

INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA POR BATERÍAS (BESS) EN LA SUBESTACIÓN LA CADENA



INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA POR BATERÍAS (BESS) EN LA SUBESTACIÓN LA CADENA

Publicado por: Universidad Técnica Estatal de Quevedo.
Dir. Av. Quito km 1½ vía a Santo Domingo de los Tsáchilas, Quevedo, Ecuador. www.uteq.edu.ec.

Derechos reservados: © Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador 2025.
Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología (DICYT).
Se autoriza la reproducción de esta publicación con fines educativos y otros que no sean comerciales sin permiso escrito previo detentar el derecho de autor, mencionando la cita.

Cita del libro: Saraguro E. y Cuenca M.; 2025. Integración de los sistemas de almacenamiento de energía por baterías (bess) en la subestación La Cadena. Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador. 141 pp.

Revisión de Pares Externos: Guillermo Ismael Vique Salazar.
Magister en Gerencia de Innovaciones Educativas.

Unidad Educativa Nicolás Infante Díaz.

Darwin Vinicio Paredes Moran.
Magister en Electricidad Mención en sistemas eléctricos de Potencia.

Instituto Tecnológico Superior ciudad de Valencia.

Primera Edición: Quevedo, Junio del 2025.

ISBN: 978-9942-666-27-7

Equipo Editorial: Econ. Carlos Edison Zambrano, Ph.D.

Director

Ing. Javier Patiño Uyaguari, M.Sc.

Revisión y Corrección

Ing. J. Bladimir Mora Macías

Edición y Diagramación

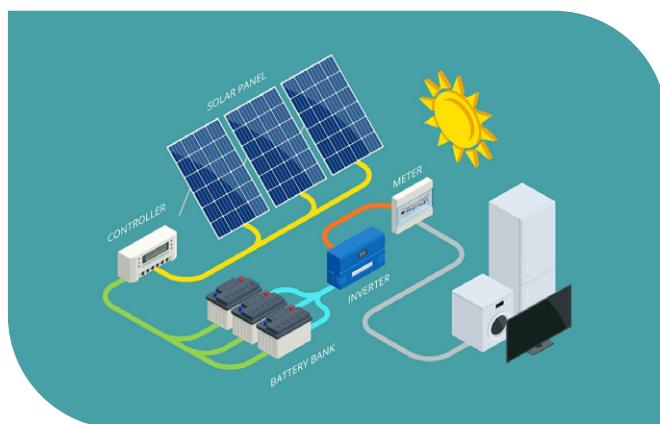
ISBN: 978-9942-666-27-7



Derechos de Autor © 2025
Erick Isrrael Saraguro Tacuri
Milton Geovanny Cuenca Cabrera

► Presentación

El Comité Editorial de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ) es la unidad encargada de promover, gestionar y administrar el conocimiento resultante de las actividades de investigación científica, la docencia y la vinculación de docentes y estudiantes. Dentro del procedimiento para el reconocimiento al profesorado y estudiantado de la UTEQ se contempla la publicación como libros de proyectos de investigación o trabajos en el ámbito académico de profesores y estudiantes de grado y posgrado relacionados con las líneas de investigación institucionales.



**► INTEGRACIÓN DE LOS SISTEMAS DE
ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA POR
BATERÍAS (BESS) EN LA SUBESTACIÓN LA CADENA**

AUTORES:

*Erick Isrrael Saraguro Tacuri
Milton Geovanny Cuenca Cabrera*



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme llegar al final de este viaje, el cual no habría sido posible sin el apoyo, la guía y la contribución de muchas personas que han dejado una piedrita en mi desarrollo personal y académico. En este momento quiero expresar mi más sincero agradecimiento a cada uno de ustedes.

A mi familia, por su amor incondicional, aliento constante y comprensión en cada etapa de mi vida.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todos aquellos que han sido parte de este camino de desarrollo académico y personal. En especial a mi familia, por su apoyo y amor incondicional, ellos que han estado a mi lado en cada paso que he dado. A mis amigos, por compartir risas, desafíos y momentos inolvidables que me han mantenido con fuerza a lo largo de la carrera. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en este logro, y este trabajo es un reflejo de todo mi esfuerzo y la ayuda que he recibido de todos ustedes.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	6
PRÓLOGO.....	18
INTRODUCCIÓN	19
Capítulo I.	
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	20
1.1. Problema de la investigación	21
1.1.1. Planteamiento del problema	21
1.1.2. Formulación del problema	21
1.1.3. Sistematización del problema	21
1.2. Objetivos	22
1.2.1. Objetivo general.....	22
1.2.2. Objetivos específicos.....	22
1.3. Justificación.....	23
Capítulo II.	
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN	24
2.1. Marco conceptual.....	25
2.1.1 Antecedentes	25
2.1.2 Almacenamiento de energía.....	25
2.1.2.1. Tipos de tecnologías para el almacenamiento de energía.....	26
2.1.3. Tecnologías de las baterías.....	34
2.1.2.1. Baterías de plomo ácido.....	34
2.1.2.2. Baterías de iones de Litio.....	35
2.1.2.3. Baterías de Níquel – Cadmio	37
2.1.2.4. Baterías de hidruro metálico de níquel	38
2.1.2.5. Baterías de Sodio/Azufre	39

2.1.2.6. Baterías de flujo de Vanadio Redox	41
2.1.4. Características por considerar para el rendimiento del sistema de baterías.....	42
2.1.4.1. Autodescarga	43
2.1.4.2. Capacidad de almacenamiento.....	43
2.1.4.3. Energía específica	44
2.1.4.4. Densidad de energía.....	44
2.1.4.5. Potencia específica.....	44
2.1.4.6. Densidad de potencia.....	44
2.1.4.7. Ciclo de vida	44
2.1.4.8. Costos.....	45
2.1.4.9. Profundidad de descarga (DoD).....	45
2.1.4.10. Estado de carga (SOC).....	45
2.1.4.11. Desvanecimiento de capacidad	45
2.1.4.12. Desvanecimiento de potencia	46
2.1.4.13. Eficiencia de ida y vuelta	46
2.1.4.14. Efecto memoria.....	46
2.1.4.15. Vida útil.....	46
2.1.4.16. Tensión de circuito cerrado.....	47
2.1.4.17. Tensión de circuito abierto (Voc).....	47
2.1.4.18. Tensión.....	47
2.1.4.19. Electrodo y electrolito.....	47
2.1.4.20. Autonomía.....	48
2.1.4.21. Máxima corriente de descarga continua	48
2.1.4.22. Máxima corriente en intervalos	48
2.1.4.23. Eficiencia	48
2.1.5. Componentes de un sistema BESS	49
2.1.5.1. Sistema de baterías.....	50
2.1.5.2. Sistema de gestión de baterías (BMS).....	51

2.1.5.3. Sistema de conversión de energía (PCS) o inversor híbrido.....	51
2.1.5.4. Sistema de gestión de energía (EMS).....	52
2.1.5.5. Controlador.....	53
2.1.5.6. Sistema de control y supervisión de datos (SCADA)...	54
2.1.5.7. Calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC)54	
2.1.5.8. Supresión de fuego (FSS).....	55
2.1.6. Aplicaciones de los BESS y sus beneficios.....	55
2.1.6.1. Capacidad de suministro eléctrico.....	55
2.1.6.2. Gestión de cargas (regulación).....	55
2.1.6.3. Poder de respaldo.....	56
2.1.6.4. Arranque autónomo (Arranque en negro).....	56
2.1.6.5. Control de voltaje.....	57
2.1.6.6. Control de frecuencia.....	57
2.1.6.7. Integración de las energías renovables.....	57
2.1.6.8. Transmisión y distribución T y D(Aplazamiento).....	58
2.1.7. Reglamentos, norma y regulaciones de los BESS en Ecuador.....	58
2.1.7.1. Constitución de la república del Ecuador.....	59
2.1.7.2. LOSPEE.....	59
2.1.7.3. RLOSPEE.....	59
2.1.7.4. Regulación N°.ARCERNNR – 004/20.....	60
2.1.8. Estándares y normas a nivel internacional.....	60
2.1.8.1. Para instalación.....	60
2.1.8.2. Componentes.....	61
2.1.8.3.General.....	62
2.2. Marco referencial.....	62
2.2.1. Control del sistema BESS en el software DigSILENT.....	62
2.2.2. Evaluación de viabilidad de integración de un sistema de almacenamiento de energía.....	63

2.2.3. Implementación de los sistemas de almacenamiento de energía por baterías.....	65
2.2.3.1. Permisos y regulaciones.....	65
2.2.3.2. Colocación	66

Capítulo III.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	67
3.1. Localización.....	68
3.2. Tipo de investigación	69
3.2.1. Tipo diagnóstico.....	69
3.2.2. Investigación bibliográfica.....	69
3.2.3. Investigación aplicada	69
3.3. Métodos de investigación.....	70
3.3.1. Descriptivo.....	70
3.3.2. Explicativo.....	70
3.3.3. Deductivo.....	70
3.4. Fuentes de recopilación de información	71
3.5. Diseño de la investigación	71
3.5.1. Recolección de datos	71
3.5.2. Diseño del sistema	71
3.5.3. Análisis del impacto en la red eléctrica	72
3.5.4. Modelo técnico y económico.....	72
3.5.5. Redacción de conclusiones	72
3.6. Instrumentos de investigación.....	72
3.7. Tratamiento de los datos	72
3.8. Recursos humanos y materiales	73
3.8.1. Recursos materiales	73
3.8.2. Recursos tecnológicos	73

Capítulo IV.

RESULTADOS	74
4.1. Resultados	75
4.1.1. Diseño de un sistema de almacenamiento de Energía por baterías.....	75
4.1.1.1. Evaluación de la capacidad y necesidades.....	75
4.1.1.2. Cantidad de energía requerida	80
4.1.1.3. Capacidad nominal del BESS	81
4.1.1.4. Eficiencia del sistema.....	82
4.1.1.5. Tecnología de la batería	82
4.1.1.6. Descripción del sistema	83
4.1.1.7. Sistema de baterías.....	84
4.1.1.8. Sistema de conversión de energía PCS.....	86
4.1.1.9. Sistemas auxiliares del BESS	87
4.1.1.10. Patrones de demanda	87
4.1.1.11. Análisis del funcionamiento del sistema.....	92
4.1.1.12. Análisis del impacto Técnico – Económico de la integración del BESS.....	93
4.1.1.13. Modelo técnico del BESS	95
4.1.2. Estudio de la integración de un BESS (simulación).....	98
4.1.2.1. Caso de estudio I (Consumo en valor mínimo, mes de mayo 2023).....	99
4.1.2.2. Caso de estudio II (Consumo en valor máximo mes de mayo 2023)	105
BIBLIOGRAFÍA.....	115
RESEÑA DE AUTORES.....	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Clasificación de las tecnologías EES	27
Tabla 2.2. Tipos de almacenamiento de energía térmica	31
Tabla 2.3. Aleaciones de la batería plomo acido.....	34
Tabla 2.4 Características de las baterías Plomo-Acido	35
Tabla 2.5. Características de las baterías de Ion Litio.....	37
Tabla 2.6. Características de las baterías de níquel/cadmio	38
Tabla 2.7. Características de las baterías de híbrido metálico de níquel	39
Tabla 2.8. Características de las baterías de híbrido metálico de sodio/azufre	40
Tabla 2.9. Características de las baterías de flujo de vanadio redox	42
Tabla 2.10. Factores para tener en cuenta a la hora de la selección de la batería.....	49
Tabla 4.1. Características de los sistemas de almacenamiento (ESS)	75
Tabla 4.2 Proyección del alimentador Rio Verde.....	76
Tabla 4.3 Proyección del alimentador Rio Toachi	77
Tabla 4.4. Proyección del alimentador Santa Martha	78
Tabla 4.5. Valor máximo de la proyección por alimentador	80
Tabla 4.6. Sobredimensionamiento de la capacidad del BESS.....	80
Tabla 4.7. Diferencia entre valores máximos y mínimos.....	81
Tabla 4.8. Sobredimensionamiento de la capacidad del BESS para aliviar la curva de carga.....	81
Tabla 4.9. Características de las celdas LiFePO4	83
Tabla 4.10. Descripción del sistema.....	84
Tabla 4.11. Especificaciones del sistema de baterías	85
Tabla 4.12. Configuración de voltajes del sistema.....	86
Tabla 4.13. Especificaciones del PCS	86

Tabla 4.14. Valor de máximo, mínimo y medio consumo dentro del mes de mayo 2023	88
Tabla 4.15. Valores de consumo de los alimentadores al momento del máximo consumo en la S/E dentro del mes de mayo 2023	88
Tabla 4.16. Valores de consumo de los alimentadores al momento del mínimo consumo en la S/E dentro del mes de mayo 2023	89
Tabla 4.17. Valores de consumo de los alimentadores al momento de un valor medio de consumo en la S/E dentro del mes de mayo 2023	89
Tabla 4.18. Rango horario establecido por medio de las gráficas de demanda	91
Tabla 4.19. Características del proyecto	93
Tabla 4.20. Valor de inversión inicial.....	95
Tabla 4.21. Costos del servicio de distribución (administración, operación, mantenimiento y comercialización, USD)...	96
Tabla 4.22. Costos de mantenimiento BESS.....	96
Tabla 4.23 . Valores de la instalación del BESS	98
Tabla 4.24. Valores medidos en el flujo de mínima demanda sin BESS.....	100
Tabla 4.25. Valores medidos en el flujo de mínima demanda con BESS.....	101
Tabla 4.26. Valores medidos en el flujo de máxima demanda sin BESS.....	103
Tabla 4.27. Valores medidos en el flujo de máxima demanda con BESS.....	104
Tabla 4.28. Valores medidos en el flujo de mínima demanda sin BESS.....	107
Tabla 4.29. Valores medidos en el flujo de mínima demanda con BESS.....	109

Tabla 4.30. Valores medidos en el flujo de mínima demanda sin BESS.....	111
Tabla 4.31. Valores medidos en el flujo de mínima demanda con BESS.....	113

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Batería de litio moderna	36
Figura 2.2. Diagrama de almacenamiento de la batería de flujo de vanadio redox	41
Figura 2.3. Características técnicas de una batería	43
Figura 2.4. Sistema de almacenamiento de energía	50
Figura 2.5. Acumulación de baterías y sus bastidores	51
Figura 2.6. Sistema de conversión de energía PCS.....	52
Figura 2.7. Controlador.....	53
Figura 2.8. Sistema SCADA	54
Figura 2.9. Sistema BESS usado como reserva de energía.....	56
Figura 2.10. Elementos del BESS (Template DigSILENT Power Factory 2017).....	63
Figura 2.11. Parámetros y variables para la ubicación de los BESS 66	
Figura 3.1. Infraestructura eléctrica de CNEL. EP Unidad de Negocio Santo Domingo (Ubicación, Subestación La Cadena).....	68
Figura 4.1. Gráfica comparativa de los métodos de proyección, alimentador Río Verde	77
Figura 4.2. Gráfica comparativa de los métodos de proyección, alimentador Rio Toachi.....	78
Figura 4.3. Gráfica comparativa de los métodos de proyección, alimentador Santa Martha.....	79

Figura 4.4. Gráfica de demanda diaria realizada en el día de máxima demanda registrada	90
Figura 4.5. Gráfica de demanda diaria realizada en el día mínima demanda registrada.....	90
Figura 4.6. Gráfica de demanda diaria realizada en el día de media demanda registrada.....	91
Figura 4.7. Podemos apreciar los valores ingresados al programa respecto al transformador	98
Figura 4.8. Esquema del sistema en el simulador con la demanda mínima sin BESS.....	99
Figura 4.9. Esquema del sistema en el simulador con la demanda mínima con BESS.....	101
Figura 4.10. Esquema del sistema en el simulador con la demanda máxima sin BESS	102
Figura 4.11. Esquema del sistema en el simulador con la demanda máxima con BESS.....	104
Figura 4.12. Curva de carga del sistema con y sin BESS	105
Figura 4.13. Esquema del sistema en el simulador con la demanda mínima sin BESS	106
Figura 4.14. Esquema del sistema en el simulador con la demanda mínima con BESS	108
Figura 4.15. Esquema del sistema en el simulador con la demanda máxima sin BESS.....	110
Figura 4.16. Esquema del sistema en el simulador con la demanda máxima con BESS.....	112
Figura 4.17. Curva de carga del sistema con y sin BESS	114

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 7.1 Consumo mes histórico promedio 2019 del alimentador Rio Verde.....	124
Anexo 7.2 Consumo mes histórico promedio 2019 del alimentador Rio Toachi.....	124
Anexo 7.3 Consumo mes histórico promedio 2019 del alimentador Santa Martha.....	125
Anexo 7.4 Consumo mes histórico promedio 2020 del alimentador Rio Verde.....	125
Anexo 7.5 Consumo mes histórico promedio 2020 del alimentador Rio Toachi.....	126
Anexo 7.6 Consumo mes histórico promedio 2020 del alimentador Santa Martha.....	126
Anexo 7.7 Consumo mes histórico promedio 2021 del alimentador Rio Verde.....	127
Anexo 7.8 Consumo mes histórico promedio 2021 del alimentador Rio Toachi.....	127
Anexo 7.9 Consumo mes histórico promedio 2021 del alimentador Santa Martha.....	128
Anexo 7.10 Consumo mes histórico promedio 2022 del alimentador Rio Verde.....	128
Anexo 7.11 Consumo mes histórico promedio 2022 del alimentador Rio Toachi.....	129
Anexo 7.12 Consumo mes histórico promedio 2022 del alimentador Santa Martha.....	129
Anexo 7.13 Valores de proyección del alimentador Rio Toachi....	130
Anexo 7.14 Valores de proyección del alimentador Rio Verde	133
Anexo 7.15 Valores de proyección del alimentador Santa Martha	136

PRÓLOGO

La transición energética hacia un futuro más sostenible y eficiente es uno de los mayores desafíos que enfrenta nuestra sociedad actual. En este contexto, los sistemas de almacenamiento de energía por baterías (BESS) emergen como una tecnología prometedora para optimizar las redes eléctricas y facilitar la integración de energías renovables.

El presente libro, "Integración de los Sistemas de Almacenamiento de Energía por Baterías (BESS) en la Subestación La Cadena", ofrece un análisis muy importante sobre la implementación de esta tecnología en un caso de estudio concreto. A lo largo de sus páginas, el lector encontrará una revisión de los fundamentos teóricos, componentes y aplicaciones de los sistemas BESS, así como una evaluación técnica y económica de su integración en una subestación eléctrica.

Los autores combinan su formación académica en ingeniería eléctrica con un enfoque práctico orientado a la resolución de problemas reales en el ámbito de la distribución energética. A través de simulaciones, análisis de datos históricos y proyecciones, el estudio proporciona valiosas perspectivas sobre los beneficios potenciales de los BESS en términos de estabilidad de la red, gestión de la demanda y calidad del suministro eléctrico.

Esta obra constituye una contribución significativa al campo de la ingeniería eléctrica y los sistemas de potencia, ofreciendo tanto a estudiantes como a profesionales del sector una guía completa para comprender y aprovechar el potencial de los sistemas de almacenamiento de energía por baterías. Su enfoque metodológico y sus conclusiones servirán sin duda como referencia para futuros proyectos e investigaciones en este ámbito en constante evolución.

