

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **VIABILIDAD DE LA INCORPORACIÓN DE SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA BASADOS EN BATERÍAS (BESS)**

**INVESTIGAR RESPECTO DE LOS PRINCIPALES COMPONENTES  
DE ESTOS SISTEMAS, TALES COMO BATERÍAS E INVERSORES  
DISPONIBLES EN EL MERCADO; SUS CARACTERÍSTICAS  
OPERATIVAS; SUS COSTOS DE INVERSIÓN Y DE OPERACIÓN Y  
MANTENIMIENTO**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO  
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**DENNIS ALEXANDER CHILUISA MOLINA**

**dennis.chiluisa@epn.edu.ec**

**DIRECTOR: PAUL FABRICIO VASQUEZ MIRANDA**

**paul.vasquez@epn.edu.ec**

**DMQ, febrero 2024**

## **CERTIFICACIONES**

Yo, Dennis Alexander Chiluisa Molina declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

---

**Dennis Alexander Chiluisa Molina**

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Dennis Alexander Chiluisa Molina, bajo mi supervisión.

---

**Dr. Ing. Paúl Fabricio Vásquez Miranda**  
**DIRECTOR**

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el producto resultante del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

DENNIS ALEXANDER CHILUISA MOLINA

PAÚL FABRICIO VASQUEZ MIRANDA

## **DEDICATORIA**

Dedico este proyecto a Dios, quien me ha dado fuerza y perseverancia para afrontar cada una de las dificultades presentes en mi vida.

Agradezco a mis padres, y a mi familia, por brindarme su amor, apoyo y motivación incondicional en todo momento. Su ejemplo de sacrificio y dedicación me han inspirado a seguir adelante y a nunca rendirme.

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mis padres, Marco y Rocío quienes han sido mi mayor apoyo y motivación en todo momento. Gracias por su amor incondicional, su paciencia y su dedicación en cada etapa de mi vida. Sin su guía y ejemplo, no estaría aquí hoy.

También quiero agradecer a mi familia, primos, tías y abuelitos, quienes siempre han estado presentes en mi vida y han sido una fuente de alegría y fortaleza. Gracias por su cariño, sus consejos y su apoyo en cada paso que he dado.

A mis amigos, Dylan, Luis, Oscar, Kevin, Alexander y Fabricio, gracias por ser mi segunda familia y por estar ahí en los buenos y malos momentos. Gracias por sus risas, consejos y su compañía, que han hecho más llevadero este camino.

Quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor, Dr. Paul Vásquez, cuya orientación experta, paciencia y apoyo incondicional fueron fundamentales en la realización de este proyecto. Sus valiosos consejos y su dedicación han sido una inspiración para mí y han enriquecido enormemente mi experiencia académica.

Asimismo, deseo agradecer a la Escuela Politécnica Nacional por brindarme las herramientas, los recursos y el ambiente propicio para el desarrollo de este trabajo. La excelencia académica y el compromiso con la educación que caracterizan a esta institución han sido fundamentales en mi formación académica.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA.....	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos .....	2
1.3 Alcance .....	2
1.4 Marco teórico .....	3
1.4.1 Definición de sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías (BESS).....	3
1.4.2 Funcionamiento y componentes de un BESS .....	3
1.4.3 Capacidad de almacenamiento y densidad energética de las baterías.....	6
1.4.4 Desarrollo y adopción de los BESS a nivel mundial. ....	10
1.4.5 Ventajas de BESS en Alimentadores Primarios .....	10
1.4.6 Desafíos y limitaciones de los BESS.....	11
1.4.7 Diseño y dimensionamiento de BESS. ....	12
1.4.8 Políticas y marcos regulatorios relacionados con los BESS.....	12
1.4.9 Mantenimiento de BESS.....	14
1.4.10 Seguridad y gestión de riesgos en la operación de BESS.....	14
2. METODOLOGÍA.....	15
2.1.1 Caso base.....	18
2.1.2 Caso con regulador de voltaje. ....	24
2.1.3 Caso con repotenciación en APs. ....	30
2.1.4 Caso con BESS. ....	32
3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	51
3.1 Resultados .....	51
3.2 Conclusiones.....	52
3.3 Recomendaciones.....	52

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	53
-------------------------------------	----

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como finalidad evaluar la implementación de BESS en un alimentador primario, considerando el flujo de carga, los niveles de voltaje y las pérdidas, estas variables permiten determinar el desempeño de los diferentes casos propuestos.

Mediante el programa de análisis de redes de distribución CYMDIST se logró modelar el alimentador primario 36C que pertenece a la parroquia de Tumbaco, se aplicó los siguientes módulos: distribución de carga, flujo de carga, análisis de la ubicación óptima de reguladores de tensión y dinámica a largo plazo.

Se obtuvieron reportes detallados de flujo de carga, condiciones anormales de flujo de carga y costo anual de las pérdidas, además se graficó curvas que permiten entender el comportamiento de la red ante los escenarios planteados.

Con los reportes y curvas extraídos de CYMDIST se efectuó el análisis de desempeño de cada caso para determinar que alternativa es óptima para la red.

**PALABRAS CLAVE:** BESS, alimentador primario, flujo de carga, CYMDIST.

## **ABSTRACT**

The purpose of this work is to evaluate the implementation of BESS in a primary feeder, considering the load flow, voltage levels and losses, these variables allow determining the performance of the different proposed cases.

Using the CYMDIST distribution network analysis program, the primary feeder 36C that belongs to the parish of Tumbaco was modeled. The following modules were applied: load distribution, load flow, analysis of the optimal location of voltage regulators and dynamics. long-term.

Detailed reports of load flow, abnormal load flow conditions and annual cost of losses were obtained, in addition, curves were graphed that allow understanding the behavior of the network under the proposed scenarios.

With the reports and curves extracted from CYMDIST, the performance analysis of each case was carried out to determine which alternative is optimal for the network.

**KEY WORDS:** BESS, primary feeder, load flow, CYMDIST.

# 1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías (BESS), son una solución tecnológica que se ha vuelto fundamental para la integración de fuentes renovables de energía, especialmente en el contexto de energía sostenible. Los BESS consisten en baterías, inversores, controladores y otros componentes que trabajan juntos para optimizar la carga y descarga de energía, garantizando una operación eficiente y segura. [1] [2]

Algunas ventajas de los BESS incluyen:

- Gran densidad de energía, lo cual permite almacenar más energía en un menor espacio. [2]
- Flexibilidad y rapidez en la respuesta, lo cual les permite adaptarse a cambios en la demanda de energía. [3]
- Capacidad de actuar como reserva de energía, lo cual reduce los picos de demanda y minimiza las fluctuaciones en la red eléctrica. [3]

Los BESS son particularmente útiles para complementar fuentes renovables de energía, como la energía solar, eólica o mareomotriz, y pueden ser utilizados en aplicaciones como la reducción de picos en horarios punta, la gestión de excedentes y la provisión de respaldo de energía. [2] [3]

Para la realización de las simulaciones se empleó CYMDIST, el cual es un paquete de análisis del sistema de distribución dentro del software CYME, diseñado para realizar simulaciones y análisis de redes eléctricas de distribución, incluidas redes primarias de alta tensión, secundarias de baja tensión (radiales o malla), y sistemas de subtransmisión. [4]

El proceso de implementación de BESS en CYMDIST consta de:

- Búsqueda de red con problemas de voltaje, pérdidas o demanda excesiva.
- Modelación de la red en CYMDIST, esto incluye: cables, cargas concentradas, fuente, fusibles, interruptores, líneas aéreas, reconectores, seccionadores y transformadores.
- Efectuar flujos de carga para determinar zonas o elementos que presenten anomalías en voltaje, corriente o pérdidas excesivas.
- Para realizar el análisis del impacto de BESS dentro de la zona o elemento determinado anteriormente, se necesita crear un entorno de conexión para el BESS, el cual se compone de: líneas áreas desequilibradas, cargas concentradas y el BESS.

Luego de la implementación de BESS se ejecuta un flujo de carga para distinguir si las condiciones con anomalías mejoraron o empeoraron.

Para tener un amplio panorama de análisis técnico se consideró diferentes escenarios de simulación para mejorar la red, con énfasis en la utilización de BESS.

## **1.1 Objetivo general**

Evaluar desde el punto técnico, las ventajas y oportunidades que puede ofrecer la implementación de sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías (BESS) en colas de APs de grandes longitudes, para satisfacer la demanda crítica y mejorar la calidad del servicio eléctrico en poblaciones lejanas a subestaciones de AV/MV.

## **1.2 Objetivos específicos**

1. Analizar y clasificar las tecnologías BESS existentes en el mercado en función de su tecnología y de su aplicación.
2. Investigar los principales componentes de un sistema BESS, y su funcionamiento dentro del sistema eléctrico.
3. Realizar estudios eléctricos de flujos de potencia y cortocircuitos en una red primaria de prueba para evaluar el desempeño de BESS para distintos escenarios.
4. Analizar los resultados de cada escenario desarrollado y sobre una base de comparaciones presentar un conjunto de conclusiones de la implementación de BESS.

## **1.3 Alcance**

En el presente trabajo se realizará una investigación de los principales componentes de los BESS, tales como: baterías e inversores disponibles en el mercado; sus características operativas; sus costos de inversión, de operación y mantenimiento, además se revisará ejemplos de almacenamiento de energía en el mundo con sistemas BESS para alcanzar una visión completa de la parte técnica. Se contempla la evaluación técnica de la instalación de BESS en colas de APs de grandes longitudes, para satisfacer parte de la demanda en poblaciones lejanas a subestaciones de AV/MV, esta evaluación considera diferentes parámetros como: las caídas de voltaje, las pérdidas, las corrientes de corto circuito y el factor de potencia, por lo cual se considerará el desarrollo de 4 casos de estudio:

- A. Caso base.
- B. Caso con regulador de voltaje.
- C. Caso con repotenciación en APs.
- D. Caso con BESS.

En base a estos 4 casos se podrá distinguir las ventajas o desventajas de la incorporación de BESS.

## **1.4 Marco teórico**

### **1.4.1 Definición de sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías (BESS).**

Los sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías (BESS, por sus siglas en inglés) son una tecnología innovadora que permite almacenar electricidad para su uso posterior. Estos sistemas utilizan baterías recargables, principalmente de iones de litio, para capturar y almacenar energía de diversas fuentes, como fuentes renovables de energía, y liberarla cuando sea necesario. [2]

Los BESS son una solución cada vez más utilizada en el sector industrial y en combinación con fuentes renovables de energía, como la energía solar, eólica o mareomotriz. Estos sistemas no solo ayudan a eliminar las intermitencias de la red eléctrica, sino que también brindan resiliencia a los usuarios finales al asegurar el suministro energético y garantizar la continuidad operativa. [5]

### **1.4.2 Funcionamiento y componentes de un BESS**

El funcionamiento de los sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías (BESS) es bastante complejo y requiere de varios componentes para su correcto funcionamiento. A continuación, se detallan los principales elementos y su funcionamiento dentro de un BESS:

1. **Baterías:** Las baterías son el componente principal de un BESS. En su mayoría, se utilizan baterías de iones de litio debido a su alta densidad de energía y su capacidad de almacenar electricidad de manera eficiente. [5]  
Estas baterías pueden cargarse y descargarse según las necesidades de energía.



**Figura 1.** Baterías de iones de litio. [6]

2. Inversor bidireccional: El inversor bidireccional es un componente clave en un BESS. Este dispositivo permite que la energía fluya en ambas direcciones, tanto para cargar las baterías como para suministrar energía a la red eléctrica cuando sea necesario. [7]

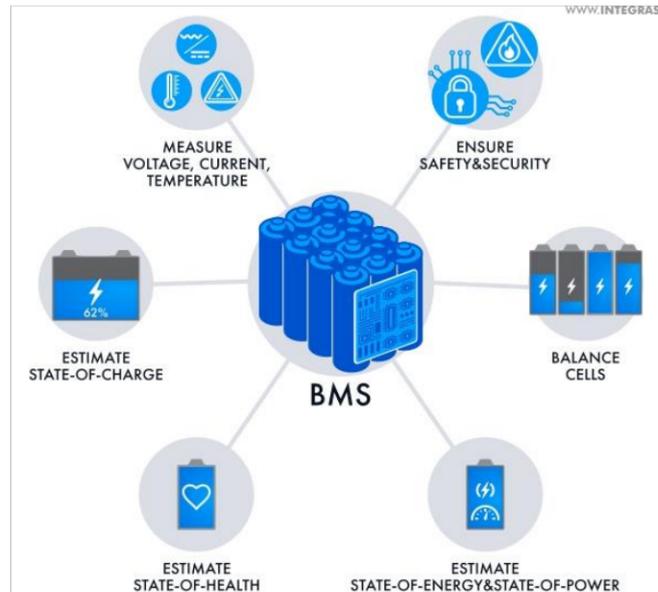
El inversor convierte la corriente continua (DC) producida por las baterías en corriente alterna (AC) utilizada en los sistemas eléctricos convencionales.



**Figura 2.** Inversor bidireccional. [8]

3. Sistema de gestión de batería (BMS): El BMS es responsable de supervisar y controlar el estado de las baterías en un BESS. Este sistema monitorea parámetros como el estado de carga (SOC) y el estado de salud (SOH) de las baterías. [5]

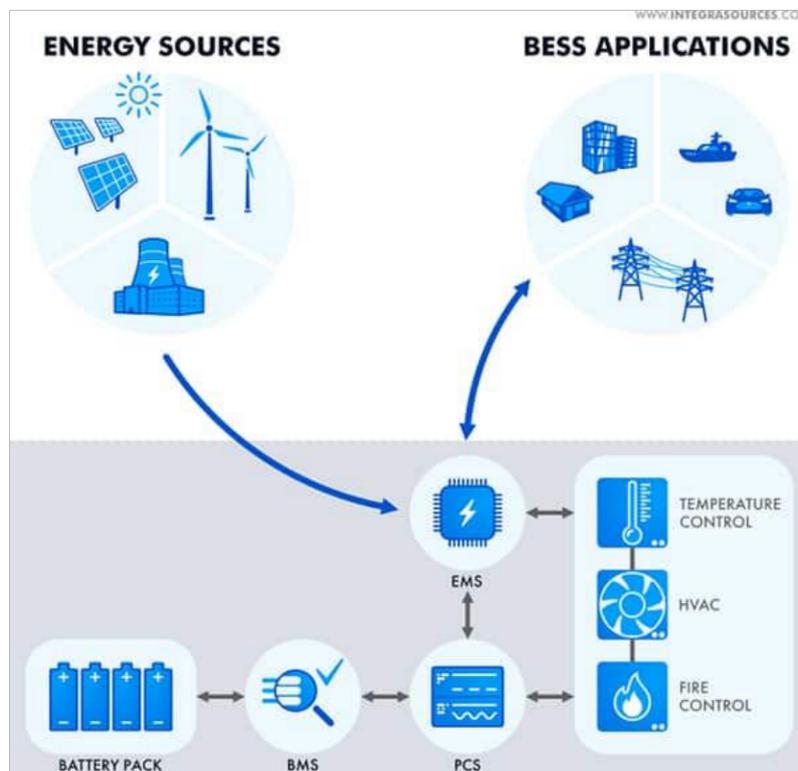
Además, el BMS protege las baterías de posibles peligros, como incendios, y regula la potencia de carga y descarga según las señales de entrada.



**Figura 3.** Funcionamiento BMS. [9]

4. Sistema de gestión de energía (EMS): El EMS es el encargado de monitorear y controlar el flujo de energía dentro de un BESS. Este sistema coordina el trabajo del BMS y del inversor bidireccional, tomando decisiones basadas en el perfil de carga de la ubicación. [5]

El EMS administra eficientemente los recursos de energía del sistema y garantiza un funcionamiento óptimo del BESS.



**Figura 4.** Funcionamiento EMS. [10]

5. Otros componentes: Además de los elementos mencionados anteriormente, un BESS puede incluir otros componentes como sistemas o módulos de baterías, que son conjuntos de celdas de baterías individuales que convierten la energía química en energía eléctrica. [5]

También puede contar con sistemas de seguridad, como sistemas de control de incendios, detectores de humo y sistemas de control de temperatura, para garantizar la operación segura del BESS.

### **1.4.3 Capacidad de almacenamiento y densidad energética de las baterías.**

La capacidad de almacenamiento y la densidad energética son dos características importantes de las baterías en los sistemas de almacenamiento de energía.

1. Capacidad de almacenamiento: Se refiere a la cantidad de energía que puede contener y suministrar en un ciclo de carga y descarga completo. Se expresa en amperios-hora [Ah] o vatios-hora [Wh], y determina el tiempo que una batería puede suministrar energía antes de necesitar una recarga. Por ejemplo, una batería con una capacidad de 100 [Wh] puede suministrar 100 vatios de potencia durante una hora o 50 vatios durante dos horas. La capacidad de almacenamiento de energía es una medida crítica de la utilidad de una batería, y su valor depende del tipo de batería, la temperatura y la tasa de descarga. Mantener estas consideraciones en mente puede ayudar a elegir la batería adecuada para diferentes necesidades y optimizar su rendimiento. [11] [12]
2. Densidad energética: Se refiere a la cantidad de energía que puede almacenar en relación con su peso o volumen. Se expresa en vatios-horas por kilogramo [Wh/kg] o vatios-horas por litro [Wh/L]. La densidad energética es un factor clave que determina la capacidad de almacenamiento y el tamaño de una batería, ya que una batería con una alta densidad de energía puede proporcionar más energía en un espacio o peso menor. [13]

Actualmente, las baterías de iones de litio alcanzan densidades energéticas de aproximadamente 200-300 [Wh/kg], aunque se espera que estas mejoren en los próximos años hasta alcanzar 500 [Wh/kg] en 2030, 750 [Wh/kg] en 2040 y hasta 1,250 Wh/kg en 2050. [14] [15]

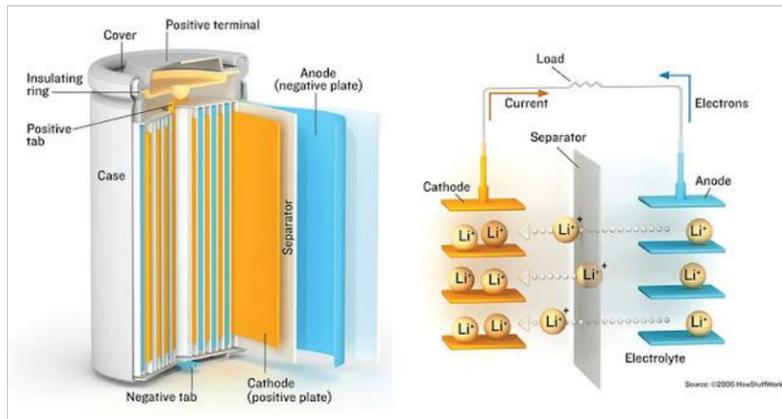
Las baterías de litio-aire (Li-O<sub>2</sub>) también se están investigando como una alternativa con una densidad energética mucho mayor, alcanzando hasta 685 [Wh/kg] en laboratorio. [14]

Es importante tener en cuenta que una batería con una alta densidad de energía también puede presentar riesgos de seguridad debido a la cantidad de material activo empacado en una celda, lo que aumenta el riesgo de un evento térmico. [13]

Por lo tanto, es importante mantener un equilibrio entre la densidad de energía y la seguridad en el diseño de baterías.

