

GESTIÓN ENERGÉTICA DE UNA MICROGRID RESIDENCIAL CONECTADA A LA RED MEDIANTE LÓGICA DIFUSA

*ENERGY MANAGEMENT OF A RESIDENTIAL MICROGRID
CONNECTED TO THE GRID BY DIFFUSE LOGIC*

<https://doi.org/10.5281/zenodo.4148799>

AUTORES: Javier Cabrera Mejía^{1*}

Miguel Criollo Domínguez²

DIRECCIÓN PARA CORRESPONDENCIA: jcabreram@ucacue.edu.ec

Fecha de recepción: 22 / 01 / 2020

Fecha de aceptación: 01 / 08 / 2020

RESUMEN

Para modelar la microgrid, se toman los datos y las características de los paneles solares y aerogenerador instalados en el Centro de Investigación, Innovación y Transferencias de Tecnología (CIITT) de la Universidad Católica de Cuenca. Los datos meteorológicos (radiación solar y viento) son muestreados cada hora, los 365 días del año; posteriormente pasa por el proceso de lógica difusa y se obtiene los valores máximos de corriente, voltaje y potencia. Cualquier cambio en las entradas implica inmediatamente cambios en las salidas. Este artículo presenta el modelo matemático de lógica difusa, el efecto de irradiancia y temperatura de los paneles solares, así como la dirección y velocidad de viento sobre los parámetros de una microgrid residencial conectada a la red. El modelado detallado se simula paso a paso utilizando el software MATLAB/Simulink debido a su uso frecuente y su eficacia.

Palabras clave: Microgrid, Lógica Difusa, Panel Solar, Aerogenerador, Matlab

^{1*}Magister en Redes de Comunicaciones, Universidad Católica de Cuenca, Jefatura de Posgrados, Ecuador, jcabreram@ucacue.edu.ec

²Ingeniero Eléctrico, Laboratorio de Simulación en Tiempo Real, Centro de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología, Ecuador, miguelcird@gmail.com

ABSTRACT

To model the microgrid, the data and characteristics of the solar panels and wind turbine installed at the Center for Research, Innovation, and Technology Transfers (CIITT) of the Catholic University of Cuenca are taken. Weather data (solar radiation and wind) are sampled every hour, 365 days a year; it then goes through the fuzzy logic process and obtains the maximum values of current, voltage, and power. Any changes to the inputs immediately involve changes to the outputs. This article introduces the mathematical model of fuzzy logic, the irradiance and temperature effect of solar panels, as well as the direction and wind speed on the parameters of a residential microgrid connected to the grid. Detailed modeling is simulated step by step using MATLAB/Simulink software due to its frequent use and efficiency.

Keywords: Microgrid, Diffuse Logic, Solar Panel, Wind Turbine, Matlab.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico y el desarrollo económico son factores que aumentan la demanda de energía eléctrica[1]. Se analizan opciones de generación para contribuir a esta demanda inmensurable de crecimiento, entre una de ellas se considera la generación de energía eléctrica mediante el uso de fuentes limpias renovables, comportándose como un aporte a la reducción del efecto invernadero[2], los aerogeneradores y paneles fotovoltaicos identificados como los elementos que están innovando la producción en el sector eléctrico en la zona industrial comercial y residencial, considerando una alternativa que optimiza recursos desde el área técnica y económica[3].

La microgrid se define como un sistema que tiene al menos una fuente de energía y cargas asociadas que puedan formar islas intencionales o generación distribuida como se les conoce técnicamente en los sistemas de distribución eléctrica[4][5]. Estos sistemas tecnológicos a pequeña escala ayudan a optimizar la generación, distribución y consumo de energía en los lugares aplicados[6], y se atribuyen a reconocer que son un grupo de generadores de energía limpia que aprovechan la producción y vinculación de las energías renovables, como son los generadores fotovoltaicos y aerogeneradores a pequeña escala[7].

La estrategia de gestión energética enfocada desde un punto ambiental, es una acción interesante para identificar los recursos energéticos que se pueden explotar en el sector privado o público. La evaluación para determinar los parámetros que beneficien, se analizará el lugar, área, y la parte climática que permiten identificar la utilización de la zona como punto apto al desarrollo del proyecto.

La lógica difusa permite el desarrollo de interacción en las decisiones del comando del sistema de generación de energía. La toma de decisiones humanas dentro del marco conceptual es el trabajo de lógica difusa. En este contexto, la derivación dirigida por datos hacia adelante significa un rol importante para el proceso[8]. La imposibilidad de almacenar la energía eléctrica hace de la predicción una herramienta fundamental para la gestión eficiente de la misma. En los sistemas eléctricos, la demanda del consumo debe referirse a la planificación y operación, direccionando desde una óptica económica y de seguridad para la operación del sistema.

En el Ecuador, con el pronunciamiento de la entidad reguladora de electricidad emitida el 22 de octubre de 2018 por el ARCONEL -003/18 "Micro generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica"[9], establece las condiciones para el desarrollo, implementación de consumidores que cuenten con sistemas de micro generación fotovoltaica hasta 300 KW de capacidad nominal instalada y de hasta menos de 1000 KW, para consumidores comerciales o industriales[10]. Este pronunciamiento crea una expectativa para analizar el uso y la implementación de microgrids, siendo también una alternativa de ingreso económico en caso de generar más de lo que se consume.

Modelo matemático de paneles fotovoltaicos

Según para el modelo matemático del panel fotovoltaico se debe únicamente hallar el parámetro de ajuste de curva que puede ser obtenido a través de la ecuación 1.

$$I(V) = \frac{I_x}{1 - e^{\left(\frac{-1}{b}\right)}} \left[1 - e^{\left(\frac{V}{bV_x} \frac{1}{b}\right)} \right]$$

(eq. 1)

Relación de I-V del panel fotovoltaico

$$P(V) = V \cdot I$$

(eq. 2)

$$I(V) = \frac{V \cdot I_x}{1 - e^{\left(\frac{-1}{b}\right)}} \left[1 - e^{\left(\frac{V}{b \cdot V_x} - \frac{1}{b}\right)} \right]$$

(eq. 3)

Dónde:

I(V): relación de corriente-voltaje.

