

**UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE BATERÍAS
PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN
CONSIDERANDO INDICADORES EN LA CALIDAD DE ENERGÍA.**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO
CARRERA DE ELECTRICIDAD**

**UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS DE
ALMACENAMIENTO DE BATERÍAS PARA
MINIMIZAR PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE
DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO
INDICADORES EN LA CALIDAD DE ENERGÍA.**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR: SEBASTIÁN ALEJANDRO GUERRERO NOBOA
TUTOR: CARLOS ANDRÉS BARRERA SINGAÑA

Quito -Ecuador
2023

Sebastián Alejandro Guerrero Noboa

UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE BATERÍAS PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO INDICADORES EN LA CALIDAD DE ENERGÍA.

Universidad Politécnica Salesiana, Quito – Ecuador 2023

Carrera de Electricidad

Breve reseña histórica e información de contacto.



Sebastián Alejandro Guerrero Noboa (Y'1996 – N'11). Realizó sus estudios de nivel secundario en el Colegio Nacional “Juan Pío Montufar” de la ciudad de Quito. Egresado de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana. Su trabajo se basa en la ubicación óptima de sistemas de almacenamiento de baterías para minimizar pérdidas en el sistema de distribución considerando indicadores en la calidad de energía. sguerreron@est.ups.edu.ec

Dirigido por:



Carlos Andrés Barrera Singaña (Y'1989). Realizó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica Nacional de Quito, donde se graduó de Ingeniero Eléctrico en 2013. Además, cursó estudios de posgrado en la Universidad de Zaragoza, España, donde obtuvo el título en Máster en Energías Renovables y Eficiencia Energética con Especialidad en Sistemas Eléctricos. Actualmente es profesor ocasional a tiempo completo de la Universidad Politécnica Salesiana. cbarrera@ups.edu.ec

Todos los derechos reservados:

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

DERECHOS RESERVADOS

©2023 Universidad Politécnica Salesiana

QUITO - ECUADOR

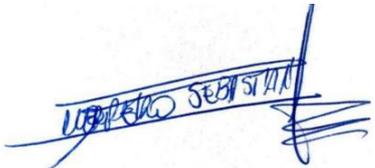
CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Sebastián Alejandro Guerrero Noboa con documento de identificación N° 1717075244 manifiesto que:

Soy el autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 03 de abril del año 2023

Atentamente,



Sebastián Alejandro Guerrero Noboa
1717075244

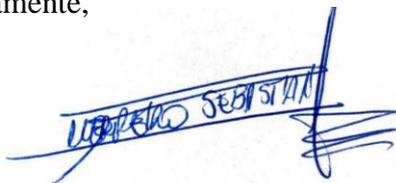
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Sebastián Alejandro Guerrero Noboa con documento de identificación No. 1717075244, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Artículo Académico “Ubicación óptima de sistemas de almacenamiento de baterías para minimizar pérdidas en el sistema de distribución considerando indicadores en la calidad de energía.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 03 de abril del año 2023

Atentamente,



Sebastián Alejandro Guerrero Noboa

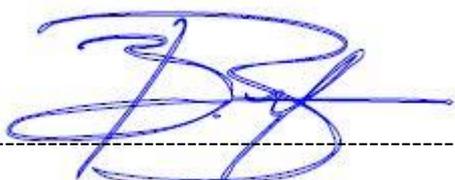
1717075244

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Carlos Andrés Barrera Singaña con documento de identificación N° 0503503336, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE BATERÍAS PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO INDICADORES EN LA CALIDAD DE ENERGÍA. , realizado por Sebastián Alejandro Guerrero Noboa con documento de identificación N° 1717075244, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Artículo Académico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 03 de abril del año 2023

Atentamente,



Ing. Carlos Andrés Barrera Singaña, MSc
0503503336

ÍNDICE GENERAL

1	Introducción...	2
2	Marco teórico	4
2.1	Sistema de distribución.....	4
2.1.1	Red de distribución.....	4
	Red de distribución de bajo voltaje	4
	Red de distribución de medio voltaje	4
2.1.2	Topología radial en sistemas de distribución	4
2.1.3	Componentes funcionales en un sistema de distribución.....	5
2.2	Pérdidas de energía eléctrica en distribución.....	5
2.2.1	Pérdidas técnicas del sistema de distribución.....	6
2.2.2	Pérdidas no técnicas del sistema de distribución.....	6
2.3	Métodos de solución para minimizar pérdidas de energía eléctrica en redes de distribución.....	6
2.3.1	Método SEM	6
2.3.2	Método de compensación.....	7
2.3.3	Método de la gradiente	7
2.4	Sistema de almacenamiento de baterías	7
2.4.1	Tipos de baterías.....	8
	Baterías compuestas por Ion y Litio.....	8
	Baterías compuestas por Plomo y Ácido.....	8
	Baterías compuestas por Sodio y Sulfuro	8
2.4.2	Elementos de un sistema de baterías	8
	Sistema de Gestión de baterías	8
	Convertidor de energía de baterías	8
	Sistema de gestión de energía	8
	Sistema de seguridad de la batería	8
2.5	Calidad de energía eléctrica.....	9
2.5.1	Estándar IEEE 1159-2019	9
	Transitorios en la red eléctrica	9
	Variaciones RMS de corta duración.....	9
	Variaciones RMS de larga duración.....	9
	Distorsión en la forma de onda de una perturbación.....	10
	Fluctuaciones de voltaje	10
	Ventajas de un BESS dentro de la calidad de energía.....	10

3	Formulación del problema	10
3.1	Algoritmo genético en relación con sistemas de distribución	11
3.2	Flujos de potencia del tipo barrido adelante-atrás	11
	Primera ley de Kirchhoff aplicado al barrido de corrientes	12
	Segunda ley de Kirchhoff aplicado al barrido de voltajes.....	12
	Convergencia del método del barrido iterativo	12
	Indicadores para establecer un análisis en la calidad de energía.....	12
3.3	Modelamiento matemático	13
	3.3.1 Función Objetivo	13
3.4	Caso de estudio.....	13
4	Análisis de resultados.....	14
4.1	Sistema de 69 barras.....	14
	4.2.1 Ubicación de sistemas de almacenamiento de baterías	14
	4.2.2 Mejora de perfiles de voltaje en sistema de 69 barras.....	15
	4.2.3 Comparación de pérdidas al ingresar unidades de BESS.....	15
4.2	Sistema de 136 barras.....	16
	4.1.1 Ubicación de sistemas de almacenamiento de baterías	16
	4.1.2 Mejora de perfiles de voltaje en sistema de 136 barras.....	17
	4.1.3 Comparación de pérdidas al ingresar unidades de BESS.....	17
5	Conclusiones	18
5.1	Trabajos futuros.....	19
6	Referencias	19
6.1	Matriz de Estado del Arte	22
6.2	Resumen de Indicadores	30
7	Anexos.....	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Topología radial de un sistema de distribución.	5
Figura 2. Esquema de elementos presentes en un sistema de distribución.¡Error! Marcador no definido.5	
Figura 3. Esquema simplificado de un sistema de baterías.	8
Figura 4. Diagrama de flujo del algoritmo genético.	11
Figura 5. Perfiles de voltaje sistema de 69 barras IEEE sin BESS.	14
Figura 6. Perfiles de voltaje sistema de 69 barras IEEE con 4 BESS.	14
Figura 7. Comparación de pérdidas activas en sistema de 69 barras con 4 BESS.	15
Figura 8. Perfiles de voltaje sistema de 136 barras IEEE sin BESS.	15
Figura 9. Perfiles de voltaje sistema de 136 barras IEEE con 4 BESS.	16
Figura 10. Comparación de pérdidas activas en sistema de 136 barras con 4 BESS.	17
Figura 11. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.	29
Figura 12. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.	29
Figura 13. Indicador de solución - Estado del arte.	29

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Datos de potencia activa y reactiva del sistema IEEE de 69 barras.	25
Tabla 2: Datos de potencia activa y reactiva del sistema IEEE de 136 barras.	26
Tabla 3: Valores de BESS para sistema de 69 barras de la IEEE.	14
Tabla 4: Ubicación óptima de 4 sistemas de baterías para sistema de 69 barras.	14
Tabla 5: Mejora de perfiles de voltaje para sistema de 69 barras de la IEEE.	15
Tabla 6: Minimización de pérdidas en la red para sistema de 69 barras de la IEEE.	15
Tabla 7: Valores de BESS para sistema de 136 barras de la IEEE.	15
Tabla 8: Ubicación óptima de 4 sistemas de baterías para sistema de 136 barras.	16
Tabla 9: Mejora de perfiles de voltaje para sistema de 136 barras de la IEEE.	16
Tabla 10: Minimización de pérdidas en la red para sistema de 136 barras de la IEEE.	16
Tabla 11: Análisis comparativo de las pérdidas del Ecuador en los años 2011 y 2021.	17

UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE BATERÍAS PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO INDICADORES EN LA CALIDAD DE ENERGÍA.

Resumen

El presente documento está enfocado en la ubicación óptima de un sistema de almacenamiento de baterías para una red de distribución radial, con el objetivo de minimizar las pérdidas y mejorar el perfil de voltaje en cada una de las barras, lo que a su vez mejora el sistema de distribución ante el constante aumento de la demanda de energía. Se implementa dos modelos de prueba IEEE de 69 y 136 barras con el ingreso de unidades BESS en base a recursos renovables en almacenamiento eléctrico para mejorar la calidad de energía. Para el proceso de optimización se emplea el algoritmo genético en conjunto con el modelo iterativo del tipo barrido adelante-atrás considerando las restricciones de voltaje en cada uno de los casos de estudio. Los resultados obtenidos se validaron usando simulación digital Matlab/Matpower donde se analizará el comportamiento dinámico del voltaje y pérdidas en el sistema radial.

Palabras Clave: Perfil de voltaje, BESS, Pérdidas, Sistema de Distribución con almacenamiento de baterías

Abstract

This document is focused on the optimal location of a battery storage system for a radial distribution network, with the aim of minimizing losses and improving the voltage in each of the bars, which improves the distribution system due to the constant increase in energy demand. Two IEEE test models of 69 and 136 bars are implemented with BESS units based on renewable resources in electrical storage to improve energy quality. For the optimization process, the genetic algorithm is used in conjunction with the iterative model of the forward-backward sweep type, considering the voltage restrictions in each of the study cases. The results obtained were validated using Matlab/Matpower, digital simulation where the dynamic behavior of the voltage and losses in the radial system will be analyzed

Keywords: Voltage, BESS, Losses, Distribution System with battery storage

1 Introducción

El aumento de la demanda en electricidad a medida que progresa y avanza las actividades energéticas mundiales, tiene que cumplir el abastecimiento de carga en un cierto límite de duración, por lo que se necesita un plan de acción para satisfacer la demanda en usuarios finales. Para conseguir una mayor estabilidad de la red en los próximos años se necesita minimizar las pérdidas con el propósito de cumplir con la demanda de energía eléctrica que se tendrá a lo largo de los años.

Como menciona [1], una correcta ubicación de un BESS puede ser ejecutada por el algoritmo evolutivo del tipo maestro-esclavo en la que se define el montaje de almacenadores de energía para describir los resultados de los beneficios obtenidos trabajados en redes de distribución de 33 barras y 69 barras de la IEEE. Con el fin de verificar la eficiencia de la metodología propuesta, para el presente trabajo de investigación se desarrolla la correcta ubicación de un sistema de almacenamiento de baterías (BESS) aplicando el algoritmo genético mediante la metodología iterativa del tipo barrido adelante-atrás para obtener resultados eficientes que puedan controlar la decadencia de voltaje y pérdidas del sistema implementado en redes de topología radial en distribución de 69 y 136 barras de la IEEE.

El sistema de distribución casualmente opera a su máxima capacidad, ocasionando que tenga incidencia en el problema de pérdidas ocasionada por factores como las distancias largas existentes desde la central eléctrica hacia la subestación y fallas en los elementos que intervienen en el transporte de energía eléctrica (generadores, transformadores, líneas).