Las baterías de litio, plomo-ácido y gel son tipos comunes de baterías de almacenamiento de energía que difieren en rendimiento, ventajas y desventajas, y aplicaciones. A continuación, se ofrece un breve resumen de sus ventajas, desventajas y diferencias [16]:

Batería de iones de litio.



**Figura 5.** Batería de ion-litio. [17]

Ventajas:

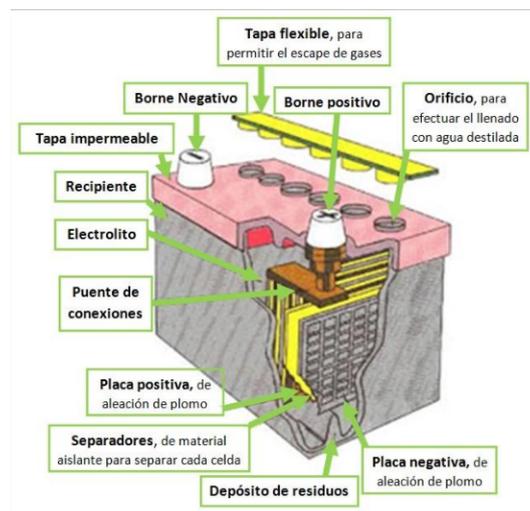
1. Alta densidad energética: las baterías de litio tienen una alta densidad energética, lo que puede proporcionar una mayor capacidad de almacenamiento de energía. [16]
2. Larga vida útil: la vida útil de las baterías de litio es relativamente larga, con un elevado número de ciclos y vida útil. [16]
3. Ligeras: en comparación con otros tipos de baterías, las de litio tienen un peso más ligero, adecuado para dispositivos portátiles y aplicaciones móviles. [16]
4. Sin efecto memoria: las baterías de iones de litio no tienen efecto memoria y pueden recargarse en cualquier momento sin afectar al rendimiento de la batería. [16]

Desventajas:

1. Coste elevado: las baterías de litio son relativamente caras de fabricar, lo que encarece su precio. [16]
2. Seguridad: las baterías de iones de litio pueden sufrir problemas de seguridad de embalamiento térmico cuando se sobrecargan, sobredescargan o dañan, por lo que requieren medidas especiales de gestión y protección. [16]

3. Las baterías de iones de litio requieren pasos adicionales de inicialización o configuración antes de su uso, como un ciclo completo de carga/descarga de la batería antes del primer uso. Este proceso ayuda a activar la química de la batería y a optimizar su capacidad y vida útil. En pocas palabras, puede ser necesario cargar completamente una batería de iones de litio, utilizarla y volver a descargarla completamente, un ciclo que puede durar varias veces. Hacer esto ayuda a la batería de litio a alcanzar su rendimiento óptimo. [16]

#### Batería de plomo-ácido.



**Figura 6.** Batería Plomo-Ácido. [18]

#### Ventajas:

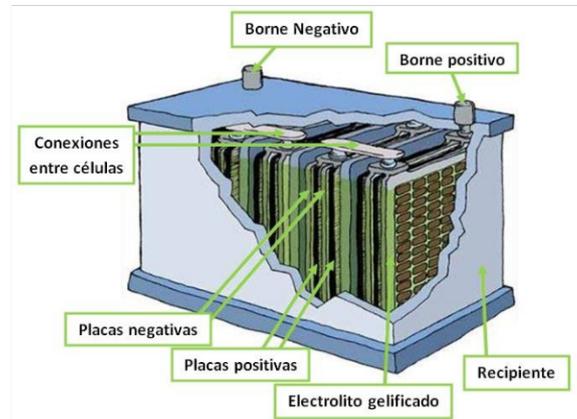
1. Bajo coste: las baterías de plomo-ácido tienen un coste relativamente bajo en comparación con otros tipos de baterías. [16]
2. Tecnología madura: Las baterías de plomo-ácido son una tecnología madura utilizada en una amplia gama de aplicaciones. [16]
3. Alta resistencia a la descarga de corriente: Las baterías de plomo-ácido tienen una alta capacidad de descarga y son adecuadas para aplicaciones de alta corriente. [16]

#### Desventajas:

1. Peso elevado: en comparación con otros tipos de baterías, las baterías de plomo-ácido son pesadas y no son adecuadas para aplicaciones móviles. [16]
2. Efecto memoria: las baterías de plomo-ácido tienen efecto memoria y necesitan cargarse y descargarse por completo periódicamente para mantener su rendimiento. [16]

3. Baja densidad energética y densidad de potencia: Las baterías de plomo-ácido tienen una densidad energética y una densidad de potencia relativamente bajas. [16]

Batería de Gel.



**Figura 7.** Batería de gel. [19]

Ventajas:

1. Larga vida útil: Las baterías de gel tienen una larga vida útil y pueden ofrecer un rendimiento fiable durante mucho tiempo en condiciones adecuadas de uso y carga. [16]
2. Resistencia a las descargas profundas: Las baterías de gel tienen mejor capacidad de descarga profunda que las baterías de plomo-ácido y son adecuadas para aplicaciones que requieren descargas profundas frecuentes. [16]
3. Resistencia a las fluctuaciones de temperatura: las baterías coloidales se adaptan mejor a entornos de altas y bajas temperaturas. [16]

Desventajas:

1. Mayor coste: las baterías coloidales son más caras que las de plomo-ácido. [16]
2. Menor densidad energética: las baterías coloidales tienen una densidad energética relativamente baja y una capacidad de almacenamiento de energía limitada. [16]
3. Las baterías de gel también requieren algunos pasos de inicialización y configuraciones antes de su uso, lo que suele implicar ajustes específicos de carga y descarga de la batería según las recomendaciones del fabricante. Esto puede implicar el uso de un cargador o controlador de carga específico, así como la realización de procedimientos de carga y descarga específicos para garantizar la estabilidad del electrolito y el rendimiento de la batería coloidal. [16]

#### **1.4.4 Desarrollo y adopción de los BESS a nivel mundial.**

El desarrollo y la adopción de sistemas de almacenamiento de energía en baterías (BESS) está ganando terreno en todo el mundo debido a su capacidad de proporcionar inmensos beneficios a la red.

Los BESS pueden utilizarse de forma autónoma o acoplados a fuentes de energía renovables, y pueden instalarse y utilizarse de muchas maneras. Pueden utilizarse en aplicaciones delante o detrás de medidores, cerca de las cargas/fuentes de energía o de forma independiente, acoplados a fuentes variables de energía renovable y utilizados para aumentar la generación tradicional de electricidad.

El uso de BESS puede ayudar a garantizar un suministro estable y constante de energía, almacenar el exceso de energía y proporcionar energía de reserva en caso de fallo de la red eléctrica. Los BESS también pueden sustituir a los generadores diésel o de gas natural utilizados por las centrales eléctricas para restablecer la generación de electricidad tras los apagones.

El desarrollo de BESS puede reportar beneficios económicos, como la creación de empleo y oportunidades de inversión, ya que atrae la inversión privada y apoya el crecimiento del sector de las energías renovables. La adopción de BESS está ganando terreno debido a la asequibilidad de las baterías de iones de litio, que se espera que sean aún más asequibles en el futuro. [20]

La Alianza Mundial de la Energía para las Personas y el Planeta (GEAPP) ha formado un consorcio de BESS, con más de 10 países que se comprometen a desplegar 5 [GW] de BESS para finales de 2024. El Banco Asiático de Desarrollo (BAD) también apoya y promueve activamente el uso de proyectos de BESS en Asia y el Pacífico. Se espera que el mercado mundial de BESS alcance entre 120.000 y 150.000 millones de dólares en 2030, más del doble de su tamaño actual. [21]

#### **1.4.5 Ventajas de BESS en Alimentadores Primarios**

Los Sistemas de Almacenamiento de Energía de Baterías (BESS) en alimentadores primarios ofrecen varias ventajas:

1. Almacenamiento de energía: Los BESS permiten almacenar energía en momentos en que la demanda es baja o cuando la generación es alta para su uso posterior, lo que puede reducir la necesidad de generar energía a partir de fuentes no renovables. [22] [3]
2. Estabilización de la red eléctrica: Los BESS pueden ayudar a estabilizar la red eléctrica al proporcionar energía adicional durante momentos de alta demanda o en caso de fallas en la red. [22] [3]

3. Reducción de costos: Los BESS pueden ayudar a reducir los costos de la energía eléctrica al permitir a los usuarios comprar energía a bajo costo cuando la demanda es baja y usarla cuando la demanda es alta, evitando así tener que comprar energía a precios más altos. [22]
4. Optimización del uso de la red eléctrica: Al utilizar los BESS estratégicamente, es posible reducir la necesidad de inversiones costosas en infraestructura de red adicional. Los BESS pueden ayudar a nivelar la carga, mejorar la calidad de la energía y proporcionar servicios auxiliares a la red eléctrica, como regulación de frecuencia y control de voltaje. Esto puede resultar en una mayor eficiencia operativa y una mejor utilización de los activos existentes.
5. Reducción de emisiones y sostenibilidad: Al facilitar una mayor penetración de las energías renovables y mejorar la eficiencia de la red eléctrica, los BESS contribuyen a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y promueven la transición hacia un sistema energético más limpio y sostenible.
6. Flexibilidad y modularidad: Los BESS son sistemas flexibles y modulares que se pueden adaptar a diferentes necesidades y escalas. Pueden ser instalados tanto a nivel residencial como a nivel industrial o a gran escala, lo que los hace versátiles y adecuados para una amplia variedad de aplicaciones.
7. Solución segura y confiable para la energía de respaldo: Los BESS pueden proporcionar energía de respaldo en caso de interrupciones en el suministro eléctrico o en situaciones de emergencia, lo que los convierte en una solución segura y confiable para garantizar el suministro de energía en todo momento. [22] [3]

#### **1.4.6 Desafíos y limitaciones de los BESS.**

Existen varios desafíos y limitaciones asociados con los BESS, uno de los principales desafíos es la ubicación remota de las instalaciones BESS, lo que dificulta el despliegue, el acceso y el mantenimiento. Otro desafío es la necesidad de actualizaciones de vulnerabilidades de software, que es un nuevo requisito de mantenimiento de BESS. [23]

Los BESS también tiene algunas desventajas, incluidos costos iniciales más altos, problemas con el rendimiento o la vida útil y una mayor necesidad de mantenimiento y monitoreo. [24]

Las aseguradoras siguen desconfiando de BESS debido a su historial limitado, su perfil de riesgo mal percibido y sus eventos de pérdidas de primera generación. [25]

Por último, existen limitaciones de vida útil en BESS multiservicio, que pueden afectar su rendimiento y eficiencia. [26]

Abordar estos desafíos requiere un enfoque multidisciplinario que implique experiencia técnica, colaboración con las partes interesadas y el compromiso de mantenerse informado sobre los últimos avances en las tecnologías BESS. La supervisión y el mantenimiento periódicos también son cruciales para garantizar un rendimiento óptimo y continuo después de la puesta en servicio. [27]

#### **1.4.7 Diseño y dimensionamiento de BESS.**

El diseño y dimensionamiento de los sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías (BESS) es un proceso que requiere considerar varios factores como:

1. Identificación de necesidades: Determinar las necesidades específicas del sistema, como la capacidad de almacenamiento requerida, la potencia de salida, la duración de la descarga, entre otros.
2. Selección de tecnología de batería: Elegir la tecnología de batería más adecuada en función de las necesidades identificadas. Las baterías de iones de litio son comúnmente utilizadas en los BESS. [28]
3. Dimensionamiento del sistema: Determinar el tamaño óptimo del sistema en función de las necesidades identificadas y los costos de instalación, operación y degradación. [29]
4. Diseño del sistema: Diseñar el sistema para maximizar su eficiencia y vida útil. Esto puede incluir la selección de un inversor bidireccional, la configuración de las baterías, el diseño del sistema de gestión de energía, entre otros. [28] [29]
5. Implementación del sistema: Implementar el sistema y realizar pruebas para asegurar que cumple con las especificaciones de diseño. [28] [29]

#### **1.4.8 Políticas y marcos regulatorios relacionados con los BESS.**

En relación con los sistemas de almacenamiento de energía (BESS), existen diversos marcos regulatorios y políticas que abordan su implementación y operación. A continuación, se presentan algunos ejemplos relevantes:

En Chile, se ha establecido un marco regulatorio para el almacenamiento de energía, el cual incluye disposiciones para la reserva en giro y la definición de servicios, así como la regulación de los precios marginales nodales y otras consideraciones relacionadas con el almacenamiento de energía. [30]

La Unión Europea ha implementado una nueva normativa sobre baterías, la cual incluye la declaración de la huella de carbono, el pasaporte de baterías y la armonización de las baterías producidas y comercializadas en la Unión Europea. [31]



**Figura 8.** Pasaporte Europeo de Baterías. [31]

En España, se han establecido normas relativas a la puesta en el mercado de pilas, acumuladores y baterías, así como disposiciones sobre los sistemas de responsabilidad ampliada del productor. [32]

Ecuador está desarrollando políticas y marcos regulatorios para apoyar la implementación de sistemas de almacenamiento de energía en baterías (BESS) como parte de su estrategia de energía renovable. El Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables ha actualizado el Plan Maestro de Electricidad (PME) hasta 2031, que incluye la incorporación de 1.44 [GW] de energía renovable, incluidos proyectos BESS. [33]

El Grupo del Banco Mundial ha encargado un estudio para evaluar el uso de tecnologías de almacenamiento de energía, incluido BESS, para mejorar la flexibilidad del sistema eléctrico en Ecuador. [34]

Además, el país ha lanzado un proceso de selección pública para la construcción de grandes plantas de energía solar y eólica, así como una microrred inteligente con BESS, para apoyar los objetivos de descarbonización. [35].

Estas iniciativas tienen como objetivo atraer inversión privada y mejorar la infraestructura energética del país.

#### **1.4.9 Mantenimiento de BESS.**

El mantenimiento de BESS incluye limpieza de rutina, reemplazo de componentes desgastados o dañados y realización de pruebas de capacidad de las baterías para garantizar su capacidad de almacenamiento eficiente y continua [36]. Los aspectos clave del mantenimiento de BESS son:

1. Control de temperatura: Las temperaturas excesivas pueden dañar las celdas de las baterías, por lo que se utilizan sistemas de refrigeración como aire acondicionado o ventiladores para regular la temperatura de las baterías. [36]
2. Calibración: Ajustar la configuración del sistema para optimizar el rendimiento, como la configuración de carga y descarga, para garantizar que las baterías solo se carguen y descarguen dentro de su rango operativo seguro. [36]
3. Monitoreo y análisis de datos: Monitorear el desempeño del sistema y analizar los datos para identificar problemas potenciales y tomar acciones correctivas. [36]
4. Protección contra daños físicos y cortes de energía: Instalar barreras físicas para proteger el sistema contra daños y asegurar todas las medidas de extinción de incendios para la seguridad de todo el sistema. [36]

#### **1.4.10 Seguridad y gestión de riesgos en la operación de BESS.**

La seguridad y la gestión de riesgos son aspectos críticos en la operación de BESS. Dado que los BESS involucran la manipulación y almacenamiento de energía, es importante implementar medidas adecuadas para garantizar la seguridad de las personas, la protección del equipo y la mitigación de riesgos potenciales. A continuación, se presentan algunos aspectos clave relacionados con la seguridad y la gestión de riesgos en la operación de los BESS:

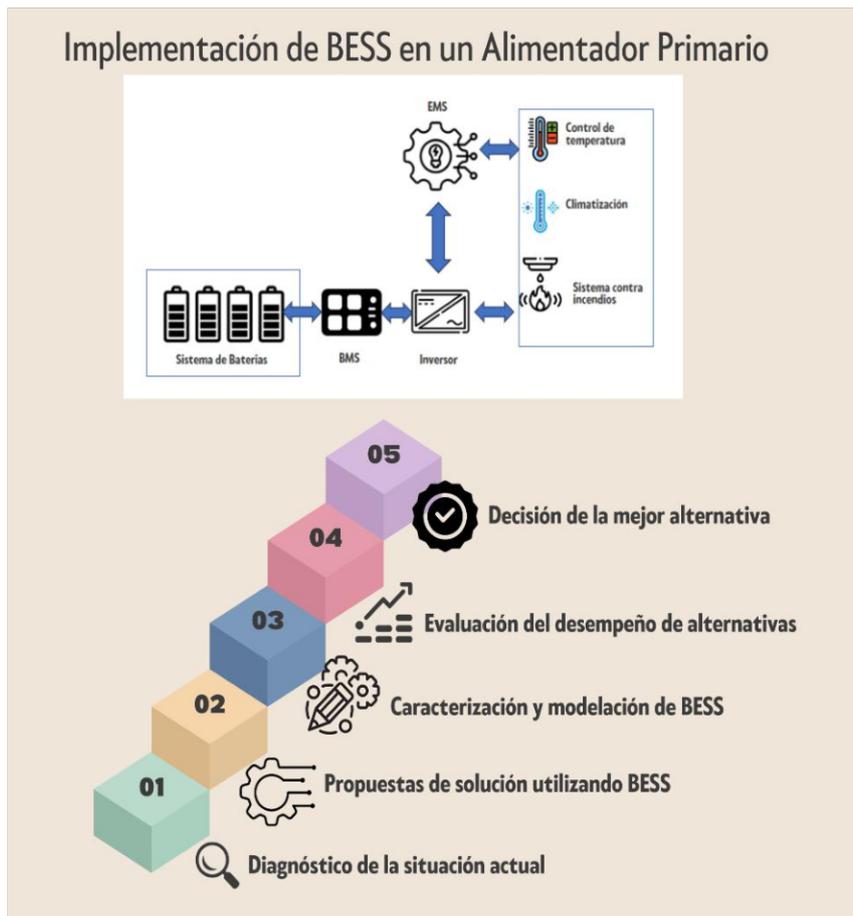
1. Diseño y construcción seguros: Es esencial que los BESS se diseñen y construyan de acuerdo con las normas y regulaciones de seguridad aplicables. Esto incluye aspectos como la selección adecuada de componentes, la instalación segura, el cumplimiento de los requisitos eléctricos y de protección contra incendios, y la consideración de la seguridad estructural. [37]
2. Evaluación y mitigación de riesgos: Antes de la puesta en marcha de un BESS, se debe realizar una evaluación exhaustiva de los riesgos asociados. Esto implica identificar los posibles peligros, como cortocircuitos, sobrecargas, sobrecalentamiento, fugas de electrolito o incendios, y desarrollar estrategias para mitigarlos. Se pueden aplicar medidas de protección, como sistemas de extinción de incendios, sistemas de ventilación adecuados y sistemas de protección contra sobrecorriente. [20]

3. Capacitación y entrenamiento: Es fundamental que el personal que opera los BESS reciba una capacitación adecuada sobre los procedimientos de seguridad y las precauciones a seguir. Esto incluye el conocimiento de las características del BESS, los procedimientos de operación seguros, el protocolo de respuesta ante emergencias y el manejo adecuado de situaciones de riesgo. La capacitación regular y la actualización del personal son importantes para mantener un alto nivel de seguridad. [38]
4. Procedimientos de emergencia: Se deben establecer procedimientos claros de respuesta ante emergencias en caso de que ocurra un incidente o una situación de riesgo. Esto incluye la notificación adecuada, la evacuación segura de las personas, el aislamiento del sistema y la colaboración con los servicios de emergencia. Los procedimientos de emergencia deben estar documentados y comunicados a todo el personal involucrado en la operación de los BESS. [38]
5. Cumplimiento normativo y estándares de seguridad: Los BESS deben cumplir con las regulaciones y los estándares de seguridad relevantes en la jurisdicción en la que se encuentren. Esto incluye normativas eléctricas, de protección contra incendios, de manejo de sustancias peligrosas y de seguridad laboral. Es importante tener en cuenta las actualizaciones normativas y asegurarse de que los BESS cumplan con los requisitos actuales. [20]

La seguridad y la gestión de riesgos deben ser consideradas como un proceso continuo en la operación de los BESS. Es fundamental realizar revisiones periódicas, evaluar y actualizar los procedimientos de seguridad, y estar al tanto de las mejores prácticas y avances tecnológicos en el campo de los sistemas de almacenamiento de energía.

