

## Artículo Científico

# Estudio de factibilidad para la ubicación estratégica de sistemas de almacenamiento de energía en alimentadores

## *Feasibility Study for the Strategic Placement of Energy Storage Systems on Distribution Feeders*



Figueroa-Guerra, Danner Anderson <sup>1</sup>



<https://orcid.org/0000-0003-1040-5485>



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.



Delgado-Revilla, Alberto Ricardo <sup>3</sup>



<https://orcid.org/0009-0009-2726-2338>



[adelgador@uteq.edu.ec](mailto:adelgador@uteq.edu.ec)



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.



De La Torre-Macias, Andrés Alexander <sup>5</sup>



<https://orcid.org/0000-0002-4984-6483>



[adelatorrem@uteq.edu.ec](mailto:adelatorrem@uteq.edu.ec)



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.



Lopez-Tovar, Cristhofer Fernando <sup>2</sup>



<https://orcid.org/0009-0000-4189-0247>



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.



Pisco-Vanegas, Juan Carlos <sup>4</sup>



<https://orcid.org/0000-0002-9624-7993>



[jpiscov@uteq.edu.ec](mailto:jpiscov@uteq.edu.ec)



Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, Quevedo.

Autor de correspondencia <sup>1</sup>



DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/132>

**Resumen:** Las redes de distribución eléctrica ecuatorianas presentan limitaciones operativas como pérdidas elevadas, desviaciones de tensión y baja confiabilidad frente al crecimiento de la demanda y la integración de energías renovables. Este estudio analiza la factibilidad técnica y económica de un sistema de almacenamiento en baterías de 1400 kWh y 30 kW instalado en un alimentador de distribución, mediante modelado eléctrico en software especializado, simulaciones de flujo de potencia en distintos niveles de carga y un análisis multicriterio con indicadores de pérdidas por efecto Joule, regulación de voltaje, confiabilidad y métricas económicas. Se considera un sistema con 253 transformadores, normas internacionales de interconexión y datos operativos reales. Los resultados indican que la ubicación óptima del sistema reduce las pérdidas activas de 412.6 a 361.4 kW (12.4%), eleva la tensión mínima de 0.92 a 0.97 por unidad, disminuye la energía no suministrada en 18% y alcanza un retorno de inversión de 14.2%, con un costo nivelado de energía de 0.118 dólares por kWh. Se concluye que el almacenamiento en baterías es una solución viable para optimizar alimentadores de distribución, mejorando eficiencia, estabilidad de voltaje y rentabilidad.



Check for  
updates

Received: 21/Dic/2025

Accepted: 03/Ene/2026

Published: 21/Ene/2026

Cita: Figueroa-Guerra, D. A., Lopez-Tovar, C. F., Delgado-Revilla, A. R., Pisco-Vanegas, J. C., & De La Torre-Macias, A. A. (2026). Estudio de factibilidad para la ubicación estratégica de sistemas de almacenamiento de energía en alimentadores. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 4(1), 64-76. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v4/n1/132>

Revista Científica Ciencia y Método (RCyM)  
<https://revistacym.com>  
[revistacym@editorialgrupo-aea.com](mailto:revistacym@editorialgrupo-aea.com)  
[info@editorialgrupo-aea.com](mailto:info@editorialgrupo-aea.com)

© 2026. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la [Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional](#).



**Palabras clave:** almacenadores; alimentador; energía; subestación; pérdidas.

**Abstract:**

Ecuador's electrical distribution networks face operational constraints such as high technical losses, voltage deviations, and low reliability in the context of growing demand and increasing penetration of renewable energy sources. This study assesses the technical and economic feasibility of implementing a battery energy storage system with a nominal capacity of 1400 kWh and a discharge power of 30 kW in a distribution feeder, using electrical modeling in specialized software, power flow simulations under multiple loading conditions, and a multicriteria analysis that includes indicators such as Joule losses, voltage regulation, operational reliability, and economic metrics. The impact on critical parameters of a distribution system with 253 transformers is evaluated, considering international interconnection standards and real operational data. Results show that the optimal location of the storage system reduces total active losses from 412.6 to 361.4 kW, equivalent to a 12.4% reduction, increases the minimum voltage from 0.92 to 0.97 per unit, decreases energy not supplied by 18%, and yields a return on investment of 14.2% with a levelized cost of energy of 0.118 USD/kWh. Battery energy storage is therefore a viable solution to optimize feeder operation, simultaneously improving energy efficiency, voltage stability, and economic profitability.