El incremento de centrales de generación tiene un costo elevado en su productividad y rentabilidad que a su vez requiere tener una solidez en el sistema y una mayor infraestructura para ser instalada en la red. Como una buena solución se puede tener la

implementación de fuentes variables de energía que permitan aumentar la capacidad de generación y evitar la reserva de los generadores de la red, siendo estas unidades denominadas sistemas de almacenamiento de baterías (BESS).

Un BESS permite tener una mayor flexibilidad en cuanto a respuesta de carga y descarga teniendo una tecnología que presenta un grupo de celdas acopladas en serie o paralelo, cuya función es almacenar la energía en forma electroquímica. Las diferentes clases de baterías como: ion y litio, plomo y ácido, sodio y sulfuro, pueden ser implementadas de acuerdo a su aplicación y sus diversos costos y ciclos en la determinación de carga y descarga.

Cumplen y ayudan a la nivelación de carga, en sistemas auxiliares de reserva, en sistemas de alimentación interrumpida y la minimización de la demanda como objetivo principal. Las baterías de flujo solucionan sistemas de almacenamiento que se conectan a diversas energías renovables con una proyección a futuro de respuesta eficiente. La principal función que presentan estas baterías es la fabricación con materia prima que otorgan menos obstáculos en la disponibilidad, donde se requieren sistemas de control diferentes para evitar daños por sobrecarga o sobrecalentamiento.

Se busca proporcionar energía que sea adecuada para trabajar en condiciones ambientales que no afecten al medio ambiente, para evitar el crecimiento de gases tóxicos y la sumisión de combustibles fósiles, proponiendo como solución la utilización de BESS. Un almacenamiento de energía puede conectarse de forma directa a la red de distribución, debido a que en gran parte de países un sistema de baterías no puede ser conectado directamente a la red de alta tensión, ya que debe utilizar un autotransformador conectado a un PCS, el que a su vez está protegido contra sobre corrientes por medio de un interruptor, haciendo que opere el

BESS en cuatro cuadrantes de energía entre diversas estructuras de corriente alterna y continua.

Tener conectado un sistema de baterías directamente en una topología radial en distribución se considera una ventaja ya que se puede conectar de una manera que se controle el equilibrio de voltaje, temperatura y tasas de carga de la red con la finalidad de aumentar los perfiles de voltaje en cada una de las barras del sistema ayudando a reducir las pérdidas obteniendo un avance en la confiabilidad y calidad de la energía que se entrega.

Una característica principal de un BESS es que se considera como una tecnología en la que se lleva a cabo la transición de sistemas energéticos tradicionales a infraestructuras que son consideradas energéticas digitalizadas, descentralizadas, des-carbonizadas y con una menor dependencia de la energía nuclear ya que así se puede sustituir las centrales de generación basadas en combustibles fósiles.

La calidad de energía es uno de los máximos limitantes al momento de entregar energía eléctrica a los usuarios finales, debido a que presenta diversos factores que como los transitorios, variaciones RMS, distorsiones, entre otros, que son establecidos mediante el estándar IEEE 1159, cuya función principal es dar la correcta continuidad a los aparatos eléctricos con el fin de no afectar su desempeño. La creciente demanda en energías renovables ayuda a disminuir el impacto ambiental considerando como su objetivo principal la contaminación global, lo que permite a la tecnología actual adaptar almacenamiento de energía que se acople a cada sistema de prueba.

Para tener una buena calidad de energía y evitar pérdidas en la estructura de distribución se pueden utilizar varios métodos de solución dependiendo las características y su disponibilidad para escoger la mejor alternativa en análisis comparativo de voltaje, corriente y

potencia. Los métodos más representativos para obtener un flujo de potencia acorde a las características de la red son el método SEM, de compensación y de la gradiente que se emplean para minimizar pérdidas en potencia activa y mejorar notablemente las características de voltaje que presenta cada barra en el sistema.

Considerando lo detallado anteriormente la actual investigación tiene como propósito determinar la ubicación óptima de sistemas de almacenamiento de baterías en una topología radial mediante una red de distribución. La alternativa presentada considera que utilizar un BESS ayuda a la actuación de modernos proyectos en energías renovables como la prevención ambiental ayudando al medio ambiente y al ahorro económico a futuro. La pauta para la ubicación de sistemas de almacenamiento de baterías se concentra en flujos de potencia basados en la técnica iterativa del tipo barrido adelante-atrás mediante la incorporación del algoritmo genético para tener un resultado favorable para el sistema. Los sistemas de distribución presentan una topología radial, donde el método iterativo es una solución eficiente para este tipo de red, considerando flujos radiales en un algoritmo computacional de computadora que ayuda a complementar los estudios para renovar la confiabilidad y calidad de energía.

El algoritmo genético permite un análisis del sistema que ayuda a disminuir las pérdidas en la red tomando en consideración los perfiles de voltaje inferiores que se tenga de acuerdo a las restricciones en cada caso de estudio y establecer un orden jerárquico de las barras que serán seleccionadas para ingresar un BESS.

Mediante el sustento de la metodología referida se plantea la ubicación de sistemas de almacenamiento de baterías haciendo referencia a la intervención del algoritmo genético mejorando los perfiles de voltaje y minimizando las pérdidas para poder

obtener una mejor confiabilidad. La selección de barras para un BESS ayuda a reducir el incremento del algoritmo y su tiempo de ejecución.

La formulación y esquematización del trabajo de investigación se desarrolla en 5 secciones. El primer capítulo define la introducción. El capítulo 2 hace referencia al marco teórico que incluye los principales temas como el sistema de distribución, pérdidas en distribución, métodos para minimizar las pérdidas, sistema de baterías BESS y calidad de energía. El capítulo 3 se compone de la formulación y metodología teniendo como temas principales el método del barrido del tipo adelante-atrás y el algoritmo genético. El capítulo 4 desarrolla el análisis de resultados de la investigación donde se analiza sus graficas resultantes. El capítulo 5 menciona las conclusiones de toda la investigación y resultados que se incluyen dentro del artículo académico.

2 Marco teórico

Los sistemas de potencia a través del transporte de energía, tienen la finalidad de llevar la carga de generación desde los centros de despacho hasta el punto de suministro del usuario final teniendo en cuenta la fiabilidad y la selectividad en el servicio con el propósito de minimizar costos y pérdidas en el sistema eléctrico de distribución [2].

Para una ubicación óptima de un sistema de baterías (BESS), existen varias soluciones eficientes para evitar pérdidas en sistemas de distribución ya que puede mejorar la calidad de la energía mediante el estándar IEEE 1159 [2].

2.1 Sistema de distribución

Una estructura de distribución presenta un grupo de elementos que permiten energizar diversas cargas en varios niveles de voltaje que se ubican en determinados lugares, dependiendo la característica de la carga y confiabilidad en la red [3], [4].

Se compone de empresas distribuidoras que transportan la energía eléctrica para cubrir el incremento de usuarios finales de las diferentes cargas residenciales en grandes distancias y establecer una jerarquía mediante las diversas topologías en distribución[5].

Las condiciones operativas del sistema de distribución pueden afectar directamente al usuario y a la confiabilidad de su fuente de alimentación. En contexto, aunque los cambios permitan reducir pérdidas de energía siempre existirá pérdidas en el sistema en menor rango[4],[6].

2.1.1 Red de distribución

El sistema de distribución se considera como la parte de la red en la que el suministro eléctrico tiene que ser operado por las empresas reguladoras y distribuidoras de electricidad. Presenta una topología en general en bajo y medio voltaje [7].

Red de distribución de bajo voltaje

Se presentan de manera área y soterrada dependiendo de las zonas rurales y urbanas donde su topología puede considerarse radial, ya que solo depende de las rutas posibles en las líneas y la distancia entre las cargas y las potencias [7], [8].

Red de distribución de medio voltaje

En media tensión se convierte en una manera factible tener una topología mallada o de lazo, debido a que se tienen distancias mucho más largas y se considera caídas de voltaje menores con relación a la radial teniendo como resultado pérdidas menores en el sistema [3], [9].

2.1.2 Topología radial en sistemas de distribución

En redes de distribución se tiene diferentes tipos de conexiones con ciertas ventajas y desventajas dependiendo la geografía y topología de su ubicación.

Una de las principales topologías es la radial, que se caracteriza por tener su alimentación en uno de los extremos con la finalidad de transmitir la energía eléctrica de forma radial hacia el emisor y sus receptores [9].

Su configuración de líneas de distribución puede extenderse desde la subestación hacia el usuario final tomando un comportamiento de rayos de una rueda de bicicleta, como menciona su nombre teniendo un cableado en todas partes [9].

La ventaja primordial de la topología radial es el ahorro económico en su sistema ya que son redes simples y su desventaja se considera un problema al dejar fuera de servicio a varios usuarios mientras ocurra una falla en la red [9].

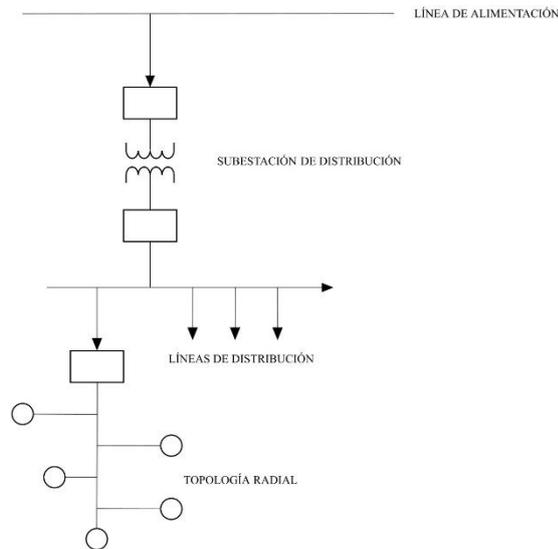


Figura 1. Diagrama unifilar de la topología radial de un sistema de distribución considerando elementos de la red.

2.1.3 Componentes funcionales en un sistema de distribución

Dentro del sistema de distribución al llevar la energía eléctrica, tenemos diversos elementos que cumplen una función determinada, con la intención de obtener la mínima cantidad de pérdidas en la red presentes en la Figura 2, [8], [9].

Mediante el análisis en una red de distribución se puede conocer el balance de la tasa de crecimiento en las cargas, las

fallas por corrientes de cortocircuito y el diseño de las protecciones que intervienen en el sistema cumpliendo una función específica para tener una selectividad en distribución [9].

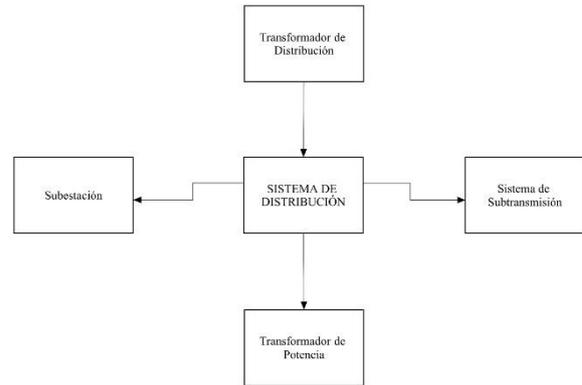


Figura 2. Diagrama de organización de factores que intervienen dentro de un SEP para una red de distribución.

2.2 Pérdidas de energía eléctrica en distribución

Las pérdidas de energía pueden considerarse como una fuente de carga mayor con relación a la que se tiene en realidad, es decir, que en el sistema de distribución el equipo o elemento (subestación, generadores, líneas), si tiene una sobrecarga ocasionará pérdidas de manera excesiva y una reducción de su vida útil [10], [11].

Una red de distribución abarca una serie de errores desde su planificación hasta su mantenimiento, a través del transporte de los diversos elementos como líneas, transformadores y generadores presentes en el sistema, ocasionando tarifas eléctricas con un impacto mayor con relación a la economía de cada empresa [10], [12].