Confío en que este libro inspirará a nuevas generaciones de ingenieros y tomadores de decisiones a explorar soluciones innovadoras para los desafíos energéticos del siglo XXI, contribuyendo así a la construcción de un sistema eléctrico más resiliente, eficiente y sostenible.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de almacenamiento de energía en baterías (BESS) son sistemas que obtienen la energía de cualquier tipo de fuente, ellos acumulan y almacenan esta energía para hacer uso de ella cuando se requiera. Estos equipos cuentan con varias capacidades de potencia y almacenamiento, ofreciéndonos distintas opciones a escoger para el diseño del sistema, además de la cantidad de beneficios que ofrecen su uso en la distribución de energía (Solovev & Petrova, 2021). En la época actual lo que más se necesita dentro de los sistemas de distribución es la continuidad del servicio eléctrico, estos sistemas que van desde las subestaciones hasta las cargas (usuarios finales) mediante líneas de distribución las cuales deben ser seguras y confiables, teniendo en cuenta esto, hay ocasiones en donde la demanda tiene picos y valles lo que puede resultar en una oferta insuficiente o excesiva de energía eléctrica generada. Cuando hablamos de un equilibrio en el sistema de distribución se habla de la calidad de energía donde hay valores que se deben mantener constantes, como el voltaje y su ángulo que se suministra a la red, por eso debe evitar que los límites de tolerancia se desvíen de sus valores nominales y cumplan con estándares y regulaciones (Ignacio Ortega Aguado, 2021). La utilización de los BESS en los sistemas de distribución genera varios beneficios, por lo cual se realizará un análisis donde se estudiará el impacto que generan y cómo influye en la mejora de la calidad energética. Los BESS también evitan la construcción de nuevos sistemas de distribución o de la repotenciación de activos de distribución que no cumplen con las necesidades y requieren de un aumento en sus capacidades por la creciente demanda, ya que al almacenar los excesos de energía y después proporcionarlos al sistema, se aliviará la congestión de los sistemas de transmisión (Lázaro Endemaño Ventura, 2016; Solovev & Petrova, 2021).

El presente trabajo detalla un análisis de los sistemas de almacenamiento de energía en baterías (BESS), este análisis se dividirá en varias secciones que abordarán aspectos claves como consideraciones generales, impactos y beneficios de su utilización en sistemas de distribución, características, funcionamiento, diseño y calidad energética, de esta manera proporcionar una comprensión completa de las mejoras que la integración de los BESS puede aportar al campo de la distribución de la energía eléctrica.



CAPÍTULO I.

PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de la investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

La creciente demanda de energía eléctrica a lo largo de los años produce la creación de nuevas centrales de generación para poder satisfacer esta demanda y garantizar la confiabilidad del sistema, pero no siempre se puede mantener un sistema estable, existen perturbaciones, picos de carga en horas de máxima demanda, inestabilidad del sistema, cortes o fallas en el suministro de la red eléctrica evitando tener un sistema de suministro continuo. También se produce contaminación por el uso de combustibles fósiles para generación en horas de alto consumo, lo que representa la huella de carbono.

Por los altos costos de inversión para la repotenciación de los sistemas encargados de distribuir la energía por no ser capaz de abastecer la demanda, ahí es donde entra la implementación de los BESS que nos brindarán muchos beneficios y corregirán estos problemas.

1.1.2. Formulación del problema

¿Cómo se puede solventar las deficiencias de los sistemas de distribución energética y poder mantener un sistema estable y confiable?.

1.1.3. Sistematización del problema

- ¿Cuáles son los requerimientos mínimos para tener en cuenta al momento de dimensionar los BESS?.
- ¿Por qué los sistemas de distribución energética mantienen inestabilidades?.
- ¿Cuál es el estudio principal y elementos que se deben considerar para el correcto funcionamiento de los sistemas de almacenamiento de energía por baterías?.
- ¿Cuál es el impacto que tendrá la implementación del proyecto y que tan viable es técnica y económicamente?.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Realizar el estudio de la integración de los sistemas de almacenamiento de energía por baterías (BESS) en la subestación la cadena, mediante el análisis de los efectos que produce la implementación de estos sistemas, detallando los cambios que produce en la red, todo esto con el fin mejorar los sistemas de distribución, brindando un soporte a la entrega de energía y así mantener la confiabilidad del sistema.

1.2.2. Objetivos específicos

- Investigar los elementos que forman parte del BESS para realizar un diseño que se acople a las necesidades del sistema de distribución, así como a los datos de demanda para el dimensionamiento del BESS.
- Analizar el funcionamiento de los sistemas de almacenamiento por baterías.
- Realizar el estudio de la integración de un sistema de almacenamiento por baterías en la red de distribución mediante la simulación del sistema.
- Realizar un análisis de impacto técnico-económico para saber que tan viable es la implementación de este sistema.
- Determinar los beneficios que provee la integración de los sistemas de almacenamiento por baterías.

1.3. Justificación

El presente trabajo investigativo se centra en realizar el estudio de la integración de los sistemas de almacenamiento por baterías en los sistemas de distribución energética permitiendo optimizar el uso de este recurso, mejorando la calidad energética para poder tener un sistema estable, confiable, continuo y seguro que suministre de la mejor manera la demanda reclamada por los diferentes usuarios.

Por lo general los sistemas de distribución energética presentan inestabilidad en su sistema lo que genera pérdidas técnicas, esta ineficiencia se ve reflejado en el trabajo deficiente de las empresas distribuidoras lo que produce un incremento de costos que se ven reflejados en las tarifas eléctricas.

Por estos motivos se presenta opción de la implementación de los BESS en los sistemas de distribución, se pretende que el uso de las baterías para acumular energía eléctrica en momentos donde la demanda no es alta y esta no se desperdicie, siendo usada más adelante en momentos donde el consumo llega a su pico más alto y se necesite de esta para estabilizar el sistema. Estos BESS nos permitirán reestablecer el servicio de manera inmediata en caso de algún corte en el servicio, mantiene y garantiza la estabilidad de una red eléctrica o del mismo sistema de distribución ya que nos permite regular la tensión y la frecuencia, gracias a su rápida respuesta se convierte en una manera eficaz de mantener el equilibrio de la red.

Nos ofrecen ayuda en gran medida al mantenimiento y funcionamiento de las instalaciones y equipos del sistema del servicio público, con gran capacidad de reserva.



CAPÍTULO II.

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1 Antecedentes

La creciente demanda de energía eléctrica a lo largo de los años y la implementación de las energías renovables en mayor cantidad ha provocado buscar métodos de almacenamiento de energía para optimizar los sistemas y tener un mejor aprovechamiento de esta energía, aquí es donde entran los sistemas de almacenamiento por baterías (BESS), estos son sistemas que almacenan energía y la suministran cuando esta sea requerida. Además, estos sistemas actúan como una balanza entre la demanda y oferta de energía, lo que permite tener una estabilidad en la red, de igual manera ante posibles expansiones, permitiendo la reducción de costos de inversión (Henry Paúl Asadobay Sandoval, 2022; Maria Del Socorro Gómez Pérez, 2018).

Con respecto a estos sistemas podemos encontrar una gran variedad de referencias como son; Andrew L. Cotter, Dale T. Bradshaw, 2015; Hassenzahl, Susan M. Schoenung, 2003, donde se habla de su principio de funcionamiento, capacidad de almacenamiento, costos y tipología, además del análisis de los impactos que se produce por su implementación en la red, pérdidas técnicas que se pueden producir, como determinar la ubicación óptima de estos equipos y el diseño en su totalidad de esta tecnología, al principio los diseños de estos sistemas no tomaba en cuenta los valores de demanda y la capacidad de almacenamiento de los dispositivos. Actualmente la conexión de las baterías es de manera secuencial, siendo este el método más eficaz para su utilización, al pasar los años los métodos de utilización presentan revoluciones tecnológicas, se introducen nuevos materiales, soluciones tecnológicas que garantices mayor eficiencia y costes más bajos con un mayor rendimiento, lo que se busca es tener un producto que sea cada vez más sostenible (Maria Del Socorro Gómez Pérez, 2018).

2.1.2 Almacenamiento de energía

La energía es importante en las actividades diarias, tiene un sin fin de aplicaciones desde la cocción de alimentos hasta la movilización de vehículos, por todo

esto y más es que a lo largo de la historia se ha buscado la manera de conservar la energía para después poder darle uso cuando se la necesite (Henry Paúl Asadobay Sandoval, 2022).

Aparecieron los sistemas de almacenamiento de energía, este es un medio por el cual se puede aprovechar la energía sobrante y poder conservarla. Se creó este método por optimización de procesos debido a la diferencia que ocurre entre la generación y consumo energético, existen momentos donde la generación es excesiva y no es consumida, de igual manera cuando la generación es reducida y no se puede satisfacer la demanda (GUILLERMO JAVIER MARTÍN CHICHARRO, 2016; Henry Paúl Asadobay Sandoval, 2022).

Los SAE brindan la solución de que la energía sea de mayor utilidad mediante el proceso de almacenamiento y que esta se encuentre disponible cuando sea requerida (GUILLERMO JAVIER MARTÍN CHICHARRO, 2016; Henry Paúl Asadobay Sandoval, 2022).

2.1.2.1. Tipos de tecnologías para el almacenamiento de energía

El almacenamiento de energía es un punto muy importante para el desarrollo, permite tener energía a disposición la cual no se la utiliza al momento, esta se almacena para después ser transportada y aprovechada donde y cuando sea requerida. Estas tecnologías de almacenamiento permiten aprovechar las distintas formas de generación de energía, en este caso las renovables, ya que estas no son de generación continua, se necesita de situaciones y momentos adecuados para su utilización, generarla, almacenarla y después incorporarla sin restricciones cuando sea necesaria (GUASCAL PAILLACHO PAUL SANTIAGO, 2021).

Los distintos tipos de almacenamiento de energía generan un aprovechamiento y mayor gestión de las energías renovables, brindando una respuesta rápida a la demanda en las horas de alto consumo, esto nos permite obtener una red más robusta y confiable. Los procesos y riesgos de operación con los SAE se

reducen, a la vez disminuyen los costos y la deficiencia del sistema (GUASCAL PAILLACHO PAUL SANTIAGO, 2021).

El almacenamiento de energía nos proporciona múltiples funciones de mejora en la red eléctrica, estas funciones son detalladas a continuación (GUASCAL PAILLACHO PAUL SANTIAGO, 2021; PAÚL ALFREDO LEMA OSORIO, 2018):

- Satisfacer los picos de demanda
- Mejorar fiabilidad y calidad de la energía
- Aliviar la intermitencia de la generación
- Optimización de la red
- Flexibilidad de la red

Dado el desarrollo en los últimos años de las energías renovables y su rápido crecimiento, los distintos sistemas de energía tradicional se verán reducidos por el uso de las nuevas fuentes de generación más amigables, pero el inconveniente es que estos sistemas fluctúan. Aquí la solución son los múltiples sistemas de conversión de energía de las diferentes formas de energía existentes, éstas se encuentran presentes en el mundo de la tecnología de almacenamiento, debido a esto se abrió una puerta de expansión para el uso de las distintas formas de almacenamiento de energía (Ibrahim *et al.*, 2008).

En la Tabla 2.1 se describirán las principales tecnologías de almacenamiento referenciadas a su tipo de energía (Argyrou *et al.*, 2018).

Tabla 2.1. Clasificación de las tecnologías EES

Clasificación de las Tecnologías de los Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica					
Mecánicas	Eléctricas	Térmicas	Químicas	Termoquímicas	Electroquímicas
Hidráulico por bombeo	Super conductor magnético	Calor sensible	Hidrogeno	Combustibles solares	Baterías de flujo
Volante de inercia	Capacitor	Calor latente	Pila de combustible	Hidrogeno solar	Baterías secundarias
Aire comprimido	Supercapacitor		Electrolizador		

FUENTE: (Almacenamiento de energía para la generación de electricidad, 2018).

ELABORADO: Saraguro E (2023).

A. Almacenamiento mediante energía mecánica

Este tipo de almacenamiento se da por la energía creada con la fuerza de origen mecánico que genera el movimiento de los cuerpos.

a) Almacenamiento Hidráulico por Bombeo (PHS):

El PHS es un método de almacenamiento popular y común considerado como uno a gran escala. Su sistema de funcionamiento se basa en la acumulación de agua a gran altura, donde el agua puede fluir tanto al nivel superior como nivel inferior creando una diferencia de altura donde se generará energía potencial. El sistema PHS consta de dos embalses y de un sistema de bombeo para llevar el agua al embalse que se encuentra sometido a una altura (Argyrou *et al.*, 2018).

Cuanta cantidad de energía que será almacenada dependerá de la distancia(altura) que se generó entre los dos depósitos de agua y la cantidad de agua que se acumuló, de igual manera la cantidad de energía que generará la central de Bombeo y la potencia nominal de la combinación bomba-turbina y generador-motor estará ligada al caudal y a la presión que será sometida la turbina (Luo *et al.*, 2015).

Cuando sea requerida la energía el agua almacenada en el embalse superior se libera produciendo energía eléctrica cuando se activa la turbina, esto se produce en horas de mayor demanda y al momento de no requerir esta energía que se produce en horas de menor consumo en agua en que encuentra en el embalse inferior es bombeada a la superior(Argyrou *et al.*, 2018; Luo *et al.*, 2015)

Existen una serie de ventajas al usar este tipo de tecnología, estas son detalladas a continuación (Argyrou *et al.*, 2018):

- Alta eficiencia (65-85%)
- Vida útil de entre 30 y 60 años
- Rápido tiempo de respuesta
- Gran capacidad de potencia
- Bajo costo del ciclo de almacenamiento
- Largo periodo de almacenamiento

b) Almacenamiento por aire comprimido (CAES)

Este sistema almacena energía mediante compresores los cuales se ponen en funcionamiento mediante el uso de electricidad, parte de un proceso donde convierte la energía eléctrica en energía de aire presurizado (Budt et al., 2016). Al comprimir el aire este será almacenado en una cámara hermética, se dispone de una turbina de aire la cual receipta el aire a alta presión que se libera de la cámara, al poner en funcionamiento esta turbina se genera electricidad (Breeze, 2018).

El sistema de almacenamiento de aire se mide en CAES (Budt *et al.*, 2016). Este tipo de sistema es considerado como una a opción a largo plazo debido a la capacidad que tiene para suministra energía durante una cantidad prolongada de tiempo (varios días), el único defecto es que este no es un sistema independiente (Argyrou *et al.*, 2018).

c) Sistemas de almacenamiento de energía con volante de inercia (FES)

Este sistema de almacenamiento nos permite utilizarlo de manera autónoma, podemos mezclarlo con otro medio de almacenamiento o con medios de generación distribuida, al acelerar el rotor y la polea general del sistema esta energía se almacena en el volante de inercia (Mahlia *et al.*, 2014).

Si tomamos en cuenta la velocidad, este sistema se divide en FES de alta y baja velocidad, los de alta velocidad nos brinda un mayor tiempo de almacenamiento de energía, el problema que aparece es que son pequeñas cantidades de potencia, al contario que el de baja velocidad que almacena por pequeños tiempos, pero valores de altas potencias (Mahlia *et al.*, 2014).

El avance de esta tecnología a lo largo de los años tanto en estructuras como en equipos ha generado su utilización en un mayor porcentaje, un ejemplo es la industria vehicular (vehículos eléctricos) y para algunos sistemas de alimentación (Moradzadeh *et al.*, 2021).

Existen varios métodos para el almacenamiento por este tipo de tecnología, los cuales se presentan a continuación (Koohi-Kamali *et al.*, 2013):

- Generador eólico-diésel con un sistema de almacenamiento de energía mediante volante de inercia.
- Rotor de volante de inercia para sistema de almacenamiento de energía.
- Sistema de almacenamiento de energía por volante de inercia para baterías y alta potencia sistema UPS.

B. Sistemas de almacenamiento térmico

Los TES (sistemas de almacenamiento térmico), puede almacenar tanto calor como frío permitiendo utilizar sistema en condiciones variables de temperatura y potencia (Cabeza *et al.*, 2015), la energía almacenada servirá para múltiples aplicaciones en la que se incluye refrigeración y calefacción, con esto se pretende abastecer el desajuste que se presenta entre generación y consumo energético (Cabeza *et al.*, 2015; Sarbu & Sebarchievici, 2017), este sistema es completo ya que cuenta con el proceso carga, almacenamiento y descarga (Cabeza *et al.*, 2015).

Su aplicación se da principalmente en edificios y procesos industriales, nos ofrecen un mayor desempeño, eficiencia global, fiabilidad y una mejora económica (Sarbu & Sebarchievici, 2017).

a) Almacenamiento de calor sensible

Este sistema almacena energía por medio de la modificación de la temperatura del medio de almacenamiento, ya sea elevándola o reduciéndola, estos medios pueden ser agua, aceite, ladrillos, hormigón (Cabeza, 2012; Sarbu & Sebarchievici, 2017). El valor de la temperatura decide la cantidad de almacenamiento de energía, también depende de la masa y la capacidad calorífica del medio, los distintos materiales tienen varias características que permiten mayor o menor almacenamiento (Cabeza, 2012).

b) Almacenamiento de calor latente

Al realizarse los procesos de conversión de estado sólido, líquido y gaseoso, se aprovecha para almacenar tanto frío como calor, esto dependerá del material, todo este proceso de transición es el que permite el almacenamiento de energía. (Cabeza, 2012; Cabeza *et al.*, 2015). Al momento que el material se funde,

este absorbe el calor, almacenando grandes cantidades de calor a temperatura constante, este será liberado al momento en que el material se vuelva totalmente sólido, los materiales que se usan en este método de almacenamiento son conocidos como materiales de cambio de fase (Cabeza *et al.*, 2015).

c) Almacenamiento por adsorción química.

Al producirse una reacción con un exceso de calor donde se encuentra presente una alta concentración de energía se conoce como almacenamiento termoquímico, mediante este proceso se puede almacenar energía, durante la reacción química que se produce al realizarla de manera inversa debe ser posible liberar la energía almacenada, dado esto, solo las reacciones que puedan producirse de reversa sirven en este proceso de almacenamiento (Cabeza, 2012; Cabeza *et al.*, 2015).

En la Tabla 2.2 se describirán algunos tipos de almacenamiento de energía térmica:

Tabla 2.2. Tipos de almacenamiento de energía térmica

Almacenamiento de energía térmica				
Calor sensible		Térmico		Calor latente
Líquidos	Sólidos	Sólidos-líquidos	Líquidos-gaseosos	Sólido-sólido

FUENTE: (Sarbu & Sebarchievici, 2017).

ELABORADO: Saraguro E (2023).

C. Almacenamiento con energía química

Se define como la capacidad de extraer energía que sea de utilidad de materiales químicos de los cuales sean de rápida extracción o de extracción latente, a continuación, se presentan los tipos de procesos (Miller *et al.*, 2020):

- Sorción física
- Sorción química
- Intercalación
- Transformación electroquímica
- Transformación química

Dentro de las formas de almacenamiento de energía química encontramos al Hidrogeno, la pila de combustibles y los hidrocarburos (Revankar, 2019). Estas energías tienen una densidad energética mayor que la de las baterías, además de característica de mayor envergadura como es el tiempo de carga y descarga, de esta manera ajustándose perfectamente al actual cambio de las energías renovables sobre el uso de fósiles (Miller *et al.*, 2020; Revankar, 2019).

a) Almacenamiento de Hidrogeno.

El almacenamiento por este medio es de gran enfoque, varían las maneras de obtención de energía como pueden ser (hidrogeno gaseoso comprimido, hidrogeno criogénico y líquido, almacenamiento químico, sorción de hidrogeno de un material solido), el único inconveniente presente es la baja presencia de hidrogeno, las presiones de gas, la seguridad por el mismo sistema, son limitantes de esta tecnología de gran consolidación (Abe *et al.*, 2019; Miller *et al.*, 2020; Revankar, 2019).

D. Almacenamiento de energía eléctrica

El almacenamiento de energía eléctrica es el proceso que más está presente en las actividades diarias, este se encuentra en la carga y descarga de: celulares, laptops, cámaras, portátiles entre otros equipos, pero el de especial importancia son las baterías recargables que nos permiten múltiples actividades, un ejemplo, la utilización en vehículos eléctricos (Mai, 2015).

