



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**ESTRATEGIAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y UBICACIÓN DE  
GENERACIÓN DISTRIBUIDA (GD) EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE  
DISTRIBUCIÓN**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico

**Autores:**

Barrera Rojas Ambar Jocabed

Ramirez Estrada Geovanny Efrain

**Tutor Académico:**

Ing. Pesantez Palacios Gabriel Napoleón M.Sc.

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2023**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA



Nosotros **BARRERA ROJAS AMBAR JOCABED**, y **RAMIREZ ESTRADA GEOVANNY EFRAIN** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “**ESTRATEGIAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y UBICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA (GD) EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN**”, siendo el **ING. PESANTEZ PALACIOS GABRIEL NAPOLEÓN M.Sc.** tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Barrera Rojas Ambar Jocabed

CC: 160060242-7

Ramirez Estrada Geovanny Efrain

CC: 220042817-1




## AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“ESTRATEGIAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y UBICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA (GD) EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN”**, de los estudiantes **BARRERA ROJAS AMBAR JOCABED** y **RAMIREZ ESTRADA GEOVANNY EFRAIN** de la carrera de Ingeniería en Electricidad, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto, 2023.



**Tutor de Titulación**  
Ing. Pesantez Palacios Gabriel Napoleón M.Sc.  
CC: 030189388-9



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: **BARRERA ROJAS AMBAR JOCABED** y **RAMIREZ ESTRADA GEOVANNY EFRAIN** con el título de Proyecto de titulación: **"ESTRATEGIAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y UBICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA (GD) EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN"**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto, 2023

Para constancia firman:

**Lector 1 (Presidente)**  
Ing. Guamán Cuenca Wilian Patricio M.Sc  
CC: 060357895-6

**Lector 2**  
Dr. Palacios Solorzano Juan Pablo  
CC: 130688632-4

**Lector 3**  
Ing. León Segovia Marco Aníbal M.Sc  
CC: 050230540-2

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme la vida y permitirme culminar mis estudios.

A mi madre que ha sido mi constante apoyo, siempre involucrada en mis estudios y brindándome ánimo para seguir adelante a pesar de la adversidad.

A mi padre, igualmente, por su dedicación y constante búsqueda del bienestar familiar.

Sus sacrificios en mi trayectoria profesional han sido invaluable. No solo me han respaldado, sino que también me han brindado consejos y confiado en mis capacidades. Reconozco el valor de sus enseñanzas al inculcarme valores como la perseverancia y responsabilidad, atributos que han sido fundamentales para entregar todo mi empeño en lo que hago. Una vez más gracias por ser un ejemplo a seguir.

**Ambar Barrera Rojas**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mi madre y a mi padre cuyo apoyo inquebrantable ha sido el cimiento fundamental que ha permitido alcanzar este logro.

Este mérito no es solo mío, sino también de ustedes, quienes han compartido cada paso de este viaje con paciencia inagotable y ánimo constante.

**Ambar Barrera Rojas**

## **AGRADECIMIENTO**

Con emoción extendiendo mi más sincero agradecimiento a todos aquellos que han sido parte fundamental durante el desarrollo de este proyecto. Este trabajo representa el esfuerzo y apoyo emocional de numerosas personas que contribuyeron durante la investigación. A través de estas palabras, deseo expresar mi gratitud a quienes han sido pilares en este proceso.

En primer lugar, mi gratitud se dirige a Dios y a mi madre, sus palabras de aliento y el amor constante que me han brindado han sido mi principal fuente de inspiración. En los momentos más desafiantes, su respaldo ha sido mi fuerza motriz, impulsándome a seguir adelante con determinación. La celebración compartida en cada logro alcanzado ha sido un recordatorio constante de que no estoy solo en este viaje.

Agradezco también a los docentes de la universidad, por compartir sus conocimientos, por su orientación experta, su inquebrantable paciencia y su dedicación incansable, su habilidad para desafiarme a superar mis propios límites han sido esenciales en el desarrollo y éxito de esta investigación.

Finalmente, extendiendo mi gratitud a mis amigos y seres queridos que, con su apoyo y comprensión, han sido mi red de apoyo emocional, por estar a mi lado durante las épocas difíciles, brindarme momentos de distracción y recordarme la importancia de mantener un equilibrio entre el trabajo, los estudios y la vida personal.

Con el corazón lleno de reconocimiento y afecto sincero,

**Geovanny Ramirez Estrada**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a mi familia, por amor, el apoyo incondicional y los consejos en los momentos difíciles. A mi madre, cuyo sacrificio y aliento constante han sido mi inspiración diaria.

A mis amigos, cuya presencia ha sido un bálsamo para el alma en los momentos de agotamiento y estrés. Sus risas, sus conversaciones y su apoyo emocional han sido el recordatorio constante de que este camino no se recorre solo.

A todos aquellos que, de una forma u otra, han contribuido a este proyecto y han compartido sus conocimientos y experiencias conmigo, mi agradecimiento sincero. Cada conversación, cada intercambio de ideas y cada consejo han dejado una huella duradera en mi trayectoria.

En eterna gratitud,

**Geovanny Ramirez Estrada**

## ÍNDICE GENERAL

1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN .....	2
2.1. EL PROBLEMA.....	3
2.1.1. Situación problemática .....	3
2.1.2. Formulación del problema.....	4
2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	5
2.3. BENEFICIARIOS.....	5
2.3.1. Beneficiarios directos: .....	5
2.3.2. Beneficiarios indirectos: .....	5
2.4. JUSTIFICACIÓN .....	6
2.5. HIPÓTESIS.....	6
2.6. OBJETIVOS .....	7
2.6.1. Objetivo General.....	7
2.6.2. Objetivos Específicos .....	7
2.7. SISTEMA DE TAREAS.....	7
3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICO .....	8
3.1. ANTECEDENTES .....	8
3.2. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN.....	9
3.2.1. Niveles de voltaje en sistemas de distribución. ....	10
3.2.2. Configuraciones de circuitos de los sistemas de distribución eléctrica.....	10
3.3. GENERACION DISTRIBUIDA .....	12
3.3.1. Definición de la generación distribuida:.....	12
3.3.2. Clasificación de la GD.....	12
3.3.3. Aplicaciones de la generación distribuida .....	13

3.4. RECURSOS RENOVABLES UTILIZADOS EN LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA.....	13
3.4.1. Energía fotovoltaica.....	13
3.4.2. Energía eólica .....	14
3.4.3. Energía hidroeléctrica.....	15
3.4.4. Grupos electrógenos .....	16
3.5. FLUJOS DE POTENCIA. ....	16
3.5.1. Algoritmos utilizados por OpenDSS .....	17
3.6. GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SD.....	19
3.7.1. Métodos de optimización clásica.....	20
3.7.2. Técnicas artificiales inteligentes (meta-heurísticas).....	20
3.8. ENJAMBRE DE PARTÍCULAS (PSO) .....	21
3.8.1. Proceso para algoritmo PSO .....	22
3.8.2. Componentes del modelo PSO [56], [57]:.....	24
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	27
4.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN .....	27
4.2. MATERIALES E INSTRUMENTOS .....	27
4.2.1. OpenDSS .....	27
4.2.2. Python.....	27
4.3. METODOLOGÍA Y CASO DE ESTUDIO .....	28
4.3.1. Construcción del caso de estudio.....	28
4.3.2. Validación de la red implementado en el software OpenDSS.....	28
4.3.3. Datos geográficos de energías solar en Sucumbíos – Joya de los Sachas.....	29
Irradiación solar y temperatura ambiente. ....	29
Orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos.....	31
Condiciones nominales de operación .....	31
Eficiencia de los módulos fotovoltaicos .....	32

Máxima energía de consumo del sistema .....	32
4.3.5. Metodología de la ubicación de GD.....	34
4.3.6. Criterios técnicos de conexión a la red.....	35
4.4. NORMATIVA.....	36
4.4.1. Norma IEEE 1547 .....	36
5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	37
5.1. CASO BASE IEEE 34 NODOS .....	37
5.2. CASOS DE ESTUDIO .....	41
5.2.1. Caso 1: Demanda media (61 usuarios).....	41
5.2.2. Caso 2: Demanda baja (29 usuarios).....	44
5.2.3. Caso 3: Demanda baja (14 usuarios).....	45
5.3. PÉRDIDAS TOTALES .....	48
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	49
6.1. CONCLUSIONES .....	49
6.2. RECOMENDACIONES.....	50
7. BIBLIOGRAFÍA .....	51
8. ANEXOS .....	57
8.1. ANEXO 1: INFORME PLAGIO.....	57
8.2. ANEXO 2: MODELADO DEL SISTEMA EN OPENDSS.....	58
8.3. ANEXO 3: LEVANTAMIENTO REFERENCIAL DEL SISTEMA BASE.....	59
8.3.1. DATOS DE ENTRADA CASO BASE IEEE 34 NODOS. ....	59
8.4. ANEXO 4: DATOS DE ENTRADA PARA CASOS REALES.....	60
8.5. ANEXO 5: DATOS DE ENTRADA PARA PSO EN PYTHON.....	61
8.6. ANEXO 6: CASOS DE ESTUDIO .....	62
8.6.1. Caso base IEEE 34 nodos.....	62
8.6.2. Diagrama del sector con demanda media (61 usuarios).....	65
8.5.3 Diagrama del sector con demanda baja (29 usuarios). ....	68

8.6.3. Diagrama del sector con demanda baja (14 usuarios) .....	71
8.7. ANEXO 7: PÉRDIDAS TOTALES POR CASO DE ESTUDIO .....	73
8.8. ANEXO 8: DATOS DE IRRADIACIÓN SOLAR Y TEMPERATURA .....	73
Datos de irradiación solar .....	73
Datos de temperatura ambiente .....	73
8.9. ANEXO 9: POTENCIA FOTOVOLTAICA SUMINISTRADA AL SISTEMA .....	74
8.10. ANEXO 10: DIMENSIONAMIENTO DE GD. ....	76
8.11. ANEXO 11: DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE GD. ....	77

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Niveles de voltaje .....	10
Tabla 3.2. Categorización de la GD según su capacidad.....	12
Tabla 3.3. Tipos y características de generación distribuida .....	13
Tabla 3.4. Descripción métodos de optimización .....	20
Tabla 3.5. Técnicas artificiales inteligentes .....	21
Tabla 3.6. Parámetros a considerar para el modelo PSO.....	22
Tabla 3.7. Coeficientes para la velocidad de la partícula. ....	23
Tabla 3.8. Subíndices para velocidad de la partícula. ....	23
Tabla 4.1. Datos para los casos de estudio CNEL EP Sucumbíos. ....	28
Tabla 4.2. Datos geográficos del sector de CNEL EP Sucumbíos.....	29
Tabla 5.1. Conexión de paneles fotovoltaicos según la metodología.....	38
Tabla 5.2. Ubicación aleatoria para los diferentes casos de estudio.....	41
Tabla 5.3. Ubicación óptima con PSO. ....	41
Tabla 5.4. Pérdidas totales de potencia por caso y escenario.....	48
Tabla 8.1. Parámetros para el modelado de línea de código de carga .....	58
Tabla 8.2. Datos de entrada sistema IEEE 34 nodos .....	59
Tabla 8.3. Datos de conductores para casos reales.....	60
Tabla 8.4. Carga instalada en cada caso de estudio.....	60
Tabla 8.5. Parámetros de entrada para PSO. ....	61
Tabla 8.6. Pérdidas de potencia por escenario caso IEEE 34 nodos. ....	62
Tabla 8.7. Voltajes por escenario IEEE 34 nodos. ....	63
Tabla 8.8. Validación de voltajes .....	64
Tabla 8.9. Pérdidas de potencia por ramal caso (4135).....	66
Tabla 8.10. Voltajes por escenario caso (4135).....	67
Tabla 8.11. Pérdidas de potencia por ramal caso (4131).....	69
Tabla 8.12. Voltajes por escenario caso (4131).....	70

Tabla 8.13. Pérdidas de potencia por ramal caso (2012799).....	72
Tabla 8.14. Voltajes por escenario caso (2012799).....	72
Tabla 8.15. Pérdidas totales para los diferentes casos de estudio.....	73
Tabla 8.16. Datos de irradiación solar .....	73
Tabla 8.17. Curva de temperatura. ....	73
Tabla 8.18. Datos eléctricos (STC) . ....	74
Tabla 8.19. Límites operacionales .....	75
Tabla 8.20. Datos de entrada del sistema fotovoltaico a Python. ....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Esquema radial.....	11
Figura 3.2. Esquema tipo anillo.....	11
Figura 3.3. Irradiación solar global promedio anual .....	14
Figura 3.4. Atlas eólico del Ecuador . .....	15
Figura 3.5. Movimiento de una partícula del PSO. ....	25
Figura 3.6. Contribución de la componente cognitiva y social en la partícula x del PSO. ....	26
Figura 4.1. Área de estudio en Joya de los Sachas . .....	29
Figura 4.2. Temperatura promedio por hora.....	30
Figura 4.3. Irradiación promedio diario.....	30
Figura 4.4. Orientación del panel solar .....	31
Figura 4.5. Diagrama de bloques para dimensionamiento de GD.....	33
Figura 4.6. Diagrama de flujo PSO. ....	35
Figura 5.1. Sistema IEEE de 34 nodos modificado .....	37
Figura 5.2. Porcentaje de pérdidas totales IEEE 34 nodos.....	38
Figura 5.3. Pérdidas de potencia por escenario IEEE 34 nodos.....	39
Figura 5.4. Voltajes por escenario IEEE 34 nodos en p.u. ....	40
Figura 5.5. Pérdidas de potencias totales por escenario caso (4135). ....	42
Figura 5.6. Pérdidas de potencias por escenario caso (4135).....	43
Figura 5.7. Voltajes por escenario caso (4135). ....	43
Figura 5.8. Pérdidas de potencias por escenario caso (4131).....	44
Figura 5.9. Voltajes por escenario caso (4131). ....	45
Figura 5.10. Pérdidas de potencia por escenario caso (2012799). ....	46
Figura 5.11. Voltajes por escenario caso (2012799). ....	47
Figura 8.1. Modelado de líneas en OPENDSS . .....	58
Figura 8.2. Validación de voltajes AG . .....	64
Figura 8.3. Caso demanda media (61 usuarios).....	65

Figura 8.4. Caso demanda baja (29 usuarios).....	68
Figura 8.5. Caso demanda baja (14 usuarios).....	71
Figura 8.6. Visualización del panel fotovoltaico .....	74
Figura 8.7. Ventana de dimensionamiento de GD.....	76
Figura 8.8. Diagrama de flujo para el dimensionamiento y ubicación de GD. ....	77

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

**RESUMEN**

**TEMA: “ESTRATEGIAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y UBICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN”**

**Autores:** Barrera Rojas Ambar Jocabed

Ramirez Estrada Geovanny Efrain

**RESUMEN**

En el presente documento se realiza la integración de generación distribuida (GD) en redes de baja tensión utilizando sistemas de configuración radial que operan en el rango de 220V-127V de la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL EP Sucumbíos), con el propósito de evaluar el comportamiento de las variables eléctricas. Para abordar este tema, se llevó a cabo una revisión bibliográfica de los métodos determinísticos y metaheurísticos utilizados para determinar el dimensionamiento y ubicación de los sistemas de GD. Para el primer criterio, se seleccionan paneles fotovoltaicos con capacidades específicas de generación, considerando la alta disponibilidad de radiación solar en la región. Mientras que para la ubicación la metodología adoptada se basa en la implementación del algoritmo de Optimización de Enjambre de Partículas (PSO por sus siglas en ingles), el cual busca minimizar las pérdidas totales de los sistemas. La eficacia del método se valida a través de la comparación con el sistema IEEE de 34 nodos, obteniendo resultados congruentes con los presentados por J. Radosavljevic et al. en [68]. Finalmente, aplicar PSO permite mejorar la tensión en los nodos y disminuir el porcentaje de pérdidas del sistema. Sin embargo, se han identificado desafíos relacionados con la bidireccionalidad de flujos de potencia, lo que requiere una atención cuidadosa para garantizar la estabilidad del sistema.

**Palabras clave:** Dimensionamiento, Enjambre de partículas (PSO), Generación Distribuida (GD), Ubicación, Variables Eléctricas.

**TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI**  
**FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES**  
**ELECTRICAL ENGINEERING CAREER**

**ABSTRACT**

**SUBJECT: " STRATEGIES FOR SIZING AND LOCATION OF DISTRIBUTED GENERATION IN DISTRIBUTION ELECTRICAL SYSTEMS ".**

**Author:** Barrera Rojas Ambar Jocabed

Ramirez Estrada Geovanny Efrain

**ABSTRACT**

In this paper, the integration of distributed generation (DG) in low voltage networks using radial configuration systems operating in the 220V-127V range of the National Electricity Corporation (CNEL EP Sucumbíos) is carried out in order to evaluate the behavior of electrical variables. To address this issue, a literature review of the deterministic and metaheuristic methods used to determine the dimensioning and location of DG systems was carried out. For the first criterion, photovoltaic panels with specific generation capacities are selected, considering the high availability of solar radiation in the region. For the location, the methodology adopted is based on the implementation of the Particle Swarm Optimization (PSO) algorithm, which seeks to minimize the total losses of the systems. The effectiveness of the method is validated through the comparison with the IEEE 34-node system, obtaining results congruent with those presented by J. Radosavljevic et al. in [68]. Finally, applying PSO allows improving the voltage at the nodes and decreasing the percentage of system losses. However, challenges related to bidirectionality of power flows have been identified, which requires careful attention to ensure system stability.

**Key words:** Sizing, Particle Swarm (PSO), Distributed Generation (DG), Siting, Electrical Variables.



## AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma Inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: **“ESTRATEGIAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y UBICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA (GD) EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN”** presentado por: **Barrera Rojas Ambar Jocabed y Ramirez Estrada Geovanny Efrain**, egresados de la Carrera de **Ingeniería en Electricidad**, pertenecientes a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, agosto del 2023.

Atentamente,

M.Sc. Nelson Wilfrido Guagchinga Chicaiza  
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC  
CI: 0503246415



CENTRO  
DE IDIOMAS

## **1. INFORMACIÓN GENERAL**

**Título:** Estrategias para el dimensionamiento y ubicación de generación distribuida en sistemas eléctricos de distribución.

**Fecha de inicio:** Abril 2023

**Fecha de finalización:** Agosto 2023

**Lugar de ejecución:** Joya de los Sachas – Sucumbíos

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas.

**Carrera que auspicia:** Carrera de Ingeniería en Electricidad.

**Proyecto de investigación vinculado:** Desarrollo de sistemas eficientes para el abastecimiento y uso de energía eléctrica a nivel local, regional o nacional.

**Grupo de Investigación:**

**Tutor de Titulación:**

Ing. M.Sc. Pesantez Palacios Gabriel Napoleón

**Estudiante/s:**

Barrera Rojas Ambar Jocabed

Ramirez Estrada Geovanny Efrain

**Área de Conocimiento:** 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 3306.09 Transmisión y Distribución / 3322 Tecnología Energética / 3322.05 Fuentes no Convencionales de Energía (Ver 2106.01 y 2506.08)

**Línea de investigación:** Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

**Sub-línea de investigación de la Carrera:** Generación con fuentes convencionales y no convencionales.

## **2. INTRODUCCIÓN**

Los sistemas de distribución son parte fundamental de las redes eléctricas, encargados de transportar la energía eléctrica desde las subestaciones hasta los consumidores finales, como hogares, industrias y comercios.

La generación de energía eléctrica principal ha sido hidroeléctricas y térmicas, que proporcionaban la mayor parte de la energía. Estas centrales se encontraban principalmente en áreas rurales y alejadas de los centros de consumo, lo que requería una extensa infraestructura de transmisión para llevar la energía a los usuarios finales. Con el tiempo se han buscado formas de mejorar los sistemas de distribución en donde ha sido una opción la generación con fuentes de energía renovables que ha ido evolucionando y siendo mucho más prácticas como rentables.

El proceso de dimensionar y ubicar la generación distribuida implica la determinación precisa de la capacidad y la posición óptima de las fuentes de energía descentralizadas, como los paneles solares, las turbinas eólicas o los generadores a pequeña escala. Para llevar a cabo la selección del emplazamiento, se considera la capacidad de estas fuentes energéticas, lo cual implica una comprensión detallada de las necesidades de energía del usuario.

Adicionalmente, se lleva a cabo una evaluación exhaustiva de la capacidad de la red eléctrica local. Este paso es crucial, ya que un exceso de generación distribuida podría ocasionar problemas relacionados con la estabilidad y la calidad de la energía suministrada. Por tanto, es imperativo asegurarse de que la red esté preparada para absorber el flujo de energía generado por estas fuentes descentralizadas.

Asimismo, es fundamental tener en cuenta las regulaciones y políticas del sector energético. Dado que la generación distribuida puede estar sujeta a directrices específicas y consideraciones legales, es necesario cumplir con las normativas vigentes. Esta consideración garantiza que las instalaciones estén en línea con los marcos regulatorios y que contribuyan al desarrollo sostenible y efectivo del sistema energético.

La presente investigación desarrollara estrategias para la ubicación y dimensionamiento de GD en los sistemas de distribución para CNEL Sucumbíos, con la finalidad de disminuir las pérdidas de energía, mejorar los perfiles de voltajes y aumentar la confiabilidad del sistema.

## **2.1. EL PROBLEMA**

### **2.1.1. Situación problemática**

De acuerdo con el Plan Maestro de Electricidad 2016-2025 (PME), el sistema de distribución debe garantizar la universalidad y accesibilidad al servicio eléctrico conforme a lo estipulado en la Constitución de la República del Ecuador; además, de garantizar la sostenibilidad, calidad, continuidad, confiabilidad y seguridad, sustentado en la aplicación de estándares de la industria eléctrica y en la incorporación de nuevos recursos energéticos [1].

Actualmente, las redes eléctricas convencionales de baja tensión presentan limitaciones en cuanto a su desempeño debido a su infraestructura antigua que carece de innovación y no está preparada para enfrentar fallas ambientales o producidas por el ser humano [2], [3].

Durante décadas, las energías convencionales han sido las fuentes naturales más utilizadas para la producción de energía eléctrica a nivel mundial. Entre estas fuentes se encuentran los combustibles fósiles, como el petróleo, el gas natural y el carbón [4]. Estas se han convertido en la principal fuente de energía a nivel global debido a su alta densidad energética y su fácil accesibilidad. Sin embargo, la utilización de estas fuentes de energía ha sido objeto de controversia debido a su impacto ambiental y al hecho de que son recursos finitos.

Uno de los factores importantes es el costo de generación de energía. En 2021, el Coste Normalizado de la Energía (LCOE, por sus siglas en inglés), medio ponderado mundial de las nuevas instalaciones solares fotovoltaicas e hidroeléctricas a escala de distribución fue un 11 % menor que la opción más barata de generación de electricidad a base de combustibles fósiles, mientras que la diferencia fue del 39 % en el caso de la eólica terrestre. Así lo establece la “Agencia Internacional de Energía Renovable 2021” (IRENA) [5].

Las energías renovables como la solar y eólica, dependen de factores como el nivel de radiación, velocidad del viento, etc., mismos que plantean retos de gran complejidad para convertirse en la elección del servicio público de electricidad [6]. Los efectos de estos retos son muy relevantes en el funcionamiento del sistema energético, ya que abarcan desde la necesidad de incrementar los requisitos de reserva de producción para garantizar la operatividad confiable, hasta la necesidad de modificar la planificación de las redes de transmisión.

Se produce una parte importante de la energía eléctrica a nivel mundial utilizando combustibles fósiles o derivados del petróleo, los cuales contribuyen a la emisión de  $CO_2$  y están relacionados con problemas ambientales como el cambio climático y la contaminación.

Estos problemas se pueden observar a través de cambios y anomalías en la temperatura que han afectado en los últimos años. Por esta razón, es necesario encontrar soluciones energéticas sostenibles que puedan mantener un margen de reserva adecuado para la generación de electricidad utilizando fuentes de energía limpia [7], [8] .

La Organización para el Desarrollo y Cooperación Económica (OCDE) ha señalado que la generación distribuida masiva, especialmente utilizando recursos renovables, podría ser una posible solución para generar electricidad sin aumentar las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto se debe a que las centrales de generación distribuidas tienen un menor impacto ambiental y pueden ayudar a diversificar el portafolio de tecnologías de generación. Además, la generación distribuida se ubica cerca de los centros de consumo, lo que reduce la necesidad de líneas de transmisión y facilita el aprovechamiento de recursos renovables como la fotovoltaica y la eólica [8], [9].

Las redes de distribución convencionales son diseñadas de forma radial, estas pueden llegar a presentar fallas de sobrecarga, caídas de tensión, etc., mismas que pueden ser ocasionadas por demandas muy grandes y fallas en su estructura teniendo como consecuencia la suspensión del servicio eléctrico en determinadas zonas. El ingreso de GD en las redes de baja tensión es importante porque puede suministrar una parte de la demanda eléctrica sin depender de la red centralizada de energía. Incluso en el caso de que se produzca una pérdida de energía en un punto de la red, las fuentes de energía renovable distribuidas pueden seguir suministrando energía a las cargas conectadas a través de la red eléctrica. Esto hace que la generación distribuida sea una opción más confiable y segura para satisfacer la demanda de energía en las comunidades locales [8].

En este contexto se plantea analizar la introducción de generación distribuida en Media y Baja tensión de sistemas de Distribución, con la finalidad de observar las variaciones en los parámetros eléctricos debido a que la falta de estudio en el país dificulta el ingreso de nuevos proyectos de GD.

### **2.1.2. Formulación del problema**

La inserción de generación distribuida en sistemas de baja tensión afecta al comportamiento de los flujos de potencia del sistema eléctrico.

## **2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN**

- **Objeto:**

ESTRATEGIAS PARA EL DIMENSIONAMIENTO Y UBICACIÓN DE GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE DISTRIBUCIÓN

**¿Qué se investiga?**

Incorporación de generación distribuida en sistemas eléctricos de distribución.