La demanda de carga a futuro en los sistemas de distribución es un dilema que a lo largo de los años se ha podido mejorar mediante la implementación de energías renovables, la cual se la puede analizar y calcular como menciona el autor [13], en años próximos mediante la expresión siguiente (1).

$$C_m = C_n \times (1 + t_r)^a \quad (1)$$

Donde:

C_m	Carga en el año m, a calcular
C_n	Carga en el año actual
t_r	Tasa de crecimiento en la red en valores de por unidad.
a	Número de años

2.2.1 Pérdidas técnicas del sistema de distribución

Pueden considerarse como el resultado físico ocasionado por la energía de los componentes del sistema (subestaciones, redes de media tensión, redes secundarias de voltaje, transformadores de distribución, alumbrado público, acometidas y medidores residenciales), que dependen de las diversas características y topologías que existen en distribución [14].

2.2.2 Pérdidas no técnicas del sistema de distribución

Se producen por consecuencias de tipo comerciales y administrativas, como los diversos errores en la facturación y en la medición en los equipos de mal estado. Una de las causas importantes a tomar en cuenta es el fraude ocasionado por los usuarios en conexiones ilegales para funcionamiento [15].

2.3 Métodos de solución para minimizar pérdidas de energía eléctrica en redes de distribución

Un sistema de almacenamiento de baterías es un buen acople en la generación distribuida ya que se considera una técnica para minimizar pérdidas a través de la entrega de energía eléctrica en condiciones críticas que presente la red [16].

Dependiendo de las características y disponibilidad del servicio en cada uno de los sistemas de distribución, se puede escoger un procedimiento de solución que se adapte de una forma correcta a cada uno [17].

Uno de los métodos más utilizados para implementar procedimientos de solución es

mediante flujos de potencia considerando que Newton Raphson es el más utilizado en distribución para resolución de sistemas largos [16], [18].

En el sistema eléctrico mediante un balance de energía se puede realizar el análisis de las variables de las magnitudes transferidas (voltaje, corriente, potencia, entre otros), en un determinado periodo de tiempo, como menciona en [16], teniendo la expresión siguiente (2):

$$PE = Es - Ef \quad (2)$$

Donde:

PE : Pérdidas de energía eléctrica

Es : Energía suministrada

Ef : Energía facturada

2.3.1 Método SEM

Es un método considerado heurístico que solo considera la reducción de pérdidas de potencia, donde se pueden minimizar en el sistema de distribución mediante la reconfiguración de alimentadores aéreos, radiales, trifásicos y balanceados [16].

El método de cambio de los interruptores de enlace o seccionamiento (SEM), ayuda a reducir el cálculo en los diversos flujos de potencia para un distinto caso a desarrollarse, donde su fórmula (3) puede estimar el cálculo de la diferencia de pérdidas resultantes por transferencia de carga de un alimentador hacia otro [16], [17], [19].

$$\Delta P = Re \left\{ 2 \left(\sum_{i \in D} I_c \right) (\Delta V_m - \Delta V_n)^* \right\} + R_{loop} \left| \sum_{i \in D} I_c \right|^2 \quad (3)$$

Donde:

ΔP : Reducción de pérdidas en kW.

$Re\{.\}$: Parte real.

$*, |.\|$: Complejo conjugado, magnitud.

i : Nodo i .

D : Conjunto de Barras.

- m : Barra de enlace para que las cargas se conecten.
- n : Barra de enlace para ser conectado a la barra m .
- I_c : Corriente compleja del nodo i .
- R_{loop} : Resistencia que conecta las 2 barras de la subestación.
- ΔV_m : Caída de voltaje hasta la barra m del alimentador receptor.
- ΔV_n : Caída de voltaje hasta la barra n del alimentador de envío.

2.3.2 Método de compensación

El desequilibrio en la estructura de red en distribución es un problema para los voltajes en subestaciones y en los reguladores de paso (SVR) instalados en las líneas. Uno de los principales métodos es la compensación para conocer cuál es la técnica más eficiente que ayude a la seguridad y calidad del servicio [20].

Se puede proponer la utilización de una compensación simultánea entre potencia reactiva y activa mediante la implementación de generación distribuida y un banco de capacitores [20], [21].

El principal objetivo es conocer la dimensión y el lugar adecuado para superar los inconvenientes sobre el rendimiento del sistema y colocar una compensación ya sea reactiva, activa o ambas [21].

Los compensadores SVC es uno de los equipos más eficientes en minimizar pérdidas en la red, controlando el nivel de tensión y mejorando su factor de potencia teniendo un resultado eficiente en su transporte y dimensionamiento de la instalación, pero el elevado costo es un obstáculo que puede tener al implementar este método [20], [21].

2.3.3 Método de la gradiente

Es un método propuesto por Carpentier en el que se minimizan las pérdidas de potencia activa por medio de un punto de operación localizado en el sistema que permita el despacho de varios generadores [22].

Es utilizado para establecer la simplificación de variables de estado dentro de un flujo óptimo de potencia, que junto a los sistemas de flujos de potencia poder tener una base nodal y permanente en las variables de control [23].

Con el método se puede disminuir el cálculo de la matriz jacobiana que se obtiene por medio de la técnica de Newton y se tendrá un mínimo de 10 a 20 resultados en dicha matriz [24].

Se puede incrementar el tiempo de cálculo si en el algoritmo se consideran los factores de penalización y las restricciones que pueden ser de igualdad o desigualdad, provocando una correlación en las matrices a calcular, es decir que puede modificar la dirección de la gradiente ocasionando convergencias lentas [23], [24].

2.4 Sistema de almacenamiento de baterías

El crecimiento de la demanda es un problema que ocasiona una disfuncionalidad en el flujo de la energía eléctrica por medio de los tramos de distribución, en donde un sistema de baterías (BESS), puede ayudar mediante el acoplamiento de energías renovables a tener una buena calidad y confiabilidad del sistema [25].

Almacenar energía en baterías tiene varias ventajas sobre otras tecnologías, una de las más importantes es minimizar daños en la distribución mediante el eficiente funcionamiento del sistema de gestión de baterías (BMS), que se encarga de gestionar el proceso de carga y descarga y mantener la estabilidad en su corriente, voltaje y temperatura por medio de su software interno, garantizando un rendimiento fiable y duradero [26].

La principal función de un BESS es controlar, obtener, almacenar y entregar energía eléctrica adicional a una red de distribución, para mejorar su perfil de voltaje y poder reducir las pérdidas en una demanda creciente [27].

2.4.1 Tipos de baterías

Las baterías están compuestas por cabinas de elementos como fosfato, hierro y litio, cada una de las cuales presenta ventajas dependiendo de cada caso de estudio considerando su costo y eficiencia [28].

Baterías compuestas por Ion y Litio

Las baterías de Ion y Litio son fabricadas para ser utilizadas en artículos de consumo electrónico y en vehículos eléctricos, sin embargo, su costo es elevado debido a la estructura interna que presenta, especialmente en el empaquetamiento y en el circuito interno de protección contra sobrecargas, teniendo un rendimiento del 94% con una carga mínima del 10% siendo las más utilizadas en sistemas solares y eólicos [29].

Baterías compuestas por Plomo y Ácido

Las baterías de plomo y ácido tienen el objetivo de ser aplicadas en energías renovables, aunque su descarga de energía no es fija y tiene un mantenimiento complejo, se consideran eficientes presentando un rendimiento del 90% con una carga mínima del 20% [29].

Baterías compuestas por Sodio y Sulfuro

Las baterías de sodio y sulfuro son una buena opción en el futuro para ser consideradas como las más eficientes en el mercado, ya que actualmente presentan un rendimiento del 80% con una carga mínima del 10% y están siendo utilizadas en un parque eólico de Japón de 12MWh con una aportación de 2MW en 6 horas [28].

2.4.2 Elementos de un sistema de baterías

Los componentes dentro de un sistema de baterías (BESS), son indispensables para una buena entrega y respaldo de energía con el objetivo de tener una buena confiabilidad y seguridad del sistema [30].

Sistema de Gestión de baterías

Denominado BMS, es el encargado del funcionamiento seguro de la batería y de mantener en los límites o rangos establecidos los niveles de voltaje, corriente y temperatura con la finalidad de obtener el estado de carga y vida útil de la batería garantizando un buen rendimiento [27], [30].

Convertidor de energía de baterías

También llamado PCS, un convertidor de energía para un BESS, es el encargado de cambiar la corriente alterna en corriente continua y viceversa, es decir su proceso consiste en convertir la corriente alterna (CA) que viaja desde la fuente de alimentación en corriente continua (CC) durante la carga de la batería [30].

Sistema de gestión de energía

Es comúnmente denominado EMS y es la unidad de control que gestiona la energía disponible dentro del BESS, cuya función principal es entregar o liberar las cantidades de energía requeridas para tener una buena optimización global de la batería [30].

Sistema de seguridad de la batería

Es importante tener una seguridad y protección dentro de un BESS, ya sea para sus condiciones de ambiente o contra incendios, es necesario tener un sistema HVAC, el cual permite tener el control de la calefacción y ventilación de la batería y mantener al sistema con la temperatura y humedad deseada [30].

Un sistema de baterías puede tener un esquema simplificado como se puede contemplar de forma sintetizada en la Figura 2, donde se consideran los elementos más representativos dentro de una batería [30].

De acuerdo a la Figura 2, se puede identificar los elementos indispensables dentro de un BESS con la finalidad de conocer las entradas y salidas para la entrega de energía eléctrica [30].

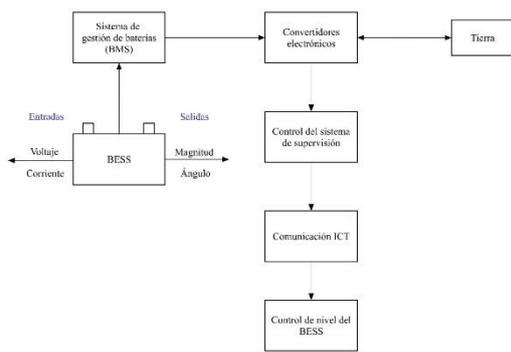


Figura 3. Configuración interna y elementos que intervienen en el funcionamiento de un sistema de almacenamiento de baterías.

2.5 Calidad de energía eléctrica

Uno de los objetivos principales para tener una buena calidad en el transporte de energía es dar continuidad a los equipos y elementos eléctricos sin que se pueda afectar su desempeño y no se produzca alguna falla de cortocircuito [31].

Existe un factor que puede afectar la calidad de la energía eléctrica, que son las perturbaciones que se encargan de alterar la forma de onda cuando no se cumple con los límites de operación que se rigen mediante el estándar IEEE 1159 [31], [32].

Las pérdidas que se encuentran dentro de la calidad de energía pueden argumentarse como la descomposición de las señales de voltaje y corriente en su onda sinusoidal, donde la frecuencia y las interrupciones afectan al sistema teniendo una parada de los procesos que originan los perjuicios [33], [34].

2.5.1 Estándar IEEE 1159-2019

El aprendizaje de calidad de energía se interpreta como el argumento más eficiente al momento de identificar y solucionar problemas ya sea en los sistemas de potencia como también en los equipos eléctricos con la finalidad de conocer cuáles son los factores que alteran la confiabilidad, la productividad y la rentabilidad del sistema [34].

Se describen mediante el estándar IEEE 1159 las condiciones nominales y desviaciones que pueden ocurrir dentro de la fuente de suministro o equipo de carga para obtener una buena aplicación de técnicas asociadas a la interpretación de resultados del monitoreo [35].

La normativa IEEE 1159 se compone de 7 categorías que definen las perturbaciones en las redes eléctricas y argumentan el análisis para conocer las afectaciones de calidad de la energía en una estructura de distribución [34].

El propósito del estándar es asistir a los usuarios, fabricantes y vendedores mediante la implementación de métodos que puedan fijar, calibrar, cuantificar y analizar fenómenos electromagnéticos en el sistema de potencia [34], [35].

