

**ÓPTIMA UBICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA
MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA**

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

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

**TEMA:
ÓPTIMA UBICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA
MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA**

**AUTOR:
JIMMY ALEXANDER JARAMILLO SARCHE**

**TUTOR:
MANUEL DARIO JARAMILLO MONGE**

Quito, D.M. agosto 2021

Jimmy Alexander Jaramillo Sarche

**ÓPTIMA UBICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA
MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA**

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2021

Ingeniería Eléctrica

Breve reseña histórica e información de contacto.



Jimmy Alexander Jaramillo Sarche (Y'1990). Realizó sus estudios secundarios en la Unidad Educativa Fiscomisional Don Bosco de La Tola, se graduó de bachiller Técnico Industrial en Electricidad y Electrónica. Egresado de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se fundamenta en la óptima ubicación de generación distribuida para minimización de pérdidas en un sistema de distribución utilizando lógica difusa. jjaramillosa@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Manuel Dario Jaramillo Monge (Y'1990). Realizó sus estudios superiores en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE de Quito, donde se graduó de Ingeniero Electrónico en Automatización y Control en el 2014. Además, cursó estudios de posgrado en la Universidad de Newcastle, Reino Unido, donde obtuvo el título en Máster en Electrical Power. Actualmente es profesor a tiempo completo de la Universidad Politécnica Salesiana.

mjaramillo@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

©2021 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Manuel Dario Jaramillo Monge declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación *ÓPTIMA UBICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA* realizado por Jimmy Alexander Jaramillo Sarche, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito D.M., agosto de 2021

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Manuel Dario Jaramillo Monge', written over a horizontal line.

.....
Manuel Dario Jaramillo Monge

C.C.: 1714298005

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Jimmy Alexander Jaramillo Sarche, con documento de identificación N° 1718122722, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de grado/titulación intitulado: *ÓPTIMA UBICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO 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.

Quito, D.M., agosto de 2021



.....
Jimmy Alexander Jaramillo Sarche

C.C.: 1718122722

1. ÍNDICE GENERAL

1	Índice General	
2	Introducción	2
3	Marco teórico	3
3.1	Energía Fotovoltaica	3
3.2	Recurso Solar	3
3.3	Generación Distribuida	4
3.4	Sistemas Fotovoltaicos	4
3.4.1	Inversor	4
3.5	Modelo del generador fotovoltaico	5
3.6	Sistema de distribución	6
3.7	Lógica Difusa	7
3.7.1	Conjunto Difuso	7
3.7.2	Función de Pertenencia o Membresía.....	7
3.7.3	Entrada Difusa y tipos de conjuntos difusos.....	7
3.7.4	Diseño de conjuntos difusos	8
3.8	Función Objetivo.....	9
4	Formulación del problema	10
4.1	Metodología	10
4.2	Sistema de prueba.....	15
4.3	Generación distribuida implementada.....	15
5	Casos de estudio	16
5.1	Ubicación óptima de la generación distribuida	20
6	Análisis de Resultados	21
7	Conclusiones	23
8	Trabajos futuros.....	24
9	Referencias	24
10	Estado del arte	27
11	Resumen de indicadores	30

2. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Implementación del sistema fotovoltaico al sistema de distribución.	2
Figura 2. Generación Distribuida.....	4
Figura 3. Sistema Fotovoltaico conectado a la subestación de distribución.	4
Figura 4. Circuito equivalente de una célula fotovoltaica.....	5
Figura 5. Sistema de Distribución Eléctrico.	6
Figura 6. Función de Pertenencia.....	7
Figura 7. Función escalón Unitario.....	7
Figura 8. Función de pertenencia Triangular.....	8
Figura 9. Función de pertenencia Trapezoidal.....	8
Figura 10. Función de pertenencia Gaussiana.....	8
Figura 11. Función de pertenencia Sigmoide.....	8
Figura 12. Proceso Lógica Difusa.....	8
Figura 13. Sistema fotovoltaico implementado a la barra 1.....	12
Figura 14. . Reglas de la lógica difusa.....	14
Figura 15. Resultado de la Lógica Difusa.....	15
Figura 16. Sistema de Distribución 34 nodos de la IEEE.....	15
Figura 17. Sistema Fotovoltaico con módulo SunPower.	16
Figura 18. Sistema de Distribución SIN Generación Fotovoltaica.	16
Figura 19. Rango fotovoltaico de 50kw.....	19
Figura 20. Rango fotovoltaico de 75kw.....	19
Figura 21. Rango fotovoltaico de 100kw.....	19
Figura 22. Rango-salida control fuzzy.....	19
Figura 23. Reglas fuzzy de acuerdo con la categoría de 50kW.....	21
Figura 24. Reglas fuzzy de acuerdo con la categoría de 75kW.....	22
Figura 22. Reglas fuzzy de acuerdo con la categoría - 100kW.....	22
Figura 22. Categorías de reglas por control fuzzy - 50kw y 75kw.....	22
Figura 22. Categorías de reglas por control fuzzy - 50kw y 100kw.....	22
Figura 22. Categorías de reglas por control fuzzy - 75kw y 100kw.....	23
Figura 29 . Indicador de la temática.....	30
Figura 30 . Indicador de formulación del problema.....	31
Figura 31 . Indicador de solución.....	32

3. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Valores iniciales de voltaje y potencia	11
Tabla 2. Desviación Objetivo de PV 50kW	12
Tabla 3. Desviación Objetivo de PV 75kW	12
Tabla 4. Desviación Objetivo de PV 100kW	13
Tabla 5. Categorías asignadas	12
Tabla 6. Desv. Obj. 50Kw ordenada en rangos.....	13
Tabla 7. Desv. Obj. 75Kw ordenada en rangos.....	14
Tabla 8. Desv. Obj. 100Kw ordenada en rangos.....	14
Tabla 9. Pérdidas en las líneas de transmisión.....	16
Tabla 10. Implementación con 50Kw	17
Tabla 11. Implementación con 75Kw	17
Tabla 12. Implementación con 100Kw	18
Tabla 13. Pseudocódigo Base de Conocimientos.	17
Tabla 14. Reglas de la categoría Muy Bueno	18
Tabla 15. Reglas de la categoría Bueno	18
Tabla 16. Reglas de la categoría Regular.....	18
Tabla 17. Reglas de la categoría Malo	18
Tabla 18. Reglas de la categoría Muy Malo	18
Tabla 19. Parámetros Sistema Fotovoltaico 75kW	19
Tabla 20. Parámetros Sistema Fotovoltaico 100kW	19
Tabla 21. Parámetros salida control fuzzy	20
Tabla 22. Mejor implementación de 100kW.....	20
Tabla 23. Reglas del controlador fuzzy para la salida de 100kW	20
Tabla 24. Desviación objetivo en el escenario de 100kW	21

ÓPTIMA UBICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA

Resumen

El objetivo del presente trabajo científico se centró en la búsqueda de un adecuado sistema fotovoltaico debido a su facilidad de instalación y su bajo costo de mantenimiento a comparación de otros sistemas de generación distribuida; para esto se pretendió encontrar un sistema de distribución de treinta y cuatro barras, así como también un sistema fotovoltaico efectivo al momento de ser implementado como generación distribuida y lograr de esta manera minimizar las pérdidas en las líneas de transmisión a lo largo de todo el sistema.

Este proceso permitió la óptima ubicación de generación distribuida para encontrar el nodo ideal en donde se implementó el sistema fotovoltaico. Dentro del cual, se ingresaron reglas en la base de conocimientos que permitieron seleccionar la mejor ubicación en base a las cinco categorías (Muy Bueno, Bueno, Regular, Malo y Muy Malo); y utilizando como valores de potencia de Generación Distribuida 50, 75 y 100 kW.

Los resultados del estudio permiten poner a consideración que al implementar un sistema de generación distribuida se pueden lograr mejoras en la seguridad, confiabilidad y operatividad del sistema.

Palabras Clave: Minimización, Generación de energía distribuida, Sistema Fotovoltaico, Líneas de distribución, Control Difuso, Optimización, Subestación.

Abstract

The objective of this scientific investigation was the search for an adequate photovoltaic system due to its ease of installation and its low maintenance cost compared to other distributed generation systems; to accomplish this, it was intended to find a distribution system of thirty-four bars, as well as an effective photovoltaic system to being implemented as distributed generation and in this way to minimize losses in transmission lines throughout the entire system.

This process allowed the optimal distributed generation location to find the ideal node where the photovoltaic system was implemented. Within which, rules were entered in the knowledge base that allowed selecting the best location based on the five categories (Very Good, Good, Fair, Bad and Very Bad); and using 50, 75 and 100 kW as Distributed Generation power values.

The results of the study allow us to consider that by implementing a distributed generation system, improvements in the security, reliability and operability of the system can be achieved.

Keywords: Minimization, Distributed power generation, Photovoltaic systems, Power distribution lines, Fuzzy control, Optimization, Substation.

2 Introducción

El mundo actual presenta un crecimiento de la población urbana a gran escala, lo cual deviene en el apareamiento de problemáticas a nivel social, siendo una ordado a partir de su estudio para plantear posibles soluciones al respecto [2],[1].

En la actualidad existen varias propuestas que pretenden contestar a la alta demanda de energía eléctrica, así pues, tenemos alternativas como: la eólica, solar, mareomotriz, geotérmica, entre otras [3]. Con estos antecedentes, se ha considerado estudiar los modos en los que se puede mejorar el manejo de la energía eléctrica a través de las unidades de generación distribuida implementadas como una alternativa para reducir pérdidas [4].

La generación distribuida es uno de los campos más amplios para estudios académicos, siendo así la generación fotovoltaica limpia para producir electricidad y amigable con el medio

de ellas la sobreexplotación de recursos [1]. En este sentido, se ha considerado importante tomar en cuenta la fuerte demanda de suministro eléctrico existente en las zonas de crecimiento urbano como un problema a ser ab

ambiente [1]. Es por ello, que el sistema fotovoltaico implementado tiene como finalidad minimizar las pérdidas ocurridas en el sistema eléctrico de potencia y por ende mejorar los perfiles de voltaje tomando en cuenta la potencia activa inyectada en cada nodo del sistema [3],[5]. Con base en estos planteamientos se realizó un caso tomado de los archivos de Matworks, el cual fue modificado y configurado para que la conexión sea compatible en cada nodo del sistema de distribución [4],[6]. Dentro de este campo existen estudios previos donde se ocupan métodos de estudio como métodos analíticos, heurísticos, metaheurísticos y métodos basados en la programación matemática [2].

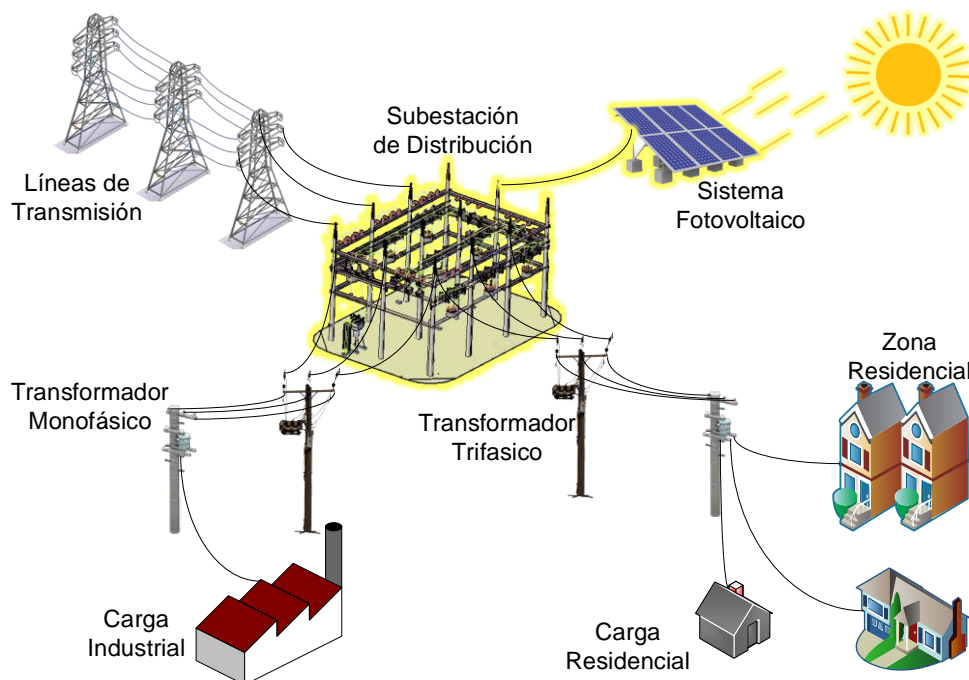


Figura 1. Implementación del sistema fotovoltaico al sistema de distribución.

3 Marco teórico

3.1 Energía Fotovoltaica

Hoy en día la energía solar fotovoltaica es considerada una de las fuentes de energía más importantes de estudiar ya que su recurso se lo considera inagotable, y si bien es cierto la energía proveniente del sol se la transforma en energía eléctrica, es importante destacar que este proceso se lo obtiene mediante un dispositivo electrónico llamado celular solar o en otros casos también es llamado celda fotovoltaica, ésta transformación de energía es más conocida en el ámbito científico como el efecto fotovoltaico [7],[8].

Si se coloca un panel solar en dirección al sol se puede adquirir su energía ya que internamente posee celdas fotovoltaicas, dichas celdas transformaran la energía proveniente del sol a energía eléctrica de una característica particular “corriente continua”. La mencionada corriente continua se la puede almacenar en baterías las cuales pueden ser utilizadas posteriormente, de la misma manera la corriente continua obtenida se la puede convertir en corriente alterna por medio de un inversor anteriormente mencionado con la finalidad de inyectar energía directamente a la red eléctrica [8],[7].

Tipos de instalaciones fotovoltaicas:

- ✓ Conectadas a la red de distribución.
- ✓ Aisladas de la red.