**Keywords:** storage facilities; feeder; energy; substation; losses.

## 1. Introducción

La creciente integración de fuentes de energía renovable y la necesidad de fortalecer la eficiencia operativa, calidad de energía y confiabilidad del suministro impulsan la incorporación de BESS (Battery Energy Storage Systems) en redes de distribución eléctrica (Figueroa-Guerra et al., 2022). En sistemas de potencia modernos, el almacenamiento energético se reconoce como un recurso clave para mitigar la variabilidad de la demanda, reducir pérdidas técnicas, mejorar perfiles de tensión y aumentar la flexibilidad operativa de los alimentadores. En el contexto ecuatoriano, donde las redes de distribución presentan limitaciones asociadas a la expansión de la demanda y restricciones operativas, la planificación adecuada de sistemas BESS resulta fundamental para el desempeño técnico y económico del sistema (Carpinelli et al., 2024).

En este marco, el presente estudio evalúa la factibilidad y determina la ubicación óptima de un sistema BESS en un alimentador, perteneciente a la Cooperación nacional de electricidad (CNEL EP), Unidad de Negocio Los Ríos. El análisis integra modelado eléctrico detallado mediante herramientas especializadas como el modelado y simulación de sistemas de distribución eléctrica (CYMDIST / CYME), junto con un enfoque técnico-económico multicriterio orientado a la toma de decisiones en planificación de redes de distribución (Moghimian et al., 2023).

La metodología considera simulaciones bajo múltiples escenarios de carga, capacidad y localización del BESS, evaluando indicadores técnicos y económicos como pérdidas eléctricas, perfiles de tensión, CAPEX (Capital Expenditure), OPEX (Operating Expenditure) y retorno de inversión. Asimismo, se incorpora la adaptación de estándares internacionales al marco regulatorio ecuatoriano, garantizando la aplicabilidad local de las soluciones propuestas. Los resultados permiten identificar configuraciones óptimas con potencial de replicabilidad, aportando evidencia técnica relevante para la planificación de redes, la integración de tecnologías de almacenamiento y el desarrollo de sistemas eléctricos de distribución más eficientes, resilientes y sostenibles (Das et al., 2021).

## 2. Materiales y métodos

La presente investigación adopta un enfoque mixto, combinando análisis cuantitativos y cualitativos para evaluar la viabilidad técnica, operativa y económica de la implementación de sistemas de almacenamiento de energía mediante baterías en redes de distribución eléctrica. El componente cuantitativo incluye modelado eléctrico detallado mediante software especializado, simulaciones numéricas de flujo de potencia en Múltiples escenarios, análisis técnico-económico con indicadores mensurables tales como pérdidas eléctricas en kilovatios (kW), perfiles de tensión en por unidad, costos de capital y operación, retorno de inversión, y costo nivelado de energía, así como evaluación cuantitativa de confiabilidad operativa mediante índices de desempeño del sistema. El componente cualitativo comprende la investigación documental mediante revisión sistemática de literatura técnica y científica, análisis interpretativo crítico de normas internacionales y regulaciones locales, evaluación comparativa de distintas tecnologías de almacenamiento energético, y análisis de viabilidad técnica y operativa basada en criterios regulatorios y de compatibilidad con la infraestructura existente. El estudio emplea un diseño de investigación de carácter aplicado, descriptivo-diagnóstico, fundamentado en datos empíricos reales obtenidos de fuentes primarias de la empresa distribuidora de energía, que permite transformar el conocimiento teórico en soluciones prácticas orientadas a optimizar el desempeño de redes de distribución. La integración simultánea de métodos cuantitativos y cualitativos permite abordar la problemática desde una perspectiva sistémica e integral, generando evidencia técnica rigurosa y fundamentada que sustenta procesos de toma de decisiones en planificación de infraestructura eléctrica.

Modelado Eléctrico:

La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque metodológico integral orientada a evaluar la viabilidad técnica, operativa y económica de la implementación de sistemas de almacenamiento de energía mediante baterías (BESS) en redes de distribución eléctrica, tomando como caso de estudio de un alimentador. Para alcanzar este objetivo, se combinan distintos tipos de investigación y métodos científicos que

permiten abordar el problema desde una perspectiva sistémica, sustentada en datos reales, normativa vigente y herramientas especializadas de análisis.

El estudio se fundamenta inicialmente en una investigación documental, a través de la revisión de literatura técnica y científica relacionada con sistemas de almacenamiento de energía en redes de distribución. Esta revisión incluye normas técnicas nacionales e internacionales, artículos científicos, informes institucionales, tesis académicas y antecedentes de proyectos similares implementados tanto a nivel nacional como internacional (Figueroa-Guerra et al., 2025). Este análisis permitió identificar lineamientos técnicos, criterios de seguridad y buenas prácticas aplicables al contexto del sistema eléctrico ecuatoriano, así como comprender el estado del arte de las tecnologías de almacenamiento energético.