Su objetivo principal es demostrar que la calidad de energía dentro de los diferentes aparatos electrónicos y eléctricos con las características adecuadas puedan mostrar una eficiente continuidad sin alterar el desempeño y evitar alguna falla que puede ser ocasionada por una frecuencia de interrupción provocando la mala operación del sistema teniendo disminución de costos y producción [35].

Transitorios en la red eléctrica

Pueden ser considerados como impulsionales por la presencia de situaciones críticas como la caída de rayos y oscilante por el despeje de una falla de cortocircuito en milisegundos [35].

Variaciones RMS de corta duración

Se consideran perturbaciones de corta duración debido a la intervención de los componentes sag que se da por una subtensión momentánea que no supera un minuto y swell que es una sobretensión que no dura más de un minuto [35].

Variaciones RMS de larga duración

Las variaciones de larga duración se dan cuando el sag supera un minuto teniendo un

sub voltaje mantenido y cuando el swell supera el primer minuto es considerado como un sobre voltaje mantenido [34], [35].

Distorsión en la forma de onda de una perturbación

Se muestra una distorsión alterando el diseño de onda por la presencia de armónicos en la red, sin embargo puede ocasionar un cambio en el eje del DC offset por la presencia de un puente de condensadores [35].

Fluctuaciones de voltaje

Es un fenómeno susceptible que son causadas por fallas parciales o totales donde puede considerarse en los sistemas de potencia el flicker que puede provocar pérdidas por costos de mantenimiento y reparación [34], [35].

Ventajas de un BESS dentro de la calidad de energía

Un sistema de baterías es el tipo de almacenamiento energético que permite entregar y aportar a la red potencia que será empleada de forma gestionable. Ayuda a contrarrestar las pérdidas en la red y mejorar el perfil de voltaje para establecer un sistema eficiente con estudios que son analizados en cada red de distribución para tener resultados favorables en la entrega del suministro eléctrico [35].

Un aporte de gran importancia de un sistema de baterías (BESS), es el control de potencia y frecuencia realizando una adecuación en la potencia activa para conservar los parámetros de frecuencia dentro de los límites establecidos por la red [35].

En el proceso del control del voltaje, los generadores controlan las variaciones con la aportación de su potencia reactiva que se asocia a los campos magnéticos [35].

Con la implementación de sistemas de baterías se procura aumentar la integración de energías renovables donde se pueden acumular los sobrantes que no son inyectados en la red, con la finalidad de no

tener maquinaria sin operar y obtener una disponibilidad y confiabilidad segura en su energía entregada [34].

Un BESS puede mejorar las perturbaciones en la red eléctrica con la mejoría en su potencia activa, que mediante su resistencia interna en donde se mantiene uniforme hasta el final de su vida útil ayuda en la capacidad de la batería y así evitar que variaciones de voltaje puedan estar fuera de los límites operaciones descritos por el estándar IEEE 1159 [34].

3 Formulación del problema

El sistema de distribución en relación al sistema de transmisión presenta una relación en la ramificación y magnitud de sus impedancias denominadas X_s y R_s , en donde se presentan la mayor cantidad de pérdidas debido al crecimiento anual de la demanda afectando de forma directa el perfil de voltaje y la potencia activa de la red.

La topología radial es una característica principal en las estructuras de distribución donde se puede incluir varios procedimientos de resolución de flujos de potencia debido a que en la transmisión de energía eléctrica a grandes distancias pueden existir pérdidas en la cargabilidad y en la economía del sistema.

En un caso real al momento de existir un exceso de cargabilidad en la línea de distribución se puede obtener un flujo mayor de corriente ocasionado por el efecto Joule, provocando pérdidas disipadas en forma de calor y una afectación directa en los materiales aislantes presentes en la red teniendo como resultado caídas de voltaje.

Con lo referido anteriormente, se procura tener una solución óptima para un sistema de distribución con mayor confiabilidad y estabilidad en la red, las alternativas suponen utilizar varios métodos y algoritmos que proporcionen una correcta optimización en la red eléctrica, lo que implica una gran inversión realizar una reconfiguración en la topología radial.

Como recurso se puede optar por la implementación de generación distribuida basada en energía fotovoltaica, donde su problema general radica en la ubicación geográfica y la intermitencia por la presencia de nubosidad, evitando que se pueda obtener de manera eficiente el suministro de energía primaria necesaria para cubrir la demanda.

Como solución se propone, la colocación de un sistema de almacenamiento de baterías en el sistema de distribución, incorporando flujos de potencia basado en la metodología reiterativa del tipo barrido adelante-atrás, para determinar la ubicación óptima de un BESS mediante la programación y aporte del algoritmo genético.

Como resultado de la correcta optimización mediante el algoritmo y metodología propuesta se pretende mejorar el perfil de voltaje y disminuir las pérdidas en la topología radial de distribución con la ubicación óptima de un sistema de baterías que permite al sistema actuar de manera rápida y que, a diferencia de la generación distribuida, un BESS puede contrarrestar el cambio climático reduciendo emisiones de carbono.

3.1 Algoritmo genético en relación con sistemas de distribución

El algoritmo genético se encarga de la configuración binaria que proviene de la inteligencia artificial que tiene como intención principal procesar y resolver problemas de optimización utilizando las soluciones más eficientes para un sistema de ejecución.

Se considera una evolución con respecto a los algoritmos tradicionales, ya que puede superar obstáculos de búsqueda y optimización en representaciones con una gran cantidad de parámetros y matemáticas complejas.

En sistemas de distribución los algoritmos genéticos pueden ser utilizados para ubicar generación distribuida y

sistemas de baterías (BESS), con la finalidad de mejorar la calidad de la red y tener una disminución en las caídas de voltaje.

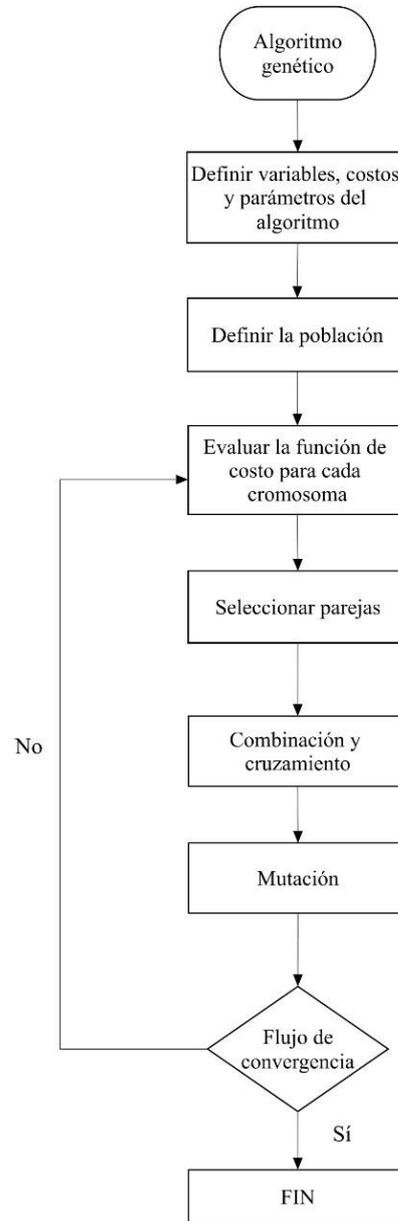


Figura 4. Diagrama de flujo del algoritmo genético

3.2 Flujos de potencia del tipo barrido adelante-atrás

El método iterativo tiene como objetivo principal guiar dentro del flujo de carga el barrido adelante-atrás de corrientes y voltajes, que puedan cumplir con un ordenamiento específico de acuerdo a la topología que presente el sistema. Se

obtiene como resultado la correcta determinación de flujos de potencia aplicados a cada nodo mediante la aplicación de las leyes de corriente y voltaje de Kirchhoff.

Primera ley de Kirchhoff aplicado al barrido de corrientes

La etapa del barrido de corrientes recorre la topología del sistema desde el vector de los nodos terminales hasta el nodo de la fuente, es decir el proceso mencionado toma el nombre de barrido hacia atrás. En la ecuación (4) se presenta el flujo de corriente que estará presente en el ordenamiento nodal:

$$(I_{j kf})_{ABC} = (I_j)_{ABC} + \sum (I_{jL})_{ABC} \quad (4)$$

Donde:

- I_j : Corriente en el nodo j.
- $I_{j kf}$: Corriente de rama por líneas j-kf.
- I_{jL} : Flujo de corriente en líneas j-L
- L: Nodos con alta numeración que conectan a j.
- k: Nodos con menor numeración que conecten a j.

Segunda ley de Kirchhoff aplicado al barrido de voltajes

La etapa del barrido de voltajes aplicado a la LVK recorre la topología del sistema desde el vector de la fuente hasta los nodos terminales, es decir el proceso mencionado toma el nombre de barrido hacia adelante. El resultado es conocer el valor de los voltajes en nodos inferiores mediante el barrido de corriente.

En la ecuación (5) se presenta el flujo de voltaje que estará presente en el ordenamiento nodal:

$$V_{jk} = Z_{ij} \times I_{ij} + V_{ik} \quad (5)$$

Donde:

- V_{jk} : Voltaje admitido del nodo.
- V_{ik} : Voltaje remitido del nodo.
- Z_{ij} : Impedancia entre líneas i-j.
- I_{ij} : Flujo de corriente por líneas i-j.

Convergencia del método del barrido iterativo

La convergencia del método ocurre al tener el resultado de cada iteración, donde se procede a calcular la diferencia de las pérdidas de potencia activa con relación a la iteración anterior, como se muestra en la ecuación (6), teniendo dos iteraciones consecutivas como se plantea en la ecuación (7), con la finalidad de obtener un resultado de iteraciones que este dentro del rango de tolerancia aceptable para el sistema.

$$|Pt_{(n)} - Pt_{(n-1)}| < T(\%) \quad (6)$$

$$Pt = \sum_{i=1}^n I^2 \times Z \quad (7)$$

Donde:

- Pt : Pérdidas totales en el sistema.
- I : Corriente.
- Z : Impedancia.
- T : Tolerancia del sistema.
- n : Número de iteraciones presentes en el sistema.

Indicadores para establecer un análisis en la calidad de energía

Los indicadores de calidad de energía muestran un análisis comparativo del comportamiento del sistema, donde mediante la ayuda de un sistema de baterías se pueda establecer límites y mejoras que ayuden a la confiabilidad de la red.

Los parámetros importantes en la investigación es el análisis de las perturbaciones de larga duración que se originan por la mala regulación de los transformadores, los equipos que se conectan para la regulación, la conexión y desconexión de un equipo eléctrico, la existencia de una falla en el banco de capacitores y el arranque de motores.

Las variaciones de larga duración según la normativa IEEE 1159 presentan un tiempo en rango mayor a un minuto, teniendo una clasificación en interrupciones sostenidas en un rango de 0[p.u.], bajo voltaje [0.8 a 0.9 p.u.] y sobre voltaje de [1.1 a 1.2 p.u.]. El ingreso de un banco de baterías a la red estabiliza los sistemas y compensa la falta de potencia activa de una generación distribuida, ayudando a una selección de inversores que permitan al medidor colocado en el sistema de baterías realizar un análisis del comportamiento de la red. Mediante la curva Cbema un sistema de almacenamiento de baterías ayuda a compensar el perfil de voltaje agregando potencia necesaria con la finalidad de estudiar el análisis de susceptibilidad de la curva. Para la instalación de un BESS se debe tomar en cuenta la vulnerabilidad para evitar fallos en los sistemas eléctricos y en el caso de existir alguna perturbación poder corregir de manera inmediata.

3.3 Modelamiento matemático

La determinación de una óptima ubicación de sistemas de almacenamiento de baterías dentro de una topología radial en una red de distribución, se realiza mediante el análisis de flujo de potencia utilizando la metodología de barrido iterativo adelante-atrás con la ayuda de la implementación del algoritmo genético.

La resolución del algoritmo consiste en la numeración sistemática de todas las posibles soluciones que pueda tener el sistema para analizar las diversas agrupaciones y combinaciones al ingresar uno o varios BESS.