**¿En dónde o en qué sistema se investiga?**

En la Red Eléctrica Secundaria de la Empresa CNEL EP. Provincia de Sucumbíos en Ecuador.

- **Campo de Acción:**

El objeto de estudio es un sistema de distribución de energía eléctrica con generación distribuida.

El campo de acción para el proyecto (Código UNESCO):330000 ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas / 3306.99 Transmisión y Distribución.

## **2.3. BENEFICIARIOS**

### **2.3.1. Beneficiarios directos:**

- La Empresa CNEL EP Unidad de Negocios Sucumbíos.
- Empresas públicas y privadas conectadas a la red eléctrica.

### **2.3.2. Beneficiarios indirectos:**

- Consumidores finales.
- Empresas eléctricas de Ecuador.
- Estudiantes de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

## **2.4. JUSTIFICACIÓN**

La generación distribuida es un modelo eléctrico que permite a los usuarios del servicio no solo consumir energía, sino también generar a pequeña escala utilizando fuentes renovables disponibles [10]. Con el crecimiento constante de la demanda eléctrica, las nuevas tendencias tecnológicas y la diversificación del Sistema Nacional Interconectado (SNI) del Ecuador, se hace necesario realizar estudios sobre la implementación de generación distribuida con energías renovables para redes de media y baja tensión, para ello es necesario un simulador capaz de examinar las tendencias que surgen en la red, así como los efectos que tiene la generación distribuida en la operación de las redes de distribución [11].

Por ello, considerar un modelo en donde se incluya la introducción de GD permitirá analizar cómo los flujos de potencia y corrientes de cortocircuito que pueden ser bidireccionales, lo que influye en la operación de las redes de distribución. Es importante destacar que estas redes han sido operadas tradicionalmente como un sistema radial, donde los flujos de potencia y corrientes de cortocircuito fluyen en una sola dirección. La introducción de la generación distribuida cambia esta dinámica y requiere una mayor atención en la operación y planificación de la red [12].

Por otra parte las razones que han motivado el desarrollo de la GD durante los últimos años son de diversa índole: razones medioambientales (como en el caso de las tecnologías renovables: eólica, minihidráulica, fotovoltaica, etc.), eficiencia energética (como en el caso de la cogeneración), avances tecnológicos (como en el caso de las microturbinas de gas y las pilas de combustible), diversificación de las fuentes de energía, fiabilidad del suministro (aplicaciones de respaldo o back-up con grupos electrógenos), razones económicas, etc., [13].

Este estudio permitirá conocer estrategias para la implementación de GD, así como analizar el comportamiento de la red de distribución eléctrica. Además, se explorará el crecimiento de la demanda, aprovechando los beneficios de menores tiempos de implementación en comparación con la generación centralizada [14].

## **2.5. HIPÓTESIS**

¿La inserción de generación distribuida en sistemas eléctricos de distribución altera los flujos de potencia de manera significativa, reduciendo pérdidas en la red y mejorando la eficiencia y confiabilidad del sistema eléctrico?

## 2.6. OBJETIVOS

### 2.6.1. Objetivo General

Analizar el comportamiento de la red de Distribución de Baja Tensión ante la introducción de GD, utilizando software de código abierto (open source) para evaluar el impacto sobre las variables eléctricas.

### 2.6.2. Objetivos Específicos

- Investigar estrategias y técnicas para la ubicación de generación distribuida (GD) mediante la búsqueda bibliográfica.
- Implementar un método de optimización para el dimensionamiento y ubicación de GD mediante la ejecución de un algoritmo.
- Aplicar GD a casos de estudio mediante el uso de la metodología seleccionada.

## 2.7. SISTEMA DE TAREAS

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
Investigar estrategias y técnicas para la ubicación de generación distribuida (GD) mediante la búsqueda bibliográfica.	-Revisión del estado del arte para generación distribuida. -Recopilación de información acerca de estrategias y técnicas que determinen la ubicación de GD.	-Desarrollo de la base teórica de GD. -Métodos y criterios de ubicación para GD.	-Tesis. -Revistas técnicas. -Artículos científicos. -Libros.
Implementar un método de optimización para el dimensionamiento y ubicación de GD mediante la ejecución de un algoritmo.	-Implementación del método acorde para la optimización de la ubicación y dimensionamiento de GD.	-Método de optimización. -Ubicación y dimensionamiento de GD.	-OpenDSS. -Python. -CYME 7.1 Rev 02. -Página web de la nasa.
Aplicar GD a casos de estudio mediante el uso de la metodología seleccionada.	-Aplicación del modelo en un software. -Determinación de diferentes casos de estudio a evaluar.	-Modelo aplicado al sistema de distribución. -Resultados del comportamiento del sistema.	-Python. -OpenDSS. -Microsoft Excel.

### **3. FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICO**

#### **3.1. ANTECEDENTES**

En el año 2007, el gobierno ecuatoriano promulgó la Ley de Eficiencia Energética y Energías Renovables, que estableció políticas y regulaciones para fomentar la generación de energía renovable en el país. Esta ley estableció un marco para la implementación de proyectos de generación distribuida en el sector eléctrico [15].

En el año 2014 M. Chuqui [16] concluye que la implementación de sistemas de GD en hogares y edificios es técnicamente viable y puede proporcionar importantes beneficios económicos y ambientales, como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y la disminución de la dependencia de la red eléctrica convencional. Sin embargo, la viabilidad económica de la GD depende en gran medida de factores como los costos iniciales de inversión y los incentivos fiscales disponibles para la implementación de estas tecnologías.

También en el año 2014 L. Freire [17] evaluó la estabilidad de voltaje en los diferentes nodos de la red ante variaciones en la demanda y en la generación distribuida. Los resultados mostraron que la penetración de la generación distribuida puede tener un impacto significativo en la estabilidad de voltaje de la red, y que la capacidad de las líneas de transmisión y distribución debe ser adecuada para soportar la cantidad de generación distribuida.

O. Sánchez [18] considera como un trabajo relevante de flujo de potencia a un modelo probado en la IEEE 34 nodos para trabajar como nodo PV o modo control de voltaje (MCV). Además, la realización de pruebas al sistema IEEE 37 nodos, pero ahora conectado una unidad de GD funcionando como nodo PV o MCV y como nodo PQ o factor de potencia constante, todo esto utilizando las metodologías monofásica y trifásica.

Por otra parte, la capacidad mundial de generación de electricidad a través de paneles solares fotovoltaicos ha experimentado un notable aumento exponencial, llegando a aproximadamente 227 GWe para fines de 2015. Esto equivale a generar alrededor del 1% del suministro total de electricidad o el 0,5% del total de energía primaria a nivel global [14].

Mientras en Estados Unidos y Europa han elegido la Generación Distribuida (GD) como una alternativa viable, económica y confiable. En gran parte de estos países la GD contribuye con el 10% de la capacidad instalada e inclusive países como Holanda y Dinamarca, la GD ha llegado a ocupar un 30 o 40% de la capacidad total instalada. Por ejemplo, en Austria el 78% de su generación para el año 2010 se basó en fuentes de energía renovable [19].

Para el año 2021 se establece la Resolución Nro. ARCERNNR-032/2021 respecto a tarifas para la conexión de sistemas de generación distribuida al sistema eléctrico nacional. En concreto, esta resolución establece que los usuarios que deseen conectarse al sistema eléctrico nacional para generar energía a partir de fuentes renovables y no renovables deberán pagar una tarifa por los servicios de acceso, transmisión, distribución y medición de la energía generada [20].

En el año 2022 M. Medina [21] identificó el nodo crítico de una red eléctrica y evaluó la implicación de la generación distribuida en la mejora del perfil de voltaje y la reducción de pérdidas. Se utilizó el software OpenDSS para determinar los aportes de potencia activa y reactiva del generador eólico en diferentes demandas (mínima y máxima). Se observó que el nodo crítico presentó una mayor caída de voltaje en ambas demandas. La incorporación de la generación distribuida redujo la entrega de potencia activa de la red en un 65% en demanda mínima y un 21% en demanda máxima, y también redujo las pérdidas asociadas a la resistencia del enlace en 1.56 kW en demanda mínima y 35.59 kW en demanda máxima. En conclusión, se demostró que la generación distribuida puede mejorar el perfil de voltaje y reducir las pérdidas en las redes eléctricas.

Mientras que en el mismo año 2022 A. Águila, et. al. [22] utilizan el algoritmo enjambre de partículas por sus siglas en inglés (PSO) para optimizar la ubicación y tamaño de la generación distribuida, considerando diversas condiciones de carga y topología de la red. Se realizan simulaciones utilizando la herramienta de software OpenDSS. Los resultados muestran que la implementación de la GD puede reducir significativamente las pérdidas de energía y mejorar la calidad del servicio en la red. Además, el uso del algoritmo PSO permitió encontrar la solución óptima para la ubicación y tamaño de la generación distribuida en la red.

### **3.2. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN**

De acuerdo con [23] los componentes más importantes incluyen:

- a) Subestación principal de potencia: es el punto de entrada de la energía eléctrica al sistema de distribución. Aquí, se reduce el voltaje de transmisión a un nivel más bajo para que la energía pueda ser distribuida a través de las subestaciones de subtransmisión y distribución.
- b) Subestación de subtransmisión: la energía eléctrica se reduce aún más y se distribuye a las subestaciones de distribución a través de líneas de transmisión de alta tensión.

- c) Subestación de distribución: la energía eléctrica se reduce a un voltaje que es adecuado para la distribución a los clientes. Desde aquí, la energía se distribuye a través de los alimentadores primarios a los transformadores de distribución.
- d) Alimentadores primarios: son líneas de distribución que transportan la energía eléctrica desde las subestaciones de distribución a los transformadores de distribución en los vecindarios.
- e) Transformadores de distribución: reducen el voltaje de la energía eléctrica a un nivel que es seguro para su uso en hogares y negocios.
- f) Secundarios y servicios: son las líneas que se conectan a los transformadores de distribución y llevan la energía eléctrica directamente a los hogares y negocios.

Estos elementos son aplicables a cualquier tipo de carga, ya sea en redes subterráneas o aéreas.

### 3.2.1. Niveles de voltaje en sistemas de distribución.

Según la resolución NRO. ARCERNNR-025/2022 corresponden al nivel de voltaje en el punto de entrega del consumidor regulado [24]:

**Tabla 3.1.** Niveles de voltaje [24].

Nivel de voltaje	Grupo	Voltaje de suministro en el punto de entrega
Bajo		Menor o igual a 0,6 kV;
Medio		Mayor a 0,6 y menor igual a 40 kV;
Alto	Grupo 1 -AV1	Mayor a 40 y menor igual a 138 kV;
	Grupo 2 – AV2	Mayor a 138 kV.

### 3.2.2. Configuraciones de circuitos de los sistemas de distribución eléctrica

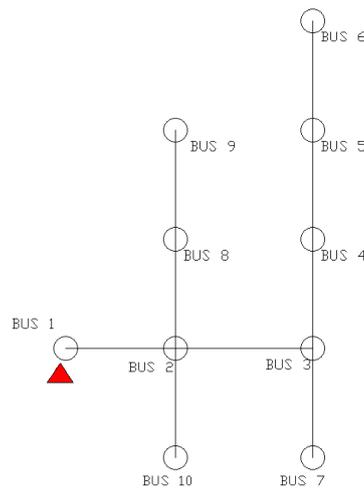
En cuanto a la estructura, el sistema de distribución eléctrica se organiza en diferentes niveles de voltaje, que van desde la subestación principal de potencia hasta los hogares y negocios. En este caso [23] establece diferentes clasificaciones considerando ciertos criterios como:

- a) Su construcción: aérea clásica, subterránea y aérea compacta.
- b) Su topología: radial, anillo, malla, anillo con amarre y estrella.
- c) Por el número de fases: monofilar, bifilar, trifilar.
- d) Por el nivel de voltaje: bajo voltaje (BV) y medio voltaje (MV).
- e) Por el tipo de carga: residencial, comercial e industrial.

- f) Red primaria: circuitos alimentador primario radial, alimentador primario con enlace, con amarres de emergencia, red primaria.
- g) Red secundaria: radial, hilera, malla, selectivo.

**Red con topología radial:**

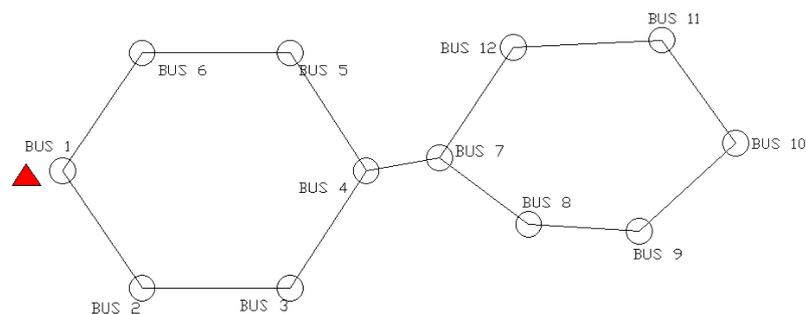
Las líneas parten de las subestaciones y se ramifican extendiéndose por toda el área suministrada. Estas se alimentan por un único extremo desde el que se realiza el suministro a los centro de transformación mediante derivaciones o ramificaciones en antena que no se cierran sobre sí mismas [25].



**Figura 3.1.** Esquema radial.

**Red con topología anillo:**

Están formadas por una línea cerrada a lo largo de la cual se reparten los centros de transformación. Estas redes proporcionan dos caminos para alimentar a los centros de transformación, constituyendo una solución intermedia entre las redes radiales [26].



**Figura 3.2.** Esquema tipo anillo.

### 3.3. GENERACION DISTRIBUIDA

#### 3.3.1. Definición de la generación distribuida:

La definición más difundida es la del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE por sus siglas en inglés. La cual define que: "La Generación Distribuida corresponde a la producción de energía eléctrica mediante instalaciones suficientemente pequeñas en relación con la generación centralizada, de manera que permiten la interconexión en cualquier punto de la red, siendo un subconjunto de recursos distribuidos del sistema de distribución" [27].

Mientras que el Consejo Internacional sobre Grandes Sistemas Eléctricos (CIGRE) añade: "No es usualmente planificada; No es despachada de forma centralizada; y su capacidad es inferior a 50 o 100 MW" [11].

Y Según la Agencia Internacional de Energía (IEA), la GD son plantas de generación eléctrica que atiende a un cliente en el lugar, o el apoyo a una red de distribución, y se conecta a la red a nivel de voltaje de distribución y asocia tecnologías como motores, microturbinas, pilas de combustible y energía solar fotovoltaica [12], [28].

#### 3.3.2. Clasificación de la GD

Existen varias formas de clasificar la GD, se consideran la establecida por [27], donde utiliza diferentes criterios entre los que tenemos:

- a) El propósito. - La GD se concibe como una fuente de potencia eléctrica activa.
- b) La localización u ubicación. - Consideran GD a los sistemas situados en la red de distribución y/o en la red de baja tensión.
- c) Calificación por rango de capacidad;

**Tabla 3.2.** Categorización de la GD según su capacidad [29].

Tipo de generación distribuida	Capacidad
Micro	1 W < 5kW
Pequeña	5 kW < 5 MW
Media	5 MW < 50 kW
Grande	50W < 300 MW

- d) Área de entrega de potencia;
- e) Impacto ambiental;
- f) Modo de Operación;
- g) Nivel de participación;

- h) Tecnologías de la generación distribuida. - Son sistemas a pequeña escala como alternativa a las centrales de combustible fósil. De todas las posibles se describen a continuación:

**Tabla 3.3.** Tipos y características de generación distribuida [30].

<b>Tecnología de GD</b>	<b>Eficiencia</b>	<b>Capacidad</b>
Generador y turbinas de combustión	30 – 42 %	20 kW – 40 MW
Hídrica	80 – 95 %	25 kW – 30 MW
Pila de combustible	30 – 50 %	100 kW – 3 MW
Solar	6 – 19 %	1 kW – 1 MW
Eólica	2 – 34 %	600 W – 2,5 MW
Biomasa	60 – 90 %	100 kW – 20 MW
Geotérmica	70 – 80 %	5 MW – 100 MWW
Mareomotriz	20 – 30 %	100 kW – 5 MW
Otros	No aplica	N/A en desarrollo

### 3.3.3. Aplicaciones de la generación distribuida

Las aplicaciones más comunes de la GD según [31] son las siguientes:

- La generación básica:** Su principal objetivo es suministrar energía eléctrica necesaria y apoyar a la red eléctrica mediante el aumento del nivel de tensión del sistema eléctrico.
- Demanda en horas punta:** Proporciona energía eléctrica durante estas horas, lo que resulta en una reducción del costo de la energía eléctrica para grandes clientes industriales.
- Reserva:** puede ser empleada para suministrar energía eléctrica a cargas variables en momentos de interrupción en el suministro de la red eléctrica.
- Aisladas en zonas rurales o de difícil acceso:** estas zonas optan como fuente de suministro de energía en vez de conectarse a la red eléctrica debido a los obstáculos económicos y técnicos derivados de la distancia que las separa de la misma.
- Sistemas de Cogeneración:** Ofrece tecnologías que permiten la generación combinada de calor y electricidad, ya que estas unidades presentan una alta eficiencia energética.

## 3.4. RECURSOS RENOVABLES UTILIZADOS EN LA GENERACIÓN DISTRIBUIDA

### 3.4.1. Energía fotovoltaica

En Ecuador, a partir de la Figura 3 observa los índices de radiación solar global promedio donde se estima una generación de 4575 Wh/m<sup>2</sup>/día, lo que sugiere un gran potencial para generar electricidad. De hecho, se ha calculado que el país tiene 312 GW disponibles, lo que equivale a una producción anual de energía eléctrica de 456 TWh o 283 millones de barriles equivalentes

de petróleo (MBEP). Es importante destacar que este potencial es significativamente mayor que el potencial hidroeléctrico técnica y económicamente aprovechable del país, llegando a ser quince veces mayor [14].

Se tiene las provincias con mayor potencial solar son aquellas ubicadas en la región costera y en la zona sur del país: Loja, Manabí, Santa Elena, Guayas y algunas del oriente como Carchi, Sucumbíos y Orellana.

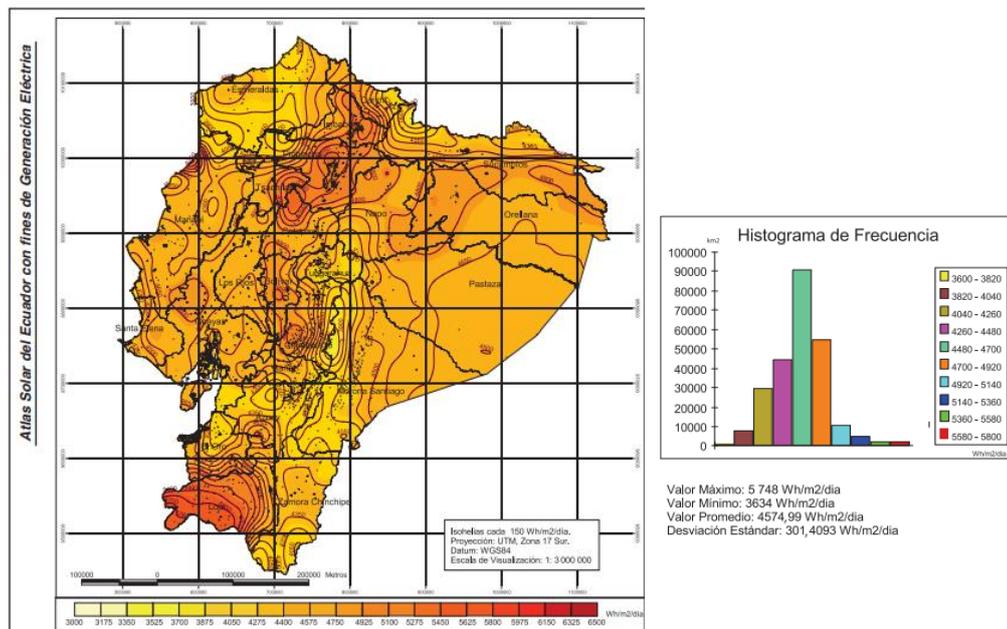


Figura 3.3. Irradiación solar global promedio anual [32].

### 3.4.2. Energía eólica

Ecuador cuenta con un potencial bruto disponible total de alrededor de 1 670 MW para la generación de energía eléctrica, de los cuales se ha identificado un potencial viable a corto plazo de 884 MW, en la Figura 3.4 se identifican las zonas con mejor recurso de viento a las provincias de Carchi, Imbabura, Chimborazo, Manabí, Loja y El Oro. En cuanto a la provincia del Azuay, se ha determinado que presenta un potencial bruto disponible total de aproximadamente 294,75 MW y un potencial viable a corto plazo de 101,77 MW [33], [34].

Otros ejemplos de uso de energía eólica según información proporcionada por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), en la Isla San Cristóbal tenemos una capacidad de generación de 2,4 MW, mientras que, en la provincia de Loja, en el cerro Villonaco, se ha instalado una capacidad de generación de 16,5 MW. Además, recientemente se ha inaugurado un proyecto en la Isla Baltra que cuenta con una capacidad de generación de 2,25 MW [35].

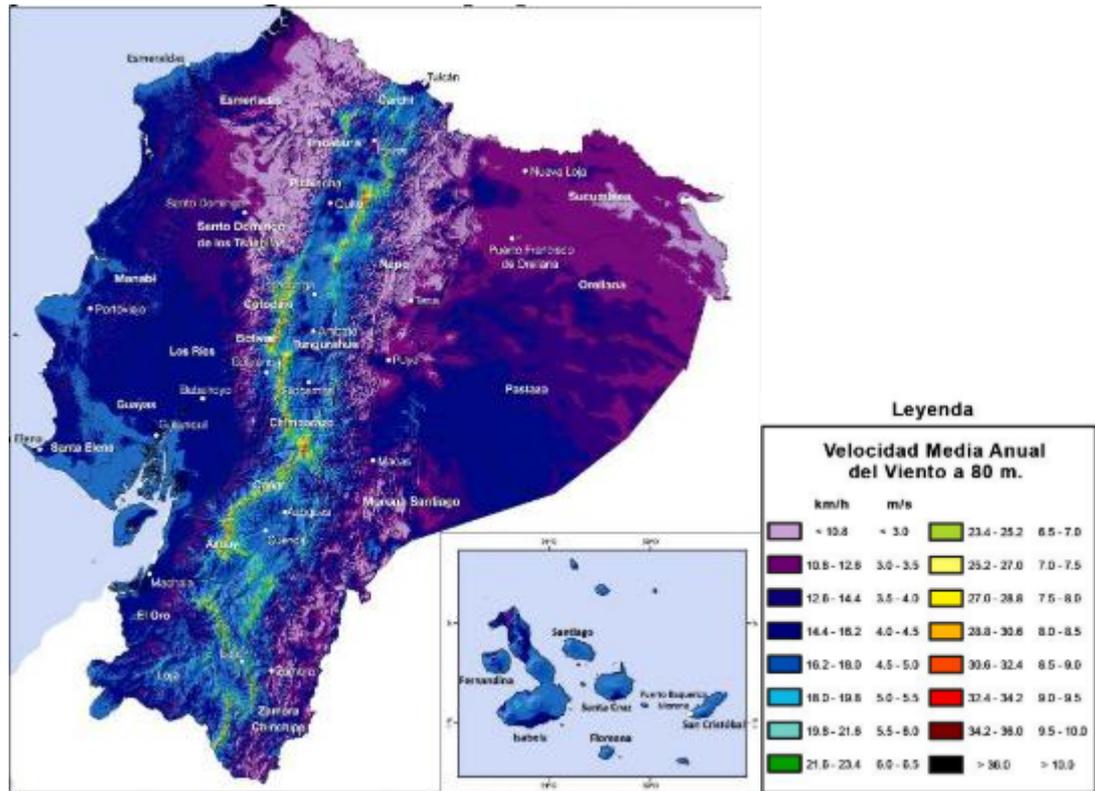


Figura 3.4. Atlas eólico del Ecuador [36].

Por otra parte de acuerdo con [37] cuando se conectan parques eólicos a una red de transmisión o distribución ya existente, se pueden presentar impactos en el comportamiento de la red, los cuales están determinados por dos variables:

- Potencia eólica instalada.
- "Fortaleza" de la red a la que se conecta (expresada como  $P$  corto circuito/ $P$  eólica).

### 3.4.3. Energía hidroeléctrica

Se ha determinado que la implementación de una mini red eléctrica que aproveche fuentes de energía renovable es la alternativa más eficiente en términos de costos para proveer de electricidad a comunidades rurales. En este sentido, una opción viable es la instalación de sistemas pico-hidroeléctricos, los cuales se caracterizan por tener una capacidad reducida y generar entre 1 y 5 kW de energía eléctrica a partir de una turbina hidráulica y un generador acoplado a su eje [38].

#### **3.4.4. Grupos electrógenos**

En la red eléctrica, los grupos electrógenos (GE) han sido comúnmente utilizados para suplir las interrupciones de energía en las redes de distribución. Esto se debe a que la falta de energía eléctrica en dichas redes puede ocasionar daños significativos o bien porque la red eléctrica no se encuentra disponible, es insuficiente o no resulta rentable en lugares alejados o de difícil acceso, como en islas o pequeñas comunidades situadas en áreas remotas, donde el costo de llevar la electricidad de manera tradicional resulta prohibitivo debido a las grandes distancias [39].

De acuerdo con [39] los grupos electrógenos pueden operar en diferentes modos:

- Operación continua a carga constante.
- Operación continua a carga variable.
- Operación limitada a carga constante.
- Operación limitada en tiempo a carga variable.

#### **3.5. FLUJOS DE POTENCIA.**

Los flujos de potencia se refieren a la cantidad de energía eléctrica que fluye a través de una red eléctrica en una determinada dirección. En una red eléctrica, la energía eléctrica se genera en una central eléctrica y se distribuye a través de líneas de transmisión y distribución hasta llegar a los consumidores finales. Durante este proceso, la energía eléctrica puede fluir en diferentes direcciones dependiendo de la demanda de energía de los consumidores y de la disponibilidad de energía en la red [40].

