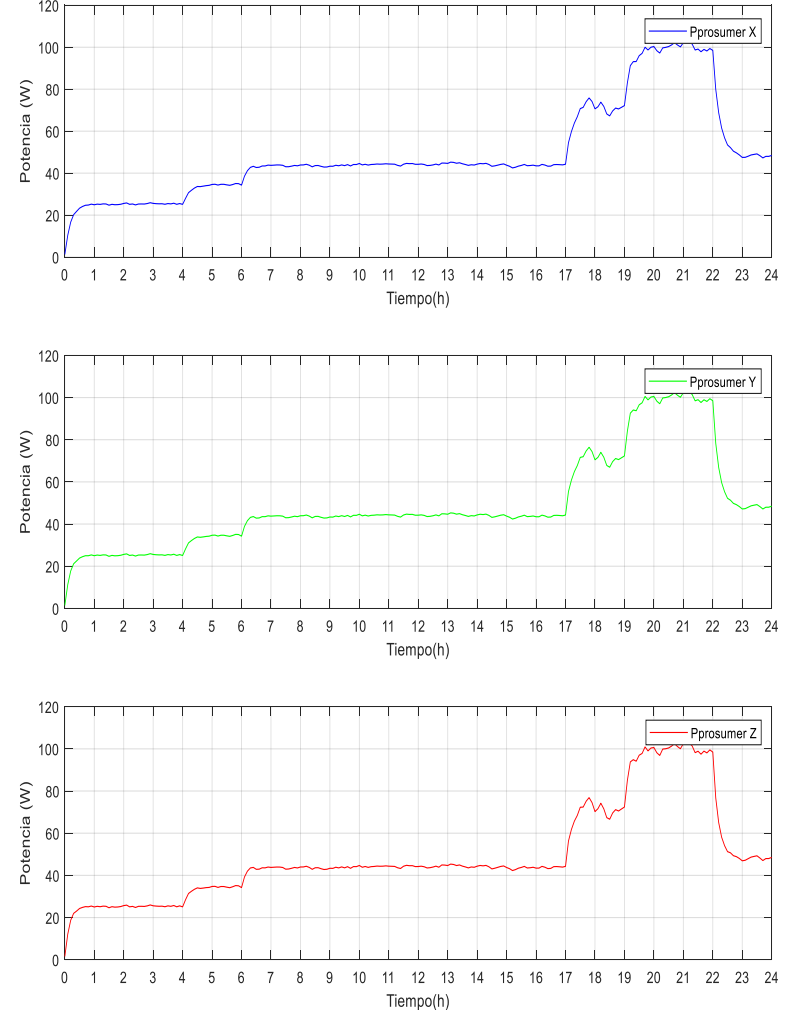


Salida control fuzzy-genético

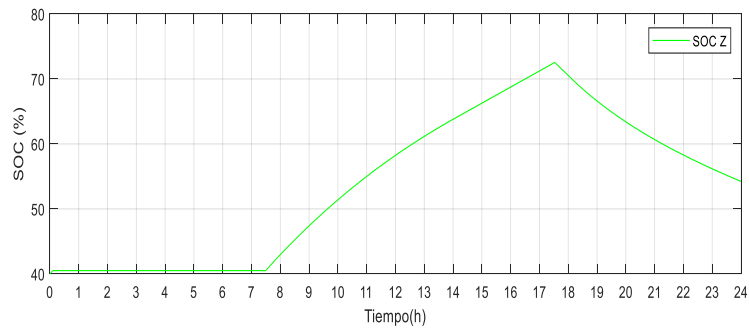
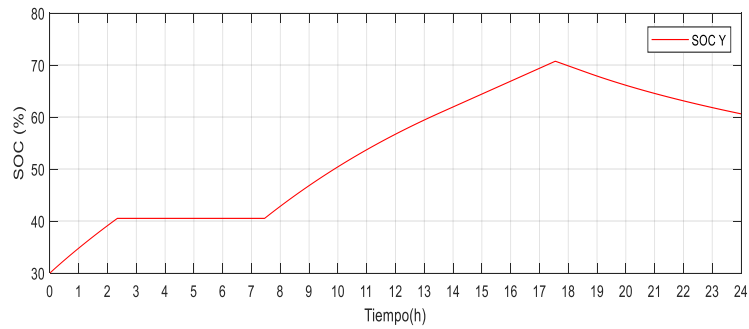
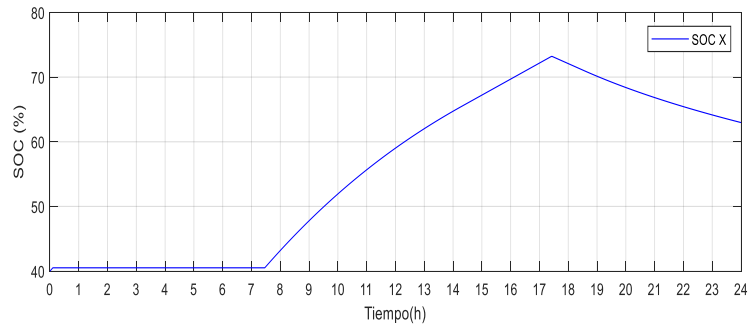
SOC



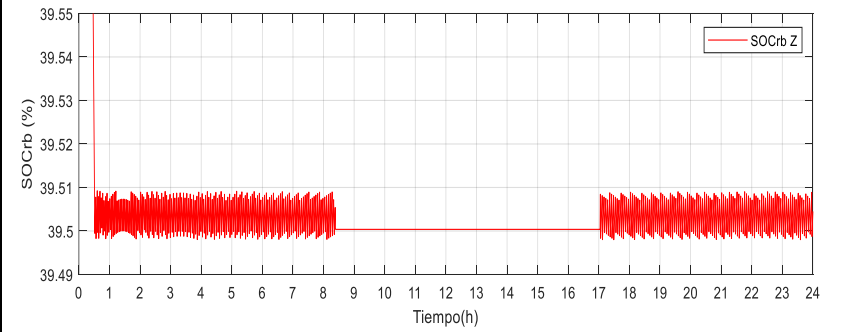
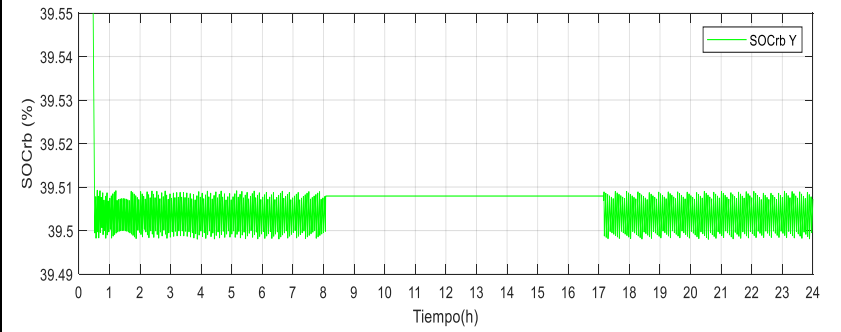
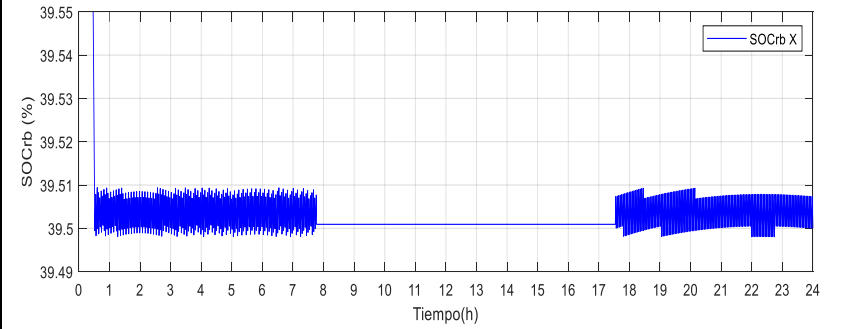


Número de caso	Resultados "Control Fuzzy-Genética" Potencia prosumer	Resultados "Control Rule-Base" Potencia prosumer
<p>Caso 5</p> <p>X: Usuario 13</p> <p>Y: Usuario 14</p> <p>Z: Usuario 15</p>		