## **2. METODOLOGÍA**

La metodología se basa en un proceso de 5 pasos que tiene como enfoque: el flujo de carga, los niveles de voltaje y las pérdidas en el alimentador primario. A continuación, se describen estos pasos:



**Figura 9.** Metodología.

#### **1.1. Diagnóstico de la situación actual.**

El diagnóstico de la situación actual de un alimentador primario implica varios aspectos técnicos y operativos. Los puntos por considerar son:

- Recopilación de datos: Es fundamental recoger datos de consumo mensual a nivel de usuario final, datos de potencia, voltajes.
- Evaluar la red eléctrica existente en el alimentador primario: Analizando la capacidad de carga, voltajes, la demanda de energía y pérdidas.
- Identificar los nodos críticos donde el BESS podría mejorar la calidad de la energía.

#### **1.2. Propuestas de solución utilizando BESS.**

- Implementación de BESS adecuado para las necesidades: Puede ser un sistema de almacenamiento de energía en baterías, de corriente alterna o de corriente continua.

- Implementación de BESS considerando los niveles de voltaje críticos y pérdidas más significativas.
- Implementación de BESS considerando la ubicación: mitad y final del alimentador primario.

### **1.3. Caracterización y modelación de BESS.**

- Diseñar la modelación del BESS en el alimentador primario. Esto incluye la ubicación de las baterías, inversores, transformadores y otros componentes.
- Calcular los requerimientos eléctricos para el BESS.
- Conectar el BESS al alimentador primario, cumpliendo con las normas de seguridad y los requisitos de interconexión
- Definir los puntos de conexión y las distancias entre los componentes.

### **1.4. Evaluación del desempeño de alternativas.**

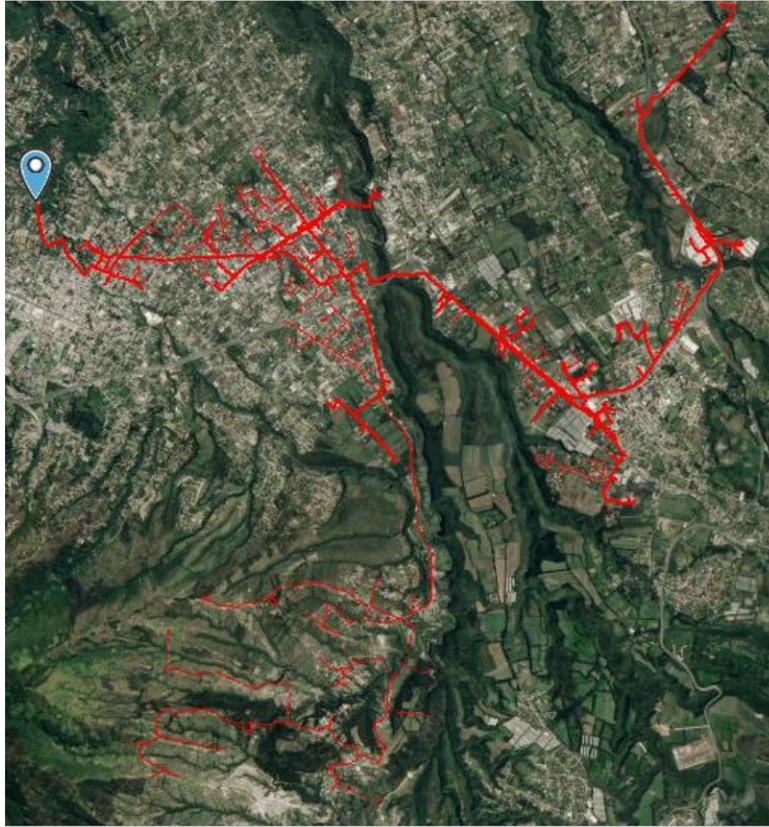
- Modelación digital: Se realiza la modelación digital por medio de un programa computacional para el estado actual del alimentador, como con la implementación de medidas correctivas propuestas.
- Realizar pruebas de funcionamiento para verificar que el BESS cumple con los objetivos establecidos.
- Validar la capacidad de respuesta del BESS ante fluctuaciones de carga y eventos de la red.

### **1.5. Decisión de la mejor alternativa.**

- En base a la evaluación de alternativas se selecciona la mejor alternativa al implementar en un alimentador primario.

### 2.1.1 Caso base.

Para la aplicación de la metodología se utilizará el alimentador primario 36C que pertenece a la subestación Tumbaco, el cual es modelado en el programa de análisis de redes eléctricas CYMDIST.



**Figura 10.** Alimentador 36C en CYMDIST.

A continuación, se exponen las propiedades del alimentador 36C:

Red	Fuente	Equivalente	Demanda	Limitadores	Armónicos	Notas
Red						
Nombre:	36C					
Tipo de red:	Alimentador					
Medio ambiente:	Desconocido					Más...
Color:	[Red]					
Proximidad:	0:00 (Duración del trayecto hh:mm)					
Grupos de redes						
Área:	NORESTE					
Nivel de tensión:	22.86KV					
Región:						

**Figura 11.** Nivel de tensión y área del alimentador 36C.

Red	Fuente	Equivalente	Demanda	Limitadores	Armónicos	Notas
<b>Fuente</b>						
Tipo de fuente:	Equivalente (Desde la base de datos Eq) ▼					
Nombre dispositivo:	SE_36_T1 ▼					
Nombre:	SE36C					
Tensión de servicio:	A	B	C	<input checked="" type="checkbox"/> Balanceado	kVLL ▼	
	22,86	22,86	22,86			
Nivel:	Nivel bajo de fallas ▼					
<b>Nodo de fuente</b>						
Nombre:	SE36C					
Zona:	NO-DEFINIDO ▼					
Despliegue:	Mostrar como un nodo ▼					
Coordenada X:	788466,31					
Coordenada Y:	9977666,43					
Latitud:	-0,2018508 ◦					
Longitud:	-78,4085001 ◦					

**Figura 12.** Fuente del alimentador 36C.

Se selecciona balanceado para poder realizar distribución de carga y flujo de carga sin errores.

Dentro del apartado de nivel se tiene: nivel bajo de fallas y nivel alto de fallas, esto depende de lo que se tenga aguas arriba del alimentador.

Red	Fuente	Equivalente	Demanda	Limitadores	Armónicos	Notas
<b>Modelo de carga</b>						
Modelo:	DEFAULT ▼					
<b>Tensiones del equivalente de fuente</b>						
Nominal:	22,86	kVLL		<input checked="" type="checkbox"/> Equilibrado		
Servicio:	A	B	C	kVLL ▼		
	22,86	22,86	22,86			
Ángulo:	0,0	-120,0	120,0	◦		
<b>Equivalente de la fuente</b>						
Nivel:	Nivel bajo de fallas ▼					
Modo:	Impedancias equivalentes ▼					
Unidad:	$\Omega$ ▼ Potencia de base: 100,0 MVA					
	Nivel bajo de fallas			Nivel alto de fallas		
	R	X		R	X	
Z1	0,204 $\Omega$	2,801 $\Omega$		0,204 $\Omega$	2,801 $\Omega$	
<input type="checkbox"/> Z2	0,204 $\Omega$	2,801 $\Omega$		0,204 $\Omega$	2,801 $\Omega$	
Z0	0,086 $\Omega$	2,162 $\Omega$		0,086 $\Omega$	2,162 $\Omega$	
<b>Equivalente de carga</b>						
	A	B	C	Tipo de carga: kW & FP ▼		
kW	22,86	22,86	22,86			
FP	2,08	2,08	2,08			

**Figura 13.** Equivalente del alimentador 36C.

Dentro del equivalente se observa las 3 fases de un sistema eléctrico (A, B y C), con sus respectivos niveles de voltaje y con secuencia potencia ( $0^\circ$ ,  $-120^\circ$  y  $+120^\circ$ ).

Se tiene también parámetros de impedancias equivalentes donde:

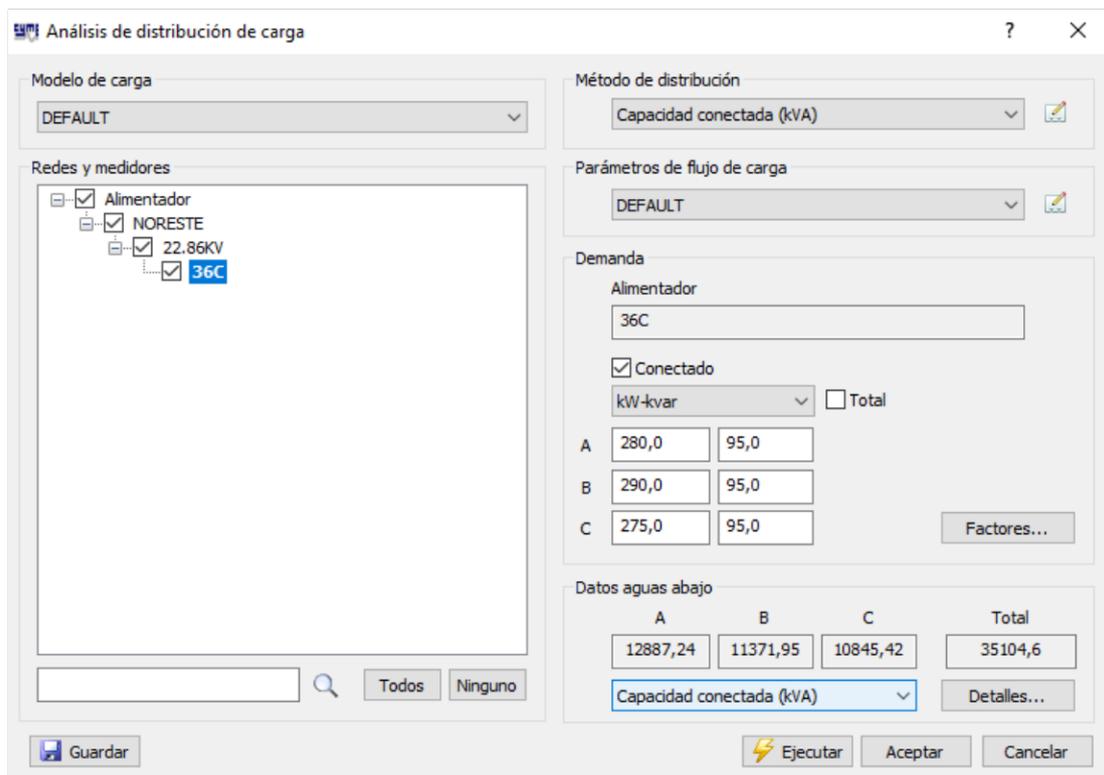
Z1 (Impedancia de secuencia positiva): Representa la impedancia en condiciones normales de operación, cuando las tres fases están balanceadas y desplazadas entre sí por 120 grados. [39]

Z2 (Impedancia de secuencia negativa): Representa la impedancia bajo condiciones de falla, cuando una de las fases se invierte. [39]

Z0 (Impedancia de secuencia cero): Representa la impedancia cuando las tres fases están en fase entre sí. Esta condición puede ocurrir durante ciertos tipos de fallas, como las fallas a tierra. [39]

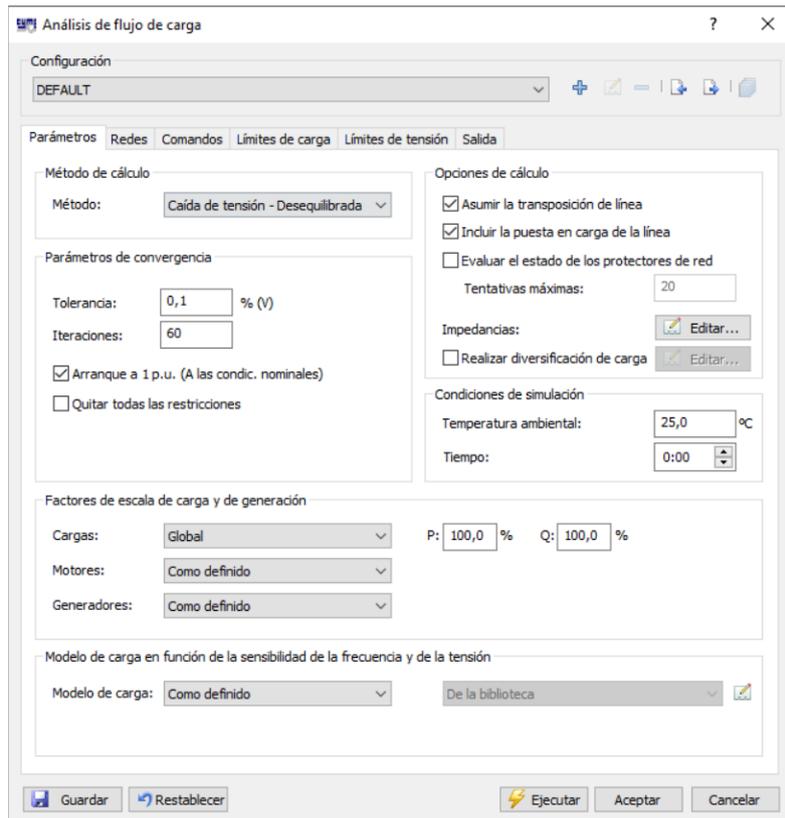
Para realizar el flujo de carga se tiene las siguientes consideraciones:

1. Se genera una distribución de carga en el alimentador:



**Figura 14.** Configuración de distribución de carga.

2. Se configura el análisis de flujo de carga de la siguiente manera:



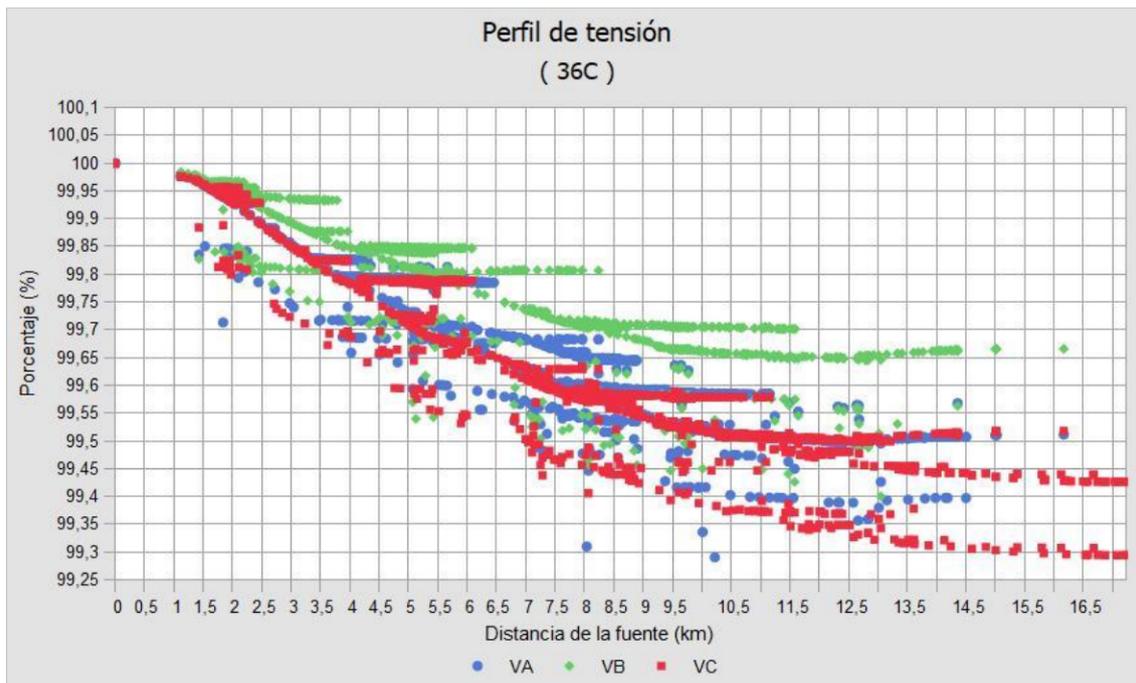
**Figura 15.** Configuración de parámetros de flujo de carga.

Se considera el método: caída de tensión-desequilibrada porque se tiene una red radial y por la naturaleza de las cargas.

Condición	Nominal (%)	Planificación (%)	Alarma (%)	Nivel 4 (%)	Nivel 5 (%)
Sobretensión	105,0	105,0	105,0	105,0	105,0
Subtensión	95,0	95,0	95,0	95,0	95,0

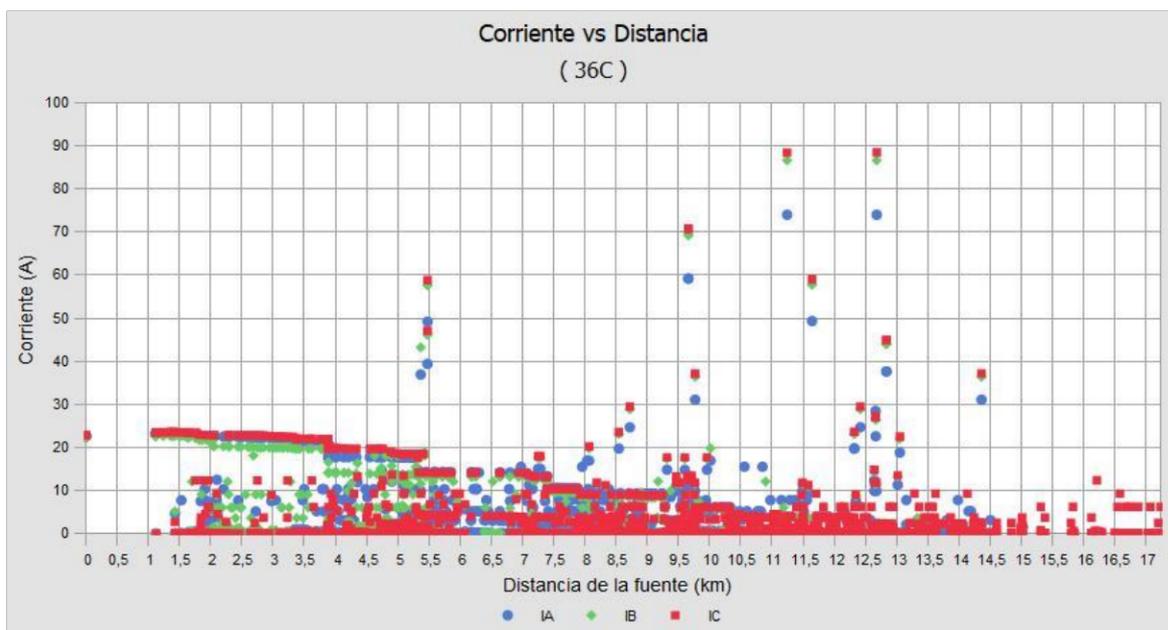
**Figura 16.** Límites de tensión de flujo de carga.

