

**ÓPTIMA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS DE ALTA EFICIENCIA Y MICRO-GENERACIÓN  
EÓLICA BASADO EN LÓGICA DIFUSA.**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:  
ÓPTIMA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS  
FOTOVOLTAICOS DE ALTA EFICIENCIA Y MICRO-GENERACIÓN  
EÓLICA BASADO EN LÓGICA DIFUSA.**

**AUTOR:  
ERNESTO ANDRÉS MEDIAVILLA YANDÚN**

**TUTOR:  
CRISTIAN CRISTÓBAL CUJI CUJI**

**Quito D.M., octubre 2020**

Ernesto Andrés Mediavilla Yandún

**ÓPTIMA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ALTA EFICIENCIA Y MICRO-GENERACIÓN EÓLICA BASADO EN LÓGICA DIFUSA.**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2020

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



**Ernesto Andrés Mediavilla Yandún** (Y'1993). Realizó sus estudios secundarios en la Unidad Educativa Jean Jacques Rousseau, se graduó de Bachiller en Ciencias. Egresado de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en la evaluación de recursos energéticos para la optimización de la producción energética entre paneles fotovoltaicos de alta eficiencia y micro-generadores eólicos mediante un control basado en lógica difusa, con la finalidad de determinar la factibilidad de suplantar una central térmica de baja potencia por una central de energía renovable no convencional.  
[emediavillay@est.ups.edu.ec](mailto:emediavillay@est.ups.edu.ec)

*Dirigido por:*



**Cristian Cristóbal Cuji Cuji** (Y'1986). Se graduó de Ingeniero Electrónico de la Universidad Politécnica Salesiana, Ecuador en 2014 y Máster en Energía, Facultad de Ciencias Físicas en la Universidad Complutense de Madrid – España en 2015. Actualmente es profesor e investigador en la Universidad Politécnica Salesiana - Quito Ecuador.  
[@ups.edu.ec](mailto:@ups.edu.ec)

Todos los derechos reservados:

Queda prohibida, salvo excepción prevista en la ley, cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública y transformación de esta obra para fines comerciales, sin contar con la autorización de los titulares de propiedad intelectual. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual. Se permite la libre difusión de este texto con fines académicos o investigativos por cualquier medio, con la debida notificación a los autores.

**DERECHOS RESERVADOS**

©2020 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

## DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Cristian Cristóbal Cuji Cuji declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *ÓPTIMA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ALTA EFICIENCIA Y MICRO-GENERACIÓN EÓLICA BASADO EN LÓGICA DIFUSA*, realizado por Ernesto Andrés Mediavilla Yandún, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.



.....

Cristian Cristóbal Cuji Cuji

C.C.: 1718002221

Quito D.M., octubre de 2020

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Ernesto Andrés Mediavilla Yandún, con documento de identificación N° 1722317243, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado/titulación intitulado: *ÓPTIMA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ALTA EFICIENCIA Y MICRO-GENERACIÓN EÓLICA BASADO EN LÓGICA DIFUSA*, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....  
Ernesto Andrés Mediavilla Yandún  
C.C.: 1722317243  
Quito, D.M., octubre de 2020

## 1. ÍNDICE GENERAL

1.	Introducción .....	2
2.	Componentes para la óptima gestión de producción energética .....	3
2.1	Evaluación de recursos y eficiencia energética .....	3
2.2	Generación Fotovoltaica.....	3
2.3	Generación eólica.....	5
2.4	Controlador lógico difuso.....	6
3.	Metodología .....	7
3.1	Modelamiento del sistema de control lógico difuso.....	8
3.2	Modelamiento del sistema para el óptimo despacho energético. ....	11
3.2.1	Función Objetivo.....	11
3.2.2	Restricciones .....	11
3.2.2.1	Límites de Potencia .....	12
3.2.2.2	Balace potencia demanda .....	12
3.2.3	Pseudocódigo. ....	12
3.3	Análisis medio ambiental .....	12
3.3.1	Emisión de dióxido de carbono por generación de central térmica. ....	12
3.3.2	Cálculo de cantidad de dióxido de carbono captado por los árboles existentes...	13
4.	Caso de estudio.....	13
5.	Análisis de Resultados .....	15
5.1	Resultados de la evaluación de recursos y eficiencia de los paneles y micro- generadores. ....	15
5.2	Resultados del controlador difuso.....	16
5.3	Resultados de la evaluación del despacho energético.....	17
5.4	Resultados de evaluación del área de implementación. ....	17
5.5	Resultados del análisis medio ambiental.....	18
6.	Conclusiones .....	18
7.	Trabajos Futuros.....	19
8.	Referencias .....	19
9.	Estado del arte .....	22
9.1	Matriz de estado del arte .....	22
9.2	Resumen e Indicadores del estado del arte .....	29

## 2. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Curva P-V de los paneles.....	4
Figura 2. Curva Potencia/Velocidad de viento .....	5
Figura 3. Diagrama general de un proceso lógico difuso. [18].....	6
Figura 4. Sistema de generación híbrido PV/Eólico .....	7
Figura 5. Diagrama de bloques del controlador MPPT lógico difuso del sistema fotovoltaico. ....	8
Figura 6. Controlador lógico difuso para la búsqueda del MPPT diseñado en MATLAB	8
Figura 7. Función de membresía de la variable de entrada (CE).....	8
Figura 8. Función de membresía de la variable de entrada (E).....	9
Figura 9. Función de membresía de la variable de salida (PWM).....	9
Figura 10. Superficie de reglas difusas para controlador PWM .....	9
Figura 11. Controlador lógico difuso del inversor diseñado en MATLAB .....	9
Figura 12. Función de membresía de la variable de entrada (id).....	10
Figura 13. Función de membresía de la variable de entrada (iq).....	10
Figura 14. Función de membresía para la variable de salida (id_reg) .....	10
Figura 15. Función de membresía para la variable de salida (iq_reg) .....	10
Figura 16. Superficie de reglas difusas para controlador de id_regulada .....	10
Figura 17. Superficie de reglas difusas para controlador de iq_regulada .....	11
Figura 18. Representación gráfica del objetivo del presente artículo .....	13
Figura 19. Generación Anual central Dayuma.....	14
Figura 20. Curva de demanda propuesta de la central Dayuma.....	14
Figura 21. Área de la central Dayuma (10.170 m2).....	14
Figura 22. Curva P-V a diferente irradiancia y temperatura promedio de los paneles de alta eficiencia .....	15
Figura 23. Curva P-V a diferente irradiancia y temperatura de los paneles de baja eficiencia .....	15
Figura 24. Curva de Potencia generada por el controlador lógico difuso en paneles de alta y baja eficiencia.....	16



Figura 25. Curva de Potencia generada por el controlador P&O en paneles de alta y baja eficiencia. ....	16
Figura 26. Curva de Potencia generada por micro-generadores eólicos. ....	17
Figura 27. Curva del óptimo despacho generada. ....	17
Figura 28. Áreas actual y propuesta para la implementación de la central en base a los paneles de alta y baja eficiencia a utilizar. ....	18

### 3. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características técnicas Panel de alta eficiencia [20]. ....	3
Tabla 2: Características técnicas Panel de baja eficiencia [21]. ....	3
Tabla 3: Características técnicas del inversor. ....	4
Tabla 4: Características técnicas del micro – generador ENAIR 200. [24] ....	5
Tabla 5: Tabla de reglas difusas para el controlador MPPT del sistema PV ....	9
Tabla 6: Tabla de reglas difusas para el controlador del inversor DC/AC ....	10
Tabla 7: Datos central Dayuma.....	14
Tabla 8: Tabla de propiedades anatómicas de la especie Cordia alliodora (Laurel Blanco) .....	15
Tabla 9: Tabla de los datos obtenidos de los recursos naturales. ....	15
Tabla 10: Número de paneles calculados en función de la potencia a instalar. ....	16
Tabla 11: Tabla de las especificaciones técnicas del banco de baterías seleccionado.....	16
Tabla 12: Potencia generada en base al controlador y la eficiencia de los paneles. ....	17
Tabla 13: Área calculada para la implementación de los paneles fotovoltaicos.....	17
Tabla 14: Cantidad de CO2 por tipo de central.....	18
Tabla 15: Análisis CO2 fijado por árboles anualmente .....	18

# ÓPTIMA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ALTA EFICIENCIA Y MICRO-GENERACIÓN EÓLICA BASADO EN LÓGICA DIFUSA

## Resumen

En este artículo se exhibe una central de energía renovable no convencional (ERNC) de tecnología mixta. Para su implementación se ha planteado como caso de estudio la factibilidad de suplantar la central termoeléctrica Dayuma (2MW), ubicada en la provincia de Orellana, Ecuador. Inicialmente se evaluó los recursos naturales energéticos de la zona, tales como, temperatura, irradiancia, velocidad de viento en sus puntos máximos, mínimos y promedio, en un intervalo de tiempo de cinco años. Posteriormente se utilizó controladores basados en lógica difusa, para el seguimiento del punto de máxima potencia (MPPT). Para el óptimo despacho de la energía producida, se utilizó un optimizador basado en programación lineal para encontrar el menor costo de producción. Finalmente se realizó un análisis de impacto medio ambiental relacionado con la emisión y absorción de CO<sub>2</sub> en el área. En esta investigación se busca estimar la máxima generación posible mediante MPPT basado en un control lógico difuso y con esto definir la posibilidad de suplantar la central térmica ya mencionada.

**Palabras Clave:** Fotovoltaico, solar, eólico, micro-generación, seguimiento del máximo punto de potencia, lógica difusa, ERNC, P&O.

## Abstract

This article shows a mixed technology non-conventional renewable energy plant (NCRE). For its implementation, the feasibility of supplanting the Dayuma thermoelectric plant (2MW), located in the province of Orellana, Ecuador, has been proposed as a case study. Initially, the natural energy resources of the area were evaluated, such as temperature, irradiance, wind speed at its maximum, minimum and average points, in a time interval of five years. Later, controllers based on fuzzy logic were used to monitor the maximum power point (MPPT). For the optimal dispatch of the energy produced, an optimizer based on linear programming was used to find the lowest production cost. Finally, an environmental impact analysis was carried out related to the emission and absorption of CO<sub>2</sub> in the area. This research seeks to estimate the maximum possible generation through MPPT based on a fuzzy logic control and with this define the possibility of supplanting the aforementioned thermal power plant.

**Keywords:** Photovoltaic, solar, wind, micro-generation, Maximum power point tracker, fuzzy logic, NCRE, P&O.

## 1. Introducción

La generación de energía eléctrica en la actualidad es uno de los factores que determinan el desarrollo, calidad de vida y seguridad de un país, con base en la capacidad, eficiencia y confiabilidad que el sistema eléctrico posea. Por tal razón, se han creado diferentes formas de generación, las cuales principalmente se dividen en convencionales y energías renovables no convencionales [1]. Entre las convencionales se encuentra la generación termoeléctrica, la cual aún es una de las más utilizadas en especial en países como China y Estados Unidos, por los recursos primarios que poseen; sin embargo, es conocido que este tipo de generación es de alto nivel contaminante [2], [3]. Los ecopuntos de impacto son la unidad con la cual se mide la contaminación que crean las diferentes tecnologías generadoras, con base en estos se determina que las centrales térmicas llegan por encima de las 1000 unidades mientras que las centrales de energías renovables están por debajo de los 150 [4], [5].

Por los motivos mencionados, se ha dado prioridad a la creación y desarrollo de energías renovables no convencionales como la fotovoltaica y la eólica [1]. Dentro de la tecnología fotovoltaica se encuentran diversos modelos de paneles solares, la diferencia entre estos es la eficiencia que tienen al momento de convertir la energía solar en energía eléctrica [6]. El parámetro que más influye en este rendimiento es la temperatura ya que a mayor temperatura menor el voltaje generado, los paneles convencionales tienen una eficiencia aproximada del 15% mientras que los de alta eficiencia llegan a tener hasta 23%, existen sistemas fotovoltaicos de ultra alta eficiencia que tienen valores mayores al 35% pero estos poseen elementos extras como concentradores de luz, y sistemas refrigerantes, los cuales los hacen más

complejos por lo que aún se encuentran en desarrollo e investigación y no serán tomados en cuenta en este artículo [7],[8].

En cuanto a la micro-generación eólica, se trata de sistemas que aprovechan la fuerza cinética generada por el viento. Los parámetros más relevantes son la velocidad, el azimut (ángulo) y la densidad de viento. Los micro-generadores son elementos de tamaño más pequeño que los generadores eólicos convencionales y suelen tener potencias entre los 10kW a 100kW [9], [10].