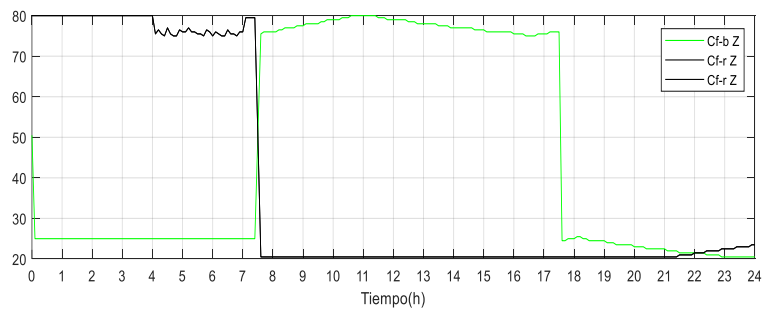
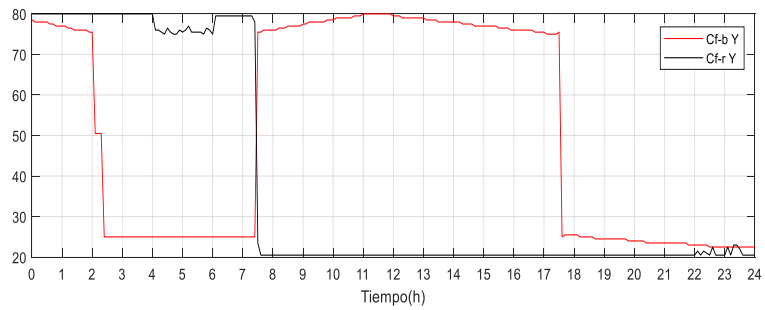
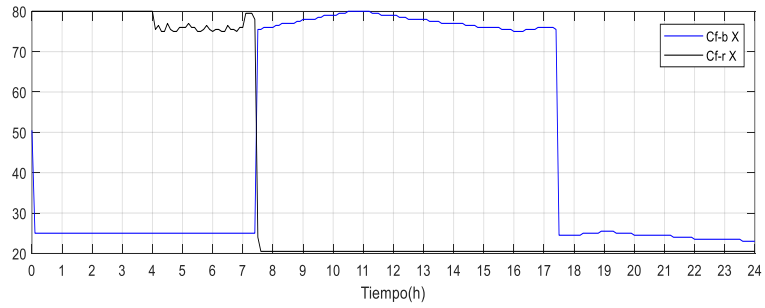
SOC



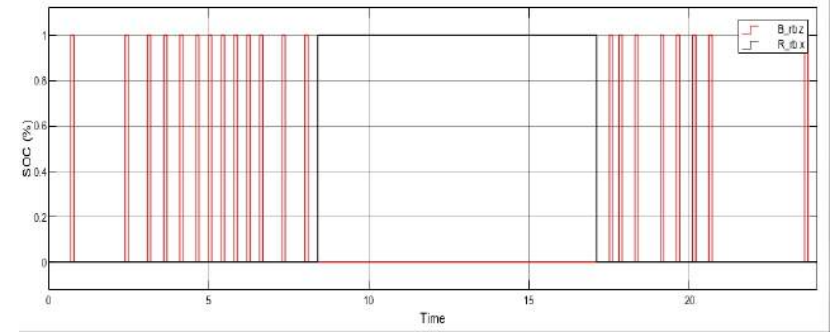
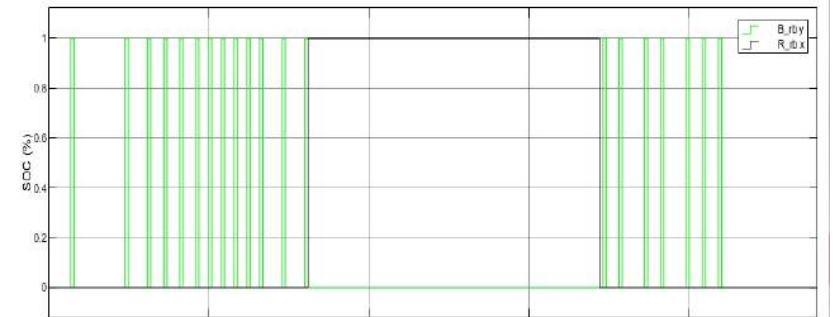
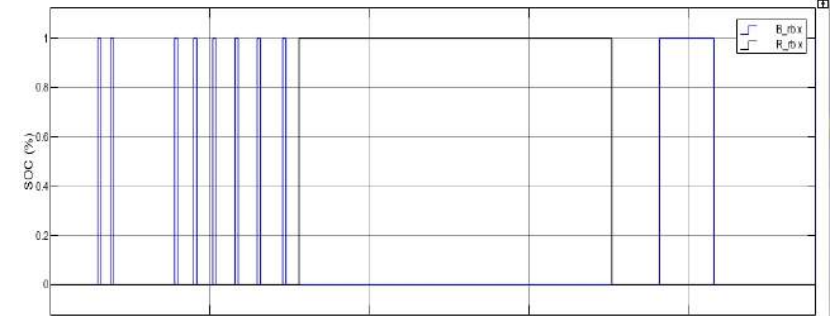
SOC



Salida del control



Salida del control



Realizado por: Tapia, C; Ulloa, D, 2021

CONCLUSIONES

- La micro-red inteligente implementada consta de los siguiente elementos; un sistema de generación fotovoltaico, un convertidor reductor , un algoritmo MPPT tipo INC, batería de níquel cadmio 24V a 100Ah, red de suministro eléctrico 110V a 60Hz, un perfil de potencia prosumer generado por un algoritmo genético para maximizar los rangos de potencia asignados, un control fuzzy tipo Mamdani para activar o desactivar la energía almacenada en la batería o de la red de distribución, operando de esta manera en modo grid on, teniendo una bidireccionalidad energética, optando por una generación residencial y un suministro de la red de distribución.
- El modelado de la micro-red inteligente se realizó en el software Matlab/Simulink 2018, de cada elemento, dimensionamiento e implementación como describe en el capítulo II. Obteniendo un sistema con 3 escenarios de micro-red, pero los datos de irradiancia y temperatura varían en intervalos cuarto-horarios en cada usuario (ver tabla 22-3), correspondientes a 24s de simulación pasa asimilar 1s a 1h y completar un día.
- El control fuzzy tipo Mamdani se elaboró a base de líneas de código en Matlab, definiendo dos variables lingüísticas denominada estado de carga SOC y error de potencia EP, aplicando funciones de membresía tipo triangular y trapezoidal para fusificar las variables de entrada, teniendo una salida defusificada aplicando método máximo central (MOM) del estado de la batería EB, para controlar la bidireccionalidad energéticas y el estado de carga y descarga de la batería. No obstante, para la elaboración del algoritmo genético parte con una población de 10 individuos se aplica una codificación binaria definiendo 7 cromosomas, una función de costo cuadrática, la selección y cruzamiento aplicando el método de la ruleta, una mutación del 7% y finalizando con la decodificación para tener un valor maximizado de potencia en tiempos cuarto-horarios.
- Con relación a lo expuesto el control fuzzy implementado es de tipo Mamdani, tomando como experto un estudio de demanda de potencia prosumer para establecer los rangos y funciones de membrecías del controlador, con el objetivo de realizar un control de carga local. No obstante, el algoritmo genético, permite maximizar la potencia de usuario prosumer a través de una función de costo cuadrática para tener una fluctuación máxima dinámica del usuario.

- El control fuzzy-genético al ser un control inteligente derivado de la inteligencia artificial, brinda una maximización de potencia prosumer con un comportamiento dinámico optimizando la variable para el control fuzzy, obteniendo como resultado un estado de carga SOC óptimo, debido a la gestión energética que realiza el control, estableciendo un periodo de carga de [7:30 a 17:30] h con un SOC promedio del 70% (valor que varía respecto a la generación fotovoltaica), la etapa de descarga el control analiza el SOC de la batería suministrando energía a la carga de [17:30 a 24]h, abarcando el rango horario de demanda máxima que es [18 a 22]h, valorando la óptima gestión energética. No obstante, el control rule base, consta de un perfil de potencia a base de reglas, en consecuencia, su comportamiento es estático, respecto al control tipo on-off, acciona etapa de carga y descarga no óptimo, no prioriza el intervalo de máxima demanda, sino acciona según se cumplan las condiciones asignadas, teniendo como resultado una mala gestión energética.

RECOMENDACIONES

- Implementar todos los elementos de una micro-red inteligente mencionados en el capítulo I.
- Para tener un correcto modelado de la red de distribución es necesario hacerlo en base a criterios teóricos referenciales.
- Para realizar un control fuzzy-genético se recomienda optimizar una variable que ingrese al sistema de control fuzzy.
- 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* [Informe], 2018. - pág. 102.

ALANDER J. T. *On optimal population size of genetic algorithms.* [Conferencia] // CompEuro 1992 Proceedings Computer Systems and Software Engineering. - La Haya, Países Bajos : IEEE, 1992. - págs. 65-69.

ALEJO JOSE. *Diseño de sistemas eléctricos. -estudio de carga -censo de carga* [En línea] // academia. - [Disponible en:] https://www.academia.edu/23428084/DISE%C3%91O_DE_SISTEMAS_EL%C3%89CTRICO_S._ESTUDIO_DE_CARGA_-CENSO_DE_CARGA.

ANTOLÍN, L; & GUIJARRO, A. *África sin luz, aún* [En línea] // ONGAWA. - 21 de mayo de 2014. - <https://ongawa.org/africa-sin-luz-aun/>.

ARCOS, D. *Low complexity energy management strategy for grid profile smoothing of a residential grid-connected microgrid using generation and demand forecasting.* - 1 de noviembre de 2017. - Vol. 205. - págs. 69-84.

ARRANZ DE LA PEÑA, J; & PARRA, A. *Algoritmos genéticos..* - Universidad Carlos III : [s.n.], 2007. - págs. 1-8.

AUTOSOLAR. *¿Qué es un panel solar?* [En línea] // AutoSolar. - 15 de julio de 2021. - 27 de noviembre de 2021. - <https://autosolar.es/blog/placas-fotovoltaicas/que-es-un-panel-solar>.