Entre los métodos de almacenamiento de energía eléctrica encontramos:

a) Capacitor

El método por capacitores almacena energía mediante dos placas metálicas las cuales son separadas por una capa no conductora, al momento que una de estas placas se carga eléctricamente, la otra placa se inducirá con una carga contraria, estos elementos son de densidad energética baja, por lo cual pueden almacenar altos voltajes, pero solo en cortos periodos de tiempo (Guney & Tepe, 2017).

b) Supercapacitor

Estos condensadores constan de una mayor capacidad de almacenamiento, están formados por una capa electrolítica muy fina conjunto a una estructura de gran superficie de carbón activado. Este tipo de almacenamiento se diferencia de las baterías por ser de carga estática, su ventaja es la carga y descarga en infinidad de veces sin sufrir ningún tipo de daño, aunque estas entregan picos elevados de potencias (Guney & Tepe, 2017).

c) Superconductor

Este sistema de almacenamiento funciona mediante el principio de la electrodinámica, donde la energía se va a almacenar en el campo magnético el cual se forma por el flujo de corriente (DC), esta se mantiene en niveles inferiores a la temperatura de superconducción, se enfría el material a temperaturas super bajas para poder liberar nuevamente esta energía, dependerá de las necesidades su uso o simplemente será inyectarla a la red de suministro eléctrico (Guney & Tepe, 2017).

E. Almacenamiento de energía electroquímica

El almacenamiento electroquímico se encarga de convertir la energía eléctrica generada en energía química y de igual forma volverla a su original, este proceso es una manera perfecta para almacenar energía de cualquier fuente generadora (Burheim, 2017; Skyllas-Kazacos, 2010), estos procesos presentan fricción, por tal motivo debemos entender los diferentes tipos de fricción que presenta la electroquímica, estos procesos explican la necesidad de la energía en los ciclos completos y la gestión del calor (Burheim, 2017).

A continuación, se detallan razones de gran importancia para entender la disipación de energía en este tipo de almacenamiento de energía (Burheim, 2017):

- Permiten dimensionar los sistemas.
- Aprovechamiento de energía.
- Para el diseño del sistema hay que tener en cuentas las pérdidas presentes, esto debido a que forma parte de la gestión del calor.

Dentro de este tipo de almacenamiento se describen los siguientes: células galvánicas, baterías (primaria y secundarias) y baterías de flujo (Silverman, 1980).

2.1.3. Tecnologías de las baterías

Las baterías son utilizadas en los diferentes medios de generación de energía para el almacenamiento de esta, en el caso de este tipo de almacenamiento se caracteriza por su utilización en la red eléctrica y sus beneficios como: su densidad energética, eficiencia, economía y vida útil (Stecca *et al.*, 2020).

A continuación, se presentarán las principales tecnologías de baterías utilizadas:

2.1.2.1. Baterías de plomo ácido

Este tipo de baterías están formadas por varias aleaciones, estas serán descritas a continuación en la Tabla 2.3 (Koehler, 2018).

Tabla 2.3. Aleaciones de la batería plomo ácido

Las baterías de plomo ácido y sus aleaciones
Plomo metálico
Dióxido de plomo
Sulfato de plomo
Ácido sulfúrico

FUENTE: (U. Koehler, Visión general de los sistemas de pilas que no son de litio y sus problemas de seguridad, 2018).

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Este se encuentra formado por dos placas positivas (dióxido de plomo), en caso de las placas negativas son de plomo de alta superficie y con una solución de ácido sulfúrico, la cual se encuentra en agua, cuando se produce este proceso en la descarga de energía tanto la placa negativa como positiva se convierte en sulfato de plomo (Spiers, 2018).

Esta batería nos presenta los siguientes beneficios: bajo costo, alto voltaje en la batería, aplicación en cargas intermitentes, buen rendimiento a alta velocidad, de igual manera presenta desventajas, como: densidad energética limitada, corto ciclo de vida y presencia de sulfatación en terminales (Fan *et al.*, 2020).

La Tabla 2.4 detalla algunas de las características de las baterías Plomo-Acido(Šimić *et al.*, 2021):

Tabla 2.4 Características de las baterías Plomo-Acido

Características	Valores
Voltaje de la célula	2 – 2.1 V
Energía especificada	25 – 50 Wh/kg
Densidad de energía	25 – 90 kWh/m ³
Densidad de potencia	10 – 400 kW/m ³
Rendimiento	63 – 90 %
Temperatura de funcionamiento	18/45 °C
Ciclos de vida útil	250 – 2000
Vida útil	2 - 15 years
Profundidad máxima de descarga	80%
Tasa de autodescarga	0.1 – 0.3 % per day
Potencia nominal	0 – 20 MW
Coste energético	40 – 170 €/kWh
Conste de potencia	250 – 500 €/kW

FUENTE: (Tecnología de almacenamiento de energía en baterías,2021).

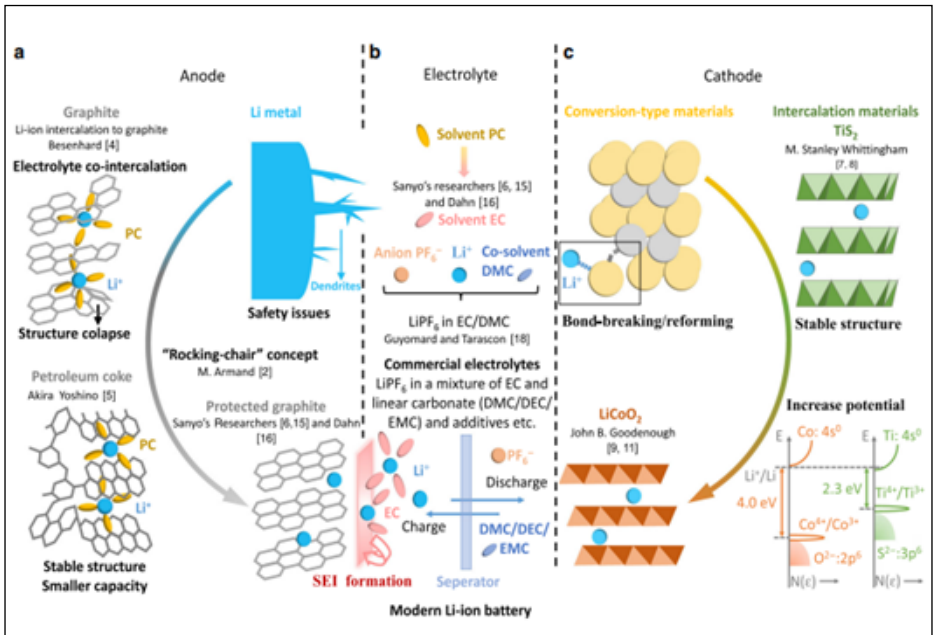
ELABORADO: Saraguro E (2023).

2.1.2.2. Baterías de iones de Litio

Esta tecnología de almacenamiento es la que mayor uso presenta, todo esto se debe a sus características e historial, con referente a sus puntos fuertes encontramos: potencia elevada, rendimiento y su bajo porcentaje de autodescarga (Hesse *et al.*, 2017).

El desarrollo de esta batería no se ha quedado atrás, esto debido a su gran utilidad y rendimiento, las baterías de litio modernas constan de dos electrodos, el cátodo formado por óxido de litio y cobalto, por su parte el ánodo siendo de grafito y el cuerpo que separa estas dos aleaciones formado de un cuerpo poroso que se encuentra sumergido en un líquido electrolito no acuoso formado por la mezcla de etileno y la selección entre un carbonato lineal, este puede ser carbonato (di metilo, di etilo, etil metilo y muchos otros aditivos), en la Figura 2.1 se puede apreciar cómo está compuesta esta batería (Xie & Lu, 2020).

Figura 2.1. Batería de litio moderna



Nota. El gráfico representa las características de la batería de litio moderna, tomado de Retrospectiva de las baterías de iones de litio, 2020, por Jing Xie1 & Yi-Chun Lu.

La Tabla 2.5 detalla algunas de las características de las baterías Ion Litio (Šimić *et al.*, 2021):

Tabla 2.5. Características de las baterías de Ion Litio

Características	Valores
Voltaje de la célula	2.5 – 5 V
Energía especificada	80 – 250 Wh/kg
Densidad de energía	95 – 500 kWh/m ³
Densidad de potencia	50 – 800 kW/m ³
Rendimiento	75 – 97 %
Temperatura de funcionamiento	20/65 °C
Ciclos de vida útil	100 – 10000
Vida útil	5 - 15 years
Profundidad máxima de descarga	100%
Tasa de autodescarga	0.1 – 0.3 % per day
Potencia nominal	0 – 0.1 MW
Coste energético	500– 2100 €/kWh
Conste de potencia	1000 – 3400 €/kW

FUENTE: (Tecnología de almacenamiento de energía en baterías, 2021).

ELABORADO: Saraguro E (2023).

2.1.2.3. Baterías de Níquel – Cadmio

Este tipo de baterías comparten características con las de plomo-ácido diferenciándose con una capacidad superior en ciclado y densidad de energía (Johnson *et al.*, 2019), están formadas por un electrodo negativo constituido de níquel metálico y uno positivo de hidróxido de níquel, la solución que separa estas dos aleaciones es una acuosa alcalina (Johnson *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2021), en su proceso de descarga el óxido de níquel se mezcla con agua lo que produce el hidróxido de níquel, para el caso de la carga, el procedo ya establecido se inviertes y así produciendo hidrógeno y oxígeno (Oliveira *et al.*, 2021), se habló de sus ventajas, pero en igual manera estás presentan inconvenientes, su

creación se produce con materiales de alta toxicidad, al momento de la carga se ven obligadas a recargarse por completo incluso si nunca fueron descargadas por completo, esto es conocido como el efecto memoria (Johnson *et al.*, 2019).

La Tabla 2.6 detalla algunas de las características de la batería de níquel/cadmio (Šimić *et al.*, 2021):

Tabla 2.6. Características de las baterías de níquel/cadmio

Características	Valores
Voltaje de la célula	1.2 – 1.3 V
Energía especificada	30 – 80 Wh/kg
Densidad de energía	15 – 150 kWh/m ³
Densidad de potencia	40 – 140 kW/m ³
Rendimiento	60– 90 %
Temperatura de funcionamiento	-40 – 50 °C
Ciclos de vida útil	1000 – 5000
Vida útil	2 - 15 years
Profundidad máxima de descarga	80%
Tasa de autodescarga	0.2 – 0.6 % per day
Potencia nominal	0 – 40 MW
Coste energético	680 – 1300 €/kWh
Conste de potencia	420 – 1300 €/kW

FUENTE: (Tecnología de almacenamiento de energía en baterías, 2021).

ELABORADO: Saraguro E (2023).

2.1.2.4. Baterías de hidruro metálico de níquel

Este tipo de batería es considerada una batería secundaria, la cual por sus características internas químicas es capaz de recargarse en un tiempo determinado (Tarabay & Karami, 2015). Si las comparamos con las baterías de níquel/ cadmio se puede acotar que poseen una densidad energética superior entre 1.5 y 2 veces más, dado esta ventaja son utilizadas como pilar de baterías recargables en dispositivos portátiles y vehículos eléctricos (Abdin & Khalilpour, 2018;

Tarabay & Karami, 2015). Poseen una gran seguridad y conciencia medioambiental, tienen una gran capacidad de potencia y en su proceso de carga y descarga son más tolerables evitando reducción rápida de tiempo de vida (Abdin & Khalilpour, 2018). Si hablamos de su principal uso nos estamos refiriendo a la implementación en la fabricación de los coches híbridos (Tarabay & Karami, 2015), esta batería funciona combinado el electrodo positivo de la batería con aleaciones metálicas, su reacción se da entre la aleación que produce el aislamiento y el electrolito de la batería (Sterner & Stadler, 2019).

La Tabla 2.7 detalla algunas de las características de la batería de híbrido metálico de níquel (Šimić *et al.*, 2021):

Tabla 2.7. Características de las baterías de híbrido metálico de níquel

Características	Valores
Voltaje de la célula	1.2 – 1.35 V
Energía especificada	40 – 110 Wh/kg
Densidad de energía	40 – 300 kWh/m ³
Densidad de potencia	10 – 600 kW/m ³
Rendimiento	50 – 90 %
Temperatura de funcionamiento	-30 – 70 °C
Ciclos de vida útil	300 – 1800
Vida útil	2 - 15 years
Profundidad máxima de descarga	100%
Tasa de autodescarga	5 – 20 % per day
Potencia nominal	0.01 – 3 MW
Coste energético	170 – 640 €/kWh
Conste de potencia	200 – 470 €/kW

FUENTE: (Tecnología de almacenamiento de energía en baterías, 2021).

ELABORADO: Saraguro E (2023).

2.1.2.5. Baterías de Sodio/Azufre

Actualmente estas baterías están siendo estudiadas como una alternativa a las

baterías de litio debido a su menor coste y a la gran cantidad de sodio presente en las múltiples regiones del mundo (Kumar *et al.*, 2017). Esta tecnología es implementada en gran cantidad en Japón para el almacenamiento de energía en fábricas, aun así, para tener una implementación gran escala necesitan de más investigación y sean capaces de hacer frente a los problemas de índole actual (Kumar *et al.*, 2017; Rusek *et al.*, s/f).

Esta batería usa un electrolito en estado sólido, teniendo un funcionamiento a alta temperatura (300 °C), consta de dos electrodos, uno de sodio y otro de azufre ambos fundidos, la reacción que se produce entre estos dos electrodos es la base de funcionamiento de esta batería (Breeze, 2019; Kumar *et al.*, 2017; Rusek *et al.*, s/f). Estas constan con un tiempo de respuesta que ronda los 1ms, siendo de uno de los más rápidos (Breeze, 2019). La Tabla 2.8 detalla algunas de las características de la batería sodio/azufre (Šimić *et al.*, 2021):

Tabla 2.8. Características de las baterías de híbrido metálico de sodio/azufre

Características	Valores
Voltaje de la célula	1.8 – 2.71 V
Energía especificada	150 – 240 Wh/kg
Densidad de energía	150 – 350 kWh/m ³
Densidad de potencia	1.2 – 50 kW/m ³
Rendimiento	75 – 90 %
Temperatura de funcionamiento	300/350 °C
Ciclos de vida útil	2500 – 40000
Vida útil	10 - 15 years
Profundidad máxima de descarga	100%
Tasa de autodescarga	0 % per day
Potencia nominal	0.05 – 34 MW
Coste energético	250 – 420 €/kWh
Conste de potencia	850 – 2500 €/kW

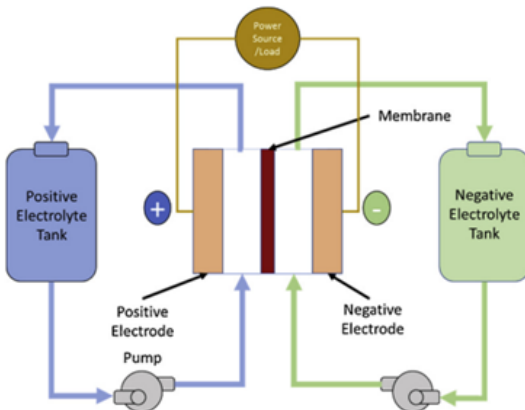
FUENTE: (Tecnología de almacenamiento de energía en baterías, 2021).

ELABORADO: Saraguro E (2023).

2.1.2.6. Baterías de flujo de Vanadio Redox

La tecnología que implementan las baterías de flujo promete un desarrollo interesante para el almacenamiento de energía (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2023; Lourenssen *et al.*, 2019), su implementación permite suavizar y mejora la calidad de los sistemas eléctricos de potencia, una gran capacidad de almacenamiento, mejora en los periodos de carga y descarga que estos sean más largos, sistema de rápida respuesta, reducción en el precio de sus materiales y mantenimiento (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2023). Si hablamos de una diferencia con el resto de las baterías, este sería su sistema de almacenamiento, el cual consta de dos depósitos, estos almacenan los electrolitos tanto negativos como positivos alejados de la parte central de la batería, los electrolitos circulan por medio de bombas alrededor de las celdas electromecánicas, estos se alimentan por medio de semiceldas separadas en el interior de la batería, después son devueltos a los tanques para generar una recirculación y repetir el ciclo (Adeleke *et al.*, 2020; Lourenssen *et al.*, 2019), en la Figura 2.2 se puede apreciar el sistema de almacenamiento de la batería de flujo (Lourenssen *et al.*, 2019).

Figura 2.2. Diagrama de almacenamiento de la batería de flujo de vanadio redox



Nota. El gráfico representa el diagrama de almacenamiento de la batería de flujo de vanadio redox., tomado de Baterías de flujo redox de vanadio: Una revisión exhaustiva, 2019, por Kyle Lourenssen, James Williams, Faraz Ahmadpour, Ryan Clemmer, Syeda Tasnim.

La Tabla 2.9 detalla algunas de las características de la batería flujo (Šimić *et al.*, 2021):

Tabla 2.9. Características de las baterías de flujo de vanadio redox

Características	Valores
Voltaje de la célula	1.2 – 1.4 V
Energía especificada	10 – 130 Wh/kg
Densidad de energía	10 – 33 kWh/m ³
Densidad de potencia	2.5 – 33 kW/m ³
Rendimiento	75 – 90 %
Temperatura de funcionamiento	5/45 °C
Ciclos de vida útil	10000 – 16000
Vida útil	5 - 15 years
Profundidad máxima de descarga	100%
Tasa de autodescarga	0 % per day
Potencia nominal	0.03 – 3 MW
Coste energético	130 – 850 €/kWh
Conste de potencia	500 – 1300 €/kW

FUENTE: (Tecnología de almacenamiento de energía en baterías, 2021).

ELABORADO: Saraguro E (2023).

2.1.4. Características por considerar para el rendimiento del sistema de baterías

Al realizar el diseño de un sistema de almacenamiento por baterías hay que tener muchos puntos en consideración, con respecto a las baterías y todo el sistema, se debe tomar en cuenta los criterios de rendimiento, de igual manera las condiciones de trabajo, para de esta manera estas no tengan un bajo rendimiento o una corta vida útil (Enlight (E.), 2023), en la Tabla 2.10 se puede apreciar algunos factores para la selección de la batería (Catherine Yang, 2019).

2.1.4.1. Autodescarga

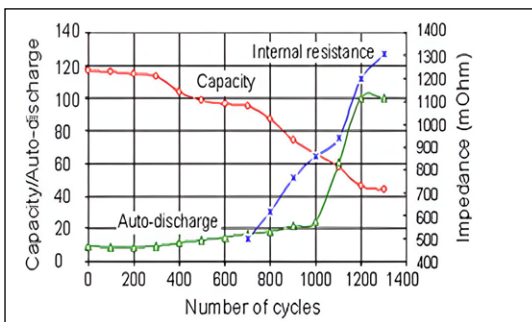
Esto indica la pérdida de capacidad que presenta una batería, este parámetro señala la energía que se disipa por tiempo, esto se produce aun cuando no esté en funcionamiento, este valor de autodescarga depende de múltiples factores como son; temperatura, envejecimiento, estado de carga, entre otros factores, debido a esto se debe tomar medidas que eviten el aumento de la tasa de autodescarga (Bertran, 2017).

2.1.4.2. Capacidad de almacenamiento

La capacidad de almacenamiento es simplemente la energía que se tendrá a disposición después de realizar la carga del medio de almacenamiento utilizado. Debemos tener en cuenta que la energía almacena es superior a la energía que se obtiene después de cada descarga ya que esta casi nunca es completa, en la Figura 2.3 se puede apreciar parte de estas características (Ibrahim *et al.*, 2018).

El límite de profundidad de descarga (energía utilizable), se determina por este proceso, de igual manera por cada carga y descarga de energía la eficiencia del sistema de almacenamiento se ve reducida (Ibrahim *et al.*, 2018).