Para optimizar la coordinación de la producción energética se debe encontrar el punto de máxima potencia (MPP) [11]. Existen diferentes métodos para hacerlo, entre ellos están los controles convencionales PID, o métodos modernos como el sistema perturbación y observación (P&O) el cual, como su nombre lo indica, perturba la señal de potencia y corriente para posteriormente encontrar su derivada observando si se acerca o aleja del punto de máxima potencia [12]. Otro método es el de conductancia incremental (INC) el cual a diferencia del P&O, deriva la curva de tensión y potencia, P-V en donde el MPP será cuando la diferencial sea un valor nulo [13],[14]. Estos métodos son los que se utilizan en el caso de paneles fotovoltaicos, aunque el método de P&O también es aplicado en aerogeneradores. Por otro lado, el método HCS se basa en la variación de potencia la cual compara en  $t$  y  $t-1$ , determinando el error y en base a él, aumenta o disminuye el ciclo de trabajo, es un método bastante simple, lo que implica una de sus ventajas, no obstante ante perturbaciones como turbulencias o imprevistos, tiende a cometer errores [15], [16].

La lógica difusa es un método de control, que no es nuevo puesto que sus primeros postulados fueron descritos en el año de 1965. Sin embargo, la lógica

difusa se trata de un método vanguardista que ha demostrado grandes mejoras y resultados con respecto a la lógica booleana clásica. Su principio se basa en tomar valores intermedios, no exactos, es decir, si la lógica booleana tiene dígitos cerrados 1 o 0, la difusa toma valores intermedios como 0.1, 0.5, 0.9 lo cual se asemeja más a la mente humana, puesto que los seres humanos no tomamos decisiones teniendo en cuenta solo valores exactos o cerrados [17],[18].

## 2. Componentes para la óptima gestión de producción energética

Este estudio se basa en tres componentes, el primero es la evaluación de recursos y el cálculo de los componentes necesarios para su sustitución, como los paneles fotovoltaicos e inversores. El segundo componente es la simulación en MATLAB/SIMULINK mediante métodos de control P&O y lógica difusa para su comparación en la obtención del MPP. El tercer componente es la medición de potencia generada de la central de energía renovable propuesta para determinar la posibilidad de sustitución ya mencionada.

### 2.1 Evaluación de recursos y eficiencia energética.

Para la evaluación de recursos se utilizaron los datos obtenidos de la página de la NASA Prediction Of Worldwide Energy Resources, desde el año 2014 hasta el 2019 [19]. Para determinar los valores máximos, mínimos y promedio de irradiancia, temperatura y velocidad de viento.

### 2.2 Generación Fotovoltaica

Para la generación fotovoltaica se seleccionaron dos tipos de paneles comerciales, uno de alta eficiencia, por sus prestaciones tanto en optimización de la producción como en el área de

implementación necesaria, y paneles de baja eficiencia para su posterior comparación en el desempeño eléctrico y físico. A continuación, se detallarán las principales características técnicas de cada uno de ellos [7],[6].

**Tabla 1:** Características técnicas Panel de alta eficiencia [20].

<b>Panel de alta eficiencia</b>		
<b>Nº</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
1	Marca	SunPower
2	Modelo	SPR-X22-370
3	Pnom	370 W
4	Eficiencia	22.7 %
5	Vmpp	59.1 V
6	Impp	6.26 A
7	Voc	69.5 V
8	Icc	6.66 A
9	Voc temp coef	-0.29 % / ° C
10	Isc temp coef	-0.016 % / ° C
11	NºCeldas	96
12	Largo	1558 mm
13	Ancho	1046 mm

**Tabla 2:** Características técnicas Panel de baja eficiencia [21].

<b>Panel de baja eficiencia</b>		
<b>Nº</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
1	Marca	DAH Solar
2	Modelo	DHPT72
3	Pnom	330 W
4	Eficiencia	16.25 %
5	Vmpp	36.9 V
6	Impp	8.54 A
7	Voc	45.6 V
8	Icc	9 A
9	Voc temp coef	-0.32 % / ° C
10	Isc temp coef	-0.05 % / ° C
11	NºCeldas	72
12	Largo	1950 mm
13	Ancho	1100 mm

Con los datos obtenidos se graficaron las curvas de potencia-voltaje de cada uno de ellos representados en la figura 1:

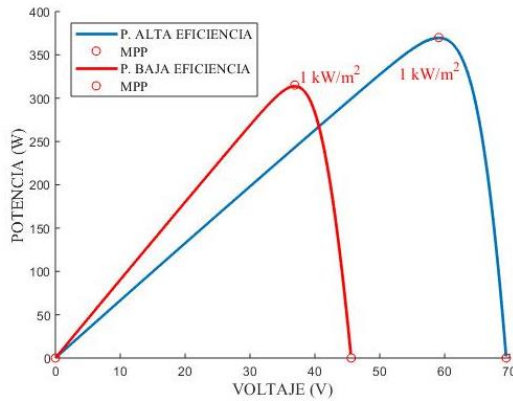


Figura 1. Curva P-V de los paneles

Tabla 3: Características técnicas del inversor.

Inversor		
Nº	Descripción	Valor
1	Marca	ABB
2	Modelo	PVS800-57-1000kW
3	V <sub>DC</sub> Min	600 V
4	V <sub>DC</sub> Max	850 V
5	I <sub>max</sub>	1710 A
6	Eficiencia	98.8 %

Por motivos de seguridad y confiabilidad se pensó en una central de energía renovable con 2 MW de energía fotovoltaica 1 MW de energía eólica y un banco de baterías.

a) Cálculo de número de paneles

Tomando en cuenta los datos obtenidos al evaluar los recursos energéticos y también los datos de los paneles y el inversor, se procede a determinar el número de paneles siguiendo el siguiente modelo matemático [22]:

Variación del voltaje en el punto de máxima potencia por coeficiente de tempera.

$$\Delta V_{mpp_{tmax}} = V_{mpp} \times V_{oc \text{ temp coef}} \quad (1)$$

Donde:

$\Delta V_{mpp_{tmax}}$ : Variación de voltaje en el punto de máxima potencia.

$V_{mpp}$ : Voltaje en el máximo punto de potencia.

$V_{oc \text{ temp coef}}$ : Coeficiente de temperatura en función del voltaje de circuito abierto.

Voltaje en el punto de máxima potencia a temperatura máxima:

$$V_{mpp_{tmax}} = V_{mpp} + \Delta V_{mpp_{tmax}} \quad (2)$$

Donde:

$V_{mpp_{tmax}}$ : Voltaje en el máximo punto de potencia en temperatura máxima.

Número de paneles en serie:

$$N_{ps} = \frac{V_{DC \text{ min inversor}}}{V_{mpp_{tmax}}} \quad (3)$$

Donde:

$N_{ps}$ : número de paneles en serie

$V_{dc \text{ min invers}}$ : Voltaje DC mínimo permitido a la entrada del inversor.

Número de paneles en paralelo

$$N_{pp} = \frac{I_{max \text{ inversor}}}{I_{cc \text{ panel}}} \quad (4)$$

Donde:

$I_{max \text{ inversor}}$ : Corriente máxima del inversor

$I_{cc}$ : Corriente de corto circuito de los paneles.

Número total de paneles:

$$N_{pt} = N_{ps} \times N_{pp} \quad (5)$$

Donde:  
Npt: Número de paneles totales

b) Cálculo del área de emplazamiento

Distancia entre paneles

$$dp = (L \times \sin \theta) \times 2.5 \quad (6)$$

Donde:

L: Largo del panel  
 $\theta$ : Ángulo de inclinación del panel

Área total de emplazamiento

$$A_T = [(L \times A \times Nps) + (dp \times A \times Nps)] \times Npp \quad (7)$$

Donde:

A: Ancho del panel

Para el dimensionamiento del banco de baterías se utilizó la siguiente fórmula [22], [23]:

$$Ib = \frac{Er \times n}{Vs \times pd} \quad (8)$$

Donde

Ib: Amperios-hora requeridos en el banco de baterías.

Er: consumo diario real.

Vs: Voltaje de funcionamiento del sistema.

n: días de autonomía del sistema.

pd: profundidad de descarga diaria de las baterías seleccionadas.

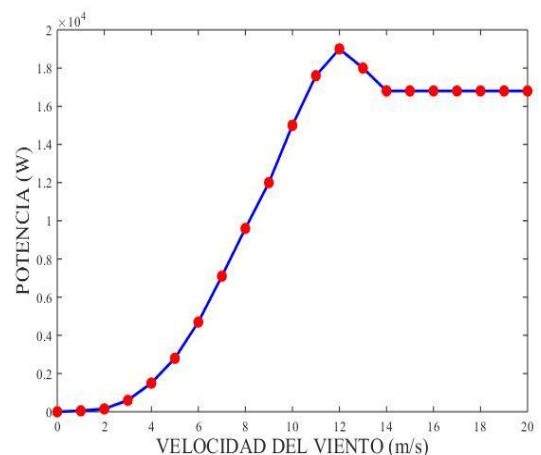
### 2.3 Generación eólica.

Para la generación eólica se seleccionó un micro generador comercial de potencia nominal 20kW del cual se detallan sus características técnicas en la siguiente tabla:

**Tabla 4:** Características técnicas del micro – generador ENAIR 200 [24].

Micro - generador eólico.		
Nº	Descripción	Valor
1	Marca	ENAIR
2	Modelo	E200
3	Configuración	3 aspas horizontal es
4	Potencia	20 kW max
5	Potencia Nominal	18 kW – IEC61400
6	Velocidad del rotor	120 rpm
7	Velocidad para romper inercia	1.85 m/s
8	Velocidad de corte	30 m/s
9	Protección	IP-65
10	Peso	1000 kg
11	Diámetro	9.8 m
12	Área de rotación de las aspas	75.4 m <sup>2</sup>
13	Largo del aspa	4.5 m
14	Coefficiente de potencia (Cp)	0.48

En la figura 2 se muestra la curva Potencia-Velocidad de viento del micro-generador ENAIR.



**Figura 2.** Curva Potencia/Velocidad de viento del aerogenerador E200 [24].

a) Cálculo de la potencia eólica  
 La potencia eléctrica creada por un generador eólico viene de la energía potencial del viento, cuando se impacta contra el aspa que mueve el rotor. Esta energía depende de la velocidad y la densidad del aire, y del área de rotación de las aspas [10].

La energía cinética viene dada por la ecuación:

$$e = \frac{1}{2} \times \rho \times V^2 \quad (9)$$

Donde:

e: Energía por unidad de volumen. (J)  
 ρ: Densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)  
 V: Velocidad del viento (m/s)

Ahora teniendo en cuenta que el flujo de aire a través de una superficie es:

$$\Phi = V \times A \quad (10)$$

Donde:

Φ: Flujo de aire (m<sup>3</sup>/s)  
 V: Velocidad del viento  
 A: Área de barrido del rotor (m<sup>2</sup>)

Por lo que, con base en las ecuaciones (8) y (9) se puede determinar la potencia eólica disponible:

$$Pd = \frac{1}{2} \times \rho \times V^3 \times A \quad (11)$$

Donde:

Pd: Potencia disponible (W)  
 ρ: Densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)  
 V: Velocidad del viento (m/s)  
 A: Área de barrido del rotor (m<sup>2</sup>)

De acuerdo con la teoría de conservación de la masa, no toda la potencia cinética podrá transformarse a potencia disponible. Así como, por las características mecánicas del generador, según su calidad de fabricación, existirán más o menos pérdidas mecánicas, se ha determinado un coeficiente el cual define la cantidad de viento que en realidad ha sido

aprovechada, este es el coeficiente de potencia Cp y es un equivalente a la eficiencia del mecanismo del generador. Es importante señalar que este coeficiente nunca puede ser mayor a 1. Por lo tanto, al utilizar este coeficiente se puede determinar la potencia real o también conocida como potencia aprovechable [9], [10].

$$Pa = \frac{1}{2} \times \rho \times V^3 \times A \times Cp \quad (12)$$

Donde:

Pd: Potencia disponible (W)  
 ρ: Densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)  
 V: Velocidad del viento (m/s)  
 A: Área de barrido del rotor (m<sup>2</sup>)  
 Cp: Coeficiente de potencia.

## 2.4 Controlador lógico difuso.

La lógica difusa como ya se mencionó es un método alternativo de lógica el cual contrasta con la ya conocida lógica booleana al aumentar el espectro de evaluación de una variable [25]. Por ejemplo, al existir o no una sobretensión en un dispositivo, un protector booleano solo tendrá dos opciones activarse o no, mientras que utilizando la lógica difusa este puede inferir si fue una sobretensión alta, media o baja y en base a esto verá si es necesario activarse o no dependiendo de las ventajas o desventajas de cada acción [17].