BARRENECHEA, C. *Planificación óptima de redes eléctricas en baja y media tensión y microrredes eléctricas inteligentes mediante algoritmos linealizados de optimización multicriterio* [Informe] : Tesis presentada para obtener el título de Doctor por la Universitat Politècnica de Catalunya / Departamento de Ingeniería Electrónica ; Universidad Politècnica de Catalunya (UPC). - Catalunya : [s.n.], 2019. - pág. 2.

BERMEO, A; Y BRAVO, D. *Diseño y simulación de una estrategia de gestión energética para microrredes eléctricas interconectadas* [Informe] : Trabajo De Titulación, Previo A La Obtención Del Título De Ingenieros En Electrónica, Automatización Y Control, 2019. - págs. 20-25. - 039399.

BEVRANI, H; & HIYAMA, T. *Intelligent automatic generation control* [Libro]. - 2011.

BORDONS, C. *Gestión óptima de la energía en microrredes con generación renovable* [Publicación periódica] // *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial.* - 2015. - 2 : Vol. 12. - págs. 117-132.

CABEZA, J. *Estudio de la situación actual de las Smart Grids.* [En línea]. - 2016. - <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/9143/386883.pdf>.

CANESTRINI, C. *Integrating renewable energy in transmission networks.* [En línea] // Smartnet. - 20 de junio de 2019. - <http://smartnet-project.eu/the-project/>.

CANTILLO, D; & MARLON, J. *Algoritmos genéticos para resolver sistemas energéticos globales* [Publicación periódica] // PROSPECTIVA, 2009. - págs. 27-34.

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

CHUQUI, Q. *Análisis de generación distribuida en hogares y edificaciones* [Publicación periódica] // Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana. - diciembre de 2014. - págs. 21-53. - KT00890.

COMMITTEE, D; et al. *IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems* [Publicación periódica]. - 2014.

CONELEC. *CONELEC 004/11- Tratamiento para la energía producida con Recursos Energéticos Renovables No Convencionales* [En línea] // Código Nombre Descripción Período de Vigencia Observación. - 14 de abril de 2011. - 01 de 10 de 2021. - https://www.regulacioneolica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2020/06/Regulaciones-Hist%C3%B3ricas-actualizacion-240620_V0.html.

CORDOVA, M. *Instrumentación y control de procesos ambientales // instrumentación y control de procesos / ed. sanitaria escuela profesional de ingeniería ambiental.* - Perú : Universidad Nacional "San Luis Gonzaga" De Ica, 5 de abril de 2013. - págs. 9-11.

DE LOS RÍOS, I; & SÁNCHEZ, D. *Evaluación De Estructuras Y Métodos De Ajuste De Reguladores Pid Difusos* [Informe] / Electrónica y Automática; Ingeniería de Sistemas y Automática ; Universidad San Juan Argentina; Universidad de Valladolid. - 2004. - págs. 1-8.

DESCARTES RED EDUCATIVA DIGITAL. *Libro de texto Matemáticas 2º ESO* [En línea] // issuu. - 5 de septiembre de 2015. - https://issuu.com/reddescartes/docs/libro_de_texto_matematicas_2_eso/44.

DISNORTE-DISSUR. *Disnorte-Dissur* [En línea] // Perfil de carga. - 2021. - 30 de septiembre de 2021. - <https://www.disnorte-dissur.com.ni/perfil-de-carga.html>.

DOBAKSHARI, A. *Control of Microgrids: Aspects and Prospects [Conferencia] // International Conference on Networking Sensing and Control.* - 2011. - págs. 38-43.

DOKIĆ, B. L. & BLANUŠA B. *Power Electronics* [Libro]. - [s.l.] : Springer, 2015. - págs. 110-115.

ECHEVERRÍA, N. *Algoritmo MPPT de Conductancia Incremental con Doble Cota* [Publicación periódica] // Potencia[W]. - Buenos Aires : [s.n.], Octubre de 2014. - Vol. 20. - págs. 3-4.

ECO GREEN ENERGY GROUP LTD. *Solar module ege-165-195m-36 monocrystalline module 165.195 W/ 36 Cells / 5 Bus bars* [En línea] // <https://cdn.enfsolar.com/>. - 2018. - https://cdn.enfsolar.com/Product/pdf/Crystalline/5df84b17030c6.pdf?_ga=2.42352428.803410683.1626665516-2059033188.1626542861.

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

ENRÍQUE, G. *Tecnologías de generación de energía eléctrica.* - [s.l.] : LTC., 1 de enero de 2009. - págs. 15-19.

FARHAT, M. *Diseño e Implementación de un Sistema de Control estable basado en Lógica Borrosa para optimizar el rendimiento de un sistema de Generación Fotovoltaico* [Publicación periódica] // Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial. - 2015. - 4 : Vol. 12. - págs. 476-487.

FERNÁNDEZ, J. M. *A voltage disturbances prototype for testing electrical generators connected to microgrids* (Doctoral dissertation, Universidad Politécnica de Madrid) [Publicación periódica]. - 2015.

- FORMACIÓN E.** *Energía solar fotovoltaica* [Libro]. - [s.l.] : FC Editorial, 2007.
- FOSSATI, J. P.** *Diseño de algoritmos para la optimización de la gestión de la energía en microrredes eléctricas* [Informe] / Universidad de Navarra. - Navarra : [s.n.], 2015. - págs. 15-25.
- FRAGOSO, R. M.** *Estado del arte de energías alternativas* [Libro]. - Mexico : Tesis para obtención del título de ingeniería civil., 2007.
- GALÁN, R.** *Control Inteligente* [Publicación periódica] // Inteligencia Artificial. Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. - Valencia, España : [s.n.], 2000. - 10 : Vol. 4. - págs. 43-48. - 1137-3601.
- GALÁN R.** *Control inteligente. Inteligencia Artificial* [Publicación periódica] // Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial. - 2000. - 10 : Vol. 4. - págs. 43-48.
- GAUTIER, A; JACQMIN, J; & POUDON, J.** *Los prosumidores y la cuadrícula* [En línea] // Researchgate. - Febrero de 2017. - https://www.researchgate.net/publication/304246432_The_Prosumers_and_the_Grid.
- GESTAL, P. M.** *Introducción a los Algoritmos Genéticos.* - Depto. Tecnologías de la Información y las Comunicaciones : [s.n.], s.f.
- GONZALEZ, F.** *Implementación de controlador inteligente para el control automático de la generación y su aplicación al sistema sing-sadi* [Libro]. - [s.l.] : Tesis para obtener el título de Ingeniero Electricista, 2018.
- GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN TECNOLOGÍAS DE ELECTRONICA Y AUTOMATIZACIÓN (GITEA)** *Análisis y Diseño de un mercado eléctrico comunitario* [Informe]. - Riobamba : [s.n.], 2017.
- GUACANEME, J. A; & TRUJILLO, C. L.** *Revisión de las características de sistemas de almacenamiento de energía para aplicaciones en micro redes* [Publicación periódica] // Información tecnológica. - 2014. - 2 : Vol. 25. - págs. 175-188.
- GUAMÁN, T.** Reconocimiento y clasificación de lenguaje de señas usando kinect e inteligencia artificial [informe] : Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de / escuela politécnica nacional. - Quito : [s.n.], 2019. - págs. 20-25.
- GUZMÁN, S.** *Control Clasico VS Control Moderno* [Informe]. - Gurango : [s.n.], 2011. - págs. 2-3.
- HART, D. W ; & VUELAPLUMA.** *Electrónica de potencia* [Libro]. - Madrid : Prentice Hall, 2001. - Vol. 32.
- HASSAN, R; & RADMAN, G.** *Encuesta sobre Smart Grid* [Conferencia] // Actas de la IEEE SoutheastCon 2010 (SoutheastCon). - 2010. - págs. 210-213.
- HATZIARGYRIOU, N.** *Microgrids: Architectures and Control* [Libro]. - [s.l.] : John Wiley and Sons Ltd, 2014.
- HENARES, A. D. E; & MAPFRE.** *Guía práctica para la implantación de sistemas de gestión energética.* - 2011.
- HOSSAIN, E; et al.** *Smart Grid Communications and Networking.* [Libro]. - [s.l.] : New York: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, 2012.