Con las posibles soluciones se puede clasificar el número de barras elegidas por el flujo para ubicar de manera correcta el sistema de baterías, teniendo como finalidad minimizar la tendencia exponencial para establecer la correcta solución en las agrupaciones y establecer una reducción en las pérdidas del sistema

mejorando su perfil de voltaje y la calidad de energía eléctrica.

3.3.1 Función Objetivo

El estudio de la función objetivo se concentra fundamentalmente en las pérdidas que existen dentro del sistema de distribución, mediante la optimización y aplicación del modelo iterativo de barrido del tipo adelante-atrás se puede establecer una mejora al sistema al incluir sistemas de baterías que ayudan a mejorar las caídas de voltaje y disminuir las pérdidas como se plantea en la ecuación (7).

Como restricciones que se pueden incluir dentro de la función objetivo es mantener los estándares de voltaje dentro los límites operacionales del sistema detallando rangos mínimos de 0,95 [p.u.] y máximos de 1,1 [p.u.]. El algoritmo y el método iterativo analiza las barras con los valores más pequeños con el fin de ejecutar un análisis matemático coordinando de manera ordenada todas las agrupaciones y combinaciones para ingresar sistemas de almacenamiento de baterías ayudando a la mejora de todo el sistema.

3.4 Caso de estudio

Para la implementación de sistemas de baterías y ejecución del método iterativo con ayuda del algoritmo genético se plantea dos escenarios de prueba de la IEEE. El primer caso toma como sistema de prueba un modelo de 69 barras que presenta una topología radial en el sistema de distribución.

Presenta un voltaje base de 12,6 kV y una potencia base del sistema de 10 MVA, donde para implementar un BESS se inicializa con una potencia reactiva establecida por el modelo de prueba de matpower y su potencia activa como se muestra en la Tabla 1, con la finalidad de aportar la energía sustentable al sistema.

Para el segundo caso de estudio se realiza el estudio en una estructura de distribución con topología radial de 136

barras, donde el voltaje base es de 13,8 kV y la potencia base del sistema de 10 MVA. Para implementar un BESS se inicializa con una potencia reactiva mediante el modelo de prueba y su potencia activa como se muestra en la Tabla 2, con la finalidad de suministrar energía de reserva para la red.

Para el análisis en cada caso de estudio se considera inicialmente el sistema de prueba en condiciones normales para conocer y estimar las pérdidas y el perfil de voltaje en cada una de las barras, para posterior analizar los mismos aspectos en los escenarios de 136 y 69 barras incorporando 4 sistemas de baterías (BESS) en cada análisis de flujo.

4 Análisis de resultados

La metodología implementada en este artículo con referencia al método del barrido adelante-atrás y con el aporte fundamental de algoritmo genético para el análisis e integración de sistemas de baterías, fue simulada mediante el software de Matlab con la utilización de la librería Matpower, comprobando la eficiencia del algoritmo, el cual en base a las restricciones busca minimizar las pérdidas y mejorar los perfiles de voltaje dentro de una red de distribución. En el modelo del algoritmo se interviene la utilización del comando PQSUM, debido a que se considera una topología radial y poder tener resultados favorables en el sistema.

4.1 Sistema de 69 barras

Para el caso de estudio de 69 barras se toma en consideración los valores referenciados en la tabla 1, donde muestra los datos de sus condiciones iniciales en potencia. Para el cálculo correspondiente mediante el algoritmo genético con el método del barrido adelante-atrás se puede obtener un flujo de potencia en el que se pueda considerar las posibles soluciones de la ubicación de los sistemas de baterías.

En la figura 5 se detallan los perfiles de voltaje iniciales pertenecientes a cada barra donde se observan varias barras que están por debajo del límite de 0,95 [p.u.]. El límite se determina de acuerdo a las variaciones de larga duración para establecer una mejora en la perturbación que afecta la calidad de energía.

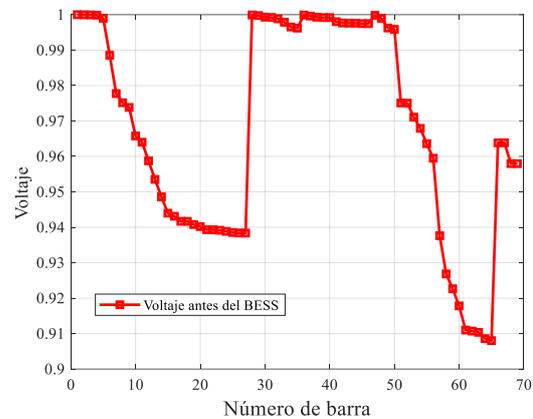


Figura 5. Perfiles de voltaje sistema de 69 barras IEEE sin BESS.

4.2.1 Ubicación de sistemas de almacenamiento de baterías

Considerando como referencia las condiciones iniciales del sistema, se procede con el ingreso de 4 BESS en la red de 69 barras para mejorar con la confiabilidad en la topología del sistema teniendo los valores detallados en la tabla 3.

Tabla 3. Valores de BESS para sistema de 69 barras de la IEEE

Numero de BESS	Potencia [kW]
BESS 1	211
BESS 2	196
BESS 3	221
BESS 4	166

La potencia activa de cada sistema de baterías detallado en la tabla 3, es un valor que detalla la reserva para ser implementado en la barra según la utilización del algoritmo de búsqueda.

A partir de los valores mostrados, el algoritmo genético considera las posibles

soluciones de ubicación de un sistema de baterías tomando como referencia las restricciones de los perfiles de voltaje mencionados anteriormente.

La metodología del barrido adelante-atrás permite obtener flujos de potencia para realizar una comparación y búsqueda de soluciones más eficientes para ubicar un BESS y poder mejorar los perfiles de voltaje del sistema, que mediante la tabla 4 se detalla las barras de una óptima ubicación.

Tabla 4. Ubicación óptima de 4 sistemas de baterías para sistema de 69 barras de la IEEE

Ubicación	Numero de BESS
Barra 65	BESS 1
Barra 64	BESS 2
Barra 23	BESS 3
Barra 61	BESS 4

4.2.2 Mejora de perfiles de voltaje en sistema de 69 barras

La ubicación óptima de sistemas de almacenamiento de baterías proporciona una mejora en los perfiles de voltaje del sistema de 69 barras que presenta una topología radial en distribución como demuestra la figura 6, en comparación con las condiciones iniciales que se detalló en la figura 5, teniendo una correcta mejoría en las barras que presentan valores mínimos según las restricciones de voltaje.

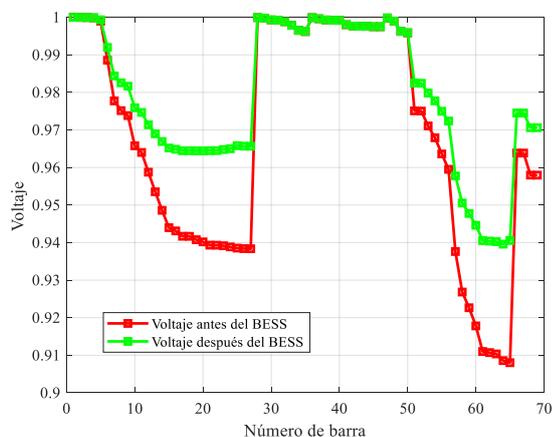


Figura 6. Perfiles de voltaje sistema de 69 barras IEEE con 4 BESS.

Mediante la implementación del banco de baterías, el análisis en la perturbación de larga duración que afecta la red de distribución se compensa mediante el incremento en el perfil de voltaje ayudando la calidad de energía ingresando la potencia activa necesaria al sistema.

Tabla 5. Mejora de perfiles de voltaje para sistema de 69 barras de la IEEE

Barra	Voltaje inicial [p.u.]	Voltaje con BESS [p.u.]
14	0.9486	0.9631
15	0.9439	0.9603
16	0.9431	0.9598
17	0.9416	0.9590
18	0.9417	0.9590
19	0.9407	0.9586
20	0.9401	0.9584
21	0.9393	0.9581
22	0.9393	0.9581
23	0.9391	0.9582
24	0.9388	0.9579
25	0.9385	0.9576
26	0.9383	0.9575
27	0.9383	0.9575
57	0.9376	0.9609
58	0.9268	0.9547
59	0.9226	0.9522
60	0.9178	0.9495
61	0.9109	0.9461
62	0.9107	0.9461
63	0.9103	0.9462
64	0.9085	0.9465
65	0.9080	0.9477

En la tabla 5 se puede verificar como la correcta ubicación de un sistema de baterías con la ayuda del algoritmo genético y la metodología del tipo barrido adelante-atrás, ayuda a mejorar los perfiles en las barras que están por debajo del límite de las restricciones de voltaje que considera el sistema de distribución de 136 barras de la IEEE.

4.2.3 Comparación de pérdidas al ingresar unidades de BESS

La correcta ubicación de 4 sistemas de almacenamiento de baterías en el sistema presenta una mejoría en los perfiles de voltaje, en el mismo sentido se tiene una

minimización de pérdidas en la red como se puede verificar en la figura 7 detallando los valores en la tabla 6.

Tabla 6. Minimización de pérdidas en la red para sistema de 69 barras de la IEEE

Pérdidas iniciales [p.u.]	Pérdidas finales [p.u.]
0.2678	0.1239

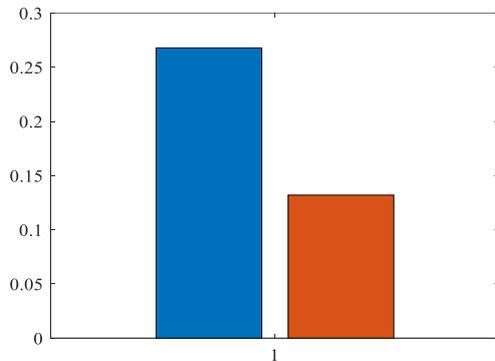


Figura 7. Comparación de pérdidas activas en sistema de 69 barras IEEE con 4 BESS.

Las pérdidas en el sistema de distribución tienen un decremento en su valor gracias a la óptima ubicación de sistemas de baterías que aportan con la potencia necesaria para cubrir la demanda que afecta cada año la red.

4.2 Sistema de 136 barras

Para el caso de estudio de 136 barras se toma en consideración los valores referenciados en la tabla 2, donde muestra los datos de sus condiciones iniciales en potencia. Para el cálculo correspondiente mediante el algoritmo genético con el método del barrido adelante-atrás se puede obtener un flujo de potencia en el que se pueda considerar las posibles soluciones de la ubicación de los sistemas de baterías.

En la Figura 8 se detallan los perfiles de voltaje iniciales pertenecientes a cada barra donde se observan varias barras que están por debajo del límite de 0,95 [p.u.].

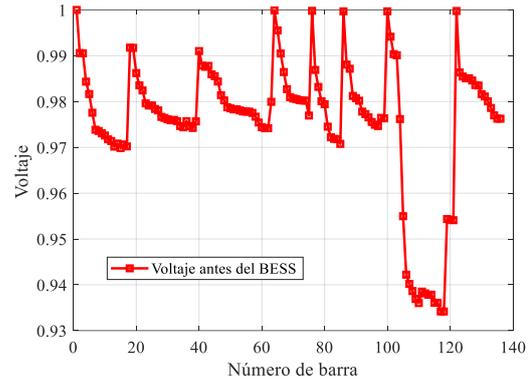


Figura 8. Perfiles de voltaje sistema de 136 barras IEEE sin BESS.

4.1.1 Ubicación de sistemas de almacenamiento de baterías

Considerando como referencia las condiciones iniciales del sistema, se procede con el ingreso de 4 BESS en la red de 136 barras para mejorar con la confiabilidad en la topología de la red teniendo los valores detallados en la tabla 4.

Tabla 7. Valores de BESS para sistema de 136 barras de la IEEE

Numero de BESS	Potencia [kW]
BESS 1	188
BESS 2	215
BESS 3	210
BESS 4	192

La potencia activa de cada sistema de baterías detallado en la tabla 4 es un valor que detalla la reserva para ser implementado en la barra según la utilización del algoritmo de búsqueda.