Los flujos de potencia se miden en unidades de voltio-amperios (VA) o en unidades de potencia real, conocidas como vatios (W) o kilovatios (kW). Los flujos de potencia también pueden ser positivos o negativos dependiendo de la dirección del flujo de energía en la red [40].

Es importante controlar los flujos de potencia para garantizar la estabilidad y confiabilidad del sistema eléctrico. Los operadores del sistema eléctrico utilizan herramientas de software y algoritmos de control para gestionar los flujos de potencia y evitar sobrecargas en las líneas de transmisión y distribución que pueden provocar interrupciones en el suministro eléctrico [41].

### 3.5.1. Algoritmos utilizados por OpenDSS

El método de Newton-Raphson se utiliza para encontrar la solución del sistema de ecuaciones no lineales que describen la red eléctrica. Además, usa el método de barrido de nodos y el método de barrido de fases para calcular las tensiones y corrientes en cada nodo y fase de la red [42].

Para analizar la distribución temporal de los componentes de potencia en el sistema eléctrico, OpenDSS utiliza la teoría de potencia instantánea a través de la simulación de la respuesta del sistema eléctrico a eventos transitorios. Además, mediante esta teoría realiza el análisis de calidad de energía y corrige problemas relacionados con la distorsión armónica, la fluctuación de voltaje y el desequilibrio de carga en las redes eléctricas. En sistemas eléctricos desequilibrados, OpenDSS trabaja sobre la base de la teoría de potencia instantánea mediante la conversión de las corrientes y voltajes trifásicos en un marco estacionario de dimensiones dq0 utilizando la Transformada de Park [43], [44].

OpenDSS utiliza una combinación de cálculo de admitancias, construcción de matriz de impedancia, solución de sistemas de ecuaciones lineales y cálculo de flujos de potencia para analizar y simular el comportamiento de sistemas eléctricos de distribución. A continuación, se describe la fórmula de la Transformada de Park (1) y se aplica los reemplazos para voltajes y corrientes mediante el uso de la misma.

$$[TP] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{-1}{2} & \frac{-1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

En el sistema de referencia  $\alpha\beta 0$  las componentes que corresponden a las variables de voltaje y corriente se determinan de la siguiente forma.

Para los voltajes:

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_a \\ v_b \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{-1}{2} & \frac{-1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} \quad (3.2)$$

Para las corrientes:

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_a \\ i_b \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & \frac{-1}{2} & \frac{-1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{-\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

Aplicando la transformada de Park a los voltajes y corrientes puede definir las potencias de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} p_{ab} \\ q_{ab} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_a & v_b \\ -v_b & v_a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \end{bmatrix} \quad (3.4)$$

Donde  $p_{ab}$  y  $q_{ab}$  corresponden a la potencia activa y reactiva que se compone por un parámetro no variable y un parámetro  $\sim p$  y  $\sim q$  respectivamente las cuales cuantifican la distorsión y desequilibrio del sistema trifásico.

$$p(t) = p_{\alpha\beta} = v_\alpha i_\alpha + v_\beta i_\beta = P + \sim p \quad (3.5)$$

$$q(t) = q_{\alpha\beta} = v_\alpha i_\beta - v_\beta i_\alpha = Q + \sim q \quad (3.6)$$

Las ecuaciones (3.5) y (3.6) se las puede expresar en el dominio del tiempo utilizando la inversa de la Transformada de Park y estas se expresan como:

$$p(t) = \sum_{z=a,b,c} V_z \cdot I_z \cdot \cos \gamma_z - \sum_{z=a,b,c} V_z \cdot I_z \cdot \cos \gamma_z \cdot \cos 2(\omega t + \alpha_z) \quad (3.7)$$

$$p(t) = \sum_{z=a,b,c} P_z - \sum_{z=a,b,c} P_z \cdot \cos 2(\omega t + \alpha_z) \quad (3.8)$$

$$Dp(t) = \sum_{z=a,b,c} P_z \cdot \cos 2(\omega t + \alpha_z) \quad (3.9)$$

$P_z$  corresponde al valor eficaz que pertenece a la potencia activa, y  $Dp(t)$  es la potencia activa correspondiente al valor instantáneo desequilibrado

$$q(t) = - \sum_{z=a,b,c} V_z \cdot I_z \cdot \sin \gamma_z \cdot \sin 2(\omega t + \alpha_z) \quad (10)$$

$$q(t) = - \sum_{z=a,b,c} Q_z \cdot \sin 2(\omega t + \alpha_z) \quad (11)$$

Donde  $Q_z$  corresponde a la potencia reactiva instantánea en valor eficaz y  $q(t)$  corresponde al valor de la potencia reactiva instantánea.

### 3.6. GENERACIÓN DISTRIBUIDA EN SD.

La GD puede ser producida a partir de diversas fuentes de energía renovable, y se puede instalar en la red eléctrica de dos maneras: en sistemas conectados a la red o en sistemas aislados. La GD ofrece una serie de beneficios, como la reducción de la carga en la red de distribución, la mejora de la confiabilidad del suministro de energía y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero [27], [35], [45].

Sin embargo, la introducción masiva y aleatoria de GD en el sistema de distribución plantea desafíos significativos en términos de seguridad, calidad de suministro y confiabilidad del sistema [46]. Para garantizar una integración adecuada de la GD, es necesario analizar la interconexión y aplicar el estándar IEEE 1547 [45]. También es importante analizar el impacto al conectar a redes de distribución en términos de variación de voltaje, pérdidas en la red y contribución al nivel de corrientes de corto circuito en el sistema [12].

### 3.7. MÉTODOS DE OPTIMIZACIÓN

#### 3.7.1. Métodos de optimización clásica.

Los métodos de optimización clásica son técnicas matemáticas utilizadas para encontrar los valores óptimos de variables en una función objetivo, ya sea maximizándola o minimizándola. Estos métodos son ampliamente utilizados en diversas áreas, como la ingeniería, la economía y la ciencia de datos. Algunos de los métodos más conocidos incluyen:

**Tabla 3.4.** Descripción métodos de optimización [47].

Método	Descripción
<b>Programación lineal (LP)</b>	Útil para maximizar o minimizar funciones objetivo lineales y sus restricciones.
<b>Programación no lineal mixta (MINLP)</b>	Combina (LP), (NLP) y (MIP). Adecuada para optimizar tanto variables continuas como discretas, así como funciones no lineales.
<b>Programación dinámica (DP)</b>	En aplicaciones secuenciales, el método aborda un problema dividiéndolo en varios subproblemas y resolviéndolos en diferentes dominios de tiempo.
<b>Programación secuencial cuadrática (SQP)</b>	Es de tipo iterativo y es especialmente eficaz en el manejo de formulaciones altamente no lineales que presentan limitaciones de desigualdad. Dado que las ecuaciones de flujo de carga suelen contener formulaciones no lineales y restricciones de desigualdad, el método es capaz de optimizar eficientemente el tamaño de las unidades de (GD).
<b>Flujo de potencia óptimo (OPF)</b>	Esencial para la estrategia de expansión de los sistemas de energía y permite encontrar el rendimiento óptimo de los sistemas existentes. Además, la herramienta proporciona información sobre la magnitud del voltaje del bus, la potencia reactiva que fluye y el ángulo de fase de cada línea.

#### 3.7.2. Técnicas artificiales inteligentes (meta-heurísticas)

Son enfoques de optimización que se utilizan para resolver problemas complejos y difíciles de resolver con métodos clásicos. A diferencia de los métodos de optimización clásica que buscan soluciones precisas, las metaheurísticas buscan soluciones aproximadas en un tiempo razonable. Algunas de las técnicas de metaheurísticas más conocidas son:

**Tabla 3.5.** Técnicas artificiales inteligentes [48], [49].

<b>Método</b>	<b>Descripción</b>
<b>Lógica difusa (FL)</b>	Se basa en variables lingüísticas que tienen una aproximación en lugar de una función con valores exactos.
<b>Algoritmo genético (AG)</b>	Que se basa en el proceso de selección natural y genética. Este algoritmo se inspira en la evolución natural y utiliza conceptos como herencia, mutación, selección y cruce. Sin embargo, el algoritmo puede ser computacionalmente costoso debido a la gran cantidad de parámetros asociados.
<b>Optimización del enjambre de partículas (PSO)</b>	Inspirado en la capacidad de las aves para agruparse y la doctrina de los peces en la búsqueda de alimento. En el PSO, un conjunto de soluciones se genera al azar y se mueve en el espacio de diseño, favoreciendo la mejor solución después de un cierto número de iteraciones.
<b>Algoritmo de búsqueda de colonias de hormigas (ACS)</b>	Se basa en el comportamiento de búsqueda de alimento de las hormigas reales, que buscan establecer caminos más cortos desde su nido hasta la fuente de alimento utilizando trazas de feromonas como mecanismo de comunicación.
<b>Algoritmo de colonia de abejas artificiales (ABC)</b>	Utiliza tres tipos de abejas: empleadas, espectadoras y exploradoras. Este algoritmo se basa en el hecho de que la fuente de alimento representa una solución factible al problema de optimización, y la cantidad de néctar en una fuente de alimento se asemeja al valor de la solución.
<b>Método de Montecarlo</b>	El enfoque consiste en generar valores de los parámetros del sistema de manera aleatoria y luego evaluar la función objetivo en cada caso. Se requiere resolver un número determinado de casos combinado con algoritmos de interpolación multivariable para encontrar la solución óptima.
<b>Ant Colony Optimization (ACO)</b>	Está fundamentada en la conducta natural de las hormigas, que buscan alimento y el camino más corto para llevarlo de vuelta a su nido. Múltiples hormigas recorren repetidamente el camino, dejando una mayor cantidad de feromonas donde pasa un mayor número de hormigas, lo que indica la ruta más corta. De esta manera, se encuentra la ruta óptima utilizando la concentración de feromonas como un indicador de la calidad de la solución.

### 3.8. ENJAMBRE DE PARTÍCULAS (PSO)

La idea detrás del método es que los miembros del enjambre comparten la información de la mejor posición encontrada (en el sentido del mayor mérito, en este caso menor distancia hasta el alimento), y que cada miembro tiene en cuenta esta información, junto con el conocimiento de su propia mejor posición, para dirigir su búsqueda. La transición entre la simulación original y el método de búsqueda fue evidente porque la distancia entre cada individuo y la posición del alimento era modelada como una función, que debía ser minimizada al “encontrar” el alimento.

Pruebas fueron realizadas y se encontró que cualquier función podría ser minimizada utilizando la simulación [50].

### 3.8.1. Proceso para algoritmo PSO

Para [51] PSO primero produce una población inicial, cuyos miembros representan una posible solución al problema. Para un problema N-dimensional, la posición ecuación (que en 2 dimensiones vendrá determinado por un vector de la forma (x,y), en el espacio de búsqueda y velocidad determinado por un vector de la forma (v<sub>x</sub>, v<sub>y</sub>) que determina su movimiento a través del espacio.

$$X = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{11} \dots & X_{1N} \\ X_{21} & X_{22} \dots & X_{2N} \\ X_{M1} & \ddots & X_{MN} \end{pmatrix} \quad (3.12)$$

$$V = \begin{pmatrix} V_{11} & V_{12} \dots & V_{1N} \\ V_{21} & V_{22} \dots & V_{2N} \\ V_{M1} & V_{M2} \dots & V_{MN} \end{pmatrix} \quad (3.13)$$

Donde X y V son la matriz de posición y velocidades, respectivamente. M, representa el número de partículas que constituyen una población. Cada fila en la matriz de posiciones representa la posición de cada partícula en el espacio de búsqueda, a través de la cual se calcula el valor de aptitud de la partícula. Para [52] al inicializar el modelo PSO se considera los siguientes parámetros:

**Tabla 3.6.** Parámetros a considerar para el modelo PSO.

Parámetro	Descripción
<b>Población inicial</b>	Es generada de manera aleatoria, generando una cantidad n de partículas en un tiempo t.
<b>Enjambre</b>	Es la población de partículas que se mueve y que tiende a agruparse mientras que las partículas se mueven en una aparente dirección aleatoria.
<b>Tamaño de la población</b>	El desempeño del algoritmo no depende de la población, pero si influye en la tasa de convergencia. También es importante resaltar que a mayor número de partículas mayores serán los requisitos del sistema.
<b>Espacio de búsqueda</b>	Es el rango en el que las partículas pueden moverse teniendo en cuenta las restricciones. Tiene como restricción este espacio con el propósito de que en dado caso que una partícula se salga del mismo, su valor sea reiniciado.

Mediante el algoritmo desarrollado, las partículas representan la potencia de GD que se proporcionaría en el nodo específico encontrado. Así, para cada partícula se guarda la potencia que ha generado las menores pérdidas en  $Pbest$  y se almacena la potencia que ha generado las menores pérdidas a nivel global en  $Gbest$ . De esta manera, una vez se recorran todos los nodos del sistema, el vector  $Gbest$  expone la potencia de la fuente de GD con la que se obtienen las menores pérdidas de potencia activa en el nodo correspondiente. De este modo, el algoritmo PSO desarrollado posee la siguiente estructura:

Asimismo, durante cada iteración se selecciona el líder, es decir, la partícula con la cual se obtiene el mejor valor de la función objetivo. Para [53] la exploración y cambio de posición de las partículas se define la ecuación:

$$vp_i^{k+1} = w * v_i^k + c_1 r_1 * (pbest_i - x_i^k) + c_2 r_2 * (gbest_i - x_i^k) \quad (3.14)$$

En la Tabla 3.7 se detalla el significado de cada una de las variables [51] [54][55]:

**Tabla 3.7.** Coeficientes para la velocidad de la partícula.

Nombre	Descripción	Función
$vp$	velocidad de la partícula	Sirve como una memoria de la dirección de vuelo previo, es decir el movimiento en el pasado inmediato.
$x$	posición de la partícula	Punto dentro de un espacio n-dimensional.
$w$	coeficiente de inercia	Representa el grado de influencia de la velocidad actual sobre la velocidad futura.
$c$	coeficiente de aceleración	Constantes de aceleración que direccionan la partícula hacia la mejor ubicación.
$r$	número random uniformemente distribuido [0-1]	Representan la influencia de la mejor posición de la partícula y la mejor posición del líder en la nueva velocidad del individuo, respectivamente.
$P$	óptimo local	Memoria de la mejor posición visitada.
$g$	óptimo global	Asociada a la tendencia del grupo a regresar a los lugares donde obtuvieron mejores satisfacciones.

**Tabla 3.8.** Subíndices para velocidad de la partícula.

Subíndice	Descripción
i	Número de la partícula
k	Tiempo discreto

### 3.8.2. Componentes del modelo PSO [56], [57]:

#### a) Componente cognitiva y social.

La magnitud relativa entre la cognitiva y social regula la localización de resultados del algoritmo, se recomienda tomar el valor de  $c_1 = c_2 = 2$ . Con la restricción:

- Si  $c_1 > c_2$ , mayor independencia de movimiento tiene cada partícula, lo que permite mayor exploración, pero mayor lentitud en la convergencia.
- $c_2 > c_1$ , todas las partículas se moverán hacia la mejor solución global, se reduce el espacio de búsqueda, pero acelera la convergencia.

Las partículas en el espacio de búsqueda deben obedecer estas tres reglas:

- Evitar colisionar con las partículas vecinas.
- Sincronizar sus velocidades con las de sus vecinas.
- Estar en la vecindad de sus partículas vecinas.

#### b) Inercia

- Si  $w > 1$  la partícula acelera lo que implica que la zona de exploración es mayor pero la convergencia del modelo podría demorar más.
- Si  $w < 1$  la partícula desacelera a medida que las iteraciones aumentan, la zona de exploración es menor y la convergencia es más rápida.

Una vez actualizadas las velocidades de las partículas, se actualizan sus posiciones de la siguiente forma:

$$x_i^{k+1} = x_i^k + v_i^{k+1} \quad (3.15)$$

Donde:

$x_i^{k+1}$  Vector posición de la partícula  $i$  en la iteración  $t$ .

$v_i^{k+1}$  Velocidad anterior o inercia, este término resalta la tendencia de las partículas a moverse en la misma dirección.

Cada una de las partículas cambia de posición a la siguiente modificando su velocidad por medio de la ecuación de posición hasta que se llegue al número de iteraciones deseadas. Cuando las partículas se mueven hacia un punto común se le llama convergencia. Para ello, se ha utilizado un factor de ponderación variable que sigue aumentando la ponderación hasta que la

convergencia sea adecuada. Matemáticamente, el peso de inercia en la iteración  $k$ , se representa de la siguiente manera:

$$w_k = w_{m\acute{a}x} - \frac{w_{m\acute{a}x} - w_{m\acute{i}n}}{k_{max}} * k \quad (3.16)$$

Donde:

$w_{max}$  es el factor de inercia inicial.

$w_{min}$  factor de inercia final.

$k_{max}$  número máximo de iteraciones.

$k$  número de la iteración actual.

Los valores considerados según [56] son:  $w_{min} = 0,4$  y  $w_{max} = 0,9$ .

El tipo de búsqueda dependerá del valor del factor de inercia de la siguiente manera [58]:

- **Búsqueda local:** si el factor de inercia toma un valor pequeño, la búsqueda de la mejor partícula en este caso se realizará en el entorno local.
- **Búsqueda global:** si el valor es alto, se tomará el entorno completo para comparar las partículas.

La Figura 3.5 esquematiza el concepto de modificación del punto de búsqueda, nos indica que la nueva velocidad será la suma de la anterior más el valor de la partícula individual y global, y tendrá un desplazamiento en el espacio.

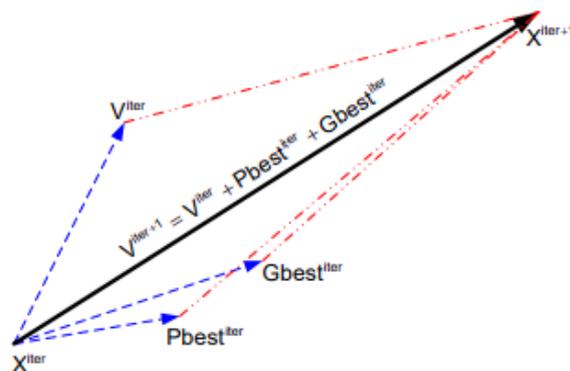
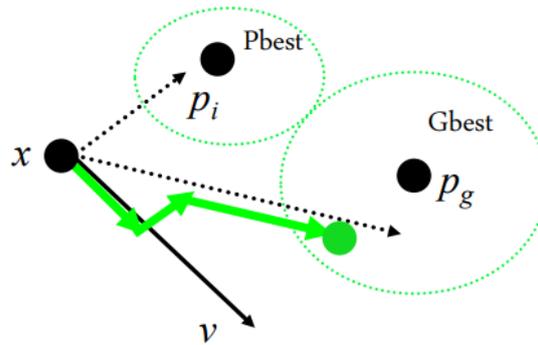


Figura 3.5. Movimiento de una partícula del PSO [59].

La Figura 3.6 muestra en detalle del movimiento de cada partícula del PSO, influenciada por su componente cognitiva y social, se obtiene la partícula individual para después moverse hacia la mejor de todas las demás.



**Figura 3.6.** Contribución de la componente cognitiva y social en la partícula  $x$  del PSO [59].

### Criterios de terminación del algoritmo

- No debe converger prematuramente, ya que la solución podría ser subóptima.
- Evitar una sobreevaluación de la función de aptitud, por la complejidad computacional.
- Terminación por número máximo de iteraciones.
- Encontrar una solución aceptable.
- Cuando no se observa una mejora en la solución durante un determinado número de iteraciones.

$$abs(\text{mejor valor enjambre} - \text{mejor valor partícula}) < \text{tolerancia} \quad (3.17)$$

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **4.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

Para la siguiente investigación se utilizó el método analítico mediante el cual se ha realizado la recopilación de información por fuentes bibliográficas, siguiendo del método descriptivo con la recolección de datos del sistema de CNEL EP de Sucumbíos con la finalidad de obtener el sistema delimitado como caso de estudio tanto para distribución e identificación de usuarios; por último, el método comparativo en donde se aplican metodologías observacionales para el estudio de diversos casos aplicados con GD.

### **4.2. MATERIALES E INSTRUMENTOS**

#### **4.2.1. OpenDSS**

OpenDSS es un programa de simulación de sistemas eléctricos de distribución que se utiliza para analizar el flujo de potencia, la estabilidad y la confiabilidad de los sistemas eléctricos. Utiliza métodos numéricos para resolver sistemas de ecuaciones lineales que surgen en el análisis de flujo de potencia [60].

Se basa en la técnica de flujo de carga, específicamente el método de Gauss-Seidel modificado, el cual es una técnica de resolución de ecuaciones lineales que se utiliza para resolver el sistema de ecuaciones no lineales que describe el flujo de carga en sistemas de potencia, mediante la cual descompone la matriz de admitancias relacionada a los nodos, aplicando el procedimiento KLU solve, donde las matrices mencionadas por cada componente, registrando la interconexión, además define las corrientes relacionadas a la inyección y a la compensación, permitiendo a OpenDSS determinar los voltajes en cada nodo de la siguiente iteración. Este método itera para mejorar la precisión de las soluciones mediante aproximaciones sucesivas hasta alcanzar una convergencia aceptable [21].

#### **4.2.2. Python**

Python cuenta con facilidades para la programación orientada a objetos, imperativa y funcional, por lo que se considera un lenguaje multiparadigmas [61].

Entre sus características se encuentran las siguientes:

- Es un lenguaje interpretado, no agrupado, que usa tipado dinámico.
- Es un sistema multipropósito, generando así una gran ventaja en su código fuente que interviene en distintos procedimientos operativos.
- En este lenguaje de programación, la forma del código es estructural.

### 4.3. METODOLOGÍA Y CASO DE ESTUDIO

En este capítulo se describe la metodología utilizada para el desarrollo del proyecto de investigación. En la sección 4.3.1 se revisan los datos utilizados como referencia para la construcción del caso base del modelo de GD de la empresa eléctrica CNEL EP Sucumbíos. Más adelante, en la sección 4.3.2 se fundamenta la validación de la red implementada en el software OpenDSS. En la sección 4.3.3 se identifica el recurso energético (Fotovoltaico) de forma georreferenciada, tomando como base la ubicación de la subestación de potencia dentro del área de concesión de CNEL Sucumbíos, posterior en la sección 4.3.4 se realiza el dimensionamiento del recurso existente en el sector. En la sección 4.3.5 se selecciona el algoritmo PSO para la ubicación de GD.

#### 4.3.1. Construcción del caso de estudio.

Para el desarrollo de los diferentes casos se ha tomado como referencia los datos proporcionados por CNEL EP Sucumbíos en ArcGIS y Geo-portal, donde se indican variedad de herramientas y servicios relacionados con la geografía y el manejo de información geoespacial. Este portal proporciona acceso a mapas interactivos, datos geográficos y herramientas de análisis para la visualización y comprensión de la infraestructura eléctrica y servicios ofrecidos por la empresa CNEL, en la Tabla 4.1 se detalla parte de la información necesaria para la simulación que se realizara en OpenDSS.

**Tabla 4.1.** Datos para los casos de estudio [62]. CNEL EP Sucumbíos.

Transformador	Potencia Base kVA	Voltaje Base kV	Conexión	Tipo	Número de usuarios
4135	25	0,240	YNyn0	Monofásico trifilar	61
4131	10				29
2012799	25				14

#### 4.3.2. Validación de la red implementado en el software OpenDSS.

Para llevar a cabo la simulación del sistema, se emplearon datos del conductor provenientes de la Tabla 8.3 Asimismo, se tomaron en consideración las cargas por parte de las clientes registradas en la Tabla 8.4 obtenidos de CYME 7.1 Rev 02. En lo que respecta a la obtención de los flujos de potencia, se procedió a configurar en el software OpenDSS. Dicha configuración se realizó teniendo utilizando la información presentada en la Figura 8.1 para las cargas y haciendo uso de la Tabla 8.1 para la disposición de las líneas.

### 4.3.3. Datos geográficos de energías solar en Sucumbíos – Joya de los Sachas.

A continuación, se presentan los datos geográficos y el promedio de energía solar del cantón Joya de los Sachas. El objetivo es determinar la viabilidad de implementar sistemas fotovoltaicos para su conexión al sistema de distribución.

**Tabla 4.2.** Datos geográficos del sector de CNEL EP Sucumbíos.

Lugar	Latitud	Longitud	Altitud (m.s.n.m)	Temperatura (C°)	Energía solar (W/m <sup>2</sup> /día)
Joya de los Sachas	-0.30	-76.85	270	28	3919,98

En la Figura 4.1. Área de estudio en Joya de los Sachas [62]., se muestra la disposición del sistema que representa la red, donde se delimita el área de estudio en forma de casos específicos pertenecientes a la provincia de Sucumbíos. En esta instancia, se consideran tres sectores clave para el análisis detallado.