Al ejecutar el análisis de flujo de carga se obtiene los siguientes resultados:



**Figura 17.** Perfil de tensión alimentador 36C.

De la figura 17 se observa que el porcentaje de tensión esta entre el 100% y 99.3%.



**Figura 18.** Corriente vs Distancia en cada fase.

De la figura 18 se distingue que la corriente tiene un máximo de 88.48 [A] y un mínimo de 0 [A].

Se tiene los siguientes reportes de flujo de carga:

**Tabla 1.** Resumen total de flujo de carga.

<b>Resumen total</b>	<b>kW</b>	<b>kvar</b>	<b>kVA</b>	<b>FP (%)</b>
Fuentes (Potencia de equilibrio)	844,99	284,77	891,68	94,76
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Producción total</b>	<b>844,99</b>	<b>284,77</b>	<b>891,68</b>	<b>94,76</b>
Carga leída (no regulada)	776,43	860,60	1159,08	66,99
Carga utilizada (regulada)	776,38	860,57	1159,03	66,99
Condensadores shunt (regulados)	0,00	0,00	0,00	0,00
Reactancias shunt(reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cargas totales</b>	<b>776,38</b>	<b>860,57</b>	<b>1159,03</b>	<b>66,99</b>
Capacitancia del cable	0,00	-490,20	490,20	0,00
Capacitancia de la línea	0,00	-89,82	89,82	0,00
<b>Capacitancia shunt total</b>	<b>0,00</b>	<b>-580,02</b>	<b>580,02</b>	<b>0,00</b>
Pérdidas en las líneas	1,81	2,98	3,49	51,96
Pérdidas en los cables	0,21	0,26	0,34	62,80
Pérdidas de carga del transformador	0,22	0,97	1,00	22,47
Pérdidas en vacío del transformador	66,35	0,00	66,35	100,00
<b>Pérdidas totales</b>	<b>68,60</b>	<b>4,21</b>	<b>68,73</b>	<b>99,81</b>

**Tabla 2.** Condiciones anormales de flujo de carga.

<b>Condiciones anormales</b>	<b>Fase</b>	<b>Conteo</b>	<b>Peor caso</b>	<b>Valor</b>
Sobrecarga	A	0	1218911MS	23,19 %
	B	0	1218911MS	22,59 %
	C	0	1218911MS	23,44 %
Subtensión	A	0	210901MA	99,29 %
	B	0	1126102MS	99,40 %
	C	0	2002275MA	99,29 %
Sobretensión	A	0	1121938MS	100,00 %
	B	0	36C	100,00 %
	C	0	1121938MS	100,00 %

**Tabla 3.** Costo anual de las pérdidas del sistema.

<b>Costo anual de las pérdidas del sistema</b>	<b>kW</b>	<b>MW-h/año</b>	<b>k\$/año</b>
Pérdidas en las líneas	1,81	15,89	1,59
Pérdidas en los cables	0,21	1,85	0,19
Pérdidas de carga del transformador	0,22	1,96	0,20
Pérdidas en vacío del transformador	66,35	581,24	58,12
<b>Pérdidas totales</b>	<b>68,60</b>	<b>600,95</b>	<b>60,09</b>

## 2.1.2 Caso con regulador de voltaje.

Utilizando la herramienta de análisis de la ubicación óptima de reguladores de tensión según [40]:

The screenshot shows the 'Objetivos' (Objectives) configuration window of the software. The window title is 'Análisis de la ubicación óptima de reguladores de tensión'. The 'Objetivos' tab is selected, and the 'Métodos de optimización' (Optimization Methods) section is visible. The 'Nombre de configuración' (Configuration Name) is set to 'DEFAULT' and the 'Método de búsqueda' (Search Method) is 'Búsqueda secuencial'. The 'Objetivos' (Objectives) section includes three checked items: 'Perfil de tensión aplanado' (Flat voltage profile) with a weight of 100, 'Minimizar las tensiones anormales' (Minimize abnormal voltages), and 'Minimizar las pérdidas de potencia activa' (Minimize active power losses) with a weight of 1. The 'Opciones' (Options) section shows 'Número de reguladores' (Number of regulators) with a minimum of 1 and a maximum of 2, a search step of 0,5 km, and a checked option 'Omitir los reguladores existentes' (Omit existing regulators).

**Figura 19.** Configuración de objetivos.

The screenshot shows the 'Ubicaciones' (Locations) configuration window of the software. The window title is 'Análisis de la ubicación óptima de reguladores de tensión'. The 'Ubicaciones' tab is selected, and the 'Evaluar las ubicaciones aguas abajo de' (Evaluate locations downstream of) section is visible. The 'Seleccionados: 1' (Selected: 1) section shows a search bar with the text 'Buscar' and a search icon. Below the search bar, there is a tree view of the network elements: 'Alimentadores (1 / 1)' (Feeders (1 / 1)) with a checked box next to '36C', 'Tramos (0 / 3240)' (Segments (0 / 3240)) with a checked box next to '36C (0 / 3240)', and 'Nodos (0 / 2756)' (Nodes (0 / 2756)) with a checked box next to '36C (0 / 2756)'. The '36C' label is highlighted in blue.

**Figura 20.** Configuración de ubicaciones.

Objetivos Ubicaciones **Reguladores** Restricciones Salida

Seleccionar los reguladores de tensión

<input checked="" type="checkbox"/> Nombre del equipo	Capacidad nominal (A)	Tensión nominal (kV)	Sobretensión máxima (%)	Reducción de tensión máxima	# Tomas
<input checked="" type="checkbox"/> DEFAULT	31,3	14,40	10,0	10,0	32

Ajustes del control de los reguladores de tensión

Modo invertido

Modo:  ▼

Umbral:  %

Ajustes

Conexión:

Tensiones deseadas

	Ajustes en modo	Ajustes en modo	
A	<input type="text" value="124,0"/>	<input type="text" value="124,0"/>	(1V)
B	<input type="text" value="124,0"/>	<input type="text" value="124,0"/>	(1V)
C	<input type="text" value="124,0"/>	<input type="text" value="124,0"/>	(1V)

Mismos ajustes de fase

Ajustes generales

Ancho de banda:  voltios

Ancho banda contr.:  voltios

Sobretensión máx:  %

Reducción tensión máx:  %

**Figura 21.** Configuración de reguladores.

Restricciones

Considerar los límites de carga del regulador

Considerar la tensión nominal del regulador

Margen de límites de subtensión:   ▼

Margen de límites de sobretensión:   ▼

Límite de sobretensión máxima:  %

Límite de reducc. de tensión máxima:  %

Ventaja marginal mínima:  %

Distancia mínima desde la subestación:  km

Distancia mínima entre reguladores:  km

Ubicaciones

Solo incluir los tramos de la línea principal

Ignorar los tramos monofásicos

Ignorar los tramos bifásicos

Ignorar los tramos trifásicos

Ignorar los tramos aguas abajo de los fusibles

Ignorar tramos subterráneos

Ignorar tramos específicos

**Figura 22.** Configuración de restricciones.

Objetivos Ubicaciones Reguladores Restricciones **Salida**

Opciones del reporte detallado

Reportar todas las soluciones probadas  
 Número máximo de soluciones reportadas: 1000

Reportar solamente la solución óptima

Siempre reportar las pérdidas de potencia activa

Siempre reportar el número de tensiones anormales

Reportes

Seleccionar

Gráfico de los perfiles de tensión

Mostrar el gráfico del perfil de la mejor solución  
 Unidad de la tensión: 1V

Mostrar el gráfico del perfil de la red inicial

Tramos evaluados

Destacar los tramos evaluados

Color:

**Figura 23.** Configuración de salida.

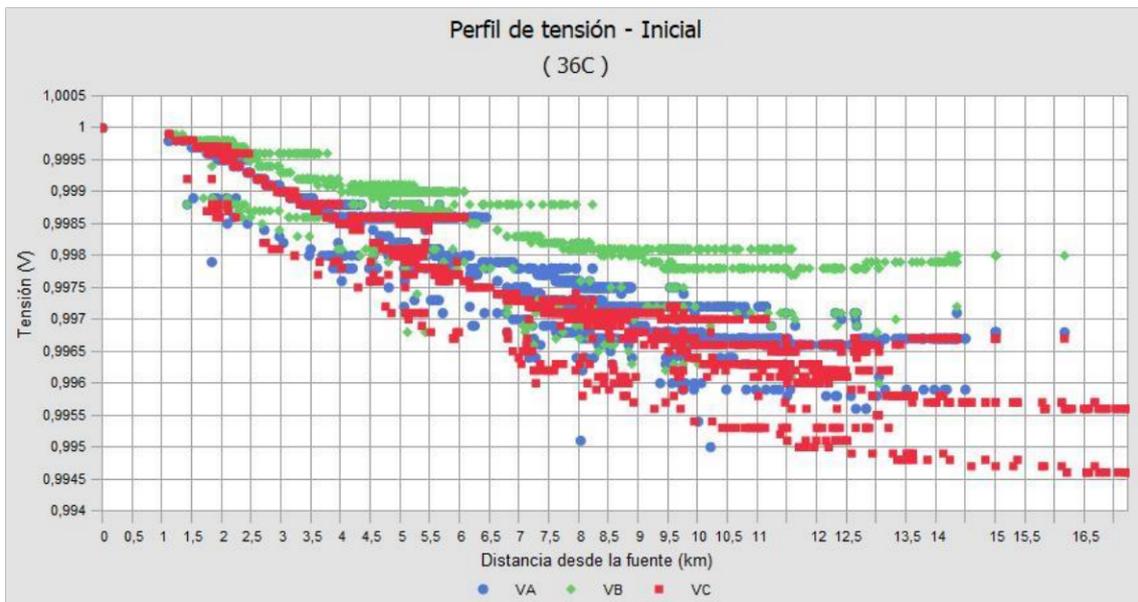


**Figura 24.** Configuración con reguladores nuevos.

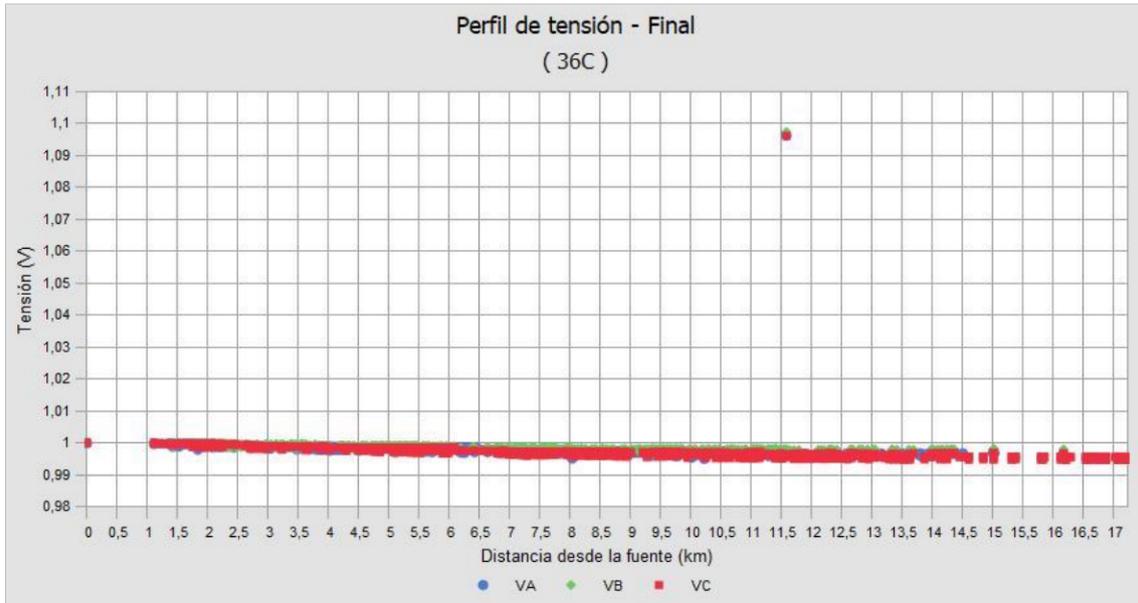
**Tabla 4.** Reporte detallado sobre la ubicación óptima de reguladores.

# Reguladores	Pérdidas totales (kW)	Índice de aplanamiento de la tensión	Número de sobretensión	Número de subtensión	Función objetiva	Ventajas de margen (%)	Tramo #1	Equipos #1	Tramo #2	Equipos #2
	68,3	0,0	0	0	100,000	0,0	Condición inicial			
1	68,3	0,2	3	0	550,997	- 451,0	54838MA	DEFAULT		
2	68,3	0,4	6	0	1002,978	- 82,0	54838MA	DEFAULT	2870 87M A	DEF AUL T

De las tablas 4 y 3 se observa que las pérdidas totales se redujeron de 68.6 [kW] a 68.3 [kW], con la implementación de dos reguladores.

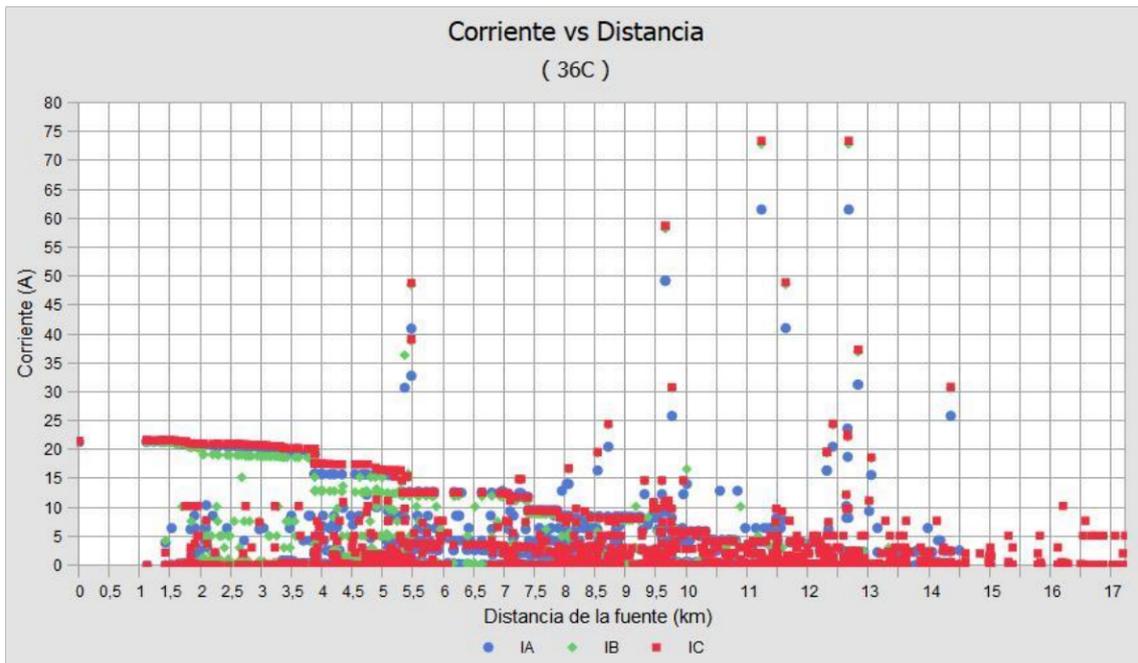


**Figura 25.** Perfil de tensión inicial (V vs km).



**Figura 26.** Perfil de tensión final (V vs km).

De las figuras 24 y 25, se observa que el perfil de tensión mejoró a 1 [V], como límite, aunque se tiene puntos anormales en 1.1 [V] que corresponden a la fase B y C.



**Figura 27.** Corriente vs Distancia con regulador de voltaje.

De la figura 27 se aprecia que el límite máximo de corriente disminuyó de 88.48 [A] a 73.42 [A].

Se obtiene los siguientes reportes de flujo de carga:

**Tabla 5.** Resumen total de flujo de carga con regulador de voltaje.

<b>Resumen total</b>	<b>kW</b>	<b>kvar</b>	<b>kVA</b>	<b>FP(%)</b>
Fuentes (Potencia de equilibrio)	845,00	0,02	845,00	100,00
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Producción total</b>	<b>845,00</b>	<b>0,02</b>	<b>845,00</b>	<b>100,00</b>
Carga leída (no regulada)	776,70	577,71	967,99	80,24
Carga utilizada (regulada)	776,67	577,69	967,96	80,24
Condensadores shunt (regulados)	0,00	0,00	0,00	0,00
Reactancias shunt(reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cargas totales</b>	<b>776,67</b>	<b>577,69</b>	<b>967,96</b>	<b>80,24</b>
Capacitancia del cable	0,00	-491,08	491,08	0,00
Capacitancia de la línea	0,00	-90,00	90,00	0,00
<b>Capacitancia shunt total</b>	<b>0,00</b>	<b>-581,08</b>	<b>581,08</b>	<b>0,00</b>
Pérdidas en las líneas	1,51	2,50	2,92	51,78
Pérdidas en los cables	0,18	0,23	0,29	62,32
Pérdidas de carga del transformador	0,16	0,67	0,69	22,49
Pérdidas en vacío del transformador	66,48	0,00	66,48	100,00
<b>Pérdidas totales</b>	<b>68,33</b>	<b>3,41</b>	<b>68,42</b>	<b>99,88</b>

**Tabla 6.** Condiciones anormales de flujo de carga con regulador de voltaje.

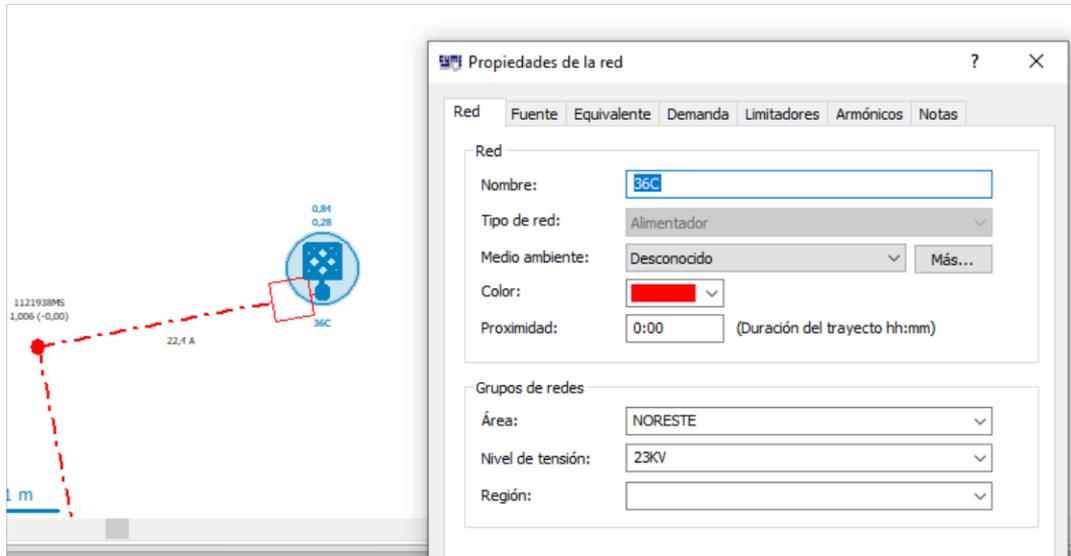
<b>Condiciones anormales</b>	<b>Fase</b>	<b>Conteo</b>	<b>Peor caso</b>	<b>Valor</b>
Sobrecarga	A	0	1218911MS	21,39 %
	B	0	1218911MS	21,24 %
	C	0	1218911MS	21,60 %
Subtensión	A	0	210901MA	99,50 %
	B	0	1126102MS	99,60 %
	C	0	2002275MA	99,46 %
Sobretensión	A	0	36C	100,00 %
	B	0	36C	100,00 %
	C	0	36C	100,00 %

**Tabla 7.** Costo anual de las pérdidas del sistema con regulador de voltaje.

<b>Costo anual de las pérdidas del sistema</b>	<b>kW</b>	<b>MW-h/año</b>	<b>k\$/año</b>
Pérdidas en las líneas	1,51	13,26	1,33
Pérdidas en los cables	0,18	1,60	0,16
Pérdidas de carga del transformador	0,16	1,36	0,14
Pérdidas en vacío del transformador	66,48	582,35	58,24
<b>Pérdidas totales</b>	<b>68,33</b>	<b>598,58</b>	<b>59,86</b>

### 2.1.3 Caso con repotenciación en APs.

Para la repotenciación se considera aumentar el nivel de voltaje de la subestación 36 a 23 [kV], para mejorar niveles de voltaje.