Para ambos tipos de instalación es necesario prever la radiación solar, $G[W/m^2]$, de la ubicación geográfica en donde será instalada. Es muy importante determinar el recurso solar disponible, ya que la radiación solar sobre la superficie de células fotovoltaicas determinará la potencia obtenida en una instalación fotovoltaica [7].

3.2 Recurso Solar

El recurso solar es una fuente de energía inagotable ya que su fuente radica en el sol y será obtenida por medio de los paneles solar. Es por ello por lo que se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones al momento de instalar los paneles solares [9],[7]:

- La correcta ubicación de panel solar permite anualmente alcanzar un nivel de radiación mayor a los $2000kWh/m^2$.
- Se considera un mejor desempeño del panel solar a temperatura baja como es el caso de $5^{\circ}C$ ya que permite una refrigeración más recomendable del panel solar.
- También existe circunstancias adversas que trascienden un mal desempeño del panel solar:
 - Es recomendables no colocar en lugares donde exista la presencia de polvo ya que si el panel permanece la mayoría de tiempo sucio esto lleva a un mal desempeño de las celdas solar y no obtienen toda la energía proveniente del sol.
 - Se debe tomar en cuenta al instalar los paneles solares cerca del agua de mar ya que las sales que pueden llegar a futuro corroer el panel solar y posteriormente se ira deteriorando con el paso del tiempo.
 - Algo muy importante a tomar en cuenta al momento de instalar los paneles solares es verificar si en el sitio no se producen sombras ya que éstas producirán pérdidas al momento de generar energía eléctrica.
- Es recomendable instalar los paneles solares en zonas cercanas a las subestaciones eléctricas ya que implica una conexión más fuerte a la fuente de energía, consiguiendo así evitar problemas de calidad en cuanto al servicio eléctrico [7].

3.3 Generación Distribuida

La Generación Distribuida está proyectada para suministrar energía eléctrica a las regiones que se encuentran a una gran distancia de las redes de distribución, ya sea en comunidades o sectores que no disponen de este servicio, donde los costos de transmisión o distribución son muy altos [4],[10].

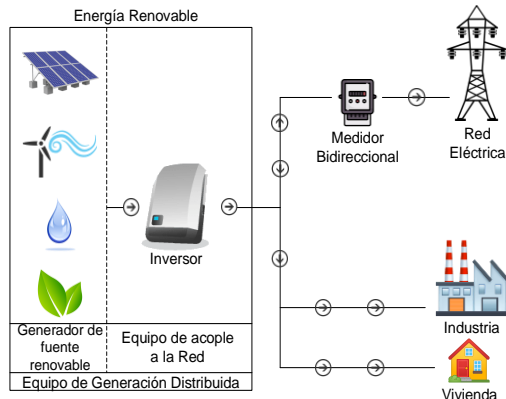


Figura 2. Generación Distribuida.

En los últimos años la generación distribuida ha tomado gran importancia en muchos países pues han optado por liberar sus mercados eléctricos y darle un nuevo enfoque a la evolución de las nuevas tecnologías [1].

Este tipo de generación también es conocida como generación dispersa o difusa ya que su aplicación descentraliza los sistemas de generación tradicionales; y además uno de sus aspectos más importantes es la minimización de los costos de inversión lo cual permitirá mejorar los índices de calidad del servicio eléctrico [4],[1].

La generación distribuida se la puede describir en tres diferentes puntos: es aquella en donde la conexión se encuentra cercana a la carga, también es aquella que permite una generación a pequeña, mediana y gran escala y por último es aquella que tiene la posibilidad de estar conectada como también de no estar conectada a la red de distribución [2].

La Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) define a la

generación distribuida como una planta de generación la cual es encargada de transportar la energía eléctrica al usuario final, como también es la que da apoyo al sistema de distribución el cual se encuentra conectado a los respectivos niveles de voltaje de la red [4],[2].

3.4 Sistemas Fotovoltaicos

La tecnología solar fotovoltaica consiste en hacer uso del sol para generar electricidad. Esta transformación de energía se realiza a partir de la conversión directa de la radiación por medio de las células instaladas en el panel solar, originando así el efecto fotovoltaico [5],[11].

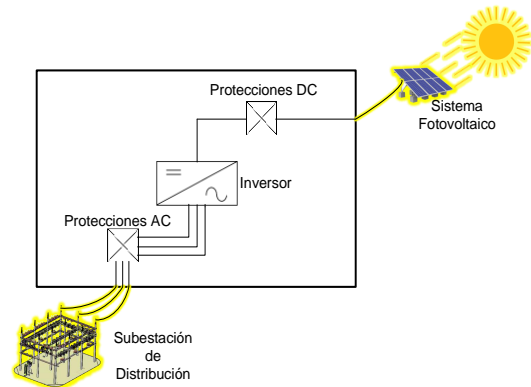


Figura 3. Sistema Fotovoltaico conectado a la subestación de distribución.

Hoy por hoy la energía solar fotovoltaica presenta un campo muy amplio dirigido a aplicaciones que trascienden el requerimiento de producir electricidad, tal es el caso de los sistemas fotovoltaicos autónomos o sistemas conectados a la red, sea cualquiera de los casos su objetivo es satisfacer las necesidades de los usuarios en cuanto al tema de la energía eléctrica ya que existen varios sectores que no disponen de una red eléctrica [5].

3.4.1 Inversor

El inversor fotovoltaico es uno de los elementos más importantes en una instalación solar fotovoltaica, pero sobre todo en las instalaciones de generación

conectadas a la red pues maximiza la producción de corriente del dispositivo [9].

Es por ello que convierte la corriente continua en corriente alterna para inyectarla a la red cumpliendo las características de amplitud, frecuencia y fase de la corriente de red [8],[9].

En ocasiones se suelen agrupar los módulos para generar con ello electricidad de forma masiva en las centrales de generación fotovoltaicas [8].

Actualmente, los semiconductores de potencia más utilizados en los inversores fotovoltaicos son los transistores de potencia MOSFET los cuales llegan a frecuencias de 10^8 Hz, así como también transistores de potencia IGBT los cuales alcanzan frecuencias de 10^5 Hz. La sinusoidal ideal es aquella que alcanza mayores frecuencias lo cual reduce distorsión armónica y mejora el factor de potencia [9].

Los inversores se clasifican en [9]:

No controlados: Tienen la gran ventaja de un funcionamiento sencillo y un bajo costo, pero no tiene ningún grado de libertad con un factor de potencia fijo y una corriente distorsionada.

Controlados: Estos inversores son controlados conmutados por línea, los cuales utilizan tecnología de interruptores basados en tiristores que permiten manejar potencias superiores a 10MW.

3.5 Modelo del generador fotovoltaico

Para modelar el circuito básico es importante mencionar los elementos que lo conforman, siendo estos: la fuente de corriente conectada en paralelo a un diodo, así también una resistencia R_S conectada en serie y una resistencia R_P conectada en paralelo [12],[13].

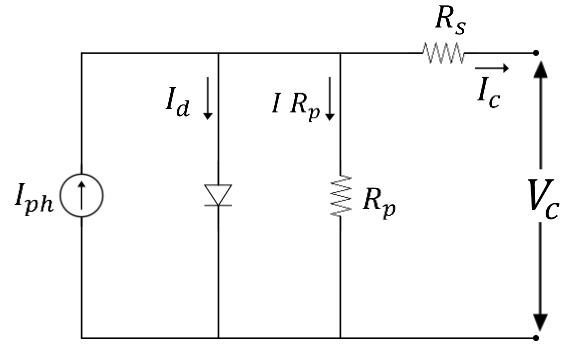


Figura 4. Circuito equivalente de una célula fotovoltaica.

Por lo tanto, la resistencia R_S representa las pérdidas causadas por uniones físicas mientras que la resistencia R_P representa las imperfecciones producidas por el lazo PN el cual establece la célula, es por tal razón que se le atribuye la responsabilidad de permitir o no permitir la presencia de corrientes de fugas en el diodo [14]. Por otro la irradiancia incidente produce una corriente en el panel solar la cual esta simbolizada por I_{ph} [15],[13].

$$I_{ph} = \frac{G}{G_{ref}} \left(I_{sc_ref} + K_{SCT}(T_c - T_{c_ref}) \right)$$

En donde [16]:

G : Irradiación

G_{ref} : Irradiación de referencia global (W/m²)

K_{SCT} : Coeficiente de temperatura de la corriente de cortocircuito (A/°K).

T_c : Temperatura de la célula

T_{c_ref} : Temperatura de referencia (°C).

La corriente inversa de saturación I_{rs} es:

$$I_{rs} = I_{rs_ref} \left(\frac{T_c}{T_{c_ref}} \right)^3 \exp \left[\frac{qE_g}{n\beta} \left(\frac{1}{T_c} - \frac{1}{T_{c_ref}} \right) \right]$$

Donde:

I_{rs} : Corriente inversa de saturación del diodo.

n : Factor de idealidad de la célula.

E_g : Banda prohibida de energía (eV).

β : Constante de Boltzmann.
 q : Carga del electrón.

y la corriente de salida de la célula es:

$$I_c = I_{ph} - I_{rs} \left(\exp \left[\frac{q}{n\beta T_c} (V_c + R_s I_c) \right] - 1 \right) - \frac{(V_c + R_s I_c)}{R_p}$$

En donde:

I_c : Corriente de salida de la célula.
 V_c : Tensión de salida de la célula.
 R_s : Resistencia en serie de la célula (Ω).
 R_p : Resistencia en paralelo de la célula (Ω).

Además un panel está conformado con n_s células conectadas en serie, que para efecto de conseguir una conveniente relación entre voltaje y corriente se conecta con N_p paneles en paralelo y N_s paneles en serie de tal manera que [13]:

$$\begin{cases} I_p = N_p I_c \\ V_p = N_s n_s V_c \end{cases}$$

Donde:

I_p : Corriente de salida del generador.
 V_p : Tensión de salida del generador.
 N_p : Numero de módulos en paralelo.
 N_s : Numero de módulos en serie.

La corriente I_p que es la corriente total de un generador fotovoltaico se representa a partir de la siguiente ecuación:

$$I_p = N_p I_{ph} - N_p I_{rs} \left(\exp \left[\frac{q}{n\beta T_c} \left(\frac{V_p}{n_s N_s} + \frac{R_s I_p}{N_p} \right) \right] - 1 \right) - \frac{N_p}{R_p} \left(\frac{V_p}{n_s N_s} + \frac{R_s I_p}{N_p} \right)$$

Se debe tomar en cuenta que el modelo de generador fotovoltaico está representado por una ecuación algebraica no lineal, y por tal motivo en la ecuación

no se incluye los términos diferenciales [15].

3.6 Sistema de distribución

El sistema eléctrico de distribución es aquel que engloba la subestación eléctrica refiriéndose a características de media tensión y que lleva el servicio a los clientes finales [17].

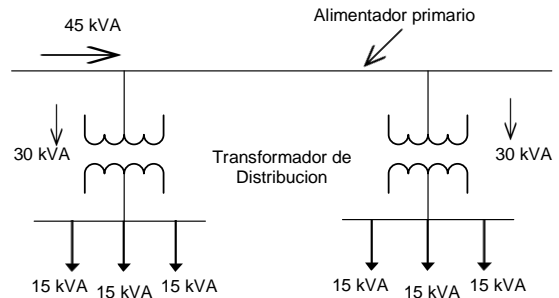


Figura 5. Sistema de Distribución Eléctrico.

Los sistemas de distribución cumplen un papel de vital importancia en los sistemas eléctricos de potencia, puesto que la potencia generada se comercializa en toda la extensión del territorio con el fin de llegar a todo consumidor final [18],[3]. Es por ello que la generación producida se efectúa en magnos bloques los cuales están agrupados en grandes plantas y conlleva una distribución en territorios que tienen cargas de diferentes magnitudes [17],[6].

Y es por tales razones que la red de distribución presenta un análisis más complicado a diferencia del sistema eléctrico de potencia [19].

Cabe recalcar que un sistema eléctrico de potencia siempre tendrá maquinas o elementos eléctricos principales como centrales generadoras, líneas de transmisión a lo largo de todo el sistema, así como también sus sistemas de distribución y todo operando en conjunto [19].

Tomando en cuenta que en operación normal las máquinas trabajan en paralelo sin dejar de lado el trabajo de la

frecuencia al ser constante en todo el sistema eléctrico de potencia [2],[20].

3.7 Lógica Difusa

Creada por Lofti Alí Asker Zaden en 1969, la lógica difusa se utiliza para dar solución a problemas con ambigüedad (lenguaje natural) que no se pueden resolver con programación convencional [21],[22].

Los así llamados problemas con ambigüedad son señales de la naturaleza que no son siempre cero y uno, sino que la función está sobre la característica de la variable que se mide así por ejemplo mucho, todo o casi nada [14],[21].

En Lógica Difusa se expresa por comprensión usando función de membresía, no se usan valores exactos como cero y uno, pero sí aquellos comprendidos entre cero y uno que pueden indicar valores intermedios [23].

3.7.1 Conjunto Difuso

Por otro lado, la Lógica Difusa contiene tanto los valores de cero como también valores de uno, por lo cual se puede considerar como un superset o dicho en otras palabras una extensión de la lógica exacta.

El conjunto difuso es la agrupación de elementos comunes representados por una función de membresía.

Asumiendo que X es un set, un set difuso A en X es asociado con una función característica: $U_A(X)$ [24].

3.7.2 Función de Pertenencia o Membresía

El valor que se determina a $U_F(X)$ concierne al grado en donde el valor X posee el atributo F [16].

Dicho de otra forma, la función $U_F(X)$ señala cual es el grado de pertenencia de X al atributo F .

Es por ello por lo que la función $U_F(X)$ se llama función de pertenencia del atributo F .