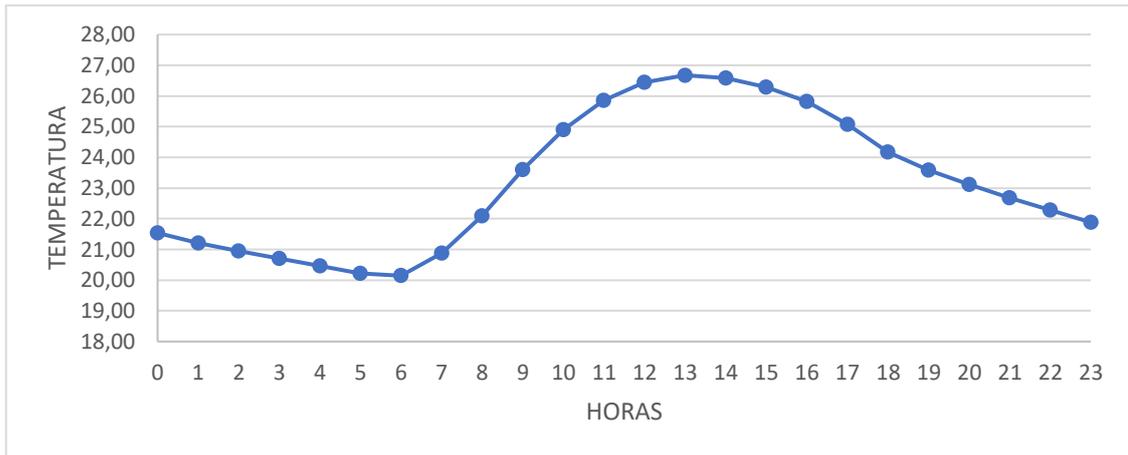


**Figura 4.1.** Área de estudio en Joya de los Sachas [62].

Una vez determinada el área, se procede a incorporar los datos georreferenciales de los postes y las cargas en OpenDSS, lo que permite dar inicio al proceso de adquisición de los datos reales de cada sistema.

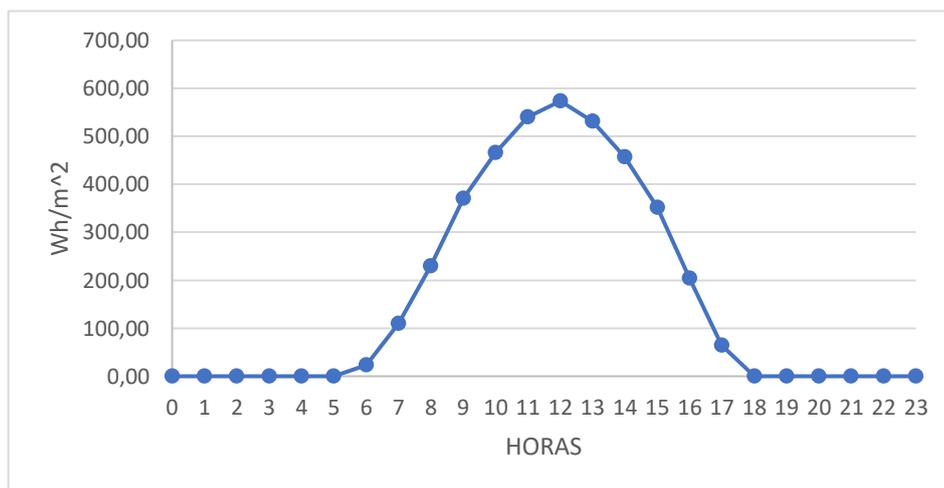
### Irradiación solar y temperatura ambiente.

Las mayores temperaturas se registraron entre los meses de septiembre a enero y las menores en el mes de julio. La estación Coca mostró una temperatura media anual de 26,7 °C como se indica en la figura para el mes elegido [63].



**Figura 4.2.** Temperatura promedio por hora.

El potencial de instalación de un sistema fotovoltaico se basa en el análisis de la irradiación solar disponible en la zona, para ello se obtuvieron los datos de POWER Data Access Viewer v2.0.0, en este caso se tiene una irradiancia pico de  $600 \text{ Wh/m}^2$ , con un potencial total de  $3919,98 \text{ Wh/m}^2/\text{dia}$ , se observa en las horas factibles desde las 6:00 am a 18:00 pm para el aprovechamiento de energía solar.



**Figura 4.3.** Irradiación promedio diario.

#### 4.3.4. Metodología del Dimensionamiento para sistema fotovoltaico.

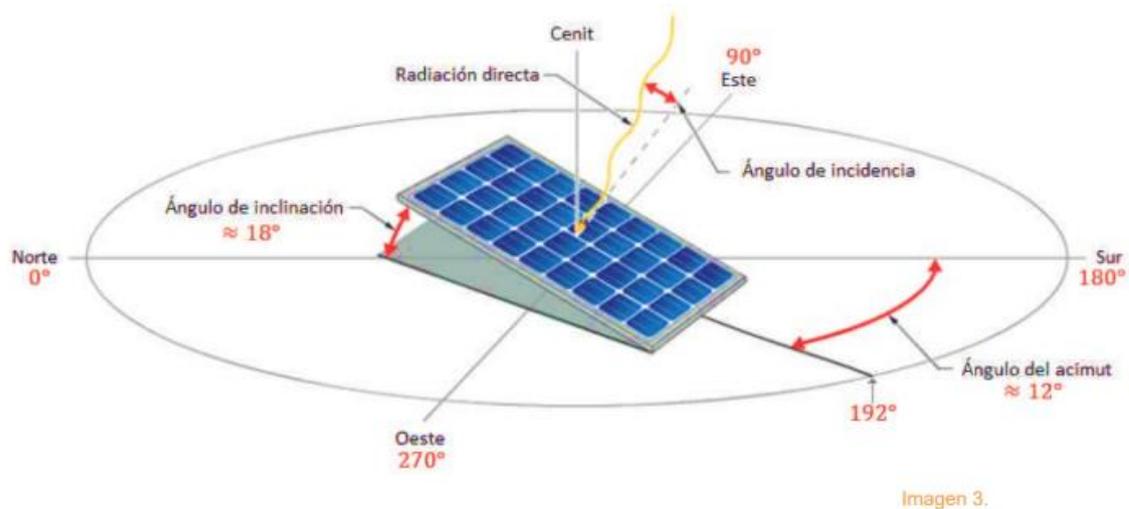
En [64] se establece que el diseño se debe considerar al menos lo siguiente:

- Ubicación del recinto donde se instalará el sistema.
- Orientación e inclinación de los paneles.
- Tipo de soporte.
- Condiciones del suelo o techo donde se ubicarán los soportes.

- Espacio o superficie disponible en metro cuadrado (m<sup>2</sup>).
- Radiación solar del lugar.
- Evaluación de posibles sombras.
- Condiciones generales donde se vaya a ubicar.

### Orientación e inclinación de los módulos fotovoltaicos

Para la inclinación óptima se utiliza el método del “pero mes”, donde con la información adquirida de radiación en el lugar se elige cuando se usa el panel para determinar si se explotara en verano, invierno o de manera definida [65].



**Figura 4.4.** Orientación del panel solar [66].

Los captadores han de situarse de tal forma que a lo largo del periodo anual de utilización aprovechen al máximo la radiación solar disponible. Salvo problemas excepcionales con las sombras de captadores se orientan hacia el sur geográfico en el hemisferio norte. Desviaciones de hasta 20° hacia el SE o SO con respecto a la orientación no afectan sensiblemente al rendimiento del sistema [67]. Entonces para el ángulo se usa la ecuación:

$$\beta = 3,7 + 0,69(LT) \quad (4.18)$$

Donde:

LT: Latitud del sector.

### Condiciones nominales de operación

Para la condición de temperatura nominal que trabajan las celdas solares, se obtiene el valor de NOCT de la ficha técnica de módulos [68][69].

$$T_c = T_a + \frac{Noct - 20 C}{800} * IR_{stc} \quad (4.19)$$

Donde:

$T_c$ : Temperatura de la celda solar.

$T_a$ : Temperatura ambiente de operación de la célula.

$IR_{stc}$ : Irradiancia.

### **Eficiencia de los módulos fotovoltaicos**

$$\eta_{FT} = 100 + (T_c - T_{stc}) * C_{cfp} \quad (4.20)$$

Donde:

$\eta_{FT}$ : Eficiencia de los módulos.

$T_c$ : Temperatura de la celda solar.

$T_{stc}$ : Temperatura estándar dada por el fabricante.

$C_{cfp}$ : Coeficiente de temperatura de los módulos dado por el fabricante.

### **Máxima energía de consumo del sistema**

Debido a las pérdidas generadas por el inversor, cableado, se aplicará un factor de seguridad al 20% a la energía demanda para suplir las pérdidas de polvo y suciedad, reflectancia angular y espectral, sobras, entre otras [70]. Se calcula [65]:

$$E_{mc} = 1,2 * CargaTotal \quad (4.21)$$

- **Potencia nominal**

$$P_n = \frac{E_{mc}}{HSP * PR} \quad (4.22)$$

- **Potencia pico**

$$P_{pico} = 1,2 * P_n \quad (4.23)$$

- **Numero de paneles fotovoltaicos**

$$N_{fv} = \frac{P_{pico}}{P_{fv}} \quad (4.24)$$

- **Módulos en serie y paralelo**

$$FV_s = \frac{V_{fv}}{V_{mp}} \quad (4.25)$$

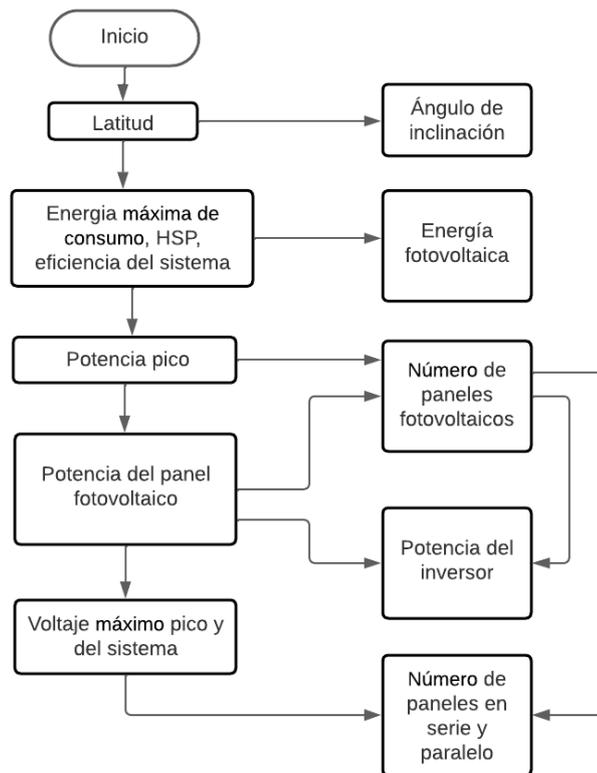
$$FV_p = \frac{N_{fv}}{N_s} \quad (4.26)$$

- **Selección del inversor**

La elección de uno o más inversores está condicionada por las dimensiones del Sistema Fotovoltaico Autónomo (SFA), que a su vez depende inicialmente de la selección de los paneles fotovoltaicos. Una vez que se han elegido los paneles a utilizar, se analizan dos parámetros clave: el voltaje de circuito abierto y la corriente de corto circuito [71]. Entonces para dimensionar la potencia del inversor tenemos en cuenta la potencia instalada con un factor de seguridad del 10%.

$$P_{inv} = N_{fv} * P_{fv} * 1,10 \quad (4.27)$$

A continuación, el diagrama de flujos para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico:



**Figura 4.5.** Diagrama de bloques para dimensionamiento de GD.

#### 4.3.5. Metodología de la ubicación de GD.

El flujo de potencia óptimo reactivo ORPD es un problema de optimización de la operación del sistema de potencia. Por lo tanto, no se tienen en cuenta los costos de inversión de los equipos que proporcionan potencia reactiva. El método PSO se espera que la penetración de GD en los sistemas de distribución genere corrientes de derivación reducidas y, por lo tanto, contribuya a la reducción de pérdidas de potencia adoptando la siguiente función:

##### **Función objetivo**

$$\min P_{loss} = \sum_{k \in N_k} g_k (V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \theta_{ij}) \quad (4.28)$$

$V_i$ : Magnitud de voltaje en el bus i.

$V_j$ : Magnitud de voltaje en el bus j.

$g_k$ : Conductancia entre los buses i, j.

$\theta_{ij}$ : Ángulo de voltaje en el bus i, j.

##### **Algoritmo 1: Optimización por enjambre de partículas**

**Paso 1:** Inicialización considerando la Tabla 3.6 (tamaño de la población, espacio de búsqueda, velocidad, número de iteraciones).

**Paso 2:** Crear la población con su posición y velocidad aleatoria para el tamaño y ubicación de las GD.

Posición  $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, x_{in})$

Velocidad  $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, v_{in})$

**Paso 3:** Evaluar cada partícula con la función objetivo: Pérdidas de potencia ecuación (4.28).

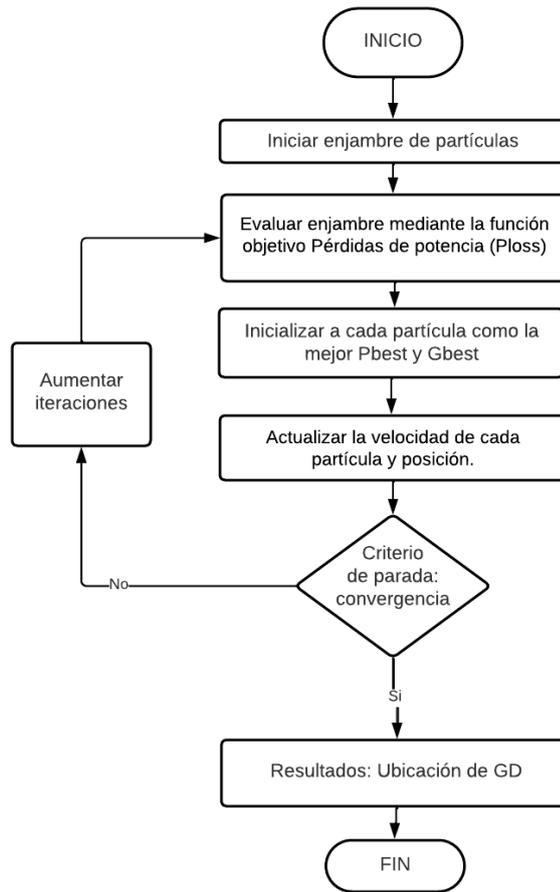
**Paso 4:** Inicializar cada partícula guardando la mejor posición individual en  $P_{best}$  y global en  $G_{best}$ .

**Paso 5:** Actualizar la velocidad de cada partícula y la posición con la ecuación (3.14) y (3.15).

**Paso 6:** Terminar iteraciones con criterio de convergencia ecuación (3.17) si cumple continua al paso 7, sino regresa al paso 3.

**Paso 7:** Resultado: Ubicación de GD.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo que ilustra el proceso para el algoritmo de Optimización por Enjambre de Partículas (PSO):



**Figura 4.6.** Diagrama de flujo PSO.

#### 4.3.6. Criterios técnicos de conexión a la red

El nivel de tensión que se conectará a la red es de 240 V. Esto implica que la salida de la unidad de generación distribuida (GD) debe contar con la misma tensión, frecuencia y ángulo de fase que la red eléctrica a la cual se pretende conectar. En términos generales, la GD puede ser instalada en cualquier ubicación de la red en la que se disponga técnicamente de acceso, siempre y cuando se cumplan las normativas establecidas por el ente regulador [27].

La variación de voltaje no es aceptable si excede cierto umbral en el punto de conexión del generador. Esto se debe a que los generadores distribuidos, al igual que cualquier carga conectada en paralelo a la red eléctrica, deben cumplir con límites establecidos para la inyección de armónicos y corriente continua. Estos límites están condicionados por factores como el tamaño del generador y la capacidad de cortocircuito en el punto de conexión, que determinan la resistencia y capacidad de la red [72].

Otro factor que debe ser tenido en cuenta durante la conexión a la red es la estandarización y simplificación de los estándares de seguridad de cada generador, y cómo estos se sincronizan con los sistemas de seguridad de la red de distribución. En este sentido, la empresa que distribuye la energía es responsable de establecer los lineamientos técnicos y el proceso que debe ser seguido en relación con la sincronización de los sistemas de seguridad. No obstante, esta situación puede ocasionar ciertos desacuerdos, ya que los requisitos son diversos y varían dependiendo de la empresa distribuidora a la que se esté conectando.

Por último, es esencial tener en cuenta y aceptar la desconexión del sistema de generación distribuida en caso de interrupciones en la red eléctrica de distribución. Si ocurre un evento de esta naturaleza, el equipo de generación distribuida debe dejar de suministrar energía para prevenir la energización no deseada de la red de la empresa distribuidora. Esta medida garantiza, entre otras cosas, la posibilidad de restablecer la línea afectada por el incidente que provocó la interrupción.

#### **4.4. NORMATIVA**

##### **4.4.1. Norma IEEE 1547**

A continuación, en [16] se presentan algunas consideraciones básicas incluidas en la norma IEEE 1547:

- La GD no debe afectar el voltaje suministrado a los consumidores, y los límites de voltaje de servicio deben estar dentro del margen establecido en la norma ANSI C84.1, Range A.
- La GD, aparte de los efectos que causa sobre el voltaje del SEP debido a la generación de potencia real, por lo que no debe causar conflictos o cambios en el nivel de voltaje presente en el nodo de conexión, en cuanto no presente ningún inconveniente en el voltaje del sistema de potencia.
- La unidad de GD debe estar en la capacidad de sincronizarse con el SEP, sin que provoque una fluctuación mayor a  $\pm 8\%$  del voltaje operativo.
- Las fuentes de GD deben ser capaces de responder a condiciones anormales que influyan y afecten el voltaje y la frecuencia suministrada.

## 5. ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En el presente capítulo se describen los resultados obtenidos. En la sección 5.1 se indica el comportamiento de los diferentes casos de estudio: caso base IEEE 34 Modificado, Caso con demanda media (61 usuarios), Caso con demanda baja (29 usuarios), Caso con demanda Baja (14 usuarios), en los que se analizará los siguientes escenarios:

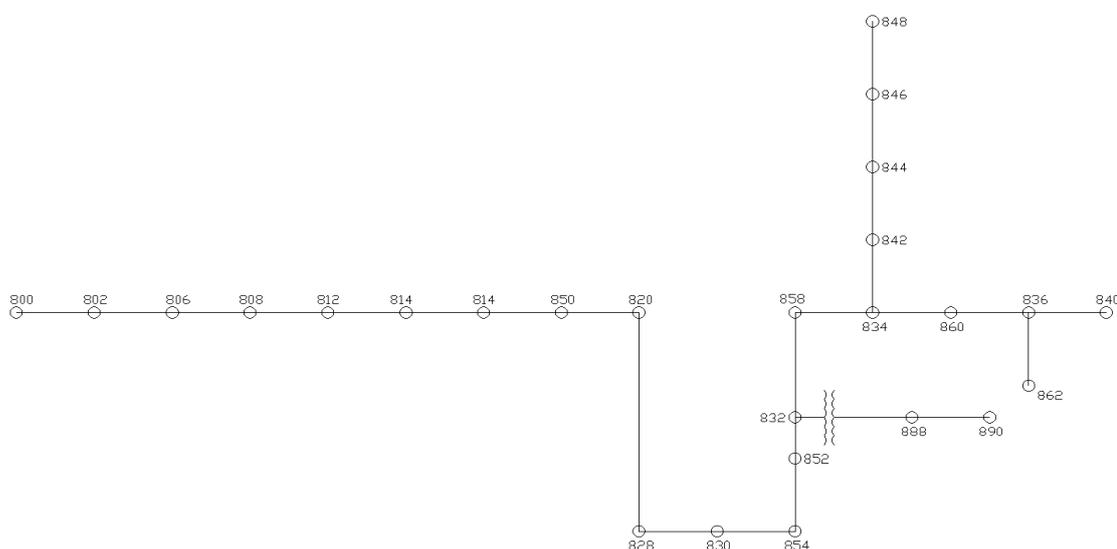
- Escenario 1: Flujos de potencia en estado normal.
- Escenario 2: Flujos de potencia con integración de GD aleatoriamente.
- Escenario 3: Flujos de potencia con enjambre de partículas (PSO).

### 5.1. CASO BASE IEEE 34 NODOS

Para la validación del algoritmo seleccionado en este estudio se utiliza el sistema IEEE 34 nodos modificado presentado en la Figura 5.1, este sistema trabaja con dos niveles de tensión (24,9 kV y 4,16 kV), tiene 26 nodos y 20 cargas. Para la validación del algoritmo se utilizará el artículo presentado en [68], [73]. En el cual aplican Algoritmos Genéticos (AG) y obtienen los siguientes resultados:

- Pérdidas totales en kW = 38,1
- Porcentaje de pérdidas = 5,72%
- Los voltajes se encuentran en la Tabla 8.8 del Anexo 5.

Estos resultados han sido contrastados con los obtenidos a través de la implementación del sistema en OpenDSS, revelando un margen de error del 2,9%.



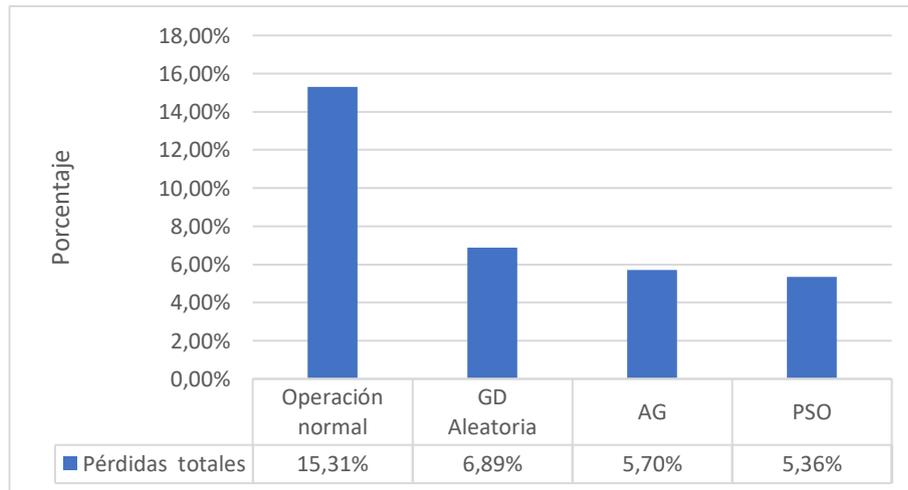
**Figura 5.1.** Sistema IEEE de 34 nodos modificado [73].

Luego de la validación se elabora la Tabla 5.1 que detalla las conexiones y potencias de la Generación Distribuida (GD) en los diferentes escenarios. En el caso de la GD aleatoria, se seleccionan nodos afectados por caídas de tensión, o bien se eligen al azar, tomando en cuenta las preferencias del cliente para su instalación. Por otro lado, en el Algoritmo Genérico (AG), se emplean los mismos nodos y capacidades de potencia de [73], para PSO se utilizan los resultados obtenidos del algoritmo en Python, los mismos que se encuentran en la Tabla 5.1 que detalla conexiones y potencias de (GD) para cada escenario.

**Tabla 5.1.** Conexión de paneles fotovoltaicos según la metodología.

Aleatorio		AG		PSO	
N.- Bus	Potencia KVA	N.- Bus	Potencia KVA	N.- Bus	Potencia KVA
808	600	812	600	850	300
816	369	816	300	816	369
854	300	854	250	852	300
862	300	862	369	840	250
848	250	848	300	862	600

La Tabla 5.1 contiene los nodos en los que se conectara los GD de acuerdo a cada escenario de estudio.

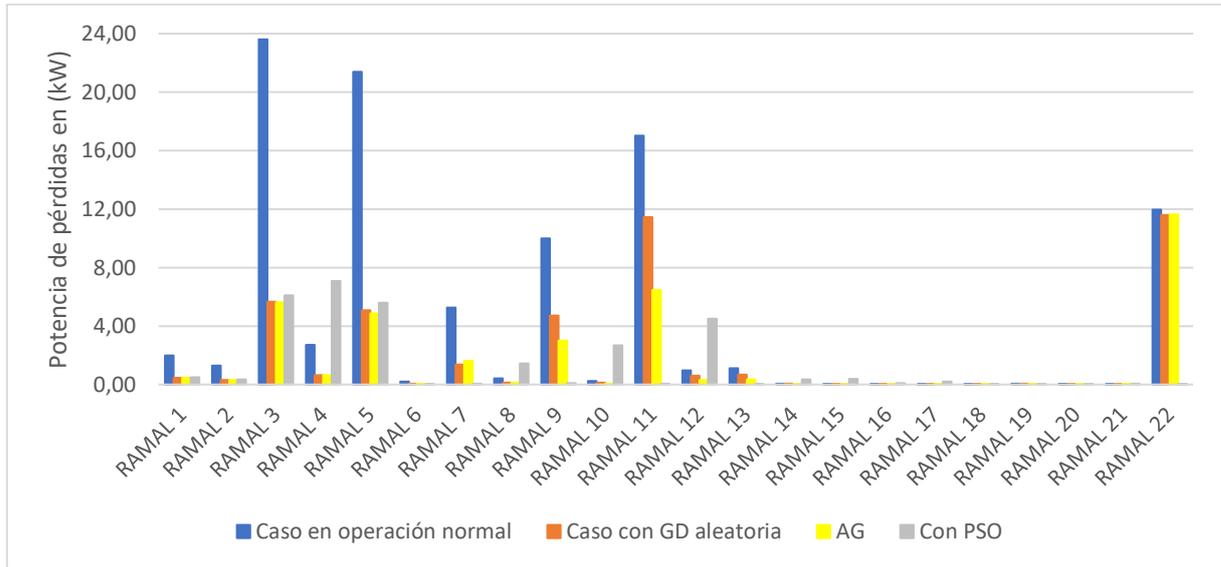


**Figura 5.2.** Porcentaje de pérdidas totales IEEE 34 nodos.

En la Figura 5.2 para la operación en condiciones normales, las pérdidas representan el 15,31%. Mientras que la integración aleatoria de GD reduce un 6,89%. Sin embargo, el uso de Algoritmos Genéticos (GA) para la ubicación de GD en el sistema logra una disminución pronunciada del 5,70%.