A partir de los valores mostrados, el algoritmo genético considera las posibles soluciones de ubicación de un sistema de baterías tomando como referencia las restricciones de los perfiles de voltaje mencionados anteriormente.

La metodología del barrido adelante-atrás permite obtener flujos de potencia para realizar una comparación y búsqueda de soluciones más eficientes para ubicar un BESS y poder mejorar los perfiles de voltaje del sistema, que mediante la tabla 6

se detalla las barras de una óptima ubicación.

La tabla 8 presenta la ubicación óptima de los sistemas de baterías que mediante la programación dinámica del flujo muestra los diversos resultados que pueden ser implementados en las barras para mejorar con la confiabilidad del sistema de distribución.

Tabla 8. Ubicación óptima de 4 sistemas de baterías para sistema de 136 barras de la IEEE

Ubicación	Numero de BESS
Barra 106	BESS 1
Barra 110	BESS 2
Barra 34	BESS 3
Barra 109	BESS 4

4.1.2 Mejora de perfiles de voltaje en sistema de 136 barras

La ubicación óptima de sistemas de almacenamiento de baterías proporciona una mejora en los perfiles de voltaje del sistema de 136 barras que presenta una topología radial en distribución como demuestra la figura 8 en comparación con las condiciones iniciales que se detalló en la figura 9, teniendo una correcta mejoría en las barras que presentan valores mínimos según las restricciones de voltaje.

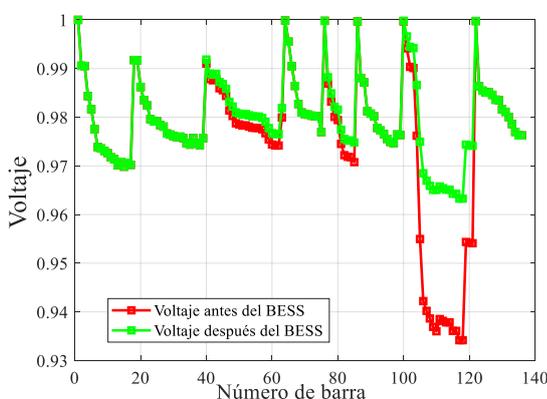


Figura 9. Perfiles de voltaje sistema de 136 barras IEEE con 4 BESS.

La implementación del banco de baterías, permite realizar un análisis en la perturbación de larga duración que afecta la

red de distribución, donde se compensa el perfil de voltaje en las distintas barras que están por debajo del nivel de operación ayudando la calidad de energía ingresando la potencia activa necesaria al sistema.

Las afectaciones que producen un desequilibrio de voltaje pueden ser ocasionadas por cortocircuitos y mala operación de los aparatos eléctricos debido a que en el sistema de distribución no existen las suficientes protecciones.

Tabla 9. Mejora de perfiles de voltaje para sistema de 136 barras de la IEEE

Barra	Voltaje inicial [p.u.]	Voltaje con BESS [p.u.]
106	0.9422	0.9720
107	0.9402	0.9708
108	0.9387	0.9700
109	0.9369	0.9698
110	0.9360	0.9697
111	0.9385	0.9699
112	0.9381	0.9695
113	0.9378	0.9692
114	0.9378	0.9692
115	0.9360	0.9692
116	0.9360	0.9690
117	0.9341	0.9679
118	0.9341	0.9679

En la tabla 7 se puede verificar como la correcta ubicación de un sistema de baterías con la ayuda del algoritmo genético y la metodología del tipo barrido adelante-atrás, ayuda a mejorar los perfiles en las barras que están por debajo del límite de las restricciones de voltaje que considera el sistema de distribución de 136 barras de la IEEE.

4.1.3 Comparación de pérdidas al ingresar unidades de BESS

La correcta ubicación de 4 sistemas de almacenamiento de baterías en el sistema presenta una mejoría en los perfiles de voltaje, en el mismo sentido se tiene una minimización de pérdidas en la red como se puede verificar en la figura 10 detallando los valores en la tabla 8.

Tabla 10. Minimización de pérdidas en la red para sistema de 136 barras de la IEEE

Pérdidas iniciales [p.u.]	Pérdidas finales [p.u.]
0.3406	0.2782

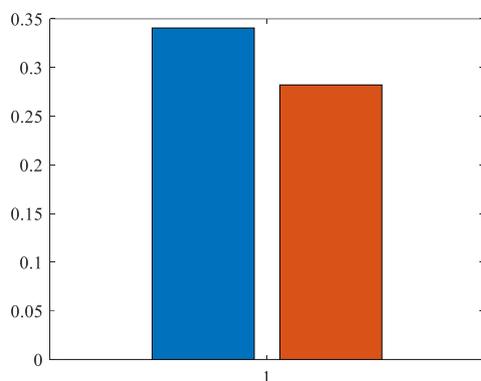


Figura 10. Comparación de pérdidas activas en sistema de 136 barras IEEE con 4 BESS.

De acuerdo a los datos y ejecución del algoritmo genético junto al método iterativo del tipo barrido adelante-atrás se puede realizar un análisis sobre los datos de Ecuador en el paso de los años donde se ha mejorado la implementación de energías renovables y limpias en el sistema de distribución, teniendo en la actualidad la disminución de pérdidas en comparación con años anteriores [15].

Tabla 11. Análisis comparativo de las pérdidas de distribución del Ecuador en los años 2011 y 2021

Año	Consumo de energía	Pérdidas en el sistema de distribución (%)
2011	15.248,80	14.73
2021	20.843,22	10.54

El consumo de energía presenta un aumento en el transcurso de los años, gracias a la implementación de energías limpias en el Ecuador, siendo la hidráulica con un 89,37% de aportación en electricidad, la energía primaria con más

alto índice de transporte de electricidad [11], [36].

Existe una disminución de pérdidas en distribución, que representa la relación entre la energía no existente del sistema y la actualmente disponible en comparación con el año 2011 y 2021, teniendo como resultado una mejoría en la entrega de energía eléctrica [13], [37].

La Regulación CONELEC 003/99 establece la deducción anual de las pérdidas eléctricas no técnicas en las diversas empresas distribuidoras, considerando que dichas pérdidas sean aceptables para las diversas entidades encargadas de distribuir la energía como: CNEL EP (Guayaquil, Manabí, El Oro, entre otros) y Empresas Eléctricas (Quito, Ambato, Centro Sur, entre otras) [12], [37].

5 Conclusiones

El algoritmo genético proyectado por medio de la metodología del tipo barrido adelante-atrás ayuda a resolver los diversos flujos de potencia que ayudan a calcular el sistema y encontrar de manera óptima la disposición correcta de sistemas de baterías tomando en cuenta las restricciones de voltaje en los que actuará en los valores mínimos. En base a los perfiles de voltaje se realiza una indagación total en cada barra para colocar de manera eficiente un BESS y corregir los valores para una buena confiabilidad en el sistema de distribución.

La configuración presentada permite definir las capacidades nominales de potencia activa que inyecte cada sistema de baterías a la red, considerando al algoritmo genético como un método flexible para el análisis de inserción de un BESS en el sistema de distribución.

Se puede demostrar que, mediante la intervención de un sistema de almacenamiento de baterías a la red de distribución, ayuda considerablemente a disminuir las pérdidas causadas por los conductores en distribución y ayuda a mejorar los perfiles de voltaje con la

finalidad de aportar una buena confiabilidad, seguridad y calidad a la red eléctrica. En base a estudios económicos es una buena alternativa utilizar un BESS, debido a que reemplaza opciones como replantear todo el sistema de distribución y endurecer las estructuras pertenecientes a la red.

La integración de sistemas de almacenamiento de baterías es una opción que deteriora el impacto ambiental con relación a otras tecnologías y ayuda a mejorar la búsqueda de soluciones ambientales que mejoren los sistemas de distribución de una manera limpia y segura evitando la emisión de gases que afectan al entorno natural.

5.1 Trabajos futuros

En trabajos futuros utilizar el algoritmo genético con metodología iterativa del tipo barrido adelante-atrás puede tener varios resultados dada su eficiencia y precisión en obtener una optimización de red de distribución.

Este algoritmo se puede aplicar y probar en sistemas no radiales para ubicar de manera óptima sistemas de generación distribuida.

Se puede analizar una red de distribución tomando en cuenta el despacho económico para conocer que número de sistema de almacenamiento de baterías puede ser colocado de manera óptima.

6 Referencias

- [1] G. L. ROA, "Ubicación Y Dimensionamiento Óptimo De Almacenadores De Energía En Redes De Distribución Usando Un Algoritmo Evolutivo," vol. 4, pp. 9–15, 2017.
- [2] Samuel Ramírez Castaño, "Planificación de un sistema de distribución eléctrico," *Tesis*, p. 34, 2009.
- [3] L. G. Given, M. Sholeh, and W. S. Nugroho, "Impact of DG Placement on Radial and Mesh Topology Against Short Circuit Current," *Proc. - 4th Int. Conf. Vocat. Educ. Electr. Eng. Strength. Engagem. with Communities through Artif. Intell. Appl. Educ. Electr. Eng. Inf. Technol. ICVEE 2021*, pp. 1–5, 2021.
- [4] H. Wang *et al.*, "Optimal Power Scheduling Strategy in Residential Distribution Network Based on Multi-dimensional Network Integration," *Proc. - 2021 Power Syst. Green Energy Conf. PSGEC 2021*, pp. 85–90, 2021.
- [5] C. Ma and Y. Gao, "Study on mesh segmentation of topology optimization results using Reeb graph," *Proc. - 2021 Int. Conf. Artif. Intell. Electromechanical Autom. AIEA 2021*, pp. 277–280, 2021.
- [6] S. Ramírez, *Redes de distribución de energía*. 2009.
- [7] A. Kemper, "Complex networks theory," *Contrib. to Manag. Sci.*, pp. 135–157, 2010.
- [8] J. Lin, P. Wang, J. Zhang, Z. Zhang, and H. Sun, "Plug and Play Technology for Power Distribution Terminal Management based on the IoT Ideas," *APAP 2019 - 8th IEEE Int. Conf. Adv. Power Syst. Autom. Prot.*, pp. 196–200, 2019.
- [9] R. Espinosa y Lara, "Armónicos en los Sistemas Eléctricos de Potencia," pp. 13–20, 553–636, 1990.
- [10] A. Zhurkin, "Application of the Short Time Fourier Transform for Calculating Electric Energy Losses under the Conditions of a Non-Sinusoidal Voltage," pp. 230–234, 2020.
- [11] M. Bilal, "Electrical Energy Management in Spinning Area of Textile Industry," 2021.
- [12] R. Menon *et al.*, "Energy Loss Analysis of Traction Inverter Drive for Different PWM Techniques and