Figura 2.3. Características técnicas de una batería



Nota. El gráfico representa las características técnicas de una batería, tomado de “Índice de rendimiento: Un método sencillo de selección del almacenamiento de energía adecuado para una aplicación específica”, 2018, por H. Ibrahim, M. Ghandour, y S. Saad.

2.1.4.3. Energía específica

La energía específica es la energía de capacidad nominal que se tiene almacenada en la batería, cuando su estado de carga está al 100%, por una unidad de masa del dispositivo, esta se mide en [Wh/kg] (Georgious *et al.*, 2021).

2.1.4.4. Densidad de energía

Esta es la energía que se pueda almacenar por un determinado volumen, debemos tener en cuenta esto como un punto muy importante, esta se ve representada por la unidad de [Wh/m³] (Georgious *et al.*, 2021).

2.1.4.5. Potencia específica

La potencia específica es la que determina cual es la cantidad de energía que puede entregar el sistema, siendo la cantidad de energía que se puede suministra por unidad de masa de la batería, esta viene representada por las unidades [W/kg] (Georgious *et al.*, 2021).

2.1.4.6. Densidad de potencia

La densidad de potencia es la cantidad de potencia que el sistema de almacenamiento puede entregar y almacenar por unidad de volumen, esta se representa con la unidad de [W/ m³] (Georgious *et al.*, 2021).

2.1.4.7. Ciclo de vida

Esta es la capacidad de ciclos entre carga y descarga que tolerara la batería implementada antes de que se acabe su vida útil, estas características dependerán del tipo de tecnología, también afectara la profundidad de descarga en cada ciclo, la temperatura que mantenga la batería y el método de carga aplicado, debemos tener en cuenta que descargar la batería por debajo del rango que limita la tensión de corte reduce de manera considerable la vida de esta (Rachid *et al.*, 2023).

2.1.4.8. Costos

Es uno de los puntos más importantes para el diseño de estos sistemas de almacenamiento, dentro de ellos hay que tener en cuenta lo que son costos de capital y costos operativos. Los costos operativos son; operación, mantenimiento de la tecnología, disposición y remplazo del equipo, para el caso de costo de capital se anexan la implementación de sistemas auxiliares (Andrés & Gómez, 2018).

2.1.4.9. Profundidad de descarga (DoD)

La profundidad de descarga es el límite hasta donde las baterías pueden entregar la energía almacenada, estas no pueden entregar toda su energía ya que esto provocaría daños en su sistema, la DoD determina la cantidad de energía que se puede extraer, en la se puede apreciar la profundidad de descarga de una batería (FIDEL MAIK MEDINA CATAY, 2021).

2.1.4.10. Estado de carga (SOC)

Este se encarga de dar la indicación del estado actual de energía que se encuentra en la batería, la cantidad disponible que aún se puede ofrecer, ejemplo si el SOC indica un porcentaje de 100%, quiere decir que esta está completamente cargada, en caso de ser 0% indicaría que esta está completamente descargada, el SOC reduce su capacidad máxima de medición con el envejecimiento de la batería (FIDEL MAIK MEDINA CATAY, 2021).

2.1.4.11. Desvanecimiento de capacidad

Esto se describe como la reducción de la capacidad de carga que puede proporcionar una batería, esto se produce por una cantidad de factores, como es la temperatura, pero primordialmente por el tiempo de uso que se ha dado a esa batería, factores de envejecimiento (Andrés & Gómez, 2018).

2.1.4.12. Desvanecimiento de potencia

El desvanecimiento de potencia es producido debido al incremento que se produce en la resistencia interna (impedancia) de la celda, esto produce limitaciones en la potencia que puede ofrecer la batería y de esta manera reduciendo la eficiencia del sistema (Andrés & Gómez, 2018).

2.1.4.13. Eficiencia de ida y vuelta

Esta indica cual es la cantidad total que se ha utilizado durante el proceso de carga y descarga de la batería, o lo mismo que sería cuanto fue la cantidad de energía que se ha perdido durante este proceso, por lo general estos valores están en el rango del 60-95% (Enlight (E.), 2023).

2.1.4.14. Efecto memoria

Esta es la capacidad de la batería para mantener una cantidad menor de su carga disponible, son procesos de carga y descarga incompletos que reducen la capacidad de la batería, un ejemplo la batería carga a un 40% y comienzo a usar repetidamente de esta manera la misma, esta perderá su capacidad original, esto es conocido como el efecto memoria (Rodríguez *et al.*, 2022).

2.1.4.15. Vida útil

Es la característica de tiempo en que la batería reduce su capacidad de almacenamiento, esta se ve referenciada por dos puntos importantes, la duración de la carga y la duración total. La duración de la carga es el tiempo que la batería almacenara la energía potencial sin derramarse, por parte de la vida útil total es la cantidad de ciclos de carga que soportara o permitirá la batería (Andrés & Gómez, 2018).

2.1.4.16. Tensión de circuito cerrado

Este nivel de voltaje se determina cuando la batería tiene algún elemento conectado en sus terminales suministrándole energía, este valor dependerá de la carga y la cantidad de corriente que esta ceda (Bertran, 2017).

2.1.4.17. Tensión de circuito abierto (Voc).

Este es nivel de voltaje que presenta una batería cuando no hay conectado ningún dispositivo a ellas, esta se puede determinar mediante medición entre sus terminales (Bertran, 2017).

2.1.4.18. Tensión

El valor de voltaje con el que funciona la batería es un aspecto importante para tener en cuenta, este valor será determinado por los materiales con los cuales son construidas las misma y será especificado por los fabricantes, su medición es en voltios (Georgious *et al.*, 2021)

2.1.4.19. Electrodo y electrolito

Estos son elementos que conforman las celdas conectadas en serie o paralelo, con el fin de conseguir la capacidad y voltaje necesario, cada celda consta de dos electrodos y un electrolito (Bertran, 2017; NATALY XIMENA MONTEZUMA SANTACRUZ, 2014) El electrodo es un conductor el cual está encargado de recibir y suministrar corriente al sistema, este es un elemento que se constituye de materiales que se encuentran en gran cantidad, por lo cual es económico, no es toxico y tiene gran estabilidad.

Por su parte el electrolito es una sustancia la cual contiene iones que tienen libertad de movilidad, estos se movilizan entre los electrodos que conforman la celda de la batería (Andrés & Gómez, 2018; NATALY XIMENA MONTEZUMA SANTACRUZ, 2014).

2.1.4.20. Autonomía

Esta se refiere a la relación que existe entre la capacidad de almacenamiento de energía y la potencia máxima que se puede entregar, con referencia al tiempo en el que el sistema puede entregar energía de manera constante, esta dependerá del tipo de almacenamiento a utilizar y de la aplicación (Ibrahim *et al.*, 2018).

2.1.4.21. Máxima corriente de descarga continua

Cantidad máxima de corriente que la batería puede ofrecer en el proceso de descarga de manera continua, estos valores vienen impuestos por los diferentes fabricantes con el objetivo de evitar daños, reducir su vida útil y reducir su capacidad (Bertran, 2017)

2.1.4.22. Máxima corriente en intervalos

Es la capacidad máxima de corriente que se puede ofrecer durante el proceso de descarga, por momentos o intervalos de tiempo, estos valores vienen determinado por los fabricantes, con el fin de evitar daños y pérdidas. La corriente de manera continua suele ser sensiblemente menos alta que la corriente de intervalos (Bertran, 2017).

2.1.4.23. Eficiencia

Es la relación entre la energía almacenada y la que se extrae de la batería, como tal la eficiencia de carga y descarga, viendo más a fondo dentro del sistemas BESS podemos incluir la eficiencia total del sistema de los equipos que la conforma como son; el inversor, rectificador, la cantidad de energía almacenada, la autodescarga de energía y así con todos los puntos del sistema (FIDEL MAIK MEDINA CATAY, 2021).

Tabla 2.10. Factores para tener en cuenta a la hora de la selección de la batería

Selección de la batería
Tecnología
Seguridad
Garantía de rendimiento
Requisitos de rendimiento
Costos
Temperatura
Infraestructura
Densidad de energía
Aplicaciones
Eficiencia
Ciclo de vida
Tiempo de descarga
Componentes de potencia
Célula de la batería y modulo
Requisitos de servicio

FUENTE: (Catherine Yang, 15 factores a tener en cuenta para la selección de las baterías, 2019).

ELABORADO: Saraguro E (2023).

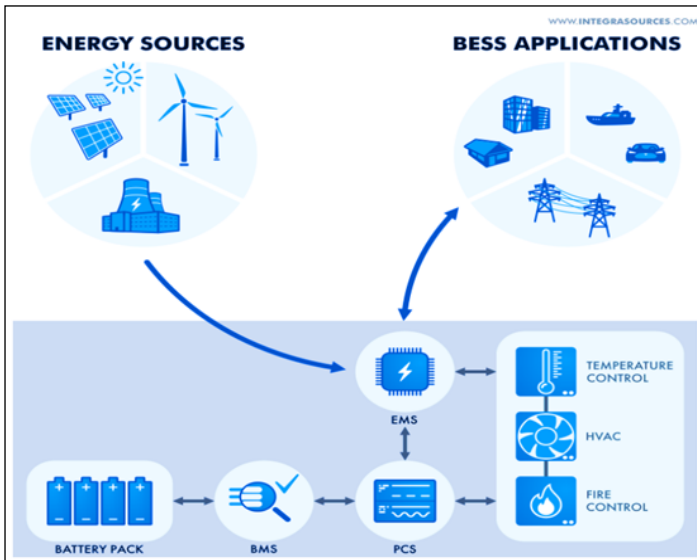
2.1.5. Componentes de un sistema BESS

Los sistemas de almacenamiento de energía por baterías (BESS), es un sistema que usa como tecnología de almacenamiento a las baterías, recoge energía, la almacena y la libera cuando esta es necesaria, más que solo las bacterias es un sistema complejo con múltiples elementos dentro de su infraestructura, tales como un equipo que conecte la energía de las líneas de corriente alterna a las borneras de la batería de corriente continua, dando paso a la carga y descarga de esta energía (sistema bidireccional), sistemas de refrigeración, control, entre otros elementos de suma importancia. (Haines, 2018; Mviri, 2022).

A continuación, se describirán las partes principales que conforman un sistema de almacenamiento de energía por baterías (BESS):

En la Figura 2.4 podemos apreciar un sistema BESS (Solovev & Petrova, 2021).

Figura 2.4. Sistema de almacenamiento de energía



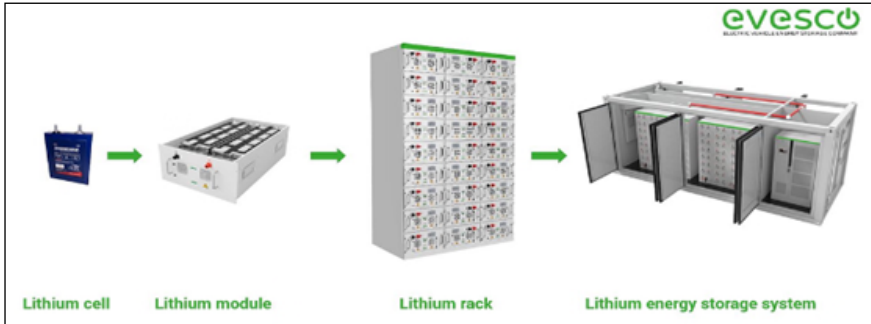
Nota. El gráfico representa la estructura de un sistema de almacenamiento de energía por baterías, tomado de Efficient Energy Management and Energy Saving with a BESS (Battery Energy Storage System), 2021, por Soloved A, Petrova A.

2.1.5.1. Sistema de baterías

La batería es el componente crucial dentro del sistema de almacenamiento de energía, esta es la encargada de almacenar la energía y entregarla cuando se requiera. Este sistema viene conformado por varias celdas y módulos los cuales se conectan bien en serie o paralelo dependiendo las necesidades, estos modulo son apilados para poder crear un estante de baterías, por su parte los bastidores (armazón donde se acumulan las baterías) ayudan a crear estos sistemas de al-

macenamiento en mayor amplitud y potencia, en la Figura 2.5 podemos apreciar la acumulación de celdas y su bastidor utilizado(Spendiff-Smith, 2022).

Figura 2.5. Acumulación de baterías y sus bastidores



Nota. El gráfico representa los bastidores y la acumulación de baterías, tomado de Componentes del sistema de almacenamiento de energía de la batería, 2022, por Spendiff-Smith, M.

2.1.5.2. Sistema de gestión de baterías (BMS)

Los BMS son los encargados de supervisar cada una de las baterías que conforman el sistema, que trabajen de manera segura y optima, esto se debe a que las baterías se mantienen en desequilibrio al momento de realizar cada ciclo de carga y descarga de energía (Lawder *et al.*, 2014).

En el caso de las baterías de litio estas deben por obligación tener un sistema BMS, como tal este sistema se encargan de proteger a la batería, por medio de monitoreos de manera constante usando algoritmos, los cuales se centran en el funcionamiento, el estado y los parámetros de la batería (Spendiff-Smith, 2022).

2.1.5.3. Sistema de conversión de energía (PCS) o inversor híbrido

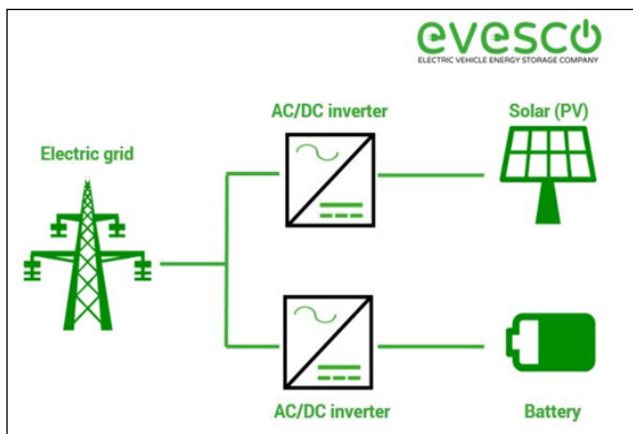
Los PCS son de gran importancia en el uso de los diferentes sistemas de almacenamiento ya que estos se encargan de la conversión entre la corriente CC de las baterías y la de red AC, es un sistema bidireccional que nos permite realizar

la carga y descarga de la misma, en caso de que exista una generación excesiva cargara las baterías, por lo contrario, si se exige más energía proporcionara la misma a la red [43, 57].

El sistema de conversión de energía obtiene información sobre el estado de la batería y las celdas conectándose simultáneamente con el BMS, de esta manera controlamos la carga y descarga evitando interrupciones (LaoRen, 2022).

En la Figura 2.6 se puede apreciar el funcionamiento de los PCS (Spendiff-Smith, 2022).

Figura 2.6. Sistema de conversión de energía PCS



Nota. El gráfico representa los sistemas de conversión PCS, tomado de Componentes del sistema de almacenamiento de energía de la batería, 2022, por Spendiff-Smith, M.

2.1.5.4. Sistema de gestión de energía (EMS)

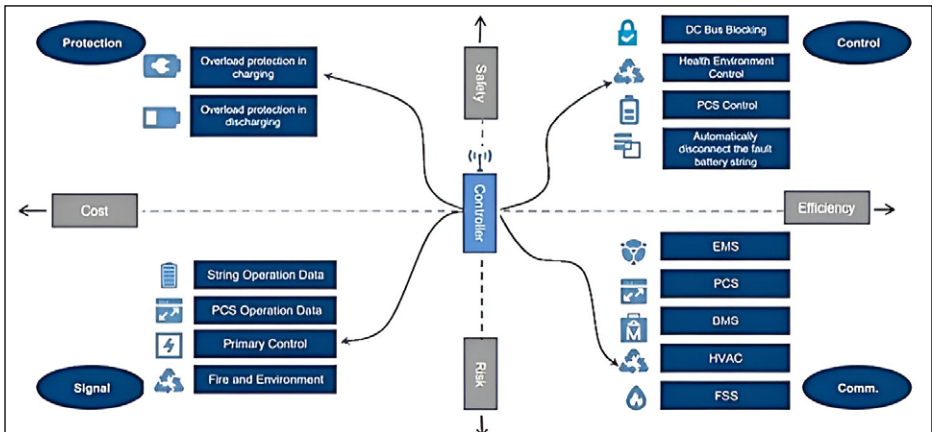
El sistema de gestión de energía (EMS) se encarga de controlar y supervisar de manera automática las baterías y del flujo dentro del BESS (Jawwad Shaikh, 2021). Este sistema de gestión de energía se encargará de coordinar las actividades del BMS, PCS, además de otros componentes del sistema, entrega señales a los PCS para realizar el proceso de carga y descarga según los requisitos ya

programados, también realiza la recopilación y análisis de datos, además de gestionar eficientemente los recursos presentes. (Enlight (E.), 2023; Spendiff-Smith, 2022).

2.1.5.5. Controlador

El controlador es el encargado de monitorear, proteger, controlar y programar los elementos de gran importancia del sistema de almacenamiento de energía, además de dar comunicación entre los elementos internos del sistema, también puede ofrecer comunicación con elementos externos, como puede ser los medidores y transformadores. Este ofrece además de controlar el sistema, protección contra sobrecargas y retornos de energía que se pueden dar al momento de la descarga de la batería, se puede acoplar el sistema SCADA y EMS para poder adquirir datos y gestionar la energía, este elemento realiza un trabajo de alta complejidad, debido a esto el controlador es considerado como el cerebro de todo el sistema de almacenamiento de energía por baterías, en la Figura 2.7 se puede apreciar las actividades que realiza el controlador (Spendiff-Smith, 2022).

Figura 2.7. Controlador

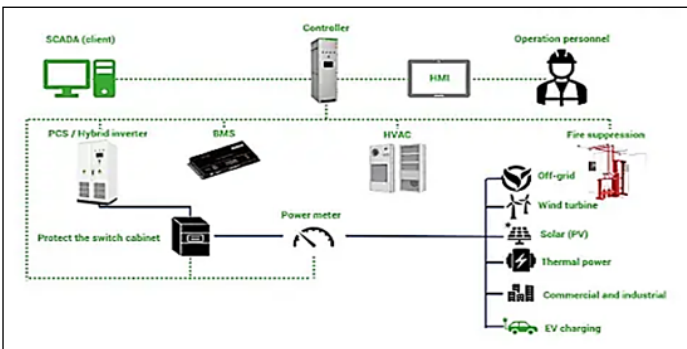


Nota. El gráfico representa el controlador del sistema de baterías, tomado de Componentes del sistema de almacenamiento de energía de la batería, 2022, por Spendiff-Smith, M.

2.1.5.6. Sistema de control y supervisión de datos (SCADA)

El sistema SCADA dentro de los sistemas de almacenamiento de energía por baterías se centra en el control y monitoreo de los elementos que lo conforman, este sistema realiza su comunicación con el controlador del BESS por medio de un controlador lógico programable (PLC), en el caso del BMS se realiza comunicación para estar al tanto del estado de la batería, de igual manera puede existir un monitoreo con el PCS y demás sistemas para la adquisición de datos, en la Figura 2.8 se puede apreciar cómo el sistema SCADA se acopla al BESS (Spendiff-Smith, 2022).

Figura 2.8. Sistema SCADA



Nota. El gráfico representa el sistema SCADA en un BESS, tomado de Componentes del sistema de almacenamiento de energía de la batería, 2022, por Spendiff-Smith, M.

2.1.5.7. Calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC)

Este es el encargado de regular la temperatura del sistema interno del BESS, de esta manera mantener una temperatura óptima para el funcionamiento de las baterías, evitando que se reduzca de manera apresurada su tiempo de vida útil, obteniendo como resultado un mejor rendimiento para todo el sistema de almacenamiento. (Spendiff-Smith, 2022).