En la figura 3 se muestra el diagrama básico del funcionamiento de un proceso lógico difuso.

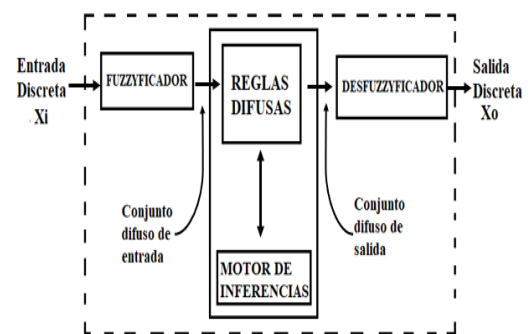


Figura 3. Diagrama general de un proceso lógico difuso [18].

Para describir de forma simplificada el proceso lógico difuso se puede decir que, en primer lugar, se ingresa las variables discretas con sus respectivas unidades, como por ejemplo voltaje en voltios, esta variable pasa por un proceso fuzzyficador, el cual las transforma en unidades representativas que el usuario determina y las agrupa en un conjunto difuso de entrada [26].

Posteriormente las variables pasan por una serie de reglas creadas por el usuario, basadas en comandos lógicos convencionales como si, entonces, caso contrario, y, o (if, then, else, and, or) [27].

Con base en el tipo de función de entrada o también conocido como función de membresía, el motor de inferencia es el que procede a definir el resultado de salida que responde mejor a los parámetros descritos por el usuario, este motor por lo general se basa en el proceso de Mamdani o Sugeno.

Una vez hallado el valor correspondiente, este entra en un

proceso desfuzzyficador en donde la variable se convierte nuevamente a unidades convencionales, como por ejemplo el ancho de pulso para activar la compuerta de un transistor. El método más utilizado para este proceso es el del centroide [28].

### 3. Metodología

Un proceso importante en la gestión de la producción energética en ERNC, es la búsqueda de crear la mayor generación posible, en función de los recursos naturales disponibles, como la radiación o la temperatura, por lo que se ha implementado un control lógico difuso para la obtención del punto de máxima potencia en la generación fotovoltaica.

Posteriormente, y tomando en cuenta los resultados obtenidos en función al control difuso mencionado, se empleó una optimización en el despacho de la central ERNC, el cual tiene como objetivo minimizar los costos de producción teniendo en cuenta los diferentes tipos de generaciones disponibles.

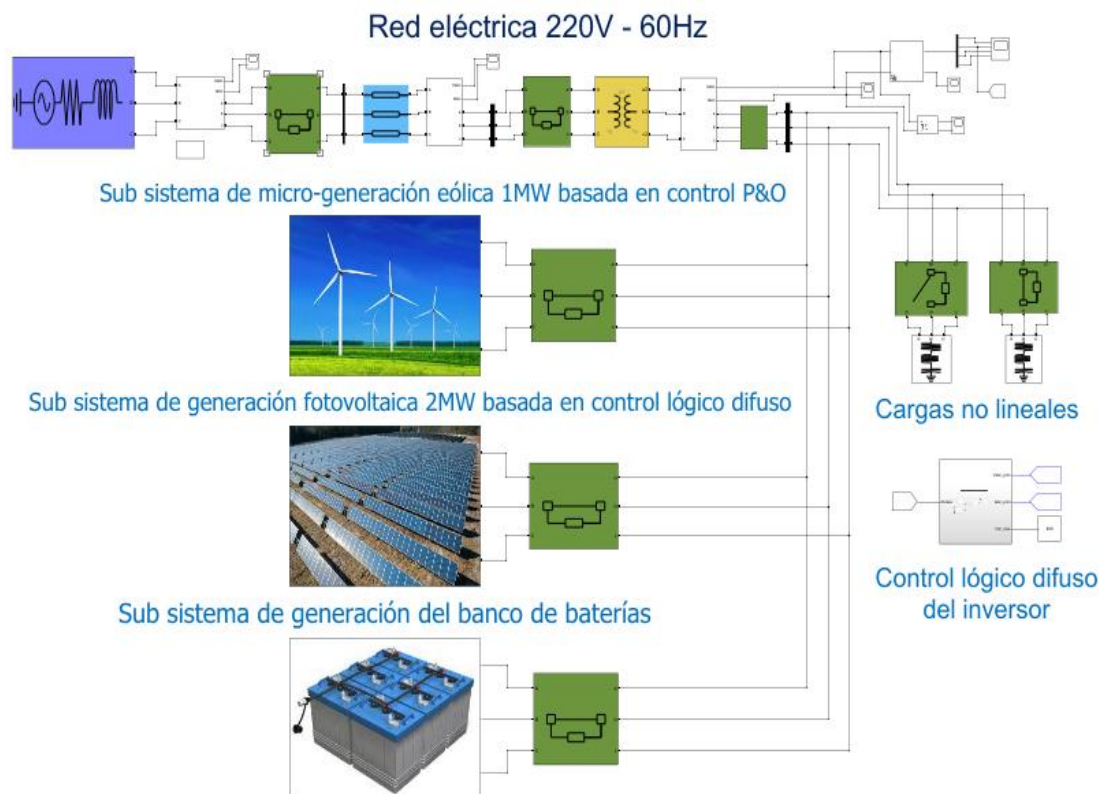


Figura 4. Sistema de generación híbrido PV/Eólico



El modelo matemático empleado para la solución de este problema consta de programación lineal.

### 3.1 Modelamiento del sistema de control lógico difuso.

El beneficio de los métodos de generación híbridos es la solución del problema de continuidad de la energía [29].

En la figura 4 se puede observar un sistema eléctrico de potencia general de la central ERNC. En el cual se puede observar, la generación fotovoltaica de alta eficiencia, la micro generación eólica, el banco de baterías y su conexión a la red.

Este sistema consiste en controladores MPPT basados en lógica difusa para la generación fotovoltaica y P&O para la eólica, un convertor DC/DC para los paneles y un rectificador para las turbinas junto con esto un banco de baterías y por último un controlador difuso para el inversor DC/AC conectado a la red.

La figura 5 muestra el subsistema MPPT/FLC que se implementó:

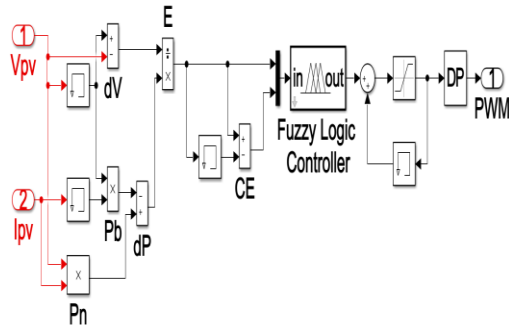


Figura 5. Diagrama de bloques del controlador MPPT lógico difuso del sistema fotovoltaico.

Las funciones de membresía a la entrada son el error E y su variación CE [11], [30] los cuales se basan en la variación del voltaje y la potencia en los paneles y están definidas por (12) y (13) mientras que la función de salida viene a ser el ciclo PWM.

$$E = \frac{P - P(i - 1)}{V - V(i - 1)} \quad (12)$$

$$CE = E - E(i - 1) \quad (13)$$

Donde:

P: Potencia del sistema PV

V: Voltaje del sistema PV

El proceso de fuzzificación permite la conversión de las variables de entrada y salida en variables difusas, en forma de funciones de membresía que se asignan a las variables lingüísticas.

Para el controlador lógico difuso, figura 6, se ha dispuesto de dos funciones de membresía a la entrada E y CE, figuras 7 y 8 y una a la salida PWM, figura 9.

En este caso, se emplearon seis subconjuntos difusos: NG (negativo grande), NP (negativo mediano), NP (negativo pequeño), ZE (cero), PP (positivo pequeño), PM (positivo mediano) y PG (positivo grande).

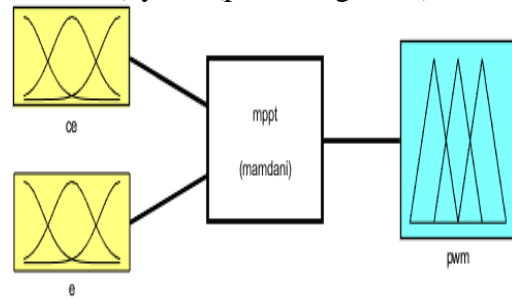


Figura 6. Controlador lógico difuso para la búsqueda del MPPT diseñado en MATLAB

Las funciones de entrada están compuestas por formas sigmoideas en sus límites y triangulares en medio [27], [25], por otro lado la función de membresía en la salida tiene forma triangular.

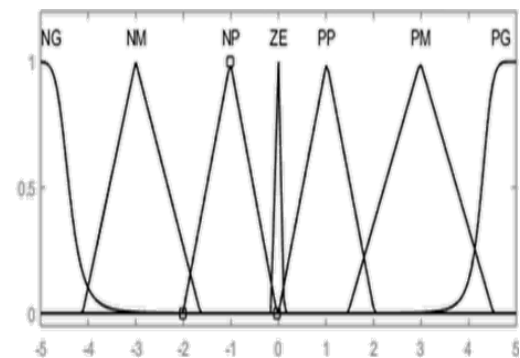
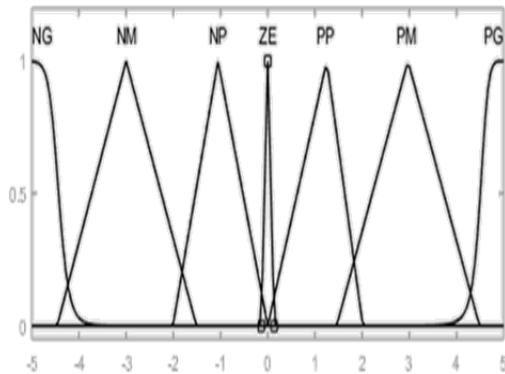
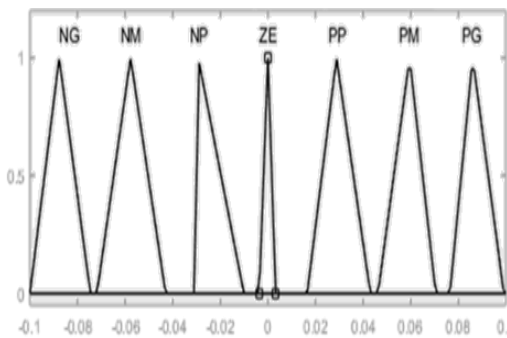


Figura 7. Función de membresía de la variable de entrada (CE)



**Figura 8.** Función de membresía de la variable de entrada (E)



**Figura 9.** Función de membresía de la variable de salida (PWM)

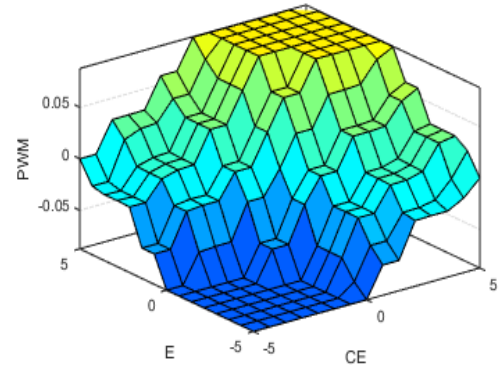
El paso de inferencia consiste en establecer relaciones lógicas entre las entradas y la salida definidas en las reglas de membresía. En este trabajo, el método utilizado para obtener funciones de membresía de salida es el de implicación difusa MIN-MAX del motor de inferencia Mamdani.

La Tabla 5 muestra las reglas de inferencia diseñadas. El paso de desfuzzificación permite convertir los subconjuntos difusos de salida en valores numéricos, y luego mediante el generador PWM DC/DC obtener un valor del ciclo de trabajo, utilizando el método del centro de gravedad [11], [31].

**Tabla 5:** Tabla de reglas difusas para el controlador MPPT del sistema PV

Reglas difusas para control MPPT							
	CE						
	NG	NM	NP	ZE	PP	PM	PG
E	NG	NG	NG	NG	NM	NP	ZE
	NM	NG	NG	NM	NP	ZE	PS
	NP	NG	NM	NP	ZE	PP	PM
	ZE	NG	NM	NP	ZE	PP	PM
	PP	NM	NP	ZE	PP	PM	PG
	PM	NP	ZE	PP	PM	PG	PG
	PG	ZE	PP	PM	PG	PG	PG

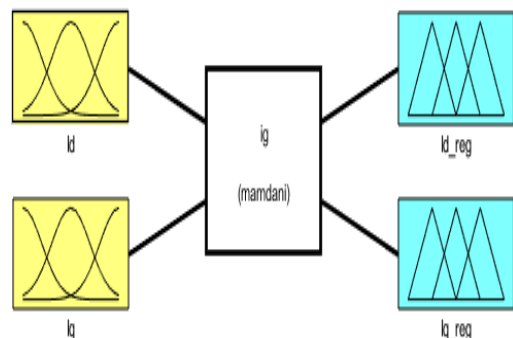
En la figura 10 se puede observar una superficie tridimensional de reglas difusas lo que facilita su análisis y observación ante un gráfico en dos dimensiones.