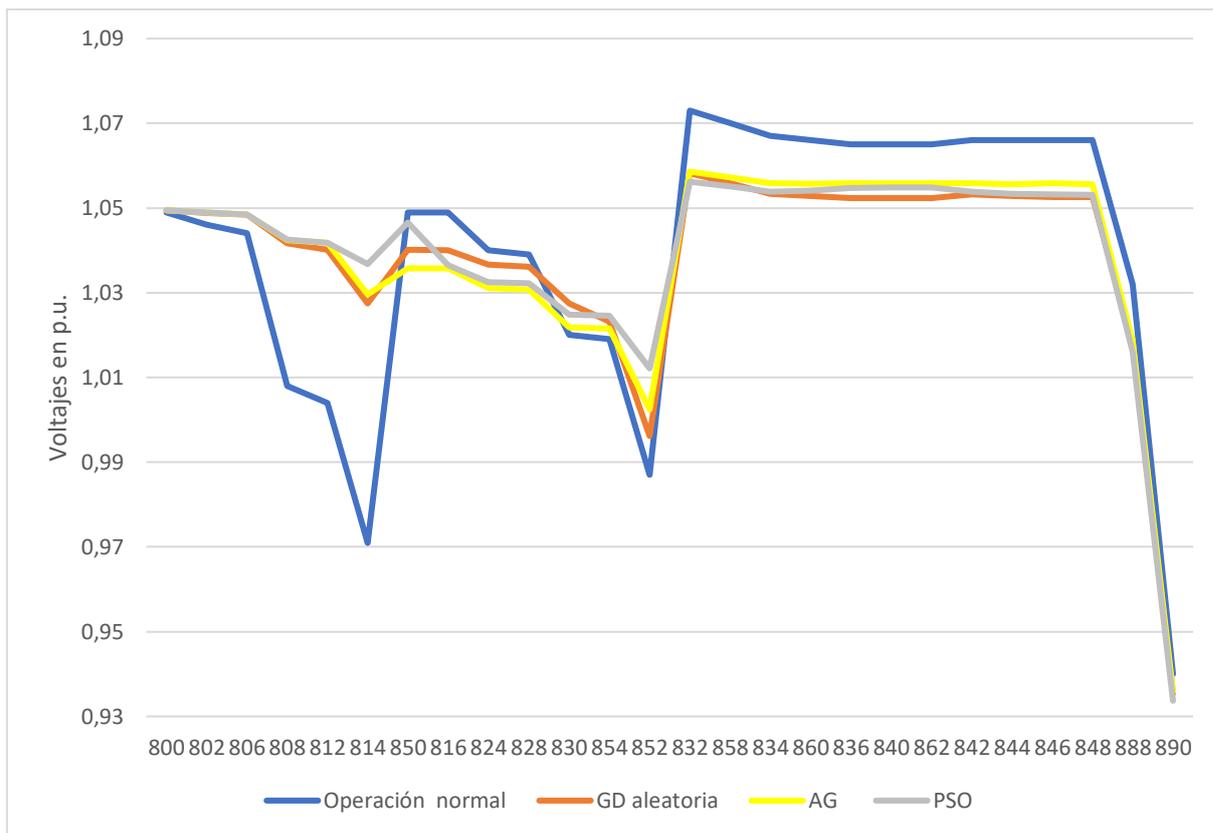
El enfoque basado en el algoritmo de Optimización por Enjambre de Partículas (PSO) muestra los resultados más sobresalientes con un 5,36% comparado al valor inicial, entre los escenarios analizados con GD tenemos una variación del 2%.

Esto resalta la importancia de las técnicas avanzadas de optimización para maximizar los beneficios de la generación distribuida y reducir las pérdidas en el sistema eléctrico. En el Anexo 5 en la Tabla 8.6 se encuentran la variación de los flujos de potencia de cada rama.



**Figura 5.3.** Pérdidas de potencia por escenario IEEE 34 nodos.

De la Figura 5.3 se determina lo siguiente: Los ramales con mayores pérdidas son: 3, 5, 7, 9, 11, 22, 1, 2; al ingresar GD aleatoriamente se reducen estas pérdidas en las ramas 1-4, 7, 9, 11, 12, y 22 mientras en las demás ramas se mantienen con variaciones mínimas, por lo que se determina que el ingreso de GD en las redes de distribución afecta de forma positiva a los ramales del sistema; al ingresar GD utilizando AG se observa que existe una mejora considerable respecto a la operación normal, manteniendo las pérdidas en los ramales 6, 8, 10, 14-21, y en las ramas 1-5, 7, 9, 11, 12, 13 y 22 existe una mejora respecto a la operación normal; al utilizar el algoritmo PSO se puede observar que se reducen considerablemente las pérdidas de potencia en los ramales 1, 2, 3, 5, 7, 9, 11 y 22, en los ramales 6, 16-21 las pérdidas se mantienen con mínimas variaciones y en los ramales 8, 10 y 12, las pérdidas aumentan debido a los flujos de potencia bidireccionales.



**Figura 5.4.** Voltajes por escenario IEEE 34 nodos en p.u.

De la Figura 5.4. se determina que el comportamiento de los voltajes en operación normal presenta un desequilibrio de tensión en el nodo 814 y 852 y en los nodos 832-848 se registran voltajes que sobrepasan el límite de 1,05 p.u.; mientras que, al ingresar generación aleatoria se obtiene una mejora considerable en la tensión del nodo 814 a 1,02 p.u., además de que la tensión de los nodos 832-848 se reducen a 1,056 p.u, el mismo efecto tiene el ingreso de GD con GA; mediante el ingreso de GD con el algoritmo PSO se observa que las tensiones se incrementan, manteniendo un equilibrio en los nodos 800-828 y 832-848, además se observa una mejora en los nodos 830-852; con generación aleatoria se tiene un máximo incremento del 9,75%, mientras que con AG un 10,81% y con PSO alcanza hasta un 12,37%. Estos resultados muestran que el algoritmo PSO presenta mayor precisión en los resultados tratando de mantener un equilibrio en las tensiones.

## 5.2. CASOS DE ESTUDIO

Para los diferentes casos de estudio, se establecen las siguientes ubicaciones de manera aleatoria, siguiendo los criterios de selección basados en la ubicación más distante, la mayor caída de tensión y la elección libre en cualquier nodo, teniendo en cuenta la decisión del cliente para la instalación.

**Tabla 5.2.** Ubicación aleatoria para los diferentes casos de estudio.

Demanda Media (61 usuarios) Transformador (4135)			Demanda Baja (29 usuarios) Transformador (4131)			Demanda Baja (14 usuarios) Transformador (2012799)		
	N.- Bus	Potencia KVA	N.- Bus	N.- Bus	Potencia KVA	N.- Bus	N.- Bus	Potencia KVA
20	20043153	2,5	10	20043269	1,0	6	20043522	2,5
25	20043157	2,5	3	20043574	1,0	14	20043020	2,5
27	20043147	2,5	-	-	-	11	20043038	2,5

Luego de aplicar el algoritmo (PSO) se obtienen las siguientes ubicaciones para cada caso de estudio.

**Tabla 5.3.** Ubicación óptima con PSO.

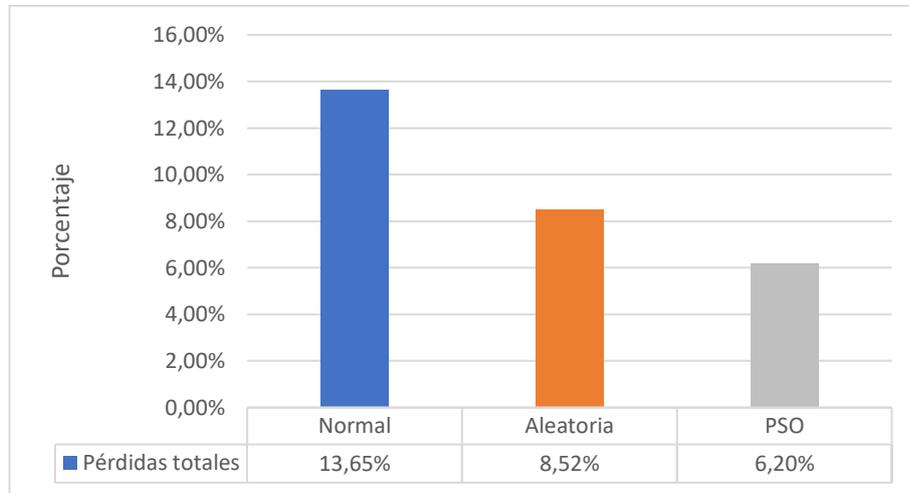
Demanda Media (61 usuarios) Transformador (4135)			Demanda Baja (29 usuarios) Transformador (4131)			Demanda Baja (14 usuarios) Transformador (2012799)		
N.- Bus	Código	Potencia KVA	N.- Bus	Código	Potencia KVA	N.- Bus	Código	Potencia KVA
21	20043154	2,5	7	200443268	1,0	7	20043516	2,5
9	20043548	2,5	12	200423266	1,0	6	20043522	2,5
28	20043550	2,5	-	-	-	11	20043021	2,5

Una vez obtenidas las Tabla 5.2 y Tabla 5.4 se inicia el análisis de los distintos casos.

### 5.2.1. Caso 1: Demanda media (61 usuarios)

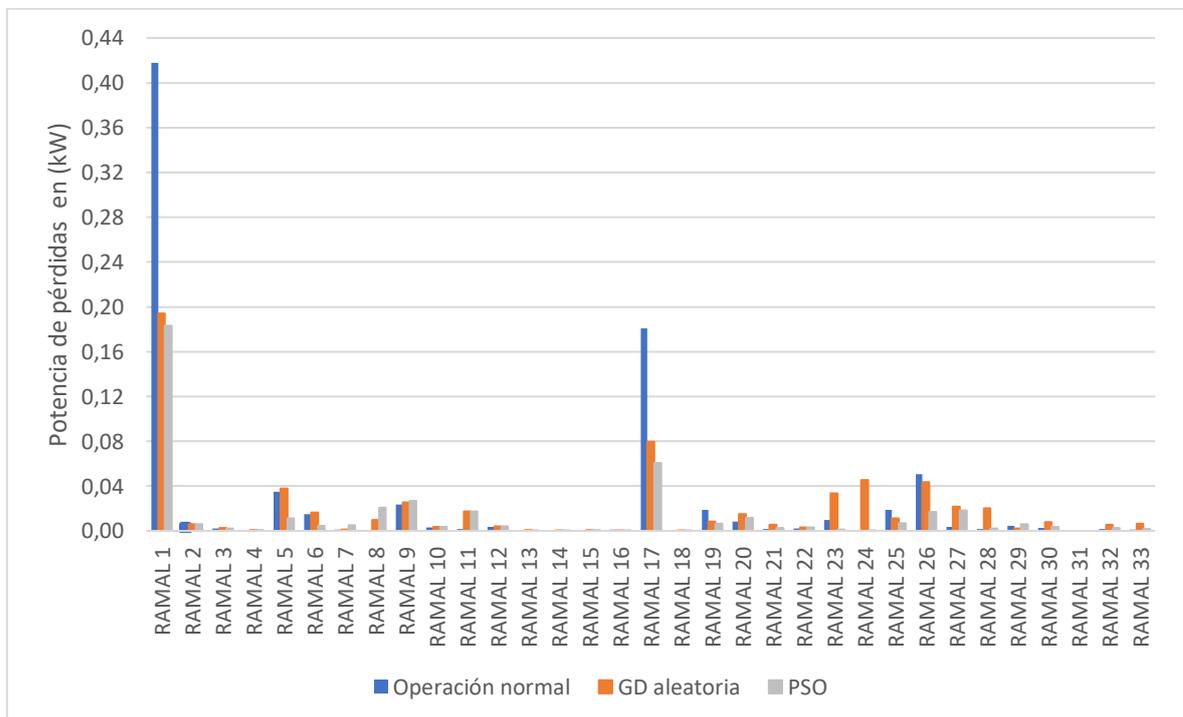
Para este caso se utilizará el diagrama de la Figura 8.3 del Anexo 5, tiene un transformador de 25 KVA, trabaja a una tensión de 7.967/240 V y cuenta con un total de 34 nodos y 61 usuarios.

En el primer escenario se tiene 13,65% de pérdidas totales. La aplicación GD aleatoria proporciona una mejora reduciendo las pérdidas a 37,58% sin embargo, usar el algoritmo PSO muestra una mejora adicional reduciendo las pérdidas totales un 54,57% demostrando una variación de aproximadamente del 2% entre métodos. Los valores de las pérdidas en cada línea se visualizan en el Anexo 6 (Tabla 8.9).



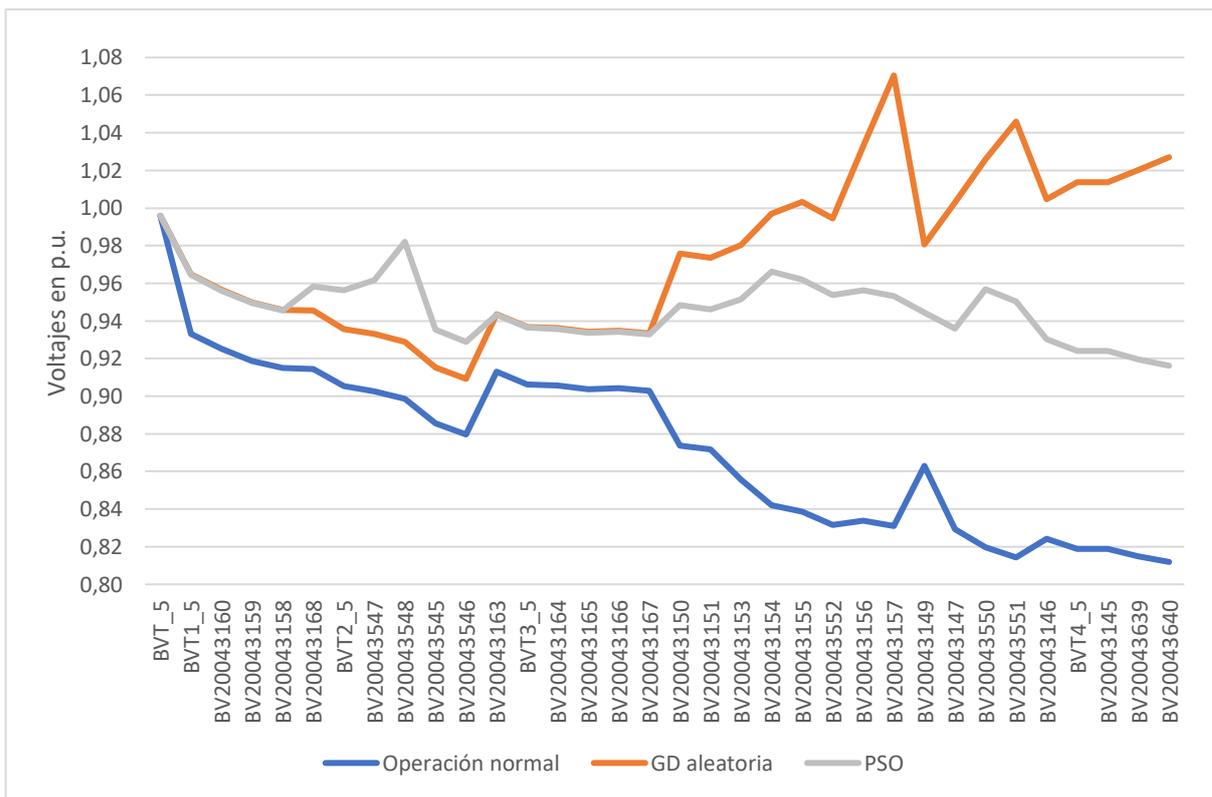
**Figura 5.5.** Pérdidas de potencias totales por escenario caso (4135).

En la Figura 5.5 se observa las pérdidas totales las cuales en operación normal se tiene un total de 13,65%, con el ingreso aleatorio se reducen las pérdidas un 8,52%, sin embargo, utilizando el algoritmo PSO se obtiene ubicaciones más óptimas logrando una reducción de 6,20%.



**Figura 5.6.** Pérdidas de potencias por escenario caso (4135).

En la Figura 5.6 se observa que mediante el ingreso de GD aleatoria existe una disminución de las pérdidas de potencia activa del 60% en los ramales 1, 17 y 19, en los ramales 5, 6, 8, 9, 11, 20, 23, 24, 27, 28 y 30 existe un incremento entre el 20% y el 60% de las pérdidas sin embargo al ser las potencias menores a 0,07 kW estos incrementos no afectan al sistema; el ingreso de GD mediante el uso del PSO se observa que las pérdidas en los ramales 1, 5, 6, 17, 19, 23, 25 y 26 se reducen alrededor del 50% y en los ramales 7-11 y 27-30 se incrementan las pérdidas un 90% debido a los flujos bidireccionales, sin embargo, al ser estas pérdidas menores a 0,021 kW no afecta al sistema eléctrico.



**Figura 5.7.** Voltajes por escenario caso (4135).

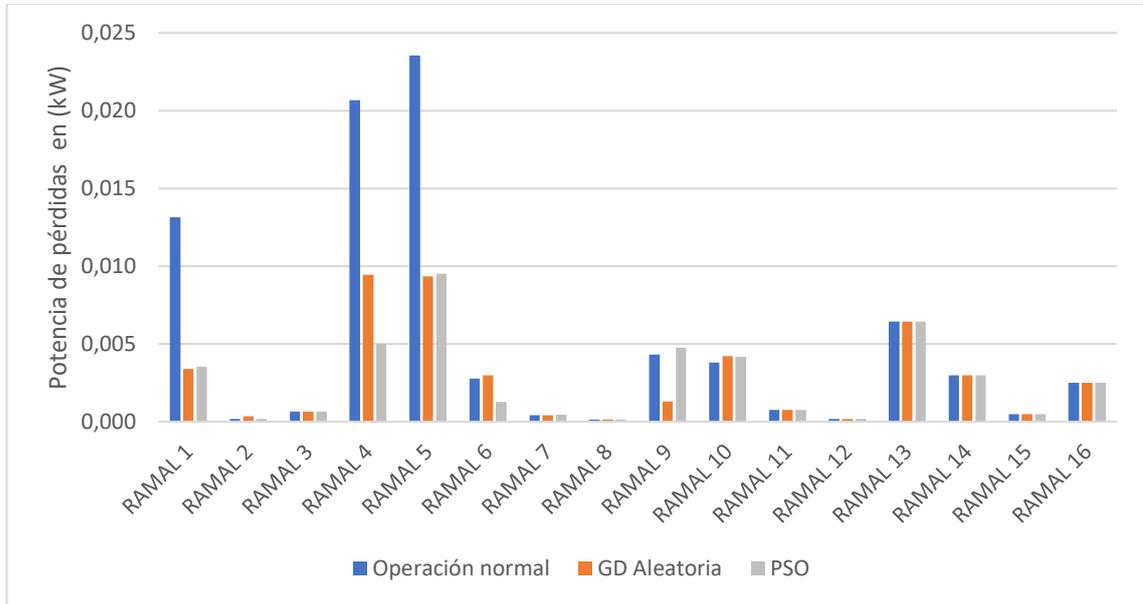
Analizando la Tabla 8.10 en la Figura 5.7 en operación normal la mayor caída de tensión se encuentra en los nodos 20043145 a 20043147, 20043639 a 20043640 teniendo en varios nodos menor tensión a 0,92 p.u.

Para el escenario con GD aleatoria se genera un pico de tensión en el nodo 20043157 de 1,07 p.u. aun dentro del rango admisible. Mientras con PSO se registra un incremento máximo del 16,7% en la tensión de los nodos 20043550 a 20043551. Además, es importante destacar que

la mayoría de los nodos con tensiones mínimas han logrado ajustarse dentro de los límites aceptables mayores a 0,92 y menores a 1,08 p.u.

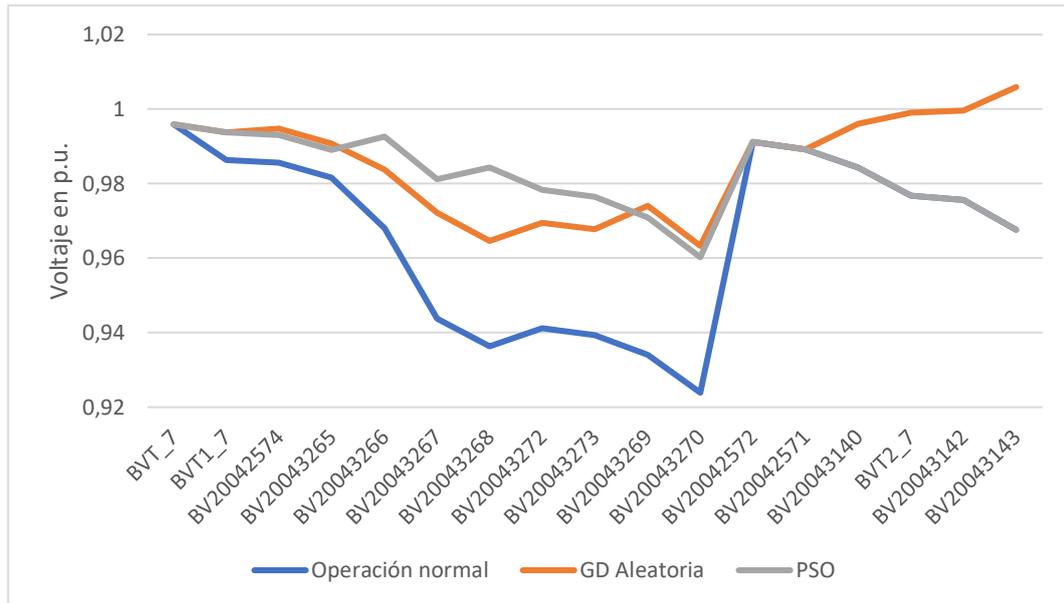
### 5.2.2. Caso 2: Demanda baja (29 usuarios)

En este caso se utiliza el diagrama de la Figura 8.4 del Anexo 6, tiene un transformador de 10 KVA, 7.967/240 V, cuenta con un total de 29 usuarios.



**Figura 5.8.** Pérdidas de potencias por escenario caso (4131).

A través de la Figura 5.8 con operación normal se observan mayores pérdidas de potencia en los ramales 1, 4, 5, 9 y 13. Al aplicar GD aleatoria esas pérdidas disminuyen en el ramal 1 un 34,07% y en las demás sucede lo mismo. Se observa los ramales 11 a 16 permanecen sin cambios ya que no existe GD en esos nodos. Sin embargo, al emplear el algoritmo PSO, el ramal 9 genera pérdidas de potencia debido a flujos bidireccionales.



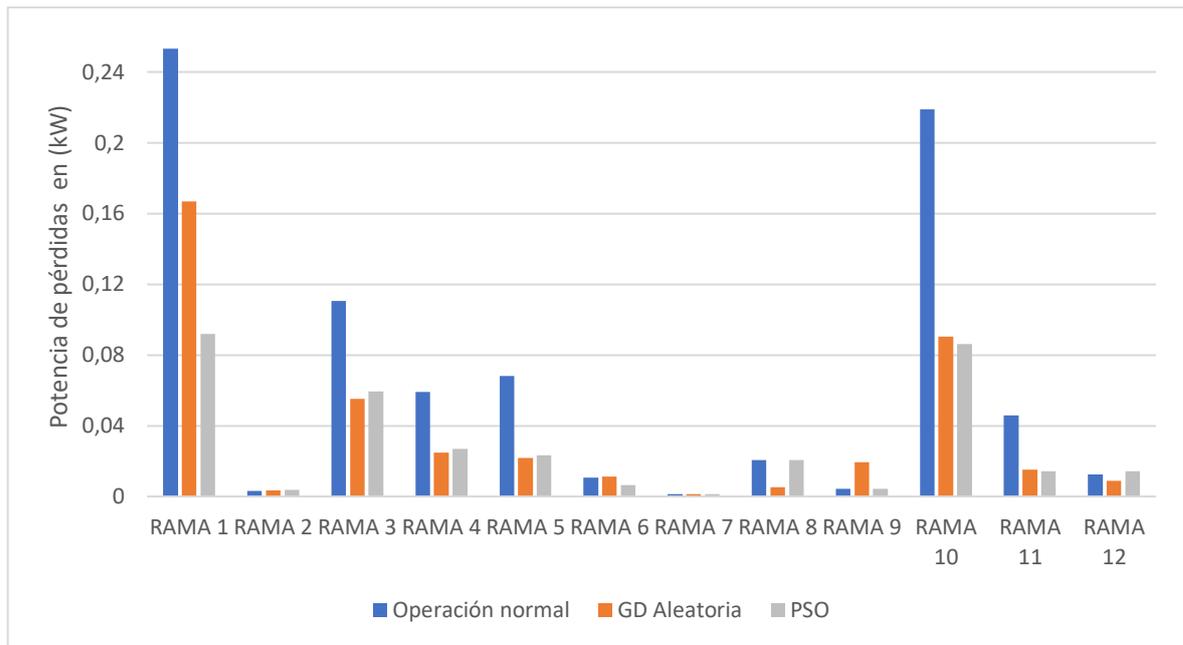
**Figura 5.9.** Voltajes por escenario caso (4131).

Al analizar la Tabla 8.12 presente en el Anexo 6 se determina lo siguiente: en la Figura 5.9 en operación normal se visualiza rangos aceptables de tensión con 0,92 p.u. en el nodo 20043270. Con generación aleatoria, se registra un aumento un 4,26%, y aplicando PSO se tiene un máximo del 5,12%. Sin embargo, no se observan cambios en los nodos 20042571 y 20042572. Esto se explica por su ubicación en el extremo del transformador, lo que limita la dirección de la generación de energía y justifica que permanezca sin modificaciones.

En cuanto a los nodos del rango 20043140 al 20043143, en el caso de PSO, se mantienen inalterados debido a que la generación aleatoria se encuentra distante del sistema. Además, dado que sus valores de tensión están dentro de los parámetros normales, no se contempla la instalación de generación en esa zona.