2.1.5.8. Supresión de fuego (FSS)

Este es un sistema de protección adicional contra incendios que se proporciona al BESS, el sistema BMS es el encargado de monitorear y en el caso de que las baterías eleven su temperatura por encima de los niveles de seguridad, corte su funcionamiento, por este motivo no puede ser el único medio de seguridad, debido a que la temperatura puede elevarse por encima de los niveles de seguridad y ocurrir un accidente, en el caso de un fuego térmico el sistema se activara liberando una sustancia que suprima el fuego, brindando frio y absorbiendo el calor (Spendiff-Smith, 2022).

2.1.6. Aplicaciones de los BESS y sus beneficios

2.1.6.1. Capacidad de suministro eléctrico

La capacidad de las baterías de almacenar energía y suministrarla durante un determinado tiempo permite reducir la necesidad de construir o repotenciar centros de generación y plantas de transformación de energía, la función de estas es de servir como una capacidad adicional, esto se debe a que durante horas de gran demanda la capacidad instalada puede tener limitaciones y el sistema BESS actúa como un compensador para este déficit de energía (Lázaro Ende-maño Ventura, 2016).

2.1.6.2. Gestión de cargas (regulación)

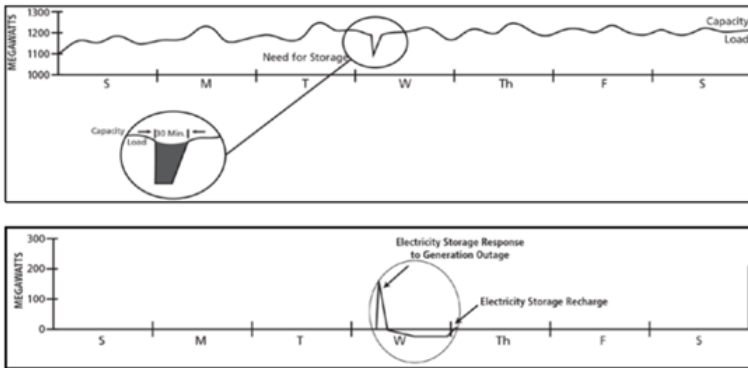
Gestiona los flujos de potencia que se producen por las fluctuaciones entre la generación y la carga, este sistema de almacenamiento se encarga de equilibrar los tiempos de pico que se producen, esto se da mediante la acumulación de energía en horas de baja demanda y la integración de esta energía al sistema cuando se produzcan las horas pico de consumo, amortiguando las fluctuaciones y manteniendo un sistema estable [59, 60].

2.1.6.3. Poder de respaldo

La capacidad de los BESS de suministrar energía como medio de respaldo es un apoyo muy importante, todo esto permite una rápida respuesta antes fallos para que el sistema pueda retomar su actividad en el menor tiempo requerido hasta que se produzca la restauración completa del mismo, en la Figura 2.9 se muestra un ejemplo de su función como poder de respaldo, este puede ser usado como (Lázaro Endemaño Ventura, 2016; Solovev & Petrova, 2021) :

- Reserva rodante.
- Reserva no rodante.
- Reserva complementaria.

Figura 2.9. Sistema BESS usado como reserva de energía



Nota. El gráfico representa a un BESS usado como sistema de reserva, tomado de Análisis Global de los Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica, 2016, por Lázaro Endemaño Ventura.

2.1.6.4. Arranque autónomo (Arranque en negro)

La capacidad de reinicio automático del sistema de baterías permite remplazar el suministro de energía de las líneas de distribución y transmisión cuando los sistemas de generación tienen fallas y no puede entregar energía, todo esto y el rápido accionamiento que tienen estos sistemas permite una recuperación del sistema en menor tiempo [59, 60].

2.1.6.5. Control de voltaje

Los niveles de voltaje deben mantener su valor dentro de los límites establecidos, para poder realizar esto se usan elementos de compensación reactiva, las centrales que generan reactivos pueden acoplar sistemas de almacenamiento en sus centros de carga o distribuirlos en puntos estratégicos cerca de las cargas de mayor envergadura.

El sistema de inversión de energía será el encargado de regular los valores de voltaje, estos deberán ser capaces de trabajar con valores diferentes de uno con respecto al factor de potencia, para de esta manera poder generar o consumir potencia reactiva y estabilizar el sistema (Lázaro Endemaño Ventura, 2016).

2.1.6.6. Control de frecuencia

Brinda una respuesta rápida a las interrupciones de potencia producidas por apagones, desconexiones temporales o fallas que se dan cuando existe un desbalance de frecuencia (Solovev & Petrova, 2021) El repentino desbalance que se produce entre la generación y la carga produce que la frecuencia caiga o exceda sus valores nominales, los BESS siendo capaces de regular los valores de frecuencia en la red, permiten una transición suave desde el momento de la falla hasta cuando la red entre en estado de operación normal (Hellman *et al.*, 2017; Lázaro Endemaño Ventura, 2016; Solovev & Petrova, 2021).

2.1.6.7. Integración de las energías renovables

Esta integración nos lleva a la energía de bajo costo, sin necesidad de contar con la red eléctrica o los sistemas híbridos, la tecnología de baterías brinda un plus al rendimiento de las energías renovables, además de convertirlas en una fuente confiable que pasan de ser intermitentes a constantes, permitiendo su aplicación en múltiples tareas (Solovev & Petrova, 2021).

2.1.6.8. Transmisión y distribución T y D(Aplazamiento)

Esto conlleva retrasar procesos de expansión en los sistemas de transmisión y distribución, mediante la capacidad de reserva de esta tecnología se puede aliviar la congestión de los sistemas de transmisión y evitar que se sobrecarguen las líneas de distribución y transmisión. Este proceso se realiza colocando pequeñas fuentes de almacenamiento de energía por baterías en la parte donde el sistema de transmisión se encuentra sobrecargado, de esta manera evitar la repotenciación de las líneas durante algunos años más, esto da como ventaja que la inversión proyectada para los sistemas TyD se invierta en otros proyectos que mejoren la calidad de energía (Lázaro Endemaño Ventura, 2016; Solovev & Petrova, 2021).

2.1.7. Reglamentos, norma y regulaciones de los BESS en Ecuador

Ecuador no cuenta con una normativa que rija sus funciones a los sistemas de almacenamiento de energía BESS, en cambio cuenta con regulaciones que se encargan de algunos servicios auxiliares.

Dentro del sistema institucional de Ecuador contamos con las siguientes instituciones y normativas (JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, 2022):

- Ministerio de energía y minas.
- Agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables.
- Operador nacional de electricidad.
- Ley orgánica del servicio público de energía eléctrica.
- Ley orgánica de eficiencia energética.
- Reglamento general a la ley orgánica del servicio público de energía eléctrica.
- Ley orgánica de defensa del consumidor.

2.1.7.1. Constitución de la república del Ecuador

Art.313.-

El estado tiene privilegios sobre los derechos de regular gestionar y controlar sectores estratégicos los cuales cumplan con los principios de conformidad respecto a la sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia. Estos serán aquellos que tenga una magnitud que influya tanto en lo social, económico, político y ambiental (JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, 2022).

Art.314.-

El estado es responsable de los servicios públicos en este caso la energía eléctrica es uno de ellos, él se encargará que estos servicios y sus provisiones sean eficientes, accesibles que tengan continuidad y calidad, además de establecer un precio y tarifa y su control y regulación (JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, 2022).

2.1.7.2. LOSPEE

Su función es regular tanto sectores públicos como privados referente a los servicios de energía eléctrica, la LOSPEE establece que para la modernización de las redes eléctricas hay que considerar aspectos regulatorios que se rijan tanto en la generación, distribución como transmisión de energía y a su vez en los sistemas de almacenamiento de energía, medición inteligente, control distribuido, además de brindar oportunidades a nuevos servicios y productos (JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, 2022).

2.1.7.3. RLOSPEE

Esta se encarga de brindar disposiciones para que la LOSPEE aplique de la mejor manera el reglamento y así garantizar un servicio transparente en cada uno de sus procesos. En el artículo 3 se hace referencia a servicios complementarios, los cuales son prestados por las empresas eléctricas a través de sus unidades y de esta manera poder satisfacer requerimientos de seguridad y calidad del SIN (JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, 2022).

2.1.7.4. Regulación N°.ARCERNNR – 004/20

Esta regulación se hizo para cumplir los puntos de despacho planificación y operación del sistema de potencia, con respecto al artículo 13 de la presente regulación se hace referente a lo que es criterios de calidad seguridad y confiabilidad que debe brindar el CENACE, como son (JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, 2022):

Criterios de calidad:

- Control de frecuencia
- Control de voltaje
- Criterios de seguridad y confiabilidad:
- Este punto busca mantener un sistema estable y confiable de manera que se limiten los daños y efectos que produzcan que el sistema sea inestable.

2.1.8. Estándares y normas a nivel internacional

2.1.8.1. Para instalación

NFPA 855: Norma para la instalación de sistemas fijos de almacenamiento de energía estacionarios (JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, 2022).

Está encarga de cubrir la seguridad de todos los equipos que forman parte del sistema de almacenamiento de energía y su instalación, después de un análisis de los equipos de protección y la instalación proporciona un criterio sobre las especificaciones de las tecnologías a utilizar en el sistema de almacenamiento (JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, 2022).

IEEE 1578-18: Práctica recomendada para la contención y gestión de derrames de electrólitos de baterías estacionarias.

Esta norma proporciona una descripción de los productos, métodos y procedimientos que funcionan como mecanismo de contención y control antiderrames y consideraciones para combatir incendios (JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, 2022).

FM GLOBAL/HOJA DE DATOS SOBRE PREVENCIÓN DE PERDIDAS# 5-33: Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica.

Esta normativa nos provee recomendaciones para evitar pérdidas en el diseño, la operación, la protección, inspección, el mantenimiento y las pruebas de los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica. Esta normativa tiene como enfoque principal la tecnología de baterías de iones de litio, donde se toma en cuenta cargadores, sistemas de gestión y sistemas auxiliares (JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, 2022).

ANSI/CAN/UL 9540: Sistemas y equipo de almacenamiento de energía.

Esta norma incluye estándares canadienses y americanos se rige en la seguridad de los productos para un sistema de almacenamiento de energía, se rige a los BESS que sirven para almacenar energía de la red y posteriormente entregarla nuevamente. El objetivo es entregar un sistema óptimo a los usuarios tanto residenciales como industriales (JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, 2022).

2.1.8.2. Componentes

IEE P1679.1: Guía para la caracterización y evaluación de baterías de litio.

Esta norma creada por la IEEE presenta características sobre las condiciones de funcionamiento relacionadas a las baterías de litio, donde indica recomendaciones sobre cómo mantener el rendimiento y la seguridad de esta según su caso de aplicación (JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, 2022).

IEEE P1547.9: Norma para la interconexión de los recursos energéticos con el sistema de almacenamiento.

Esta guía indica la manera correcta de realizar las conexiones del BESS y otros recursos de energía (JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, 2022).

ANSI/CAN/UL 1974-18: Evaluación para la reutilización de baterías.

Se encarga de la selección y calificación de los paquetes de baterías, módulos y celdas que puedan ser reutilizadas para otros fines dentro del sistema (JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, 2022).

2.1.8.3. General

DNVGL-RP-0043: Seguridad, funcionamiento y rendimiento de los sistemas de almacenamiento de energía conectados a la red.

Tiene como finalidad brindar recomendaciones sobre los sistemas de almacenamiento de energía que se conecten a la red, su estructura es la siguiente (JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA, 2022):

- En la sección 1 tenemos las generalidades.
- En la sección 2 contiene definiciones y abreviaturas referente a las tecnologías de almacenamiento.
- En la sección 3 tenemos las aplicaciones de los sistemas de almacenamiento, servicios de auxiliares, servicios de infraestructura tanto de transmisión como distribución, gestión de energía e integración de energías renovables.
- En la sección cuatro tenemos el sistema de diseño y planificación, transporte instalación y puesta en marcha del sistema de almacenamiento de energía, de igual manera el sistema de operación, mantenimiento y reparación donde se enumeran cada uno de los requisitos de documentación en cada una de estas fases.
- En la sección 5 define los principales indicadores de rendimiento.
- En la sección 6 indica requisitos para monitoreo y control
- En la sección 7 se muestra diseños de seguridad.
- En la Sección 8 los efectos que produce el sistema de almacenamiento con el medio ambiente y los efectos del medio ambiente con el sistema de operación.
- En la sección 9 e presenta métodos recomendados para dimensionar los sistemas de almacenamiento para cada una de las aplicaciones determinadas.
- En la sección 10 aborda Marcos legales reglamentos y estándares existentes.

2.2. Marco referencial

2.2.1. Control del sistema BESS en el software DigSILENT

La presente investigación referente al estudio de los BESS dentro de los sistemas de transmisión indica que en el software DigSILENT se puede realizar

el control de los sistemas de almacenamiento de energía por baterías, siendo la frecuencia y potencia los principales factores a controlar. En la Figura 2.10 podemos apreciar los elementos que conforman el sistema dentro del software, siendo el más destacable el Battery Model donde se pueden encontrar parámetros de trabajo como son (MANUEL FERNANDO FAJARDO RODRÍGUEZ, 2018):

- Estado de carga
- Tensiones máximas y mínimas
- Capacidades de la celda
- Potencia para suministrar

Figura 2.10. Elementos del BESS (Template DigSILENT Power Factory 2017)

	Slots BlkSlot	Net Elements Elm*,Sta*,IntRef
1	Converter	✓ Battery Energy Storing System
2	PQ-Control	✓ PV Controller
3	Frequency Control	✓ Frequency Control
4	PQ-Measurement	✓ PQ Measurement
5	Frquency Measurement	✓ Frequency measurement
6	AC-Voltage	✓ AC Voltage Measurement
7	Charge Control	✓ Charge Control
▶ 8	Battery Model	✓ Battery(2)

Nota. El gráfico representa los elementos que forman el sistema de control de un BESS en DigSILENT, tomado de Estudios eléctricos de aplicaciones en transmisión con sistemas de almacenamiento de energía con baterías (BESS) para su integración en el sistema interconectado nacional, 2018, por Manuel Rodríguez.

2.2.2. Evaluación de viabilidad de integración de un sistema de almacenamiento de energía

El artículo que se describe a continuación presenta un plan de viabilidad para la implementación de un sistema de almacenamiento de energía, este cuenta con 6 pasos que fueron determinados por los autores de la investigación (Araya Rodríguez *et al.*, 2022).

Como primer punto se debe realizar un perfil de demanda del consumo de la red eléctrica, este deberá ser como mínimo un análisis histórico de 5 años, mediante esto se determinará la tendencia de menor y mayor consumo, en una gráfica promediado por meses se identificarán los periodos punta de demanda (Araya Rodríguez *et al.*, 2022).

El punto dos indica que mediante el perfil de demanda se determinará la potencia del sistema, teniendo en cuenta la diferencia de potencia entre los picos de demanda para no suministrar un exceso de potencia durante estos.

Como tercer punto se tiene que determinar el tiempo de descarga de sistema a utilizar, esto se conseguirá mediante el análisis de la demanda histórica (Araya Rodríguez *et al.*, 2022).

Como cuarto paso se determina la energía, esto mediante la potencia nominal del sistema y el tiempo antes mencionado, esto se da con la Ecuación 2.1. Con la ecuación ya mencionada se obtiene la variable energética en condiciones ideales.

En el quinto paso se debe tener en cuenta las pérdidas del sistema y su eficiencia, además de parámetros como son (Araya Rodríguez *et al.*, 2022):

- Degradación de la vida útil
- Perdidas propias de energía proporcionadas por la batería
- Demanda diaria de energía
- Profundidad de descarga

Ecuación 2.1

$$E = P * t$$

Donde:

E: Energía [kWh].

P: Potencia [kW].

t: Tiempo [h].

Como sexto y último paso, con la energía calculada acorde a las pérdidas que se pueden producir, se cotiza el precio del equipo a implementar y el beneficio que se producirá por su implementación.

2.2.3. Implementación de los sistemas de almacenamiento de energía por baterías

El presente proyecto que se realiza en la infraestructura eléctrica de la subestación La Cadena puede usar como referencia las normativas, leyes y lugares estratégicos para la implementación de los BESS de las Empresas Eléctricas de Suecia(Arnberg, 2022).

2.2.3.1. Permisos y regulaciones

Se debe tener en cuenta las normativas y permisos para la implementación de esta tecnología ya que este sistema se conecta a la red eléctrica y puede provocar alteraciones a la misma. Para el caso de Suecia sigue normativas y leyes de la unión europea (Arnberg, 2022).

a) Regulaciones

A continuación, se detallarán algunas regulaciones establecidas(Arnberg, 2022).

- Seguridad

La ubicación del sistema BESS debe contar con señaléticas y contar con la aplicación de la normativa de la Agencia Sueca de seguridad eléctrica (Elsäkerhetsverket, 2016).

- Propiedad

Los propietarios de red no pueden utilizar sistemas de almacenamiento de energía para cambiar el uso final de la energía(Magdalena Andersson, 2021).

- Conexión

Los operadores de red no están en la capacidad de obligar a una doble exportación e importación de energía(Magdalena Andersson, 2021).

- Fin de vida

Se deben reciclar las baterías cuando lleguen al fin de su vida útil (Elsäkerhetsverket, 2016).

b) Permisos

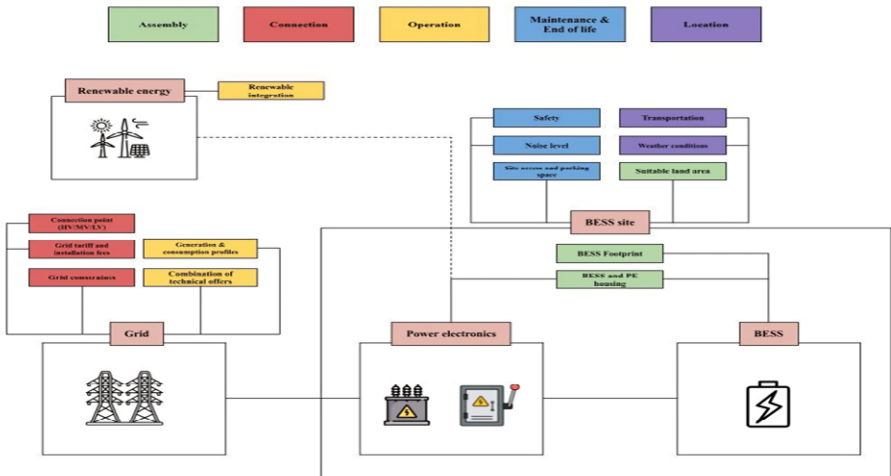
A continuación, se detallarán algunos permisos establecidos(Arnberg, 2022).

- Operador de red
Para que el BESS entre en funcionamiento deber firmarse una carta de finalización con el operador del sistema de distribución (Elsäkerhetsverket, 2016).
- Subcontratista eléctrico
Ellos deben registra su trabajo en la agencia de seguridad eléctrica (Elsäkerhetsverket, 2016).
- Acceso al mercado
- Permiso de construcción

2.2.3.2. Colocación

Se tiene en cuenta parámetros económico y técnicos para la implementación de estos sistemas de almacenamiento, en la Figura 2.11 se detallar estos diferentes parámetros(Arnberg, 2022).

Figura 2.11. Parámetros y variables para la ubicación de los BESS



Nota. El gráfico representa los parámetros y variables para la ubicación del BESS, tomado de Implementation of battery energy storage systems in the Swedish electrical infrastructure A techno-economic assessment, 2022, por Arnberg G.