Dadas las consideraciones, la función está relacionada con el grado de imprecisión que corresponde a la característica de la variable medida tomando en cuenta que no es una probabilidad [16].

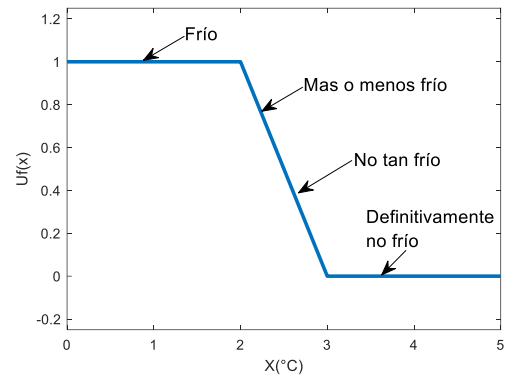


Figura 6. Función de Pertenencia

3.7.3 Entrada Difusa y tipos de conjuntos difusos

Puede contener varios conjuntos difusos y se los puede representar con una variable lingüística en lenguaje natural [25].

Tipos de conjuntos difusos:

Unitario: Sirve para representar señales digitales y describir el comportamiento de un sensor digital. Grado de pertenencia del 100% cuando es uno y del 0% cuando es cero [26].

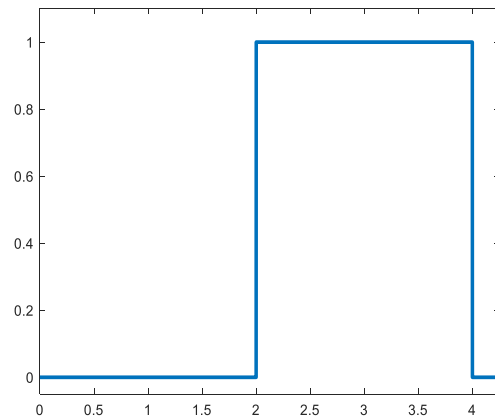


Figura 7. Función escalón Unitario

Triangular: se la utiliza cuando no hay que controlar mucho, pendiente ascendente y descendente [26].

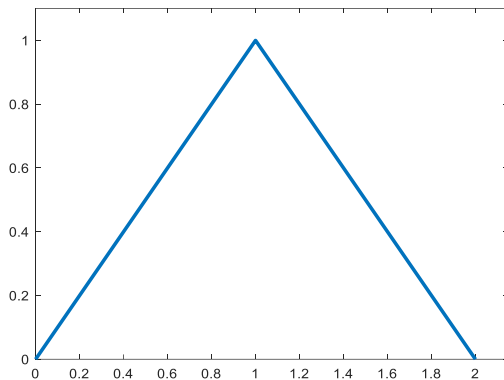


Figura 8. Función de pertenencia Triangular

Trapezoidal: Representa conjuntos correspondientes a líneas [24].

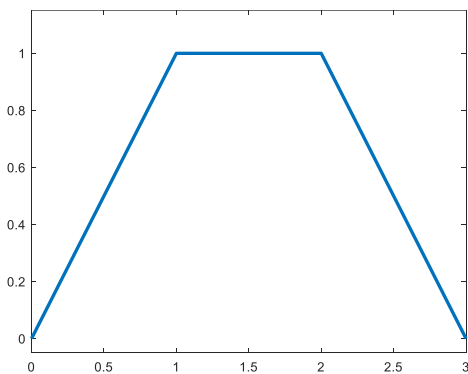


Figura 9. Función de pertenencia Trapezoidal

Campana de Gauss: es la que permite aumentar la precisión de la variable continua en una distribución de probabilidad [24].

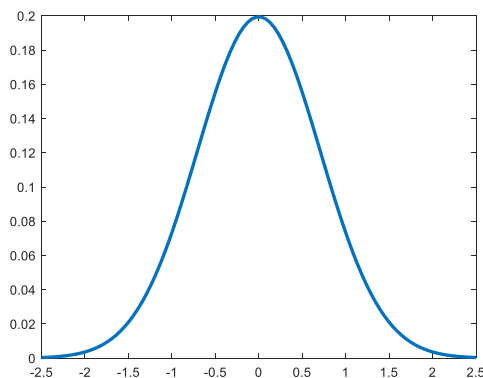


Figura 10. Función de pertenencia Gaussiana

Sigmoide: se utiliza para una mayor exactitud.

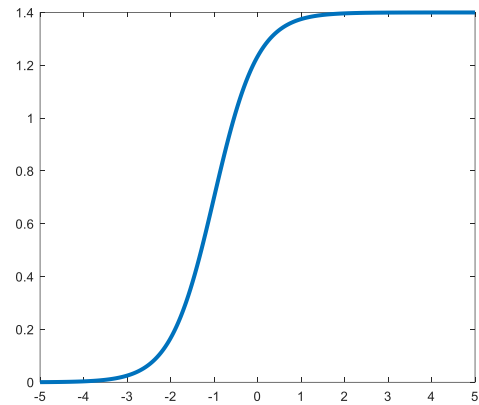


Figura 11. Función de pertenencia Sigmoide

3.7.4 Diseño de conjuntos difusos

Regla 1: Una entrada difusa siempre se dibuja empezando en uno y se termina dibujando en 1 [26],[27].

Regla 2: Los conjuntos difusos deben solaparse obligatoriamente, si no es con al menos 50% las salidas salen escalonadas.

Regla 3: Los conjuntos difusos pueden ser asimétricos [27].

Regla 4: Se dibujan los conjuntos en números impares, se cumplen más cuando se tiene un *setpoint*.

- *Proceso de Lógica Difusa*

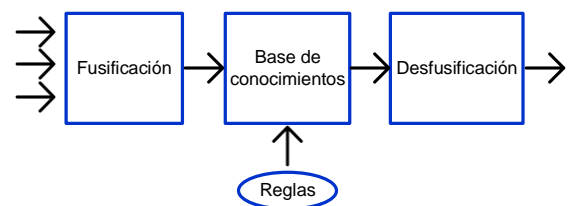


Figura 12. Proceso Lógica Difusa

- *Fusificación*

Consiste en transformar todas las entradas difusas de los sensores en señales entre cero y uno a través de las funciones de membresía [28],[29].

- *Base de conocimientos*

Es un conjunto de operaciones semánticas que permiten realizar la inferencia para encontrar una solución, la capacidad de encontrar soluciones frente a una evidencia dada [30],[22].

- *Desfusificación*

Proceso de transformación de señales análogas que salen con rango de 0 a 1 a señales en rangos que los actuadores puedan entender [22],[29].

3.8 Función Objetivo

La función objetivo es deducir el valor de las variables determinadas en una función, ya sea para minimizar o maximizar tomando en cuenta el conjunto de ecuaciones, siendo éstas las restricciones, y por las cuales se limitan cada variable a los valores que posiblemente puede sustentar [31].

Se puede tomar como ejemplo algún fenómeno en donde intervenga un determinado número de variables que no sean negativas, dicho en otras palabras, sean variables positivas o cero y por ende se puedan encadenar entre sí, utilizando las relaciones de desigualdad o como también igualdad, siendo así que expresen las restricciones de cualquier fenómeno en curso con el fin de optimizarlo para lo cual se pueda formular como un modelo de programación matemática. Es por ello que se puede enunciar utilizando expresiones lineales y que se refieren a una “programación lineal” [32].

La palabra “programación” no se refiere al proceso informático, sino que es utilizado como sinónimo de planeación. La programación lineal trata sobre la planeación de las actividades para obtener un resultado óptimo, siendo el resultado que mejor alcance la meta especificada [32],[31].

La programación lineal trata acerca de la maximización o minimización de una función lineal de varias variables primarias, llamada función objetivo, con sujeción a un conjunto de igualdades o desigualdades lineales llamadas restricciones con la condición adicional de que ninguna de las variables puede ser negativa [31].

Expresión matemática

La función objetivo es una expresión matemática la cual tiene como propósito minimizar o maximizar una expresión. A la función objetivo lineal se la representa de la siguiente manera:

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + \dots + C_nX_n$$

De la misma manera se puede utilizar la notación de:

$$Z = \sum_{j=1}^n C_jX_j$$

Donde

Z=función objetivo

C_j =valor unitario

X_j =proceso

Dependiendo la estructura del modelo y según las variables de ingreso se puede tener como objetivo la maximización en cualquier problema planteado, así como también se puede determinar problemas de minimización comenzando por varios criterios con la finalidad de encontrar su optimización.

Los C_1, C_2, \dots, C_n son los coeficientes de ingreso de acuerdo al tipo de problema planteado mientras que las X_1, X_2, \dots, X_n son variables de decisión que determinan el alcance del objetivo concordado a las restricciones presentadas en el problema [32].

4 Formulación del problema

En la actualidad, es evidente el crecimiento exponencial que está teniendo la población humana, tanto en áreas rurales como urbanas; esto incide en varias problemáticas a nivel social ya que el aumento de usuarios implica una mayor demanda de energía eléctrica produciendo un aumento de líneas de transmisión a las actualmente instaladas, esto a su vez genera la construcción e instalación de nuevas líneas de transmisión para llevar el servicio a nuevos clientes y de esta manera evitar cortes del servicio eléctrico que generan un descontento a los usuarios. Sin embargo, se analiza que el aumento de líneas de transmisión implica un aumento de pérdidas en las mismas.

En este sentido, la demanda de suministro eléctrico constituye un problema que requiere de atención para trabajos de estudio e investigación que permitan encontrar mecanismos y generar nuevas alternativas para mejorar la eficiencia de un sistema eléctrico de potencia. Siendo así una de las posibles soluciones el sol ya que es la fuente de energía renovable con mayor potencial, una de las fuentes inagotables más abundante, limpia y viable dado que el resto de las renovables dependen de él. Es por todo esto que, la generación fotovoltaica a partir del sol es una alternativa viable como recurso renovable.

En este sentido, lo primero a encontrar es un sistema de distribución creado en Matlab/Simulink que para este caso de estudio consta de 34 barras y permite la implementación de generación distribuida. Por otro lado, se implementan unidades de generación distribuida al sistema eléctrico de potencia las cuales permiten reducir las pérdidas y que estas sean lo más bajas posibles a lo largo de todas las líneas de transmisión, para ello se busca el lugar óptimo a inyectar potencia activa encontrando así el lugar

ideal mediante lógica difusa mejorando la eficiencia de la red eléctrica.

4.1 Metodología

Tomando en cuenta el problema al que nos vemos enfrentados se procede a buscar: un sistema de generación fotovoltaica, el cual actualmente tiene como objetivo controlar a lo largo de todo el proceso un factor de potencia unitario, el mencionado factor tiene la gran tarea de inyectar la máxima potencia activa al sistema eléctrico de potencia, esto se lo realiza mediante un inversor electrónico el cual aprovecha de la mejor manera la fuente de energía que para el estudio realizado es el sol.

Para ello fue imprescindible analizar el inversor electrónico debido a que es el dispositivo encargado de transformar la energía continua procedente del sol, a una energía alterna la cual posteriormente será inyectada a la red eléctrica, cabe resaltar que el mencionado dispositivo está creado a base de la electrónica en donde internamente están conformados por transistores de potencia.

Luego es importante establecer la función objetivo donde el método matemático de resolución permita optimizar el resultado respetando así las restricciones señaladas y tomando en cuenta las variables del conjunto establecido, así como también las especificaciones técnicas que limiten la libertad de elección ya que en cada nodo se conectara de uno en uno la generación fotovoltaica a fin de adquirir las mediciones correspondientes en cada nodo del sistema.

Lo primero que se realiza es comprobar si el sistema de distribución creado en Matlab/Simulink ejecuta correctamente su flujo de carga y de esta manera tomar en cuenta todas las mediciones obtenidas de la simulación, priorizando los valores iniciales de potencia activa en cada nodo del sistema, así como también sus valores de voltaje

medidos en las líneas de transmisión como se indican en la tabla 1.

Tabla 1. Valores iniciales de voltaje y potencia

No. Barra	Nodo IEEE	Voltaje (V)	Potencia (W)
1	800	24900.0000	3356000
2	802	24874.5111	3352000
3	806	24854.8316	3234000
4	808	24822.8872	3115000
5	810	24794.9994	2997000
6	812	24768.2403	2878000
7	814	24737.9251	1654000
8	816	24731.0468	527700
9	818	24722.9995	412500
10	820	24719.1218	297500
11	822	24717.6279	183500
12	824	24717.1729	68490
13	826	24853.6643	78750
14	828	24851.0806	78750
15	830	24850.7690	42750
16	832	24850.7271	6750
17	834	24753.8587	1106000
18	836	24741.9166	1105000
19	838	24728.7307	989900
20	840	24718.1310	759500
21	842	24708.9257	644100
22	844	24698.4319	528800
23	846	24689.8127	413600
24	848	24681.7270	298500
25	850	24677.8259	183500
26	852	24676.3318	68480
27	854	24675.8841	0
28	856	24727.8998	1126000
29	858	24721.2155	375300
30	860	24717.8731	375300
31	862	24718.0096	114000
32	864	24716.8964	85490
33	888	24716.3403	56990
34	890	24716.1548	28500

Una vez verificado el correcto funcionamiento y además la correcta compilación del sistema de distribución de 34 barras, se procede a implementar la generación distribuida, la cual para el siguiente análisis se seleccionó el sistema de generación fotovoltaica, dicho sistema es implementado en cada barra permitiendo así inyectar potencia activa en cada nodo.

El sistema implementado fue tomado como modelo base de los archivos de Matworks, que posteriormente fue modificado y configurado cumpliendo las características de amplitud, frecuencia y fase de la corriente de red.

Consecutivamente, se realiza el análisis en tres diferentes escenarios con generación fotovoltaica (50 kW, 75kW y 100kW), de esta manera se puede apreciar cual escenario proporciona mejores resultados al momento de inyectar potencia activa, reduciendo así pérdidas en las líneas de transmisión que permiten verificar de acuerdo con los niveles de voltaje en cada barra.