- IPCC.** *Fuentes de Energía Renovables y Mitigación del Cambio Climático* [En línea] // ipcc INTERGOVERNMENTAL PANEL ON climate change. - 2011. - 30 de septiembre de 2021. - https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srren/srren_report_es.pdf.
- JIMÉNEZ, A; & AL-HADITHI, B. M.** *Control Inteligente de procesos* [En línea] // Researchgate. - 2014. - 22 de octubre de 2021. - https://www.researchgate.net/publication/259868806_CONTROL_INTELIGENTE_DE_PROCESOS.
- KOURO, S; & MUSALEM, R.** *Control mediante lógica difusa.* [Publicación periódica] // Técnicas Modernas en Automática. - 2002. - Vol. 1. - págs. 1-7.
- KOZA, J. R.** *Genetic Programming: On the Programming of Computers* [Libro]. - 1992.
- LASSETER, R.H.** *MicroGrids* [Conferencia] // 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.02CH37309). - Nueva York, NY, EE. UU. : IEEE, 2002. - Vol. 1. - págs. 305-308.
- LATA, J. C.** *Mejoras al dimensionamiento óptimo de sistemas híbridos con energías renovables.* - 2019 de 03 de 2019.
- LEYVA-VÁZQUEZ M; & SMARANDACHE, F.** *Inteligencia Artificial: retos, perspectivas y papel de la Neutrosofía.* - [s.l.] : Infinite Study., 2018.
- LINDEN, D; & REDDY, T. B.** *Handbook of Batteries* [Libro]. - [s.l.] : McGraw-Hill , 2002. - Thrid : págs. 14.1-28.1.
- 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>.
- LLANO, L; et al.** *Sistema de inferencia difuso para identificar eventos de falla en tiempo real del STE usando registros SOE* [Publicación periódica] // Avances en Sistemas e Informática. - 2007. - 2 : Vol. 4. - págs. 125-134.
- MARCOS; et al.** *Introducción a los algoritmos genéticos y la programación genética.* [Libro]. - Universidade da Coruña. : CONSORCIO EDITORIAL GALEGO, 2010. - págs. 11-42.
- MÁRTIL, I.** *El Blog de Ignacio Mártil // Modelo energético distribuido: ventajas.* - 25 de junio de 2019.
- MARTÍNEZ, F.** *Estudio de la viabilidad técnica y socio-económica de la producción de energía fotovoltaica distribuida a nivel local y el despliegue de redes inteligentes* [Publicación periódica] // Universitat Politècnica de València. - 12 de 10 de 2018.
- MENA, E.** *Ecuador recibe más rayos ultravioleta* [En línea] // BBC News. - 2010 de enero de 2010. - 27 de noviembre de 2021. - https://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/01/100114_0137_ecuador_ozono_gz.
- MENGELKAMP, E; et al.** *Diseño de mercados de energía de microrredes : un caso de estudio: la microrred de Brooklyn* [En línea] // sciencedirect. - 15 de enero de 2018. - 25 de noviembre de 2021. - <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191730805X>.
- MEZA, H; et al.** *Estrategias de control mppt aplicadas en un convertidor dc/dc tipo boost para sistemas fotovoltaicos* [Publicación periódica] // Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA). - 2018. - 30 : Vol. 2. - págs. 102-108.

MOHA, N: et al. *Power Electronics "Converters, Applications, Design."* [Libro]. - [s.l.] : Wiley John & Sons Inc, 1995. - págs. 161-199.

NAKI, G. *Integration of PV and Battery.* - 2020.

NOURAL, A. *Large-scale electricity storage technologies for energy management* [Conferencia] // IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. - Chicago, IL, USA : IEEE, 2002. - Vol. 1. - págs. 310-3015.

OCU *Así los analizamos* [En línea] // OCU. - 24 de septiembre de 2018. - <https://www.ocu.org/>.

OGATA, K. *Ingeniería de control moderna* [Libro]. - Madrid : PEARSON EDUCACIÓN, S.A, 2010. - págs. 13-15.

ORTEGA, V. *Simulador Convertidores DC-DC.* - [s.l.] : ETSE, Junio de 2002. - págs. 18-32.

UDALOV, A; et al. *Value analysis of battery energy storage applications in power systems* [Conferencia] // 2006 IEEE PES Power Systems Conference and Exposition. - Atlanta : IEEE, 2006. - págs. 2206-2211.

PALACIOS, S; et al. *Tarifación Dinámica de Redes Inteligentes de Distribución usando Optimización Multiobjetivo* [Publicación periódica] // Centro Nacional de Control de Energía. - 2016.

PARKER, C. *Lead-acid battery energy-storage systems for electricity supply networks* [Publicación periódica] // Journal of Power Sources. - 2001. - 1-2 : Vol. 100. - págs. 18-28.

PASCUAL, J. M. *Estrategias avanzadas de gestión energética basadas en predicción para microrredes electro térmicas* [Publicación periódica]. - 2016. - págs. 8-9.

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

PWC GLOBAL POWER & UTILITIES. *The road ahead: Gaining momentum from energy transformation* [Publicación periódica] // PwC global power & utilities, .. - 2014. - pág. 3.

QUINTERO, V. *Generación distribuida democratización de la energía eléctrica* [Publicación periódica] // Criterio Libre. - Bogotá : [s.n.], 2008. - 8 : Vol. 6. - págs. 105-112. - ISSN 1900-0642.

RAHN, D; & WANG CHAO, Y. *Battery systems engineering* [Libro]. - USA : John Wiley & Sons, 2013. - págs. 11-22.

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

RUIZ, J; et al. *Estudio del Algoritmo de Seguimiento de Punto de Máxima Potencia Perturbar y Observar.* [Publicación periódica] // Revista de ingeniería eléctrica, electrónica y computación. - Diciembre de 2010. - 1 : Vol. 8. - págs. 18-19.

RUIZ, M. *Diseño de un sistema híbrido inalámbrico-fibra para transmisión de datos de medidores inteligentes de energía en redes Smart Grid* [En línea] // Pontificia Universidad Católica del Ecuador-Repositorio de Tesis de Grado y Posgrado. - 20 de septiembre de 2016. - 30 de septiembre de 2021. - <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/11293>.

SANANGO, F. *Desarrollo de un Algoritmo de Interacción para Microredes de Distribución Eléctrica.* [Informe] : Tesis previa a la obtención del título de master en Sistemas Eléctricos de Potencia / Universidad de Cuenca. - Cuenca : [s.n.], 2015. - pág. 81.

SANTOS, A; et al. *Generación* [Informe]. - Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia (España) : [s.n.], 2016.

SANZ, R. *Arquitectura de Control* [Informe] : Tesis Doctoral. Depto. De Automática, Ing. Electrónica e Informática Industrial / Departamento de Automática de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales ; Universidad Politécnica de Madrid. - España : [s.n.], 1990. - págs. 6-9.

SARMIENTO, F. *Diseño e implementación de un controlador basado en redes neuronales con entrenamiento rápido para sistemas de control 2 x 2* [Libro]. - Master's thesis, Maestría en Ingeniería Mecánica : [s.n.], 2009.

SCHWABENEDER, D; et al. *Conceptos De Prosumer Pv Existentes Y Futuros.* [Publicación periódica].

SINGH. M; & KHANCHANDANI K. B. *Power Electronics [LIBRO].* - [S.L.] : TATA MCGRAW-HILL Education, 2008. - págs. 40-70.

SOFTWARE PARA TODO Software de Simulación. - 2021.

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

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

SOLAR ENERGY INTERNATIONAL. *Solar Energy International (SEI)* [En línea]. - 2020 de diciembre de 2020. - <https://es.solarenergytraining.org/>.

Spark, W. *Clima Promedio En Riobamba, Ecuador, Durante Todo El Año - Weather Spark* [En línea] // <https://es.weatherspark.com/>. - 19 de 07 de 2021. - <https://es.weatherspark.com/y/20020/Clima-promedio-en-Riobamba-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>.

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

TELECHEA, P. *Revisión y comparación de los principales métodos mppt para sistemas fotovoltaicos.* / ed. María Universidad Técnica Federico Santa. - Valparaíso : [s.n.], Septiembre de 2015. - págs. 21-31.

TUTIEMPO. *Radiación solar en Riobamba* [En línea]. - 2021. - <https://www.tutiempo.net/radiacion-solar/riobamba.html> .

ULLOA, A. *Eficiencia del consumo eléctrico en el sector residencial urbano de Cuenca* [Informe] : Ingeniero Tesis Previa a la Obtención del Título de Magister / Universidad de Cuenca, Cuenca.. - Cuenca : [s.n.], 2015. - pág. 66.

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA. *Docplayer [En línea] // Tema 3: Recursos Energéticos Distribuidos (Der) Lección 8 Generación Distribuida (DG) - PDF Free Download.* - 2008. - 09 de septiembre de 2021. - <https://docplayer.es/43627920-Tema-3-recursos-energeticos-distribuidos-der-leccion-8-generacion-distribuida-dg.html>.

VALENZUELA, P. *Determinación del punto de máxima potencia en sistemas de bombeo solar fotovoltaico utilizando el algoritmo de perturbación observación P&O* [Publicación periódica]. - [s.l.] : Repositorio Institucional de la Universidad Politécnica Salesiana, 09 de 2020.

VENKATARAMANAN, G; & ILLINDALA, M. *Microgrids and sensitive loads. In 2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting [Conferencia] // Conference Proceedings. - [s.l.] : IEEE, 2002. - Vol. 1. - págs. 315-322.*

VERIDE ENERGÍA *Proyectos Recientes* [En línea] // Veride Energía. - 2019. - <https://www.veridenergia.com/portfolio-item/proyectos/>.

VILLA, V. A. *Óptima gestión y regulación de voltaje en microredes de distribución con generación distribuida y almacenamiento de energía* [En línea] // ups.edu.ec. - 2017. - <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14360/4/UPS-KT01399.pdf>.

VILLAJULCA, J. *Principios Básicos de Diseño de Sistemas de Control.* [En línea] // InstrumentacionyControl.net. - 12 de 09 de 2009. - 25 de 09 de 2021. - <https://instrumentacionycontrol.net/principios-basicos-de-diseno-de-sistemas-de-control/>.

ZUÑIGA, C; et al. *Gestión óptima de la potencia eléctrica en una microgrids conectada, basada en el algoritmo genético para optimización multiobjetivo MOGA* [Publicación periódica] // UIS Ingenierías. - 25 de 05 de 2016. - 2 : Vol. 15. - págs. 17-33.