P(V): relación de potencia-voltaje.

b: es la constante característica del panel y es el único parámetro a ser calculado [11].

V_x: es el voltaje de circuito abierto y

I_x: es la corriente de corto circuito para valores de irradiación y temperaturas dinámicos que están definidos por:

Voltaje de Circuito Abierto.

$$V_x = S \frac{E_i}{E_{iN}} TC_v (T - T_N) + S V_{max} - S (V_{max} - V_{min}) e^{\left(\frac{E_i}{E_{iN}} \ln \left(\frac{V_{max} - V_{oc}}{V_{max} - V_{min}}\right)\right)}$$

(eq. 4)

Dónde:

S: Número de paneles en serie.

E_i: Irradiación efectiva a la que opera el panel.

E_{iN}: Es una constante de irradiación de 1000 W/m².

T: Temperatura de operación a la que opera el panel.

T_N: Constante de temperatura de 25°C.

V_{oc}: Voltaje del circuito abierto.

V_{max} - V_{min}: Valores de voltaje de circuito abierto para niveles de irradiación menores a 200 W/m² y mayores a 1200 W/m² con una temperatura de operación de 25°C.

85% de V_{oc} para V_{min}.

103% de V_{oc} para V_{max}.

TC_v: Coeficiente de voltaje panel.

Corriente de Cortocircuito

$$I_x = p \frac{E_i}{E_{in}} [I_{sc} + TC_i(T - T_N)]$$

(eq. 5)

Dónde:

I_x : Corriente de cortocircuito.

P : Número de paneles en paralelo.

E_i : Irradiación efectiva a la que opera el panel.

E_{in} : Es una constante de irradiación de 1000 W/m².

T : Temperatura de operación a la que opera el panel.

T_N : Constante de temperatura de 25°C.

I_{sc} : Corriente de cortocircuito del panel.

TC_i : Coeficiente de corriente del panel.

De acuerdo con otros autores se debe determinar dos o tres parámetros más, los cuales vendrían a ser; la fotocorriente (I_{ph}), la corriente de saturación (I_o), y el factor de idealidad (A).

Presentación y modelado de un módulo PV.

En la figura 1 se puede observar que el modelo no tiene en cuenta las perdidas internas de la corriente. En este modelo un diodo está conectado en anti paralelo con la fuente generada por la luz, entonces la corriente a la salida de este medio será obtenida por la ley de Kirchoff la cual se indica a continuación:

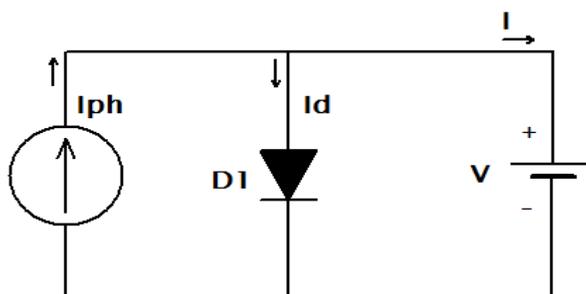


Figura 1. Modelo de diodo ideal

Fuente: Autor

$$I = I_{ph} - I_d$$

(eq. 6)

Dónde:

I: Corriente de salida.

I_{ph}: Fotocorriente.

I_d: Corriente de diodo que es proporcional a la corriente de saturación y está representada por la siguiente ecuación.

$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{V}{A \cdot N_s \cdot V_T}\right) - 1 \right]$$

(eq. 7)

V: Es la tensión impuesta al diodo

V_T: Está definida por la siguiente formula

$$V_T = \frac{k \cdot T_c}{q}$$

(eq. 8)

I₀: Es la corriente de fuga o de saturación inversa del diodo (A),

V_T: 26 mV a 300 K para la célula de silicio.

T_c: Es la temperatura real de la celda (K).

k: constante de Boltzmann $1.381 \cdot 10^{-23}$ J/K (julio por kelvin).

q: Es carga de electrones $1.602 \cdot 10^{-19}$.

V_T: Se denomina al voltaje térmico debido a su dependencia exclusiva de la temperatura.

N_s: Es el número de celdas fotovoltaicas conectadas en serie.

A: Es el factor de idealidad, la cual depende de la tecnología de la célula fotovoltaica y se puede elegir en la Tabla 1

Según [12] "a" es el factor de idealidad modificado, considerando que es un parámetro para determinar el cual está en función del factor de idealidad del diodo "A", ver ecuación 9.

$$a = \frac{N_s \cdot A \cdot k \cdot T_c}{q} = N_s \cdot A \cdot V_T$$

(eq. 9)

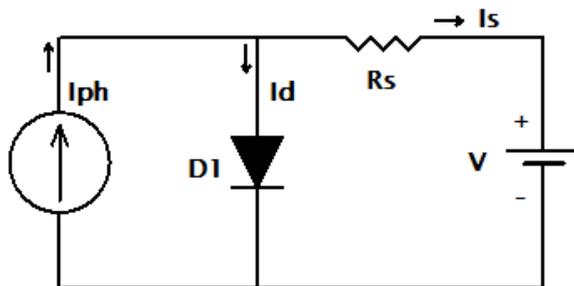


Figura 2. Modelo práctico en función de R_s

Fuente: El autor

En la figura 2, la corriente de salida para las condiciones de prueba estándar (STC) es la siguiente:

$$I = I_{ph,ref} - I_{o,ref} \left[\exp\left(\frac{V}{a_{ref}}\right) - 1 \right]$$

(eq. 10)

Dónde:

$I_{ph,ref}$: Fotocorriente de (A) en STC

$I_{o,ref}$: Corriente de fuga o saturación en STC

a,ref : Factor de idealidad modificado en STC

V: Voltaje de la celda

La ecuación 10 permite cuantificar la I_{ph} . Cuando la celda está en cortocircuito:

$$I_{sc,ref} = I_{ph,ref} - I_{o,ref} \left[\exp\left(\frac{0}{a_{ref}}\right) - 1 \right] = I_{ph,ref}$$

(eq. 11)

Dónde:

$I_{sc,ref}$: Corriente de Cortocircuito en STC

$I_{ph,ref}$: Fotocorriente de (A) en STC

$I_{o,ref}$: Corriente de fuga o saturación en STC

a,ref : Factor de idealidad modificado en STC

La ecuación mencionada con anterioridad solamente será válida cuando el análisis se la realice en el caso ideal. De tal manera que la igualdad no es correcta y la ecuación debe escribirse como.

$$I_{ph, ref} = I_{sc, ref}$$

(eq. 12)

Para el cálculo de la fotocorriente se debe tener en cuenta que va a depender tanto de la irradiación como de la temperatura por lo tanto la ecuación se define de la siguiente manera:

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} (I_{ph, ref} + \mu_{sc} * \Delta T)$$

(eq. 13)

Dónde:

G: Irradiación $\left(\frac{W}{m^2}\right)$

G, ref: Irradiación a STC= $\left(1000 \frac{W}{m^2}\right)$

ΔT: Tc - Tc, ref (Kelvin)

Tc, ref: Temperatura de la celda en STC= 25+273 = 298k

μsc: Temperatura del coeficiente de corriente de cortocircuito

$\left(\frac{A}{K}\right)$ Proporcionada por el fabricante

I_{ph, ref}: Fotocorriente de (A) en STC

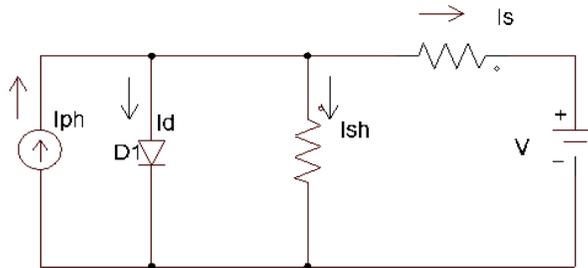


Figura 3. Representación eléctrica de una celda solar

Fuente: El autor

Para realizar el cálculo de la corriente I_o en condiciones de pruebas estándar en circuito abierto, cortocircuito y el voltaje se debe tener en cuenta lo siguiente parámetros:

Circuito abierto:

$$\mathbf{I} = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{V} = \mathbf{Voc, ref}$$

Obteniendo la siguiente ecuación 14 a partir de la ecuación 12:

$$0 = I_{ph, ref} - I_{o, ref} \left[\exp \left(\frac{V_{oc}}{a_{ref}} \right) - 1 \right]$$

(eq. 14)

Cortocircuito:

Condiciones

$$\mathbf{V} = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{I: Isc, ref}$$

a: Es el factor de Idealidad modificado

$$I_{sc, ref} = I_{ph, ref} - I_{o, ref} \left[\exp \left(\frac{I_{sc, ref} * R_s}{a_{ref}} \right) - 1 \right] \quad (eq. 15)$$

Dónde:

Isc, ref: Corriente de Cortocircuito en STC

Iph, ref: Fotocorriente de (A) en STC

Io, ref: Corriente de fuga o saturación en STC

a, ref: Factor de idealidad modificado en STC

Voltaje:

Condiciones a la máxima potencia

Vpm, ref: Voltaje en potencia máxima.

Ipm, ref: Corriente en potencia máxima.

$$I_{pm, ref} = I_{ph, ref} - I_{o, ref} \left[\exp \left(\frac{V_{pm, ref} + I_{pm, ref} R_s}{a_{ref}} \right) - 1 \right] \quad (eq. 16)$$

Por lo que para calcular el $I_{o,ref}$ se debe aplicar la siguiente ecuación:

$$I_{o,ref} = I_{sc,ref} \exp\left(\frac{-V_{oc,ref}}{a}\right) \quad (eq. 17)$$

Para el cálculo de la corriente de saturación inversa nos basamos en la siguiente formula:

$$I_o = DT_C^3 \exp\left(\frac{-qG}{A*k}\right) \quad (eq. 18)$$

Dónde:

I_o: Corriente de Saturación

D: Factor de difusión del diodo

T_C: Temperatura de la celda

A: Factor de idealidad modificado en STC

q: carga del electrón

G: Irradiación

k: constante de Boltzmann 1.381×10^{-23} J/K (julio por kelvin).

Tabla 1: Factor de Idealidad (A).

Tecnología	Factor de Idealidad
Si-mon	1.2
Si-poly	1.3
a-Si-H	1.8
A-Si-H tandem	3.3
A-Si-H triple	5
CdTe	1.5
CTs	1.5
AsGa	1.3

Fuente: [13]

Problema o Necesidad

El concepto de microrredes trae consigo un gran número de retos económicos, comerciales y técnicos, que deben ser afrontados de cara a este nuevo modelo. En particular, uno de

estos retos es la gestión de energía eléctrica y la complejidad que implica es mucho mayor si se involucran diferentes fuentes de energía, dispositivos de almacenamiento y cargas controlables.

Un problema importante para una micro red conectada a la empresa de suministro, es la administración de la energía. De modo que de forma óptima se determine la operación de la micro red, para reducir los costos de producción y el consumo de energía de la red eléctrica convencional. En este contexto, se propone implementar y realizar la gestión de una micro red eléctrica compuesta por un sistema fotovoltaico de generación de energía. El sistema óptimo de gestión de energía que se formula, es el de forma que se obtenga la mayor potencia generada.