Tabla 2. Desviación Objetivo de PV 50kW

Barras	Desviación Objetivo
1	0.3378927
2	0.33787002
3	0.337586576
4	0.337291628
5	0.336668472
6	0.337665568
7	0.336388732
8	0.335725748
9	0.336421524
10	0.337748644
11	0.337802224
12	0.336850836
13	0.337466812
14	0.337518288
15	0.338195332
16	0.337711118
17	0.337076092
18	0.336714284
19	0.3364297
20	0.335628152
21	0.336335496
22	0.336744036
23	0.335461136
24	0.337029244
25	0.337453816
26	0.332565564
27	0.337014892
28	0.337038876
29	0.336813708
30	0.336794796
31	0.336376
32	0.337137468
33	0.337332128
34	0.3367474

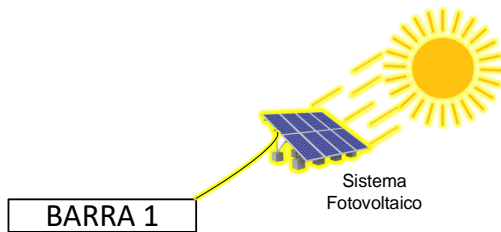


Figura 13. Sistema fotovoltaico implementado a la barra 1.

El sistema fotovoltaico es implementado uno por uno en cada nodo del sistema de treinta y cuatro barras y a la vez se toma valores de voltaje en el nodo aplicado y en el resto de los nodos para evaluar el efecto que produce en el resto de las barras. A

los mencionados valores se realiza un análisis en base a la función objetivo tomando en cuenta la variable de voltaje obtenida en cada simulación como se puede apreciar en las tablas 3, 4 y 5 respectivamente.

Luego para determinar la óptima ubicación con lógica difusa, lo primero es determinar las categorías que se necesitan para establecer las reglas del control fuzzy, para el presente estudio se realizaron cinco categorías (Muy Bueno, Bueno, Regular, Malo, Muy Malo) las cuales tienen los valores asignados de la función objetivo anteriormente investigados, como se indica en la tabla 6.

Tabla 3. Categorías asignadas

Categorías	Rango
Muy Bueno	0.3371 – 0.3378
Bueno	0.3379 – 0.3385
Regular	0.3386 – 0.3391
Malo	0.3392 – 0.3396
Muy Malo	0.3397 – 0.3401

Tabla 4. Desviación Objetivo de PV 75kW

Barras	Desviación Objetivo
1	0.337196444
2	0.338058198
3	0.338221528
4	0.338865116
5	0.33960704
6	0.34020386
7	0.341592428
8	0.34089754
9	0.341222248
10	0.341372852
11	0.34142738
12	0.341498596
13	0.338389052
14	0.338874688
15	0.338846896
16	0.338801608
17	0.34096192
18	0.340856044
19	0.340724416
20	0.3415242
21	0.34145426
22	0.3417426
23	0.341423508
24	0.34168476
25	0.342102036
26	0.341759048
27	0.341594524
28	0.340741916
29	0.340674636
30	0.340846376
31	0.341371104
32	0.34132918
33	0.34101108
34	0.341598572

Tabla 5. Desviación Objetivo de PV 100kW

Barras	Desviación Objetivo
1	0.337183752
2	0.337362052
3	0.337864596
4	0.337665944
5	0.338308872
6	0.338472932
7	0.338770772
8	0.338893092
9	0.339421976
10	0.339600252
11	0.339836908
12	0.338875824
13	0.337793628
14	0.337570984
15	0.337944336
16	0.3393546
17	0.338355236
18	0.338433944
19	0.33851732
20	0.3393984
21	0.339525316
22	0.339373692
23	0.338425912
24	0.339156328
25	0.339393084
26	0.33986956
27	0.338703016
28	0.339033108
29	0.33869164
30	0.338823476
31	0.3394145
32	0.339345768
33	0.34017516
34	0.339398596

Tabla 6. Desv. Obj. 50Kw ordenada en rangos

Barras	Desviación Objetivo
26	0.332565564
23	0.335461136
20	0.335628152
8	0.335725748
21	0.336335496
31	0.336376
7	0.336388732
9	0.336421524
19	0.3364297
5	0.336668472
18	0.336714284
22	0.336744036
34	0.3367474
30	0.336794796
29	0.336813708
12	0.336850836
27	0.337014892
24	0.337029244
28	0.337038876
17	0.337076092
32	0.337137468
4	0.337291628
33	0.337332128
25	0.337453816
13	0.337466812
14	0.337518288
3	0.337586576
6	0.337665568
16	0.33771118
10	0.337748644
11	0.337802224
2	0.33787002
1	0.3378927
15	0.338195332

A continuación, se ordena cada variable de la desviación objetivo según corresponda a su rango dentro de las categorías asignadas, tomando en cuenta que el valor entre más cercano a cero es mejor, para ello se presenta los tres escenarios tabla 7, 8 y 9 respectivamente.

Después se ingresan las reglas en la base de conocimientos del control fuzzy, así como también las tres variables de los escenarios analizados en base a sus tablas de desviación objetivo, como se indica en la figura 13, para ello se ingresan las variables en un conjunto difuso de tipo trapezoidal el cual permite ingresar un rango de valores obtenidos de la función objetivo.

Tabla 7. Desv. Obj. 75Kw ordenada en rangos

Barras	Desviación Objetivo
1	0.337196444
2	0.338058198
3	0.338221528
13	0.338389052
16	0.338801608
15	0.338846896
4	0.338865116
14	0.338874688
5	0.33960704
6	0.34020386
29	0.340674636
19	0.340724416
28	0.340741916
30	0.340846376
18	0.340856044
8	0.34089754
17	0.34096192
33	0.34101108
20	0.34115242
9	0.34122248
32	0.34132918
31	0.341371104
10	0.341372852
23	0.341423508
11	0.34142738
21	0.34145426
12	0.341498596
7	0.341592428
27	0.341594524
34	0.341598572
24	0.34168476
22	0.3417426
26	0.341759048
25	0.342102036

Tabla 8. Desv. Obj. 100Kw ordenada en rangos

Barras	Desviación Objetivo
1	0.337183752
2	0.337362052
14	0.337570984
4	0.337665944
13	0.337793628
3	0.337864596
15	0.337944336
5	0.338308872
17	0.338355236
23	0.338425912
18	0.338433944
6	0.338472932
19	0.33851732
29	0.33869164
27	0.338703016
7	0.338770772
30	0.338823476
12	0.338875824
8	0.338893092
28	0.339033108
24	0.339156328
32	0.339345768
16	0.3393546
22	0.339373692
25	0.339393084
20	0.3393984
34	0.339398596
31	0.3394145
9	0.339421976
21	0.339525316
10	0.339600252
11	0.339836908
26	0.33986956
33	0.34017516

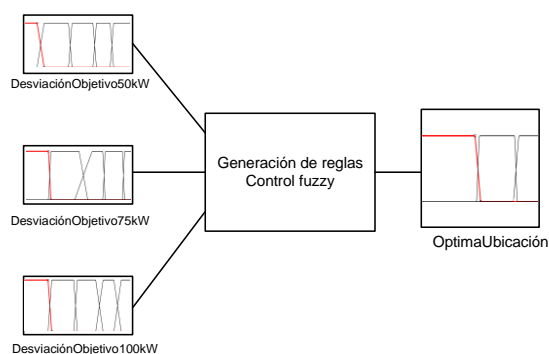


Figura 14. . Reglas de la lógica difusa

Finalmente, se ejecuta el control fuzzy dando un total de 125 combinaciones debido a las cinco categorías (Muy Bueno, Bueno, Regular, Malo, Muy Malo) y a los tres escenarios correspondientes (50Kw, 75Kw, 100kW), logrando de esta manera determinar en la salida de Escala Fuzzy cuál es la mejor ubicación a colocar la generación fotovoltaica en las barras del sistema de distribución, se observa en la figura 15.

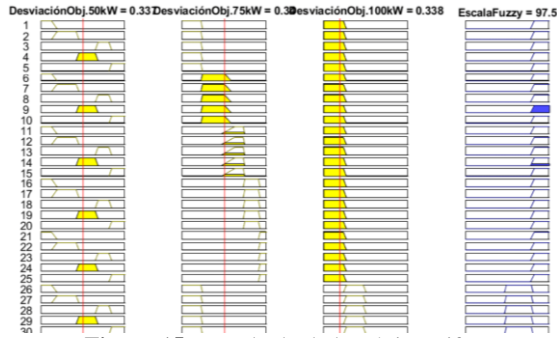


Figura 15. Resultado de la Lógica Difusa

4.2 Sistema de prueba

El presente sistema de distribución fue establecido en base a la IEEE POWER ENGINEERING SOCIETY, de donde se tomaron valores tanto de resistencia como de inductancia obtenidas en las diferentes configuraciones de cada nodo.

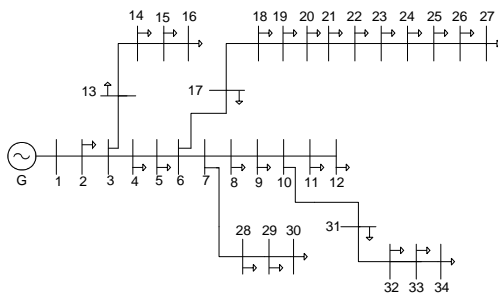


Figura 16. Sistema de Distribución 34 nodos de la IEEE

El sistema de distribución está construido de 34 barras, adicional a esto posee treinta y tres líneas de transmisión, como también veinte y nueve cargas y un generador [3]. En la Figura 16 se indica el diagrama unifilar de este sistema y en el cual se procedió a implementar la generación distribuida; bajo estos parámetros se detallan a posteriormente el caso de estudio.

4.3 Generación distribuida implementada

El sistema fotovoltaico implementado para el estudio es inicialmente un sistema de 250 KW obtenido de la base de datos del software MATLAB. El sistema que aquí se presenta utiliza un módulo SunPower SPR-305E-WHT-D con una potencia máxima de 305.226W y con 96 celdas por cada módulo.

Se realizaron modificaciones en la temperatura estableciéndola a 25 °C, la irradiancia del panel se cambió para considerarla constante a 1000W por cada metro cuadrado. Así mismo, se debe mencionar que para efectos del presente estudio se tomó como elemento importante la configuración de los parámetros serie y paralelo dentro del bloque PV Array puesto que, para llegar a valores requeridos de 50W, 75W y 100W los parámetros debían estar configurados, siendo los módulos en serie la opción para aumentar voltaje.

Este voltaje tenía que estar al mismo nivel que el sistema de distribución de 34 nodos el cual es de 25000V línea a línea, para ello la colocación de 50 módulos en serie permitió la obtención de un mismo voltaje para ser conectado al sistema de distribución.

Por otro lado, la implementación de módulos en paralelo consiguió un aumento en la corriente, y por ende un aumento en la potencia que permitió inyectar potencia activa al sistema de distribución. En este sentido, se especificaron 3 módulos en paralelo que permitieron obtener una potencia de 50kw, 5 módulos en paralelo una potencia de 75kw y 7 módulos en paralelo una potencia de 100kw.

El nivel de corriente fue importante ya que de éste se pudo obtener un aumento en la potencia que entregó el sistema fotovoltaico; lo que generó un aumento en la potencia activa mejorando los perfiles de voltaje en cada nodo del sistema.

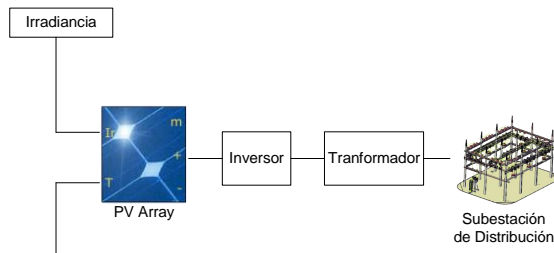


Figura 17. Sistema Fotovoltaico con módulo SunPower.

5 Casos de estudio

Para el presente caso de estudio lo primero fue la construcción del Sistema de Distribución de 34 barras, los valores ingresados para la construcción de las 34 barras se tomaron de la base de información de la IEEE; con estos datos se determinó el sistema de distribución de 34 barras funcional para luego establecer la Generación Distribuida a implementar, es decir, en este caso la generación fotovoltaica.

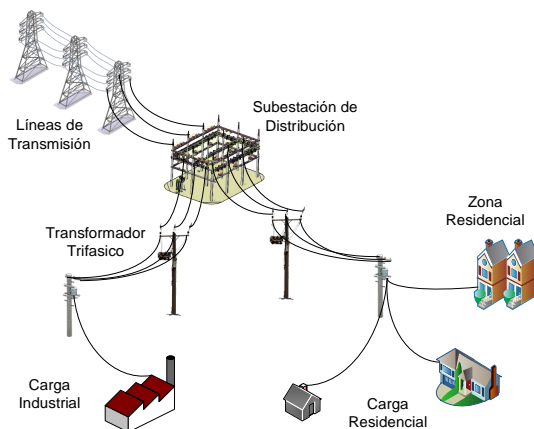


Figura 18. Sistema de Distribución SIN Generación Fotovoltaica.

Al momento de implementar la generación fotovoltaica en cada nodo se pudo constatar la cantidad de potencia activa inyectada a la red. Una vez determinada con tres valores de potencia diferentes los cuales son de 50kw, 75kw y 100kw se procedió primeramente a encontrar los valores de la desviación estándar ya que esta medida ofrece la información sobre la dispersión de la variable, basados en la variable de voltaje (V), los cuales se habían obtenido de los

perfiles de voltaje como resultado de inyectar potencia activa a cada barra del sistema de 34 barras.