De manera complementaria, se adopta un enfoque de investigación aplicada, en el cual los conocimientos teóricos recopilados se integran mediante el uso de herramientas especializadas, tales como software de simulación eléctrica, bases de datos técnicas, gestores bibliográficos y experiencia académica previa. Esta integración permite transformar la información teórica en soluciones prácticas orientadas a resolver problemáticas reales del sistema de distribución, garantizando un análisis riguroso y técnicamente fundamentado que responde directamente a los objetivos planteados en el proyecto.

Asimismo, la investigación posee un carácter descriptivo, dado que se orienta a caracterizar detalladamente la infraestructura eléctrica del alimentador. Para ello, se analizan variables técnicas y operativas como la configuración del sistema de distribución, los perfiles de carga, los niveles de demanda, los índices de calidad del suministro eléctrico y las limitaciones existentes para la integración de sistemas de almacenamiento energético. Esta caracterización constituye la base para identificar oportunidades de mejora, evaluar restricciones técnicas y proponer soluciones viables dentro de un marco normativo adecuado.

La investigación bibliográfica desempeña un rol fundamental en el sustento conceptual del estudio, permitiendo recopilar información relevante sobre tecnologías de almacenamiento, criterios de integración en redes de distribución y estándares internacionales aplicables. Las fuentes analizadas incluyen libros especializados, artículos científicos indexados, normas técnicas, informes de investigación, trabajos de titulación y sitios web confiables, los cuales aportan información actualizada y validada que respalda el desarrollo del proyecto.

Adicionalmente, se emplea un enfoque de investigación analítica, mediante el cual se examinan de forma crítica y comparativa las distintas tecnologías de almacenamiento energético disponibles. Este análisis considera parámetros técnicos, económicos y normativos, estableciendo relaciones entre las características del alimentador y la viabilidad de implementar soluciones de almacenamiento que optimicen su desempeño operativo. A través de este enfoque, se identifican las tecnologías más

adecuadas en función de la eficiencia, los costos, la compatibilidad normativa y el impacto en la red.

La investigación también adopta un enfoque diagnóstico, cuyo propósito es analizar la viabilidad y el impacto de la integración de sistemas BESS en el alimentador de estudio. Este enfoque permite evaluar los efectos técnicos, operativos y normativos derivados de la implementación del almacenamiento energético, proporcionando una visión integral del comportamiento del sistema, su interacción con la red de distribución y su potencial para mejorar la confiabilidad, eficiencia y flexibilidad de la infraestructura eléctrica local (Khajeh et al., 2023).

En cuanto a la metodología de investigación, se emplean diversos métodos científicos que fortalecen el análisis. El método descriptivo permite identificar los parámetros técnicos que influyen en la calidad de energía del alimentador ante la posible incorporación de sistemas de almacenamiento y estaciones de carga para vehículos eléctricos, describiendo el estado actual de la infraestructura y su comportamiento operativo. El método deductivo parte de principios generales y normativas internacionales, como IEEE 1547-2018 (Institute of Electrical and Electronics Engineers., 2024), e IEC TS 62933-2-2:2022 (International Electrotechnical Commission, 2022), para analizar su aplicabilidad en el contexto específico del alimentador, facilitando la recopilación de datos relevantes sobre gestión de carga, capacidad de integración y riesgos operativos. Por su parte, el método explicativo permite comprender y explicar el impacto de la integración del almacenamiento energético en la calidad del suministro y la confiabilidad del sistema, apoyándose en fuentes documentales especializadas. Finalmente, el método comparativo se utiliza para contrastar distintas tecnologías de almacenamiento y escenarios de ubicación dentro del alimentador, evaluando su impacto técnico y económico para justificar la selección óptima de tecnología y emplazamiento.

Las fuentes de recopilación de información provienen principalmente del Centro de Control y Administración de CNEL EP, entidad que suministró datos técnicos y operativos del alimentador. Estas fuentes primarias se complementan con fuentes secundarias, como publicaciones académicas, libros especializados, artículos científicos, trabajos de titulación y manuales técnicos, lo que permite ampliar el marco conceptual y fortalecer la comprensión de la problemática analizada.