Lo manifestado anteriormente configura una problemática real de ámbito nacional en el sector eléctrico, pero al mismo tiempo implica un reto de solución a través de una propuesta de investigación para el caso Ecuador que permita completar el segmento de la gestión de energía basada en lógica difusa.

METODOLOGÍA

El sistema óptimo de gestión de potencia activa tiene como variables de entrada la demanda de energía instantánea de la micro red, además la radiación solar, el precio de la energía y la temperatura ambiente. Con este sistema de gestión de la Microred se busca que la demanda total sea suplida, al mínimo costo posible y teniendo en cuenta las limitantes dadas por las variaciones en energía obtenida por radiación solar. Este sistema de gestión se debe utilizar en el caso de un despacho con día de antelación (planeación del parque generador).

RESULTADOS

A. Simulación del panel fotovoltaico

Para la simulación [Figura 4] se basa en el programa PvSyst V6.43, en donde se utiliza un panel fotovoltaico policristalinos de 350W cuyas características eléctricas son las siguientes:

Tabla 2: Parámetros eléctricos del panel fotovoltaico monocristalino

PARÁMETRO	VALOR	
Potencia Máxima nominal.	350	W
Tolerancia.	±2%	
Voltaje en Pmax (Vmpp).	44.16	V
Corriente en Pmax (Impp).	7.950	A
Voltaje de circuito abierto (Voc).	54.24	V
Corriente de cortocircuito (Isc).	8.520	A
Operación normal de celda temp. (NOCT).	45±2	°C
Voltaje máximo del sistema.	1000	V DC
Máxima serie de fusibles.	15	A

Fuente: El autor

Con el promedio de radiación solar global máxima (1374.3 W/m^2) y radiación solar difusa máxima (1078.9 W/m^2) tomados del Centro de Investigación, Innovación y Transferencias de Tecnologías (CIITT) de la Universidad Católica de Cuenca, se procede a obtener las curvas corriente, tensión y potencia máxima, en función de los niveles de radiación, a través de un sistema microgrid conectado a la red eléctrica.

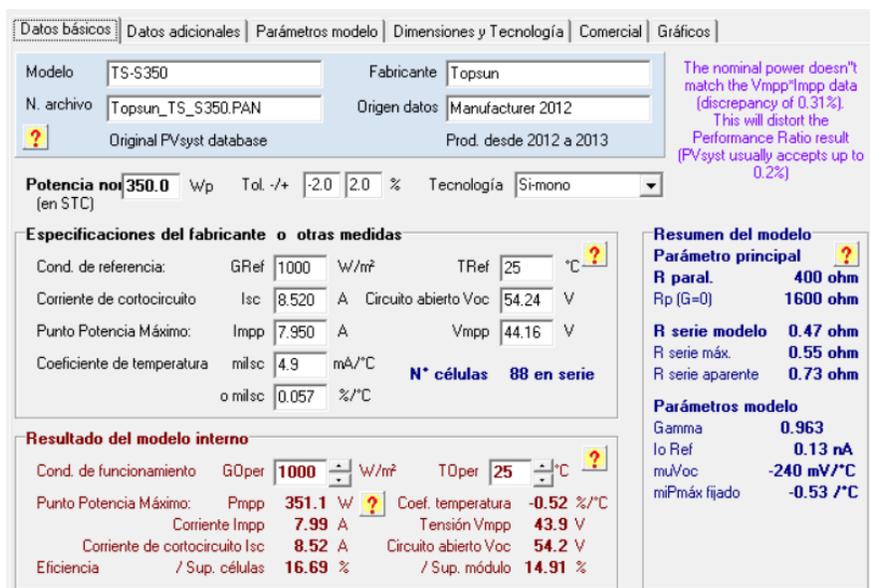


Figura 4. Parámetros del panel solar fotovoltaico

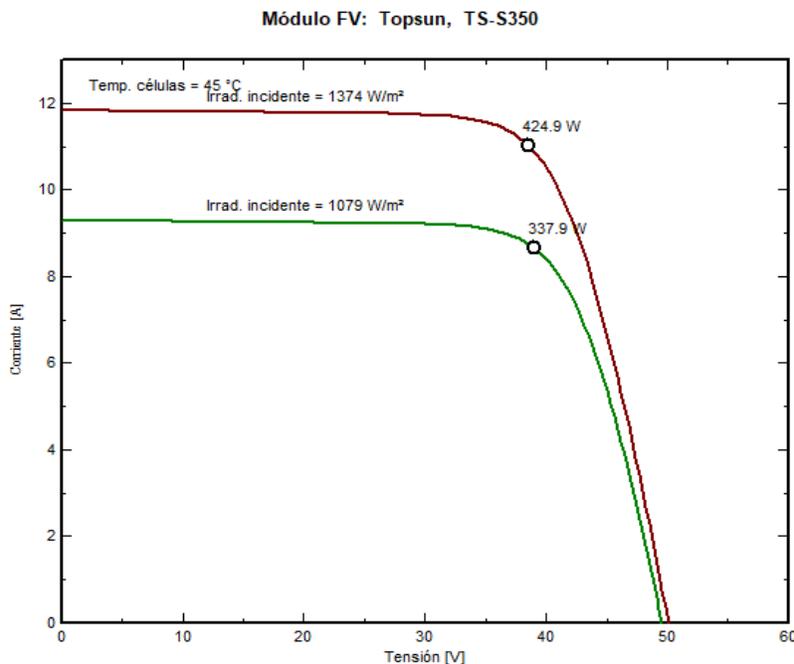


Figura 5. Curva de corriente vs tensión para la radiación solar difusa y global promedio máximo al año en el CIITT

Analizando la figura 5, vemos que, para gestionar la energía debemos obtener las menos pérdidas posibles en potencia, motivo por el cual se aplica la lógica difusa a los parámetros de radiación solar, corriente, voltaje y potencia.