En la tabla 2 se indican las pérdidas iniciales en lo que se refiere a la potencia activa, así como también se puede apreciar los perfiles de voltaje iniciales en el sistema eléctrico de potencia. Las pérdidas ocurridas a lo largo de las treinta y tres líneas de transmisión que posee el sistema de distribución serán posteriormente comparadas al momento de inyectar potencia activa con la ayuda de las unidades de generación fotovoltaica para de esta manera corroborar la minimización de pérdidas en las líneas de transmisión, así como también la mejora que produce en los perfiles de voltaje.

Tabla 9. Pérdidas en las líneas de transmisión.

Línea de transmisión	Potencia (W)	Voltaje (V)
1 – 2	4000	25.4889
2 – 3	118000	19.6795
3 – 4	119000	31.9444
3 – 13	3155250	1.1673
13 – 14	157500	2.5837
14 – 15	36300	0.312
15 – 16	36000	0.0419
4 – 5	118000	27.8878
5 – 6	119000	26.7591
6 – 17	1772000	14.3816
17 – 18	1000	11.9421
18 – 19	104010100	13.1859
19 – 20	230400	10.5997
20 – 21	115400	9.2053
21 – 22	115300	10.4938
22 – 23	115200	8.6192
23 – 24	115100	8.0857
24 – 25	115000	3.9011
25 – 26	115020	1.4941
26 – 27	68480	0.4477
6 – 7	1224000	30.3152
7 – 28	528000	10.0253
28 – 29	750700	6.6843
29 – 30	0	3.3424
7 – 8	1126300	6.8783
8 – 9	115200	8.0473
9 – 10	115000	3.8777
10 – 11	114000	1.4939
11 – 12	115010	0.4550
10 – 31	183500	1.1122
31 – 32	28510	1.1132
32 – 33	28500	0.5561
33 – 34	28490	0.1855

A continuación, se presenta una tabla que indica la desviación objetivo de cada barra para los tres sistemas fotovoltaicos:

Tabla 10. Implementación con 50Kw

Rango	No. Barra	Desviación Objetivo
Muy Bueno	26	0.332565564
	23	0.335461136
Bueno	20	0.335628152
	8	0.335725748
	21	0.336335496
	31	0.336376
	7	0.336388732
Regular	9	0.336421524
	19	0.3364297
	5	0.336668472
	18	0.336714284
	22	0.336744036
	34	0.367474
	30	0.336794796
	29	0.336813708
	12	0.336850836
	27	0.337014892
	24	0.337029244
	28	0.337038876
	17	0.337076092
Malo	32	0.337137468
	4	0.337291628
	33	0.337332128
	25	0.337453816
	13	0.337466812
	14	0.337518288
Muy Malo	3	0.337586576
	6	0.337665568
	16	0.33771118
	10	0.337748644
	11	0.337802224
	2	0.33787002
	1	0.3378927
15	0.338195332	

Una vez que obtuvimos la tabla con los valores de desviación objetivo, se procedió a crear cinco categorías para la óptima ubicación del sistema fotovoltaico.

Para demostrar esto, a continuación, se detalla el rango ejemplo de las 5 categorías que son Muy Bueno, Bueno, Regular, Malo y Muy Malo. Las cuales generan 125 combinaciones entre las cinco categorías creadas.

Tabla 11. Implementación con 75Kw

Rango	No. Barra	Desviación Objetivo
Muy Bueno	1	0.337196444
	2	0.338058198
	3	0.338221528
Bueno	13	0.338389052
	16	0.338801608
	15	0.338846896
	4	0.338865116
	14	0.338874688
	5	0.33960704
Regular	6	0.34020386
	29	0.340674636
	19	0.340724416
	28	0.340741916
	30	0.340846376
Malo	18	0.340856044
	8	0.34089754
	17	0.34096192
	33	0.34101108
	20	0.34115242
	9	0.341222248
	32	0.34132918
	31	0.341371104
	10	0.341372852
	23	0.341423508
	11	0.34142738
	21	0.34145426
Muy Malo	12	0.341498596
	7	0.341592428
	27	0.341594524
	34	0.341598572
	24	0.34168476
	22	0.3417426
26	0.341759048	
25	0.342102036	

Tabla 12. Pseudocódigo Base de Conocimientos.

Paso 1	INICIO
Paso 2	Ingresar variables i, j, k
Paso 3	i = Desv.Obj50Kw
Paso 4	j = Desv.Obj75Kw
Paso 5	k = Desv.Obj100Kw
50kw	si i <= 0.3354 entonces Muy Bueno
	i <= 0.3363 entonces Bueno
	i <= 0.3370 entonces Regular
	i <= 0.3375 entonces Malo
75kw	i <= 0.3381 entonces Muy Malo
	si j <= 0.3382 entonces Muy Bueno
	j <= 0.3396 entonces Bueno
	j <= 0.3407 entonces Regular
100kw	j <= 0.3416 entonces Malo
	j <= 0.3421 entonces Muy Malo
	si k <= 0.3378 entonces Muy Bueno
	k <= 0.3385 entonces Bueno
	k <= 0.3391 entonces Regular

	$k \leq 0.3396$ entonces Malo
	$k \leq 0.3401$ entonces Muy Malo
Paso 5	Si $i > j > k$ entonces Opt.Ubicación = 50Kw Caso contrario
	Si $j > i > k$ entonces Opt.Ubicación = 75Kw Caso contrario
	Si $k > i > j$ entonces Opt.Ubicación = 100Kw
Paso 7	FIN

Tabla 13. Implementación con 100Kw

Rango	No. Barra	Desviación Objetivo
Muy Bueno	1	0.337183752
	2	0.337362052
	14	0.337570984
	4	0.337665944
	13	0.337793628
	3	0.337864596
Bueno	15	0.337944336
	5	0.338308872
	17	0.338355236
	23	0.338425912
	18	0.338433944
	6	0.338472932
Regular	19	0.33851732
	29	0.33869164
	27	0.338703016
	7	0.338770772
	30	0.338823476
	12	0.338875824
	8	0.338893092
	28	0.339033108
	24	0.339156328
	32	0.339345768
Malo	16	0.3393546
	22	0.339373692
	25	0.339393084
	20	0.3393984
	34	0.339398596
	31	0.3394145
	9	0.339421976
	21	0.339525316
	10	0.339600252
	11	0.339836908
Muy Malo	26	0.33986956
	33	0.34017516

Una vez creadas las combinaciones se ingresaron en el bloque de conocimientos, en donde se configuraron las condiciones para el control fuzzy.

Se debe tomar en cuenta que el tipo de conexión para las condiciones es de tipo and en todas las reglas ingresadas.

Tabla 14. Reglas de la categoría Muy Bueno

Reglas del controlador fuzzy				
No. Combinaciones	50 kW	75 kW	100 kW	Salida
1	MB	MB	MB	100 kW
2	Bueno	MB	MB	100 kW
3	Regular	MB	MB	100 kW
4	Malo	MB	MB	100 kW
5	MM	MB	MB	100 kW

*MB: Muy bueno; MM: Muy malo

Tabla 15. Reglas de la categoría Bueno

Reglas del controlador fuzzy				
No. Combinaciones	50 kW	75 kW	100 kW	Salida
26	MB	MB	Bueno	75 kW
27	Bueno	MB	Bueno	75 kW
28	Regular	MB	Bueno	75 kW
29	Malo	MB	Bueno	75 kW
30	MM	MB	Bueno	75 kW

*MB: Muy bueno; MM: Muy malo

Tabla 16. Reglas de la categoría Regular

Reglas del controlador fuzzy				
No. Combinaciones	50 kW	75 kW	100 kW	Salida
66	MB	Malo	Regular	50 kW
67	Bueno	Malo	Regular	50 kW
68	Regular	Malo	Regular	100 kW
69	Malo	Malo	Regular	100 kW
70	MM	Malo	Regular	100 kW

*MB: Muy bueno; MM: Muy malo

Tabla 17. Reglas de la categoría Malo

Reglas del controlador fuzzy				
No. Combinaciones	50 kW	75 kW	100 kW	Salida
96	MB	MM	Malo	50 kW
97	Bueno	MM	Malo	50 kW
98	Regular	MM	Malo	50 kW
99	Malo	MM	Malo	100 kW
100	MM	MM	Malo	100 kW

*MB: Muy bueno; MM: Muy malo

Tabla 18. Reglas de la categoría Muy Malo

Reglas del controlador fuzzy				
No. Combinaciones	50 kW	75 kW	100 kW	Salida
121	MB	MM	MM	50 kW
122	Bueno	MM	MM	50 kW
123	Regular	MM	MM	50 kW
124	Malo	MM	MM	50 kW
125	MM	MM	MM	100 kW

*MB: Muy bueno; MM: Muy malo

Los parámetros ingresados en los sistemas de entrada se detallan a continuación:

Para el sistema fotovoltaico de 50Kw se utilizó una función grafica tipo trapezoidal, en la que se ingresó un rango para el eje Y de [0.335 0.3381] que determinó el punto inicial y final respectivamente de dicho eje.

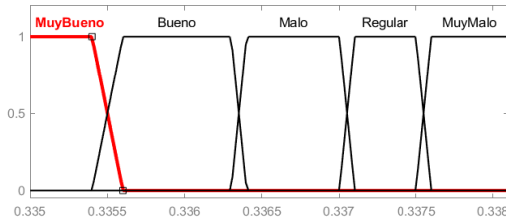


Figura 19. Rango fotovoltaico de 50kw.

En la categoría de Muy Bueno se creó una función trapezoidal con parámetros de [0.3323 0.3325 0.3354 0.3356]. Para la categoría de Bueno los parámetros fueron de [0.3354 0.3356 0.3363 0.3364]. Luego, para la categoría de Malo se ingresaron parámetros de [0.3363 0.3364 0.337 0.3371]. Mientras que para la categoría de Regular se pusieron los parámetros de [0.337 0.3371 0.3375 0.3376]; y finalmente para la categoría de Muy Malo los parámetros fueron de [0.3375 0.3376 0.3381 0.3383]. De todo esto, tenemos las siguientes formas de grafica donde utilizamos la función hexagonal.

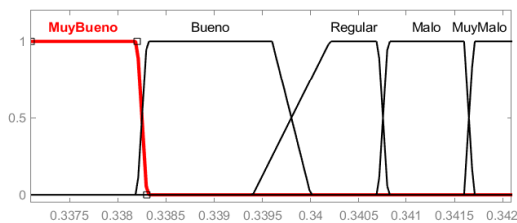


Figura 20. Rango fotovoltaico de 75kw

De la misma manera se realizó el análisis para ingresar el sistema de 75kw y 100kw respectivamente. Ambos sistemas también utilizan funciones de tipo trapezoidal y de igual manera cinco categorías en cada una de ellas siendo estas las siguientes:

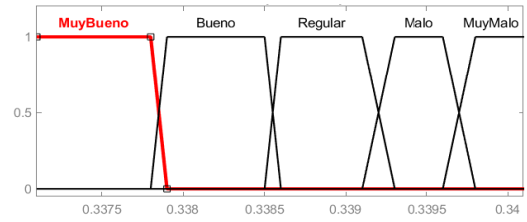


Figura 21. Rango fotovoltaico de 100kw.

Tabla 19. Parámetros Sistema Fotovoltaico 75kW

Categoría	Parámetros
Muy Bueno	[0,337 0,3371 0,3382 0,3383]
Bueno	[0.3382 0.3383 0.3396 0.34]
Regular	[0.3394 0.3402 0.3407 0.3408]
Malo	[0.3407 0.3408 0.3416 0.3417]
Muy Malo	[0.3416 0.3417 0.3421 0.3423]

Tabla 20. Parámetros Sistema Fotovoltaico 100kW

Categoría	Parámetros
Muy Bueno	[0.3369 0.3371 0.3378 0.3379]
Bueno	[0.3378 0.3379 0.3385 0.3386]
Regular	[0.3385 0.3386 0.3391 0.3393]
Malo	[0.3391 0.3393 0.3396 0.3398]
Muy Malo	[0.3396 0.3398 0.3401 0.3402]

Dentro del control Fuzzy es importante la configuración de la salida, siendo la única salida la planteada para hallar la óptima ubicación de la generación distribuida.

Para la salida del control Fuzzy se colocó un rango de [30 105] en el eje Y del sistema. Cabe destacar la colocación de tres categorías para la salida, siendo éstas de 50, 75 y 100Kw en donde por control Fuzzy se obtiene el lugar óptimo para ubicar (50kw, los 75kw o los 100kw) en los nodos seleccionados por el control Fuzzy.

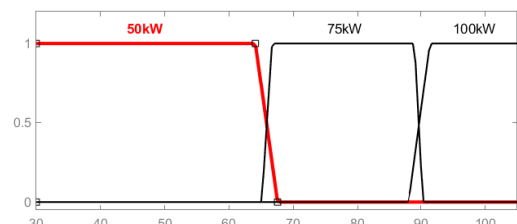


Figura 22. Rango-salida control fuzzy

Los parámetros ingresados a la salida del control Fuzzy fueron los siguientes:

Tabla 21. Parámetros salida control fuzzy

Categoría	Parámetros
50 kW	[30 30 64.1 67.56]
75 kW	[65.1 66.7 89.01 90.29]
100 kW	[88.08 91.4 105 105]

Es por ello que el mejor sistema fotovoltaico a implementar es de 100kW con el cual podemos comprobar la minimización de pérdidas producidas en las líneas de transmisión obteniendo una mejora en sus perfiles de voltaje como se puede observar en la tabla 22.