El diseño de la investigación contempla varias etapas. En primer lugar, se realiza la recolección de datos, recopilando información técnica detallada del alimentador para construir un modelo de simulación preciso en el software CYMDIST. Se consideran variables como la capacidad y cantidad de transformadores, la cargabilidad de conductores, el factor de potencia, los desequilibrios de tensión, los perfiles de demanda y el historial de interrupciones del servicio. Posteriormente, se lleva a cabo un análisis de los parámetros de calidad, verificando el cumplimiento de los indicadores establecidos en la normativa ARCERNRR 002/2020c (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables., 2023), con el

fin de evaluar el desempeño del alimentador en términos de continuidad del servicio y calidad de energía.

A continuación, se desarrollan escenarios de estudio mediante simulaciones en el software CYME, analizando la incorporación de estaciones de carga rápida y su impacto sobre parámetros eléctricos como la cargabilidad, las caídas de tensión y la distorsión armónica (Yang et al., 2023). Estos escenarios permiten comparar el estado actual del sistema con escenarios futuros, estableciendo criterios técnicos para una planificación eficiente de infraestructura de movilidad eléctrica. Con base en los resultados obtenidos, se procede al diseño del sistema de almacenamiento BESS, dimensionado a partir de datos históricos de demanda, con el objetivo de gestionar picos de consumo, mejorar el perfil de carga y optimizar la eficiencia operativa del sistema.

El análisis del impacto en la red se realiza mediante simulaciones que evalúan el efecto del BESS sobre el flujo de potencia, la regulación de tensión y la respuesta ante eventos críticos. Finalmente, se desarrolla un modelo técnico-económico que contempla el dimensionamiento de los componentes del sistema, así como la estimación de costos de adquisición, instalación y operación (Khajeh et al., 2023). Este análisis permite evaluar la viabilidad técnica y económica del proyecto, considerando indicadores como el costo por kWh almacenado, el retorno de inversión, la vida útil del sistema y los beneficios operativos asociados.

La investigación concluye con la redacción de conclusiones, evidenciando que la implementación de un sistema BESS en el alimentador genera impactos positivos significativos, tales como la reducción de picos de demanda, la mejora en la estabilidad del sistema y el aumento de la flexibilidad operativa. El tratamiento de los datos se apoya en herramientas como Microsoft Excel y el software CYME, que permiten sistematizar la información y analizar de manera precisa el comportamiento de la red ante distintos escenarios de integración tecnológica.

### 3. Resultados

#### 3.1. Estudio técnico

Del análisis técnico del alimentador se determinó que la ubicación de los sistemas de almacenamiento de energía (BESS) debe priorizar los nodos críticos, en especial aquellos situados en zonas terminales y en segmentos con alta fluctuación de demanda, donde se registran las mayores caídas de voltaje y riesgo de fallas. Mediante un modelado exhaustivo de la red en herramientas especializadas se simuló el comportamiento horario y ante contingencias, cuantificando la disminución de pérdidas, la estabilización del voltaje y el impacto positivo en los índices de confiabilidad (SAIDI/SAIFI). Asimismo, la adopción de estándares internacionales como IEEE 1547 y NFPA 855 asegura que la implementación sea segura, interoperable y técnicamente robusta, mientras que el examen de experiencias previas

valida la elección de nodos estratégicos y el correcto dimensionamiento del BESS, garantizando que la solución propuesta sea eficiente, replicable y con una sólida justificación económica.

**Tabla 1**

*Estudio técnico - Ubicación de almacenadores de energía*

| Estudio Técnico   | Diseño Adaptado   | Fundamentación técnica y científica  | Principales Aportes  |
|---|---|--|--|
| Modelado eléctrico del alimentador, flujo de carga y simulaciones de tensión. | Representación nodal del alimentador en ETAP / OpenDSS.               | Permite identificar nodos críticos con caídas de tensión y sobrecargas, base para ubicar BESS. | Principales aportes: Facilita la selección de nodos estratégicos para mejorar perfil de tensión y confiabilidad.         |
| Ánalisis de perfiles de carga y confiabilidad (SAIDI / SAIFI).                | Identificación de nodos con mayor criticidad y variabilidad de carga. | Mejorar la confiabilidad del sistema mediante priorización de nodos para instalación de BESS.  | Principales aportes: Determina ubicación de BESS para optimizar continuidad de servicio y respaldo a cargas críticas.    |
| Normativa y estándares (IEEE 1547, NFPA 855).                                 | Requisitos de interconexión, control y seguridad física del BESS.     | Garantiza interoperabilidad, seguridad operativa y cumplimiento regulatorio                    | Principales aportes: Establece criterios de instalación, protección y operación segura.                                  |
| Casos de estudio en sistemas de distribución.                                 | Ubicación estratégica en nodos externos y medios del alimentador      | Mejora el perfil de tensión y reduce pérdidas energéticas                                      | Principales aportes: Confirma que nodos extremos ofrecen máximo beneficios en reducción de caídas de tensión y perdidas. |

Nota: (Autores, 2026).