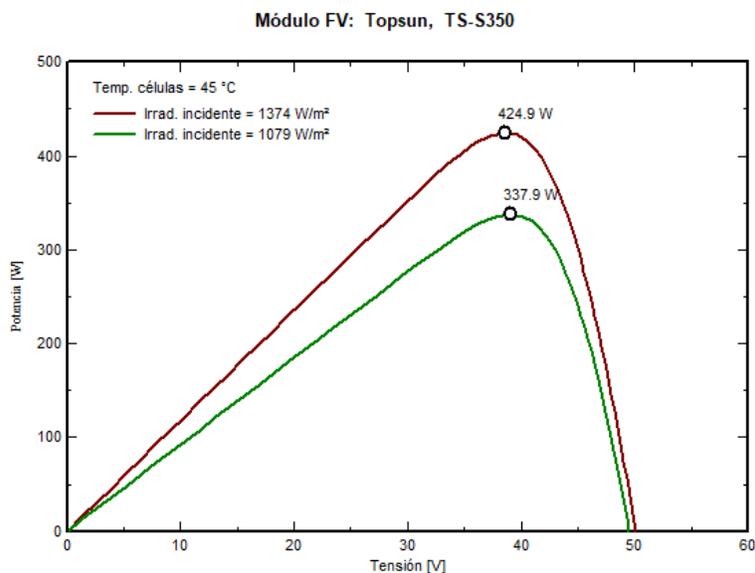


Figura 6. Curva de potencia vs tensión para la radiación solar difusa y global promedio al año en el CIITT

Además de los parámetros eléctricos se debe calcular el parámetro de ajuste b , según [14] el valor de b se encuentra en el rango de 0,01 a 0,18.

Por lo tanto, se establece la siguiente condición:

$$1 - e\left(\frac{-1}{b}\right) \approx 1$$

Dónde:

b: parámetro de ajuste de la curva

$$I(V) = \frac{I_x}{1 - e\left(\frac{-1}{b}\right)} \left[1 - e\left(\frac{V}{bV_x} - \frac{1}{b}\right) \right]$$

Dónde:

$$V_x = 54.24V \quad I_x = 8.52A$$

$$I = 7.95A \quad V = 44.16V$$

$$7,95 = \frac{8,52}{1} \left[1 - e\left(\frac{44.16}{b \cdot 54.24} - \frac{1}{b}\right) \right]$$

$$\mathbf{b = 0.0687}$$

Parámetro de ajuste de la curva b se encuentra dentro del rango establecido

B. Diseño del controlador Difuso

El controlador está conformado por el error (E) y el cambio de error (CE), para tiempos de muestreo k .

Para la entrada $E(k)$ es la pendiente de curva P-V esta define si el punto de operación del sistema FV se encuentra a la derecha, a la izquierda o exactamente en el punto de operación, está en dirección o no del MPP.

Error de las variables de entrada:

$$E_k = \frac{P(K) - P(K - 1)}{V(K) - V(K - 1)} = \Delta P / \Delta V$$

$$CE(k) = E(K) - E(K - 1) = \Delta E$$

Dónde:

E(k): Es la pendiente de la curva P-V.

CE(k): Es el movimiento del punto de operación está en dirección o no del MPP.

(k): Tiempo de muestreo.

La variable de salida del controlador es el aumento del ciclo útil del convertidor Buck ΔD este puede darnos valores negativos o positivos de acuerdo con la ubicación del punto de operación.

Utilizando el valor de ΔD se realiza un acumulador con la finalidad de obtener el valor del ciclo útil:

$$D(k) = D(k - 1) + \Delta D(k)$$

Entonces para determinar el universo de discurso o los valores que puedan tomar las dos entradas $E(k)$ y $CE(k)$ se realiza una representación de las señales de errores versus el voltaje del panel para distintos niveles de irradiación entonces quedando como rango para:

E: 5 a 50

CE: -8 a 8

ΔD : -0.01 a 0.01 este ayuda a tener un mayor grado de precisión en el seguimiento del punto de máxima potencia del panel.

a. Reglas difusas

Las reglas difusas [tabla 4], presenta las variables lingüísticas dándonos un total de 25 reglas difusas.

Tabla 3. Reglas Difusas de acuerdo a la temperatura variable.

CE/E	NG	N	Z	P	PG
NG	PG	P	P	P	P
N	PG	P	P	P	P
Z	P	P	Z	N	N
P	NG	NG	N	N	N
PG	NG	N	N	NG	NG

Fuente: Autor.

Donde:

Negativo Grande [NG], Negativo [N], Cero [Z], Positivo [P], Positivo Grande [PG].

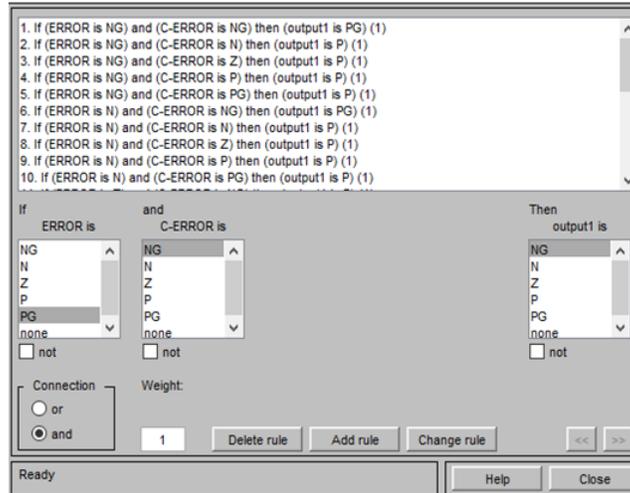


Figura 7. Reglas difusas ingresadas al ruler editor de Matlab

b. Procesos de fuzzificación

En la siguiente ecuación se muestra el método de defuzzificación del centro de área (COA):

$$V_c = \frac{\sum_{j=1}^{25} D_j (w_j) \times w_j}{\sum_{j=1}^{25} D_j (w_j)}$$

Dónde:

V_c : método de centro de área.