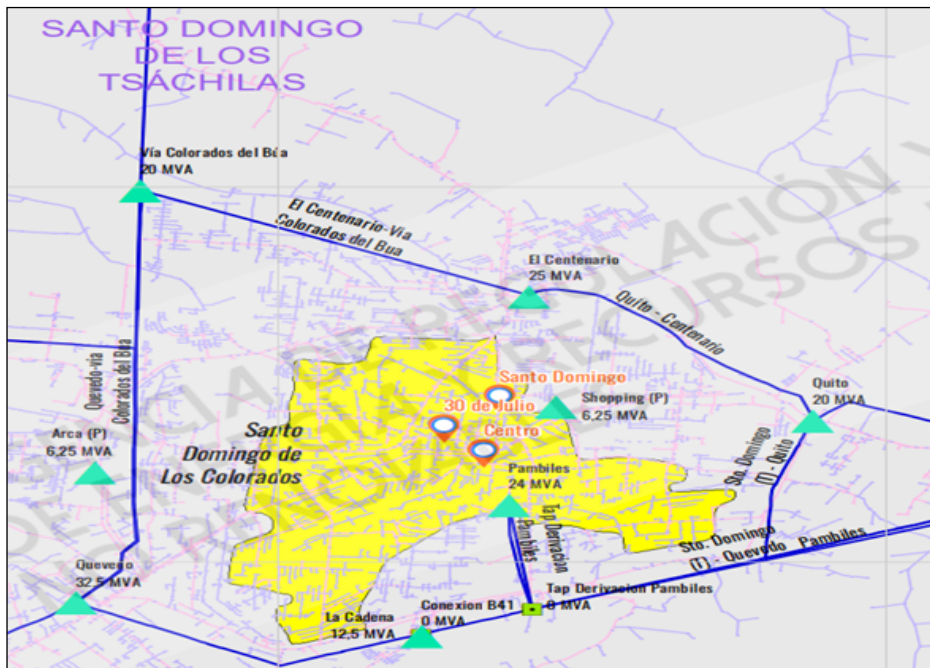
CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

El presente proyecto de investigación indica el estudio de la integración de los sistemas de almacenamiento en la Subestación la Cadena, la cual consta con tres alimentadores; los cuales son Rio Verde, Rio Toachi y Santa Martha. La presente subestación se encuentra ubicada en la Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, cuyas coordenadas son $0^{\circ}20'00''S$ $79^{\circ}15'00''O$, la Figura 3.1 indica la ubicación de la subestación (Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables, 2022).

Figura 3.1 Infraestructura eléctrica de CNEL. EP Unidad de Negocio Santo Domingo (Ubicación, Subestación La Cadena)



Nota. El gráfico representa la ubicación de la Infraestructura eléctrica de CNEL. EP Unidad de Negocio Santo Domingo (Ubicación, Subestación La Cadena), tomado de Infraestructura CNEL. Santo Domingo, subestación la cadena, 2021, ARCERNNR.

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. Tipo diagnóstico

Este tipo de investigación fue realizada para dar un análisis sobre la integración de los sistemas de almacenamiento de energía por baterías en la subestación La Cadena, de esta manera comprender los efectos que se producirán con la utilización de este sistema, obteniendo un conocimiento más detallado de su implementación (Euroinova Business School, 2022)

3.2.2. Investigación bibliográfica

La investigación bibliográfica es una técnica mediante la cual se recopila información y conceptos con el fin de obtener conocimientos que sean de soporte para la realización del tema de estudio del presente proyecto. Para esta investigación de debe contar con material informativo, como puede ser libros, revistas, informes de investigación, sitios Web y demás lugares que provean información necesaria para el desarrollo del trabajo, de esta manera comprender los antecedentes del tema a tratar para poder detallar y sustentar los efectos que produzca la implementación de los BESS, funcionamiento y como se conforma este sistema (Facultad de Ciencias Sociales y Humanas de la Universidad de Antioquia., 2020)

3.2.3. Investigación aplicada

Nos centramos en los conocimientos que obtuvimos a lo largo del desarrollo de la investigación, usando todos los medios disponibles como son; herramientas, datos, conocimientos, investigaciones de otros autores, de esta manera poder realizar un estudio y obtener respuestas de manera rápida para lo que se desea estudiar, analizar y detallar en el presente proyecto de investigación (C. Ortega, 2022).

3.3. Métodos de investigación

3.3.1. Descriptivo

La investigación realiza estudios correspondientes de datos de variables dependientes (número de baterías a utilizar y los costos de la implementación de los sistemas de almacenamiento de energía por baterías), de igual manera las variables independientes (capacidad de las baterías y la demanda eléctrica) para el lugar de estudio determinado, de esta manera obtener la suficiente cantidad de datos e información que nos permita realizar el análisis del sistema BESS (Luis, 2014).

3.3.2. Explicativo

En la presente investigación se obtiene la información de diferentes fuentes tales como revistas científicas, documentos y proyectos de investigación, todo esto con el fin de recopilar información lo más precisa y concisa, la cual permita obtener los conocimientos necesarios que sirvan de apoyo y referencia para comprender el comportamiento del sistemas de almacenamiento por baterías y de los componentes que integran el mismo, de esta manera tener una proyección de su funcionamiento, para poder entender y realizar el diseño de estos sistemas (Ramos-Galarza, 2020).

3.3.3. Deductivo

Se realiza un análisis de que tan viable es la utilización de los sistemas de almacenamiento de energía por medio de baterías en los sistemas encargados de la distribución energética, del beneficio que se obtendrá por la implementación de estos y la optimización de la calidad energía en el servicio de distribución, analizando las mejoras de estabilidad y confiabilidad (Luis, 2014).

3.4. Fuentes de recopilación de información

La presente investigación obtuvo los datos para su desarrollo de fuentes primarias, esta información se obtuvo directamente del centro de control y administración de la CNEL EP Unidad de Negocio Santo Domingo, como son datos de generación, demanda de energía, cargas conectadas, datos de los alimentarios y valores de secuencia.(Soberón & Acosta, 2008).

De igual manera se obtuvo información de fuentes secundarias para complementar la parte teórica de la investigación, esta información se obtuvo de libros, artículos científicos, proyectos de investigación, sitios web, proyectos prácticos y tesis relacionadas con el tema del almacenamiento de energía por baterías(So-berón & Acosta, 2008).

3.5. Diseño de la investigación

Se determino la estructura del proceso de elaboración de la investigación, a continuación, se proporciona una breve explicación de cómo está estructurada.

3.5.1. Recolección de datos

Se recopila toda la información pertinente que ayude al desarrollo del proyecto de investigación, estos datos pueden ser: datos de demanda histórica, valores de voltajes, corriente, capacidad de la subestación, valores de potencia activa, reactiva y aparente, diagrama unifilar de la subestación. Todos estos datos nos permitirán tener un enfoque de cómo opera la subestación.

3.5.2. Diseño del sistema

Mediante los datos de demanda históricos se planea realizar el diseño de un BESS que se acople a las necesidades de la subestación en el caso de gestión de demanda, el cual permita absorber energía, para después entregarla cuando se requiera y de esta manera tener una curva de carga más controlada.

3.5.3. Análisis del impacto en la red eléctrica

Se realiza una simulación en Digsilent Power Factory sobre la implementación del BESS dentro de la subestación, de esta manera se podrá realizar un análisis de cómo afecta a la red eléctrica.

3.5.4. Modelo técnico y económico

Realizar una descripción de los elementos que se dimensionaron para el sistema de almacenamiento de baterías, proporcionar costos del diseño, para poder realizar un análisis de viabilidad sobre el proyecto.

3.5.5. Redacción de conclusiones

Después de haber concluido todos los puntos a tratar en los objetivos planteados, se da una conclusión que describa como afecta este proyecto a la red eléctrica, qué resultados se obtuvieron y cuál es el beneficio de la implementación de este tipo de tecnología.

3.6. Instrumentos de investigación

Con los datos obtenidos de la subestación La Cadena y sus alimentadores, así como el consumo energético en conjunto de los usuarios por alimentador y de investigaciones que sirven como guía, se realiza el análisis de la integración de los sistemas de almacenamiento por baterías en la subestación (Samuel & Junior, 2022). Para poder realizar el diseño en los simuladores se toma como referencia información de temas que tenga relación con el caso de estudio planteado y su implementación en sistemas de la red eléctrica (Samuel & Junior, 2022).

3.7. Tratamiento de los datos

Toda la información que se recolecte por medio de las fuentes de recopilación de información, métodos y tipos de investigación se detalla y organiza por medio de herramientas que permitan un mejor análisis de datos, en el caso de Excel

servirá para cuantificar, promediar y generar gráficos de los datos históricos de demanda obtenidos y poder realizar una proyección, por parte de los software como DigSILENT y ETAP se puede realizar las simulaciones para obtener los impactos que produce la implementación de los BESS en la Subestación la Cadena y poder realizar una análisis de esta implementación.

3.8. Recursos humanos y materiales

3.8.1. Recursos materiales

Los recursos materiales que se utilizaran en el presente trabajo son los siguientes:

- Esferográfico
- Cuadernos
- Hojas papel ministro
- Reglas
- Calculadora
- Marcadores

3.8.2. Recursos tecnológicos

Los recursos que se utilizarán serán los siguientes:

- Software(simuladores)
- Software para el procesamiento de datos (Word y Excel)
- Computadoras
- Impresoras.
- Teléfonos celulares



CAPÍTULO IV.

RESULTADOS

4.1. Resultados

4.1.1. Diseño de un sistema de almacenamiento de Energía por baterías

La elección de usar un BESS como sistema de almacenamiento sobre los otros métodos posibles se da con relación a su ventaja en eficiencia, capacidad y tiempo de respuesta, en la siguiente Tabla 4.1 describe algunas características (Ignacio Ortega Aguado, 2021).

Tabla 4.1. Características de los sistemas de almacenamiento (ESS)

ESS	Capacidad de Alm.	Eficiencia de ciclo	Tiempo de respuesta	Duración de Alm.	Costos capitales y operacionales	Densidad energética	Tiempo de vida
PHES	Muy Alta	Alta	Rápido	Alto	Muy Altos	Muy Baja	Muy Alta
HES	Moderada	Moderada	Moderado	Muy Alta	Alto	Muy Alta	Alto
BESS	Alta	Muy Alta	Muy Rápido	Alto	Alto	Muy Alta	Alto
TES	Alta	Alta	Lento	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado

FUENTE: (Ignacio Ortega Aguado, EL FUTURO DEL ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO: ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE UNA PLANTA DE BATERÍAS DE ION DE LITIO DE 50 MW, 2021).

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Al momento de realizar el análisis en los puntos más importantes para la elección de un método de almacenamiento observamos que los BESS son los que tienen un mayor equilibrio entre todos los puntos, de ahí la viabilidad de su implementación como método de almacenamiento.

4.1.1.1. Evaluación de la capacidad y necesidades

Para determinar la capacidad de la demanda a futuro de la subestación se realizó una proyección de demanda con los valores promediados de los datos históricos (2019-2022) de los alimentadores, se realizó varios métodos de proyección en el programa EViews10 para determinar cuál se acopla más a los datos.

Se realizó una proyección hasta el año 2030, con los métodos lineal, suavización exponencial doble y aditiva.

En la Tabla 4.2 se muestran los valores de proyección en el alimentador Rio Verde

Tabla 4.2 Proyección del alimentador Rio Verde

PROYECCIÓN KW RIO VERDE			
ESS	Capacidad de Alm.	Eficiencia de ciclo	Tiempo de respuesta
2030M01	5636,558	5435,031	5345,99
2030M02	5673,014	5471,366	5473,95
2030M03	5709,471	5507,701	5460,079
2030M04	5745,927	5544,036	5368,159
2030M05	5782,383	5580,372	5427,717
2030M06	5818,839	5616,707	5375,1
2030M07	5855,295	5653,042	5378,796
2030M08	5891,752	5689,378	5493,991
2030M09	5928,208	5725,713	5649,446
2030M10	5964,664	5762,048	5668,52
2030M11	6001,12	5798,384	5680,14
2030M12	6037,576	5834,719	5702,032

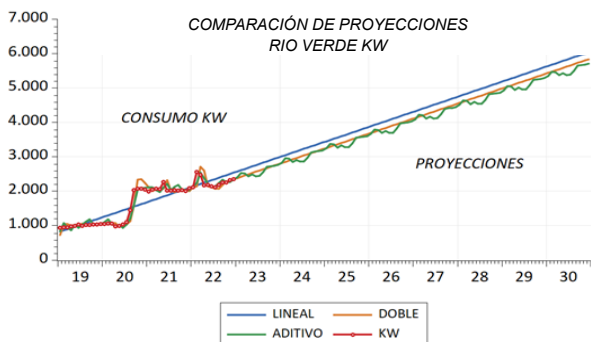
FUENTE: EViews10

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Para determinar que proyección se acopla mejor a la tendencia de los datos, analizamos la gráfica de los valores de proyección y la demanda (KW).

En la Figura 4.1 se puede apreciar la graficas de los valores de proyección y da demanda (KW) del alimentador Rio Verde, de esta manera podemos decidir que método se acopla mejor.

Figura 4.1 Gráfica comparativa de los métodos de proyección, alimentador Río Verde



Nota. El gráfico representa la comparativa de los métodos de proyección del alimentador Río Verde, tomado de EViews10, 2023.

En la Tabla 4.3 se muestran los valores de proyección en el alimentador Río Toachi.

Tabla 4.3 Proyección del alimentador Rio Toachi

PROYECCIÓN KW RIO TOACHI			
FECHA	LINEAL	DOBLE	ADITIVO
2030M01	3622,157	2153,478	3331,742
2030M02	3644,843	2161,175	3323,984
2030M03	3667,529	2168,873	3329,717
2030M04	3690,215	2176,57	3349,608
2030M05	3712,901	2184,267	3386,427
2030M06	3735,587	2191,964	3328,269
2030M07	3758,272	2199,661	3301,577
2030M08	3780,958	2207,358	3375,039
2030M09	3803,644	2215,055	3512,962
2030M10	3826,33	2222,752	3513,951
2030M11	3849,016	2230,449	3505,142
2030M12	3871,702	2238,147	3505,129

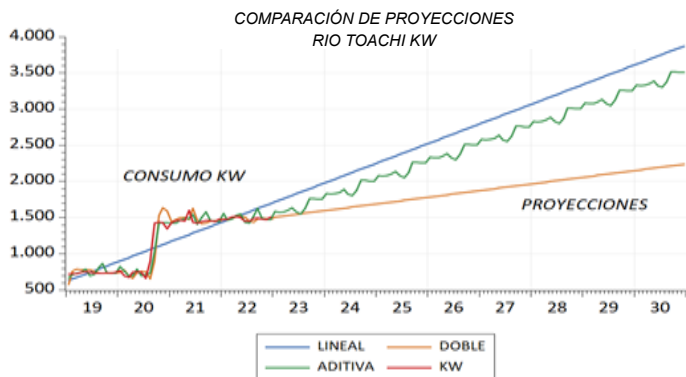
FUENTE: EViews10

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Para determinar que proyección se acopla mejor analizamos la gráfica de los valores de proyección y la demanda (KW).

En la Figura 4.2 se puede apreciar la graficas de los valores de proyección y da demanda (KW) del alimentador Rio Toachi, de esta manera podemos decidir que método se acopla mejor, en la Tabla 4.4 se muestran los valores de proyección en el alimentador Rio Toachi.

Figura 4.2 Gráfica comparativa de los métodos de proyección, alimentador Rio Toachi



Nota. El gráfico representa la comparativa de los métodos de proyección del alimentador Rio Toachi, tomado de EViews10, 2023.

Tabla 4.4. Proyección del alimentador Santa Martha

PROYECCIÓN KW SANTA MARTHA			
FECHA	LINEAL	DOBLE	ADITIVO
2030M01	1122,882	1087,147	1131,863
2030M02	1123,841	1087,734	1137,053
2030M03	1124,8	1088,322	1119,032
2030M04	1125,759	1088,91	1121,159
2030M05	1126,719	1089,497	1131,823
2030M06	1127,678	1090,085	1097,824
2030M07	1128,637	1090,672	1111,728

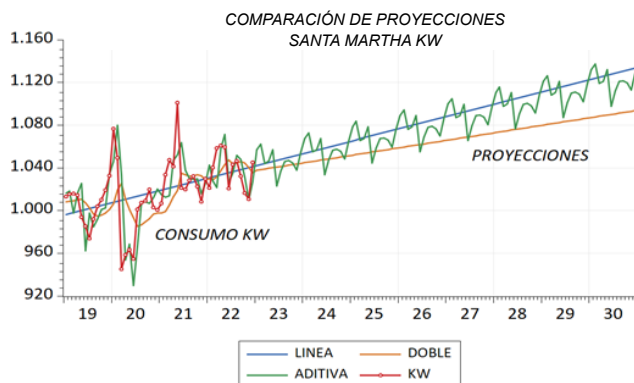
2030M08	1129,596	1091,26	1120,891
2030M09	1130,555	1091,847	1121,65
2030M10	1131,514	1092,435	1119,585
2030M11	1132,473	1093,023	1112,672
2030M12	1133,432	1093,61	1129,361

FUENTE: EViews10

ELABORADO: Saraguro E (2023).

En la Figura 4.3 se puede apreciar la graficas de los valores de proyección y da demanda (KW) del alimentador Santa Martha, de esta manera podemos decidir que método se acopla mejor.

Figura 4.3 Gráfica comparativa de los métodos de proyección, alimentador Santa Martha



Nota. El gráfico representa la comparativa de los métodos de proyección del alimentador Santa Martha, tomado de EViews10, 2023.

Al final en las gráficas podemos apreciar que el método de proyección que más se acopla a los datos históricos de los alimentadores es el método de suavización exponencial aditivo. En la Tabla 4.5 se puede apreciar los valores máximos del último año por alimentador.

Tabla 4.5. Valor máximo de la proyección por alimentador

PROYECCIÓN EXPONENCIAL SUAVIZADA DOBLE				
KW	RIO VERDE	RIO TOACHI	SANTA MARTHA	S/E
MÁXIMO	5702,032	3505,129	1129,361	10336,522

FUENTE: EViews10

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Ahora el valor total de la subestación en la Tabla 4.5 se lo sobredimensiona un 20%, como se observa en la Tabla 4.6, este valor se usaría en el caso de que el sistema BESS acople un sistema de generación de energía, como puede ser paneles fotovoltaicos.

Tabla 4.6. Sobredimensionamiento de la capacidad del BESS

SOBREDIMENSIONAMIENTO	
KW PROYECTADO	KW DIMENSIONADO 20%
10336,522	12403,8264
Sobredimensionamiento (20%) = S/E (KW) * 1,2	

FUENTE: EViews10

ELABORADO: Saraguro E (2023).

4.1.1.2. Cantidad de energía requerida

Para poder realizar las aplicaciones del BESS en la subestación se calcula cuánta energía se necesita para cubrir las necesidades, como es suavizar la curva de carga durante un período específico. Es importante considerar una reserva de capacidad adicional para situaciones inesperadas o pérdidas de eficiencia a lo largo del tiempo. La cantidad de energía será determinar por la diferencia entre el valor máximo y valor mínimo de potencia consumida en los años históricos y los años proyectados, este valor se puede ver en la Tabla 4.7, se sobredimensiono el sistema a un 20% más.