- Drive Cycles,” 2000.
- [13] A. Bittenbinder, “Technical Power Losses in Electrical Distribution Networks with Renewable Energy Sources . Case Study : Galati Zone , Electrica Muntenia Nord,” pp. 21–25, 2021.
- [14] ARCERNNR, “Estadística del Sector Electrico Ecuatoriano 2020,” *Minist. Regul. y Recur. Nat. no Renov.*, p. 316, 2020.
- [15] V. T. Cheremisin, M. M. Nikiforov, and S. Y. Ushakov, “Assessment Of Train Traction Electric Energy Losses,” pp. 3–8, 2018.
- [16] R. Granda, “Reduccion de pérdidas mediante reconfiguracion de la red de distribucion,” p. 155, 1998.
- [17] Y. Y. Zaky, N. Fortino, J. Y. Dauvignac, F. Seyfert, M. Olivi, and L. Baratchart, “Comparison of SEM methods for poles estimation from scattered field by canonical objects,” *IEEE Natl. Radar Conf. - Proc.*, vol. 2020-Septe, pp. 20–25, 2020.
- [18] S. Nowak, Y. C. Chen, and L. Wang, “A Measurement-based Gradient-descent Method to Optimally Dispatch der Reactive Power,” *Conf. Rec. IEEE Photovolt. Spec. Conf.*, vol. 2020-June, pp. 28–32, 2020.
- [19] Y. Yan *et al.*, “Machine Learning Virtual SEM Metrology,” *2020 4th Int. Work. Adv. Patterning Solut. IWAPS 2020*, pp. 2020–2023, 2020.
- [20] B. Vardani, “Optimum Location of SVC in an IEEE 33 Bus Radial Distribution System Using Power Sensitivity Index,” *Proc. - 2019 Int. Conf. Electr. Electron. Comput. Eng. UPCON 2019*, pp. 1–5, 2019.
- [21] I. A. Quadri, V. Aggarwal, S. Bhowmick, and R. D. Patidar, “Optimal Allocation of Capacitor and SVC in Radial Distribution System to Reduce Power Loss and Operational Cost,” *2021 IEEE Int. Conf. Emerg. Trends Ind. 4.0, ETI 4.0 2021*, 2021.
- [22] L. Alfonso and G. Pareja, “Flujo de potencia óptimo usando el método del gradiente para reducción de pérdidas en sistemas de potencia,” pp. 71–85, 2008.
- [23] S. Yoa, J. Park, and H. J. Kim, “Learning Non-Parametric Surrogate Losses with Correlated Gradients,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 141199–141209, 2021.
- [24] N. Dakhno, O. Barabash, H. Shevchenko, O. Leshchenko, and A. Musienko, “Modified Gradient Method for K-positive Operator Models for Unmanned Aerial Vehicle Control,” *2020 IEEE 6th Int. Conf. Methods Syst. Navig. Motion Control. MSNMC 2020 - Proc.*, pp. 81–84, 2020.
- [25] L. W. Stringini, H. E. O. Farias, C. A. S. Rangel, L. N. Canha, T. A. S. Santana, and Z. I. Nadal, “Smart Energy Management of Multiple Battery Types for Aggregators Use Considering Negotiated Contracts With the Distribution System Operator and Battery Degradation,” no. September, pp. 1859–1863, 2022.
- [26] P. O. Kela, H. Laaksonen, R. Zheng, and C. Parthasarthy, “Review of demand-side BESS management for participation in flexibility markets,” *IET Conf. Publ.*, vol. 2020, no. CP767, pp. 237–239, 2020.
- [27] D. Wu, Q. Gui, W. Zhao, J. Wang, S. Shi, and Y. Zhou, “Battery Energy Storage System (BESS) Sizing Analysis of Bess-Assisted Fast-Charge Station Based on Double-Layer optimization Method,” *2020 IEEE Student Conf. Electr. Mach. Syst. SCEMS 2020*, pp. 658–662, 2020.
- [28] L. Cheun Hau and Y. Seng Lim, “Financial Benefits of PV only,

- BESS only and PV with BESS under the Trading Arrangements of NEM and ETOU in Malaysia,” *2020 8th Int. Conf. Smart Grid Clean Energy Technol. ICSGCE 2020*, vol. 2020, pp. 59–64, 2020.
- [29] S. M. Mohseni-Bonab, I. Kamwa, A. Moeini, and A. Rabiee, “Voltage Security Constrained Stochastic Programming Model for Day-Ahead BESS Schedule in Co-Optimization of T&D Systems,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 11, no. 1, pp. 391–404, 2020.
- [30] N. Chatrungs, “Battery Energy Storage System (BESS) and Development of Grid Scale BESS in EGAT,” *2019 IEEE PES GTD Gd. Int. Conf. Expo. Asia, GTD Asia 2019*, no. 1, pp. 589–593, 2019.
- [31] T. Chen, Y. Zhao, T. Li, P. Luo, Y. Hou, and Z. Li, “Automatic identification of power quality signal of distribution network based on HHT and RVM,” *China Int. Conf. Electr. Distrib. CICED*, vol. 2021-April, pp. 111–114, 2021.
- [32] X. Piao, J. Zou, and P. Wang, “Power Distribution Control Strategy of Energy Storage Unified Power Quality Controller with Fixed Power Angle,” *Proc. - 2021 Power Syst. Green Energy Conf. PSGEC 2021*, pp. 145–149, 2021.
- [33] Y. Danwen, L. Guanglei, W. Weixu, and W. Qingyu, “Power quality pre-evaluation method considering the impact of electrified railway,” *Proc. - 2021 6th Asia Conf. Power Electr. Eng. ACPEE 2021*, pp. 1556–1559, 2021.
- [34] P. Zhang, Q. Feng, R. Chen, D. Wang, and L. Ren, “Classification and Identification of Power Quality in Distribution Network,” *2020 5th Int. Conf. Power Renew. Energy, ICPRE 2020*, no. 4, pp. 533–537, 2020.
- [35] IEEE Power and Energy Society, *IEEE Recommended Practice for Power Quality Data Interchange Format (PQDIF)*, vol. 2019. 2019.
- [36] G. G. Adjunta and T. Divisi, “Metodologías para el Cálculo de Pérdidas Técnicas en Sistemas Eléctricos de Distribución,” 2015.
- [37] J. D. Juárez Cervantes, *Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica*, vol. 52, no. 1. 2002.

UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE BATERÍAS PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO INDICADORES EN LA CALIDAD DE ENERGÍA.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA						SOLUCIÓN PROPUESTA					
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Sistema de distribución	Sistema de almacenamiento de baterías	Calidad de Energía	Pérdidas en el sistema de distribución	Estabilidad de Voltaje	Estabilidad de Potencia Activa	Minimización de pérdidas en el sistema	Mejora de la calidad de energía	Corriente	Factor de potencia	Niveles de Potencia	Método SEM	Método de compensación	Método de la gradiente	BESS	Flujo óptimo de potencia	Algoritmo genético	Algoritmo de Simulación de Flujo del tipo barrido adelante-atrás	Mejora del perfil de voltaje en barras	Minimización de pérdidas en la red	Mejora de la confiabilidad y calidad de la energía	Ubicación Óptima de sistemas de baterías	
6	2009	Redes de distribución de energía.	29	☒		☒		☒				☒			☒		☒									☒
7	2010	Complex networks theory	13			☒	☒				☒					☒							☒			
8	2019	Plug and Play Technology for Power Distribution Terminal Management based on the IoT Ideas	9	☒	☒		☒	☒	☒			☒							☒			☒	☒			
9	1990	Armónicos en los Sistemas Eléctricos de Potencia.	15	☒				☒	☒		☒	☒	☒						☒	☒				☒		
10	2020	Application of the Short Time Fourier Transform for Calculating Electric Energy Losses under the Conditions of a Non-Sinusoidal Voltage	21	☒		☒	☒					☒				☒					☒	☒				
11	2021	Electrical Energy Management in Spinning Area of Textile Industry	12	☒	☒			☒	☒													☒		☒		
12	2000	Energy Loss Analysis of Traction Inverter Drive for Different PWM Techniques and Drive Cycles	23	☒	☒					☒	☒				☒					☒				☒		

UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE BATERÍAS PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO INDICADORES EN LA CALIDAD DE ENERGÍA.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA					SOLUCIÓN PROPUESTA						
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Sistema de distribución	Sistema de almacenamiento de baterías	Calidad de Energía	Pérdidas en el sistema de distribución	Estabilidad de Voltaje	Estabilidad de Potencia Activa	Minimización de pérdidas en el sistema	Mejora de la calidad de energía	Corriente	Factor de potencia	Niveles de Potencia	Método SEM	Método de compensación	Método de la gradiente	BESS	Flujo óptimo de potencia	Algoritmo genético	Algoritmo de Simulación de flujo del tipo barrido adelante-atrás	Mejora del perfil de voltaje en barras	Minimización de pérdidas en la red	Mejora de la confiabilidad y calidad de la energía.	Ubicación Óptima de sistemas de baterías	
13	2021	Technical Power Losses in Electrical Distribution Networks with Renewable Energy Sources . Case Study : Galati Zone , Electrica Muntenia Nord	9	☒		☒		☒					☒												☒	☒
14	2020	Estadística del Sector Electrico Ecuatoriano 2020	1	☒	☒	☒	☒			☒	☒		☒								☒			☒	☒	
15	2018	Assessment Of Train Traction Electric Energy Losses	20	☒	☒	☒		☒	☒	☒				☒		☒		☒					☒		☒	☒
16	1998	Reduccion de pérdidas mediante reconfiguración de la red de distribución	16				☒			☒	☒		☒										☒	☒	☒	
17	2020	Comparison of SEM methods for poles estimation from scattered field by canonical objects	18	☒	☒	☒		☒					☒										☒		☒	☒
18	2020	A Measurement-based Gradient-descent Method to Optimally Dispatch der Reactive Power	19	☒	☒	☒	☒			☒	☒										☒			☒	☒	

UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE BATERÍAS PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO INDICADORES EN LA CALIDAD DE ENERGÍA.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA							SOLUCIÓN PROPUESTA			
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Sistema de distribución	Sistema de almacenamiento de baterías	Calidad de Energía	Pérdidas en el sistema de distribución	Estabilidad de Voltaje	Estabilidad de Potencia Activa	Minimización de pérdidas en el sistema	Mejora de la calidad de energía	Corriente	Factor de potencia	Niveles de Potencia	Método SEM	Método de compensación	Método de la gradiente	BESS	Flujo óptimo de potencia	Algoritmo genético	Algoritmo de Simulación de flujo del tipo barrido	Mejora del perfil de voltaje en barras	Minimización de pérdidas en la red	Mejora de la confiabilidad y calidad de la energía	Ubicación Óptima de sistemas de baterías
19	2020	Machine Learning Virtual SEM Metrology	10	☒			☒	☒	☒						☒		☒						☒		☒
20	2019	Optimum Location of SVC in an IEEE 33 Bus Radial Distribution System Using Power Sensitivity Index	6		☒	☒	☒			☒	☒											☒	☒		
21	2021	Optimal Allocation of Capacitor and SVC in Radial Distribution System to Reduce Power Loss and Operational Cost	18	☒		☒		☒				☒					☒		☒				☒	☒	☒
22	2008	Flujo de potencia óptimo usando el método del gradiente para reducción de pérdidas en sistemas de potencia	11	☒	☒	☒	☒			☒	☒										☒	☒	☒		☒

UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE BATERÍAS PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO INDICADORES EN LA CALIDAD DE ENERGÍA.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA						SOLUCIÓN PROPUESTA					
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Sistema de distribución	Sistema de almacenamiento de baterías	Calidad de Energía	Pérdidas en el sistema de distribución	Estabilidad de Voltaje	Estabilidad de Potencia Activa	Minimización de pérdidas en el sistema	Mejora de la calidad de energía	Corriente	Factor de potencia	Niveles de Potencia	Método SEM	Método de compensación	Método de la gradiente	BESS	Flujo óptimo de potencia	Algoritmo genético	Algoritmo de Simulación de flujo del tipo barrido	Mejora del perfil de voltaje en barras	Minimización de pérdidas en la red	Mejora de la confiabilidad y calidad de la energía	Ubicación Óptima de sistemas de baterías	
23	2021	Learning Non-Parametric Surrogate Losses with Correlated Gradients	27	☒				☒	☒	☒							☒							☒	☒	☒
24	2020	Modified Gradient Method for K-positive Operator Models for Unmanned Aerial Vehicle Control	23		☒	☒	☒			☒	☒	☒											☒	☒		
25	2022	Smart Energy Management of Multiple Battery Types for Aggregators Use Considering Negotiated Contracts With the Distribution System Operator and Battery Degradation	21	☒			☒	☒				☒					☒		☒					☒	☒	☒
26	2020	Review of demand-side BESS management for participation in flexibility markets	26	☒	☒	☒	☒			☒	☒										☒			☒		

UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE BATERÍAS PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO INDICADORES EN LA CALIDAD DE ENERGÍA.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA						SOLUCIÓN PROPUESTA					
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Sistema de distribución	Sistema de almacenamiento de baterías	Calidad de Energía	Pérdidas en el sistema de distribución	Estabilidad de Voltaje	Estabilidad de Potencia Activa	Minimización de pérdidas en el sistema	Mejora de la calidad de energía	Corriente	Factor de potencia	Niveles de Potencia	Método SEM	Método de compensación	Método de la gradiente	BESS	Flujo óptimo de potencia	Algoritmo genético	Algoritmo de Simulación de flujo del tipo barrido	Mejora del perfil de voltaje en barras	Minimización de pérdidas en la red	Mejora de la confiabilidad y calidad de la energía	Ubicación Óptima de sistemas de baterías	
27	2020	Battery Energy Storage System (BESS) Sizing Analysis of Bess-Assisted Fast-Charge Station Based on Double-Layer optimization Method.	12	☒		☒	☒	☒	☒	☒															☒	☒
28	2020	Financial Benefits of PV only, BESS only and PV with BESS under the Trading Arrangements of NEM and ETOU in Malaysia	20		☒	☒	☒			☒	☒	☒											☒	☒		☒
29	2020	Voltage Security Constrained Stochastic Programming Model for Day-Ahead BESS Schedule in Co-Optimization of T&D Systems	44	☒		☒	☒	☒				☒				☒		☒		☒					☒	☒
30	2019	Battery Energy Storage System (BESS) and Development of Grid Scale BESS in EGAT	12	☒	☒	☒	☒			☒	☒		☒							☒		☒			☒	

UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE BATERÍAS PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO INDICADORES EN LA CALIDAD DE ENERGÍA.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA						SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Sistema de distribución	Sistema de almacenamiento de baterías	Calidad de Energía	Pérdidas en el sistema de distribución	Estabilidad de Voltaje	Estabilidad de Potencia Activa	Minimización de pérdidas en el sistema	Mejora de la calidad de energía	Corriente	Factor de potencia	Niveles de Potencia	Método SEM	Método de compensación	Método de la gradiente	BESS	Flujo óptimo de potencia	Algoritmo genético	Algoritmo de Simulación de flujo del tipo barrido adelantado	Mejora del perfil de voltaje en barras	Minimización de pérdidas en la red	Mejora de la confiabilidad y calidad de la energía	Ubicación Óptima de sistemas de baterías
31	2021	Automatic identification of power quality signal of distribution network based on HHT and RVM	10	☒		☒	☒	☒	☒	☒				☒			☒							☒	☒
32	2021	Power Distribution Control Strategy of Energy Storage Unified Power Quality Controller with Fixed Power Angle	11		☒		☒			☒	☒	☒				☒						☒	☒		☒
33	2021	Power quality pre-evaluation method considering the impact of electrified railway	10	☒		☒	☒	☒				☒			☒		☒			☒				☒	☒
34	2020	Classification and Identification of Power Quality in Distribution Network	9		☒	☒	☒			☒	☒		☒			☒				☒	☒	☒			☒

UBICACIÓN ÓPTIMA DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE BATERÍAS PARA MINIMIZAR PÉRDIDAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN CONSIDERANDO INDICADORES EN LA CALIDAD DE ENERGÍA.

ITEM	DATOS			TEMÁTICA				FORMULACIÓN DEL PROBLEMA FUNCIONES OBJETIVO				RESTRICCIONES DEL PROBLEMA			PROPUESTAS PARA RESOLVER EL PROBLEMA						SOLUCIÓN PROPUESTA				
	AÑO	TÍTULO DEL ARTÍCULO	CITAS	Sistema de distribución	Sistema de almacenamiento de	Calidad de Energía	Pérdidas en el sistema de distribución	Estabilidad de Voltaje	Estabilidad de Potencia Activa	Minimización de pérdidas en el sistema	Mejora de la calidad de energía	Corriente	Factor de potencia	Niveles de Potencia	Método SEM	Método de compensación	Método de la gradiente	BESS	Flujo óptimo de potencia	Algoritmo genético	Algoritmo de Simulación de flujo del tipo barrido	Mejora del perfil de voltaje en barras	Minimización de pérdidas en la red	Mejora de la confiabilidad y calidad de la energía	Ubicación Óptima de sistemas de baterías
35	2019	IEEE Recommended Practice for Power Quality Data Interchange Format (PQDIF)	19	✗		✗		✗	✗	✗				✗	✗		✗							✗	✗
36	2015	Metodologías para el Cálculo de Pérdidas Técnicas en Sistemas Eléctricos de Distribución	39		✗		✗			✗	✗					✗						✗	✗		✗
37	2002	Sistemas de Distribución de Energía Eléctrica	0	✗	✗	✗		✗				✗			✗	✗						✗	✗	✗	✗
CANTIDAD:				27	18	23	21	20	8	21	15	22	10	14	4	13	15	12	16	8	6	17	19	14	17

6.2 Resumen de Indicadores

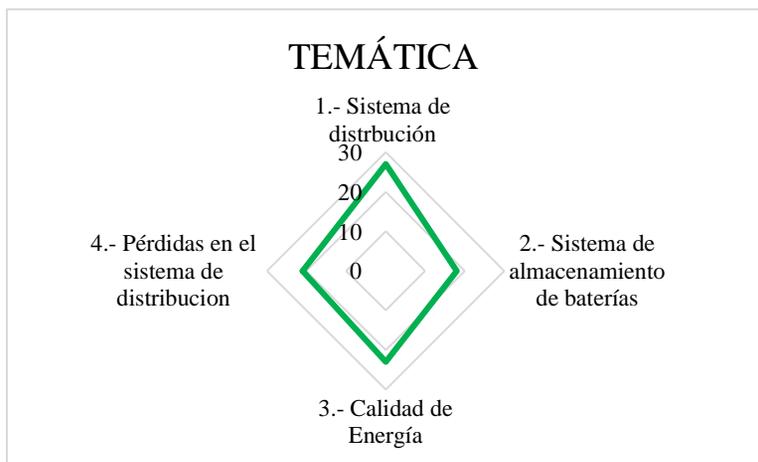


Figura 1. Resumen e indicador de la temática - Estado del arte.

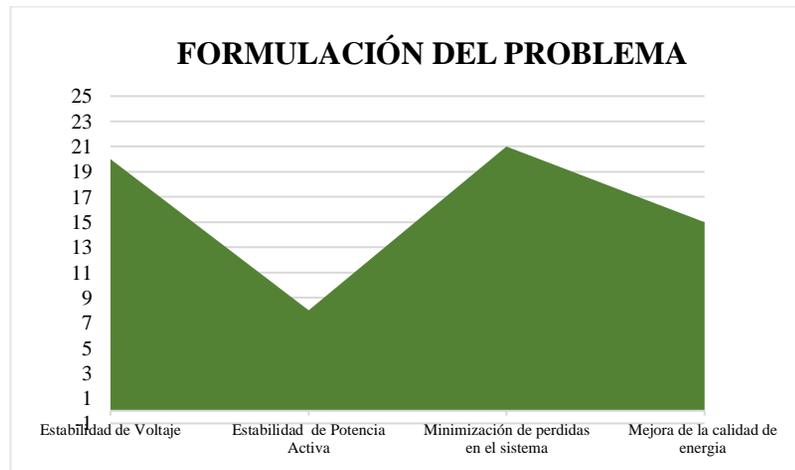


Figura 2. Indicador de formulación del problema - Estado del arte.

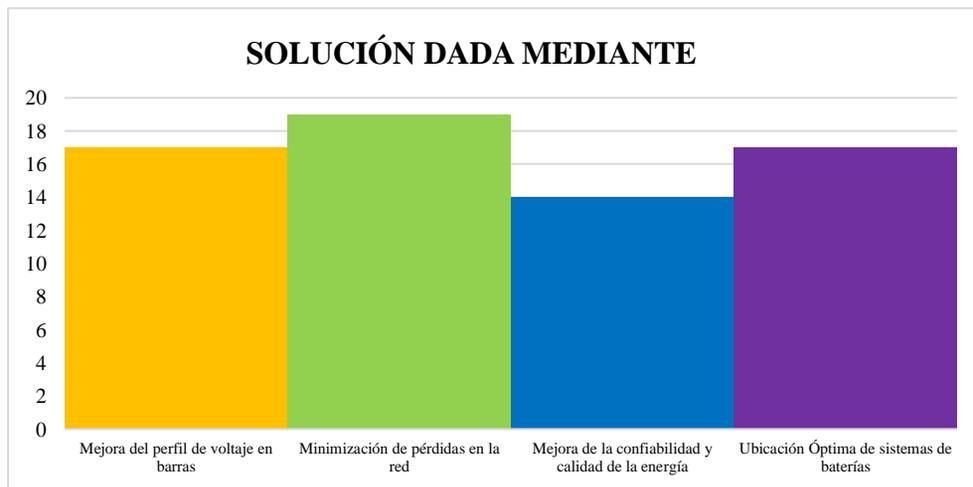


Figura 3. Indicador de solución - Estado del arte.

7 Anexos

Tabla 1. Datos de potencia activa y reactiva del sistema IEEE de 69 barras

Barra	P[kW]	Q[kvar]
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	10	3
7	50	31
8	90	54
9	60	22
10	55	19
11	180	104
12	180	104
13	50	6
14	50	6
15	0	0
16	80	30
17	75	35
18	75	35
19	0	0
20	25	1
21	200	81
22	35	4
23	0	0
24	65	20
25	0	0
26	26	10
27	34	10
28	46	19
29	46	19
30	0	0
31	0	0
32	0	0
33	54	10
34	85	14
35	32	4
36	56	19
37	74	19
38	0	0
39	87	17
40	75	17
41	45	1
42	0	0
43	30	5
44	0	0

45	55	27
46	55	27
47	0	0
48	89	57
49	400	275
50	400	2750
51	65	29
52	25	3
53	45	4
54	56	19
55	75	18
56	0	0
57	0	0
58	0	0
59	150	72
60	0	0
61	1344	0
62	60	23
63	0	0
64	250	162
65	69	42
66	58	13
67	58	13
68	76	20
69	76	20

Tabla 2. Datos de potencia activa y reactiva del sistema IEEE de 136 barras

Barra	P[kW]	Q[kvar]
1	0	0
2	0	0
3	50	20
4	48	17
5	90	35
6	350	124
7	160	60
8	250	95
9	64	25
10	150	50
11	160	56
12	150	47
13	300	100
14	310	116
15	320	121
16	225	86
17	240	80
18	0	0
19	0	0
20	0	0
21	45	15

22	255	113	73	15	3
23	80	30	74	80	29
24	250	113	75	425	162
25	135	60	76	0	0
26	0	0	77	110	43
27	70	28	78	150	61
28	380	180	79	110	41
29	0	0	80	320	128
30	175	61	81	155	60
31	85	28	82	300	119
32	0	0	83	95	38
33	90	42	84	275	104
34	0	0	85	285	106
35	410	194	86	0	0
36	0	0	87	99	39 0
37	200	89	88	1150	483
38	260	120	89	480	195
39	90	37	90	390	164
40	0	0	91	0	0
41	10	1	92	85	34
42	15	3	93	90	38
43	0	0	94	0	0
44	125	50	95	84	32
45	80	27	96	242	99
46	185	74	97	151	61
47	475	195	98	0	0
48	280	112	99	86	33
49	255	100	100	0	0
50	0	0	101	61	22
51	115	47	102	69	26
52	0	0	103	19	4
53	80	31	104	12	1
54	275	110	105	26	8
55	80	30	106	1516	0
56	35	10	107	323	133
57	0	0	108	89	34
58	25	9	109	61	22
59	160	64	110	0	0
60	235	94	111	212	86
61	100	40	112	70	26
62	0	0	113	55	20
63	235	97	114	0	0
64	0	0	115	167	67
65	300	117	116	0	0
66	90	34	117	260	107
67	95	34	118	0	0
68	115	42	119	79	30
69	180	71	120	42	14
70	90	34	121	71	26
71	230	87	122	0	0
72	35	10	123	104	47

124	59	25
125	133	61
126	88	39
127	155	72
128	31	11
129	84	37
130	237	112
131	45	18
132	259	122
133	326	155
134	343	164
135	259	122
136	0	0