D_j : es el valor del ciclo de trabajo para la regla j-ésima.

w_j : es el factor ponderado de la regla j-ésima. El w_j es más grande, la regla j-ésima afecta más en este momento.

Para el caso donde las entradas de $E_{error} = 0$ y $CE_{error} = 3$, se tiene los valores para las funciones de membresía:

$$\mu_{zero} = (E_{error}) = 1$$

$$\mu_{positivo} = (CE_{error}) = 0.3394$$

$$\mu_{positivo\ grande}(CE_{error}) = 0.2844$$

Los valores de las demás funciones de membresía son cero para este caso y dentro de estas hay dos reglas que se encuentran asociadas como:

Si error es Z y CE_{error} es P entonces ΔD es N.

Si error es Z y CE_{error} es PG entonces ΔD es N.

Donde aplicando el método de centro de áreas y utilizando el criterio del mínimo nos da el valor de la salida del controlador:

Criterio:

$$\mu_1 = \min(0.33941) = 0.3394$$

$$\mu_2 = \min(0.28441) = 0.2844$$

μ = Funciones de membresía.

Método Centro de áreas:

$$\mu = \frac{(-0.003)(0.0014) + (-0.003)(0.0012)}{0.0014 + 0.0012}$$

$$\mu = 0.003$$

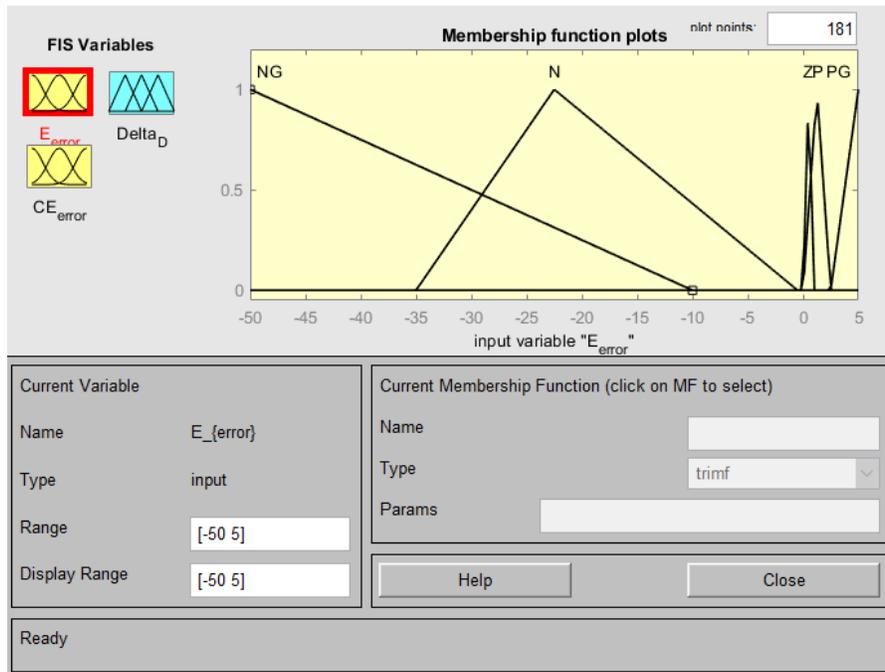


Figura 8. Funciones de membresía para el E_{error}

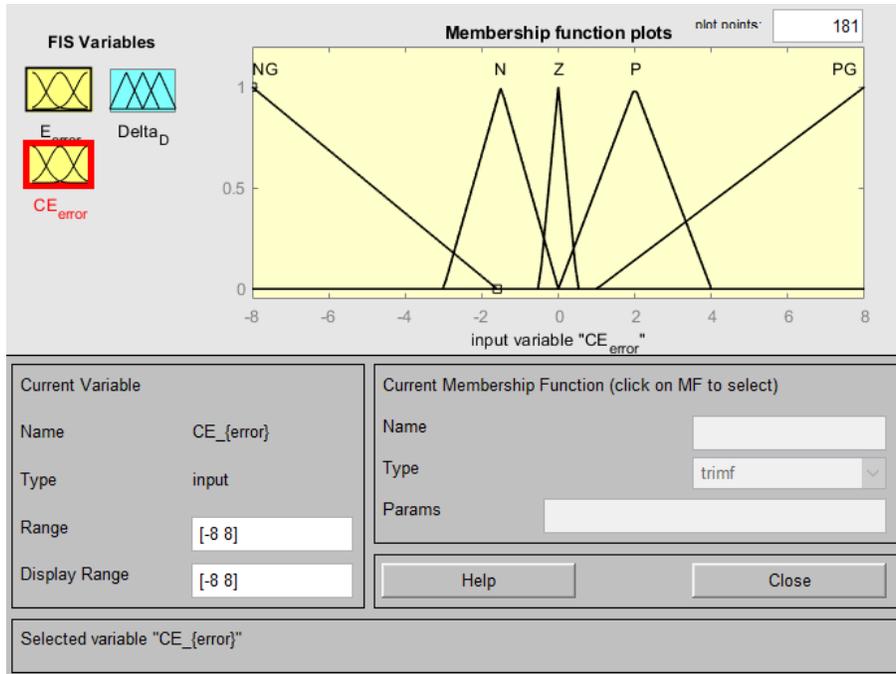


Figura 9. Funciones de membresía para el CE_{error}

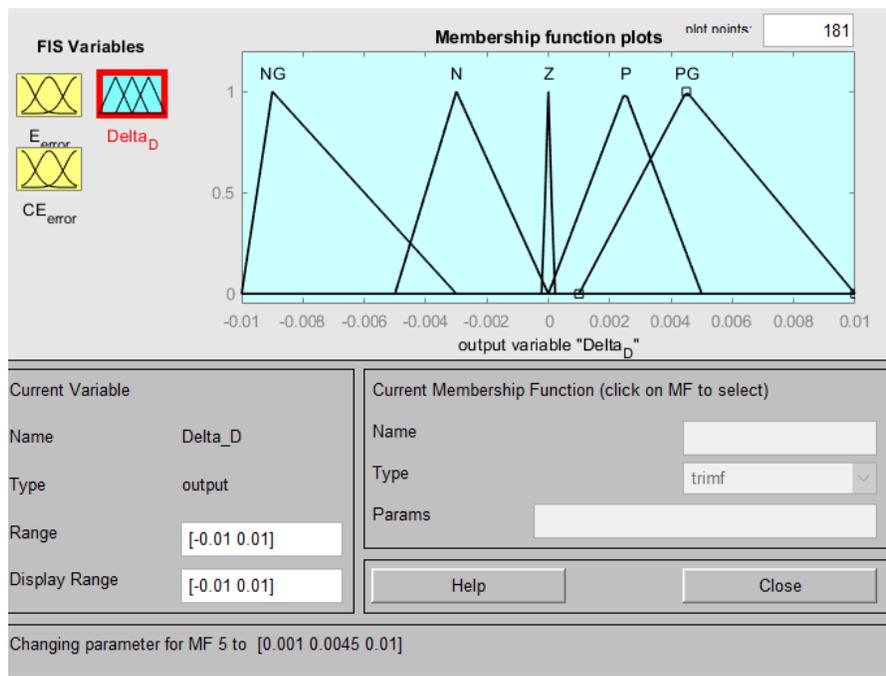


Figura 10. Funciones de membresía para la salida ΔD

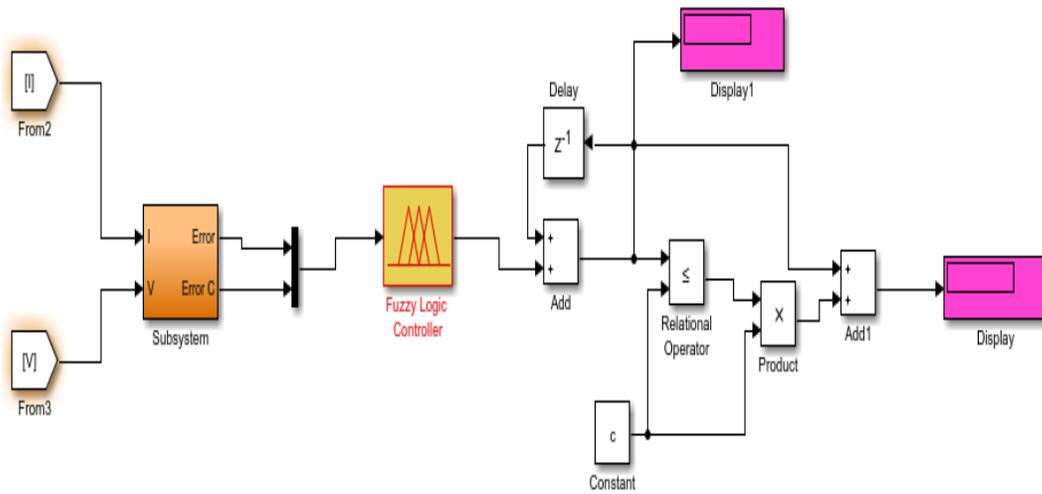


Figura 11. Sistema de control difuso de un panel solar

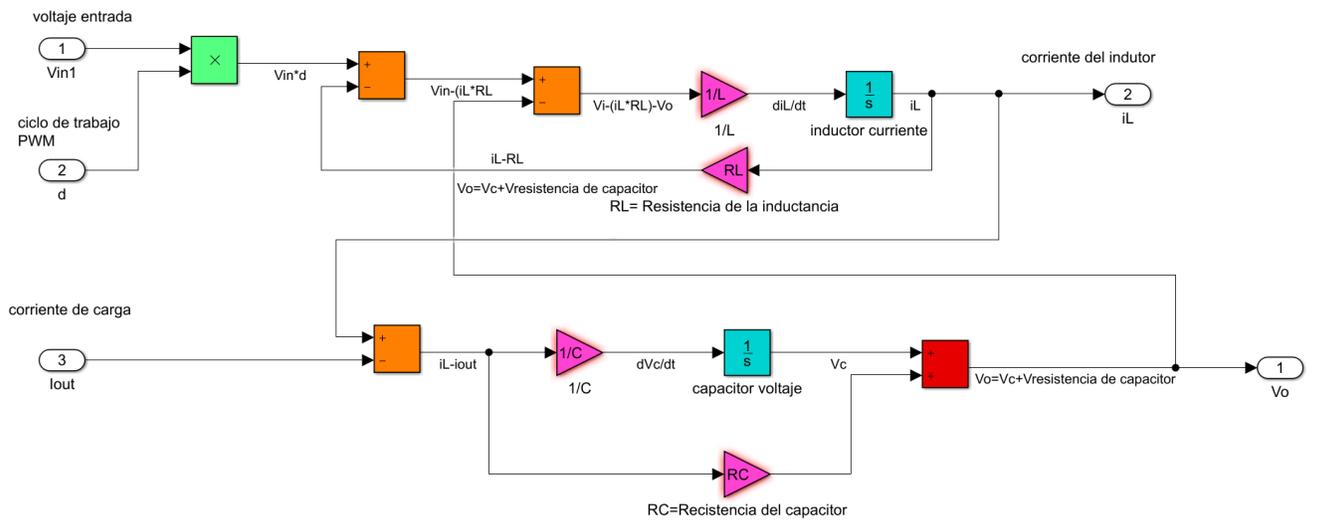


Figura 12. Modelo matemático del controlador

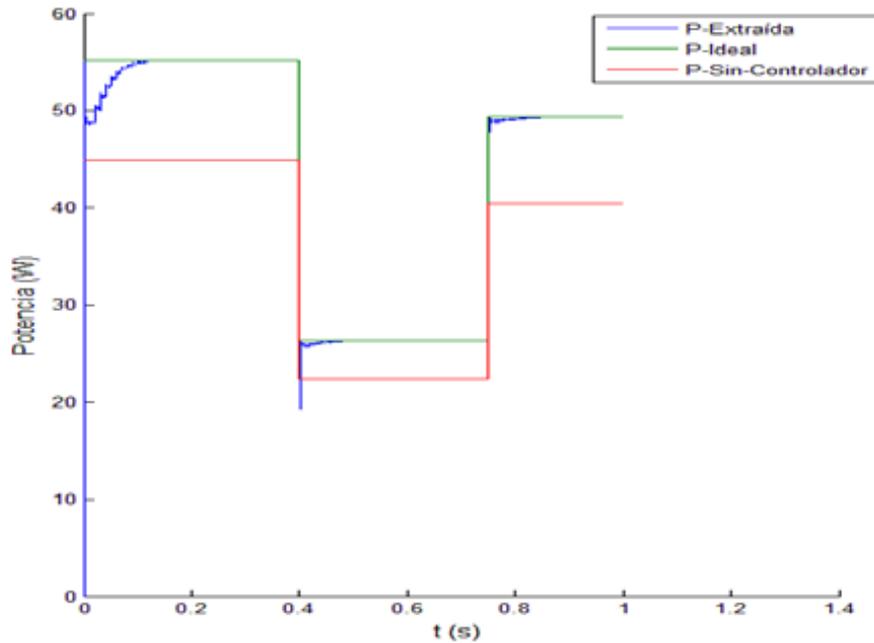


Figura 12. Comparativo de las potencias del modelo con y sin controlador

CONCLUSIONES

Se realizó el modelado matemático del comportamiento de un panel solar fotovoltaico en Matlab con el cual se obtuvo las salidas de corriente y voltaje realizando las gráficas de I-V y P-V las mismas que nos permiten evaluar el comportamiento del panel con los datos obtenidos en la práctica y los simulados, ya sea en condiciones de irradiación solar y temperatura variables de operación del panel.