Tabla 4.7. Diferencia entre valores máximos y mínimos

CONSUMO KW			
AÑO	MÁXIMO	MÍNIMO	DIFERENCIA
2019	2822,28216	2672,75797	149,524186
2020	4527,33553	2684,44153	1842,894
2021	4962,79404	4424,68268	538,111367
2022	5073,27668	4607,75614	465,520536
2023	5573,918	5029,498	544,42
2024	6254,291	5709,87	544,421
2025	6934,663	6390,242	544,421
2026	7615,035	7070,615	544,42
2027	8295,406	7750,986	544,42
2028	8975,778	8431,358	544,42
2029	9656,15	9111,731	544,419
2030	10336,522	9792,101	544,421

FUENTE: EViews10 y CNEL UN SANTO DOMINGO.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Tabla 4.8. Sobredimensionamiento de la capacidad del BESS para aliviar la curva de carga

SOBREDIMENSIONAMIENTO	
KW PROMEDIADO	KW DIMENSIONADO 20%
612,617674	735,1412088
Sobredimensionamiento (20%) = S/E (KW) * 1,2	

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

4.1.1.3. Capacidad nominal del BESS

La capacidad nominal es la cantidad máxima de energía que el sistema de baterías puede almacenar y suministrar, esta se da dependiendo del tiempo de suministro necesario y se la calcula con la Ecuación 2.1). Nuestra potencia nominal (kW) es de 735,1412 kW, dado que el sistema se dimensionará para 10 años, se multiplica por 10, siendo 7351.412 kW, debemos tener es cuenta que esta sería

la potencia máxima de salida del sistema. El tiempo que se planea suministra energía para eliminar los picos de carga es de 4h.

$$\text{Capacidad nominal (kWh)} = \text{Potencia (kW)} * \text{tiempo(h)}$$

$$\text{Capacidad nominal (kWh)} = 7351.412 * 4\text{h}$$

$$\text{Capacidad nominal (kWh)} = 29405.648 \text{ kWh}$$

4.1.1.4. Eficiencia del sistema

Se calcula la capacidad nominal ajustada para tener en cuenta las pérdidas típicas, esta se desarrolla con la siguiente Ecuación 4.1

$$CNC(kWh) = \frac{CN(kWh)}{2}$$

Ecuación 4.1

Donde:

CNC: Capacidad nominal corregida [kWh].

CN: Capacidad nominal o energía [kWh].

%S: Eficiencia del sistema.

En este caso se considerará una eficiencia del 90 %.

$$\text{Capacidad nominal corregida (kWh)} = \frac{29405.648 \text{ kWh}}{0.9}$$

$$\text{Capacidad nominal corregida (kWh)} = 32672.94 \text{ kWh}$$

4.1.1.5. Tecnología de la batería

La batería para utilizar es la de fosfato de hierro y litio (LiFePO₄ o LFP), son las baterías tradicionales de Li-Ion más seguras. La tensión nominal de una celda de LFP es de 3,2V (plomo-ácido: 2V/celda), podemos ver las características en la Tabla 4.9 (Jennifer Manierre, 2019).

Tabla 4.9. Características de las celdas LiFePO4

NO	ITEM	SPECIFICATION
1		Nominal Capacity 280Ah
2		Nominal Voltage 3.2V
3		DoD 6000 ciclos 80%
4	Charging (CC-CV)	Continuous Charging Current 1C
		Maximum Charging Current 3C
		Charging Upper Limit Voltage 3.65V
5	Discharging	Continuous Discharging Current 1 C
		Maximum Discharging Current 3C
		Discharging Cut-off Voltage 2.5V
6	Recommended SOC Usage Window	SOC: 10%~90%
7	Operation Thermal Ambient	Charging 0°C~55°C
		Discharging -20°C~55°C
8	Storage Thermal Ambient	Short-term (within 1 month) 20°C~45°C
		Long term (within 1 year) 0°C~35°C
9	Storage Humidity	<70%
10	Battery Weight	5.22±0.2kg
11	Shell Material	Aluminum
12	Cell Dimensions	204.8*173.6*72mm

FUENTE: Evlithium Electronic (Datasheet).

ELABORADO: Saraguro E (2023).

4.1.1.6. Descripción del sistema

Se tomará como referencia un sistema (Tehachapi Wind Energy Storage) ya creado con características similares a las calculadas con relación al valor de potencia y capacidad nominal, siendo esta un diseño con baterías de litio de 8MW y 32MWh(Montoya & Nuhfer, 2012).

El diseño del BESS se compone de dos partes principales, el sistema de conversión de energía y el sistema de almacenamiento. En la siguiente Tabla 4.10 se describe como estará conformado el sistema del BESS.

Tabla 4.10. Descripción del sistema

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA			
Secciones			
#1 (8MWh)	#2 (8MWh)	#3 (8MWh)	#4 (8MWh)
151 bastidores	151 bastidores	151 bastidores	151 bastidores
18 modulos	18 modulos	18 modulos	18 modulos
56 baterias	56 baterias	56 baterias	56 baterias
1 controlador	1 controlador	BMSs	BMSs
1 controlador	1 controlador	1 controlador	1 controlador
PCS #1 bidireccionales		PCS #2 bidireccionales	
Especificaciones del sistema			
Potencia nominal, CA			8 MW
Energia nominal, CA			32MWh 8MW de salida
potencia reactiva nominal			± 4 MVAr
potencia aparente nominal			9MVA

FUENTE: SOUTHERN CALIFORNIA EDISON.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

4.1.1.7. Sistema de baterías

El sistema de baterías se divide de la siguiente manera, se tendrá 4 secciones donde cada sección tendrá su PCS de 2MW y 151 bastidores los cuales estarán conectados en paralelo, estos bastidores tendrán 19” de ancho, cada bastidor constará de 18 módulos de baterías, donde cada módulo tendrá 56 baterías en su interior, el arreglo para cada módulo se dio de la siguiente manera, abra 14 baterías conectadas en serie y 4 de estos paquetes conectados en paralelo lo que da el uso de las 56 baterías de cada módulo, la batería a utilizar se describe en Tabla 4.9.

En la Tabla 4.11 se puede observar las especificaciones del sistema de baterías. Arreglo de baterías voltaje nominal:

$$V(DC) \text{ celdas en serie} = 3.2VDC * 14 \text{ celdas}$$

$$V(DC) \text{ celdas en serie} = 44.8 VDC$$

También se calcula el valor de voltaje en carga y descarga y lo llevamos hasta los valores de los bastidores.

Al estar los bastidores en paralelo el valor de voltaje del sistema será igual, para esto necesitamos calcular el valor de voltaje de cada bastidor, entonces en cada bastidor hay 18 módulos en serie, sabiendo el valor de cada módulo, tenemos lo siguiente.

Carga

$$V(DC) \text{ celdas en serie} = 3.65 \text{ VDC} * 14 \text{ celdas}$$

$$V(DC) \text{ celdas en serie} = 51.1 \text{ VDC}$$

$$V(DC) \text{ modulos en serie} = 51.1 \text{ VDC} * 18 \text{ modulos}$$

$$V(DC) \text{ modulos en serie} = 919.8 \text{ VDC}$$

Descarga

$$V(DC) \text{ celdas en serie} = 2.5 \text{ VDC} * 14 \text{ celdas}$$

$$V(DC) \text{ celdas en serie} = 35 \text{ VDC}$$

$$V(DC) \text{ modulos en serie} = 35 \text{ VDC} * 18 \text{ modulos}$$

$$V(DC) \text{ modulos en serie} = 630 \text{ VDC}$$

Tabla 4.11. Especificaciones del sistema de baterías

ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE BATERÍAS 4 SECCIONES	
Valores por sección	CANT.
bastidores	151 bastidores
Módulos por bastidor	18 módulos
Celdas por modulo	56 celdas
Rango de voltaje VDC por bastidor	630 – 919.8 VDC
Energía total	32 MWh

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Como tal la configuración del sistema queda de la siguiente manera, bajo valores nominales, en la Tabla 4.12 se puede apreciar la configuración de voltajes del sistema.

$$V(DC) \text{ modulos en serie} = 44.8 \text{ VDC} * 18 \text{ modulos}$$

$$V(DC) \text{ modulos en serie} = 806.4 \text{ VDC}$$

Tabla 4.12. Configuración de voltajes del sistema

VOLTAJES DEL SISTEMA				
Celdas	Módulos	Bastidores	Secciones	Sistema
608832	10872	604	4	1
3,2V	44,8 V	806,4V	806,4V	806,4V

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

4.1.1.8. Sistema de conversión de energía PCS

Al tener dos cadenas de baterías de 2 MW para cada inversor, y que este se deba conectar a una red de 13.8 kV debemos considerar la potencia total que le PCS deber ser capaz de manejar. En este caso la potencia total requerida será la suma de ambas cadenas quedando de la siguiente manera, necesitaremos dos PCS de 4 MW, paca los inversores se usarán 2 contenedores de 12 metros en la Tabla 4.13 se detallan las especificaciones del PCS cita.

Tabla 4.13. Especificaciones del PCS

PCS especificaciones	PCS 4MW 2 Inversores en línea
Potencia Nominal	2 x 2000 kW (carga y descarga)
Potencia Aparente nominal	2 x 2250 kVA (inductiva/ capacitiva)
Voltaje DC de la batería	630 en descarga – 919.8 en carga
Voltaje de conexión	13,8 kV ±5 60 Hz
eficiencia	90%
Capacidad de sobrecarga	120%, 10 min/150 %, 30s/200%, 2s

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

4.1.1.9. Sistemas auxiliares del BESS

- **Sistema de alimentación auxiliar**

Los BESS necesitan de un sistema auxiliar de alimentación para poder poner en funcionamiento sistemas de respaldo con el sistema de refrigeración y sistema contra incendios, además de servicios básicos como iluminación.

- **Sistema de climatización (HVAC)**

Este debe tener un sistema de calefacción y aire acondicionado para la gestión térmica, este constara de dos bombas de calor y su interfaz funcionara de la siguiente manera.

La temperatura será ajustada manualmente en el panel de control.

Los ventiladores funcionaran constantemente.

Una unidad se designa como principal y otra como secundaria, rotándose manualmente.

En caso de fallo, una luz de alerta se activará en el tablero de control.

- **Sistema contra incendios**

El BESS incluye un sistema de extinción de incendios para mitigar los efectos en caso de incendio. La instalación BESS está equipada con un sistema de extinción de incendios de agente limpio FM 200, además esta debe cumplir con todas las normativas y códigos vigentes de extinción de incendios.

4.1.1.10. Patrones de demanda

Para determinar los patrones de consumo eléctrico se eligió dentro de los valores de consumo del medio año del 2023 (enero- junio) de la subestación en general, el mes donde hubo el máximo y mínimo consumo, de igual un valor medio, por coincidencia el valor máximo y mínimo se encuentra en el mismo mes, siendo este el mes de mayo.

En la Tabla 4.14,Tabla 4.15,Tabla 4.16,Tabla 4.17 se detallan valores de consumo:

Tabla 4.14. Valor de máximo, mínimo y medio consumo dentro del mes de mayo 2023

S/E CONSUMO GENERAL		
FECHA	KVA	VALOR
8/5/2023 19:15	7845,5307	MÁXIMO
21/5/2023 0:15	5074,7834	MEDIO
28/5/2023 7:00	2835,05194	MÍNIMO

FUENTE: CNEL UN SANTO DOMINGO.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Tabla 4.15. Valores de consumo de los alimentadores al momento del máximo consumo en la S/E dentro del mes de mayo 2023

CONSUMO EN VALOR MÁXIMO				
FECHA	KW	KVA	KVAr	ALIMENTADOR
VALORES MÁXIMOS				
8/5/2023 19:15	3788,114	3938,883	1079,348	RIO VERDE
	2344,959	2449,872	709,253	RIO TOACHI
	1666,743	1730,95	467,068	SANTA MARTHA
VALORES MÍNIMOS				
8/5/2023 7:00	1876,618	1941,627	498,217	RIO VERDE
	1283,336	1335,392	369,214	RIO TOACHI
	883,913	902,784	183,624	SANTA MARTHA
VALORES MEDIO				
8/5/2023 11:00	2622,4762	2724,861	739,925	RIO VERDE
	1744,113	1810,949	487,449	RIO TOACHI
	1245,083	1283,358	311,088	SANTA MARTHA

FUENTE: CNEL UN SANTO DOMINGO.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Tabla 4.16. Valores de consumo de los alimentadores al momento del mínimo consumo en la S/E dentro del mes de mayo 2023

CONSUMO EN VALOR MÍNIMO				
FECHA	KW	KVA	KVAr	ALIMENTADOR
VALORES MÁXIMOS				
28/5/2023 19:00	1926,593	1989,644	496,912	RIO VERDE
	2152,412	2258,51	684,098	RIO TOACHI
	1440,491	1494,509	398,172	SANTA MARTHA
VALORES MÍNIMOS				
28/5/2023 7:00	1008,599	1018,968	144,992	RIO VERDE
	1069,685	1110,619	298,743	RIO TOACHI
	758,888	776,203	163,035	SANTA MARTHA
VALORES MEDIO				
28/5/2023 10:15	1419,375	1440,031	243,375	RIO VERDE
	1414,566	1464,425	378,874	RIO TOACHI
	1077,27	1105,081	246,36	SANTA MARTHA

FUENTE: CNEL UN SANTO DOMINGO.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Tabla 4.17. Valores de consumo de los alimentadores al momento de un valor medio de consumo en la S/E dentro del mes de mayo 2023

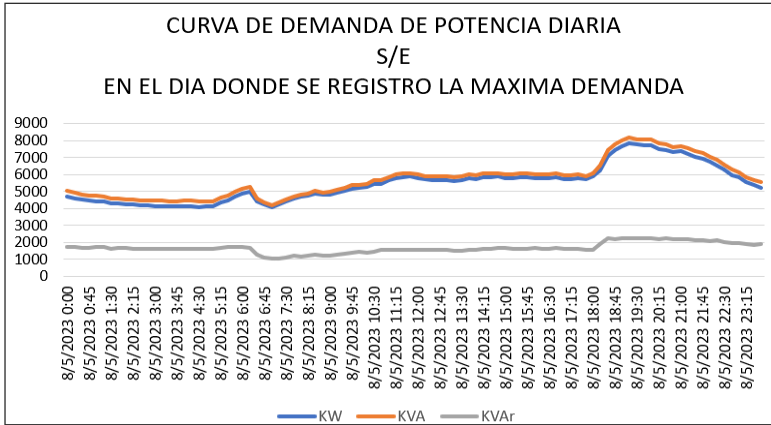
CONSUMO EN VALOR MEDIO				
FECHA	KW	KVA	KVAr	ALIMENTADOR
21/05/2023 00:15:00	2343,987	2500,893	871,890	RIO VERDE
	1449,891	1549,253	545,896	RIO TOACHI
	947,073	993,942	301,616	SANTA MARTHA

FUENTE: CNEL UN SANTO DOMINGO.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

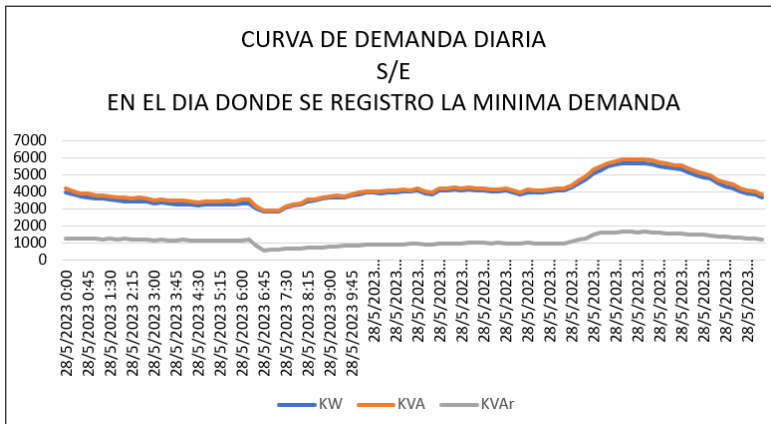
Por medio de estos datos podemos darnos cuenta de que contamos con tres horario de consumo, un horario para la máxima demanda, mínima demanda y un valor medio de consumo, esto se podrá apreciar mejor en la Figura 4.4, Figura 4.5 y Figura 4.6, de esta manera podemos separar por horario estos valores para poder establecer los momentos de carga y descarga de batería.

Figura 4.4 Gráfica de demanda diaria realizada en el día de máxima demanda registrada



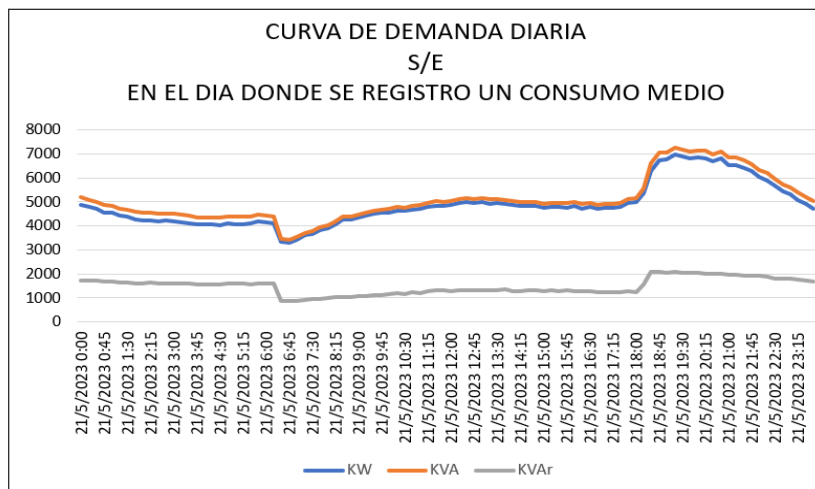
Nota. El gráfico representa la demanda diaria realizada en el día de máxima demanda registrada, tomado de EXCEL con datos de CNEL UN SANTO DOMINGO, 2023, Saraguro Erick.

Figura 4.5 Gráfica de demanda diaria realizada en el día mínima demanda registrada



Nota. El gráfico representa la demanda diaria realizada en el día de mínima demanda registrada, tomado de EXCEL con datos de CNEL UN SANTO DOMINGO, 2023, Saraguro Erick.

Figura 4.6 Gráfica de demanda diaria realizada en el día de media demanda registrada



Nota. El gráfico representa la demanda diaria realizada en el día de media demanda registrada, tomado EX-CEL con datos de CNEL UN SANTO DOMINGO, 2023, Saraguro Erick.

Al analizar las gráficas y los datos podemos apreciar que siguen un mismo patrón y estas se dividen en 3 horarios de consumo, este horario se puede apreciar en la Tabla 4.18.

Tabla 4.18. Rango horario establecido por medio de las gráficas de demanda

HORARIOS DE CONSUMO	
HORARIO	CONSUMO
18:00 - 00:00	MÁXIMO
09:00 - 17:00	MEDIO
01:00 - 08:00	MÍNIMO

FUENTE: CNEL UN SANTO DOMINGO.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

4.1.1.11. Análisis del funcionamiento del sistema

El sistema de almacenamiento de energía por baterías funcionara de la siguiente manera:

- **Captura de energía**

El sistema de almacenamiento de energía por baterías va a aprovechar la energía más barata en momentos de mínimo consumo de los alimentadores de la subestación la Cadena para poder almacenar la energía.

- **Conversión a energía química**

Al capturar la energía del sistema para poder almacenarla pasará por un proceso de reacciones electroquímicas, donde la energía eléctrica se convertirá en energía química, en el caso de las baterías seleccionada LiFePO_4 , su conversión se da por la transferencia de iones de litio entre los electrodos y el electrolito.

- **Almacenamiento**

La energía química que acaba de convertirse se almacenará de la siguiente manera, el sistema consta de 4 servicios de almacenamiento, cada servicio es de 8MWh con 152208 baterías, separadas en 151 bastidores por servicio, cada bastidor cuenta con 18 módulos y cada módulo con 56 baterías.

- **Suministro de energía**

Cuando se requiere energía eléctrica, en este caso en horas de alto consumo o cuando se produzcan picos de carga las baterías liberan la energía almacenada. Esto se logra permitiendo que los iones de litio vuelvan a fluir entre los electrodos y el electrolito, generando una corriente eléctrica.

- **Inversores y controladores**

El sistema en la sección de CA está compuesto por dos inversores bidireccionales de 4 MW y cada inversor se compone de dos alineaciones de inversores bidireccionales de 2 MW, cada cadena de 2 MW está controlada por un controlador de sección conectado a un controlador maestro del sistema de conversión de energía (PCS).

- **Monitoreo y gestión**

Este es el encargado de monitorear el estado de la batería, su temperatura, tensión y otros parámetros, además de supervisar el estado de carga de la batería, para así poder garantizar un sistema eficiente y seguro.