### 3.2. Integración del sistema BESS

Produce una reducción significativa de las pérdidas técnicas del alimentador. En el escenario base, sin almacenamiento, las pérdidas activas totales alcanzan 412.6 kW, mientras que en el escenario óptimo con BESS estas se reducen a 361.4 kW, lo que representa una disminución aproximada del 12.4 %.

Esta reducción se concentra principalmente en los tramos de mayor carga y distancia respecto a la subestación, evidenciando el efecto positivo de la inyección local de energía. Los resultados confirman que la ubicación estratégica del BESS minimiza los flujos de potencia desde la subestación principal, reduciendo las corrientes circulantes y, por ende, las pérdidas por efecto Joule (Carpinelli et al., 2024).

**Tabla 2**

*Comparación de pérdidas eléctricas en el alimentador*

| Escenario      | Pérdidas activas (kW) | Reducción (%) |
|----------------|-----------------------|---------------|
| Sin BESS       | 412.6                 | –             |
| BESS no óptimo | 385.9                 | 6.5           |
| BESS óptimo    | 361.4                 | 12.4          |

Nota: (Autores, 2026).

Estos resultados evidencian que la sola incorporación del sistema de almacenamiento de energía mediante baterías no garantiza mejoras significativas en el desempeño de

la red de distribución si la ubicación del dispositivo no es adecuada y estratégicamente seleccionada. La comparación entre el escenario con BESS no óptimo (6.5% de reducción de pérdidas) y el escenario con ubicación óptima (12.4% de reducción) demuestra que la localización del sistema es un factor crítico y determinante en la magnitud de los beneficios técnicos y económicos alcanzables. Esta diferencia sustancial confirma que la planificación estratégica de la ubicación del almacenamiento es fundamental para maximizar la efectividad de la solución. Los resultados refuerzan la necesidad fundamental del enfoque multicriterio aplicado en esta investigación, que considera simultáneamente aspectos eléctricos, económicos, normativos y geográficos en la toma de decisiones. Sin este análisis integral y sistemático, la implementación de sistemas BESS en redes de distribución podría resultar en inversiones costosas con beneficios limitados. Por lo tanto, la metodología desarrollada proporciona una valiosa herramienta para optimizar la ubicación de sistemas de almacenamiento en alimentadores de distribución, asegurando que cada inversión genere el máximo retorno técnico y económico posible.

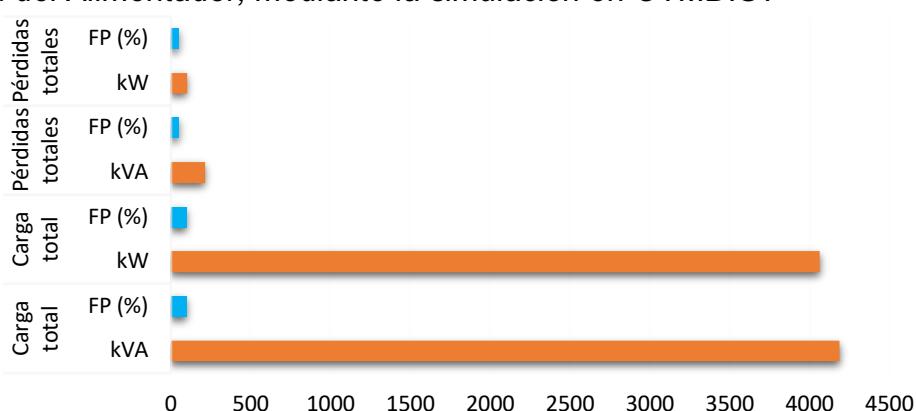
### 3.3. Análisis del alimentador

El circuito de distribución forma parte del sistema de energía gestionado por CNEL EP en su unidad operativa Los Ríos. Como base para este estudio, se realizó una evaluación de la situación actual de la red, tomando en cuenta los principales factores técnicos, de funcionamiento y regulatorios. Este análisis inicial es esencial para valorar su eficiencia, detectar áreas de optimización y definir lineamientos que faciliten la adopción de medidas energéticas sostenibles y de mayor rendimiento.