Las salidas de corriente y voltaje fueron acopladas a un convertidor DC-DC buck el cual nos permite maximizar la corriente de salida mediante el ajuste del ciclo útil (cycle duty), para el ajuste de dicho parámetro en condiciones de lazo cerrado es necesario la implementación del control difuso el cual fue diseñado y basado en el modelo de Mamdani. Logrando demostrar que mediante el uso de la lógica difusa podemos estabilizar la corriente y voltaje a la salida del sistema optimizando el punto de máxima potencia del panel ya que se trata de un mecanismo de razonamiento.

El reto del trabajo de investigación es el impulsar el uso de esta tecnología con el máximo de su aprovechamiento en el campo de la generación de energía renovable, y el poder abastecer de energía eléctrica a zonas inaccesibles.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. De los Santos Vázquez, E. J. J. R. Segura, and N. V. Cruz, “Modelado, control y simulación de elementos básicos que componen una micro red de CD,” *Pist. Educ.*, vol. 36, no. 112, 2018.
- [2] S. M. Amrr, M. S. Alam, M. S. J. Asghar, and F. Ahmad, “Low cost residential microgrid system based home to grid (H2G) back up power management,” *Sustain. cities Soc.*, vol. 36, pp. 204–214, 2018.
- [3] D. Arcos-Aviles, C. Vega, F. Guinjoan, L. Marroyo, and P. Sanchis, “Fuzzy logic controller design for battery energy management in a grid connected electro-thermal microgrid,” 2014.
- [4] B. N. Alajmi, K. H. Ahmed, S. J. Finney, and B. W. Williams, “Fuzzy-logic-control approach of a modified hill-climbing method for maximum power point in microgrid standalone photovoltaic system,” *IEEE Trans. power Electron.*, vol. 26, no. 4, pp. 1022–1030, 2010.