Tabla 22. Mejor implementación de 100kW

Línea de transmisión	Potencia (W)	Voltaje (V)
1 – 2	3000	25.3779
2 – 3	115000	19.8103
3 – 4	87000	32.1029
3 – 13	3456600	1.0715
13 – 14	115160	0.6073
14 – 15	34290	1.1688
15 – 16	34300	5.9575
4 – 5	114000	28.2153
5 – 6	114000	26.957
6 – 17	2131000	14.3873
17 – 18	113000	12.1158
18 – 19	111000	13.4918
19 – 20	113100	11.9127
20 – 21	107800	9.4517
21 – 22	128800	10.8696
22 – 23	109300	7.3763
23 – 24	92500	9.8371
24 – 25	135500	4.725
25 – 26	89900	2.7599
26 – 27	71870	1.8624
6 – 7	1174000	31.0023
7 – 28	508000	10.6865
28 – 29	988800	6.5903
29 – 30	92000	3.8746
7 – 8	1622200	7.3359
8 – 9	110200	9.3347
9 – 10	110200	4.2186
10 – 11	110500	2.1259
11 – 12	109980	0.904
10 – 31	175900	1.1338
31 – 32	27680	1.3539
32 – 33	27580	2.3609
33 – 34	27620	1.0244

5.1 Ubicación óptima de la generación distribuida

Para encontrar la ubicación óptima dentro del sistema de distribución, lo que se hizo fue desplegar las 125 combinaciones de los tres sistemas ingresados al control Fuzzy, con el objetivo de visualizar el mejor punto para colocar la generación distribuida.

Para ello nos dirigimos al casillero de herramientas del control Fuzzy, bajo la opción *rules*, la cual permite visualizar de una forma más agradable el punto óptimo para colocar la generación distribuida. En esta ventana se colocaron valores basados en el criterio de la desviación objetivo asignados con rangos: Muy Bueno, Bueno, Regular, Malo, Muy Malo.

En este contexto, si por ejemplo se tiene 0.337 de desviación objetivo en el sistema fotovoltaico de 50Kw (rango REGULAR), también se tiene 0.339 de desviación objetivo en el sistema fotovoltaico de 75kw (rango BUENO); y si se tiene 0.338 de desviación objetivo en el sistema de 100kw (rango MUY BUENO), la salida del control Fuzzy da una respuesta de 97.5 equivalente al sistema de 100kw; lo cual quiere decir que la generación distribuida a conectar es de 100kw.

Tabla 23. Reglas del controlador fuzzy para la salida de 100kW

Reglas del controlador fuzzy				
No. Combinaciones	50 kW	75 kW	100 kW	Salida
1	MB	MB	MB	100 kW
2	Bueno	MB	MB	100 kW
3	Regular	MB	MB	100 kW
4	Malo	MB	MB	100 kW
5	MM	MB	MB	100 kW
6	MB	Bueno	MB	100 kW
7	Bueno	Bueno	MB	100 kW
8	Regular	Bueno	MB	100 kW
9	Malo	Bueno	MB	100 kW
10	MM	Bueno	MB	100 kW

Posteriormente, para saber concretamente en qué barra debe conectarse, se toma en cuenta la tabla de reglas con los datos ya descritos, y según las combinaciones ingresadas en la base de conocimientos obtenemos que el mejor sistema a colocar para este caso es de 100kw (MUY BUENO).

Luego se toma en cuenta la tabla de desviación objetivo del sistema fotovoltaico de 100kw que da cuenta de que se puede conectar ya sea en la Barra 1, 2, 14, 4, 13 o 3, siendo la mejor opción la Barra 1.

Tabla 24. Desviación objetivo en el escenario de 100kW

Escenario con PV de 100 kW		
Rango	Barras	Desviación Objetivo
Muy Bueno	Barra 1	0,337183752
	Barra 2	0,337362052
	Barra 14	0,337570984
	Barra 4	0,337665944
	Barra 13	0,337793628
	Barra 3	0,337864596

6 Análisis de Resultados

Las gráficas de resultados se encuentran en base a los rangos establecidos para la lógica difusa. Se puede visualizar en el gráfico de la figura 23 que, para la categoría de Muy Bueno se tienen dos barras de compensación (barra 23 y 26) que están comprendidas en un rango de desviación objetivo entre 0.3325 y 0.3354; siendo la barra 26 la de mejor compensación porque se acerca a cero.

De igual forma, en la figura 23 se observa un rango de desviación objetivo entre 0.3356 y 0.3363 en donde se encuentran las barras 20, 8, 21, 31, 7; siendo la barra 20 la de mejor ubicación para compensar 50kw.

Por otro lado, el rango de desviación objetivo que va desde 0.3364 a 0.3370 comprende las barras 9, 19, 5, 18, 22, 34, 30, 29, 12, 27, 24, 28, 17; siendo la barra 9 la de mejor compensación. Siguiendo

con los resultados de la gráfica, tenemos un rango de desviación objetivo entre 0.3371 y 0.3375, donde se ubican las barras 32, 4, 33, 25, 13, 14, 3; siendo para éste la barra 32 la de mejor compensación. Finalmente, dentro del rango comprendido entre 0.3376 y 0.3381, que abarca las barras 6, 16, 10, 11, 2, 1, 15; la de mejor compensación es la barra 6.

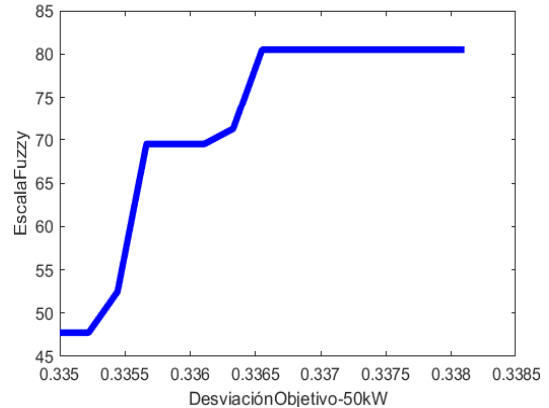


Figura 23. Reglas fuzzy de acuerdo con la categoría de 50kW

El gráfico de la figura 24 nos presenta los resultados de óptima ubicación para una compensación de 75kw, dentro del cual el primer rango va desde 0.3371 a 0.3382 que contiene las barras 1, 2, 3; y en éste la barra 1 es el mejor punto para la óptima ubicación. Asimismo, en el rango de desviación objetivo entre 0.3383 y 0.3396 con las barras 13, 16, 15, 4, 14, 5; la mejor a compensar es la barra 13.

Luego, dentro del rango de desviación objetivo comprendido entre 0.3402 y 0.3407 que contiene las barras 6, 29, 19, 28, la barra 6 es la de mejor ubicación para compensar. De ahí se encuentra el rango que va desde 0.3408 hasta 0.3416, que incluye las barras 30, 18, 8, 17, 33, 20, 9, 32, 31, 10, 23, 11, 21, 12, 7, 27, 34, 24; en donde la barra 30 resulta ser la mejor para la óptima ubicación.

Finalmente, la figura 22 indica un rango entre 0.3417 y 0.3421, que posee las barras 22, 26, 25, siendo la barra 22 la mejor barra para ubicar la generación distribuida de 75kw.

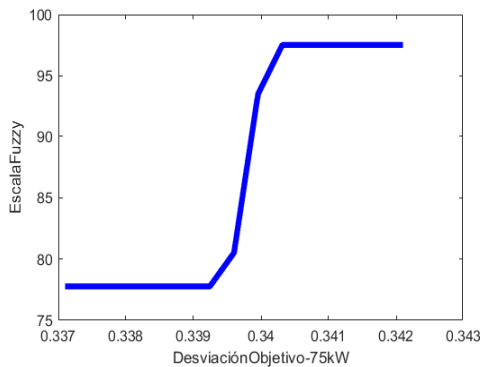


Figura 24. Reglas fuzzy de acuerdo con la categoría de 75kW

La gráfica 25 presenta los resultados para la óptima ubicación de una generación distribuida de 100kw, en la que se puede leer un primer rango que va desde 0.3371 a 0.3378 y que contiene las barras 1, 2, 14, 4, 13, 3; en donde la barra 1 es la mejor para la compensación.

De igual forma, el rango comprendido entre 0.3379 y 0.3385 con las barras 15, 5, 17, 23, 18, 6, 19; la mejor opción para la colocación de la generación distribuida es la barra 15. A continuación, se tiene un rango de desviación objetivo que va desde 0.3386 hasta 0.3391 que contiene las barras 29, 27, 7, 30, 12, 8, 28, 24; siendo la barra 29 la de mejor para la óptima ubicación.

Prosiguiendo con la gráfica, se tiene un rango que comprendido entre 0.3393 y 0.3396 con las barras 32, 16, 22, 25, 20, 34, 31, 9, 21, 10; donde la 32 es la de mejor ubicación. Y, finalmente en el rango de 0.3398 y 0.3401 se encuentran las barras 11, 26 y 33; donde la barra 11 es la mejor para la óptima ubicación de la generación distribuida de 100kw.

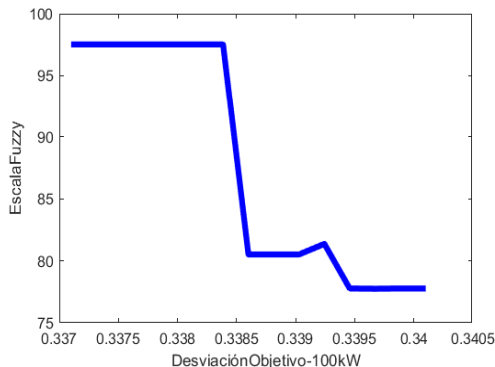


Figura 25. Reglas fuzzy de acuerdo con la categoría - 100kW

Por otro lado, dentro del gráfico Fig. 26 se presenta la mejor compensación dados los sistemas de 50 kW y de 75 kW; donde se pueden observar los resultados en diferentes zonas de colores que aluden a la mejor compensación para cada sección del rango (Muy Bueno, Bueno, Regular, Malo, Muy Malo).

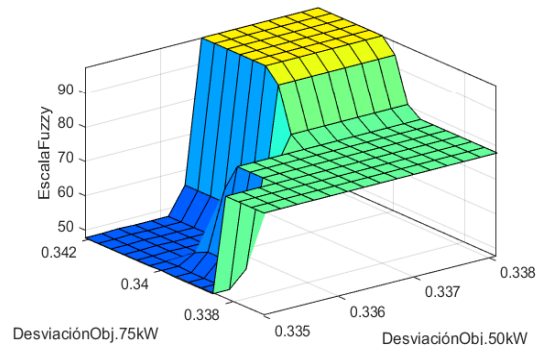


Figura 26. Categorías de reglas por control fuzzy - 50kw y 75kw

De la misma manera, se obtuvieron los resultados comparando la mejor ubicación entre los sistemas fotovoltaicos de 50 y 100kw, que se muestran en la figura 27, el cual indica las zonas de compensación con diferentes colores en base al lugar óptimo a compensar. En este punto, cabe resaltar que los colores de la figura indican las categorías de muy bueno, bueno, regular, malo y muy malo de la lógica difusa.

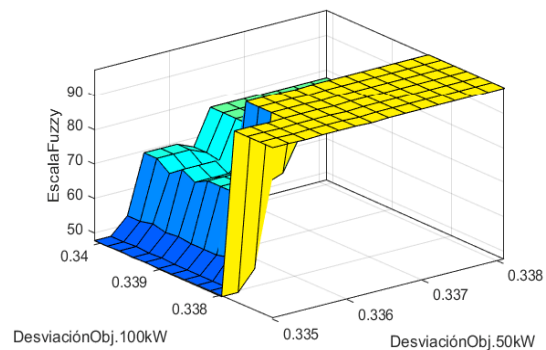


Figura 27. Categorías de reglas por control fuzzy - 50kw y 100kw

Finalmente, dentro del gráfico 28 de resultados se muestra la óptima ubicación entre los sistemas de 75 y 100 kw, se observan los rangos diferenciados por colores como se puede observar en la figura; y así como se ha mencionado

previamente, los colores indican los rangos establecidos dentro de la lógica difusa.

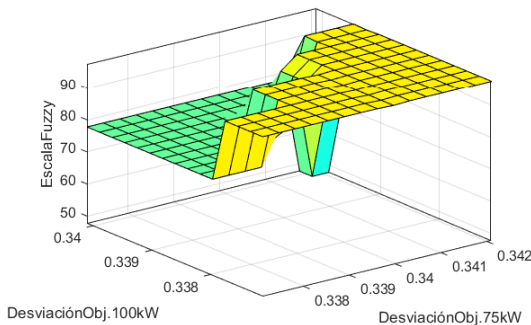


Figura 28. Categorías de reglas por control fuzzy - 75kw y 100kw

7 Conclusiones

Del análisis de resultados y lo descrito en el presente documento se concluye lo siguiente:

El presente trabajo realiza un modelo de optimización para la ubicación óptima del sistema fotovoltaico de 250 kW modificado en sus parámetros en sistemas de distribución. De los resultados obtenidos se determina que, al implementar equipos de generación distribuida, como es el caso del sistema fotovoltaico, se pueden lograr mejorar aspectos tales como la seguridad del sistema, así como también la confiabilidad al momento de operar dicho sistema. En tal virtud, dentro del estudio se observó que las líneas de transmisión con mayor deficiencia inicial en sus perfiles de voltaje debido a las pérdidas en potencia fueron: 14-15, 15-16, 25-26, 26-27, 10-11, 11-12, 10-31, 31-32, 32-33, 33-34 con los siguientes valores: 0.312V, 0.0419V, 1.4941V, 0.4477V, 1.4939V, 0.4550V, 1.1122V, 1.1132V, 0.5561V, 0.1855V, respectivamente; los mismo que al momento de implementar las unidades de generación fotovoltaica dieron como resultado los valores de 1.1688V, 5.9575V, 2.7599V, 1.8624V, 2.1259V, 0.904V, 1.1338V, 1.3539V, 2.3609V, 1.0244V, en las líneas de transmisión anteriormente mencionadas.