El trazado del alimentador abarca una extensa zona urbana. Según los registros técnicos de CNEL EP, esta línea cuenta con alrededor de 253 transformadores desplegados en su ruta, así como con 245 puntos de carga concentrada. Cabe resaltar que estos nodos agrupan a varios consumidores conectados de manera colectiva a una misma fuente de alimentación, generando una configuración de demanda agrupada que fue incorporada en los estudios de carga. A continuación, se detallan los parámetros operativos actuales del circuito.

**Figura 1**

*Estabilidad del Alimentador, mediante la simulación en CYMDIST*



Nota: (Autores, 2026).

### 3.4. Revisión de métricas de estabilidad aplicables a redes de distribución

Este sistema de distribución está diseñado específicamente para atender cargas de naturaleza crítica y estratégica, lo que implica una alta exigencia operativa en términos de continuidad del servicio eléctrico y calidad del suministro de energía. Las cargas críticas atendidas por este alimentador incluyen instalaciones de importancia vital como hospitales, centros de salud y otras infraestructuras esenciales que requieren disponibilidad permanente de energía eléctrica sin interrupciones. La normativa regulatoria ecuatoriana establece estándares estrictos de confiabilidad para estas aplicaciones, exigiendo que el sistema mantenga índices de continuidad del servicio superiores a los requerimientos generales de la red de distribución. Cualquier interrupción o fluctuación en el suministro de energía en estos puntos críticos puede comprometer funciones vitales y generar consecuencias significativas para la población servida. Por esta razón, la implementación de sistemas de almacenamiento de energía en estas zonas se convierte en una medida prioritaria de planificación y optimización de redes. El análisis técnico del comportamiento del BESS en este contexto de cargas críticas resulta fundamental para demostrar su capacidad de proporcionar respaldo energético confiable y mejorar la resiliencia operativa del alimentador ante perturbaciones y contingencias.

**Tabla 3**  
*Métricas de estabilidad del BESS*

| Parámetro                   | Valor                  |
|-----------------------------|------------------------|
| Nodo de conexión            | MTA-S-514609           |
| Energía nominal             | 1400,00 kWh            |
| Potencia de descarga máxima | 30,00 kW               |
| Potencia de carga máxima    | 600,00 Kw              |
| Estado de conexión          | Conectado              |
| Estado de carga (EDC)       | 90,0% (rango: 10-100%) |
| Tramo atendido              | Cargas Críticas        |

Nota: (Autores, 2026).

El sistema de almacenamiento de energía en baterías (BESS) impacta positivamente en los siguientes indicadores: La integración del BESS en el nodo posibilita el control del voltaje en la zona y proporciona respaldo ante perturbaciones momentáneas gracias a su capacidad de inyección rápida de energía. Su perfil de potencia de carga indica una operación de reabastecimiento gradual, estratégica para prevenir la saturación de la red. Asimismo, el inversor, dotado de un sistema de regulación activa, optimiza el factor de potencia y mitiga la distorsión por armónicos en el punto de interconexión.

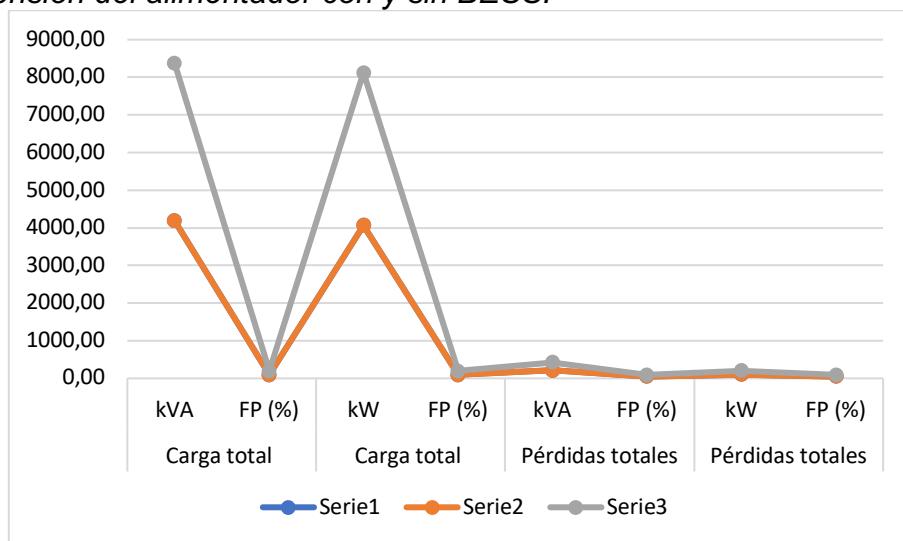
### 3.5. Mejora de perfiles de tensión

Los perfiles de tensión muestran mejoras sustanciales tras la incorporación del BESS. En el escenario base, se identifican nodos con niveles de tensión mínimos de 0.92 p.u. durante las horas de máxima demanda, valores cercanos al límite inferior normativo. Con la operación del BESS en su ubicación óptima, la tensión mínima se incrementa hasta 0.97 p.u., reduciendo la dispersión de tensiones a lo largo del