### 5.2.3. Caso 3: Demanda baja (14 usuarios)

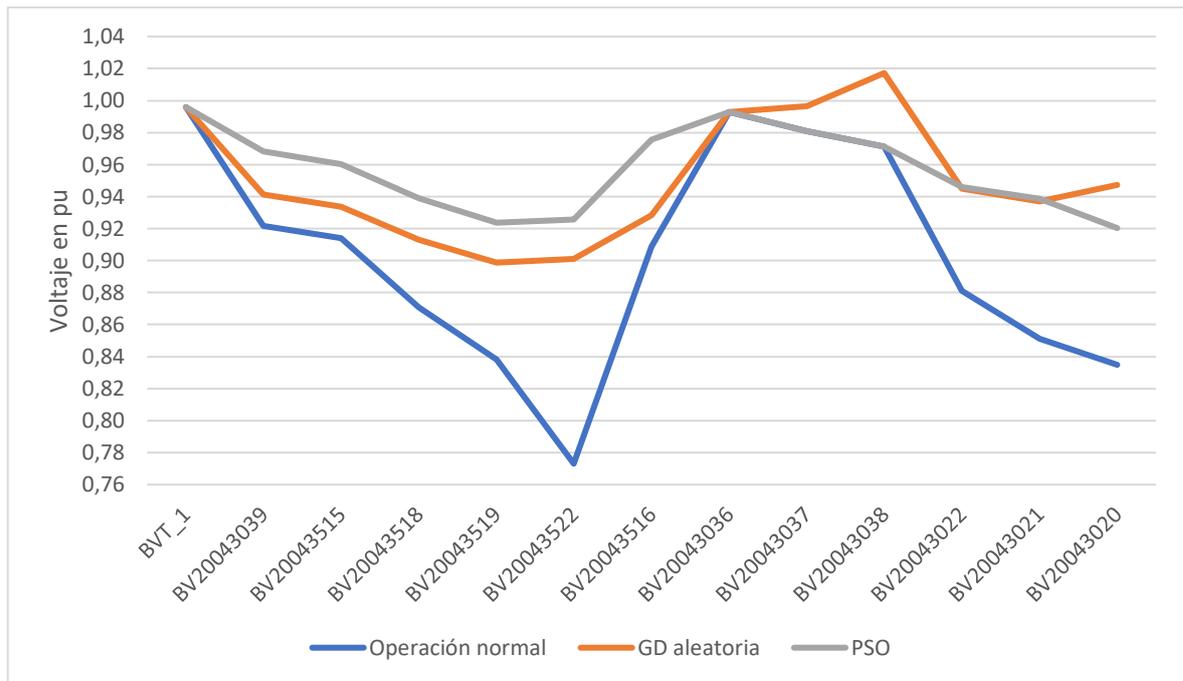
Para la demanda baja se tiene un transformador de 25 KVA, con 14 usuarios. Se toma la Tabla 8.13.



**Figura 5.10.** Pérdidas de potencia por escenario caso (2012799).

Para la Figura 5.10 en condiciones de operación normal, las pérdidas de potencia más significativas se presentan en las líneas 1, 3-5, 8, 10 y 11. Cuando se considera (GD) aleatoria, se constata un incremento máximo del 74,94% en las pérdidas de la rama 9. Esta variación se debe a la incorporación de generación fotovoltaica en el nodo 20043038, situado en las proximidades del transformador. Esto ocasiona que la rama 9 transporte potencia desde dos fuentes, generando un aumento notable en las pérdidas.

Mediante la implementación del método PSO, se observa una reducción significativa en las pérdidas de potencia en la rama 3 a 5 y 10 a 11, al igual que en otros nodos. Sin embargo, la línea 12 experimenta un leve incremento en las pérdidas de potencia. Por otro lado, en la rama 7 no se aprecian cambios significativos con ambos métodos. Esta falta de variación se debe a la ubicación distante de la generación fotovoltaica en relación con la línea y su alejamiento del transformador.



**Figura 5.11.** Voltajes por escenario caso (2012799).

En la Figura 5.11 se analizan los resultados de la Tabla 8.14 del Anexo 6, donde en condiciones normales de operación, el bus 20043522 presenta la máxima caída de tensión, con Figura 5.11 un valor de 0,77 p.u. En ese mismo contexto, los nodos 20043515 a 20043519 y 20043020 al 20043022 también registran valores por debajo del rango admisible permitido.

Al implementar (GD) de manera aleatoria, se consigue un incremento del 16,57% en la tensión del nodo 20043522, Es importante destacar que los nodos subsiguientes también experimentan mejoras, siendo el nodo 20043038 el que experimenta el mayor aumento debido a su proximidad al transformador.

Mediante la aplicación del método de Optimización por Enjambre de Partículas (PSO), se logra un aumento del 19,75% en la tensión del nodo 20043522. Además, se observa un incremento del 10,25% en el bus 20043020, ubicado a mayor distancia. Cabe destacar la relevancia de señalar que el enfoque PSO demuestra su capacidad para mantener un equilibrio en el sistema al mejorar la tensión dentro de rangos admisibles. En contraste, al emplear la estrategia de (GD) aleatoria, se evidencian fluctuaciones abruptas en la tensión, con algunos nodos incumpliendo los requerimientos mínimos de tensión establecidos. Es fundamental resaltar que estos aumentos bruscos no han superado los límites de voltaje predefinidos.

### 5.3. PÉRDIDAS TOTALES

En el caso con demanda media (61 usuarios), con GD aleatoria se logra una reducción del 37,58%, mientras que al aplicar el algoritmo PSO, esta reducción se amplía al 54,57%, equivalente a la mitad del valor inicial. La variación entre estos dos métodos es del 27%.

Para el caso con demanda baja (29 usuarios), la integración de GD con conexión aleatoria resulta en una reducción del 46,54%, mientras que la implementación de PSO produce una reducción que es igual a la mitad. En este caso, la variación entre ambos métodos es de solo el 5,88%.

En el caso con demanda baja (14 usuarios), la integración de GD mediante conexión aleatoria produce una disminución de pérdidas del 53,92%, mientras que al utilizar el enfoque PSO, esta reducción alcanza un 62%. Comprobando que PSO reduce a más de la mitad las pérdidas en el sistema.

**Tabla 5.4.** Pérdidas totales de potencia por caso y escenario.

<b>CASO</b>	<b>Operación normal</b>	<b>GD con (Conexión aleatoria)</b>	<b>PSO</b>
4135	13,65 %	8,52%	6,20%
4131	3,18 %	1,70%	1,60%
2012799	13,76 %	6,34%	5,22%

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. CONCLUSIONES

- Se eligió el algoritmo enjambre de partículas (PSO) debido a sus capacidades de adaptabilidad a las características de la función objetivo, posibilidad de abordar problemas complejos con una convergencia rápida.
- El uso del algoritmo PSO en la optimización de la ubicación de generación distribuida presenta la disminución de aproximadamente de la mitad en pérdidas totales de potencia activa y como resultado la mejora de tensiones en el sistema hasta rangos aceptables entre 0,92 y 1,08 p.u.
- En base a los resultados del primer caso de estudio y considerando los límites establecidos para el índice de voltajes de la Regulación ARCENNR 002/20, se determina que, al aplicar GD en el sistema de distribución los perfiles de tensiones que previamente se encontraban fuera del límite inferior permitido, se ajustan al rango mínimo de operación.
- En el segundo y tercer caso de estudio se evidencia que, al aplicar GD en los sistemas de distribución, existe una considerable mejora en los perfiles de tensión que afecta al 60% y 70% de los nodos respectivamente, como se puede evidenciar en la barra BV20043522 del tercer caso.

## **6.2. RECOMENDACIONES**

Con el propósito de mejorar los resultados, se proponen las siguientes recomendaciones:

- Realizar un análisis del sistema desbalanceado, considerando perfiles de carga, y almacenamiento de energía para examinar el comportamiento de los parámetros eléctricos.
- Evaluar la adaptabilidad y eficiencia del PSO en comparación con algoritmos de optimización multiobjetivo.
- Analizar el comportamiento de las protecciones eléctricas, tanto a nivel del sistema en su conjunto como del transformador específico, al incorporar Generación Distribuida.
- Aplicar Métodos determinísticos para la solución de ubicación óptima de GD en redes de distribución.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] MEER, “Plan Maestro de Electricidad\_2016\_2025.” .
- [2] G. O. Fortes, M. A. S. Mendes, and P. C. Cortizo, “Integrated solution for driving series-connected IGBTs and its natural intrinsic balancing,” *Energies*, vol. 12, no. 12, pp. 1–15, 2019, doi: 10.3390/en12122406.
- [3] E. Railway and T. Systems, “Introduction to Railway Systems,” *Electr. Railw. Transp. Syst.*, pp. 1–16, 2018, doi: 10.1002/9781119386827.ch1.
- [4] T. B. C. G. (BCG), “Evolución Tecnológica y Prospectiva de Costes de las Energías Renovables.”
- [5] IRENA, “Costos de generación de energía renovables,” 2021.
- [6] J. C. L. Vásquez, “Estudio de la situación actual de las Smart Grids,” *Univ. Cantab.*, pp. 1–79, 2016, [Online]. Available: <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/9143/386883.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [7] J. L. Samaniego, L. M. Galindo, S. J. Mostacedo, J. Ferrer Carbonell, J. E. Alatorre, and O. Reyes, “El Cambio Climático y el Sector de Energía en América Latina,” *CEPAL, Nac. Unidas*, pp. 3–13, 2017, [Online]. Available: [https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/sintesis\\_pp\\_cc\\_cambio\\_climatico\\_y\\_el\\_sector\\_de\\_energia.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/news/files/sintesis_pp_cc_cambio_climatico_y_el_sector_de_energia.pdf).
- [8] S. Ximena, C. Quintero, / Juan, D. M. Jiménez, J. David, and M. Jiménez, “Impacto de la generación distribuida en el sistema eléctrico de potencia colombiano: un enfoque dinámico The impact of distributed generation on the colombian electrical power system: a dynamic-system approach,” *Tecnura*, vol. 17, no. 35, pp. 77–89, 2013.
- [9] K. Promdee *et al.*, “Characterization of carbon materials and differences from activated carbon particle (ACP) and coal briquettes product (CBP) derived from coconut shell via rotary kiln,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 75, no. July 2016, pp. 1175–1186, 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.11.099.
- [10] E. Rafael, C. León, M. Fernando, and G. León, *Intercambio de energía eléctrica en baja tensión, implementando un algoritmo de juegos cooperativos*. 2019.
- [11] E. Ramos, “La generación distribuida: El camino hacia la producción descentralizada de electricidad y pautas para su reglamentación,” *Forseti Rev. Derecho*, vol. 8, no. 11, pp. 7–35, 2020, doi: 10.21678/forseti.v8i11.1255.
- [12] V. H. Cholota Hurtado, “Impacto de la generación distribuida en redes de distribución, aplicación central hidroeléctrica Mira,” 2014.

- [13] V. H. Méndez Quezada, “Generación distribuida: aspectos técnicos y su tratamiento regulatorio,” *Univ. Comillas-Madrid*, p. 268, 2005, [Online]. Available: <https://repositorio.comillas.edu/rest/bitstreams/429468/retrieve>.
- [14] J. P. Muñoz-vizhñay, M. V. Rojas-moncayo, and C. R. Barreto-calle, “Incentive pertaining to energy the generation distributed in Ecuador Resumen : Abstract : Forma sugerida de citación : Muñoz-Vizhñay , J .; Rojas-Moncayo , M .; Barreto-Calle , C . ( 2018 ). « Incentivo a la generación distribuida,” 2018, [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/5055/505554803006/505554803006.pdf>.
- [15] P. Jean and L. Jessica, “Energías renovables y medio ambiente,” *Rev. Científica Univ. y Soc.*, vol. 8, no. 2218–3620, p. 150, 2016, [Online]. Available: <http://scielo.sld.cu/pdf/rus/v8n3/rus24316.pdf>.
- [16] M. Milton and C. Quinteros, “Análisis de Generación Distribuida en Hogares y Edificaciones,” *Univ. Politécnica Sales.*, vol. 1, pp. 1–175, 2014, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/7529/6/UPS - KT00890.pdf>.
- [17] L. Freire, “Análisis de estabilidad de voltaje por impacto de generación distribuida en redes de distribución de la ciudad de Quito,” 2014.
- [18] O. Sanchez, “Impacto De La Generación Distribuida En La Confiabilidad De Redes De Distribución,” 2016.
- [19] J. D. Sánchez de la Cruz, N. R. Balderramo Vélez, Y. Llosas Albuérne, and G. E. Pico Mera, “Trascendencia de la generación distribuida (GD) y el uso de las redes inteligentes.,” *Rev. Investig. en Energía, Medio Ambient. y Tecnol. RIEMAT ISSN 2588-0721*, vol. 3, no. 2, p. 13, 2018, doi: 10.33936/riemat.v3i2.1625.
- [20] ARCERNNR, *Resolución Nro. ARCERNNR-032/2021*. 2021, pp. 1–28.
- [21] M. A. Medina Ron, “Mejora del perfil del voltaje en microrredes usando generación distribuida mediante el software open dss,” 2022.
- [22] A. Águila, D. González, G. Gutiérrez, and L. Ortiz, “Optimal location and dimensioning of photovoltaic distributed generation in distribution networks using PSO,” *I+D Tecnológico*, vol. 18, no. 1, pp. 50–68, 2022, doi: <https://doi.org/10.33412/idt.v18.1.3219>.
- [23] J. Cervantes, *Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica*, vol. 52, no. 1. 1995.
- [24] ARCERNNR, “Pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica,” 2023. [Online]. Available: [https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2023/01/pliego\\_tarifario\\_spee\\_-\\_año\\_2023.pdf](https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2023/01/pliego_tarifario_spee_-_año_2023.pdf).
- [25] B. C. J. Rafael, “Diseño de redes eléctricas en medio voltaje, bajo voltaje y alumbrado público para

- urbanizaciones,” 2022.
- [26] C. Arcentales and G. Arcentales, *Diseño de redes eléctricas en medio voltaje, bajo voltaje y alumbrado público para urbanizaciones*, vol. Volumen 17. 2020.
- [27] E. F. Durán, “La Generación Distribuida: Retos frente al Marco Legal del Mercado Eléctrico Ecuatoriano,” *Rev. Técnica “Energía,”* vol. 10, no. 1, pp. 13–27, 2014, doi: 10.37116/revistaenergia.v10.n1.2014.95.
- [28] J. M. Hernández Lòpez, “La generación distribuida y el futuro de los sistemas de distribución,” 2015.
- [29] W. Almeida, “Generación distribuida y su potencial aplicación en ecuador,” pp. 83–87, [Online]. Available: <https://revistaenergia.cenace.gob.ec/index.php/cenace/article/view/306/294>.
- [30] O. Delgado, “Inserción de generación distribuida en redes de distribución considerando la minimización de energía no servida,” *Univ. Politécnica Sales.*, p. 47, 2022, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/22641/1/UPS - TTS816.pdf>.
- [31] K. Bustamente, “Estudio De Los Sistemas De Generacion Distribuida,” *Univ. del Azuay*, 2009.
- [32] CONELEC, “Atlas solar del Ecuador,” *Conelec*, pp. 1–51, 2008, [Online]. Available: [http://www.conelec.gob.ec/archivos\\_articulo/Atlas.pdf](http://www.conelec.gob.ec/archivos_articulo/Atlas.pdf).
- [33] E. A. Alcivar Peralta, “Análisis de prefactibilidad para la implementación de un parque eólico en el sector Oropamba cantón Sevilla de Oro.,” 2022.
- [34] MEER, “Bloque De Energia Renovable No Convencional (Ernc) 200 Mw Proyecto Eólico García Moreno Septiembre 2020,” 2020.
- [35] J. Vladimir, A. Villarreal, P. Francisco, and P. Ponce, “Wind energy in rural areas of Ecuador,” vol. 4, no. 3, pp. 351–364, 2022.
- [36] A. W. Mejía Yépez, “Óptima ubicación de aerogeneradores basado en el atlas eólico para maximizar la potencia generada,” 2018, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16066/1/UPS - ST003742.pdf>.
- [37] H. E. Yáñez Rivadeneria, “Impacto de la generación eólica distribuida sobre las pérdidas técnicas en la red eléctrica,” 2015.
- [38] F. J. Landa Quimbata and L. E. LLanganate Quinatoa, “Diseño y construcción de una pico central hidroeléctrica utilizando una turbina michell banki para generación eléctrica en el sector de las carmelitas del cantón tena,” 2009.
- [39] F. Marielys, R. Díaz, M. Castro, and Á. Costa, “Grupos electrógenos y calidad de la energía,” 2007,

- [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/3291/329127754006.pdf>.
- [40] J. Grainger and W. J. Stevenson, “Análisis de Sistemas de Potencia,” *Cenace, Uanl*. p. 743, 1996.
- [41] A. A. Chowdhury, *Power Distribution System Practical Methods and Applications*. 2009.
- [42] EPRI, “OpenDSS PVSysSystem Element Model Version 1,” pp. 1–10, 2011.
- [43] H. Akagi, Y. Kanazawa, K. Fujita, and A. Nabae, “Teoría generalizada de la potencia reactiva instantánea y su aplicación,” *IEEJ Trans. on Power and Energy*, vol. 103, no. 7. pp. 483–490, 1983, [Online]. Available: [https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejpes1972/103/7/103\\_7\\_483/\\_pdf](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejpes1972/103/7/103_7_483/_pdf).
- [44] H. A. Aredes, E. H. Watanabe, and M. Aredes, *Instantaneous power theory and applications to power conditioning*. 2007.
- [45] W. J. G. Celi, *Análisis de la interconexión de generación distribuida, aplicando el estándar IEEE 1547 para determinar la afectación de la transferencia de energía renovable en las redes de baja tensión*. 2022.
- [46] I. Segura, “Evaluación del impacto de la generación distribuida en sistemas de distribución primaria de energía eléctrica,” *Univ. politécnica Val.*, p. 300, 2005, [Online]. Available: <https://riunet.upv.es/handle/10251/1894>.
- [47] A. I. Javier Martínez-Peralta and Y. I. Eugenia Llosas-Albuerne, “Técnicas para la ubicación óptima de generación distribuida en redes de distribución de energía eléctrica,” *dominiodelasciencias.com*, vol. 8, no. 1, pp. 503–520, 2022, doi: <https://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i41.2506>.
- [48] J. R. Rodríguez Salazar, “Ubicación Óptima De Generación Distribuida En Redes De Distribución,” 2020.
- [49] A. I. Javier Martínez-Peralta and Y. I. Eugenia Llosas-Albuerne, “Técnicas para la ubicación óptima de generación distribuida en redes de distribución de energía eléctrica,” *dominiodelasciencias.com*, vol. 8, no. 1, pp. 503–520, 2022, doi: <https://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i41.2506>.
- [50] G. E. G. Fernández, “Método del Enjambre de Partículas y Evolución Diferencial Para el Diseño de Peso Mínimo de un Panel Naval Reforzado,” 2011.
- [51] J. J. C. López, “El optimizador de enjambre de partículas y su aplicación en sistemas eléctricos de potencia,” 2014.
- [52] L. Gaitan and J. Gomez, “Estudio del impacto de la generación distribuida en sistemas de prueba ieece.,” 2017.
- [53] A. Águila, D. González, G. Gutiérrez, and L. Ortiz, “Optimal location and dimensioning of photovoltaic distributed generation in distribution networks using PSO,” *I+D Tecnológico*, vol. 18, no. 1, pp. 50–68,

2022, doi: <https://doi.org/10.33412/idt.v18.1.3219>.

- [54] D. Gutiérrez, W. M. Villa, and J. M. López-Lezama, “Flujo Óptimo Reactivo mediante Optimización por Enjambre de Partículas,” *Inf. Tecnol.*, vol. 28, no. 5, pp. 215–224, 2017, doi: 10.4067/S0718-07642017000500020.
- [55] J. E. García Castellanos and D. Molina De la Rosa, “Herramienta Software Para Dimensionamiento Y Localización De Generación Distribuida En Una Microrred,” 2019.
- [56] G. Niazi and M. Lalwani, “PSO based optimal distributed generation placement and sizing in power distribution networks: A comprehensive review,” *2017 Int. Conf. Comput. Commun. Electron. COMPTELIX 2017*, no. 1, pp. 305–311, 2017, doi: 10.1109/COMPTELIX.2017.8003984.
- [57] R. Alexis and F. Gavilanes, “Implementación del método de optimización por enjambre de partículas (PSO) para la localización de puntos de mayor concentración de armónicos y análisis de alternativas que mejoren la calidad del producto,” 2022.
- [58] I. Belinchon, “Optimización de sistemas de generación distribuida de energía eléctrica con almacenamiento para pequeños consumidores mediante algoritmo PSO,” 2016.
- [59] J. J. C. Lòpez, “El optimizador de enjambre de partículas y su aplicación en sistemas eléctricos de potencia,” 2014.
- [60] R. C. Dugan, “Reference Guide The Open Distribution System Simulator (OpenDSS),” no. March, pp. 1–184, 2016.
- [61] I. Challenger Pérez, Y. Díaz Ricardo, and R. Becerra García, “El lenguaje de programación Python,” *Rev. Ciencias Holguín*, vol. 20, pp. 1–13, 2014, [Online]. Available: <http://www.linuxjournal.com/article/2959>.
- [62] “geoportal.cnelep.gob.ec.” <https://geoportal.cnelep.gob.ec/cnel/>.
- [63] L. J. Morejon Ramirez, “Diseño de un producto turístico de la parroquia Lago San Pedro, cantón la Joya de los Sachas, provincia de Orellana,” 2017.
- [64] Ayllu solar, “Manual sobre instalaciones de plantas fotovoltaicas,” *Solar Energy Research Center*. p. 24, 2019, [Online]. Available: [https://ayllusolar.cl/es/energia-solar/%0Ahttps://ayllusolar.cl/wp-content/uploads/2020/03/manual2019\\_rasterizado.pdf](https://ayllusolar.cl/es/energia-solar/%0Ahttps://ayllusolar.cl/wp-content/uploads/2020/03/manual2019_rasterizado.pdf).
- [65] Armijos Siguenza, Kevin Israel and J. G. Cabrera Vidal, “Implementación De Un Sistema Fotovoltaico De 600W Para Alimentación Del Laboratorio De Metrología,” 2020.
- [66] Ayllu solar, “Manual sobre instalaciones de plantas fotovoltaicas,” *Solar Energy Research Center*. p. 24, 2019.

- [67] N. Flores and M. Domínguez, “Medición de la eficiencia energética de los paneles solares de silicio,” 2017.
- [68] J. C. P. Álvarez, “Guía para el dimensionamiento de sistemas solares fotovoltaicos conectados y aplicación de la resolución Creg 030 de 2018 para la inyección de excedentes a la red,” 2019.
- [69] Kevin Israel Armijos Siguenza and Jiro Geovanny Cabrera Vidal, “Implementación De Un Sistema Fotovoltaico De 600W Para Alimentación Del Laboratorio De Metrología,” 2020.
- [70] O. Villao and E. Consuegro, “Dimensionamiento Óptimo De Un Sistema Fotovoltaico a Través De Herramientas computacionales en zonas aisladas,” *Univ. Politécnica Sales.*, p. 89, 2021, [Online]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/21324/1/UPS-GT003492.pdf>.
- [71] G. R. F. Guerra, “Dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo para la embarcación de descarga de anchoveta Chata DC-3,” 2021.
- [72] FENERCOM, “Guía Básica de la Generación Distribuida,” 2007, [Online]. Available: <http://www.madrid.org/cs/Satellite?blobcol=urldata&blobheader=application/pdf&blobheadername1=Content-Disposition&blobheadervalue1=filename=GUIA+BASICA+DE+LA+GENERACION.pdf&blobkey=id&blobtable=MungoBlobs&blobwhere=1181215450713&ssbinary=true>.
- [73] J. Radosavljevic, M. Jevtic, D. Klimenta, and N. Arsic, “Optimal power flow for distribution networks with distributed generation,” *Serbian J. Electr. Eng.*, vol. 12, no. 2, pp. 145–170, 2015, doi: 10.2298/sjee1502145r.
- [74] C. Hernandez and J. Navas, “Aplicación de software libre openss al estudio de interconexión de generación distribuida,” 2021.
- [75] “Trina Solar,” 2023. <https://www.trinasolar.com/es/product>.

## 8. ANEXOS

### 8.1. ANEXO 1: INFORME PLAGIO

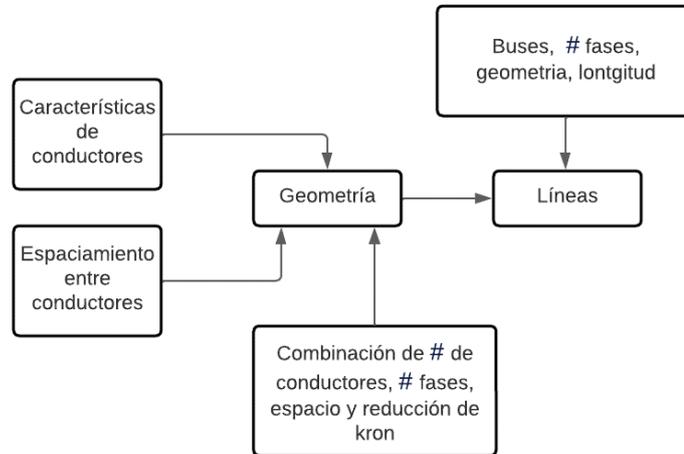
8. ANEXOS

8.1. ANEXO 1: INFORME PLAGIO

Facultad:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
Carrera:	Ingeniería en Electricidad
Nombre del docente evaluador que emite el informe:	Ing. Pesantez Palacios Gabriel Napoleón M.Sc.
Documento evaluado:	Propuesta de Investigación presentada previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico.
Autores del documento:	Barrera Rojas Ambar Jocabed Ramirez Estrada Geovanny Efrain
Programa de similitud utilizado:	Sistema COMPILATION
Porcentaje de Similitud según el programa utilizado.	6 %
Observaciones: Calificación de originalidad atendiendo a los siguientes criterios:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>El documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones.</li> <li>El documento cumple criterios de originalidad, con observaciones.</li> <li>El documento no cumple criterios de originalidad.</li> </ul>	-X- --- ---
Fecha de realización del informe:	09/08/2023
Captura de pantalla del documento analizado:	
<p>Ing. Pesantez Palacios Gabriel Napoleón M.Sc. CC: 030189388-9 Tutor de la Investigación</p>	

## 8.2. ANEXO 2: MODELADO DEL SISTEMA EN OPENDSS.

Para modelar las líneas se utiliza las hojas de los fabricantes donde se crean las bibliotecas de los conductores, una vez creadas se define en el programa por medio de la declaración de 4 objetos.