ANEXOS

ANEXO A: Programa de Interpolación.

```
% INTERPOLACION "POLINOMIO DE LAGRAGE"

clc %permite borrar el area de trabajo
clear %permite borrar las variables almacenadas
format long %permite utilizar la máxima capacidad de la maquina

fprintf('INTERPOLACION "POLINIMIO DE LAGRAGE"\n\n\n');

%fprintf me permite ingresar comentarios de manera textual que pueden
%orientar al usuario en el uso del programa

xi=input('Ingrese los puntos pertenecientes a las x: ');
yi=input('Ingrese los puntos pertenecientes a las y: ');

%input es un comando de solicitud de entrada de datos del usuario.
n=length(xi);
x=sym('x'); %esta función nos permite dejar la variable 'x' como
simbólica
% y así poder trabajar con ella, sin tener que asignarle un valor.

for j=1:n
    producto=1;
    for i=1:j-1
        producto=producto*(x-xi(i)
    end
    producto2=1;
    for i=j+1:n
        producto2=producto2*(x-xi(i));
    end
    producto3=1;
    for i=1:j-1
        producto3=producto3*(xi(j)-xi(i))
    end
    producto4=1;
    for i=j+1:n
        producto4=producto4*(xi(j)-xi(i));
    end
    L(j)=(producto*producto2)/(producto3*producto4); %calculos de las L
para
    fprintf('\n L%d:\n',j-1)
    disp(L(j))
end
pn=0;
for j=1:n
    pn=pn+L(j)*yi(j);
end
fprintf('\n POLINOMIO INTERPOLANTE: \n')
%disp(pn)

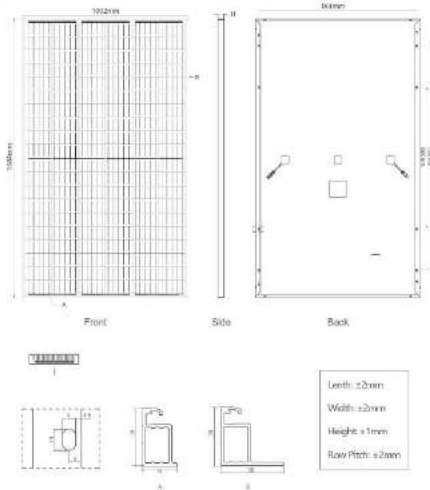
disp(pn)

x=input('\nIngrese el punto a aproximar: ');
y=eval(pn);

disp(y)
```

ANEXO B: Ficha Técnica JINKO JKM340M-60H

Engineering Drawings

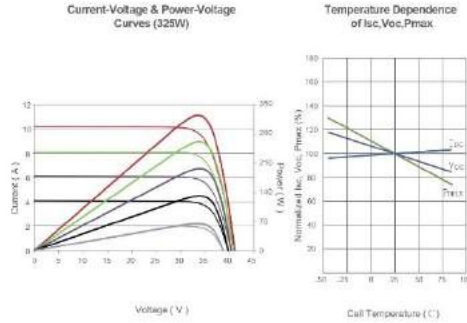


Packaging Configuration

(Two pallets = One stack)

35pcs/pallet, 70pcs/stack, 910pcs/40' HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Mono PERC 158.75×158.75mm
No. of Half-cells	120 (6×20)
Dimensions	1684×1002×30mm (66.30×39.45×1.18 inch)
Weight	18.5 kg (40.8 lbs)
Front Glass	3.2mm, Anti-Reflection Coating, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² , (+) 290mm, (-) 145mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM325M-60H		JKM330M-60H		JKM335M-60H		JKM340M-60H		JKM345M-60H	
	JKM325M-60H-V	JKM330M-60H-V	JKM330M-60H-V	JKM335M-60H-V	JKM335M-60H-V	JKM340M-60H-V	JKM340M-60H-V	JKM345M-60H-V	JKM345M-60H-V	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	325Wp	239Wp	330Wp	243Wp	335Wp	247Wp	340Wp	250Wp	345Wp	254Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	33.37V	30.6V	33.54V	30.7V	33.74V	30.9V	33.93V	31.5V	34.12V	31.23V
Maximum Power Current (Imp)	9.74A	7.82A	9.84A	7.9A	9.93A	7.98A	10.02A	8.06A	10.11A	8.13A
Open-circuit Voltage (Voc)	40.4V	38.1V	40.6V	38.2V	40.8V	38.4V	41.00V	38.62V	41.2V	38.8V
Short-circuit Current (Isc)	10.50A	8.48A	10.61A	8.57A	10.73A	8.67A	10.82A	8.74A	10.91A	8.81A
Module Efficiency STC (%)	19.26%		19.56%		19.85%		20.15%		20.45%	
Operating Temperature (°C)	-40°C~+85°C									
Maximum System Voltage	1000/1500VDC (IEC)									
Maximum Series Fuse Rating	20A									
Power Tolerance	0~+3%									
Temperature Coefficients of Pmax	-0.35%/°C									
Temperature Coefficients of Voc	-0.29%/°C									
Temperature Coefficients of Isc	0.046%/°C									
Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45±2°C									

STC: Irradiance 1000W/m² Cell Temperature 25°C AM=1.5

NOCT: Irradiance 800W/m² Ambient Temperature 20°C AM=1.5 Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the Information presented hereby. JKM325-345M-60H-(V)-A4- EN-F30

ANEXO C: Ficha Técnica de la batería GEL BATTERY 12 V 100 AH

Tensite

GEL 12-100

GEL BATTERY 12V 100 AH

GEL SERIES BATTERY

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



APPLICATION

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

GENERAL FEATURES

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

TECHNICAL SPECIFICATIONS

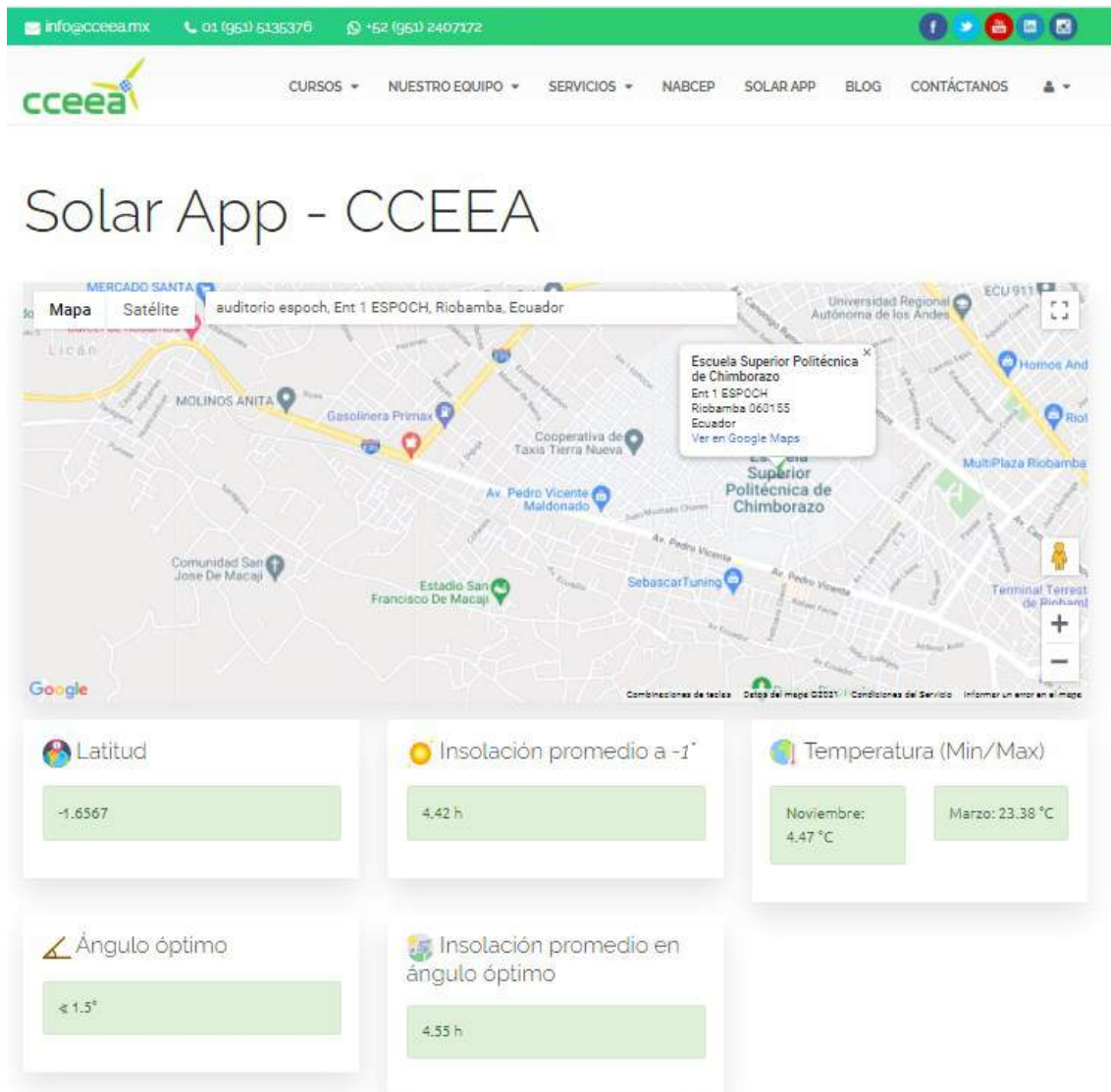
BATTERY MODEL	Nominal voltage			12V
	Rated capacity (100 hour rate)			100Ah
	Cells Per battery			6
DIMENSION	Length	Width	Height	Total Height
	329 mm	172 mm	218 mm	225 mm
APPROX. WEIGHT	26.2 kg ± 3%			
CAPACITY @ 25°C	10 hour rate (9.1A)	5 hour rate (15.1A)	3 hour rate (23.8A)	2 hour rate (33.8A)
	91 Ah	75.5 Ah	71.4 Ah	67.6 Ah
MAX. DISCHARGE CURRENT	900 A (5 sec.)			
INTERNAL RESISTANCE	Full charged Vat 25°C: Approx. 4.4mΩ			
CAPACITY AFFECTED BY TEMP. (10 HR)	40°C	25°C	0°C	
	102%	100%	85%	
CHARGE METHOD @25°C	Cycle Use 14.1-14.4V (Initial charging current less than 27A)		Standby Use 13.50-13.80V	