alimentador. Este comportamiento se observa especialmente en los nodos más alejados de la subestación, donde la regulación resulta más crítica. La mejora en los perfiles de tensión demuestra la capacidad del BESS para actuar como un recurso de soporte de tensión, contribuyendo al cumplimiento de los límites regulatorios y a la mejora de la calidad del suministro.

**Figura 2**

*Perfil de tensión del alimentador con y sin BESS.*



Nota: (Autores, 2026).

### 3.6. Confiabilidad y desempeño operativo

Desde el punto de vista operativo, la simulación de escenarios críticos evidencia un incremento en la confiabilidad del suministro. La presencia del BESS permite mantener el servicio eléctrico en nodos prioritarios durante intervalos de contingencia de hasta 45 minutos, reduciendo la energía no suministrada (ENS) en aproximadamente 18 % respecto al escenario base (Carpinelli et al., 2024). Este comportamiento resulta particularmente relevante en puntos de alta sensibilidad, como el Hospital Sagrado Corazón de Jesús, donde la continuidad del suministro es crítica. El BESS actúa como respaldo energético local, mejorando la resiliencia del alimentador frente a perturbaciones operativas (Boonluk et al., 2020).

### 3.7. Resultados del análisis económico

El análisis técnico-económico muestra que la configuración óptima del BESS presenta un ROI estimado del 14.2 %, con un período de recuperación de la inversión inferior a 8 años. El costo nivelado de energía (LCOE) del sistema se estima en 0.118 USD/kWh, valor competitivo frente a soluciones tradicionales de refuerzo de red. Estos resultados confirman que los beneficios técnicos se traducen directamente en ventajas económicas, fortaleciendo la viabilidad del proyecto.

**Tabla 4***Indicadores económicos del sistema BESS*

| Indicador  | Valor         |
|------------|---------------|
| CAPEX      | 1.25 MUSD     |
| OPEX anual | 38,000 USD    |
| ROI        | 14.2 %        |
| LCOE       | 0.118 USD/kWh |

Nota: (Autores, 2026).

### 3.8. Conexión directa con la discusión

Los resultados obtenidos demuestran que la planificación adecuada de sistemas BESS en redes de distribución permite mejoras simultáneas en eficiencia, calidad de energía y rentabilidad económica. La reducción de pérdidas y la mejora de perfiles de tensión observadas concuerdan con reportes previos en la literatura, validando la aplicabilidad del almacenamiento energético como herramienta de optimización de redes. Asimismo, la diferencia entre escenarios óptimos y no óptimos confirma que la localización del BESS es un factor determinante, aspecto que se discute en la siguiente sección en relación con criterios de planificación y regulación.

## 4. Discusión

La implementación de un BESS en el alimentador demuestra que los sistemas de almacenamiento de energía son una herramienta viable para mejorar la eficiencia operativa de las redes de distribución. La reducción de pérdidas eléctricas, una de las principales preocupaciones de las distribuidoras, se logra de manera significativa, lo que tiene un impacto directo en la reducción de costos operativos (Yi et al., 2019). Además, el BESS mejora la estabilidad del sistema, al mantener los perfiles de tensión dentro de los límites adecuados, lo que minimiza los riesgos de fallos o sobrecargas (Guerrero-Calero et al., 2025).

El análisis económico demuestra que el sistema BESS no solo es rentable a corto y largo plazo, sino que también permite una integración más eficiente de las fuentes renovables, como la energía solar y eólica, que están presentes en la región. La flexibilidad operativa proporcionada por el BESS también mejora la capacidad del sistema para adaptarse a las fluctuaciones en la demanda de energía (Bhusal et al., 2020).

## 5. Conclusiones

Este estudio concluye que la implementación de un BESS en el alimentador es técnicamente viable y económicamente rentable. La ubicación óptima del sistema maximiza los beneficios en términos de reducción de pérdidas, mejora de la calidad del suministro y aumento de la confiabilidad. Los resultados del análisis técnico-económico justifican la inversión en el sistema, lo que lo convierte en una opción

atractiva para las empresas distribuidoras de energía en Ecuador y otros países con condiciones similares.