**Figura 8.1.** Modelado de líneas en OPENDSS [74]. .

Para definir una carga, OpenDSS utiliza el objeto load y toma en cuenta los siguientes parámetros:

**Tabla 8.1.** Parámetros para el modelado de línea de código de carga [74].

<b>NAME</b>	Identificador (único) de la carga
<b>BUS1</b>	Nombre del nodo (y fases) dónde se conectará la carga
<b>KV</b>	Tensión nominal de la carga
<b>MODEL</b>	Modelo de la carga (hay siete tipos)
<b>CONN</b>	Tipo de conexión de la carga (delta, wye)
<b>KW</b>	Potencia nominal de la carga
<b>PF</b>	Factor de potencia de la carga (se puede usar también KVAR)
<b>PHASES</b>	Numero de fases de la carga (1 o 3 monofásica o trifásica)

### 8.3. ANEXO 3: LEVANTAMIENTO REFERENCIAL DEL SISTEMA BASE.

#### 8.3.1. DATOS DE ENTRADA CASO BASE IEEE 34 NODOS.

En la siguiente tabla se encuentran los datos generales para el sistema base IEEE 34 nodos utilizado en la modelación de OpenDSS.

**Tabla 8.2.** Datos de entrada sistema IEEE 34 nodos [73].

Nodo 1	Nodo 2	Parámetros		Cargas	
		R ( $\Omega$ )	X ( $\Omega$ )	PL (kW)	QL (kVAR)
800	802	0,5473	0,4072	27,5	14,5
802	806	0,367	0,273	27,5	14,5
806	808	6,8373	5,0864	16	8
808	812	7,9553	5,9181	0	0
812	814	6,3069	4,6919	0	0
814	850	0,0032	0,0016	0	0
850	816	0,0992	0,0494	171,5	88
816	824	3,2681	1,6265	44,5	22
824	828	0,2689	0,1338	5,5	2,5
828	830	6,5426	3,2562	48,5	21,5
830	854	0,1664	0,0828	4	2
854	852	11,7889	5,8672	0	0
852	832	0,0032	0,0016	7,5	3,5
832	858	1,5684	0,7806	25,5	13
858	834	1,8661	0,9288	89	45
834	860	0,6466	0,3218	174	106
860	836	0,8578	0,4269	61	31,5
836	836	0,2753	0,137	47	31
836	834	0,0896	0,0446	28	14
834	842	0,0896	0,0446	4,5	2,5
842	844	0,4321	0,2151	432	329
844	846	1,1651	0,5799	34	17
846	832	0,1696	0,0844	71,5	53,5
832	888	11,78	25,2864	0	0
888	890	80,26	59,7059	450	225

#### 8.4. ANEXO 4: DATOS DE ENTRADA PARA CASOS REALES.

Para los diferentes casos de estudio la información recopilada de CYME 7.1 Rev 02 ha sido fundamental para el análisis y simulación de la red eléctrica en Joya de los Sachas utilizando OpenDSS. Específicamente, los valores de impedancia obtenidos se usan para modelar adecuadamente la red eléctrica y evaluar su comportamiento ante distintas condiciones y cargas.

**Tabla 8.3.** Datos de conductores para casos reales.

Calibre	Area (mm <sup>2</sup> )	Diametro del conductor (mm)	RMG mm	Resistencia AC a 50 C Ohm/mi	Corriente (kA)
CO0-0U 2x50+1x50	50	21	0,15	1,20	0,167

En cada caso particular, se ha evaluado la distribución de la carga eléctrica en función de la cantidad de usuarios conectados a cada transformador y, además, se ha asociado un número de nodo para identificar cada ubicación específica. A continuación, la demanda con su nodo respectivo.

**Tabla 8.4.** Carga instalada en cada caso de estudio.

DEMANDA ALTA		DEMANDA MEDIA		DEMANDA BAJA	
4135		4131		2012799	
Bus	Carga instalada (kWh)	Bus	Carga instalada (kWh)	Bus	Carga instalada (kWh)
20043639	202	20043141	0	20043020	677
20043640	546	20043140	127	20043021	327
20043545	621	20043142	304	20043022	48
bvt2_5	0	20043143	110	20043036	22
20043146	347	20043265	263	20043037	79
20043546	1652	20043266	44	20043038	0
20043547	210	20043268	638	20043515	128
20043147	531	20043269	122	20043516	168
20043548	249	20043270	687	20043518	28
20043149	451	20043272	197	20043519	301
20043150	204	20043273	72	20043522	359
20043151	171	bvt_7	474	bvt_1	369
20043550	84	20042571	74	bvt_1	300
20043551	410	20042572	149	-	-

DEMANDA MEDIA		DEMANDA MEDIA BAJA		DEMANDA BAJA	
4135		4131		2012799	
Bus	Carga instalada (kWh)	Bus	Carga instalada (kWh)	Bus	Carga instalada (kWh)
20043552	207	20042574	0	-	-
20043153	676	bvt_7	840	-	-
20043154	128	bvt_7	82	-	-
20043156	82	-	-	-	-
20043157	127	-	-	-	-
20043158	150	-	-	-	-
20043159	0	-	-	-	-
20043160	519	-	-	-	-
bvt_5	404	-	-	-	-
20043163	91	-	-	-	-
20043164	10	-	-	-	-
20043165	48	-	-	-	-
20043166	192	-	-	-	-
20043167	580	-	-	-	-
20043168	302	-	-	-	-
bvt_5	943	-	-	-	-
bvt_5	120	-	-	-	-

### 8.5. ANEXO 5: DATOS DE ENTRADA PARA PSO EN PYTHON.

En la Tabla 8.5 se encuentran los parámetros definidos para generar un enjambre inicial, las constantes  $c_1$ ,  $c_2$ , y  $w$  están definidas por los creadores del modelo PSO y las variables como el número de partículas, iteraciones se determinarán en función del programador.

**Tabla 8.5.** Parámetros de entrada para PSO.

Parámetro	Valor
Numero de partículas	100
Constante de aceleración C1	2
Constante de aceleración C2	2
Valor inicial del peso inercial W	0,5
Valor final del peso inercial W	0,5
Numero de máx. de iteraciones	50
Dimensión del problema	34

## 8.6. ANEXO 6: CASOS DE ESTUDIO

### 8.6.1. Caso base IEEE 34 nodos.

**Tabla 8.6.** Pérdidas de potencia por escenario caso IEEE 34 nodos.

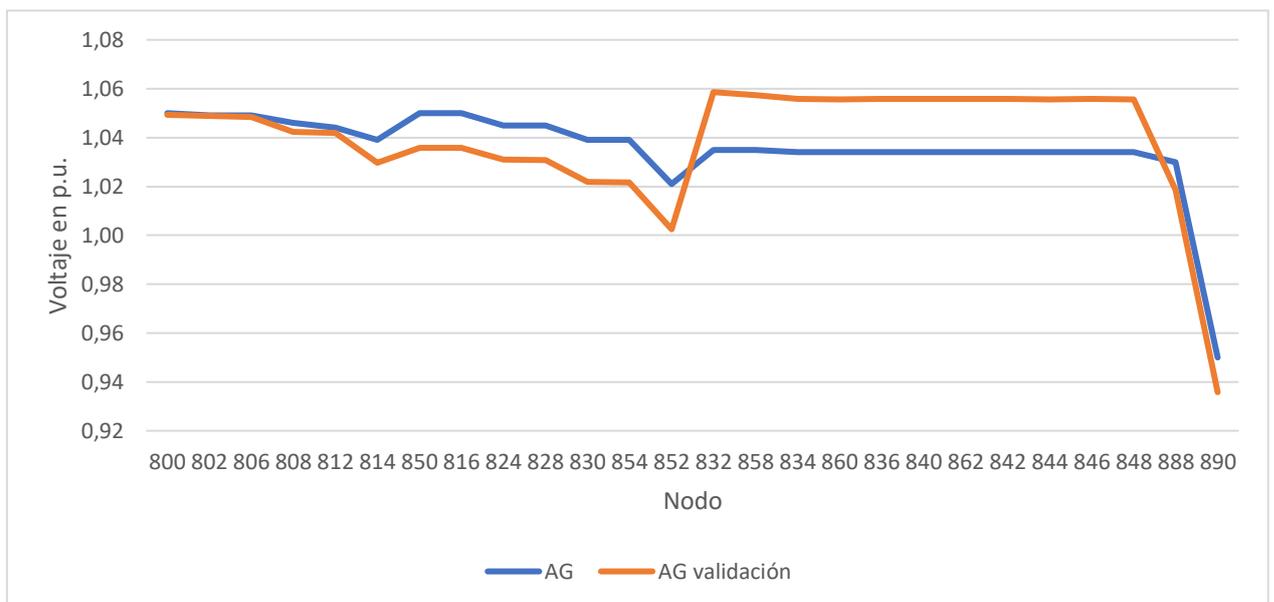
Elemento	Operación normal		GD Aleatoria		AG		PSO	
	Pérdidas en kW	% de pérdidas	Pérdidas en kW	% de pérdidas	Pérdidas en kW	% de pérdidas	Pérdidas en kW	% de pérdidas
RAMAL 1	1,9809	0,2700	0,4607	0,5300	0,4575	0,4600	0,4933	0,3759
RAMAL 2	1,2973	0,1800	0,3058	0,3200	0,3042	0,2800	0,3288	0,2505
RAMAL 3	23,5999	3,2600	5,6471	0,3000	5,6262	4,6800	6,0989	4,6468
RAMAL 4	2,6986	0,3900	0,6396	0,6100	0,6504	0,4900	7,0642	5,3822
RAMAL 5	21,3948	3,1000	5,0708	4,8900	4,8679	5,4000	5,6005	4,2670
RAMAL 6	0,1908	0,0300	0,0516	0,0500	0,0501	0,0600	0,0000	0,0000
RAMAL 7	5,2695	0,8600	1,3816	3,4300	1,6106	1,0100	0,0490	0,0373
RAMAL 8	0,4135	0,0700	0,1288	0,0800	0,1242	0,0900	1,4239	1,0849
RAMAL 9	10,0022	1,7000	4,7126	1,4800	2,9977	2,1200	0,1102	0,0839
RAMAL 10	0,2416	0,0400	0,1118	0,0400	0,0713	0,0600	2,6618	2,0280
RAMAL 11	17,0340	3,0500	11,4532	2,7000	6,4653	2,8300	0,0638	0,0486
RAMAL 12	0,9726	0,2600	0,6079	0,2400	0,3215	0,5200	4,4978	3,4269
RAMAL 13	1,1060	0,3000	0,6850	0,2800	0,3637	0,6900	0,0000	0,0000
RAMAL 14	0,0683	0,0400	0,0666	0,0400	0,0157	0,1900	0,3346	0,2550
RAMAL 15	0,0364	0,0400	0,0354	0,0400	0,0208	0,0300	0,3818	0,2909
RAMAL 16	0,0001	0,0000	0,0001	0,0000	0,0005	0,0000	0,0895	0,0682
RAMAL 17	0,0003	0,0000	0,0029	0,0000	0,0054	0,0000	0,1903	0,1450
RAMAL 18	0,0135	0,0100	0,0131	0,0100	0,0058	0,0200	0,0107	0,0082
RAMAL 19	0,0618	0,0400	0,0602	0,0400	0,0267	0,1100	0,0121	0,0092
RAMAL 20	0,0087	0,0200	0,0085	0,0200	0,0347	0,0400	0,0144	0,0110
RAMAL 21	0,0007	0,0000	0,0065	0,0000	0,0620	0,0100	0,0660	0,0503
RAMAL 22	11,9702	7,4100	11,6125	7,4000	11,6228	7,4000	0,0093	0,0071

**Tabla 8.7.** Voltajes por escenario IEEE 34 nodos.

Bus	Operación Normal	GD aleatoria	AG	PSO	Normal vs Aleatoria	Normal vs AG	Normal vs PSO
	Voltaje p.u.						
800	1,0490	1,0494	1,0494	1,0494	0,04%	0,04%	0,04%
802	1,0460	1,0488	1,0489	1,0489	0,27%	0,28%	0,28%
806	1,0440	1,0484	1,0485	1,0485	0,42%	0,43%	0,43%
808	1,0080	1,0417	1,0424	1,0425	3,34%	3,41%	3,42%
812	1,0040	1,0401	1,0418	1,0418	3,60%	3,76%	3,76%
814	0,9710	1,0275	1,0296	1,0368	5,82%	6,04%	6,78%
850	1,0490	1,0401	1,0358	1,0466	0,85%	1,26%	0,23%
816	1,0490	1,0400	1,0357	1,0365	0,86%	1,27%	1,19%
824	1,0400	1,0366	1,0311	1,0325	0,33%	0,86%	0,72%
828	1,0390	1,0362	1,0307	1,0322	0,27%	0,80%	0,65%
830	1,0200	1,0275	1,0218	1,0248	0,74%	0,18%	0,47%
854	1,0190	1,0232	1,0216	1,0246	0,41%	0,26%	0,55%
852	0,9870	0,9962	1,0025	1,0121	9,33%	8,76%	7,88%
832	1,0730	1,0582	1,0586	1,0562	1,38%	1,34%	1,57%
858	1,0700	1,0559	1,0573	1,0551	1,32%	1,19%	1,39%
834	1,0670	1,0533	1,0559	1,0539	1,28%	1,04%	1,23%
860	1,0660	1,0528	1,0557	1,0541	1,24%	0,97%	1,12%
836	1,0650	1,0524	1,0558	1,0547	1,18%	0,86%	0,97%
840	1,0650	1,0524	1,0558	1,0548	1,18%	0,86%	0,96%
862	1,0650	1,0524	1,0559	1,0548	1,18%	0,85%	0,96%
842	1,0660	1,0532	1,0558	1,0538	1,20%	0,96%	1,14%
844	1,0660	1,0529	1,0556	1,0534	1,23%	0,98%	1,18%
846	1,0660	1,0526	1,0559	1,0532	1,26%	0,95%	1,20%
848	1,0660	1,0526	1,0556	1,0531	1,26%	0,98%	1,21%
888	1,0320	1,0181	1,0185	1,0161	1,35%	1,31%	1,54%
890	0,9400	0,9354	0,9358	0,9337	0,49%	0,45%	0,67%

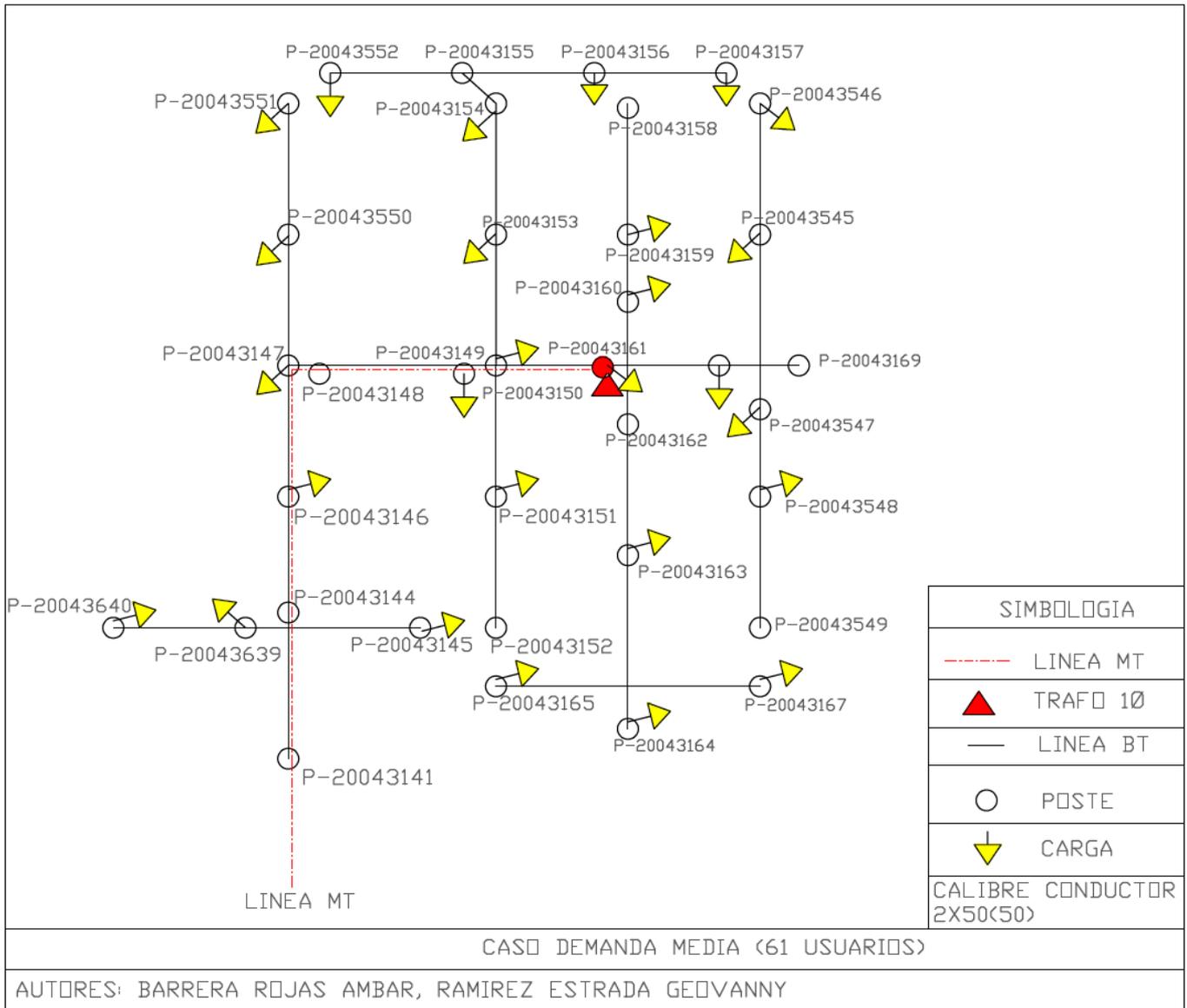
**Tabla 8.8.** Validación de voltajes [74].

Nodo	AG	AG Validación
800	1,050	1,049
802	1,049	1,049
806	1,049	1,049
808	1,046	1,042
812	1,044	1,042
814	1,039	1,030
850	1,050	1,036
816	1,050	1,036
824	1,045	1,031
828	1,045	1,031
830	1,039	1,022
854	1,039	1,022
852	1,021	1,003
832	1,035	1,059
858	1,035	1,057
834	1,034	1,056
860	1,034	1,056
836	1,034	1,056
840	1,034	1,056
862	1,034	1,056
842	1,034	1,056
844	1,034	1,056
846	1,034	1,056
848	1,034	1,056
888	1,030	1,019
890	0,950	0,936



**Figura 8.2.** Validación de voltajes AG [74].

**8.6.2. Diagrama del sector con demanda media (61 usuarios).**



**Figura 8.3.** Caso demanda media (61 usuarios).

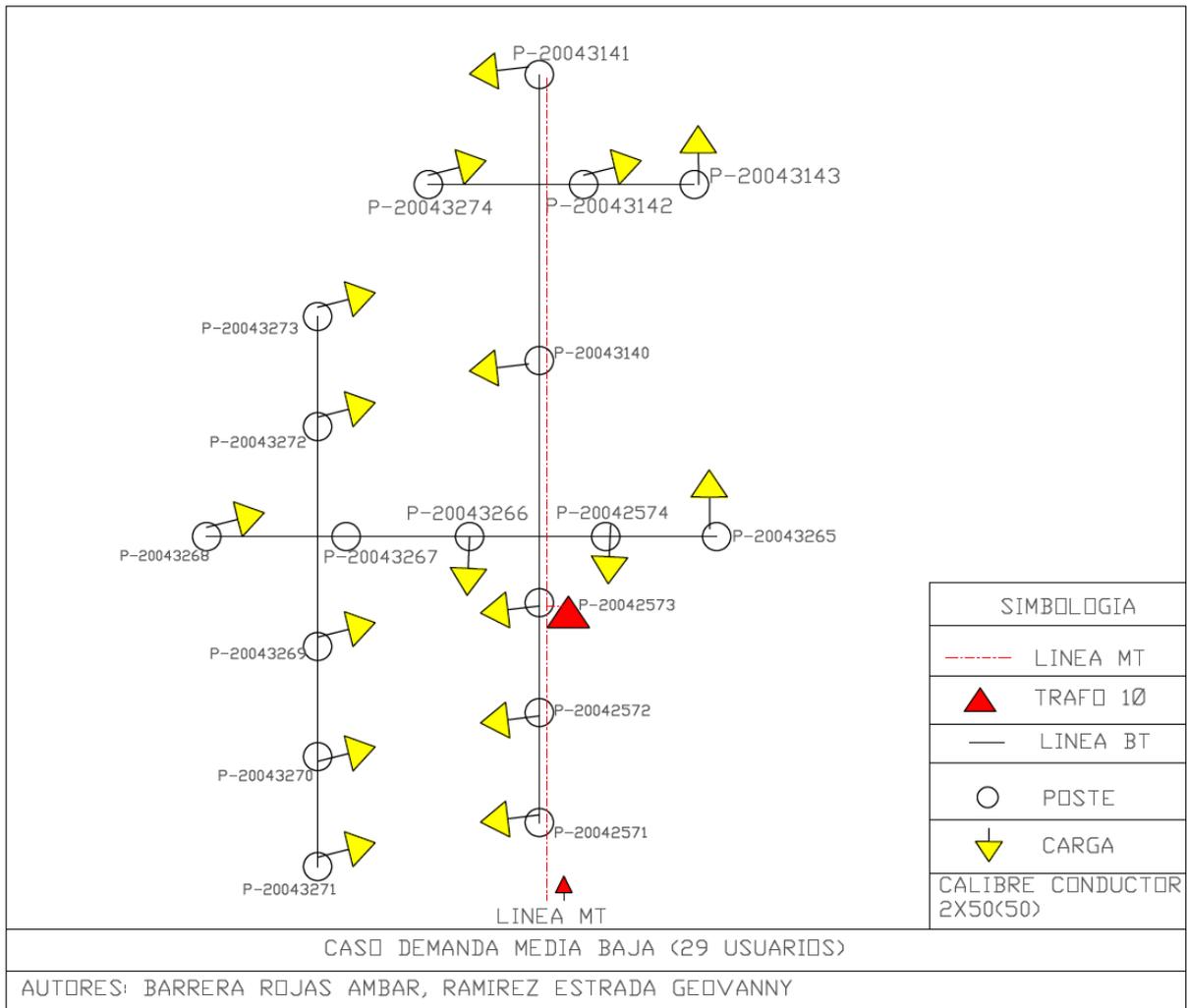
**Tabla 8.9.** Pérdidas de potencia por ramal caso (4135).