**Figura 10.** Superficie de reglas difusas para controlador PWM

El control difuso del inversor se basa en las corrientes de eje directo ( $i_d$ ) y eje de cuadratura ( $i_q$ ), cuando la corriente  $i_d$  es positiva, el inversor genera la potencia activa y cuando  $i_q$  es positiva, el inversor absorbe la potencia reactiva [32]; mediante la lectura de estas corrientes se ha diseñado un controlador difuso en MATLAB el cual se fundamenta en el principio de un controlador VSC, que envía pulsos a las compuertas de los dispositivos IGBT's seleccionados por ser los elementos más indicados por sus rápidas velocidades de conmutación [31].

El controlador difuso tiene dos funciones de entrada y dos de salida como se observa en la figura 11:



**Figura 11.** Controlador lógico difuso del inversor diseñado en MATLAB

Las señales de entrada son las corrientes de eje directo y de cuadratura, figura 12 y 13, mientras que las señales de salida serían las corrientes directas y de cuadratura reguladas, figuras 14 y 15.

Las funciones de membresía utilizadas para el proceso de fuzzificación que se utilizan tanto en entrada como salida serían de diseño triangular y para el proceso de inferencia se utilizó el método de implicación difusa MIN-MAX del motor Mamdani. Para la desfuzzificación de los resultados se utilizó el método de la centroide [33].

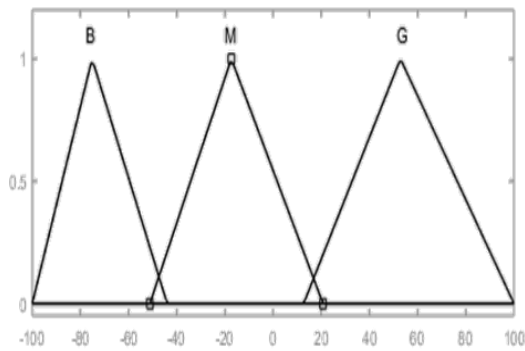


Figura 12. Función de membresía de la variable de entrada (id)

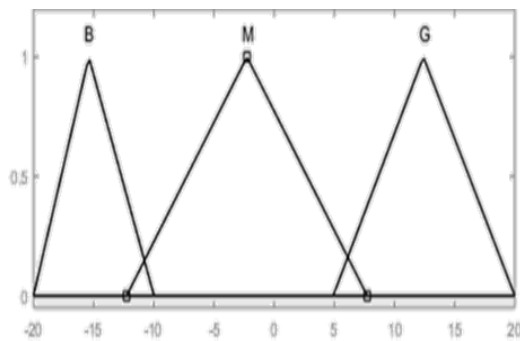


Figura 13. Función de membresía de la variable de entrada (iq)

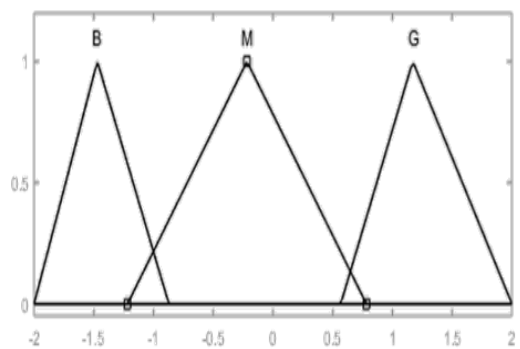


Figura 14. Función de membresía para la variable de salida (id\_reg)

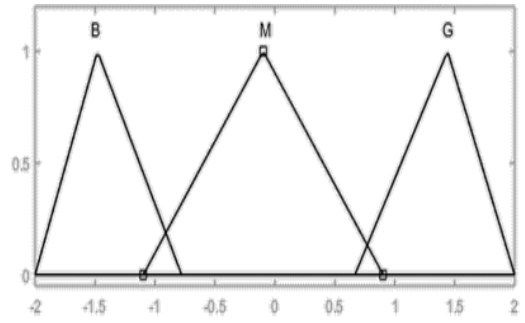


Figura 15. Función de membresía para la variable de salida (iq\_reg)

Los subconjuntos difusos utilizados en este controlador fueron B (baja), M (mediana) y G (grande) y están representados en la siguiente tabla de reglas difusas:

Tabla 6: Tabla de reglas difusas para el controlador del inversor DC/AC

Reglas difusas para el inversor			
id iq	BAJA	MEDIA	ALTA
BAJA	id regulada -	id regulada -	id regulada - MEDIA
	GRANDE iq regulada -	GRANDE iq regulada -	GRANDE iq regulada -
	GRANDE	GRANDE	GRANDE
MEDIANA	id regulada -	id regulada -	id regulada - MEDIA
	GRANDE iq regulada -	GRANDE iq regulada -	GRANDE iq regulada -
	GRANDE	GRANDE	GRANDE
GRANDE	id regulada -	id regulada -	id regulada - MEDIA
	GRANDE iq regulada - MEDIA	GRANDE iq regulada - MEDIA	GRANDE iq regulada - MEDIA
	GRANDE	GRANDE	GRANDE

Como se mencionó anteriormente la visibilidad de las reglas difusas en un plano tridimensional es mejor que en dos dimensiones, en este caso al tener dos funciones de membresía de salida, se obtiene una superficie de cada una de ellas representadas en las figuras 16 y 17.

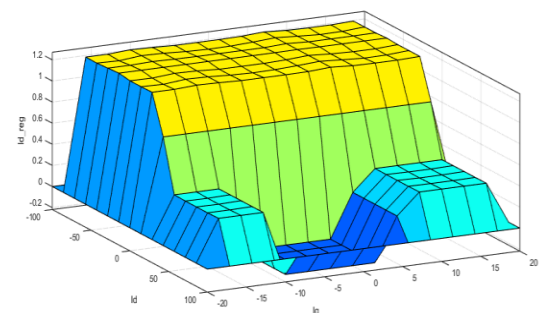
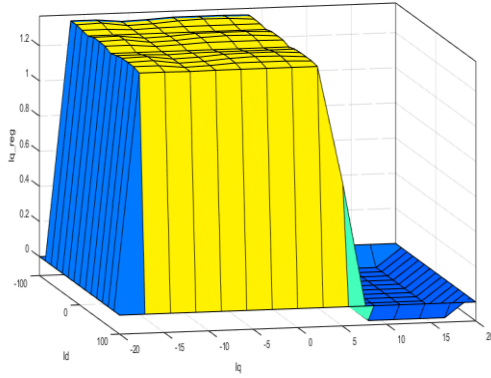


Figura 16. Superficie de reglas difusas para controlador de id\_regulada



**Figura 17.** Superficie de reglas difusas para controlador de  $iq_{regulada}$

## 3.2 Modelamiento del sistema para el óptimo despacho energético.

### 3.2.1 Función Objetivo

La función objetivo es la minimización de costos en la producción de energía, que busca abastecer la demanda en función de los diferentes tipos de tecnologías generadoras al menor costo posible [34],[35].

Para esto se realizó la sumatoria de todas las potencias de generación, multiplicadas por el precio de cada una de ellas respectivamente. Cabe recalcar que los precios de cada tipo de generación están basados a informes del Ministerio de Energía y Recursos No Renovables y publicaciones de revistas internacionales [36].

Un componente importante al momento de hablar de ERNC es el factor de uso (FU), el cual es un valor adimensional que expresa la disponibilidad de las generaciones no convencionales como la eólica y fotovoltaica, ya que, al ser de tipo estocásticas, no se puede depender de ellas como en el caso de una térmica. Este factor se basará en los datos obtenidos por el control de lógica difusa para la obtención del MPP y de los recursos naturales disponibles, previamente evaluados.

Todo este planteamiento viene representado en la ecuación (13).

$$\begin{aligned}
 CT(t) = & \sum_{t=1}^{24} (PTE_t * PE_T) \\
 & + \sum_{t=1}^{24} (PFVB_t * fuFVB_t * PE_{FVB}) \\
 & + \sum_{t=1}^{24} (PEO_t * fuEO_t * PE_{EO})
 \end{aligned} \tag{13}$$

Donde:

$CT$ : Costo total

$t$ : tiempo en horas

$PT_t$ : Potencia térmica en un periodo de tiempo  $t$  en un día  $d$ .

$PFVB_t$ : Potencia fotovoltaica con batería en un periodo de tiempo  $t$ .

$PEO_t$ : Potencia eólica en un periodo de tiempo  $t$ .

$PE_T$ : Precio de generación térmica por MW.

$PE_{FVB}$ : Precio de generación fotovoltaica con batería por MW.

$PE_{EO}$ : Precio de generación eólica por MW.

$fuFVB_t$ : Factor de uso fotovoltaico con batería en un periodo de tiempo  $t$ .

$fuEO_t$ : Factor de uso eólico en un periodo de tiempo  $t$ .

### 3.2.2 Restricciones

Las restricciones en un modelo de optimización por lo general van de la mano con la función de objetivo definida, estas generan límites para dar sentido lógico a los posibles resultados a obtener, de igual forma ayudan a crear parámetros que deben ser cumplidos,

sin los cuales no se encontraría la óptima gestión deseada [34].

### 3.2.2.1 Límites de Potencia

Esta restricción se basa en las potencias máximas y mínimas que pueden aportar los diferentes tipos de tecnologías generadoras según sus capacidades predefinidas. Esta restricción viene definida en la ecuación (14).

$$Pg(n)_{\min} \leq Pg(n) \leq Pg(n)_{\max} \quad (14)$$

Donde:

$Pg(n)$ : Potencia de generación por tipo.

$Pg(n)_{\min}$ : Potencia mínima que debe entregar la unidad de generación.

$Pg(n)_{\max}$ : Potencia máxima que debe entregar la unidad de generación.

### 3.2.2.2 Balance potencia demanda

El balance potencia-demanda expone que la potencia generada por las diferentes tecnologías debe cubrir la demanda en cada momento del tiempo  $t$ , por lo que, la sumatoria de las potencias debe ser igual a la demanda a cubrir.

$$PDem_t = \sum_{t=1}^{24} (PTE_t) + \sum_{t=1}^{24} (PFVB_t) + \sum_{t=1}^{24} (PEO_t) \quad (15)$$

Donde:

$PDem$ : Potencia demanda

$t$ : tiempo en horas

$PFVB_t$ : Potencia fotovoltaica con batería en un periodo de tiempo  $t$ .

$PEO_t$ : Potencia eólica en un periodo de tiempo  $t$ .

### 3.2.3 Pseudocódigo.

En este segmento se presenta el código de programación para determinar la óptima gestión del despacho energético, modelado en el sistema de optimización matemática GAMS, utilizando la función objetivo y restricciones ya mencionadas.

---



---

## Código de optimización del despacho

---

**Paso 1:** Inicio

**Paso 2:** Declaración de variables

$t$  horas / $t1*24$ /

$G$  Generadores / $G1*G3$ /

Term( $G$ ) Gen TE / $G1$ /

FVB( $G$ ) Gen FVB / $G2$ /

EO( $G$ ) Gen EO / $G3$ /

$C$  caso de demanda / $C1$ /

**Paso 3:** Delimitación de  $P_{\max}$ ,  $P_{\min}$  y costos respectivos de cada generador

Potencia máxima  $\rightarrow G1...G3$

Potencia mínima  $\rightarrow G1...G3$

Costos  $\rightarrow G1...G3$

Factor de uso  $\rightarrow G2, G3$

**Paso 4:** Asignación de costos de generación

$$CT_{GEN}(t, g) = \sum_{t=1}^{24} \sum_{g=1}^1 P_{GEN}(t, G) * C_{GEN}$$

**Paso 5:** Optimización de la función objetivo.

$$FO \rightarrow \min CT_{GEN}(t, G)$$

**Paso 6:** Asignación de restricciones

$$Dem(t) = \sum_{t=1}^m P_{GEN}(t)$$

**Paso 7:** Impresión de resultados y creación de reportes.

**Paso 8:** Fin

---



---

## 3.3 Análisis medio ambiental

Para este análisis se tendrá en cuenta como factor primordial el gas de efecto invernadero,  $CO_2$  (Dióxido de carbono), con el cual se obtendrán datos relevantes para determinar los resultados positivos y negativos de la implementación de la central ERNC mencionada.