Siendo un estudio de planeación se analizó los puntos más óptimos para

ubicar generación distribuida en los tres diferentes escenarios planteados de 50Kw, 75KW y 100kw y así poder realizar los ensayos necesarios que den cuenta de minimizar las pérdidas en potencia en las líneas de transmisión, siendo el valor inicial más alto de pérdida en la línea de transmisión 18-19 puesto que la potencia de pérdida es de 104010100W, luego de implementar la generación fotovoltaica su pérdida en la línea de transmisión se redujo a 111000W.

Con base en el estudio realizado, se pudo establecer que la implementación de un sistema fotovoltaico en cada nodo del sistema, mejoro la potencial que entregaba el sistema de distribución en cada barra inicialmente, para ellos se ejecutó la lógica difusa y encontrando los puntos óptimos dónde colocar la generación distribuida se pudo verificar la mejora en cuanto a potencia en el sistema de distribución, siendo así el caso de la barra 13, la cual presentaba un valor de -78750W de potencia activa; lo cual la ubicaba como la barra con menor potencia activa dentro del sistema de distribución y por ende un perfil de voltaje de 24853V línea-línea; al implementarse el sistema fotovoltaico se pudo corroborar su mejora en cuanto a perfiles de voltaje de 24854 y potencia activa 161400W.

Al término de la investigación se comparó los datos obtenidos al inicio del caso de estudio con los resultados obtenidos, resaltando que las líneas de transmisión con mayor pérdidas en el sistema de distribución son las numeradas de la siguiente manera: 25-26, 23-24, 3-4, 13-14, 19-20, 18-19 obteniendo como pérdidas iniciales los siguiente valores: 115020W, 115100W, 119000W, 157500W, 230400W y 104010100W respectivamente, posteriormente se pudo verificar que la implementación de la generación fotovoltaica de 100Kw ya que fue la mejor a inyectar potencia activa, consiguiendo de esta manera la

minimización de pérdidas en las líneas de transmisión antes mencionadas dando valores de 89900W, 92500W, 87000W, 115160W, 113100W, 111000W respectivamente, dando como resultado una reducción del 50.92% de pérdida en la línea de transmisión 19-20, un 99.89% en 18-19, un 26.88% en 13-14, un 26.89% en 3-4, un 19.63% en 23-24 y un 21.84% en 25-26, reduciendo así las pérdidas en las líneas de transmisión que más pérdidas se obtenía.

8 Trabajos futuros

- Diseño de sistemas fotovoltaicos con MPPT para la implementación en sistemas de distribución.
- Implementación a gran escala de sistemas fotovoltaicos, para sector de mucha demanda y de crecimiento urbano.
- Diseño de un sistema de comunicación y control el cual permita monitorear en tiempo real la operatividad de la red y de las unidades de generación distribuida que se encuentran conectadas.
- Implementación de dispositivos almacenadores de energía para mejorar perfiles de voltaje que satisfagan la demanda en zonas muy pobladas.

9 Referencias

- [1] Chicaiza Ramírez Sabrina Estefanía, “Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito,” *Tesis*, pp. 1–57, Available: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.
- [2] L. F. Grisales, B. J. Restrepo Cuestas, and F. E. Jaramillo, “Ubicación y dimensionamiento de generación distribuida: una revisión TT - Location and sizing of distributed generation: a review,” *Cienc. e Ing.*

Neogranadina, vol. 27, no. 2, pp. 157–176,

- [3] L. Gallego Pareja, J. López Lezama, and D. Mejía Giraldo, “Flujo de potencia trifásico desbalanceado en sistemas de distribución con generación distribuida,” *Sci. Tech.*, vol. 3, no. 43, pp. 43–48, doi: 10.22517/23447214.2217.
- [4] G. J. Correa-henao and J. C. Rojas-zerpa, “generación distribuida en zonas no interconectadas connected areas,” vol. 14, pp. 70–87,
- [5] M. Alonso, “Master en Energías Renovables y Mercado Energetico,” *Ciemat*, vol. 1, no. 1, p. 59, Available: http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45340/componente45338.pdf.
- [6] G. B. Salazar, L. Chusin, and S. Escobar, “Análisis de Confiabilidad de Sistemas de Distribución Eléctrica con penetración de Generación Distribuida,” *Rev. Politécnica*, vol. 36, no. 1, p. 35 Available: https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/508/pdf.
- [7] M. Universitario, “Compensación de sobretensiones en redes eléctricas con generadores fotovoltaicos,”
- [8] M. Deleg and J. Uguña, “Análisis de la curva de demanda de potencia eléctrica de red debido a la incorporación de generación fotovoltaica en el edificio Cornelio Merchán de la Universidad Politécnica Salesiana,” p. 161 Available: [file:///C:/Users/Kevin/Downloads/UPS-CT006277 \(1\).pdf](file:///C:/Users/Kevin/Downloads/UPS-CT006277 (1).pdf).

- [9] P. Solares and F. Para, “Trabajo fin de máster,”
- [10] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Söder, “Distributed generation: A definition,” *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 57, no. 3, pp. 195–204
doi: 10.1016/S0378-7796(01)00101-8.
- [11] L. Zhengxi *et al.*, “The Control Method and Design of Photovoltaic Tracking System,” *Proc. - 2015 6th Int. Conf. Intell. Syst. Des. Eng. Appl. ISDEA 2015*, pp. 838–841
doi: 10.1109/ISDEA.2015.210.
- [12] M. Taoufik and S. Lassad, “Hybrid photovoltaic-fuel cell system with storage device control,” *Int. Conf. Green Energy Convers. Syst. GECS 2017*, pp. 4–9,
doi: 10.1109/GECS.2017.8066146.
- [13] E. Gadjeva and G. Kunov, “Application of postprocessing in probe for automated model parameter extraction of photovoltaic panels,” *2017 IEEE 23rd Int. Symp. Des. Technol. Electron. Packag. SIITME 2017 - Proc.*, vol. 2018-Janua, no. 4, pp. 227–230,
doi: 10.1109/SIITME.2017.8259896.
- [14] S. Yan, J. Yuan, and L. Xu, “Fuzzy logic control of MPPT for photovoltaic power system,” *Proc. - 2012 9th Int. Conf. Fuzzy Syst. Knowl. Discov. FSKD 2012*, no. Fskd, pp. 448–451, 2012, doi: 10.1109/FSKD.2012.6234208.
- [15] M. Farhat, O. Barambones, J. A. Ramos, E. Duran, and J. M. Andujar, “Diseño e Implementación de un Sistema de Control estable basado en Lógica Borrosa para optimizar el rendimiento de un sistema de Generación Fotovoltaico,” *RIAI - Rev. Iberoam. Autom. e Inform. Ind.*, vol. 12, no. 4, pp. 476–487
doi: 10.1016/j.riai.2015.07.006.
- [16] Zhanghong, Lishengzhu, Zhangxiaonan, and Xiayilan, “MPPT control strategy for photovoltaic cells based on fuzzy control,” *2016 12th Int. Conf. Nat. Comput. Fuzzy Syst. Knowl. Discov. ICNC-FSKD 2016*, no. 2, pp. 450–454
doi: 10.1109/FSKD.2016.7603215.
- [17] C. J. V. H. *et al.*, “Caso de estudio;,” *Guía Metod. para la priorización Proy.*, pp. 64–78
doi: 10.2307/j.ctvt6rnb7.12.
- [18] A. Garcés Ruiz, M. Granada Echeverri, and R. Gallego Rendón, “Flujo De Carga Trifásico Para Sistemas Radiales De Distribución.,” *Sci. Tech.*, vol. 1, no. 24, pp. 19–24
doi: 10.22517/23447214.7289.
- [19] J. D. Juárez Cervantes, *Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica*, vol. 52, no. 1.
- [20] C. N. A. Campas and M. M. Martinez, “Interaction between photovoltaic power systems and distribution power systems: Impact on the power factor and energy losses,” *2017 IEEE Int. Autumn Meet. Power, Electron. Comput. ROPEC 2017*, vol. 2018-Janua, no. Ropec, pp. 1–6
doi: 10.1109/ROPEC.2017.8261589.
- [21] J. Park, L. Wu, J. Choi, J. Cha, A. A. El-Keib, and J. Watada, “Fuzzy theory-based best generation mix considering renewable energy generators,” *IEEE Int. Conf. Fuzzy Syst.*, pp. 1462–1467,
doi: 10.1109/FUZZY.2009.5277196.
- [22] F. H. Dupont, A. Péres, and S. V. G. Oliveira, “Fuzzy control of a three-phase step-up DC-DC converter with a three-phase high frequency transformer,” *2009 Brazilian Power Electron. Conf. COBEP2009*, pp. 725–732, doi:

- 10.1109/COBEP.2009.5347605.
- [23] N. Hashmi and S. A. Khan, "Power energy management for a grid-connected PV system using rule-base fuzzy logic," *Proc. - AIMS 2015, 3rd Int. Conf. Artif. Intell. Model. Simul.*, pp. 31–36, doi: 10.1109/AIMS.2015.15.
- [24] S. Prajapati and E. Fernandez, "Performance evaluation of membership function on fuzzy logic model for solar PV array," *2020 IEEE Int. Conf. Comput. Power Commun. Technol. GUCON 2020*, no. x, pp. 609–613, doi: 10.1109/GUCON48875.2020.9231202.
- [25] J. L. Paixao, A. R. Abaide, and P. G. A. Filho, "Impact evaluation of the photovoltaic generation input on a concessionaire's network," *SBSE 2018 - 7th Brazilian Electr. Syst. Symp.*, pp. 1–6, doi: 10.1109/SBSE.2018.8395937.
- [26] K. Sundareswaran, K. A. Kumar, P. R. Venkateswaran, B. Naina, S. Sharan, and S. Gopal, "Fuzzy based controller for solar photovoltaic powered butter extraction system," *2016 - Bienn. Int. Conf. Power Energy Syst. Towar. Sustain. Energy, PESTSE 2016*, pp. 2–6, doi: 10.1109/PESTSE.2016.7516372.
- [27] M. Serraji, J. Boumhidi, and H. El Nfaoui, "MAS energy management of a microgrid based on fuzzy logic control," *2015 Intell. Syst. Comput. Vision, ISCV 2015*, doi: 10.1109/ISACV.2015.7106187.
- [28] M. Belkasmi, K. Bouziane, M. Akherraz, T. Sadiki, M. Faqir, and M. Elouahabi, "Improved dual-axis tracker using a fuzzy-logic based controller," *Proc. 2015 IEEE Int. Renew. Sustain. Energy Conf. IRSEC 2015*, pp. 1–5, doi: 10.1109/IRSEC.2015.7455104.
- [29] A. H. Weinberg and S. H. Weinberg, "A new maximum power point tracker topology," *Eur. Sp. Agency, (Special Publ. ESA SP*, no. 502, pp. 257–262.
- [30] M. G. B. Borja, A. Delgado, S. Lescano, and J. E. Luyo, "New Approach to Develop Knowledge-Based System for Environmental Conflicts Analysis Using Fuzzy Logic and Grey Systems," *2018 IEEE ANDESCON, ANDESCON 2018 - Conf. Proc.*, pp. 9–12, doi: 10.1109/ANDESCON.2018.8564666.
- [31] M. Andrés Sánchez, "Elaboración de funciones objetivo y restricciones para la optimización de las explotaciones de agua en régimen permanente mediante técnicas de programación lineal," *Stud. Geol. Salmant.*, vol. 32, no. 32, pp. 23–38.
- [32] J. Alvarado Boirivant, "La programación lineal aplicación de la pequeñas y medianas empresas," *Reflexiones*, vol. 88, no. 1, pp. 89–105.

10 Estado del arte

ÓPTIMA UBICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA PARA MINIMIZACIÓN DE PÉRDIDAS EN UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN UTILIZANDO LÓGICA DIFUSA																							
DATOS			TEMÁTICA					FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA		PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA				SOLUCIÓN PROPUESTA					
ITEM	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	Generación Distribuida	Sistemas de energía fotovoltaica	Sistemas de Distribución	Teoría de la Lógica Difusa	Aplicaciones con Lógica Difusa	Generación distribuida en zonas aisladas	La sobreexplotación de recursos naturales	Crecimiento de las zonas urbanas	Aumento de la demanda del suministro eléctrico	Estrategia de control para el punto máximo MPPT	Sistemas de distribución desbalanceados con generación distribuida.	Dimensionamiento de generación distribuida	Interacción entre sistemas de energía fotovoltaica y sistemas de distribución	Sistemas de Distribución con inserción de Generación Distribuida	Sistema fotovoltaico para minimización de pérdidas	Optimización de generación distribuida para análisis de fallas	Análisis de Confiabilidad de Sistemas de Distribución utilizando Generación Distribuida	Optimización del rendimiento de Generación Fotovoltaica	Sistema fotovoltaico conectado a la red mediante lógica difusa		
1	1996	Elaboración de funciones objetivo y restricciones para la optimización de explotaciones de agua subterránea en régimen permanente mediante técnicas de programación lineal.	X					X			X				X						X		
2	2001	Distributed generation: A definition.	X										X					X					
3	2002	Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica.			X					X						X				X			
4	2002	A new maximum power point tracker topology.				X				X							X						
5	2004	Flujo de carga trifásico para sistemas radiales de distribución.			X															X			
6	2009	La programación lineal aplicación de las pequeñas y medianas empresas.	X					X			X					X							