RAMAL	Operación normal		GD aleatoria		PSO		Normal vs Aleatoria	Normal vs AG	Normal vs PSO
	Pérdidas en kW	% de pérdidas	Pérdidas en kW	% de pérdidas	Pérdidas en kW	% de pérdidas			
RAMAL 1	0,4178	7,43	0,1943	7,36	0,1833	6,8	53,49%	56,13%	5,67%
RAMAL 2	0,0055	1,06	0,0059	1,06	0,0060	1,06	7,27%	8,73%	1,36%
RAMAL 3	0,0022	0,85	0,0024	0,86	0,0024	0,86	9,09%	7,73%	1,25%
RAMAL 4	0,0009	0,00	0,0009	0,51	0,0009	0,51	0,00%	3,33%	3,33%
RAMAL 5	0,0348	2,43	0,0377	2,44	0,0112	2,58	8,33%	67,87%	70,34%
RAMAL 6	0,0152	1,24	0,0165	1,24	0,0043	1,83	8,55%	71,71%	73,94%
RAMAL 7	0,0012	0,36	0,0013	0,36	0,0048	0,63	8,33%	300,83%	270,00%
RAMAL 8	0,0009	0,00	0,0099	0,53	0,0209	2,17	0,00%	2217,78%	110,71%
RAMAL 9	0,0235	2,65	0,0255	2,67	0,0268	2,68	8,51%	14,13%	5,18%
RAMAL 10	0,0032	0,82	0,0035	0,83	0,0037	0,83	9,38%	14,38%	4,57%
RAMAL 11	0,0016	2,66	0,0173	2,68	0,0173	2,68	981,25%	982,50%	0,12%
RAMAL 12	0,0037	0,88	0,0039	0,89	0,0040	0,89	5,41%	7,84%	2,31%
RAMAL 13	0,0008	0,00	0,0009	0,00	0,0001	0,00	12,50%	88,75%	90,00%
RAMAL 14	0,0003	0,00	0,0003	0,00	0,0003	0,00	0,00%	3,33%	3,33%
RAMAL 15	0,0007	0,00	0,0008	0,00	0,0008	0,00	14,29%	7,14%	6,25%
RAMAL 16	0,0014	0,00	0,0002	0,00	0,0002	0,00	85,71%	89,29%	25,00%
RAMAL 17	0,1808	7,58	0,0796	13,46	0,0605	10,35	55,97%	66,53%	23,97%
RAMAL 18	0,0002	0,00	0,0003	0,00	0,0003	0,00	50,00%	35,00%	10,00%
RAMAL 19	0,0187	2,53	0,0084	3,21	0,0066	3,48	55,08%	64,65%	21,31%
RAMAL 20	0,0082	1,92	0,0151	2,27	0,0116	2,06	84,15%	41,95%	22,91%
RAMAL 21	0,0018	0,51	0,0056	0,72	0,0024	0,52	211,11%	35,56%	56,43%
RAMAL 22	0,0021	1,02	0,0032	1,05	0,0029	1,04	52,38%	39,05%	8,75%
RAMAL 23	0,0099	0,71	0,0334	3,05	0,0014	0,72	237,37%	86,36%	95,96%
RAMAL 24	0,0003	0,00	0,0453	3,65	0,0004	0,00	15000%	26,67%	99,16%
RAMAL 25	0,0186	1,50	0,0114	1,62	0,0070	1,6	38,71%	62,15%	38,25%
RAMAL 26	0,0505	4,72	0,0435	4,78	0,0169	6,73	13,86%	66,50%	61,10%
RAMAL 27	0,0038	1,39	0,0214	2,51	0,0181	2,47	463,16%	375,53%	15,56%
RAMAL 28	0,0017	0,83	0,0204	2,09	0,0024	0,85	1100,00%	38,24%	88,48%
RAMAL 29	0,0045	0,73	0,0023	0,75	0,0058	0,74	48,89%	29,78%	153,91%
RAMAL 30	0,0027	0,81	0,0078	1,08	0,0036	0,82	188,89%	31,48%	54,49%
RAMAL 31	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,0000	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
RAMAL 32	0,0019	0,59	0,0057	0,77	0,0026	0,6	200,00%	35,26%	54,91%
RAMAL 33	0,0012	0,44	0,0064	0,75	0,0015	0,44	433,33%	25,83%	76,41%

**Tabla 8.10.** Voltajes por escenario caso (4135).

Bus	Normal	GD Aleatoria	PSO	Normal vs Aleatoria	Normal vs PSO	GD Aleatoria Vs PSO
	Voltaje p.u.			% Variación		
BVT_5	0,9959	0,9959	0,9959	0,00%	0,00%	0,00%
BVT1_5	0,9332	0,9649	0,9645	3,40%	3,35%	0,04%
BV20043160	0,9252	0,9566	0,9561	3,39%	3,34%	0,05%
BV20043159	0,9188	0,9499	0,9494	3,38%	3,33%	0,05%
BV20043158	0,9150	0,9459	0,9455	3,38%	3,33%	0,04%
BV20043168	0,9145	0,9455	0,9584	3,39%	4,80%	1,36%
BVT2_5	0,9053	0,9358	0,9563	3,37%	5,63%	2,19%
BV20043547	0,9026	0,9331	0,9618	3,38%	6,56%	3,08%
BV20043548	0,8987	0,9290	0,9821	3,37%	9,28%	5,72%
BV20043545	0,8856	0,9154	0,9353	3,36%	5,61%	2,17%
BV20043546	0,8797	0,9092	0,9290	3,35%	5,60%	2,18%
BV20043163	0,9129	0,9437	0,9433	3,37%	3,33%	0,04%
BVT3_5	0,9063	0,9369	0,9364	3,38%	3,32%	0,05%
BV20043164	0,9056	0,9361	0,9356	3,37%	3,31%	0,05%
BV20043165	0,9037	0,9342	0,9337	3,38%	3,32%	0,05%
BV20043166	0,9042	0,9348	0,9343	3,38%	3,33%	0,05%
BV20043167	0,9029	0,9334	0,9329	3,38%	3,32%	0,05%
BV20043150	0,8737	0,9759	0,9484	11,70%	8,55%	2,82%
BV20043151	0,8717	0,9736	0,9461	11,69%	8,54%	2,82%
BV20043153	0,8555	0,9805	0,9516	14,61%	11,23%	2,95%
BV20043154	0,8421	0,9971	0,9661	18,41%	14,73%	3,11%
BV20043155	0,8386	1,0032	0,9621	19,63%	14,73%	4,10%
BV20043552	0,8317	0,9946	0,9539	19,59%	14,69%	4,09%
BV20043156	0,8338	1,0331	0,9564	23,90%	14,70%	7,42%
BV20043157	0,8311	1,0705	0,9532	28,81%	14,69%	10,96%
BV20043149	0,8629	0,9806	0,9444	13,64%	9,44%	3,69%
BV20043147	0,8292	1,0031	0,9359	20,97%	12,87%	6,70%
BV20043550	0,8198	1,0258	0,9569	25,13%	16,72%	6,72%
BV20043551	0,8143	1,0461	0,9503	28,47%	16,70%	9,16%
BV20043146	0,8242	1,0048	0,9303	21,91%	12,87%	7,41%
BVT4_5	0,8188	1,0137	0,9240	23,80%	12,85%	8,85%
BV20043145	0,8188	1,0137	0,9240	23,80%	12,85%	8,85%
BV20043639	0,8148	1,0202	0,9195	25,21%	12,85%	9,87%
BV20043640	0,8119	1,0271	0,9162	26,51%	12,85%	10,80%

### 8.5.3 Diagrama del sector con demanda baja (29 usuarios).



**Figura 8.4.** Caso demanda baja (29 usuarios).

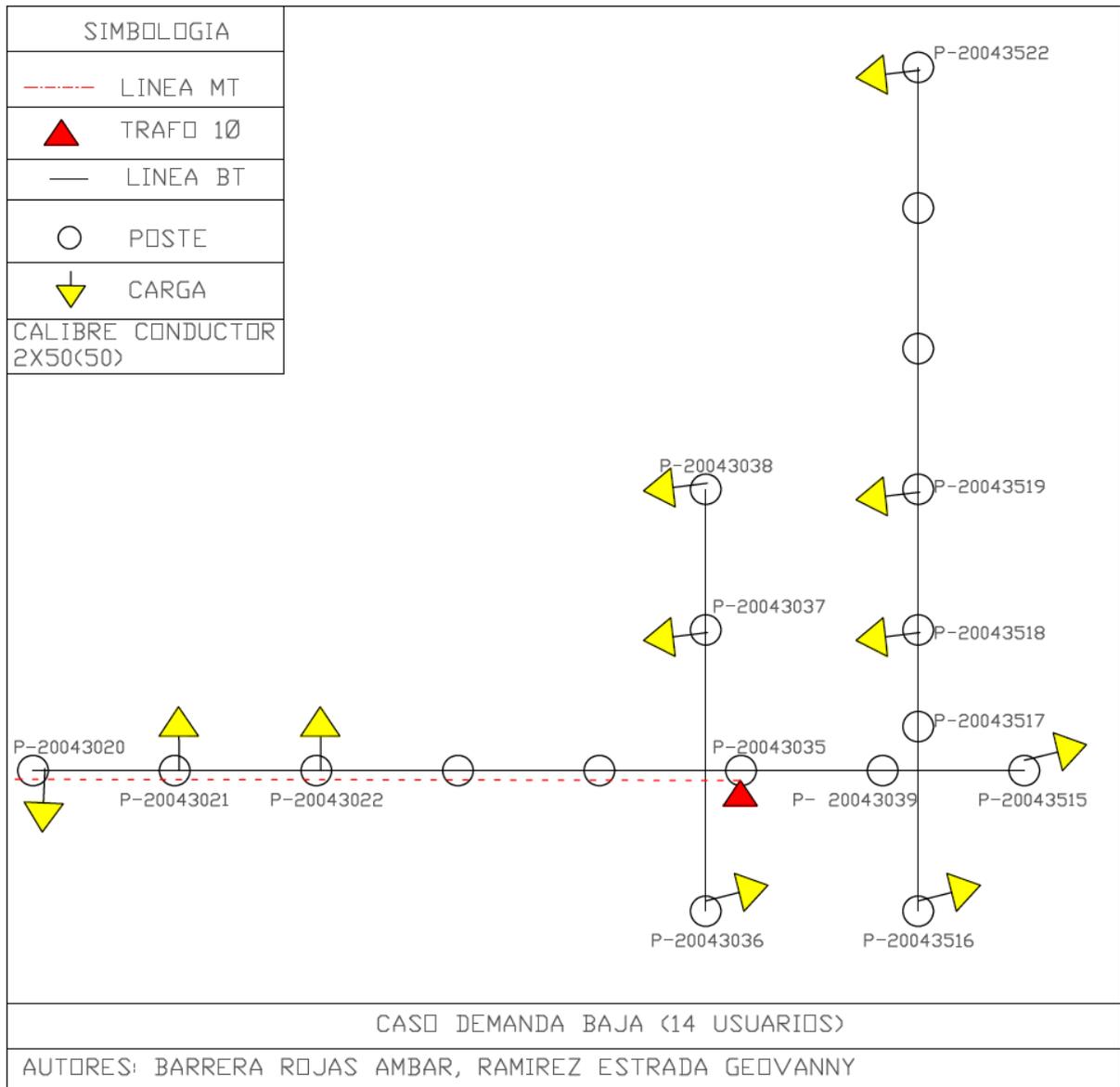
**Tabla 8.11.** Pérdidas de potencia por ramal caso (4131).

RAMAL	Operación normal		GD Aleatoria		PSO		Normal vs Aleatoria	Normal vs AG	Normal vs PSO
	Pérdidas en kW	% de pérdidas	Pérdidas en kW	% de pérdidas	Pérdidas en kW	% de pérdidas	% Variación		
RAMAL 1	0,01313	1,17	3,40E-03	1,640	0,00351	1,65	74,11%	73,27%	3,24%
RAMAL 2	0,00017	0,00	0,00033	0,000	0,00017	0,00	94,12%	0,00%	48,48%
RAMAL 3	0,00064	0,00	0,00065	0,000	0,00065	0,00	1,56%	1,56%	0,00%
RAMAL 4	0,02069	2,25	0,00945	1,920	0,00501	37,63	54,33%	75,79%	46,98%
RAMAL 5	0,02355	3,04	9,36E-03	2,640	0,00951	2,64	60,25%	59,62%	1,60%
RAMAL 6	0,00278	0,96	2,99E-03	0,960	0,00126	0,83	7,55%	54,68%	57,86%
RAMAL 7	0,0004	0,00	0,00042	0,000	0,00043	0,00	5,00%	7,50%	2,38%
RAMAL 8	0,00014	0,00	0,00015	0,000	0,00015	0,00	7,14%	7,14%	0,00%
RAMAL 9	0,00433	1,26	1,29E-03	1,430	0,00475	1,27	70,21%	9,70%	268,22%
RAMAL 10	0,00381	1,35	4,22E-03	1,360	0,00418	1,36	10,76%	9,71%	0,95%
RAMAL 11	0,00077	0,00	0,00077	0,000	0,00077	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
RAMAL 12	0,00016	0,00	0,00016	0,000	0,00016	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
RAMAL 13	0,00642	1,42	6,42E-03	1,420	0,00642	1,42	0,00%	0,00%	0,00%
RAMAL 14	0,00297	0,94	0,00297	0,940	0,00297	0,94	0,00%	0,00%	0,00%
RAMAL 15	0,00048	0,00	0,00048	0,000	0,00048	0,00	0,00%	0,00%	0,00%
RAMAL 16	0,0025	1,00	0,0025	1,000	0,0025	1,00	0,00%	0,00%	0,00%

**Tabla 8.12.** Voltajes por escenario caso (4131).

Bus	Normal	GD Aleatoria	PSO	Normal vs Aleatoria	Normal vs PSO	GD Aleatoria Vs PSO
	Voltajes pu			% Variación		
BVT_7	0,9959	0,9959	0,9959	0,00%	0,00%	0,00%
BVT1_7	0,9863	0,9938	0,9938	0,76%	0,76%	0,00%
B20042574	0,9856	0,9948	0,9930	0,93%	0,75%	0,18%
B20043265	0,9816	0,9907	0,9890	0,93%	0,75%	0,17%
B20043266	0,9680	0,9837	0,9927	1,62%	2,55%	0,91%
B20043267	0,9438	0,9722	0,9811	3,01%	3,95%	0,92%
B20043268	0,9364	0,9646	0,9843	3,01%	5,12%	2,04%
B20043272	0,9412	0,9695	0,9784	3,01%	3,95%	0,92%
B20043273	0,9394	0,9677	0,9765	3,01%	3,95%	0,91%
B20043269	0,9341	0,9741	0,9710	4,28%	3,95%	0,32%
B20043270	0,9239	0,9633	0,9602	4,26%	3,93%	0,32%
B20042572	0,9912	0,9912	0,9911	0,00%	0,01%	0,01%
B20042571	0,9892	0,9892	0,9891	0,00%	0,01%	0,01%
B20043140	0,9843	0,9960	0,9843	1,19%	0,00%	1,17%
BVT2_7	0,9768	0,9991	0,9768	2,28%	0,00%	2,23%
B20043142	0,9756	0,9996	0,9756	2,46%	0,00%	2,40%
B20043143	0,9676	1,0059	0,9676	3,96%	0,00%	3,81%

### 8.6.3. Diagrama del sector con demanda baja (14 usuarios).



**Figura 8.5.** Caso demanda baja (14 usuarios).

**Tabla 8.13.** Pérdidas de potencia por ramal caso (2012799).

Ramal	Operación normal		GD aleatoria		PSO		Normal vs Aleatoria	Normal vs PSO	GD Aleatoria Vs PSO
	Pérdidas en kW	% de pérdidas	Pérdidas en kW	% de pérdidas	Pérdidas en kW	% de pérdidas	% Variación		
RAMA 1	0,2530	8,74	0,1668	8,00	0,0920	9,18	34,07%	63,64%	44,84%
RAMA 2	0,0032	1,02	0,0034	1,02	0,0036	1,03	6,25%	12,50%	5,88%
RAMA 3	0,1105	6,5	0,0552	5,94	0,0594	5,96	50,05%	46,24%	7,61%
RAMA 4	0,0592	4,52	0,0249	4,42	0,0268	4,43	57,94%	54,73%	7,63%
RAMA 5	0,0681	9,32	0,0219	34,24	0,0233	37,7	67,84%	65,79%	6,39%
RAMA 6	0,0106	1,70	0,0112	1,70	0,0066	1,50	5,66%	37,74%	41,07%
RAMA 7	0,0014	0,38	0,0014	0,38	0,0014	0,38	0,00%	0,00%	0,00%
RAMA 8	0,0207	1,86	0,0052	5,69	0,0207	1,86	74,88%	0,00%	298,08%
RAMA 9	0,0043	1,20	0,0193	2,26	0,0043	1,20	348,84%	0,00%	77,72%
RAMA 10	0,2188	13,54	0,0903	13,12	0,0861	12,83	58,73%	60,65%	4,65%
RAMA 11	0,0460	4,15	0,0152	5,81	0,0142	5,73	66,96%	69,13%	6,58%
RAMA 12	0,0124	2,35	0,0088	2,12	0,0142	2,38	29,03%	14,52%	61,36%

**Tabla 8.14.** Voltajes por escenario caso (2012799).

Bus	Operación normal	GD aleatoria	PSO	Normal vs Aleatoria	Normal vs PSO	GD Aleatoria Vs PSO
	Voltajes p.u.			% Variación		
BVT_1	0,9959	0,9959	0,9959	0,00%	0,00%	0,00%
B20043039	0,9216	0,9415	0,9682	2,15%	5,06%	2,84%
B20043515	0,9140	0,9336	0,9601	2,15%	5,05%	2,84%
B20043518	0,8709	0,9132	0,9388	4,85%	7,80%	2,81%
B20043519	0,8380	0,8987	0,9237	7,24%	10,23%	2,78%
B20043522	0,7731	0,9012	0,9258	16,57%	19,75%	2,73%
B20043516	0,9089	0,9284	0,9757	2,15%	7,35%	5,10%
B20043036	0,9928	0,9928	0,9928	0,00%	0,00%	0,00%
B20043037	0,9808	0,9964	0,9808	1,59%	0,00%	1,57%
B20043038	0,9712	1,0172	0,9712	4,73%	0,00%	4,52%
B20043022	0,8812	0,9448	0,9460	7,22%	7,35%	0,13%
B20043021	0,8511	0,9370	0,9386	10,10%	10,28%	0,17%
B20043020	0,8347	0,9474	0,9203	13,49%	10,25%	2,85%

## 8.7. ANEXO 7: PÉRDIDAS TOTALES POR CASO DE ESTUDIO

**Tabla 8.15.** Pérdidas totales para los diferentes casos de estudio.

<b>CASO</b>	<b>Operación normal</b>	<b>GD con (Conexión aleatoria)</b>	<b>PSO</b>
4135	16,86 %	11,17%	8,23%
4131	3,18 %	1,70%	1,60%
2012799	13,76 %	6,34%	5,22%

## 8.8. ANEXO 8: DATOS DE IRRADIACIÓN SOLAR Y TEMPERATURA

### Datos de irradiación solar

En la Figura 4.3 se puede apreciar la curva de irradiación en función de las horas validas en el día, con un total promediado de potencia en watio por metro cuadrado al día.

**Tabla 8.16.** Datos de irradiación solar

<b>1H</b>	<b>2H</b>	<b>3H</b>	<b>4H</b>	<b>5H</b>	<b>6H</b>	<b>7H</b>	<b>8H</b>	<b>9H</b>	<b>10H</b>	<b>11H</b>	<b>12H</b>
0	0	0	0	0	23,2	110,0	229,7	370,7	465,6	540,0	573,3
<b>13H</b>	<b>14H</b>	<b>15H</b>	<b>16H</b>	<b>17H</b>	<b>18H</b>	<b>19H</b>	<b>20H</b>	<b>21H</b>	<b>22H</b>	<b>23H</b>	<b>24H</b>
531,2	456,3	351,4	203,7	64,3	0	0	0	0	0	0	0

### Datos de temperatura ambiente

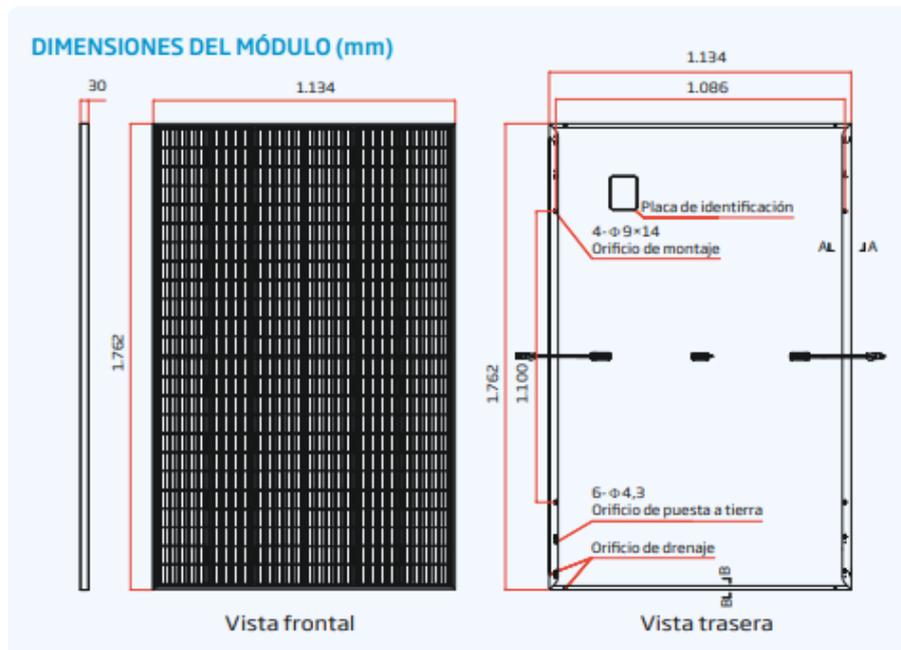
En la siguiente se determinar la temperatura por hora para el sector y un promedio pico al día.

**Tabla 8.17.** Curva de temperatura.

<b>1H</b>	<b>2H</b>	<b>3H</b>	<b>4H</b>	<b>5H</b>	<b>6H</b>	<b>7H</b>	<b>8H</b>	<b>9H</b>	<b>10H</b>	<b>11H</b>	<b>12H</b>
21,53	21,21	20,95	20,70	20,46	20,23	20,14	20,87	22,09	23,60	24,89	25,85
<b>13H</b>	<b>14H</b>	<b>15H</b>	<b>16H</b>	<b>17H</b>	<b>18H</b>	<b>19H</b>	<b>20H</b>	<b>21H</b>	<b>22H</b>	<b>23H</b>	<b>24H</b>
26,45	26,68	26,59	26,29	25,82	25,07	24,17	23,59	23,12	22,69	22,28	21,89

## 8.9. ANEXO 9: POTENCIA FOTOVOLTAICA SUMINISTRADA AL SISTEMA

Los módulos fotovoltaicos de 405 W a 425 W optimizan el espacio de captación de radiación y se han convertido en la solución eficiente en instalaciones con poco espacio disponible. Cumple con la norma ISO 9001 en calidad, y alcanza una eficiencia de hasta 21,3 % y con una garantía de producto de 15 años, además una garantía de 25 años de potencia. A continuación, en la figura se puede apreciar el módulo elegido y sus dimensiones.



**Figura 8.6.** Visualización del panel fotovoltaico [75].

**Tabla 8.18.** Datos eléctricos (STC) [75].

Potencia máx. – Pmax (Wp)	405 - 425
Tolerancia de Pnom (w)	$\pm 5$
Tensión en máx. potencia	41,3 – 42,2
Corriente en máx. potencia	9,82 – 10,08
Eficiencia	20,3 – 21,3

**Tabla 8.19.** Límites operacionales [75].

NOCT	43 °C
Temperatura de operación	-40 a +85 °C
Tensión máx. del sistema	1500 V DC (IEC)
Capacidad máx. del fusible	20 A
Garantía	15 años

En la Tabla 8.20 se identifican los datos de entrada para el dimensionamiento del sistema fotovoltaico, mediante los diferentes cálculos de la sección 1, además se considera el espacio de una casa aproximadamente 10 m<sup>2</sup>, y la potencia menor a 10 kW.

**Tabla 8.20.** Datos de entrada del sistema fotovoltaico a Python.

Nivel de radiación (kWh/m <sup>2</sup> /día)	3.9
Irradiancia (Wh/m <sup>2</sup> /día)	4956,36
Potencia panel (w)	405 – 425
Temperatura ambiente (°C)	27,74
Angulo de incidencia	3,907
Voltaje del panel fotovoltaico (V)	41,3 – 42,2
Tensión del sistema (V)	220

### 8.10. ANEXO 10: DIMENSIONAMIENTO DE GD.

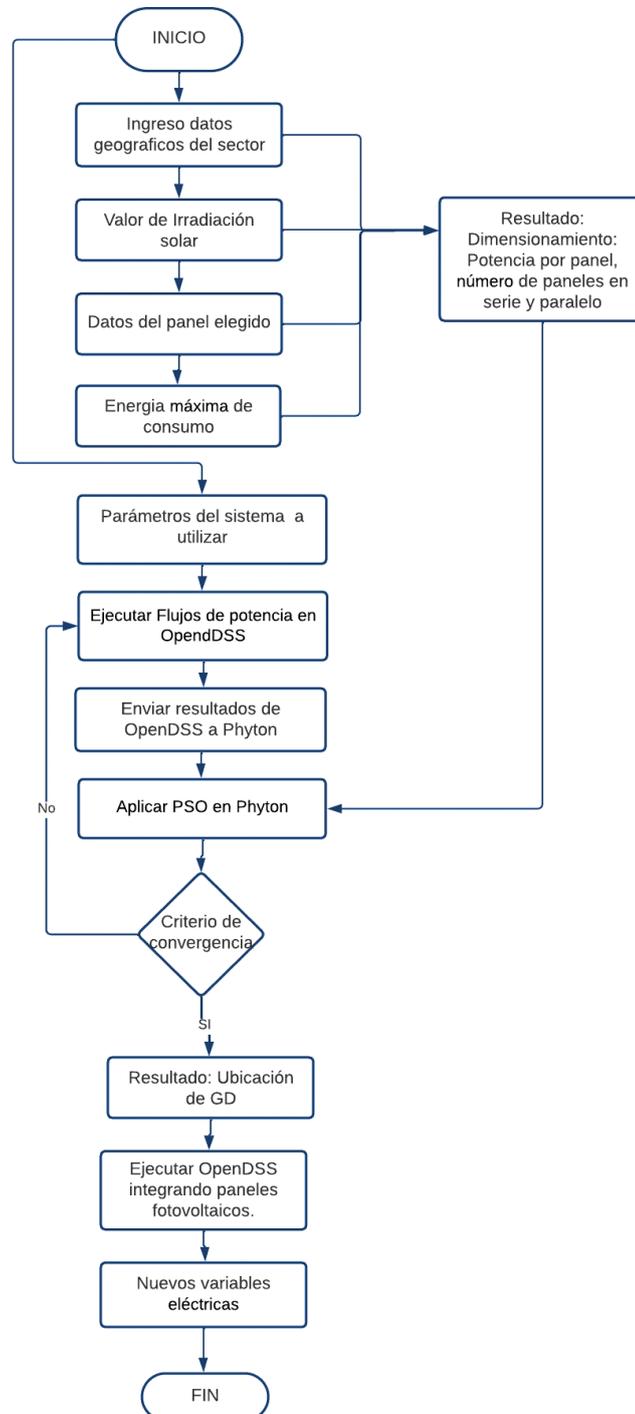
Utilizando los valores de irradiación, datos del panel solar se ingresan en la siguiente ventana.

The screenshot shows a software application window titled "Aplicación" with a subtitle "DIMENSIONAMIENTO GD". The interface consists of several input fields, each followed by a "Calcular" button, and several output results displayed in red text.

Variable	Value	Action
Lt:	0.3	Calcular
B:	3.907	
Ppanel:	400	Calcular
Hsp:	2.5	
Esfv:	1000.0	
Emc:	1652	Calcular
Pr:	0.7	
Pnom:	944.0	
Ppico:	1132.8	
Nfv:	3.0	
Pi:	1200.0	
Vfv:	12	Calcular
Vmp:	31.5	
Fvs:	1.0	
Fvp:	2.0	
Inc:	10.08	Calcular
IReg:	25.2	

Figura 8.7. Ventana de dimensionamiento de GD.

### 8.11. ANEXO 11: DIAGRAMA DE FLUJO PARA LA UBICACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE GD.



**Figura 8.8.** Diagrama de flujo para el dimensionamiento y ubicación de GD.