### 3.3.1 Emisión de dióxido de carbono por generación de central térmica.

Según la oficina catalana del cambio climático, las emisiones de  $CO_2$  relacionadas a la generación eléctrica se denomina factor de emisión y sus unidades son (g de  $CO_2$ / kWh) [37].

El CENACE define que el factor de emisión promedio en Ecuador durante el período 2009-2014 es de 704,7 g $CO_2$ /kWh con una desviación estándar de 36 [38]. Según la revista Ecoscuritis (México) en Ecuador el factor de Emisión en centrales térmicas a Diesel es de 854 g $CO_2$ /kWh [39].

Por lo que para determinar la cantidad de emisión de  $CO_2$  generadas

por una central térmica a Diesel se vendría a utilizar la siguiente ecuación:

$$E_{CO_2}(g) = PT_{DISEL}(kWh) \times 854 \frac{gCO_2}{kWh} \quad (16)$$

Donde:

$E_{CO_2}$ : Emisión de  $CO_2$

$PT_{DISEL}$ : Potencia térmica Diesel

Esta ecuación puede ser expresada en toneladas o kilogramos según sea más fácil conceptualizar los resultados.

### 3.3.2 Cálculo de cantidad de dióxido de carbono captado por los árboles existentes.

Un proceso importante en el análisis medio ambiental es determinar la cantidad de dióxido de carbono que absorben los árboles de la zona que probablemente sean talados para poder instalar la central ERNC mencionada, puesto que se conoce que los paneles fotovoltaicos, necesitan grandes cantidades de terreno [22].

Para el cálculo de la cantidad de  $CO_2$  captado se utiliza la siguiente fórmula [40].

$$PCO_2 = 44/12 \times PBM \quad (17)$$

Donde

$PCO_2$ : Peso de  $CO_2$  captado.

$PBM$ : Peso de Biomasa del árbol.

Cabe aclarar que el valor de 44/12 es la relación entre la molécula de  $CO_2$  y un átomo de carbono por lo que es adimensional.

Otro cálculo necesario es el número aproximado de árboles en la zona el cual se lo hará utilizando la siguiente ecuación:

$$N_A = \frac{A_T}{S_C} \quad (18)$$

Donde:

$N_A$ : Número de árboles estimado.

$A_T$ : Área de emplazamiento total.

$S_C$ : Superficie de crecimiento aéreo del árbol.

## 4. Caso de estudio.

En este estudio se evaluarán los recursos energéticos necesarios para determinar la posibilidad de sustituir una central térmica de baja potencia por una central de energía renovable no convencional. Estos recursos serán los valores máximos, mínimos y promedio de irradiancia, temperatura y velocidad de viento.

En la figura 19 se puede ver una representación simplificada del caso de estudio, donde se observa la central térmica existente la cual se desea sustituir por la central ERNC mixta propuesta, que se compone de la generación solar, la eólica y se observa el control en cada uno de los subsistemas [41],[42].



**Figura 18.** Representación gráfica del objetivo del presente artículo

En la tabla 7 se detallan los principales datos de la central Dayuma existente, como su ubicación geográfica, generación anual y unidades de generación [43], [44].

Tabla 7: Datos central Dayuma

<b>Central Térmica Dayuma</b>	
<b>Ubicación Geográfica Sistema de coordenadas UTM WGS84, Zona 17S</b>	
X:	Y:
957176.22	9907544.84
Altitud:	
290 m.s.n.m.	
<b>Potencia instalada</b>	2MW
<b>Dirección</b>	km 60 vía Auca
<b>Cantón</b>	Francisco de Orellana
<b>Ciudad</b>	Dayuma
<b>Provincia</b>	Orellana
<b>Promotor</b>	CELEC-Termopichincha
<b>Área total</b>	10170 m <sup>2</sup>
<b>Área de emplazamiento</b>	600m <sup>2</sup>
<b>Combustible</b>	Diesel
<b>Rendimiento</b>	9.54 kWh/galón
<b>Costo de producción</b>	15.71 ctvs/kWh
<b>Producción anual</b>	1.59 GWh
<b>Factor de Planta</b>	11.27 %
<b>Unidades de generación</b>	2
<b>Marca</b>	SDMO
<b>Modelo</b>	X1000UC2
<b>Potencia Nominal</b>	1115 kW

Mediante los datos obtenidos de la central Dayuma se graficó una curva de generación anual presentado en la figura 19:

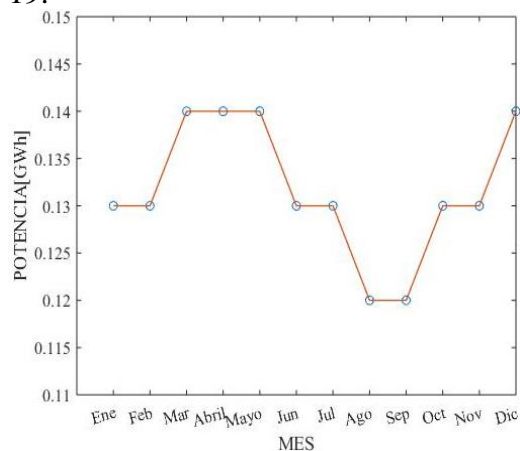


Figura 19. Generación Anual central Dayuma

Se conoce que la central Dayuma existente es una central termoeléctrica a

base de combustible Diesel conectada al SNI, por lo que se ha asumido una curva de demanda diaria figura 20, la cual se basa en su demanda anual en los meses de mayor consumo, para posteriormente analizar si es factible o no su despacho, mediante la implementación de la central de energía renovable propuesta.

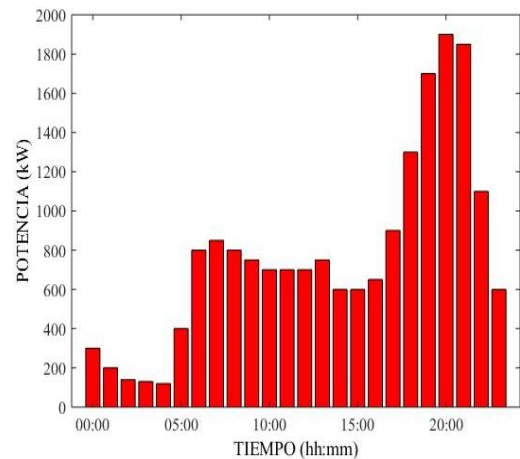


Figura 20. Curva de demanda propuesta de la central Dayuma.

En la curva de demanda asumida se puede destacar que la mayor potencia generada es de 1900 kW, mientras que, la mínima potencia es de 100 kW y tiene una potencia promedio de 600 kW.

En cuanto al espacio físico disponible, se observa que se trata de un terreno relativamente grande para una central térmica, puesto que dispone de 10170 m<sup>2</sup>, este espacio al colocar los paneles y los aero-generadores se verá expandido de forma significativa. En la figura 21 se puede observar el espacio físico actual de la central Dayuma [43].



Figura 21. Área de la central Dayuma (10.170 m<sup>2</sup>)

Para el análisis medio ambiental se ha seleccionado a la especie Cordia

alliodora, nombre común Laurel Blanco, por ser el árbol de mayor abundancia en la amazonia ecuatoriana [45]. A continuación, se presentan las principales propiedades anatómicas y físicas necesarias para los cálculos y el diagnóstico ambiental [46].

**Tabla 8:** Tabla de propiedades anatómicas de la especie Cordia alliodora (Laurel Blanco)

Propiedades del Laurel Blanco		
N°	Descripción	Valor
1	Altura promedio	30m
2	Diámetro promedio	70 cm
3	Biomasa de carbono promedio	10.9 kg
4	Superficie de crecimiento aéreo promedio.	4 m <sup>2</sup>
5	Densidad	0.29-0.46 g/cm <sup>3</sup>

## 5. Análisis de Resultados

Para el análisis de resultados se expondrá en el mismo orden en que fueron presentados los tópicos de estudio, es decir desde la evaluación de recursos y eficiencia pasando por los datos obtenidos por la implementación del controlador difuso y por último la evaluación del despacho obtenido e implicaciones de área de implementación a utilizar.

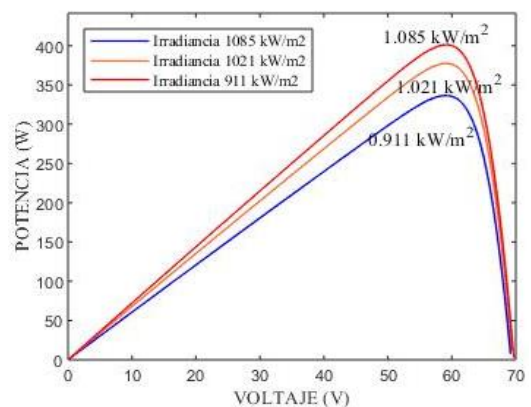
### 5.1 Resultados de la evaluación de recursos y eficiencia de los paneles y micro-generadores.

Al evaluarse los recursos naturales necesarios para la implementación de la central propuesta se obtuvieron los datos presentados en la siguiente tabla:

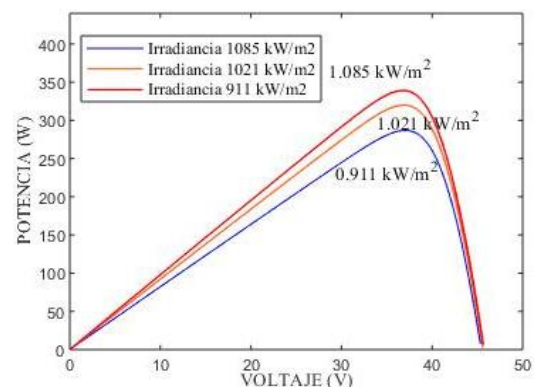
**Tabla 9:** Tabla de los datos obtenidos de los recursos naturales.

Recursos		
N°	Descripción	Valor
1	Temperatura Max	32.7 ° C
2	Temperatura Min	17.4 ° C
3	Temperatura Ambiente	24.5 ° C
4	Irradiancia Max	1085 W/m <sup>2</sup>
5	Irradiancia Min	911 W/m <sup>2</sup>
6	Irradiancia Promedio	1021 W/m <sup>2</sup>
7	Velocidad viento Máximo	7.2 m/s
8	Velocidad viento Mínimo	1.8 m/s
9	Velocidad viento Promedio	3.4 m/s

Con base en los datos de recursos naturales obtenidos se han graficado las curvas potencia - voltaje de los paneles de alta y baja eficiencia, figura 22 y baja eficiencia, figura 23.



**Figura 22.** Curva P-V a diferente irradiancia y temperatura promedio de los paneles de alta eficiencia



**Figura 23.** Curva P-V a diferente irradiancia y temperatura de los paneles de baja eficiencia



En la tabla 10 se expondrá el número de paneles necesarios, recordando que los inversores elegidos por motivos de confiabilidad y seguridad del sistema en caso de falla de alguno de ellos es de 1MW por lo que se duplican sus valores, es decir el número de paneles en serie y en paralelo se repiten.

**Tabla 10:** Número de paneles calculados en función de la potencia a instalar.

<b>Cantidad de paneles según su eficiencia</b>		
	<b>Panel alta eficiencia</b>	<b>Panel baja eficiencia</b>
<b>N° de paneles en serie 1 MW</b>	11	17
<b>N° de paneles en paralelo 1MW</b>	257	190
<b>N° de paneles totales 1 MW</b>	2827	3230
<b>N° de paneles totales 2 MW</b>	5654	6460
<b>Diferencia total</b>		806

Hay que recalcar que la cantidad de paneles en serie o paralelo fueron determinados por motivos de seguridad y óptimo funcionamiento de los inversores propuestos.

Para el banco de baterías y de acuerdo con la ecuación 8 se definió un model A123 Systems Grid Solutions basado en baterías de nano fosfato de ion-litio.