**Figura 28.** Modificación de nivel de tensión en subestación 36.

Realizando el flujo de carga se obtiene los siguientes resultados:

**Tabla 8.** Resumen total de flujo de carga con repotenciación.

<b>Resumen total</b>	<b>kW</b>	<b>kvar</b>	<b>kVA</b>	<b>FP (%)</b>
Fuentes (Potencia de equilibrio)	844,99	284,77	891,68	94,76
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Producción total</b>	<b>844,99</b>	<b>284,77</b>	<b>891,68</b>	<b>94,76</b>
Carga leída (no regulada)	775,63	867,80	1163,90	66,64
Carga utilizada (regulada)	775,59	867,77	1163,86	66,64
Condensadores shunt (regulados)	0,00	0,00	0,00	0,00
Reactancias shunt(reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cargas totales</b>	<b>775,59</b>	<b>867,77</b>	<b>1163,86</b>	<b>66,64</b>
Capacitancia del cable	0,00	-496,25	496,25	0,00
Capacitancia de la línea	0,00	-90,93	90,93	0,00
<b>Capacitancia shunt total</b>	<b>0,00</b>	<b>-587,18</b>	<b>587,18</b>	<b>0,00</b>
Pérdidas en las líneas	1,79	2,95	3,45	51,97
Pérdidas en los cables	0,21	0,26	0,33	62,82
Pérdidas de carga del transformador	0,22	0,97	0,99	22,47
Pérdidas en vacío del transformador	67,17	0,00	67,17	100,00
<b>Pérdidas totales</b>	<b>69,40</b>	<b>4,18</b>	<b>69,52</b>	<b>99,82</b>

**Tabla 9.** Condiciones anormales de flujo de carga con repotenciación.

Condiciones anormales	Fase	Conteo	Peor caso	Valor
Sobrecarga	A	0	1218911MS	23,06 %
	B	0	1218911MS	22,46 %
	C	0	1218911MS	23,30 %
Subtensión	A	0	210901MA	99,91 %
	B	0	1126102MS	100,01 %
	C	0	2002275MA	99,91 %
Sobretensión	A	0	1121938MS	100,61 %
	B	0	36C	100,61 %
	C	0	1121938MS	100,61 %

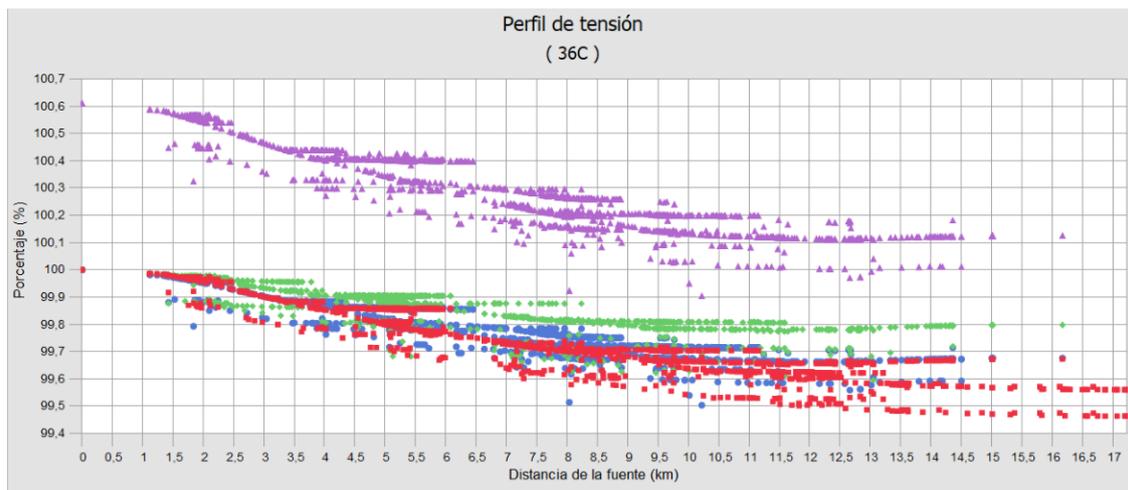
**Tabla 10.** Costo anual de las pérdidas del sistema con repotenciación.

Costo anual de las pérdidas del sistema	kW	MW-h/año	k\$/año
Pérdidas en las líneas	1,79	15,72	1,57
Pérdidas en los cables	0,21	1,83	0,18
Pérdidas de carga del transformador	0,22	1,95	0,20
Pérdidas en vacío del transformador	67,17	588,42	58,84
Pérdidas totales	69,40	607,93	60,79

De las tablas 2 y 9, se observa que las condiciones de sobrecarga disminuyeron de 23.19% a 23.06%, en la fase A, de 22.59% a 22.46% en la fase B, de 23.44% a 23.30% en la fase C.

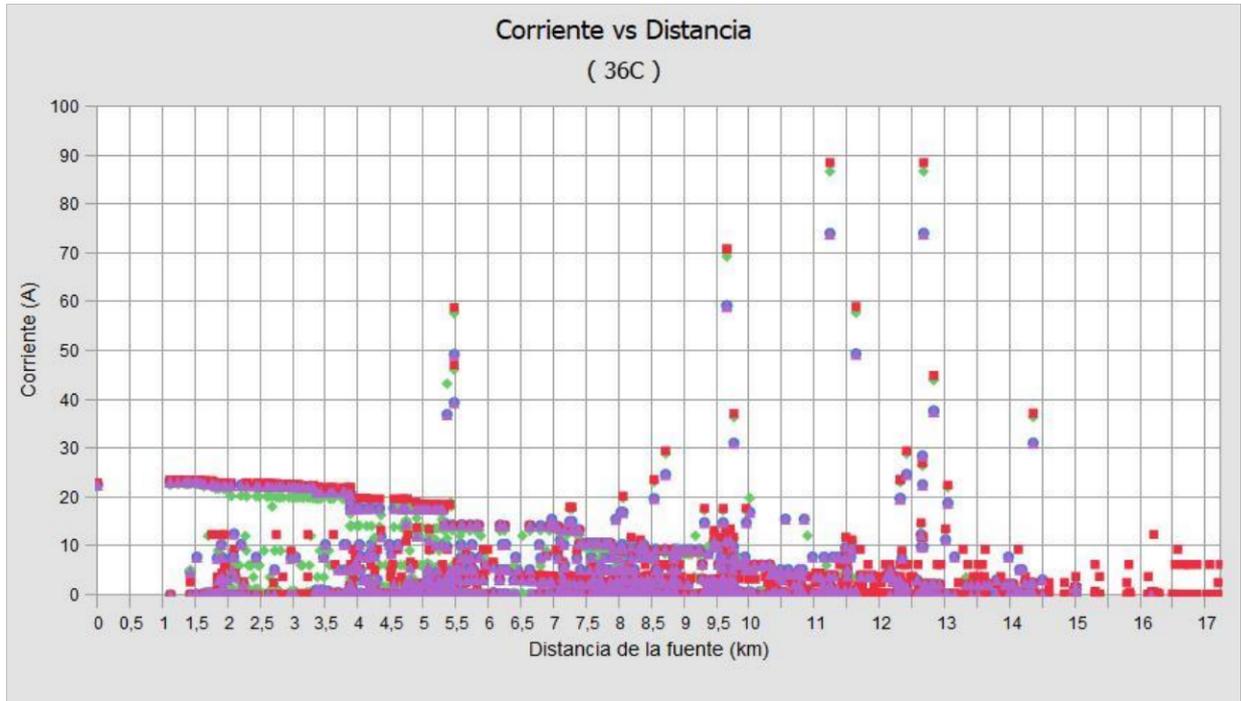
Mientras que las condiciones de subtensión aumentaron de 99.29% a 99.91% en la fase A, de 99.40% aumento 100.01% en la fase B, de 99.29% aumento a 99.91% en la fase C.

Por último, en la condición de sobretensión se aprecia un aumento de 100% a 100.61%. De las tablas 3 y 10 se observa un aumento en las pérdidas de 68.60 [kW] a 69.40 [kW].



**Figura 29.** Perfiles de tensión en caso base y con repotenciación.

De la figura 29 se observa que el porcentaje de tensión mejora, teniendo puntos entre 100.61% como máximo y 99.91% como mínimo (color morado), además se tiene que los puntos de perfil de tensión se encuentran más concentrados respecto al caso base debido a la repotenciación.



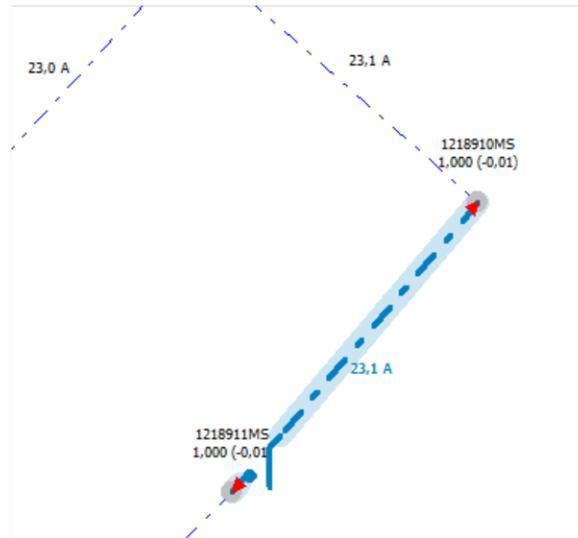
**Figura 30.** Corriente vs distancia en caso base y repotenciación.

De la figura 30 se distingue que con la repotenciación (color morado) la corriente disminuye de 88.48 [A] hasta 74.04 [A].

#### **2.1.4 Caso con BESS.**

Para el caso con BESS se toma como referencia la tabla 2, donde se tiene un elemento con sobrecarga.

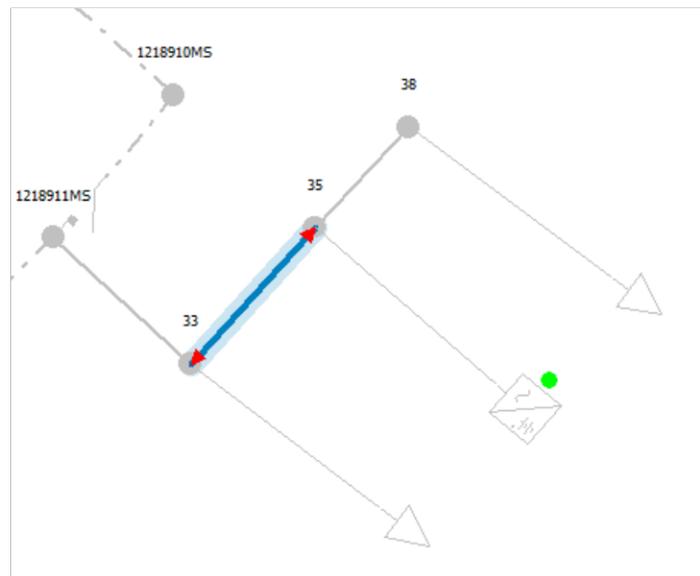
Sobrecarga: Elemento 1218911MS



**Figura 31.** Ubicación elemento 1218911MS.

Para implementar un BESS dentro de una red se tiene el siguiente procedimiento según [40]:

1. Se colocan líneas áreas desequilibradas cerca del elemento 1218911MS para formar un modelo de BESS.



**Figura 32.** Configuración de líneas aéreas desequilibradas.

Se crean los tramos 33, 35 y 38 los cuales se configuran de la siguiente manera:  
Para los tramos se consideran impedancias predeterminadas.

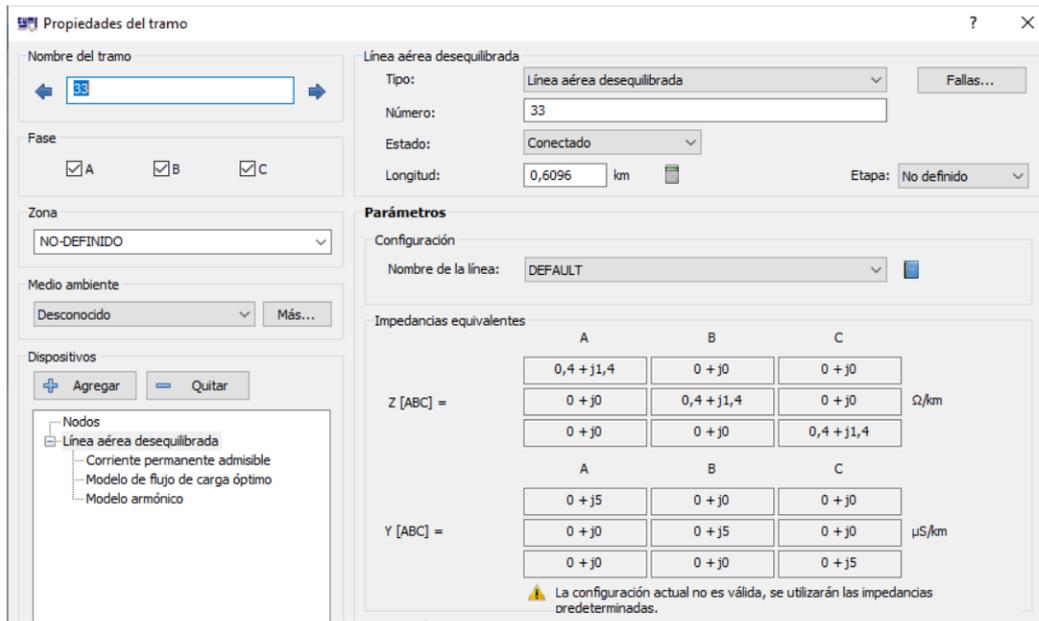


Figura 33. Configuración tramo 33.

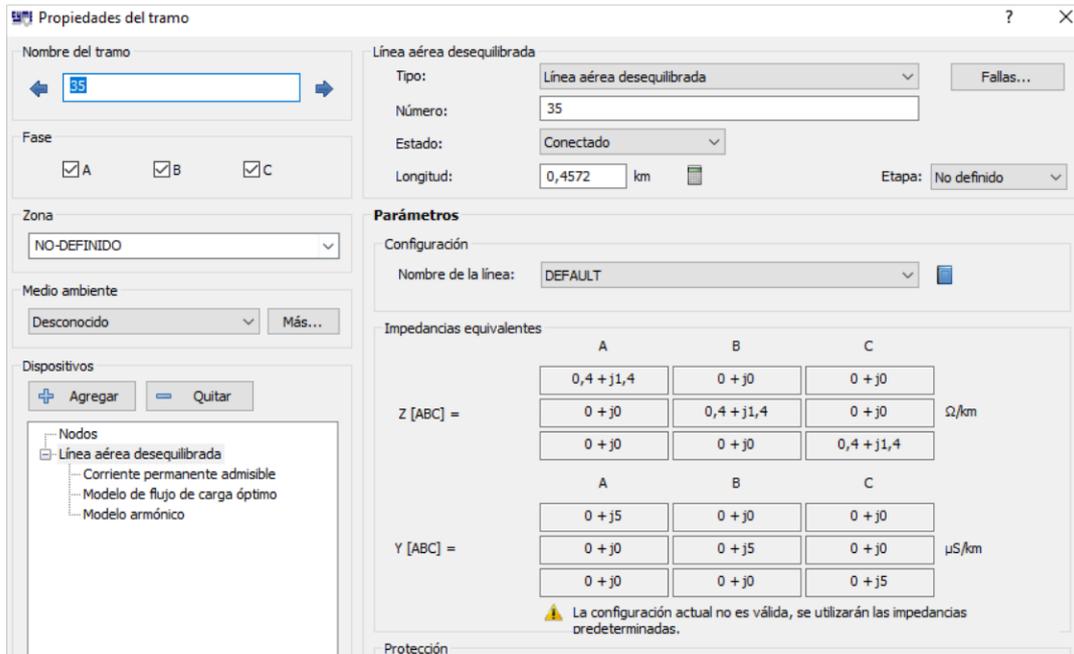


Figura 34. Configuración tramo 35.

**Propiedades del tramo**

Nombre del tramo:

Fase:  A  B  C

Zona:

Medio ambiente:  Más...

Dispositivos:

Nodos:

- Línea aérea desequilibrada
  - Corriente permanente admisible
  - Modelo de flujo de carga óptimo
  - Modelo armónico

**Línea aérea desequilibrada**

Tipo:

Número:

Estado:

Longitud:  km

Etapas:

**Parámetros**

Configuración:

Impedancias equivalentes

	A	B	C	
Z [ABC] =	<input type="text" value="0,4 + j1,4"/>	<input type="text" value="0 + j0"/>	<input type="text" value="0 + j0"/>	Ω/km
	<input type="text" value="0 + j0"/>	<input type="text" value="0,4 + j1,4"/>	<input type="text" value="0 + j0"/>	
	<input type="text" value="0 + j0"/>	<input type="text" value="0 + j0"/>	<input type="text" value="0,4 + j1,4"/>	
Y [ABC] =	<input type="text" value="0 + j5"/>	<input type="text" value="0 + j0"/>	<input type="text" value="0 + j0"/>	μS/km
	<input type="text" value="0 + j0"/>	<input type="text" value="0 + j5"/>	<input type="text" value="0 + j0"/>	
	<input type="text" value="0 + j0"/>	<input type="text" value="0 + j0"/>	<input type="text" value="0 + j5"/>	

La configuración actual no es válida, se utilizarán las impedancias predeterminadas.

**Figura 35.** Configuración tramo 38.

- Se colocan 2 tipos de carga: carga concentrada trifásica y carga concentrada por fase.

**Propiedades del tramo**

Nombre del tramo:

Fase:  A  B  C

Zona:

Medio ambiente:  Más...