Se recomienda la replicación de este estudio en otros alimentadores del país, así como la exploración de diferentes configuraciones de BESS para mejorar aún más el desempeño de las redes de distribución. Además, se sugiere considerar la integración de otras tecnologías de almacenamiento, como el almacenamiento térmico o el hidrógeno, para complementar la solución propuesta.

## CONFLICTO DE INTERESES

**“Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses”.**

## Referencias Bibliográficas

- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables. (2023). *Reglamento Nro. ARCERNR 002/20 (Codificada): Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica* [Resolución Nro. ARCERNR-003/2023]. [https://www.arconel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/07/Regulacion-002-20\\_codificada.pdf](https://www.arconel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2024/07/Regulacion-002-20_codificada.pdf)
- Bhusal, N., Gautam, M., Benidris, M., & Louis, S. J. (2020). Optimal sizing and siting of multi-purpose utility-scale shared energy storage systems. In *Proceedings of the 52nd North American Power Symposium (NAPS)*. IEEE (1–6). <https://doi.org/10.48550/arXiv.2008.07900>
- Boonluk, P., Khunkitti, S., Fuangfoo, P., & Siritaratiwat, A. (2020). Optimal siting and sizing of battery energy storage systems for distribution networks. *Batteries*, 6(4), 56. <https://doi.org/10.3390/batteries6040056>
- Carpinelli, G., Noce, C., Russo, A., Varilone, P., & Verde, P. (2024). Optimal siting and sizing of battery energy storage systems in unbalanced active distribution systems with multi-objective constraints under uncertainty. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 162, 110316. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2024.110316>
- Das, C. K., Bass, O., Kothapalli, G., Mahmoud, T. S., & Habibi, D. (2021). Overview of energy storage systems in distribution networks: Placement, sizing, operation, and power quality. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 91, 1205–1230. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.068>
- Figueroa-Guerra, D. A., Culqui-Tipan, J. F., Núñez-Verdezoto, M. D., & Cruz-Panchi, O. D. (2022). Modelamiento de un sistema fotovoltaico conectado a la red considerando la variación de irradiancia solar en Homer Pro. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*, 22(1), 60–71. <https://doi.org/10.19053/1900771X.v22.n1.2022.14456>

- Figueroa-Guerra, D., Murillo, J., Ortega-Loza, F., & Delgado-Vera, C. (2025). Estudio comparativo de sistemas de energía basados en baterías de ion litio y flujo de vanadio para aplicaciones de generación distribuida. *Ingeniería e Innovación*, 13(2), 16-30. <https://doi.org/10.21897/rii.3986>
- Guerrero-Calero, J. M., Romero-Castro, M. I., Mieles-Giler, J. W., & Moran-González, M. R. (2025). Análisis del recurso solar en San Francisco de Paján (Ecuador): bases para la implementación de sistemas fotovoltaicos sostenibles. *Revista Científica Ciencia Y Método*, 3(4), 177-188. <https://doi.org/10.55813/gaea/rcym/v3/n4/102>
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2024). *IEEE standard for interconnection and interoperability of distributed energy resources with associated electric power systems interfaces* (IEEE 1547-2024). IEEE Standards Association. <https://standards.ieee.org/ieee/1547/10906/>
- International Electrotechnical Commission. (2022). Communication networks and systems for power utility automation. *IEC 61850-7-420*. <https://webstore.iec.ch/en/publication/64570>
- Khajeh, H., Parthasarathy, C., Doroudchi, E., & Laaksonen, H. (2023). Optimized siting and sizing of distribution-network-connected battery energy storage system providing flexibility services for system operators. *Energy*, 285, 129490. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.129490>
- Moghimian Hoosh, S., Ouerdane, H., Terzija, V., & Pozo, D. (2023). Assessing the value of energy storage systems for distribution grid applications. *2023 IEEE 7th Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/EI259745.2023.10513229>
- Yang, F., Hu, Y., Zhang, L., Xu, Z., Wu, Z., & Gu, W. (2023). Optimal siting and sizing of distributed energy storage in distribution networks considering isolated islanding duration uncertainty. *Journal of Electric Power Science and Technology*, 38(1), 43–54. <https://doi.org/10.19781/j.issn.1673-9140.2023.01.006>
- Yi, J. H., Cherkaoui, R., & Paolone, M. (2019). Optimal allocation of energy storage systems in active distribution networks to achieve capability of dispatch of distributed generation. *arXiv preprint arXiv:1909.12667*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1909.12667>