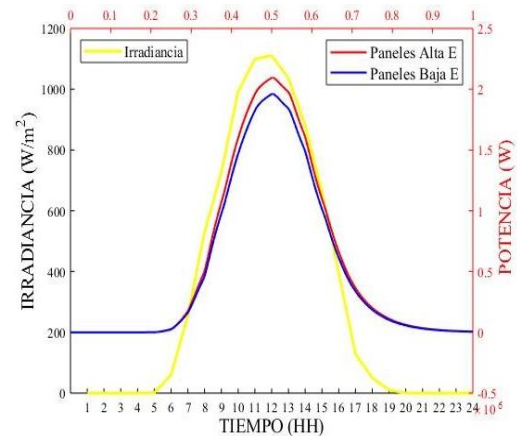
**Tabla 11:** Tabla de las especificaciones técnicas del banco de baterías seleccionado

<b>Especificaciones por unidad</b>			
<b>1</b>	Voltaje AC	480	V
<b>2</b>	Voltaje DC	960	V
<b>3</b>	Potencia	2	MW
<b>4</b>	Energía	500	kWh
<b>5</b>	Eficiencia	90	%
<b>6</b>	Temperatura. Operación	-30	a 60°C
<b>7</b>	Temperatura. Almacenamiento	-30	A 60°C
<b>8</b>	Tiempo de recarga	15	Minutos

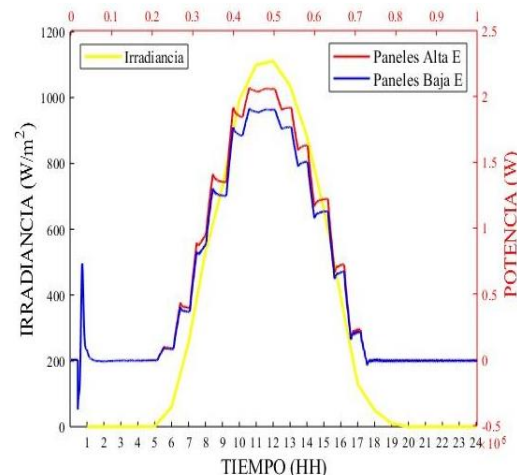
En cuanto a los micro-generadores eólicos y según lo señalado en la ecuación (11) se determinó la utilización de 55 unidades.

## 5.2 Resultados del controlador difuso.

En este apartado se presentan los resultados de la simulación de un día con las radiaciones y temperaturas promedio obtenidas en la evaluación de recursos, detallando las curvas de generación de los paneles de alta y baja eficiencia, figura 24, en modo de comparación se usan los mismos resultados de los recursos obtenidos, pero se evalúa en un controlador P&O, figura 25.



**Figura 24.** Curva de Potencia generada por el controlador lógico difuso en paneles de alta y baja eficiencia.



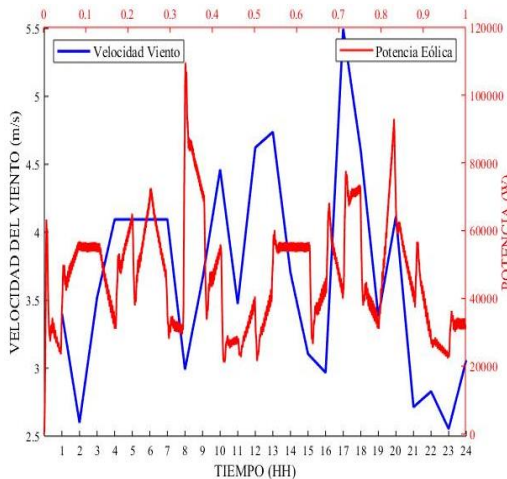
**Figura 25.** Curva de Potencia generada por el controlador P&O en paneles de alta y baja eficiencia.

En la tabla 12 se detallan los valores máximos obtenidos en la simulación y se compara con la potencia nominal instalada.

**Tabla 12:** Potencia generada en base al controlador y la eficiencia de los paneles.

Potencia Generada		
	Baja	Alta
<b>P&amp;O</b>	1.908 MW	2.067 MW
<b>Lógico Difuso</b>	1.987 MW	2.085 MW
<b>Instalada</b>	2.131 MW	2.091 MW

Mediante los recursos de la velocidad de viento hallados[19], se crea la curva de generación de los micro-generadores eólicos, graficada en la figura 26:



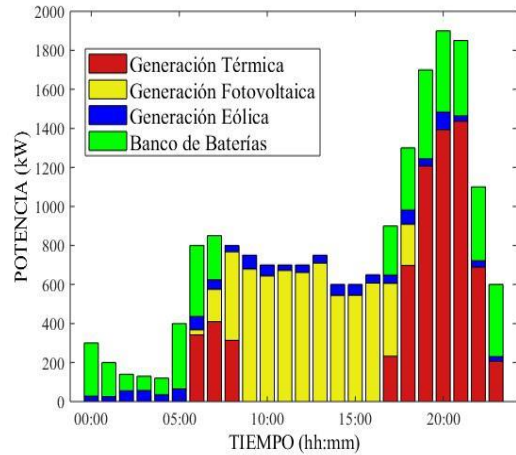
**Figura 26.** Curva de Potencia generada por micro-generadores eólicos.

La potencia eólica máxima obtenida es de aproximadamente el 10% de la potencia instalada demostrando que no es factible el uso de este tipo de generación por motivo de la velocidad de viento registrada.

### 5.3 Resultados de la evaluación del despacho energético.

Con base en los resultados obtenidos por la generación de los paneles fotovoltaicos de alta eficiencia, el banco de baterías, los micro-generadores eólicos y mediante el modelo para la

óptima gestión de la producción y despacho se obtuvo la siguiente curva:



**Figura 27.** Curva del óptimo despacho generada.

### 5.4 Resultados de evaluación del área de implementación.

De acuerdo con las ecuaciones (6) y (7) se determinaron las siguientes áreas a utilizarse para la central propuesta, en esta se muestra la diferencia entre la aplicación de los paneles de alta y baja eficiencia.

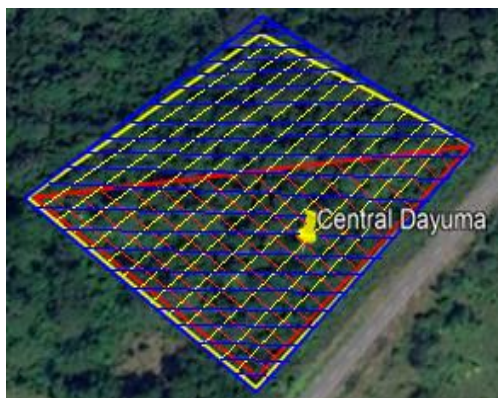
**Tabla 13:** Área calculada para la implementación de los paneles fotovoltaicos

Área Calculada de implementación		
	Alta eficiencia	Baja eficiencia
<b>Área paneles</b>	18 350 m <sup>2</sup>	19 872 m <sup>2</sup>
<b>Área para elementos adyacentes</b>	500 m <sup>2</sup>	500 m <sup>2</sup>
<b>Área total</b>	18 850 m <sup>2</sup>	20 372 m <sup>2</sup>
<b>Diferencia de superficie por tipo de panel</b>		1522 m <sup>2</sup>
<b>Área actual y diferencia con área de implementación (expansión)</b>		
<b>Área real actual</b>		10 170 m <sup>2</sup>
<b>Área por expandir</b>	8680 m <sup>2</sup>	10202 m <sup>2</sup>

Hay que tener en cuenta que se ha propuesto que los micro-generadores eólicos, por ser elementos verticales, se coloquen alrededor del área total con una distancia entre cada uno de ellos de 50m para evitar turbulencias generadas por sus aspas.

En la tabla 13 se puede observar las diferentes áreas a emplazar y la diferencia entre el área actual y el área a utilizar, es decir el terreno que se debe expandir de la superficie existente.

En la figura 30 se puede observar tanto el área actual como las áreas al implementar los paneles de alta y baja eficiencia.



**Figura 28.** Áreas actual y propuesta para la implementación de la central en base a los paneles de alta y baja eficiencia a utilizar.

### 5.5 Resultados del análisis medio ambiental.

En primer lugar, para determinar la factibilidad de suplantar la generación térmica, desde el punto de vista medio ambiental se definió la cantidad de CO<sub>2</sub> emitida por la central netamente térmica y también de la central ERNC/térmica calculada en el óptimo despacho, mediante la ecuación (16) teniendo en cuenta la cantidad de emisión anual.

**Tabla 14:** Cantidad de CO<sub>2</sub> por tipo de central

<b>Cantidad anual de CO<sub>2</sub> liberada</b>	
<b>Tipo de Central</b>	<b>Valor (toneladas)</b>
<b>1 Térmica Neta</b>	5585,15 tCO <sub>2</sub>
<b>2 Térmica/ERNC</b>	2158,94 tCO <sub>2</sub>

También se determinó la cantidad aproximada de árboles ubicados en el área necesaria para implementar la central ERNC y su nivel de absorción de CO<sub>2</sub>, mediante las ecuaciones (17) y (18).

**Tabla 15:** Análisis CO<sub>2</sub> fijado por árboles anualmente

<b>Análisis de CO<sub>2</sub> fijado por árboles existentes</b>		
<b>Número</b>		
<b>1 aproximado de árboles</b>		2170
<b>Cantidad de CO<sub>2</sub> fijado por los árboles anualmente</b>		86,72 tCO <sub>2</sub>

## 6. Conclusiones

Cabe recalcar que el aporte de esta investigación es de relevante importancia para el desarrollo e implementación de centrales ERNC, puesto que demuestra su óptimo funcionamiento y remarca su aporte ante un manejo sustentable del medio ambiente.

Mediante los resultados obtenidos en la evaluación de recursos se determina que en la central Dayuma existe una cantidad de radiación adecuada para la instalación, con una irradiancia máxima de 1085 W/m<sup>2</sup> y 1021 W/m<sup>2</sup> promedio, irradiancias óptimas para el uso de paneles fotovoltaicos, mientras que para la aplicación de energía eólicas se evidencia que existe una velocidad del viento promedio de 3.4 m/s poco adecuada. En cuanto a la óptima gestión de la producción se observa que no es posible suplantar en totalidad a la central térmica existente, sin embargo, se destaca una notable sustitución del 62% de la producción térmica por energías renovables.

En cuanto al controlador difuso que es el tópico en el que se centró esta investigación, se puede visualizar de forma notable que tiene mejores resultados que los controladores convencionales, al presentar una curva

de generación más estable y localización del punto de máxima transferencia de potencia más eficiente, ya que demuestra una producción energética mayor tanto en los paneles de baja eficiencia 1.987 MW frente a 1.908 MW como de alta eficiencia 2.085 MW frente a 2.067 MW en su punto de potencia máxima en comparación con un controlador convencional P&O.

La variación entre los paneles de alta y baja eficiencia es la cantidad de unidades necesarias para la implementación de la central, teniendo una diferencia de 806 paneles, esto a su vez también está directamente relacionado con el área física a utilizarse puesto que la diferencia del área total es de 1522 m<sup>2</sup>.

En cuanto al aspecto medio ambiental se demuestra que la sustitución es realmente favorable puesto que se reduce en un 60% la emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) anual, mientras que, al talar los árboles necesarios para la implementación, solo se elimina una absorción de CO<sub>2</sub> del 1.5 % del total emitido por la central térmica.

## 7. Trabajos Futuros

En base a los resultados obtenidos en este tema de investigación, se puede tomar como punto de partida para realizar un análisis netamente económico de la central ERNC propuesta, ya sea costos de inversión y recuperación de capital, mantenimiento y despacho.

También se podría utilizar como guía el modelo lógico difuso para la obtención del MPPT para su implementación en diferentes casos de estudio.

## 8. Referencias

[1] B. Khan, *Non-Conventional Energy Resources*. New Delhi, 2006.  
 [2] V. Alcántara and E. Padilla, “Análisis de las emisiones de CO<sub>2</sub> y sus

factores explicativos en las diferentes áreas del mundo,” 2006.

[3] T. Smith and R. Smith, “Ecología,” 6th ed., M. Romo, Ed. Madrid: Pearson, 2012, p. 682.

[4] F. Valencia, “Producción de energía eléctrica. factor esencial de seguridad,” 2011.

[5] APPA, “Impactos ambientales de la producción de electricidad,” 2014.

[6] Jorge Salamanca, “Celdas fotovoltaicas de alta eficiencia y sistema de paneles solares del CUBESEAT Colombia,” 2012.

[7] F. Barbosa and C. Cuji, “Modelamiento de la producción energética entre un sistema de generación fotovoltaico de alta eficiencia y un sistema convencional,” 2017. [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14361>. [Accessed: 22-Nov-2019].

[8] E. Salazar and D. Carrión, “Análisis del factor de rendimiento y eficiencia para centrales de generación de energía solar fotovoltaica,” Quito, 2016.

[9] G. Hiroki, G. Hai-Jiao, and O. Ichinokura, “A micro wind power generation system using permanent magnet reluctance generator - IEEE Conference Publication,” 2009. [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/5279286>. [Accessed: 13-Jan-2020].

[10] C. Carlosama and A. Cabreara, “Implementación del prototipo de un sistema para microgeneración eólica,” Universidad Técnica del Norte, Imbabura, 2019.

[11] O. Zebraoui and M. Bouzi, “Fuzzy Logic Based MPPT Control for a PV /Wind Hybrid Energy System,” in *Proceedings of 2017 International Renewable and Sustainable Energy Conference, IRSEC 2017*, 2018.