Dispositivos:

Nodos:

- Carga concentrada trifásica

**Carga concentrada**

Número:

Estado:

Ubicación:

Etapas:

**Parámetros**

Modelo de carga:

Tipo de cliente:

Año:

Conexión:

Prioridad:

- Normal:
- Emergencia:

Distribución de carga:

- Estado:

Formato:

Potencia real:  kW

Potencia reactiva:  kvar

Consumo:  kWh

Capacidad conectada:  kVA

Clientes:

**Figura 36.** Configuración carga concentrada trifásica.



**Figura 37.** Configuración dinámica a largo plazo de carga concentrada trifásica.

Propiedades del tramo

Nombre del tramo: [ ]

Fase:  A  B  C

Zona: NO-DEFINIDO

Medio ambiente: Desconocido

Dispositivos: [ Agregar ] [ Quitar ]

Nodos: Carga concentrada por fase

Carga concentrada

Número: 40 [ Fallos... ]

Estado: Conectado

Ubicación: [ ] Etapa: No definido

Parámetros

Modelo de carga: DEFAULT

Tipo de cliente: Industrial

Año: 2015

Conexión: [ ]

Prioridad Normal: NINGUNO

Emergencia: NINGUNO

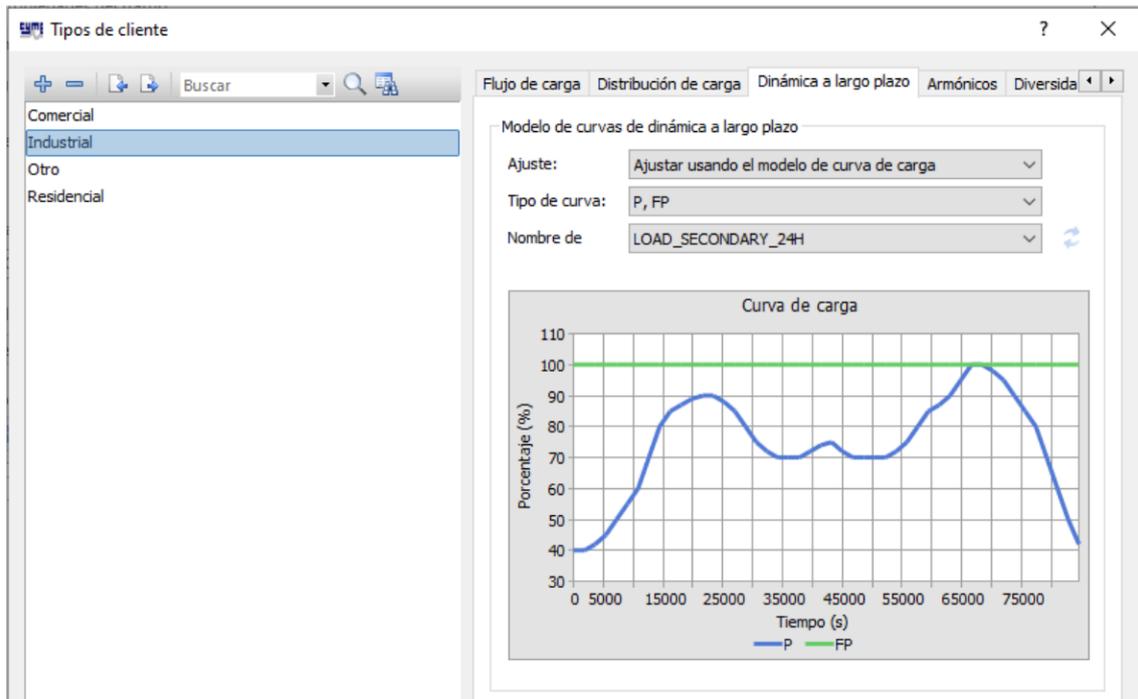
Distribución de carga Estado: Desbloqueado

	A	B	C	Total	
Potencia real:	50,0	50,0	50,0	150,0	kW
Potencia reactiva:	0,0	0,0	0,0	0,0	kvar
Consumo:	0,0	0,0	0,0	0,0	kWh
Capacidad conectada:	0,0	0,0	0,0	0,0	kVA
Clientes:	0,0	0,0	0,0	0,0	

Formato: kW & kvar

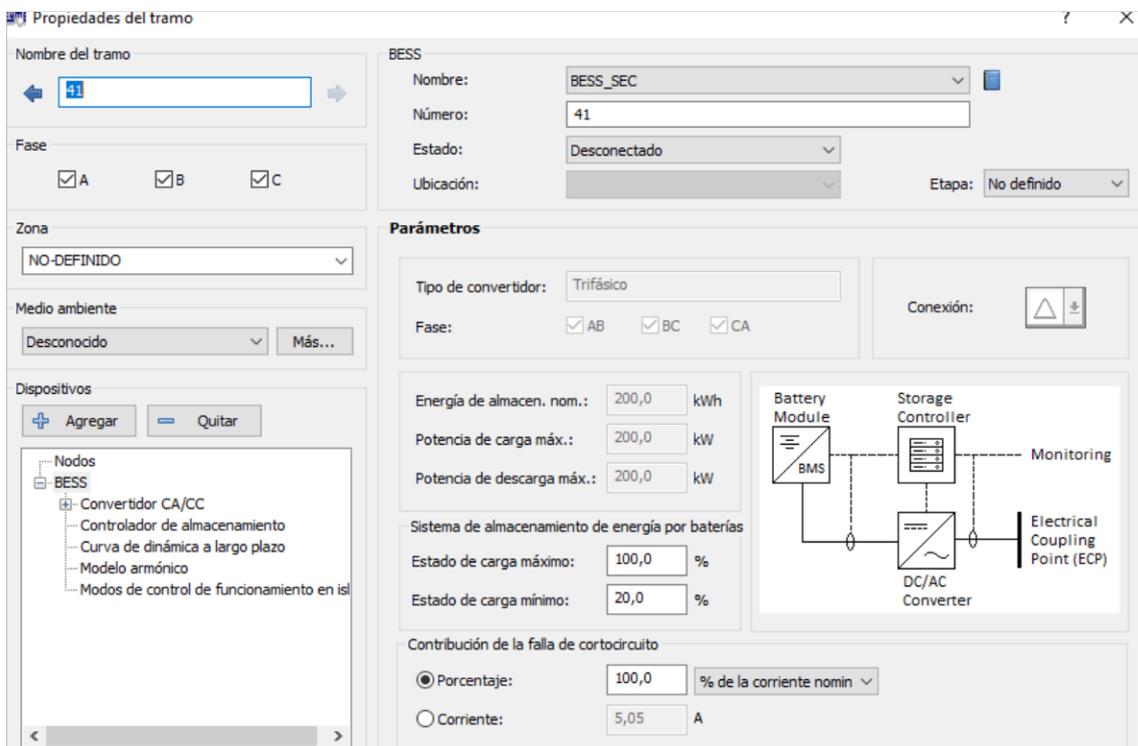
[ Detalles... ]

**Figura 38.** Configuración carga concentrada por fase.



**Figura 39.** Configuración dinámica a largo plazo de carga concentrada por fase.

3. Se coloca el BESS en la mitad de las cargas antes mencionadas.



**Figura 40.** Configuración de parámetros de BESS.

Propiedades del tramo

Nombre del tramo: 41

Fase:  A  B  C

Zona: NO-DEFINIDO

Medio ambiente: Desconocido

Dispositivos:
 

- Agregar
- Quitar
- Nodos
  - BESS
    - Convertidor CA/CC
    - Controlador de almacenamiento
    - Curva de dinámica a largo plazo
    - Modelo armónico
    - Modos de control de funcionamiento en isl

BESS:
 

- Nombre: BESS\_SEC
- Número: 41
- Estado: Desconectado
- Ubicación: [ ]
- Eta: No definido

Convertidor CA/CC:
 

- Nombre del convertid: DEFINIDO POR EL USUARIO
- Fabricante: [ ]
- Modelo: [ ]
- Norma: [ ]
- Monofásico
- Trifásico
- Rendimiento: 100,0 %
- Pérdidas internas: 0,0 W
- Lado CC:
  - Tensión nominal CC (Vdc): 0,5 kV
  - Capacitador CC (Cdc): 15000,0  $\mu$ F
- Lado CA:
  - Capacidad nominal: 500,0 kVA
  - Pot. nom. activa: 500,0 kW
  - Pot. nom. reactiva: 500,0 kvar
  - Factor energía mín +/-: 0,0 %
  - Elemento de acoplamiento interno
  - Resist. de acoplamiento (R): 0,0  $\Omega$
  - Induct. de acoplamiento (L): 0,006 H

Figura 41. Configuración de convertidor CA/CC.

Propiedades del tramo

Nombre del tramo: 41

Fase:  A  B  C

Zona: NO-DEFINIDO

Medio ambiente: Desconocido

Dispositivos:
 

- Agregar
- Quitar
- Nodos
  - BESS
    - Convertidor CA/CC
    - Controlador de almacenamiento
    - Curva de dinámica a largo plazo
    - Modelo armónico
    - Modos de control de funcionamiento en isl

BESS:
 

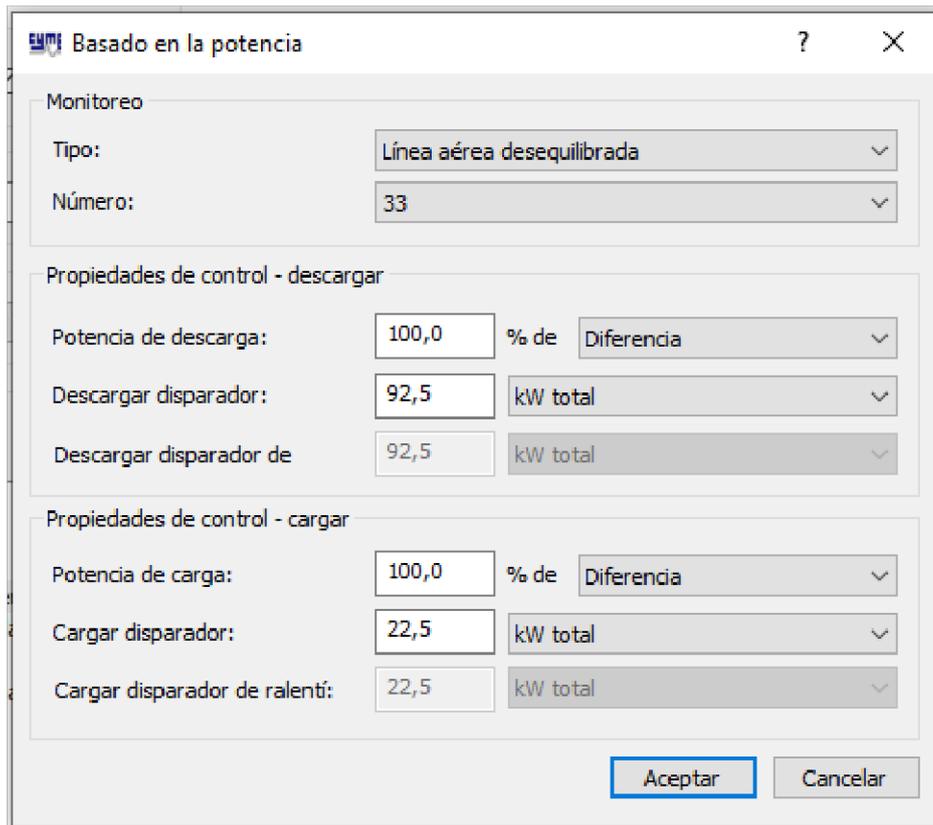
- Nombre: BESS\_SEC
- Número: 41
- Estado: Desconectado
- Ubicación: [ ]
- Eta: No definido

Controlador de almacenamiento:
 

- Estado inicial de carga: 50,0 %
- Calcular la salida de la rejilla: Comandos
- Controles de almacenamiento de energía:
 

Tipo de control	Modo
Monitoreo de la potencia	Basado en la potencia
- Restricciones del aumento y de la disminución:
  - Límite del aumento: 0,0 %/min

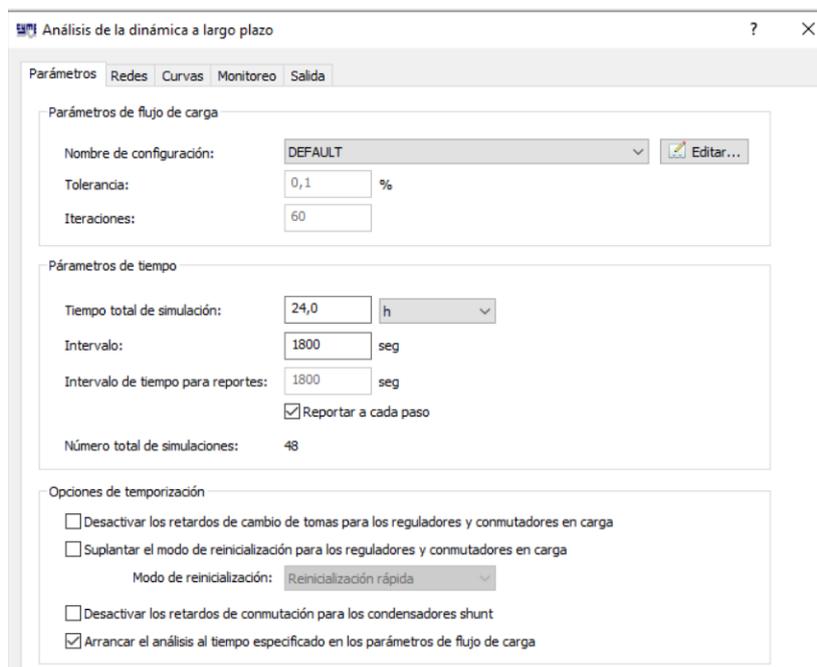
Figura 42. Configuración de controlador de almacenamiento.



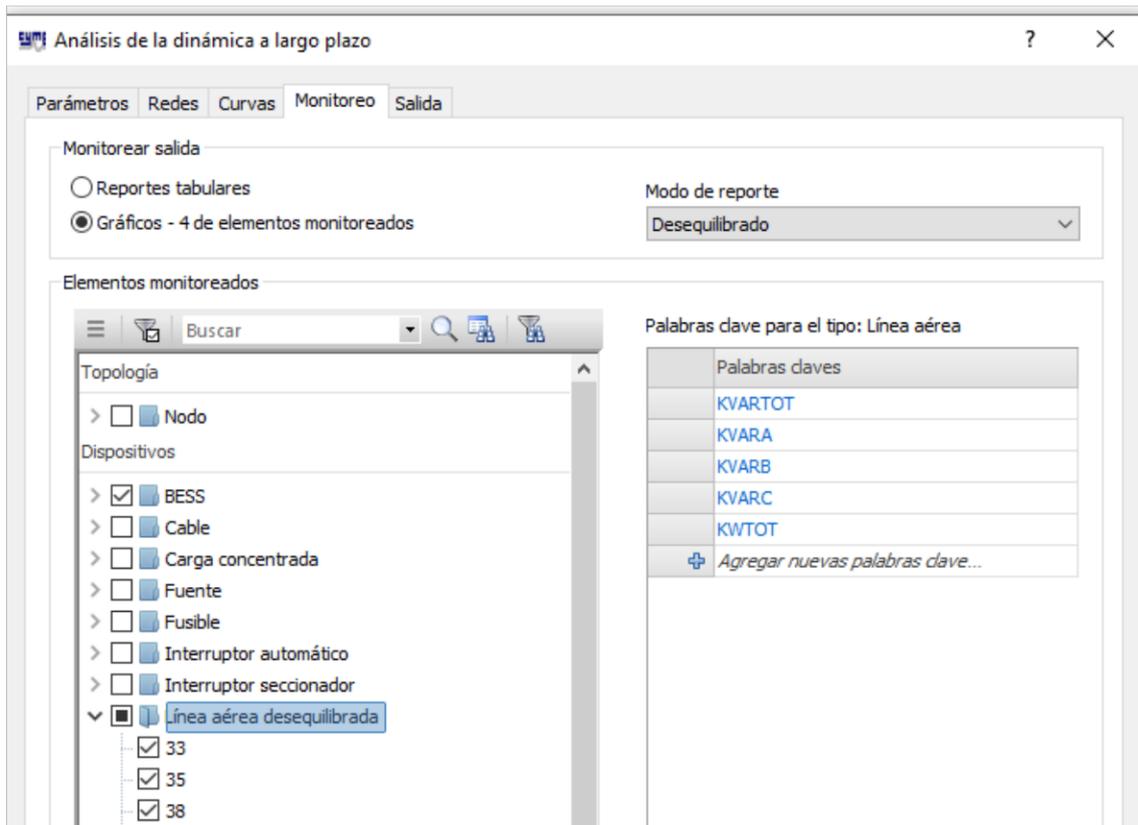
**Figura 43.** Configuración basada en la potencia.

En la figura 30 se selecciona donde se desea controlar la potencia, en este caso se selecciona el tramo 33 que está conectado al elemento 1218911MS.

4. Se realiza el análisis de la dinámica a largo plazo sin BESS.



**Figura 44.** Configuración de parámetros de análisis de la dinámica a largo plazo.



**Figura 45.** Configuración de monitoreo de dispositivos.

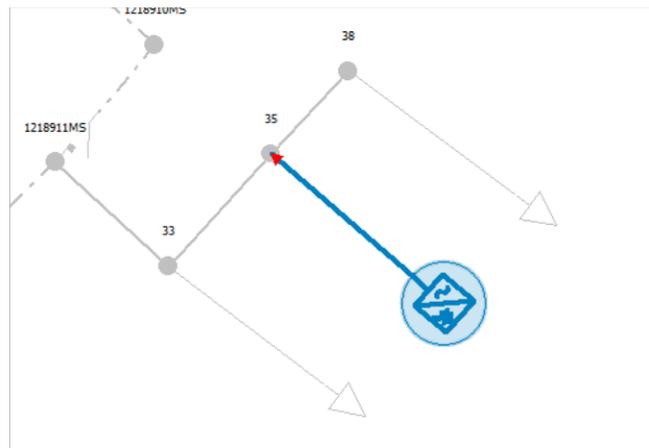
Dentro de las variables para graficar, la variable KWTOT que representa kW de paso total es la variable que se utilizara para verificar el funcionamiento de BESS dentro del tramo 33.

Posterior al análisis de la dinámica a largo plazo se obtiene la siguiente grafica en el tramo 33.