BATTERY DISCHARGE TABLE

CONSTANT CURRENT (AMP) AND CONSTANT POWER (WATT) DISCHARGE TABLE AT 25 °C									
F.V / TIME		10 min	15 min	30 min	60 min	3 hr	5 hr	10 hr	20 hr
1.60	A	190.0	153.3	103.0	54.0	23.1	14.9	9.5	5.10
	W	338.00	273.50	183.83	97.16	42.90	28.13	18.18	9.88
1.70	A	171.00	144.00	98.00	51.00	22.50	14.60	9.30	5.00
	W	318.83	268.83	183.50	95.66	42.50	28.10	18.15	9.68
1.75	A	153.00	126.00	92.00	49.00	22.00	14.40	9.10	5.00
	W	290.66	239.83	176.00	94.83	42.50	28.10	17.93	9.65
1.80	A	144.00	117.00	85.00	48.00	21.40	14.00	9.00	4.90
	W	277.66	225.00	163.33	92.16	42.08	27.66	17.83	9.65
1.85	A	135.00	108.00	76.00	46.00	20.70	13.70	8.60	4.60
	W	261.16	209.83	147.50	90.00	40.98	27.16	17.20	9.27

Tensite
info@tensitebatteries.com
www.tensitebatteries.com

ANEXO D: Datos para el dimensionamiento del panel según cceea.mx



ANEXO E: Tabla de Irradiancia solar (W/m²) para los 15 usuarios prosumers ciudad de Riobamba a cuartos de hora.

Tiempo	User1	User2	User3	User4	User5	User6	User7	User8	User9	User10	User11	User12	User13	User14	User15
6	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2
6,25	8	8	8	3	5	3	8	3	3	5	4	3	3	7	7
6,5	11	11	11	4	6	4	11	4	4	6	5	4	5	10	10
6,75	22	22	21	7	12	7	21	7	7	12	10	7	9	20	19
7	86	88	85	29	48	29	84	29	29	48	38	29	37	79	77
7,25	127	132	127	45	89	44	126	43	44	71	56	43	59	119	116
7,5	169	175	169	61	130	58	168	58	58	95	74	58	81	159	155
7,75	210	219	211	77	171	73	210	72	73	118	92	72	102	198	193
8	251	262	253	93	212	87	252	86	87	141	110	86	124	238	232
8,25	286	301	291	109	250	100	288	99	100	161	125	99	147	273	267
8,5	320	339	329	125	289	113	325	112	113	181	140	112	170	309	302
8,75	355	378	366	140	327	125	361	125	125	200	154	124	192	344	337
9	389	416	404	156	365	138	397	138	138	220	169	137	215	379	372
9,25	415	447	435	171	399	148	426	148	148	235	180	147	237	408	401
9,5	442	478	466	185	433	158	455	159	159	250	190	158	259	436	430
9,75	468	509	496	200	467	168	483	169	169	264	201	168	280	465	458
10	494	540	527	214	501	178	512	179	179	279	211	178	302	493	487
10,25	510	561	548	234	525	185	531	186	186	293	217	185	320	512	530
10,5	526	582	570	253	550	192	550	193	193	306	223	193	339	532	573
10,75	542	603	591	273	574	199	569	200	200	320	229	200	357	551	615
11	558	624	612	292	598	206	588	207	207	333	235	207	375	570	658
11,25	563	634	623	308	614	210	597	210	211	341	236	210	388	580	646
11,5	569	644	633	323	631	213	605	214	214	350	238	214	400	589	634
11,75	574	654	644	339	647	217	614	217	218	358	239	217	413	599	622
12	579	664	654	354	663	220	622	220	221	366	240	220	425	608	610
12,25	574	662	653	363	665	219	619	220	220	368	237	220	430	606	610
12,5	569	660	652	373	667	219	616	219	220	370	234	219	435	605	609
12,75	563	658	651	382	668	218	613	219	219	372	230	219	440	603	609
13	558	656	650	391	670	217	610	218	218	374	227	218	445	601	608
13,25	543	640	634	384	644	213	593	219	214	367	225	214	438	585	592
13,5	527	624	618	376	618	209	576	219	209	359	224	209	431	568	576
13,75	512	607	601	369	592	204	558	220	205	352	222	205	424	552	559
14	496	591	585	361	566	200	541	220	200	344	220	200	417	535	543
14,25	473	565	559	347	546	192	515	207	192	331	214	192	402	510	518
14,5	449	539	533	333	527	184	489	194	184	317	207	184	387	485	493
14,75	426	512	507	318	507	175	462	181	176	304	201	176	372	459	468
15	402	486	481	304	487	167	436	168	168	290	194	168	357	434	443
15,25	373	452	448	284	448	156	404	157	157	271	183	157	335	403	411
15,5	344	419	414	265	409	145	372	146	146	252	172	146	313	372	380
15,75	314	385	381	245	370	134	340	135	135	233	160	135	291	340	348
16	285	351	347	225	331	123	308	124	124	214	149	124	269	309	316
16,25	253	312	309	200	288	111	273	111	111	201	134	111	241	274	281
16,5	221	273	270	174	244	99	238	97	98	188	119	97	213	239	245
16,75	188	234	232	149	201	87	202	84	84	175	104	84	184	204	210
17	156	195	193	123	157	75	167	70	71	162	89	70	156	169	174
17,25	123	154	153	97	121	60	132	55	56	130	71	55	124	134	138
17,5	91	114	113	72	86	44	97	41	42	97	52	41	92	98	101
17,75	58	73	72	46	50	29	61	26	27	65	34	26	59	63	65
18	25	32	32	20	14	13	26	11	12	32	15	11	27	27	28

ANEXO F: Datos de Temperatura para los 15 usuarios prosumers de la ciudad de Riobamba.