[12] E. Baethge, A. Berzoy, V. Guzmán, and M. Giménez, “Nuevo sistema de control para el seguimiento del punto de máxima potencia en

paneles solares basado en el control predictivo de corriente de convertidores cc-cc,” 2011.

[13] V. Paredes, “Simulación mediante Psim de algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia en sistemas fotovoltaicos,” 2014.

[14] N. Echeverrá, M. Judewicz, L. Strack, and S. González, “Algoritmo MPPT de conductancia incremental con Doble Cota,” 2014.

[15] S. Yamakura and K. Kesamaru, “Dynamic simulation of PMSG small wind turbine generation system with HCS-MPPT control,” 2013. [Online]. Available:

<https://bibliotecas.ups.edu.ec:2095/document/6401797>. [Accessed: 14-Jan-2020].

[16] A. Muñoz, “Emulación de un aerogenerador conectado a la red a través de un sistema experimental Back-to-Back mediante la técnica ‘Hardware in the Loop,’” 2016.

[17] T. Arrendondo, “Introducción a la Lógica Difusa,” 2014.

[18] F. Sancho, “Introducción a la Lógica Difusa, conceptos y ejemplos.,” 2019. [Online]. Available: <http://www.cs.us.es/~fsancho/?e=97>. [Accessed: 10-Jun-2020].

[19] NASA, “POWER Data Access Viewer.” [Online]. Available: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>. [Accessed: 27-Jul-2020].

[20] SunPower, “SunPower® X-Series Residential DC | X22-370 | SunPower.” [Online]. Available: <https://us.sunpower.com/solar-resources/sunpower-x-series-residential-dc-x22-370>. [Accessed: 16-Jan-2020].

[21] DAH SOLAR, “DPH72.”

[22] S. M. Moreno, “Diseño de una central fotovoltaica de 100kW,” 2006.

[23] D. Coleman, J. Araiza, and L. Gaillac, “A123 grid battery system single rack

evaluation,” *World Electr. Veh. J.*, vol. 5, no. 2, pp. 360–369, 2012.

[24] ENAIR, “Technical Specifications E200,” Castellana.

[25] C. D’negri and E. L. De Vito, “Introducción al razonamiento aproximado: lógica difusa,” *Rev. Argentina Med. Respir. Año*, vol. 6, 2006.

[26] C. Gonzáles, “Lógica Difusa ,” 2011.

[27] I. H. Altas and A. M. Sharaf, “A generalized direct approach for designing fuzzy logic controllers in MATLAB/SIMULINK GUI environment,” 2007.

[28] S. Sanahuja, “Sistemas de Control con Lógica Difusa: Métodos de Mamdani y de Takagi-Sugeno-Kang (TSK),” Univesitat Jaume, 2017.

[29] T. A. Hadi, H. P. Putra, H. Suryoatmojo, and M. Ashari, “Integration of Hybrid PV/Wind Generation System Using Fuzzy MPPT in Grid Connected System for Remote Area,” *MATEC Web Conf.*, vol. 59, p. 02001, 2016.

[30] T. Bogaraj, J. Kanakaraj, and J. Chelladurai, “Modeling and simulation of stand-alone hybrid power system with fuzzy MPPT for remote load application,” *Arch. Electr. Eng.*, vol. 64, no. 3, pp. 487–504, Sep. 2015.

[31] A. M. Yousef, G. El-Saady, and F. K. Abu-Elyouser, “Fuzzy logic controller for a photovoltaic array system to AC grid connected,” in *2016 Saudi Arabia Smart Grid Conference, SASG 2016*, 2017.

[32] K. L. Shenoy, C. Gurudas Nayak, and R. P. Mandi, “Fuzzy Controller Based Grid Integration of Hybrid Solar Photovoltaic and DFIG Wind Energy System to Improve Power Quality,” *Appl. Math. Inf. Sci.*, vol. 13, no. S1, pp. 447–457, 2019.

[33] M. Venkatesan, D. Nanjundappan, and R. Rejeswari, “A fuzzy logic based three phase inverter with single DC source for grid

- connected PV system employing three phase transformer,” *Int. J. Renew. ENERGY Res.*, vol. 5, 2015.
- [34] J. Cueva and A. Águila, “Modelo óptimo de despacho económico de sistemas de generación considerando restricciones de inercia,” Quito, 2020.
- [35] R. Pachacama and E. García, “Respuesta de la demanda sobre tarifas de energía eléctrica mediante la asignación óptima de recursos en microrredes inteligentes conectadas a la red eléctrica.,” Quito, 2020.
- [36] IRENA, “Renewable Power Generation Costs in 2019,” */publications/2020/Jun/Renewable-Power-Costs-in-2019*, 2020.
- [37] Oficina catalana del cambio climático., “Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI),” Cataluña, 2013.
- [38] H. Lenin, J. Oscullo, and CENACE, “Factor Anual de Emisión de CO<sub>2</sub> Producido por el Parque Generador del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador, Mediante la Aplicación de la Metodología de la Convención Marco Sobre el Cambio Climático UNFCCC, para el Periodo 2009-2014 ,” *Rev. Politécnica*, vol. 37, no. 1, 2016.
- [39] G. Quadri, “Bases de Política en Materia de Cambio Climático,” 2009.
- [40] J. Túqueres and C. Jumbo, “Cálculo del contenido de carbono del estrato arbóreo del bosque de la estación científica Kutukú, parroquia Sevilla de oro, cantón Macas. ,” Universidad Politécnica Salesiana, Quito, 2016.
- [41] MGM International, “Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eficiencia Energética,” CAF, 2018.
- [42] CONELEC and CIE, “Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica,” Quito, 2008.
- [43] CELEC EP Termopichincha, “Ficha ambiental y plan de manejo ambiental para la central termoeléctrica Dayuma 2MW,” Quito, 2014.
- [44] CENACE, “Informe Anual 2018,” 2019.
- [45] C. C. Yépez, F. V. Lara, C. C. Vargas, L. R. Iturralde, A. V. Zambrano, and O. M. Cruz, “Árboles dispersos y su efecto en la productividad de los potreros en la amazonía ecuatoriana,” *La Granja*, vol. 27, no. 1, pp. 64–76, Mar. 2018.
- [46] MAE and FAO, “Propiedades anatómicas, físicas y mecánicas de 93 especies forestales.,” Quito, 2014.

**9. Estado del arte.**  
**9.1 Matriz de estado del arte**

<b>ÓPTIMA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ALTA EFICIENCIA Y MICRO-GENERACIÓN EÓLICA BASADO EN LÓGICA DIFUSA.</b>																								
DATOS					TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	LÓGICA DIFUSA	PANELES DE ALTA EFICIENCIA	MICROGENERACIÓN EÓLICA	ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES	MEDIO AMBIENTE	CONTROL LÓGICO DIFUSO	DIMENSIONAMIENTO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA	EVALUACION DE RECURSOS ENERGÉTICOS	ÓPTIMO DESPACHO ENERGÉTICO	NIVEL DE IRRADIANCIA	EFICIENCIA DE PANELES SOLARES	VELOCIDAD DEL VIENTO	AREA DE IMPLEMENTACIÓN	CONTROL LÓGICO DIFUSO PARA LA OBTENCIÓN DEL MPP	CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DE CENTRALES	ALGORITMO PARA LA ÓPTIMA GESTIÓN DE PRODUCCIÓN	CÁLCULO DE EMISIÓN Y FIJACIÓN DE CO2	CANTIDAD ÓPTIMA DE PANELES FOTOVOLTAICOS	OBTENCIÓN DEL MPP	OBTENCIÓN DE NIVELES DE CONTAMINACIÓN
1	2006	Non-Conventional Energy Resources	India	328				X	X	X	X						X	X	X			X		X
2	2006	Análisis de las emisiones de CO2 y sus factores explicativos en las diferentes áreas del mundo	España	263					X												X			X
3	2012	Ecología	España	1954					X												X			
4	2011	Producción de energía eléctrica. Factor esencial de seguridad	España	4				X			X													
5	2014	Impactos ambientales de la producción de electricidad	España	15				X		X	X			X	X	X	X							
6	2012	Celdas fotovoltaicas de alta eficiencia y sistema de paneles solares del CUBESEAT Colombia	Colombia	6	X					X				X	X				X			X		

# ÓPTIMA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ALTA EFICIENCIA Y MICRO-GENERACIÓN EÓLICA BASADO EN LÓGICA DIFUSA.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	LÓGICA DIFUSA	PANELES DE ALTA EFICIENCIA	MICROGENERACIÓN EÓLICA	ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES	MEDIO AMBIENTE	CONTROL LÓGICO DIFUSO	DIMENSIONAMIENTO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA	EVALUACION DE RECURSOS ENERGÉTICOS	ÓPTIMO DESPACHO ENERGÉTICO	NIVEL DE IRRADIANCIA	EFICIENCIA DE PANELES SOLARES	VELOCIDAD DEL VIENTO	AREA DE IMPLEMENTACIÓN	CONTROL LÓGICO DIFUSO PARA LA OBTENCIÓN DEL MPP	CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DE CENTRALES	ALGORITMO PARA LA ÓPTIMA GESTIÓN DE PRODUCCIÓN	CÁLCULO DE EMISIÓN Y FIJACIÓN DE CO2	CANTIDAD ÓPTIMA DE PANELES FOTOVOLTAICOS	OBTENCIÓN DEL MPP	OBTENCIÓN DE NIVELES DE CONTAMINACIÓN
7	2017	Modelamiento de la producción energética entre un sistema de generación fotovoltaico de alta eficiencia y un sistema convencional	Ecuador	36		X	X			X	X			X	X		X							
8	2016	Análisis del factor de rendimiento y eficiencia para centrales de generación de energía solar fotovoltaica	Ecuador	10		X	X			X	X			X	X									
9	2009	A micro wind power generation system using permanent magnet reluctance generator - IEEE Conference Publication	España	13			X	X			X				X	X								
10	2019	Implementación del prototipo de un sistema para microgeneración eólica	Ecuador	11			X	X			X				X									
11	2017	Fuzzy Logic Based MPPT Control for a PV /Wind Hybrid Energy System	Marruecos	10	X	X	X	X	X		X			X	X	X		X					X	
12	2011	Nuevo sistema de control para el seguimiento del punto de máxima potencia en paneles solares basado en el control predictivo de corriente de convertidores cc-cc	Ecuador	7	X			X	X	X	X			X				X					X	



# ÓPTIMA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ALTA EFICIENCIA Y MICRO-GENERACIÓN EÓLICA BASADO EN LÓGICA DIFUSA.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	LÓGICA DIFUSA	PANELES DE ALTA EFICIENCIA	MICROGENERACIÓN EÓLICA	ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES	MEDIO AMBIENTE	CONTROL LÓGICO DIFUSO	DIMENSIONAMIENTO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA	EVALUACION DE RECURSOS ENERGÉTICOS	ÓPTIMO DESPACHO ENERGÉTICO	NIVEL DE IRRADIANCIA	EFICIENCIA DE PANELES SOLARES	VELOCIDAD DEL VIENTO	AREA DE IMPLEMENTACIÓN	CONTROL LÓGICO DIFUSO PARA LA OBTENCIÓN DEL MPP	CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DE CENTRALES	ALGORITMO PARA LA ÓPTIMA GESTIÓN DE PRODUCCIÓN	CÁLCULO DE EMISIÓN Y FIJACIÓN DE CO2	CANTIDAD ÓPTIMA DE PANELES FOTOVOLTAICOS	OBTENCIÓN DEL MPP
13	2014	Simulación mediante Psim de algoritmos de seguimiento del punto de máxima potencia en sistemas fotovoltaicos	España	12			X			X								X				X	
14	2014	Algoritmo MPPT de conductancia incremental con Doble Cota	Argentina	7			X						X									X	
15	2013	Dynamic simulation of PMSG small wind turbine generation system with HCS-MPPT control	Japón	23			X	X							X							X	
16	2016	Emulación de un aerogenerador conectado a la red a través de un sistema experimental Back-to-Back mediante la técnica 'Hardware in the Loop	Chile	5			X								X								
17	2014	Introducción a la Lógica Difusa	Chile	63	X				X														
18	2019	Introducción a la Lógica Difusa, conceptos y ejemplos.	España	41	X				X														
19	2018	NASA, POWER Data Access Viewer.	USA	1			X			X	X			X	X								
20	2019	SunPower® X-Series Residential DC   X22-370   SunPower.	USA	1										X							X		
21	2018	DAH SOLAR, "DPH72"	China	1										X							X		

# ÓPTIMA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ALTA EFICIENCIA Y MICRO-GENERACIÓN EÓLICA BASADO EN LÓGICA DIFUSA.