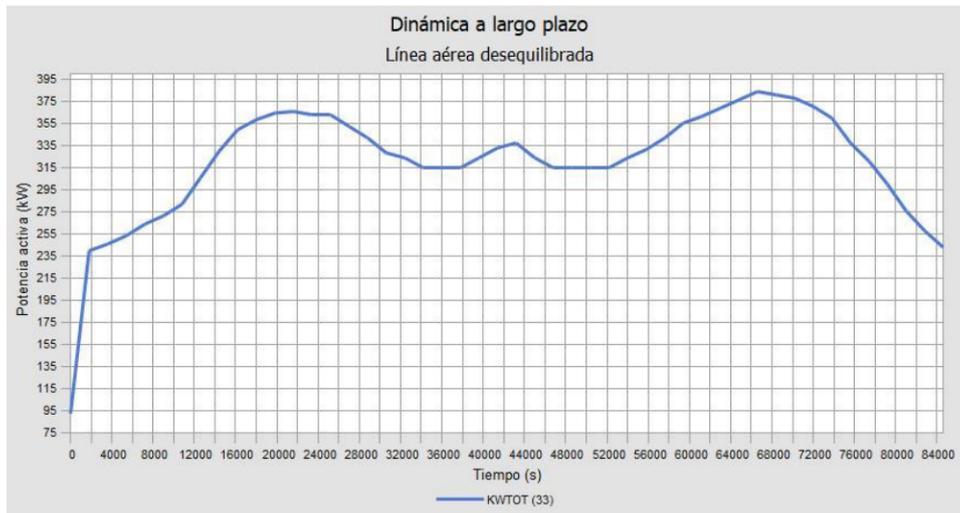


**Figura 46.** Potencia activa vs tiempo en tramo 33 sin BESS.

5. Se realiza el análisis de dinámica a largo plazo con BESS.



**Figura 47.** BESS conectado a la red.



**Figura 48.** Potencia activa vs tiempo en tramo 33 con BESS.



**Figura 49.** Fusión de curvas del tramo 33.

Para una comparación de pérdidas se realiza un flujo de carga con el BESS implementando:

**Tabla 11.** Resumen total de flujo de carga con BESS en tramo 33.

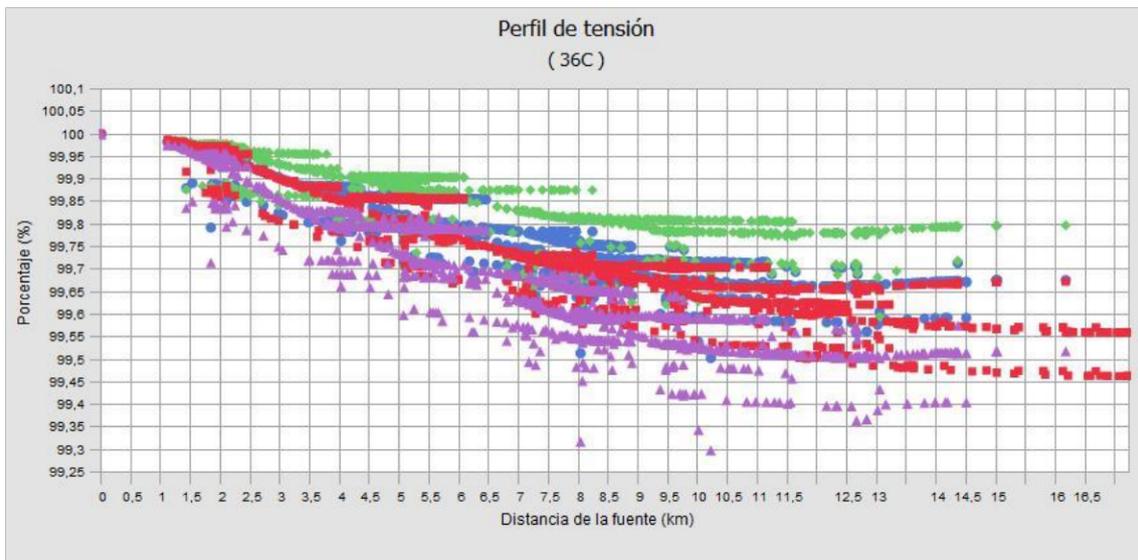
<b>Resumen total</b>	<b>kW</b>	<b>kvar</b>	<b>kVA</b>	<b>FP (%)</b>
Fuentes (Potencia de equilibrio)	844,66	284,70	891,35	94,76
Generadores	-22,50	0,00	22,50	100,00
<b>Producción total</b>	<b>822,16</b>	<b>284,70</b>	<b>870,05</b>	<b>94,49</b>
Carga leída (no regulada)	753,64	862,63	1145,47	65,79
Carga utilizada (regulada)	753,64	862,63	1145,47	65,79
Condensadores shunt (regulados)	0,00	0,00	0,00	0,00
Reactancias shunt (reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cargas totales</b>	<b>753,64</b>	<b>862,63</b>	<b>1145,47</b>	<b>65,79</b>
Capacitancia del cable	0,00	-490,23	490,23	0,00
Capacitancia de la línea	0,00	-91,77	91,77	0,00
<b>Capacitancia shunt total</b>	<b>0,00</b>	<b>-582,00</b>	<b>582,00</b>	<b>0,00</b>
Pérdidas en las líneas	1,74	2,86	3,35	51,91
Pérdidas en los cables	0,20	0,27	0,34	59,86
Pérdidas de carga del transformador	0,22	0,95	0,97	22,29
Pérdidas en vacío del transformador	66,36	0,00	66,36	100,00
<b>Pérdidas totales</b>	<b>68,51</b>	<b>4,08</b>	<b>68,64</b>	<b>99,82</b>

**Tabla 12.** Condiciones anormales de flujo de carga con BESS en tramo 33.

<b>Condiciones anormales</b>	<b>Fase</b>	<b>Conteo</b>	<b>Peor caso</b>	<b>Valor</b>
Sobrecarga	A	0	1218911MS	23,17 %
	B	0	1218911MS	22,60 %
	C	0	1218911MS	23,42 %
Subtensión	A	0	210901MA	99,30 %
	B	0	1126102MS	99,41 %
	C	0	2002275MA	99,30 %
Sobretensión	A	0	1121938MS	100,00 %
	B	0	36C	100,00 %
	C	0	1121938MS	100,00 %

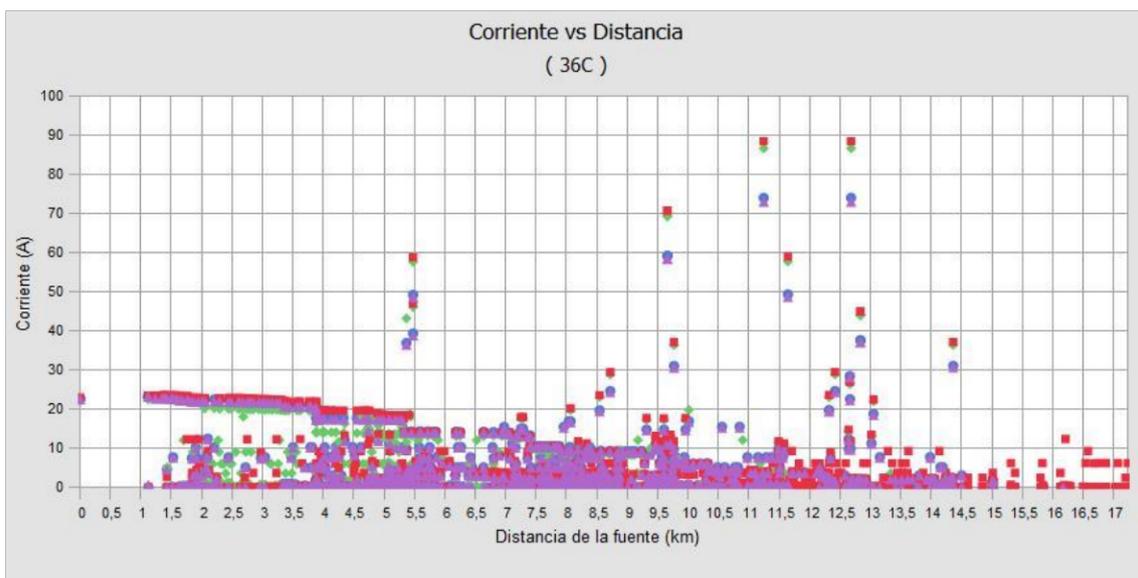
**Tabla 13.** Costo anual de las pérdidas del sistema con BESS en tramo 33.

Costo anual de las pérdidas del sistema	kW	MW-h/año	k\$/año
Pérdidas en las líneas	1,74	15,22	1,52
Pérdidas en los cables	0,20	1,79	0,18
Pérdidas de carga del transformador	0,22	1,90	0,19
Pérdidas en vacío del transformador	66,36	581,29	58,13
Pérdidas totales	68,51	600,19	60,02



**Figura 50.** Perfil de tensión con BESS (puntos morados) y caso base.

De la figura 50 se observa que el perfil de tensión disminuye de 100% a 99,3%.

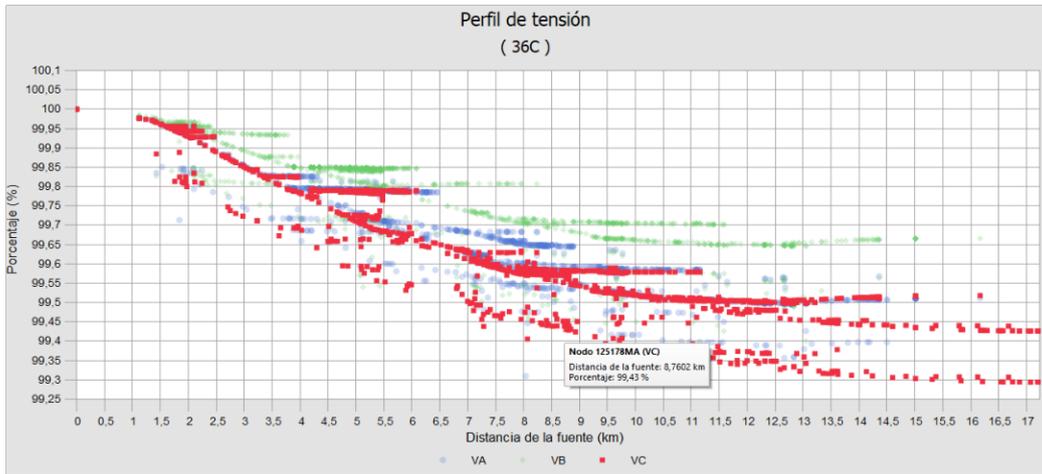


**Figura 51.** Corriente con BESS (puntos morados) y caso base.

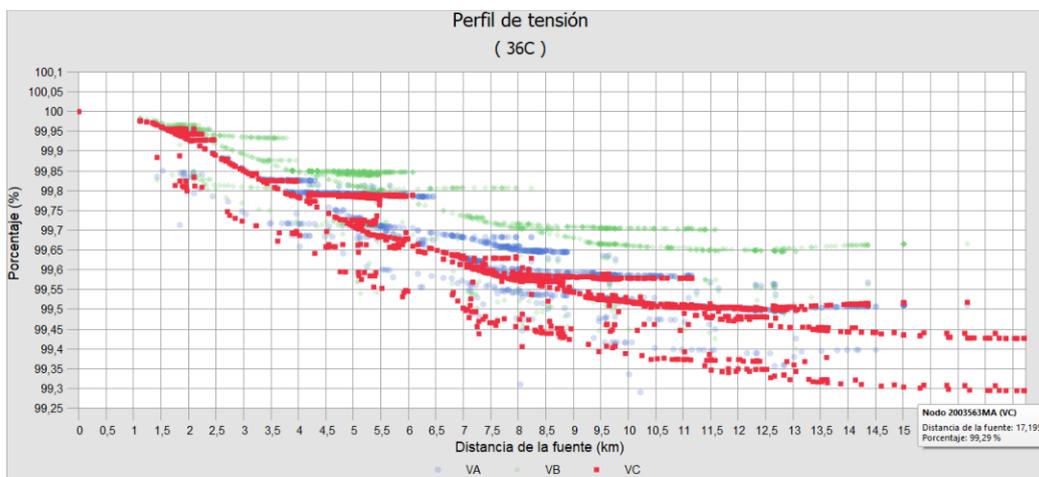
De la figura 51 se aprecia que la corriente disminuyo de 88.48 [A] a 73.07 [A].

Siguiendo con el caso de estudio de BESS se considera un punto medio y final del alimentador para obtener resultados.

En función del perfil de tensión se elige un punto medio y final como se indica a continuación:

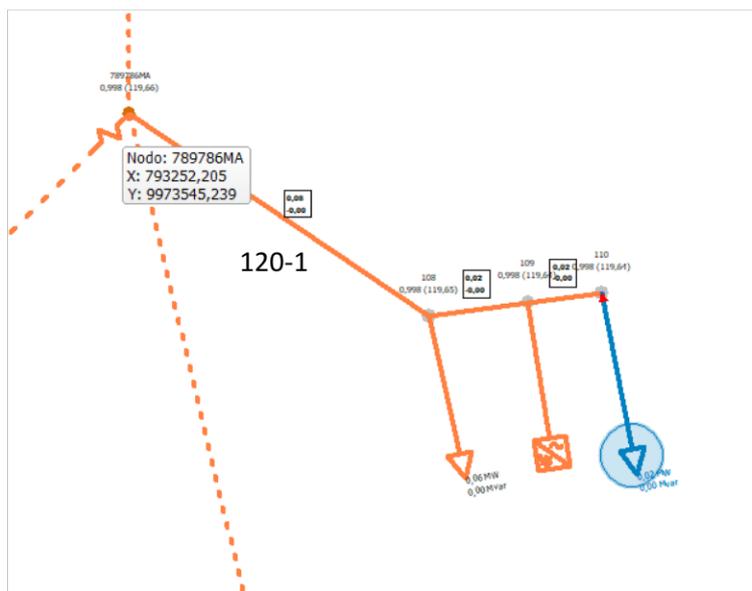


**Figura 52.** Elección de punto medio para caso de estudio con BESS.



**Figura 53.** Elección de punto final para caso de estudio con BESS.

En el punto medio se consideró el siguiente escenario:



**Figura 54.** Escenario de punto medio.

Ejecutando el flujo de carga se tiene obtiene los siguientes resultados:

**Tabla 14.** Resumen total de flujo de carga con BESS en un punto medio.

<b>Resumen total</b>	<b>kW</b>	<b>kvar</b>	<b>kVA</b>	<b>FP (%)</b>
Fuentes (Potencia de equilibrio)	844,64	284,70	891,34	94,76
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Producción total</b>	<b>844,64</b>	<b>284,70</b>	<b>891,34</b>	<b>94,76</b>
Carga leída (no regulada)	776,09	861,07	1159,21	66,95
Carga utilizada (regulada)	776,04	861,05	1159,16	66,95
Condensadores shunt (regulados)	0,00	0,00	0,00	0,00
Reactancias shunt(reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cargas totales</b>	<b>776,04</b>	<b>861,05</b>	<b>1159,16</b>	<b>66,95</b>
Capacitancia del cable	0,00	-490,20	490,20	0,00
Capacitancia de la línea	0,00	-90,36	90,36	0,00
<b>Capacitancia shunt total</b>	<b>0,00</b>	<b>-580,55</b>	<b>580,55</b>	<b>0,00</b>
Pérdidas en las líneas	1,81	2,98	3,49	51,96
Pérdidas en los cables	0,21	0,26	0,34	62,80
Pérdidas de carga del transformador	0,22	0,97	1,00	22,47
Pérdidas en vacío del transformador	66,35	0,00	66,35	100,00
<b>Pérdidas totales</b>	<b>68,60</b>	<b>4,21</b>	<b>68,73</b>	<b>99,81</b>

**Tabla 15.** Condiciones anormales de flujo de carga con BESS en un punto medio.

Condiciones anormales	Fase	Conteo	Peor caso	Valor
Sobrecarga	A	0	1218911MS	23,18 %
	B	0	1218911MS	22,58 %
	C	0	1218911MS	23,43 %
Subtensión	A	0	210901MA	99,29 %
	B	0	1126102MS	99,40 %
	C	0	2002275MA	99,30 %
Sobretensión	A	0	1121938MS	100,00 %
	B	0	36C	100,00 %
	C	0	1121938MS	100,00 %

**Tabla 16.** Costo anual de las pérdidas del sistema con BESS en un punto medio.

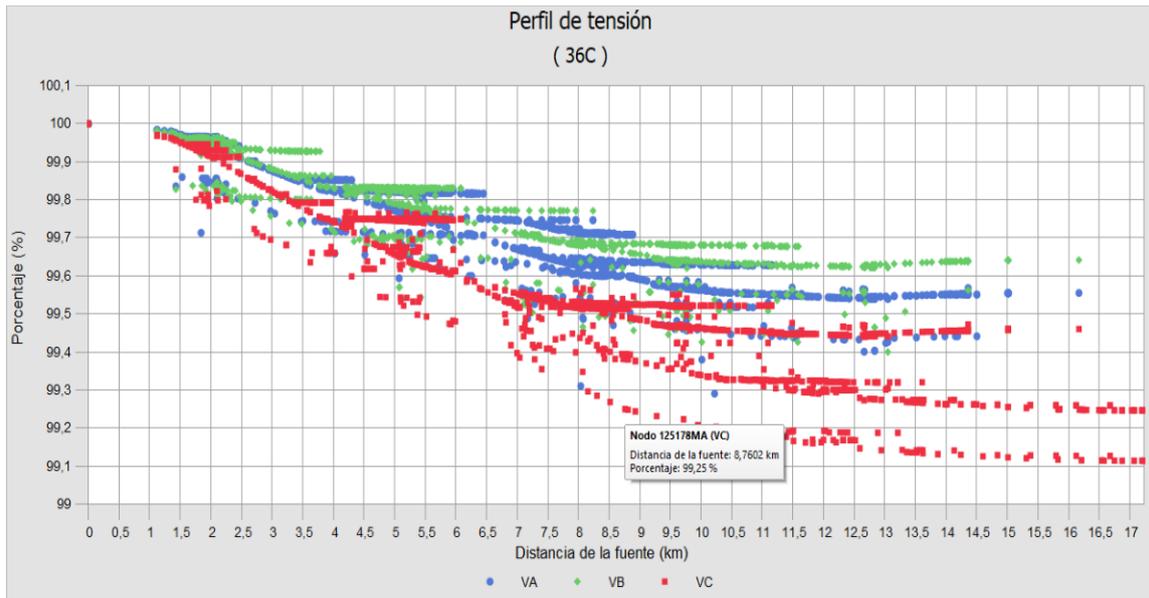
Costo anual de las pérdidas del sistema	kW	MW-h/año	k\$/año
Pérdidas en las líneas	1,81	15,88	1,59
Pérdidas en los cables	0,21	1,85	0,19
Pérdidas de carga del transformador	0,22	1,96	0,20
Pérdidas en vacío del transformador	66,35	581,25	58,12
Pérdidas totales	68,60	600,93	60,09

Realizando el análisis de la dinámica a largo plazo se obtiene:



**Figura 55.** Dinámica a largo plazo con y sin BESS.

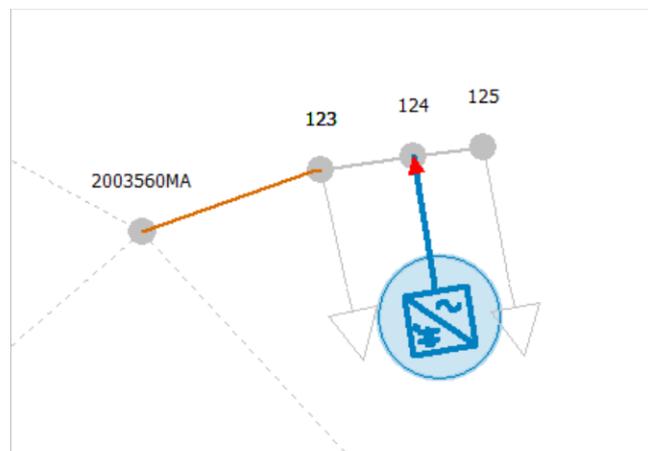
De la figura 55 se puede observar que al incluir un BESS en un punto medio y aplicar el análisis de dinámica a largo plazo, no se obtiene mayor influencia del BESS en la potencia activa del tramo 120.