Tiempo	User 1	User 2	User 3	User 4	User 5	User 6	User 7	User 8	User 9	User 10	User 11	User 12	User 13	User 14	User 15
0	8	8	9	9	11	11	11	12	11	11	11	11	9	9	9
0,25	8	8	9	9	11	11	11	12	11	11	11	11	9	9	9
0,5	8	8	9	9	11	11	11	12	11	11	11	11	9	9	9
0,75	8	8	9	9	11	11	11	12	11	11	11	11	9	9	9
1	8	7	9	9	11	11	11	12	11	11	11	11	9	9	9
1,25	8	7	9	9	11	11	11	12	11	11	11	11	9	9	9
1,5	8	7	9	9	11	11	11	12	11	11	11	11	9	9	9
1,75	8	7	9	9	11	11	11	12	11	11	11	11	9	9	9
2	9	7	9	9	11	11	11	12	11	11	10	10	9	9	8
2,25	9	7	9	9	11	11	11	12	11	11	10	10	9	9	8
2,5	9	7	9	9	11	11	11	12	11	11	10	10	9	9	8
2,75	9	7	9	9	11	11	11	12	11	11	10	10	9	9	8
3	9	6	9	9	11	11	10	11	11	10	10	10	8	8	8
3,25	9	6	9	9	11	11	10	11	11	10	10	10	8	8	8
3,5	9	6	9	9	11	11	10	11	11	10	10	10	8	8	8
3,75	9	6	9	9	11	11	10	11	11	10	10	10	8	8	8
4	9	6	9	9	10	10	10	11	11	10	10	10	8	8	8
4,25	9	6	9	9	10	10	10	11	11	10	10	10	8	8	8
4,5	9	6	9	9	10	10	10	11	11	10	10	10	8	8	8
4,75	9	6	9	9	10	10	10	11	11	10	10	10	8	8	8
5	9	6	9	9	10	10	10	11	10	10	10	10	8	8	8
5,25	9	6	9	9	10	10	10	11	10	10	10	10	8	8	8
5,5	9	6	9	9	10	10	10	11	10	10	10	10	8	8	8
5,75	9	6	9	9	10	10	10	11	10	10	10	10	8	8	8
6	9	6	9	9	10	10	10	10	10	10	9	9	7	7	7
6,25	9	6	9	9	10	10	10	10	10	10	9	9	7	7	7
6,5	9	6	9	9	10	10	10	10	10	10	9	9	7	7	7
6,75	9	6	9	9	10	10	10	10	10	10	9	9	7	7	7
7	10	7	9	9	10	10	10	10	10	10	9	9	7	8	8
7,25	10	7	9	9	10	11	10	10	10	10	9	9	7	8	8
7,5	10	7	9	9	10	11	10	10	10	10	9	9	7	8	8
7,75	10	7	9	9	10	11	10	10	10	10	9	9	7	8	8
8	10	8	10	10	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	10
8,25	10	8	10	10	11	12	11	11	11	11	11	11	10	10	10
8,5	10	8	10	10	11	12	11	11	11	11	11	11	10	10	10
8,75	10	8	10	10	11	12	11	11	11	11	11	11	10	10	10
9	10	9	10	11	12	12	12	12	12	13	13	13	11	11	11
9,25	10	9	10	11	12	12	12	12	12	13	13	13	11	11	11
9,5	10	9	10	11	12	12	12	12	12	13	13	13	11	11	11
9,75	10	9	10	11	12	12	12	12	12	13	13	13	11	11	11
10	12	11	13	12	14	14	14	14	14	14	15	15	13	13	13
10,25	12	11	13	12	14	14	14	14	14	14	15	15	13	13	13
10,5	12	11	13	12	14	14	14	14	14	14	15	15	13	13	13
10,75	12	11	13	12	14	14	14	14	14	14	15	15	13	13	13
11	13	12	13	13	16	15	15	16	15	15	16	16	14	14	14
11,25	13	12	13	13	16	15	15	16	15	15	16	16	14	14	14
11,5	13	12	13	13	16	15	15	16	15	15	16	16	14	14	14
11,75	13	12	14	13	16	15	15	16	15	15	16	16	14	14	14
12	14	14	14	14	17	17	17	17	17	18	18	17	15	16	15
12,25	14	14	14	14	17	17	17	17	17	18	18	17	15	16	15
12,5	14	14	14	14	17	17	17	17	17	18	18	17	15	16	15
12,75	14	14	14	14	17	17	17	17	17	18	18	17	15	16	15
13	15	15	15	15	18	18	18	18	19	20	18	19	16	16	16
13,25	15	15	15	15	18	18	18	18	19	20	18	19	16	16	16
13,5	15	15	15	15	18	18	18	18	19	20	18	19	16	16	16
13,75	15	15	15	15	18	18	18	18	19	20	18	19	16	16	16
14	16	15	16	16	18	18	18	18	19	20	19	19	17	17	16
14,25	16	15	16	16	18	18	18	18	19	20	19	19	17	17	16
14,5	16	15	16	16	18	18	18	18	19	20	19	19	17	17	16
14,75	16	15	16	16	18	18	18	18	19	20	19	19	17	17	16

15	16	15	16	16	18	18	17	18	19	19	18	18	17	17	16
15,25	16	15	16	16	18	18	17	18	19	19	18	18	17	17	16
15,5	16	15	16	16	18	18	17	18	19	19	18	18	17	17	16
15,75	16	15	16	16	18	18	17	18	19	19	18	18	17	17	16
16	15	14	15	15	18	17	17	17	17	15	17	17	16	16	16
16,25	15	14	15	15	18	17	17	17	17	15	17	17	16	16	16
16,5	15	14	15	15	18	17	17	17	17	15	17	17	16	16	16
16,75	15	14	15	15	18	17	17	17	17	15	17	17	16	16	16
17	14	13	14	14	16	16	16	16	17	14	16	16	15	15	15
17,25	14	13	14	14	16	16	16	16	17	14	16	16	15	15	15
17,5	14	13	14	14	16	16	16	16	17	14	16	16	15	15	15
17,75	14	13	14	14	16	16	16	16	17	14	16	16	15	15	15
18	13	12	13	13	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14
18,25	13	12	13	13	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14
18,5	13	12	13	13	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14
18,75	13	12	13	13	15	15	15	15	14	14	14	14	14	14	14
19	12	11	12	12	14	14	14	14	13	13	13	14	12	12	12
19,25	12	11	12	12	14	14	14	14	13	13	13	14	12	12	12
19,5	12	11	12	12	14	14	14	14	13	13	13	14	12	12	12
19,75	12	11	12	12	14	14	14	14	13	13	13	14	12	12	12
20	11	10	11	11	13	13	13	13	12	12	12	12	11	12	11
20,25	11	10	11	11	13	13	13	13	12	12	12	12	11	12	11
20,5	11	10	11	11	13	13	13	13	12	12	12	12	11	12	11
20,75	11	10	11	11	13	13	13	13	12	12	12	12	11	12	11
21	10	9	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
21,25	10	9	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
21,5	10	9	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
21,75	10	9	10	10	12	12	12	12	12	12	12	12	11	11	11
22	10	9	10	10	12	12	11	12	12	11	11	11	10	10	10
22,25	10	9	10	10	12	12	11	12	12	11	11	11	10	10	10
22,5	10	9	10	10	12	12	11	12	12	11	11	11	10	10	10
22,75	10	9	10	10	12	12	11	12	12	11	11	11	10	10	10
23	9	8	9	9	11	11	11	11	11	11	10	10	9	9	10
23,25	9	8	9	9	11	11	11	11	11	11	10	10	9	9	10
23,5	9	8	9	9	11	11	11	11	11	11	10	10	9	9	10
23,75	9	8	9	9	11	11	11	11	11	11	10	10	9	9	10
24	9	8	9	9	11	11	11	11	11	11	10	10	9	9	10

ANEXO G: Control y gestión de la red de distribución.

```
Block: Proyecto_FuzzyGenetico/Control y Gestion de la red de distribucion../MATLAB Function*
EDITOR VIEW
%% *****INPUTS CONTROLLER*****
5 PUP_B = trapmf(PUP_X, [0,0,40,60]);
6 PUP_A = trapmf(PUP_X, [40,60,150,150]);
7 EP_X = -200:1:200;
8 EP_N = trapmf(EP_X, [-200,-200,-20,20]);
9 EP_P = trapmf(EP_X, [-20,20,200,200]);
10 EB_X = 1:1:100;
11 EB_B = trapmf(EB_X, [0,0,40,60]);
12 EB_A = trapmf(EB_X, [40,60,100,100]);
13
14 %% *****OUTPUTS CONTROLLER*****
15 ER_X = 1:1:100;
16 ER_D = trapmf(ER_X, [0,0,40,60]);
17 ER_C = trapmf(ER_X, [40,60,100,100]);
18 if x>=200
19     x=199;
20 elseif x <=-200
21     x=-199;
22 end
23 if x==0
24     x=201;
25 elseif x>0
26     x= 201+x;
27 elseif x<0
28     x=201+x;
29 end
30 if y<=0
31     y=1;
32 end
33 %% Fusificacion
34 mR1=zeros(1,length(EB_X));
35 for i=1:length(ER_X)
36     mR1(i)=min(PUP_B(y),ER_C(i));
37 end
38 fus2=min(min(EP_N(x),PUP_A(y)), EB_B(z));
39 mR2=zeros(1,length(EB_X));
40 for i=1:length(EB_X)
41     mR2(i)=min(fus2,ER_C(i));
42 end
43 fus3=min(PUP_A(y), EB_A(z));
44 mR3=zeros(1,length(EB_X));
45 for i=1:length(EB_X)
46     mR3(i)=min(fus3, ER_D(i));
47 end
48 fus4=min(EP_P(x), PUP_A(y));
49 mR4=zeros(1,length(EB_X));
50 for i=1:length(EB_X)
51     mR4(i)=min(fus4, ER_D(i));
52 end
53 mRR =max(max(mR1,mR2),max(mR3,mR4));
54 u = mean(EB_X(mRR==max(mRR)));
55 if u > 45
56     out=true;
57 else
58     out=false;
59 end
```

ANEXO H: Control de la batería.

```
function out = fuzzy_control_battery(data)
x=double(int64(data(1)));
y=double(int64(data(2)));
disp("x")
disp(x)
disp("y")
disp(y)

SOC_X = 1:1:100;
SOC_B = trapmf(SOC_X, [0, 0, 25, 55]);
SOC_M = trimf(SOC_X, [25, 55, 85]);
SOC_A = trapmf(SOC_X, [55, 85, 100, 100]);
EP_X = -200:1:200;
EP_N = trapmf(EP_X, [-200, -200, -20, 20]);
EP_P = trapmf(EP_X, [-20, 20, 200, 200]);
EB_X = 1:1:100;
EB_D = trapmf(EB_X, [0, 0, 40, 60]);
EB_C = trapmf(EB_X, [40, 60, 100, 100]);
|
if y>=200
    y=199;
elseif y <=-200
    y=-199;
end
if y==0
    y=201;
elseif y>0
    y= 201+y;
elseif y<0
    y=201+y;
end
mR1=zeros(1,length(EB_X));
for i=1:length(EB_X)
    mR1(i)=min(SOC_B(x),EB_C(i));
end
fus2=min(SOC_M(x),EP_P(y));
mR2=zeros(1,length(EB_X));
for i=1:length(EB_X)
    mR2(i)=min(fus2,EB_C(i));
end
fus3=min(SOC_M(x),EP_N(y));
mR3=zeros(1,length(EB_X));
for i=1:length(EB_X)
```

```

    fus3=min(SOC_M(x),EP_N(y));
    mR3=zeros(1,length(EB_X));
    for i=1:length(EB_X)
        mR3(i)=min(fus3,EB_D(i));
    end
    fus4=min(SOC_A(x),EP_P(y));
    mR4=zeros(1,length(EB_X));
    for i=1:length(EB_X)
        mR4(i)=min(fus4,EB_C(i));
    end
    fus5=min(SOC_A(x),EP_N(y));
    mR5=zeros(1,length(EB_X));
    for i=1:length(EB_X)
        mR5(i)=min(fus5,EB_D(i));
    end
    max1=max(mR1,mR2); max2=max(mR3,mR4); max3=max(max1,max2);
    u_max=max(max3,mR5);
    u = mean(EB_X(u_max==max(u_max)))
    if u > 40
        out=true;
    else
        out=false;
    end
end
end