ITEM	DATOS				TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	LÓGICA DIFUSA	PANELES DE ALTA EFICIENCIA	MICROGENERACIÓN EÓLICA	ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES	MEDIO AMBIENTE	CONTROL LÓGICO DIFUSO	DIMENSIONAMIENTO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA	EVALUACION DE RECURSOS ENERGÉTICOS	ÓPTIMO DESPACHO ENERGÉTICO	NIVEL DE IRRADIANCIA	EFICIENCIA DE PANELES SOLARES	VELOCIDAD DEL VIENTO	AREA DE IMPLEMENTACIÓN	CONTROL LÓGICO DIFUSO PARA LA OBTENCIÓN DEL MPP	CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DE CENTRALES	ALGORITMO PARA LA ÓPTIMA GESTIÓN DE PRODUCCIÓN	CÁLCULO DE EMISIÓN Y FIJACIÓN DE CO2	CANTIDAD ÓPTIMA DE PANELES FOTOVOLTAICOS	OBTENCIÓN DEL MPP	OBTENCIÓN DE NIVELES DE CONTAMINACIÓN
22	2006	Diseño de una central fotovoltaica de 100kW	España	211		X		X			X	X		X	X				X			X		
23	2012	A123 grid battery system single rack evaluation	USA	4						X														
24	2020	Technical Specifications E200	USA	1			X	X						X				X						
25	2006	Introducción al razonamiento aproximado: lógica difusa	Argentina	175	X					X														
26	2011	Lógica Difusa	España	294	X					X														
27	2007	A generalized direct approach for designing fuzzy logic controllers in MATLAB/SIMULINK GUI environment	Turquía	143	X					X														
28	2017	Sistemas de Control con Lógica Difusa: Métodos de Mamdani y de Takagi-Sugeno-Kang (TSK)	España	32	X					X														
29	2016	Integration of Hybrid PV/Wind Generation System Using Fuzzy MPPT in Grid Connected System for Remote Area	India	94	X	X	X	X		X	X			X	X	X		X	X			X	X	
30	2015	Modeling and simulation of stand-alone hybrid power system with fuzzy MPPT for remote load application	India	23	X	X	X	X		X	X			X	X	X		X	X				X	

# ÓPTIMA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ALTA EFICIENCIA Y MICRO-GENERACIÓN EÓLICA BASADO EN LÓGICA DIFUSA.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	LÓGICA DIFUSA	PANELES DE ALTA EFICIENCIA	MICROGENERACIÓN EÓLICA	ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES	MEDIO AMBIENTE	CONTROL LÓGICO DIFUSO	DIMENSIONAMIENTO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA	EVALUACION DE RECURSOS ENERGÉTICOS	ÓPTIMO DESPACHO ENERGÉTICO	NIVEL DE IRRADIANCIA	EFICIENCIA DE PANELES SOLARES	VELOCIDAD DEL VIENTO	AREA DE IMPLEMENTACIÓN	CONTROL LÓGICO DIFUSO PARA LA OBTENCIÓN DEL MPP	CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DE CENTRALES	ALGORITMO PARA LA ÓPTIMA GESTIÓN DE PRODUCCIÓN	CÁLCULO DE EMISIÓN Y FIJACIÓN DE CO2	CANTIDAD ÓPTIMA DE PANELES FOTOVOLTAICOS	OBTENCIÓN DEL MPP	OBTENCIÓN DE NIVELES DE CONTAMINACIÓN
31	2017	Fuzzy logic controller for a photovoltaic array system to AC grid connected	Arabia Saudita	72	X	X		X	X	X			X	X			X					X		
32	2019	Fuzzy Controller Based Grid Integration of Hybrid Solar Photovoltaic and DFIG Wind Energy System to Improve Power Quality	India	15	X	X	X	X	X	X			X	X	X		X	X			X	X		
33	2015	A fuzzy logic based three phase inverter with single DC source for grid connected PV system employing three phase transformer	India	18	X	X		X	X	X			X	X			X				X	X		
34	2020	Modelo óptimo de despacho económico de sistemas de generación considerando restricciones de inercia	Ecuador	1							X	X	X					X	X			X		
35	2019	Respuesta de la demanda sobre tarifas de energía eléctrica mediante la asignación óptima de recursos en microrredes inteligentes conectadas a la red eléctrica.	Ecuador	1							X	X	X					X	X			X		
36	2020	Renewable Power Generation Costs in 2019	EAU	239		X	X	X	X									X	X					X
37	2013	Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)	España	347					X							X				X				X

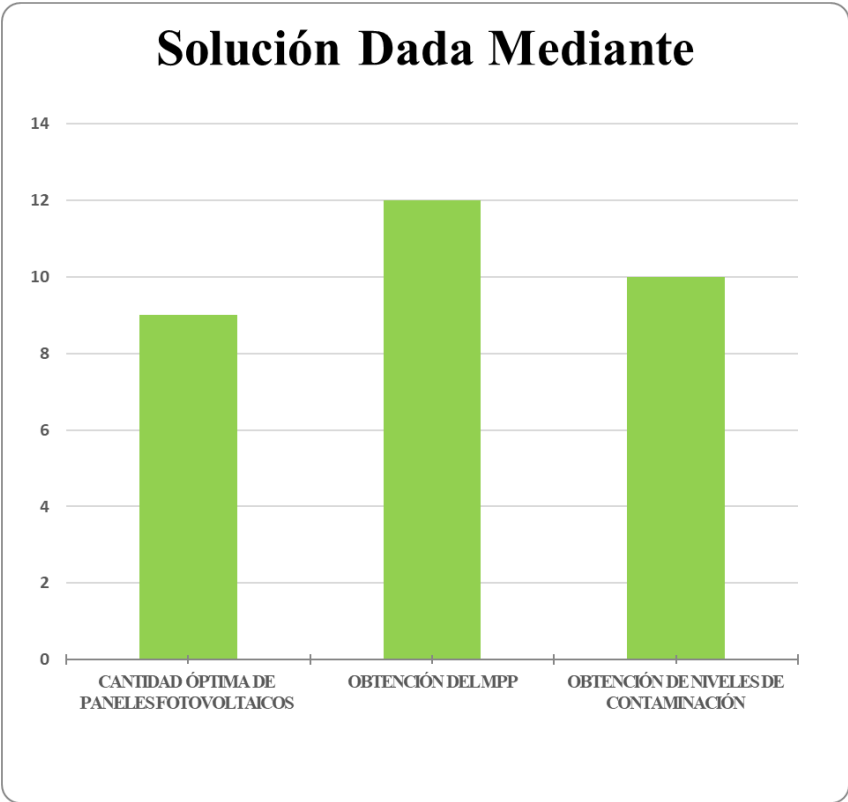
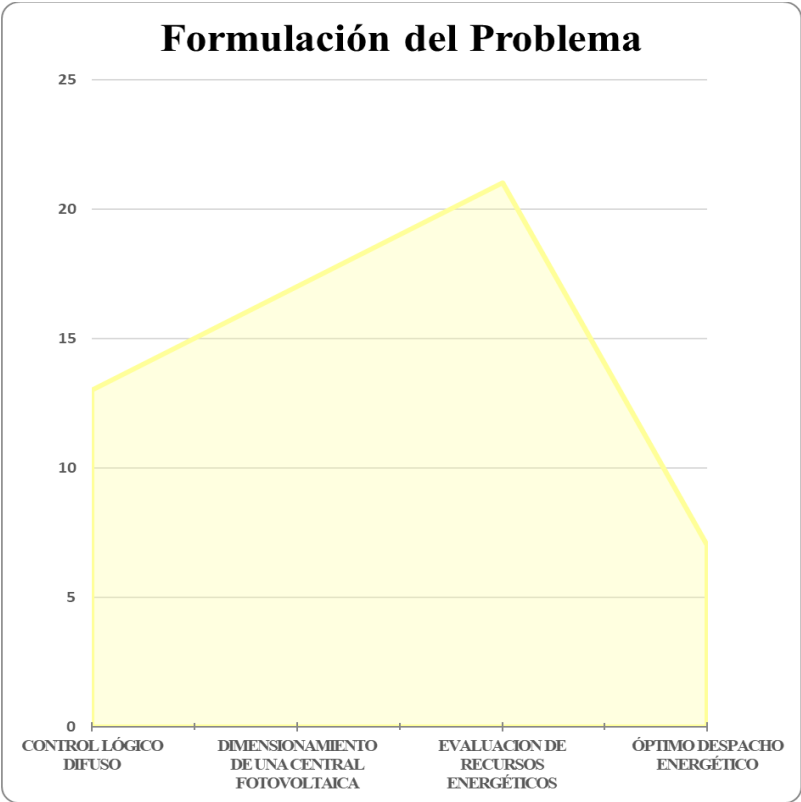
## ÓPTIMA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ALTA EFICIENCIA Y MICRO-GENERACIÓN EÓLICA BASADO EN LÓGICA DIFUSA.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	LÓGICA DIFUSA	PANELES DE ALTA EFICIENCIA	MICROGENERACIÓN EÓLICA	ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES	MEDIO AMBIENTE	CONTROL LÓGICO DIFUSO	DIMENSIONAMIENTO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA	EVALUACION DE RECURSOS ENERGÉTICOS	ÓPTIMO DESPACHO ENERGÉTICO	NIVEL DE IRRADIANCIA	EFICIENCIA DE PANELES SOLARES	VELOCIDAD DEL VIENTO	AREA DE IMPLEMENTACIÓN	CONTROL LÓGICO DIFUSO PARA LA OBTENCIÓN DEL MPP	CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DE CENTRALES	ALGORITMO PARA LA ÓPTIMA GESTIÓN DE PRODUCCIÓN	CÁLCULO DE EMISIÓN Y FIJACIÓN DE CO2	CANTIDAD ÓPTIMA DE PANELES FOTOVOLTAICOS	OBTENCIÓN DEL MPP	OBTENCIÓN DE NIVELES DE CONTAMINACIÓN
38	2016	Factor Anual de Emisión de CO2 Producido por el Parque Generador del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador mediante la Aplicación de la Metodología de la Convención Marco Sobre el Cambio Climático UNFCCC para el Periodo 2009-2014	Ecuador	76							X	X							X	X				X
39	2009	Bases de Política en Materia de Cambio Climático	México	485				X	X											X				X
40	2016	Cálculo del contenido de carbono del estrato arbóreo del bosque de la estación científica Kutukú	Ecuador	2					X											X				X
41	2018	Guía para la Evaluación de Elegibilidad de Financiación de Proyectos de Eficiencia Energética	Perú	39		X		X	X		X	X	X	X	X	X		X		X	X			X
42	2008	Atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica	Ecuador	856				X	X		X			X										
43	2014	Ficha ambiental y plan de manejo ambiental para la central termoeléctrica Dayuma 2MW	Ecuador	3					X			X				X				X				X

# ÓPTIMA GESTIÓN DE LA PRODUCCIÓN ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS DE ALTA EFICIENCIA Y MICRO-GENERACIÓN EÓLICA BASADO EN LÓGICA DIFUSA.

ITEM	DATOS				TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA				PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	PAÍS	CITAS	LÓGICA DIFUSA	PANELES DE ALTA EFICIENCIA	MICROGENERACIÓN EÓLICA	ENERGÍAS RENOVABLES NO CONVENCIONALES	MEDIO AMBIENTE	CONTROL LÓGICO DIFUSO	DIMENSIONAMIENTO DE UNA CENTRAL FOTOVOLTAICA	EVALUACION DE RECURSOS ENERGÉTICOS	ÓPTIMO DESPACHO ENERGÉTICO	NIVEL DE IRRADIANCIA	EFICIENCIA DE PANELES SOLARES	VELOCIDAD DEL VIENTO	AREA DE IMPLEMENTACIÓN	CONTROL LÓGICO DIFUSO PARA LA OBTENCIÓN DEL MPP	CÁLCULO E IMPLEMENTACIÓN DE CENTRALES	ALGORITMO PARA LA ÓPTIMA GESTIÓN DE PRODUCCIÓN	CÁLCULO DE EMISIÓN Y FIJACIÓN DE CO2	CANTIDAD ÓPTIMA DE PANELES FOTOVOLTAICOS	OBTENCIÓN DEL MPP	OBTENCIÓN DE NIVELES DE CONTAMINACIÓN
44	2019	CENACE, Informe Anual 2018	Ecuador	653				X				X				X								
45	2018	Árboles dispersos y su efecto en la productividad de los potreros en la Amazonía ecuatoriana	Ecuador	18					X											X				X
46	2014	Propiedades anatómicas físicas y mecánicas de 93 especies forestales.	Ecuador	195					X		X									X				
			CANTIDAD:		13	12	11	26	12	13	17	21	7	15	16	11	8	8	12	4	10	9	10	11

**9.2 Resumen e Indicadores del estado del arte**



# Temática