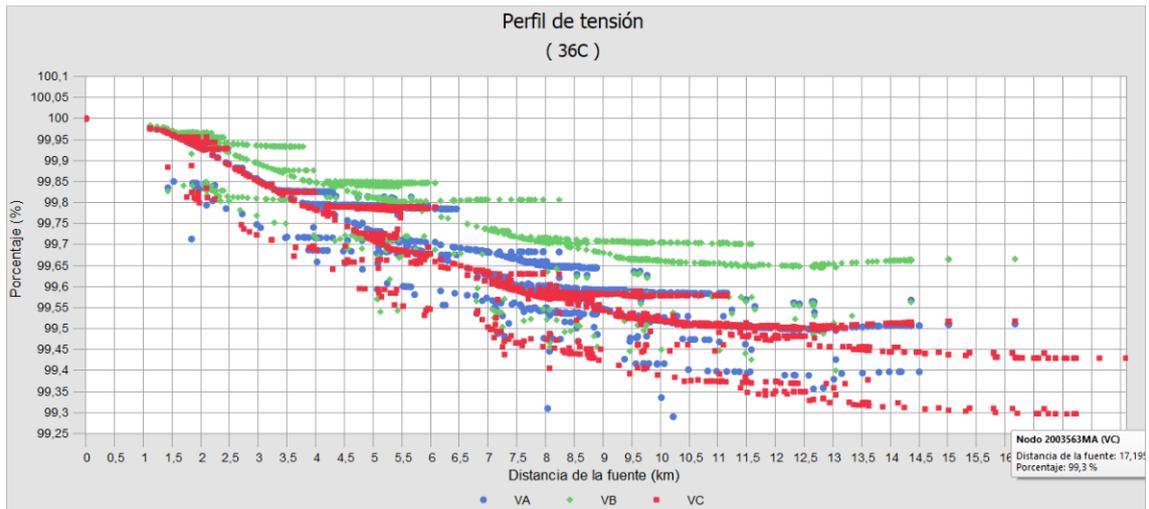
**Figura 56.** Perfil de tensión en un punto medio con BESS.

De la figura 56 se observa que al colocar un BESS en un punto medio del alimentador primario se logra reducir el porcentaje de tensión de un nodo de 99.43% a 99.25%, en este caso del nodo denominado como “125178MA”, que corresponde a un transformador.

Para un punto final se tiene el siguiente esquema:



**Figura 57.** Diagrama de BESS en punto final.



**Figura 58.** Perfil de tensión en un punto final con BESS.



**Figura 59.** Dinámica a largo plazo con y sin BESS.

De la figura 59 se puede mencionar que al incluir un BESS en un punto final y aplicar el análisis de dinámica a largo plazo, no se obtiene mayor influencia del BESS en la potencia activa del tramo 135 que corresponde a un punto final del alimentador.

Realizando el flujo de carga se obtiene las siguientes tablas:

**Tabla 17.** Resumen total de flujo de carga con BESS en un punto final.

<b>Resumen total</b>	<b>kW</b>	<b>kvar</b>	<b>kVA</b>	<b>EP(%)</b>
Fuentes (Potencia de equilibrio)	997,28	288,00	1038,03	96,07
Generadores	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Producción total</b>	<b>997,28</b>	<b>288,00</b>	<b>1038,03</b>	<b>96,07</b>
Carga leída (no regulada)	926,05	861,03	1264,50	73,24
Carga utilizada (regulada)	925,92	860,98	1264,37	73,23
Condensadores shunt (regulados)	0,00	0,00	0,00	0,00
Reactancias shunt(reguladas)	0,00	0,00	0,00	0,00
Motores	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cargas totales</b>	<b>925,92</b>	<b>860,98</b>	<b>1264,37</b>	<b>73,23</b>
Capacitancia del cable	0,00	-489,98	489,98	0,00
Capacitancia de la línea	0,00	-90,12	90,12	0,00
<b>Capacitancia shunt total</b>	<b>0,00</b>	<b>-580,11</b>	<b>580,11</b>	<b>0,00</b>
Pérdidas en las líneas	4,57	5,71	7,31	62,52
Pérdidas en los cables	0,31	0,44	0,54	57,24
Pérdidas de carga del transformador	0,23	0,97	1,00	22,69
Pérdidas en vacío del transformador	66,25	0,00	66,25	100,00
<b>Pérdidas totales</b>	<b>71,35</b>	<b>7,12</b>	<b>71,71</b>	<b>99,51</b>

**Tabla 18.** Condiciones anormales de flujo de carga con BESS en un punto final.

<b>Condiciones anormales</b>	<b>Fase</b>	<b>Conteo</b>	<b>Peor caso</b>	<b>Valor</b>
Sobrecarga	A	0	1218911MS	23,16 %
	B	0	1218911MS	22,58 %
	C	0	2000369MA	83,41 %
Subtensión	A	0	210901MA	99,29 %
	B	0	850264MS	99,39 %
	C	0	2003566MA	98,08 %
Sobretensión	A	0	36C	100,00 %
	B	0	36C	100,00 %
	C	0	1121938MS	100,00 %

**Tabla 19.** Costo anual de las pérdidas del sistema con BESS en un punto final.

<b>Costo anual de las pérdidas del sistema</b>	<b>kW</b>	<b>MW-h/año</b>	<b>k\$/año</b>
Pérdidas en las líneas	4,57	40,06	4,01
Pérdidas en los cables	0,31	2,70	0,27
Pérdidas de carga del transformador	0,23	1,98	0,20
Pérdidas en vacío del transformador	66,25	580,32	58,03
<b>Pérdidas totales</b>	<b>71,35</b>	<b>625,07</b>	<b>62,51</b>

De las tablas 17, 18 y 19 en comparación con las tablas 1, 2 y 3, se tiene que la producción total aumento de 844.99 [kW] a 997.28 [kW], por otra parte, se tiene un aumento del FP de 94.76% a 96.07%, por ultimo las pérdidas totales aumentaron de 68.60 [kW] a 71.35 [kW].

### 3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 3.1 Resultados

Para determinar la mejor alternativa se presenta a continuación una tabla de resumen con las variables más importantes de cada caso desarrollado.

**Tabla 20.** Resumen de casos simulados.

<b>Tipo de Caso</b>	<b>Nivel de Voltaje [%]</b>	<b>Pérdidas [kW]</b>	<b>FP [%]</b>
Caso Base	Máximo: 100 Mínimo: 99.3	68.60	94.76
Caso con regulador de voltaje	Máximo: 100 Mínimo: 99.45	68.3	100
Caso con repotenciación en APs	Máximo: 100.61 Mínimo: 99.91	69.40	94.76
Caso con BESS en tramo 33	Máximo: 100 Mínimo: 99.3	68.51	94.49
Caso con BESS en un punto medio	Máximo: 100 Mínimo: 99.1	68.60	94.76
Caso con BESS en un punto final	Máximo: 100 Mínimo: 99.25	71.35	96.07

De la tabla 20 se pueden distinguir 2 mejores casos para nivel de voltaje, los cuales son: caso con repotenciación y caso con BESS en tramo 33, ya que al considerar sus límites máximos y mínimos se encuentran dentro de una banda de 0.7.

En lo que refiere a pérdidas, se puede determinar que el peor caso corresponde a un punto final con BESS, ya que al final del alimentador solo se tiene una carga, y no tendría soporte de otros elementos para disminuir sus pérdidas, por otra parte, el mejor escenario que representa disminución de pérdidas es el caso con regulador de voltaje. Por último, el mejor FP se obtiene con regulador de voltaje esto debido a que se utilizó la herramienta de ubicación óptima de reguladores de voltaje, aunque en la vida real esto no sería posible, por lo que la otra mejor alternativa sería aplicar un BESS en un punto final del alimentador dando como resultado un FP de 96.07.

## 3.2 Conclusiones

- Al realizar las simulaciones se pudo evidenciar que la implementación de BESS en un tramo produce diversas ventajas como: mejorar el nivel de voltaje, disminuir las pérdidas totales y obtener un factor de potencia dentro de los límites aceptables
- Dentro de los BESS utilizados se tiene baterías de níquel-hierro (NiFe) que, aunque son menos eficientes, son robustas y duraderas, se utilizan en aplicaciones fuera de la red y sistemas de energía renovable. Además, se verificó que la utilización de un convertidor CA/CC de capacidad nominal de 500 [kVA] en el lado de CA y 0.5 [kV] en el lado de CC, vinculado con un controlador de almacenamiento configurado con monitoreo de la potencia corrige los picos de potencia en los escenarios planteados.
- La modelación de un BESS a partir de los tutoriales de CYMDIST entrega resultados satisfactorios, ya que se pudo evidenciar las ventajas técnicas de aplicar un BESS en un alimentador primario, tanto en un tramo, como en un punto medio y final del alimentador.
- Fue de gran ayuda partir de una red existente en el caso de estudio, debido a esto se puede tener una representación aproximadamente real de lo que puede suceder si se opta por la implementación de BESS en un alimentado primario, considerando niveles de voltaje, pérdidas, factor de potencia, y ubicación.

## 3.3 Recomendaciones

- Para futuros proyectos se recomienda investigar más alimentadores primarios que pertenezcan a una misma subestación, dado que esto entregaría resultados más extensos, y no se limitaría el estudio a un solo alimentador primario.
- Investigar modelos de BESS que permitan una mejor asociación con las redes de distribución, ya que actualmente los modelos se enfocan en gran parte en sistemas eléctricos de gran escala.

## 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] EMMI, «Sistema de Almacenamiento de Energía de Baterías: Una oportunidad de negocio en México,» 26 Julio 2023. [En línea]. Available: <https://emmi.mx/sistema-de-almacenamiento-de-energia-de-baterias-que-es-y-cuales-son-sus-ventajas>.
- [2] Enlight México, «Qué son los BESS y por qué son importantes para las energías renovables,» 31 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/qu%C3%A9-son-los-bess-y-por-importantes-para-las-energ%C3%ADas-renovables/?originalSubdomain=es>.
- [3] Novum Solar, «Aplicaciones y Beneficios de los Sistemas BESS,» 28 Marzo 2022. [En línea]. Available: <https://novumsolar.com/aplicaciones-y-beneficios-de-los-sistemas-bess/>.
- [4] CYME International, «Análisis de sistemas de distribución,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.cyme.com/es/software/cymdist/>.
- [5] Enlight, «BESS: Qué son y cómo funcionan,» 1 Diciembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.enlight.mx/blog/bess-que-son-y-como-funcionan>.
- [6] Benweilight, «Batería De Iones De Litio Para Almacenamiento Solar,» 2023. [En línea]. Available: <https://es.benweilight.com/battery-pack/energy-storage-system/lithium-ion-battery-for-solar-storage.html>.
- [7] J. F. G. Martín, «Evolución de los sistemas de almacenamiento de energía en batería (BESS),» 19 Abril 2022. [En línea]. Available: <https://energetica21.com/articulos-y-entrevistas-online-ver/evolucion-de-los-sistemas-de-almacenamiento-de-energia-en-bateria-bess>.
- [8] Proviento, «Inversor Onda Sinoidal 300W / 12VDC MORNINGSTAR,» 2023. [En línea]. Available: <https://proviento.com.ec/inversores/49-inversor-onda-sinoidal-300w-12vdc-morningstar.html>.
- [9] Embedded, «Enhancing battery life and safety with BMS solutions,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.embedded.com/enhancing-battery-life-and-safety-with-bms-solutions/>.
- [10] A. Solovev, «BESS: Una solución para gestionar la energía de forma proactiva,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.digikey.es/es/articles/bess-a-solution-to-manage-energy-proactively>.
- [11] Convertirunidades, «¿Cómo se mide la capacidad de almacenamiento de energía en una batería?,» 2023. [En línea]. Available: <https://convertirunidades.com/blog/como-se-mide-la-capacidad-de-almacenamiento-de-energia-en-una-bateria>.
- [12] Quartux, «¿Cómo se almacena la energía eléctrica en una batería?,» 2024. [En línea]. Available: <https://quartux.com/blog/como-se-almacena-la-energia-electrica-en-una-bateria/>.

- [13] EverExceed Industrial, «¿Qué es la densidad de energía de la batería?,» 12 Febrero 2022. [En línea]. Available: [https://es.everexceed.com/blog/what-is-battery-energy-density-\\_b231](https://es.everexceed.com/blog/what-is-battery-energy-density-_b231).
- [14] C. Noya, «Las baterías de litio-aire se posicionan para acercarse a la densidad energética de la gasolina,» 6 Febrero 2023. [En línea]. Available: <https://forococheelectricos.com/2023/02/baterias-litio-aire-igualar-densidad-energetica-gasolina.html>.
- [15] California Energy Commission, «Desarrollo de baterías de litio de alta densidad energética,» 25 Noviembre 2019. [En línea]. Available: <https://www.energy.ca.gov/es/publications/2019/development-high-energy-density-lithium-batteries>.
- [16] S. M., «Baterías en sistemas de almacenamiento de energía,» 8 Septiembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/bater%C3%ADas-en-sistemas-de-almacenamiento-energ%C3%ADa-silvia-ma/?originalSubdomain=es>.
- [17] L. González, «Vida y muerte de una batería de ion-litio (parte II),» 11 07 2021. [En línea]. Available: <https://forococheelectricos.com/2013/05/vida-y-muerte-de-una-bateria-de-ion-2.html>.
- [18] Generatuluz, «Baterías plomo-ácido abiertas,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.generatuluz.com/tu-propia-instalacion-aislada/tipos-de-baterias-y-sus-caracteristicas/baterias-plomo-acido/>.
- [19] Generatuluz, «¿Qué son las baterías VRLA tipo Gel y como funcionan?,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.generatuluz.com/tu-propia-instalacion-aislada/tipos-de-baterias-y-sus-caracteristicas/que-son-baterias-vrla-tipo-gel/>.
- [20] A. Solovev, «Efficient Energy Management and Energy Saving with a BESS (Battery Energy Storage System),» 23 Noviembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.integrasources.com/blog/energy-management-and-energy-saving-bess/>.
- [21] G. Jarbratt, «Enabling renewable energy with battery energy storage systems,» 2 Agosto 2023. [En línea]. Available: <https://www.mckinsey.com/industries/automotive-and-assembly/our-insights/enabling-renewable-energy-with-battery-energy-storage-systems>.
- [22] C. Murillo, «¿Qué es un sistema BESS y cuales son sus principales beneficios?,» 7 Abril 2023. [En línea]. Available: <https://www.lionenergylatam.com/post/qu%C3%A9-es-un-sistema-bess-y-cuales-son-sus-principales-beneficios>.
- [23] A. Chen, «The Hidden Costs: Three Major Challenges Faced by Remote BESS Maintenance,» Octubre 2023. [En línea]. Available: <https://www.moxa.com/en/articles/three-major-challenges-faced-by-remote-bess-maintenance>.
- [24] Z. Stein, «Battery Energy Storage Systems (BESS),» 15 Febrero 2024. [En línea]. Available: <https://www.carboncollective.co/sustainable-investing/battery-energy-storage-systems-bess>.

- [25] C. Specialty, «Energy Challenges: Battery Energy Storage,» 5 Abril 2023. [En línea]. Available: <https://cacspecialty.com/energy-challenges-battery-energy-storage/>.
- [26] M. Ohrelius, «Lifetime Limitations in Multi-Service Battery Energy Storage Systems,» 25 Marzo 2023. [En línea]. Available: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/7/3003>.
- [27] M. A. K, «Challenges and Recommendations in the Commissioning of Battery Energy Storage Systems (BESS),» 13 Noviembre 2023. [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/challenges-recommendations-commissioning-battery-energy-a-k-lsohc>.
- [28] J. Salas, «Guía para el dimensionamiento de sistemas de,» 2022. [En línea]. Available: [https://energypedia.info/images/7/75/Output\\_4.\\_Guia\\_dimensionamiento\\_almacenamiento\\_GD\\_baterias.pdf](https://energypedia.info/images/7/75/Output_4._Guia_dimensionamiento_almacenamiento_GD_baterias.pdf).
- [29] E. Z. Diaz, «BATTERY ENERGY STORAGE SYSTEM (BESS) MODELADO Y VALIDACIÓN,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.estudios-electricos.com/casos/battery-energy-storage-system-bess-modelado-y-validacion/>.
- [30] MRC, «Marco Regulatorio para el Almacenamiento de Energía,» 29 Noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.ariae.org/file/3851/download>.
- [31] A. C. Ocampo, «NUEVA NORMATIVA EUROPEA SOBRE BATERÍAS,» 28 Junio 2023. [En línea]. Available: <https://cicenergigune.com/es/blog/nueva-normativa-europea-baterias>.
- [32] BOE, «Real Decreto 106/2008, de 1 de febrero, sobre pilas y acumuladores,» 12 Febrero 2008. [En línea]. Available: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2008/BOE-A-2008-2387-consolidado.pdf>.
- [33] A. Bhambhani, «Ecuadorian Energy Ministry Updates Electricity Master Plan To Ensure 1.44 GW Extra Renewable Energy Capacity Addition Until 2031,» 26 Agosto 2021. [En línea]. Available: <https://taiyangnews.info/ecuador-updates-electricity-master-plan-until-2031/>.
- [34] RFXNow, «Evaluation of Use of Energy Storage Technologies to Enhance Power System Flexibility in Ecuador,» 2023. [En línea]. Available: <https://wbgeprocure-rfxnow.worldbank.org/rfxnow/public/advertisement/96/view.html>.
- [35] WORLD ENERGY COUNCIL , «TESTING PERSPECTIVES WITH THE WEC ECUADOR MEMBER,» Marzo 2022. [En línea]. Available: [https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Issues\\_Monitor\\_2022\\_Ecuador\\_commentary.pdf](https://www.worldenergy.org/assets/downloads/Issues_Monitor_2022_Ecuador_commentary.pdf).
- [36] S. Marthak, «Operation & Maintenance of Large Scale BESS (Battery Energy Storage System),» 25 Enero 2023. [En línea]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/operation-maintenace-large-scale-bess-battery-energy-storage-marthak/>.
- [37] BID, «Resumen de la revisión ambiental y social (ESRS)-Proyecto Providencia Solar BESS – El Salvador,» 30 Abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.idbinvest.org/sites/default/files/2021->

05/Providencia%20Solar%20BESS%20-%20Resumen%20de%20la%20Revision%20Ambiental%20y%20Social%20%28RRAS%29.pdf.

- [38] A. Caceres, «Risk Considerations for Battery Energy Storage Systems,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.ajg.com/us/-/media/files/us/insights/whitepapers/battery-energy-storage-systems-risk-considerations.pdf>.
- [39] C. F. Evertz, «Componentes Simétricas. Ejemplos,» 2021. [En línea]. Available: <https://www.studocu.com/es-ar/document/universidad-tecnologica-nacional/electrotecnia/componentes-simetricas-ejemplos/10458203>.
- [40] CYME, «Tutorial Sistema de almacenamiento de energía mediante baterías,» 2018.