- [5] R. D. Medina, “Microrredes basadas en electrónica de potencia: características, operación y estabilidad,” *Ingenius*, no. 12, pp. 15–23, 2014.
- [6] T. AlSkaif, A. C. Luna, M. G. Zapata, J. M. Guerrero, and B. Bellalta, “Reputation-based joint scheduling of households appliances and storage in a microgrid with a shared battery,” *Energy Build.*, vol. 138, pp. 228–239, 2017.
- [7] A. H. Fathima and K. Palanisamy, “Optimization in microgrids with hybrid energy systems—A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 45, pp. 431–446, 2015.
- [8] X. Zhang, J. Bao, R. Wang, C. Zheng, and M. Skyllas-Kazacos, “Dissipativity based distributed economic model predictive control for residential microgrids with renewable energy generation and battery energy storage,” *Renew. Energy*, vol. 100, pp. 18–34, 2017.
- [9] ARCONEL, “REGULACIÓN Nro-003/18.” p. 42, 2018, [Online]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/Codificacion-Regulacion-No.-ARCONEL-003-18.pdf>.

- [10] ARCONEL, “Resolución ARCONEL-057/18.” p. 3, 2018, [Online]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/01/Reforma-a-la-Regulacion-Microgeneracion.pdf>.
- [11] E. I. O. Rivera, *Modeling and analysis of solar distributed generation*. Michigan State University, 2006.
- [12] A. Chouder, S. Silvestre, N. Sadaoui, and L. Rahmani, “Modeling and simulation of a grid connected PV system based on the evaluation of main PV module parameters,” *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 20, no. 1, pp. 46–58, 2012.
- [13] H.-L. Tsai, C.-S. Tu, and Y.-J. Su, “Development of generalized photovoltaic model using MATLAB/SIMULINK,” in *Proceedings of the world congress on Engineering and computer science*, 2008, vol. 2008, pp. 1–6.
- [14] O. Gil, “Modelado y simulación de dispositivos fotovoltaicos,” *Univ. Puerto Rico*, 2008.