```

ANEXO I: Código de algoritmo genético.

```
% CODIGO USUARIO PROSUMER.
function yx = Prosumer_geneticox(u)
time = u;
P_i=zeros(10,1);
yx=83;
% NUMERO 1
if time>=0 & time <=4
    % rango 25-35
    for i=1:10
        P_i(i)=randi([29,34]);
    end
    PN = poblacion(P_i,7);
    fprintf('Poblacion Inicial= ')
    disp(PN)
    % genetico(PI,numt, max_d, min_d)
    %PI = poblacion inicial
    %numt = numero de generaciones
    %max_d = maximo decimal
    %min_d = minimo decimal
    %long = longitud el cromosoma
    [yx]= genetico(PN,10,34,29,7);
    [yx]=[yx]+3;
% NUMERO 2
elseif time>=4 & time<7
    % rango 40-55
    for i=1:10
        P_i(i)=randi([49,57]);
    end
    PN = poblacion(P_i,7);
    %[d,f]=codificacion(PN,50,0);
    [yx]= genetico(PN,10,57,49,7);
    [yx]=[yx]+3;
% NUMERO 3
elseif time>=7 & time<16
    % rango 55 - 70
    for i=1:10
        P_i(i)=randi([63,71]);
    end
    PN = poblacion(P_i,7);
    %[d,f]=codificacion(PN,64,0);
    [yx]= genetico(PN,10,71,63,7);
    [yx]=[yx]+1.5;
% NUMERO 4
elseif time>=16 & time<18
    % rango 70-85
    for i=1:10
        P_i(i)=randi([80,86]);
    end
    PN = poblacion(P_i,7);
    %[d,f]=codificacion(PN,120,0);
    [yx]= genetico(PN,10,86,80,7);
    [yx] = [yx]+1.5;

% NUMERO 5
elseif time>=18 & time<22
    % rango 90-120
    for i=1:10
```

```

        P_i(i)=randi([105,116]);
    end
    PN = poblacion(P_i,7);
    %[d,f]=codificacion(PN,128,0);
    [yx]= genetico(PN,10,117,112,7);
    [yx] = [yx]+ 2.5;

% NUMERO 6
elseif time>=22 & time<=24
    % rango 50-75
    for i=1:10
        P_i(i)=randi([65,75]);
    end
    PN = poblacion(P_i,7);
    %[d,f]=codificacion(PN,32,0);
    [yx]= genetico(PN,10,75,65,7);
    [yx] = [yx]+1.5;
end

end

%ALGORITMO GENETICO IMLEMNTADO.

function [out]= genetico(PN, numt, max_d, min_d,long)
    %PI = poblacion inicial
    %numt = numero de generaciones
    %max_d = maximo decimal
    %min_d = minimo decimal
    %long = longitud el cromosoma

    x=0:0.0001:1;
    %z=x.^2;
    epsilon=randi([5 8])/10;
    fc=0;
    out=0;
    %for i=1:numt
    i=1;

    while fc < epsilon
        epsilon=randi([6 9])/10;
        % decodificacion en su representacion decimal
        % codificacion en su representacion entre -1 y 1
        [d,f] = codificacion(PN, max_d, min_d);
        % funcion de costo
        fc = funcion_costo(f);
        fc = mean(fc);
        % seleccion
        Pb_n = seleccion(d,long);
        % cruzamiento entre padres para generar mejores hijos
        Pb_n = cruce2(Pb_n);
        % mutacion de un porcentaje de alelos en los individuos
        Pb_n = mutacion(Pb_n)
        PN=Pb_n;
        d = decodificacion(f,max_d,min_d);
        %out =(max(d));
        out =(mean(d));
        if(i==24)

```

```

        out =(min(d));
        break
    end
    i=i+1;
end
% decodificacion de los elementos a sus correctas expresiones
decimales
% d = decodificacion(f,max_d,min_d);
%out =(max(d));
%out =(mean(d));
end

% SCRIPT PARA CODIFICACION

function [dec,flot] = codificacion(pob, max_d, min_d)
% pob = matriz de cromozomas que representa la poblacion
% dec = representacion del cromozoma en decimal
% float = codificacion del cromozoma en un rango

[fil, col] =size(pob);
dec = zeros(fil,1);
flot = zeros(fil,1);
eml.extrinsic('num2str')
for i=1:fil
    dec(i)=bin2dec(num2str(pob(i,:)));

    %valor_f =((max_f - min_f)/(max_d - min_d))*(valor_d - min_d) +
min_f
    flot(i)= ((1-(0))/(max_d-min_d))*(dec(i)-min_d)+(0);
end
% dec =transpose(dec); % decodificado/ fenotipo
% flot=transpose(flot); % codificado
end

% SCRITP PARA FUNCION DE COSTOS.

function [out] = funcion_costo(flo)

[fil,col] =size(flo);
out =zeros(fil,1);
sum_fc=0;
for i=1:fil
    %fun_x=- (x.^2)+1;
    out(i)= flo(i).^2+2.01; % funcion de costo => f(x) =x^2

end
end

% SCRITP PARA SELECCION

function [PN] = seleccion(dec,long)
%UNTITLED2 Summary of this function goes here
% Detailed explanation goes here
dec = sort(dec,'descend');
PN = poblacion(dec,long);
end

```



```

%SCRIPT PARA CRUCE

function out = cruce2(PN)

[fil, col]=size(PN);
PNC =zeros(fil,col); % matriz donde se almacenara la nueva poblacion

for i=1:2:fil/2
% generamos punto de cruce de forma aleatoria desde 1 hasta long-1
pcruce = randi(col-2)+1;

aux1 = PN(i,1:pcruce);
aux2 = PN(i,pcruce+1:col);
aux3 = PN(i+1,1:pcruce);
aux4 = PN(i+1,pcruce+1:col);

hijo1 =[aux1 aux4];
PNC(i,1:col) = hijo1;
hijo2 =[aux3 aux2];
PNC(i+1,1:col) = hijo2;
end
out =PNC;

end
% SCRIPT PARA MUTACION

function [PN] = mutacion(PN)
prob=5;
[M,N] = size(PN);
tot_genes=M*N;
genes_mut =round(tot_genes*prob/100);

for i=1:genes_mut
%escogemos de forma aleatoria una fila y columna
%que sera la posicion
% para mutar el gen
fil=randi([1 M]);
col=randi([1 N]);
% se realiza la negacion del gen seleccionado
PN(fil,col)=1-PN(fil,col);
end
end
%SCRIPT PARA DECODIFICACION

function dec = decodificacion(valor_f,max_d, min_d)

[fil,col]=size(valor_f);
dec=zeros(fil,col);
for i=1:fil
dec(i)=(((max_d - min_d)/(1 - (-0)))*(valor_f(i) - (-0) )) +
min_d;
end

end

```

ANEXO J: Algoritmo MPPT.

```
1 function duty = mppt_control(Vps1, Ips1, deltaD_in)
2
3     duty_init = 0.05;
4     duty_min=0.01;
5     duty_max=0.7854;
6
7     persistent Vold Pold duty_old;
8     if isempty(Vold)
9         Vold=0;
10        Pold=0;
11        duty_old=duty_init;
12    end
13    P = Vps1*Ips1;
14    dV = Vps1-Vold;
15    dP = P - Pold;
16    duty = duty_old;
17    deltaD = deltaD_in;
18
19    if dP~=0
20        if dP<0
21            if dV<0
22                duty = duty_old - deltaD;
23            else
24                duty = duty_old + deltaD;
25            end
26        else
27            if dV < 0
28                duty = duty_old + deltaD;
29            else
30                duty = duty_old - deltaD;
31            end
32        end
33    end
34
35    if duty >= duty_max
36        duty=duty_max;
37    elseif duty<duty_min
38        duty=duty_min;
39    end
40
41    duty_old=duty;
42    Vold=Vps1;
43    Pold=P;
```



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: 16 / 03 / 2022

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: CRISTIAN WILSON TAPIA ALVARADO DIANA KAROLINA ULLOA MENTA
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
Carrera: ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
Título a optar: INGENIERO/A EN ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN
f. Analista de Biblioteca responsable: Lcdo. Holger Ramos, MSc.



Firmado electrónicamente por:
**HOLGER GERMAN
RAMOS UVIDIA**

0170-DBRA-UPT-2022