7	2009	Flujo de potencia trifásico desbalanceado en sistemas de distribución con generación distribuida.			X							X	X						
8	2009	Fuzzy theory-based best generation mix considering renewable energy generators.	X			X				X			X						X
9	2009	Fuzzy control of a three-phase step-up DC-DC converter with a three-phase high frequency transformer.				X													X
10	2010	Compensación de sobretensiones en redes eléctricas con generadores fotovoltaicos					X			X			X		X		X		
11	2011	Master en Energías Renovables y Mercado Energético.		X				X	X					X				X	X
12	2012	Fuzzy logic control of MPPT for photovoltaic power system.				X					X				X				X
13	2015	Diseño e implementación de un Sistema de Control estable basado en Lógica Borrosa para optimizar el rendimiento de un sistema de Generación Fotovoltaica.					X						X			X			
14	2015	MAS energy management of a microgrid based on fuzzy logic control.	X			X		X			X					X			
15	2015	Análisis de Confiabilidad de Sistemas de Distribución Eléctrica con penetración de Generación Distribuida.	X		X						X	X				X			
16	2016	Análisis de la curva de demanda de potencia eléctrica de red debido a la incorporación de generación fotovoltaica en el edificio Cornelio Merchán de la Universidad Politécnica Salesiana		X						X			X			X			
17	2016	Power energy management for a grid-connected PV system using rule-base fuzzy logic.				X												X	X
18	2016	Fuzzy based controller for solar photovoltaic powered butter extraction system.					X		X				X						
19	2016	Improved dual-axis tracker using a fuzzy-logic based controller.					X		X										X
20	2016	MPPT control strategy for photovoltaic cells based on fuzzy control.				X					X			X				X	
21	2016	The Control Method and Desing of Photovoltaic Tracking System.				X			X						X				
22	2017	Application of postprocessing in probe for automated model parameter extraction of photovoltaic panels.					X											X	X

23	2017	Hybrid photovoltaic-fuel cell system with storage device control.		X										X					X		
24	2017	Ubicación y dimensionamiento de generación distribuida.	X							X				X							
25	2017	Generación distribuida en zonas no interconectadas connect áreas.	X					X		X	X			X				X			
26	2018	Óptimo despliegue de generación distribuida en base a análisis de fallas en sistemas de distribución.			X			X										X			
27	2018	Interaction between photovoltaic power systems and distribution power systems: Impact on the power factor and energy losses.		X										X					X	X	
28	2018	Impact evaluation of the photovoltaic generation input on a concessionaire's network.	X	X				X						X					X		
29	2018	New approach to develop knowledge-based system for environmental conflicts analysis using fuzzy logic and grey systems.					X			X										X	
30	2019	Flujo de potencia trifásico para sistemas de distribución.			X					X				X				X			
31	2020	Desarrollo de modelos de simulación de plantas solares fotovoltaicas para estudios de conexión a red.					X			X			X				X			X	
32	2020	Performance evaluation of membership function on fuzzy logic model for solar PV array.		X															X		
			8	7	6	6	8	5	6	5	8	4	4	6	8	4	6	5	5	9	10

11 Resumen de indicadores

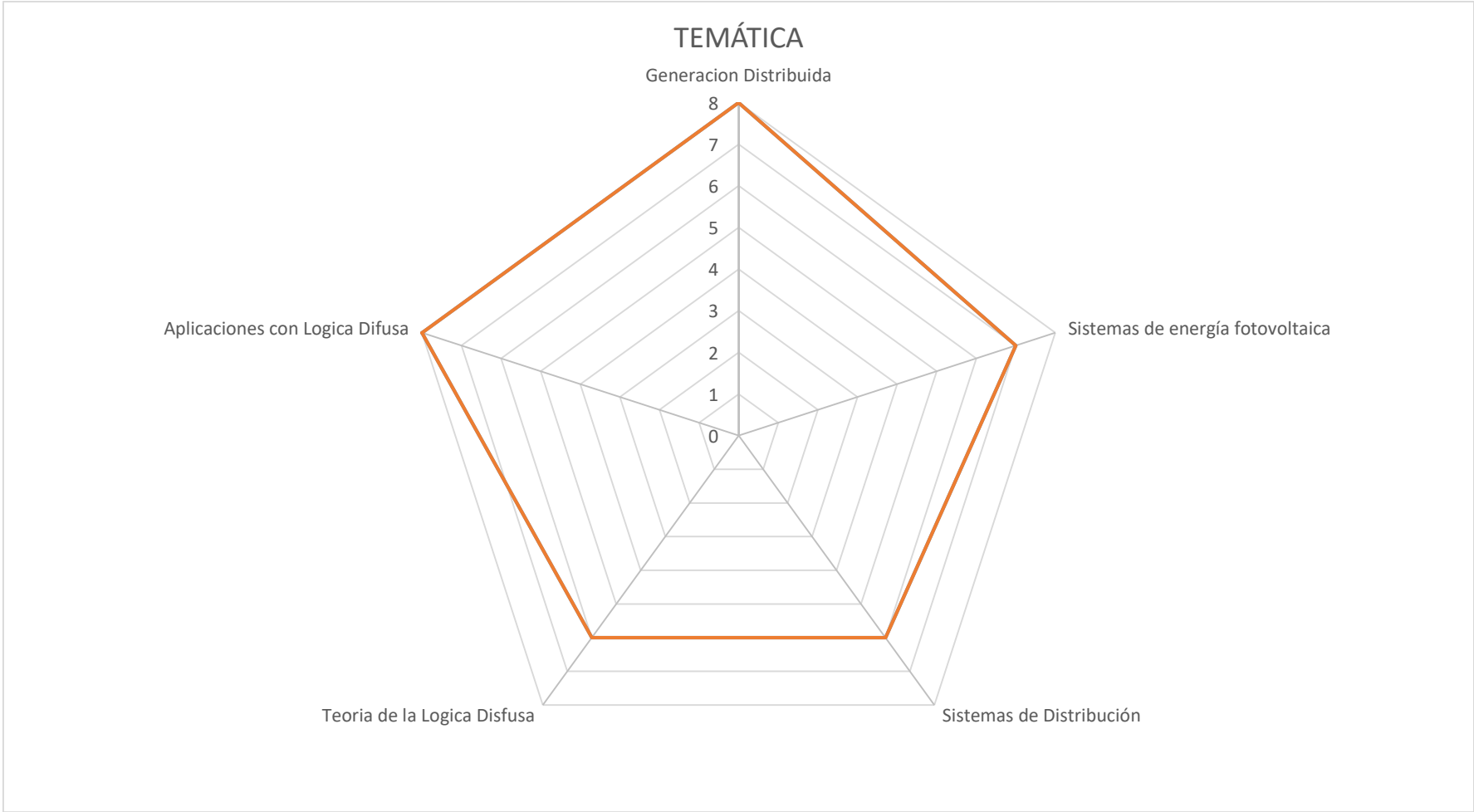


Figura 29 . Indicador de la temática.

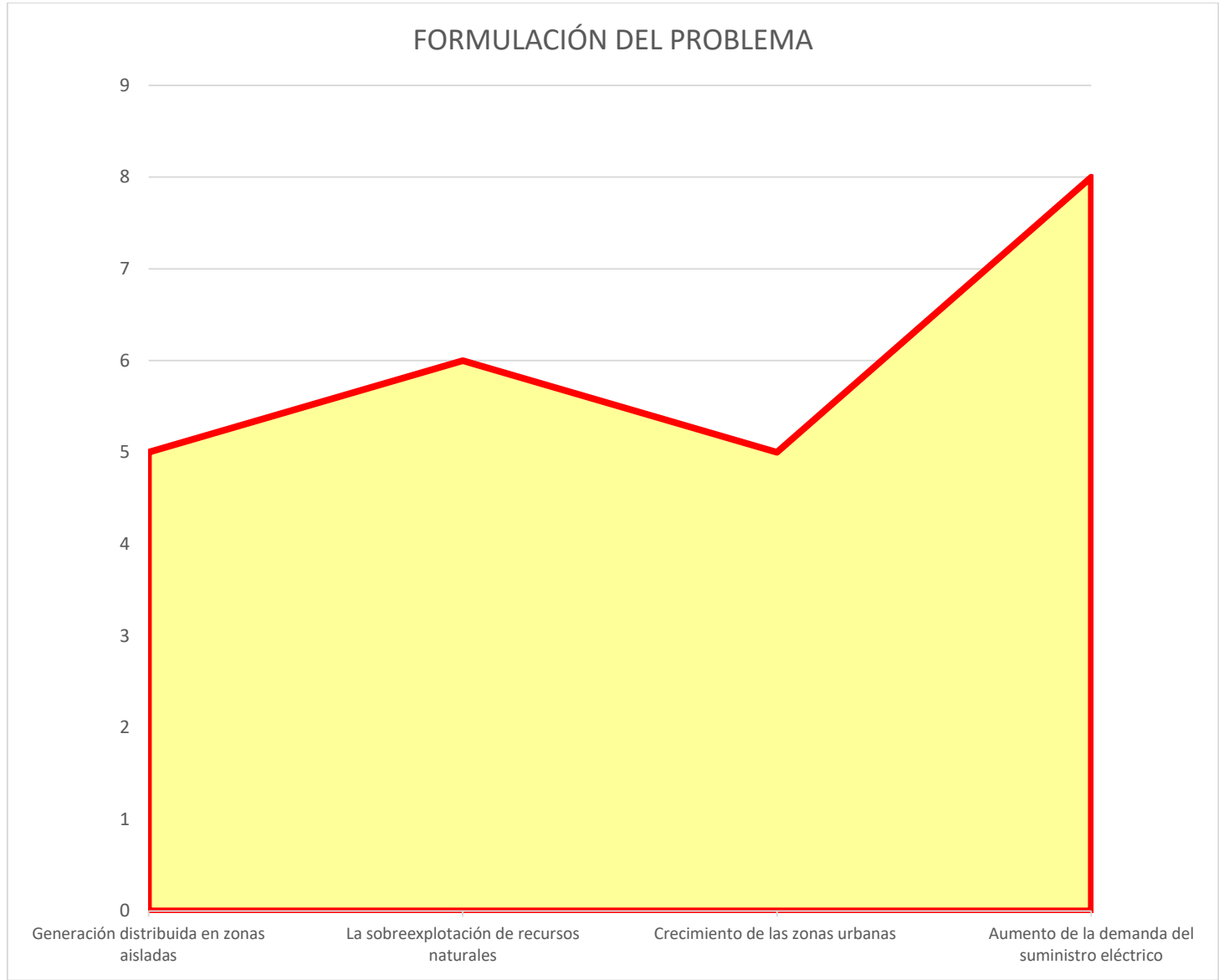


Figura 30 . Indicador de formulación del problema.

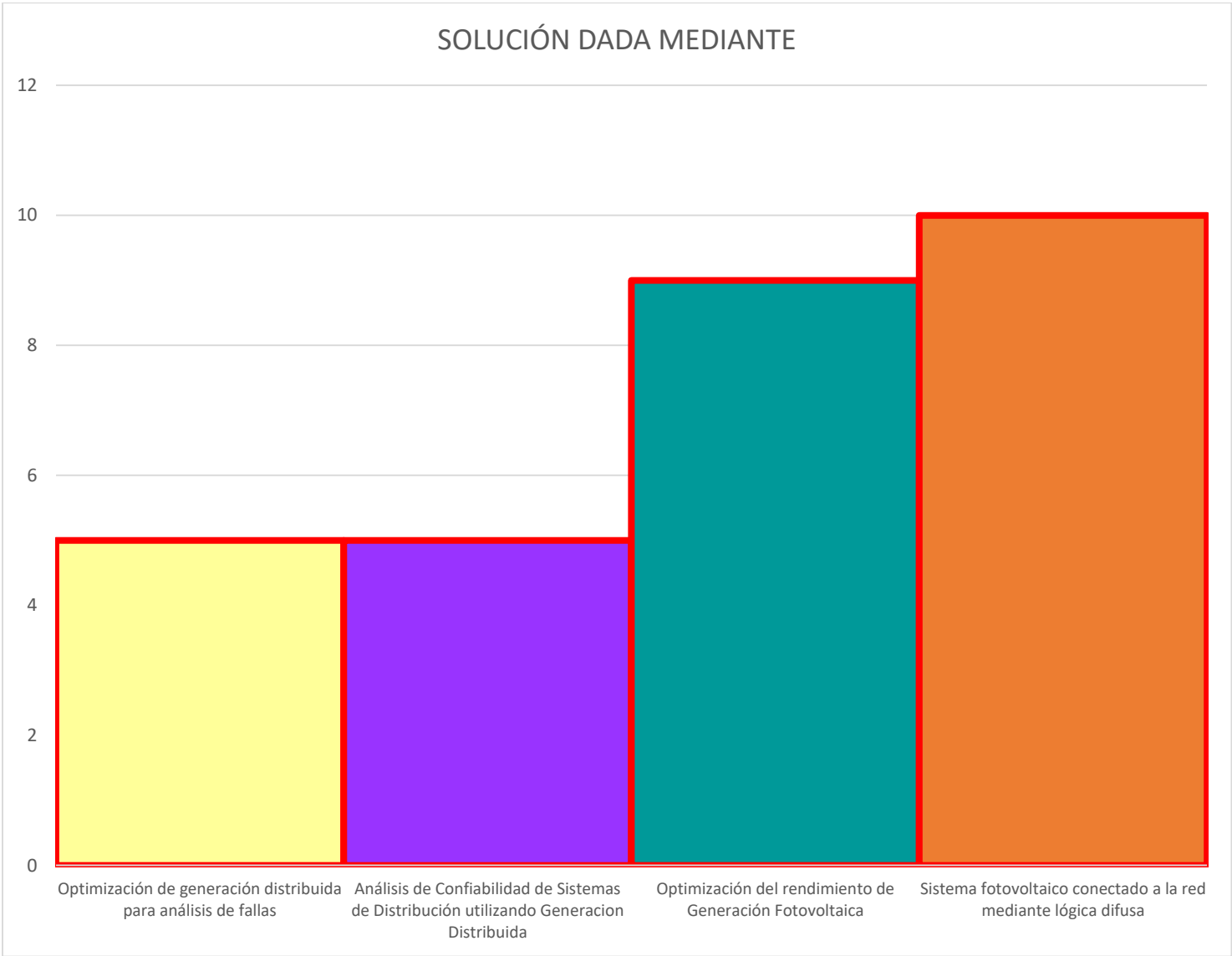


Figura 31 . Indicador de solución