- **Integración en la Red**

Este sistema de baterías estará conectado a la barra de 13.8kV presente en la subestación la Cadena, con el propósito de gestionar los picos de demanda.

- **Carga y descarga**

Este proceso será de un ciclo diario, el cual acumulara energía durante las horas de mínimo consumo y se descarga durante un periodo establecido de máximo 4 horas en tiempo de máxima demanda o cuando se produzcan picos de carga.

4.1.1.12. Análisis del impacto Técnico – Económico de la integración del BESS

Modelo técnico del BESS

El sistema desarrollado en la presente investigación es uno que desempeñara el papel de realizar gestión de demanda, este sistema es formado con baterías de Litio (LiFePO₄), en la Tabla 4.9 se pueden apreciar sus características, su objetivo es la de capturar energía durante el horario de baja demanda y descargar la energía durante los picos de demanda, este proyecto cuenta con las características expuestas en la Tabla 4.19.

Tabla 4.19. Características del proyecto

CARACTERÍSTICAS DEL BESS		
PARÁMETROS	CANTIDAD	UNIDAD
Capacidad de potencia	8	MW
Capacidad energética	32	MWh
Duración de la descarga	4	Horas
Eficiencia global	90	%
Usos diarios	1	Ciclos
Vida útil	10 - 15	Años

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

- **Capacidad de potencia**

El valor de potencia instalada para el sistema de almacenamiento se dimensiono en 8 MW, teniendo la capacidad de almacenar la potencia residual en los próximos diez años en horas de poco consumo y ser capaz de entregarla en los momentos de mayor consumo, donde se produzca picos de demanda y así aliviar la curva de carga.

- **Capacidad de energía**

La capacidad de energía que se puede entregar se determinó por la cantidad de horas que podrá descargar energía el sistema de baterías y la capacidad de potencia, su producto dio como resultado 32 MWh.

- **Duración de descarga**

Esta se estableció en 4 horas debido a la gran capacidad del sistema y que sea capaz de aplanar lo mejor posible la curva de carga, de esta manera tener una red más estable, evitando posibles apagones o sobrecarga de los elementos de la subestación, dado las tecnologías actuales, es un valor bastante accesible.

- **Eficiencia global**

Este valor se determinó por medio de los estándares de la tecnología de batería a utilizar, aunque estas sean super eficientes, no vale reducir su vida útil, además este valor no depende solo de esta tecnología, aquí también se incluye los procesos de los equipos adicionales acoplados al sistema como son los inversores o transformadores, siendo de 90%.

- **Usos diarios**

Dado que el tiempo establecido en el que puede entregar energía es flexible se decidió solo realizar un tiempo de carga y descarga, respetando siempre el tiempo establecido de carga, de esta manera se evitara reducción de su vida útil.

- **Vida útil**

Se ha establecido un periodo de vida de 10-15 años, la mayoría de los proyectos BESS son establecidos para este tiempo, además con este se logra rentabilizar el uso de esta tecnología.

- **Convertidor**

Se utilizará dos PCS de 4MW con conexión en línea de dos inversores de 2MW, estos convertidores serán bidireccionales.

4.1.1.13. Modelo técnico del BESS

A. Costo de inversión total

Es el valor que se relaciona con la adquisición e instalación del sistema de almacenamiento de energía. Dentro de estos valores incluyen: costos de las celdas de baterías, los sistemas de conversión de potencia (PCS), sistemas de gestión energética (EMS), sistema de gestión de baterías (BMS), transformadores, sistema de calefacción, sistema contra incendios, mano de obra, costes del proyectos y costos asociados.

Se tomó como referencia el valor de inversión del Proyecto “Tehachapi Wind Energy Storage Project” (Montoya & Nuhfer, 2012), el valor de inversión inicial se detalla en la Tabla 4.20, este proyecto cuenta con una capacidad similar al calculado en el diseño de la presente investigación.

Tabla 4.20. Valor de inversión inicial

Inversión de proyecto	
Valor	Unidad
55	Millones

FUENTE: (Michael Montoya, Tehachapi Wind Energy Storage Project, Lithium-ion battery, and smart inverter technologies will improve grid performance and wind integration, 2012).

ELABORADO: Saraguro E (2023).

B. Costos de operación y mantenimiento

Costos anuales de mantenimiento

Referente a la ubicación del proyecto y de la empresa encargada del servicio de distribución, se determinan costos del servicio de distribución, los cuales se basan en costos de administración, operación, mantenimiento y comercialización, estos valores están dados por la agencia de regulación y control de energía y recursos naturales no renovables dentro del análisis y determinación del costo

del servicio público de energía eléctrica, periodo enero-diciembre 2023, estos valores serán expuestos en la Tabla 4.21.

Tabla 4.21. Costos del servicio de distribución (administración, operación, mantenimiento y comercialización, USD)

CORPORACIÓN NACIONAL DE ELECTRICIDAD CNEL EP UNIDAD DE NEGOCIO SANTO DOMINGO							
SUB TRANSMISIÓN		DISTRIBUCIÓN			ACOMETIDA Y MEDIDORES	COMER.	TOTAL
LÍNEAS	S/E	PRIM	TRAFO	SECUN			
1.520.263,78	2.644.490,77	5.345.008,75	3.159.314,48	5.311.781,01	6.527.468,10	9.185.355,49	33.693.682,38

FUENTE: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Las empresas eléctricas de Ecuador no cuentan con costos de mantenimiento establecidos para este tipo de proyectos, los costos de mantenimiento anuales para los sistemas de almacenamiento de energía suelen variar ente el 1% y 3% referente al costo inicial del proyecto, en la siguiente Tabla 4.22 se establecen los posibles costos de mantenimiento.

Tabla 4.22. Costos de mantenimiento BESS

COSTOS DE MANTENIMIENTO BESS		
1% del valor de inversión	2% del valor de Inversión	3% del valor de Inversión
550000 \$	1100000 \$	1650000 \$

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

C. Rendimiento energético

Capacidad energética que se espera recibir de la batería durante su tiempo de vida útil, se calcula mediante la Ecuación 4.2).

$$RE = CN(kwh) * Eiyv * DoD * ciclos de vida.$$

Ecuación 4.2

Donde:

RE: Rendimiento energético.

Ciclos de vida: duración de la batería.

E_{iyv}: eficiencia ida y vuelta de la batería.

DoD: Profundidad de descarga.

Para calcular el rendimiento nos regimos en los valores determinados en Tabla 4.9.

$$\text{Rendimiento energético} = (14 \text{ baterías en serie} * 3.2V * 280Ah) * 92\% * 80\% * 6000 \text{ ciclos}$$

$$\text{Rendimiento energético} = 12.544kWh * 90\% * 80\% * 5000$$

$$\text{Rendimiento energético} = 54,190 \text{ MWh}$$

D. Coste energético

Con este valor podemos determinar el coste energético de nuestra batería, la batería a utilizada en el diseño fue la LiFePO₄ la cual tiene un valor en el mercado promedio de \$7,979.00 USD, este valor se calcula con la Ecuación 4.3).

$$CE = \frac{CB}{RE} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

Donde:

CE: Coste energético.

CB: Costo de la batería.

RE: Rendimiento energético.

Para calcular el costo energético nos regimos en los valores antes calculados.

$$\text{Coste energetico} = \frac{\$7979}{54,190MWh}$$

$$\text{Coste energetico} = 0.14\$ / kWh$$

La siguiente Tabla 4.23 presenta datos de costos del sistema de almacenamiento de energía.

Tabla 4.23 . Valores de la instalación del BESS

VALORES DE COSTO DEL BESS				
Costo energético de la batería	Costos de mantenimiento BESS			Inversión inicial
	1%	2%	3%	
0,14 \$/kWh	\$550.000,00	\$1.100.000,00	\$1.650.000,00	\$55.000.000,00

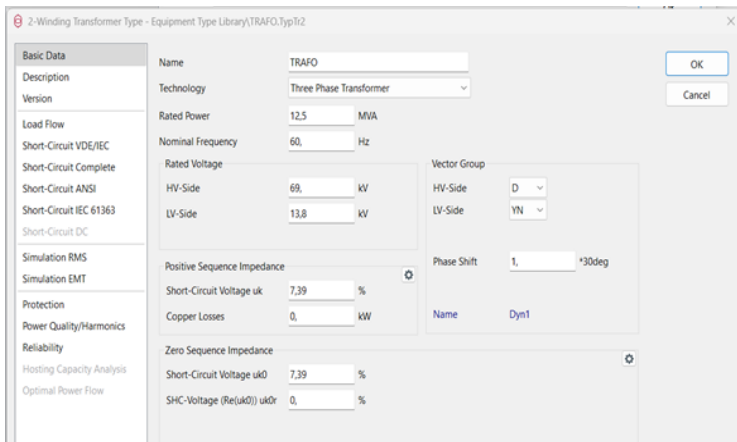
FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

4.1.2. Estudio de la integración de un BESS (simulación)

Nuestra subestación cuenta con un transformador de 10/12MVA, tres alimentadores Rio Verde, Rio Toachi y Santa Martha, una barra en alta de 69 kV y una en media de 13.8 kV, esta subestación se alimenta de la posición 2 de la planta generadora TRANSELECTRIC SANTO DOMINGO. En la siguiente

Figura 4.7 Podemos apreciar los valores ingresados al programa respecto al transformador



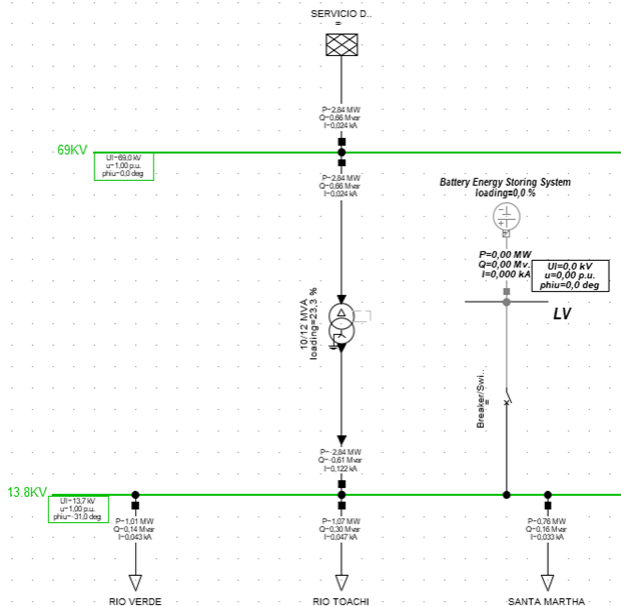
Nota. El gráfico representa los valores ingresados al transformador, tomado de DigSILENT, 2023.

4.1.2.1. Caso de estudio I (Consumo en valor mínimo, mes de mayo 2023)

Proceso de carga

El proceso de carga del primer caso de estudio se da con el flujo del sistema en valores del día de mínima demanda, primero analizamos el sistema sin conexión del BESS como se puede apreciar en la Figura 4.8. Los valores para la simulación del proceso de carga serán tomados de Tabla 4.16.

Figura 4.8. Esquema del sistema en el simulador con la demanda mínima sin BESS



Nota. El gráfico representa el esquema del sistema en el simulador con la demanda mínima sin BESS, tomado de DigSILENT, 2023.

En la siguiente Tabla 4.24 podemos apreciar los valores de medición en el sistema.

Tabla 4.24. Valores medidos en el flujo de mínima demanda sin BESS

Elementos	Voltaje kV	Cargabilidad	Voltaje [pu]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVar]
Bus 69kV	69 kV	---	1	---	---
Bus 13kV	13,7	---	1	---	---
Load 1	---	---	---	1,01	0,14
Load 2	---	---	---	1,07	0,3
Load 3	---	---	---	0,76	0,16
Trafo	---	23,30%	---	Alta 2,84 Baja 2,84	Alta 0,66 Baja 0,61
External Grid	---	---	---	2,84	0,66

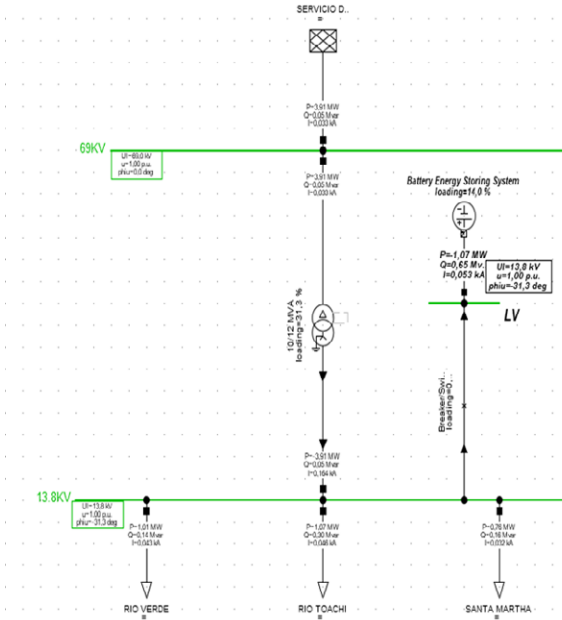
FUENTE: DigSILENT.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Se puede observar que al momento que el sistema trabaja con valores menores de consumo sin estar conectado el BESS no se ve afectado, la cargabilidad del transformador no supera el 25 %, de igual manera los valores de voltaje en las barras, en el caso del primario se mantiene en su valor nominal, para el secundario esta 0.1 menos del valor nominal.

Al momento de conectar el BESS al sistema y entrar en proceso de carga como se observa en la Figura 4.9 se producirá un cambio en el sistema donde va a aumentar la cargabilidad del transformador y la energía que se coje de la red, esto se debe a que entramos en proceso de carga y el BESS debe absorber energía. Estos valores serán descritos en la Tabla 4.25.

Figura 4.9. Esquema del sistema en el simulador con la demanda mínima con BESS



Nota. El gráfico representa el esquema del sistema en el simulador con la demanda mínima con BESS, tomado de DigSILENT, 2023.

Tabla 4.25. Valores medidos en el flujo de mínima demanda con BESS

Elementos	Voltaje kV	Cargabilidad	Voltaje [pu]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVar]
Bus 69kV	69 kV	---	1	---	---
Bus 13kV	13,8	---	1	---	---
Load 1	---	---	---	1,01	0,14
Load 2	---	---	---	1,07	0,3
Load 3	---	---	---	0,76	0,16
Trafo	---	31,3%	---	Alta 3,91 Baja 3,91	Alta 0,05 Baja 0,05
External Grid	---	---	---	3,91	0,05

FUENTE: DigSILENT.

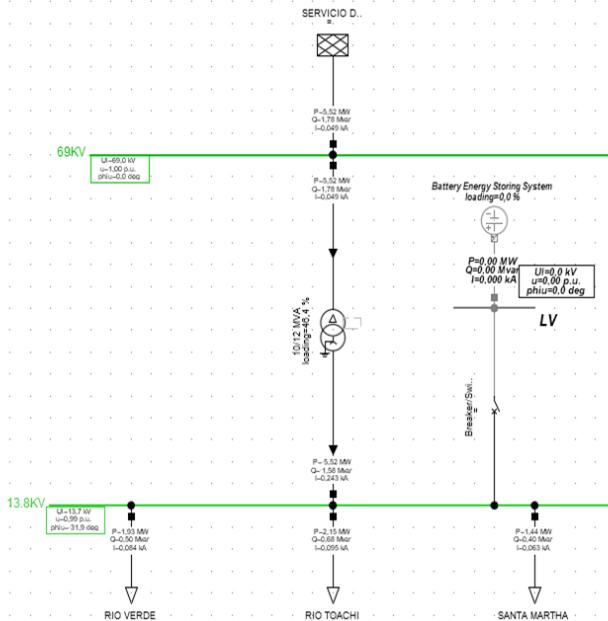
ELABORADO: Saraguro E (2023).

Al momento de cargarse la batería se aumenta la energía que se recibe del sistema, esto produce un aumento en la cargabilidad el transformador elevándose a 31.3 %, lo cual no afecta en nada el funcionamiento de este, ni un posible deterioro apresurado. Por parte del voltaje en la barra donde se conecta las cargas, su valor se encuentra en el nominal.

Proceso de descarga

Ahora procedemos a realizar el proceso de descarga del primer caso de estudio, donde se da con el flujo del sistema en valores máximos del día de mínima demanda dentro del mes seleccionado, primero analizamos el sistema sin conexión del BESS como se puede apreciar en la Figura 4.10. Los valores para la simulación del proceso de carga serán tomados de Tabla 4.15.

Figura 4.10 Esquema del sistema en el simulador con la demanda máxima sin BESS



Nota. El gráfico representa el esquema del sistema en el simulador con la demanda máxima sin BESS, tomado de DigSILENT, 2023.

En la siguiente Tabla 4.26 podemos apreciar los valores de medición en el sistema, para un respectivo análisis antes de que entre en función de descarga el BESS, de esta manera se podrá realizar una comparación y obtener posibles beneficios.

Tabla 4.26. Valores medidos en el flujo de máxima demanda sin BESS

Elementos	Voltaje kV	Cargabilidad	Voltaje [pu]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVar]
Bus 69kV	69 kV	---	1	---	---
Bus 13kV	13,7	---	0.99	---	---
Load 1	---	---	---	1,93	0,5
Load 2	---	---	---	2,15	0,68
Load 3	---	---	---	1,44	0,4
Trafo	---	46,4%	---	Alta 5,52 Baja 5,52	Alta 1,78 Baja 1,58
External Grid	---	---	---	5,52	1,78

FUENTE: DigSILENT.

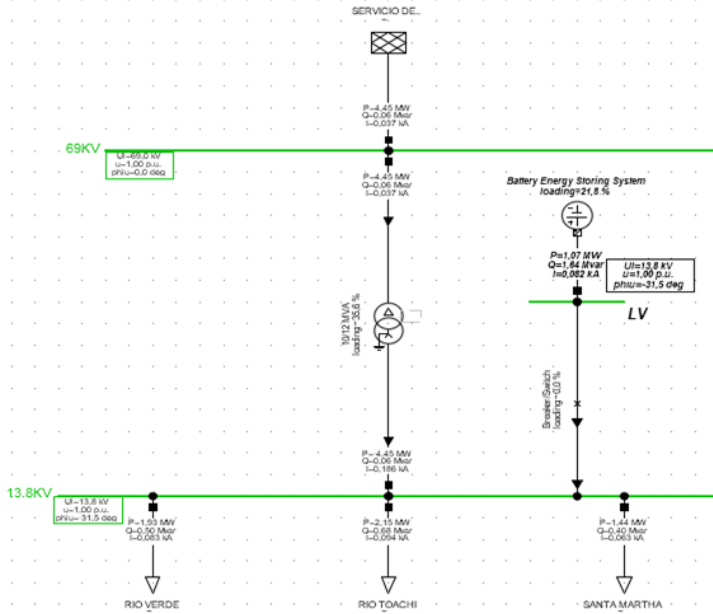
ELABORADO: Saraguro E (2023).

De los siguientes datos podemos determinar que la cargabilidad del transformador aumento entrando en un rango de casi de 50%, por parte de los niveles de voltaje, en la barra de 13,8kV, el nivel al simular el flujo es de 13,7kV, no se aprecia casi nada de variación, en el caso del valor por unidad es de 0.99, ahora realicemos la simulación con el BESS conectado entregando energía al sistema.

Al momento que entre el BESS entre funcionamiento entregara la energía que almaceno reduciendo el consumo directo de la red, el flujo del sistema se puede apreciar en la Figura 4.11.

Después recopilaremos los datos que entrega el flujo para poner realizar el análisis del efecto que provoca cuando entregue energía el BESS a la red de suministro eléctrico. Esto se puede apreciar en la Tabla 4.27.

Figura 4.11 Esquema del sistema en el simulador con la demanda máxima con BESS



Nota. El gráfico representa el esquema del sistema en el simulador con la demanda máxima sin BESS, tomado de DigSILENT, 2023.

Tabla 4.27. Valores medidos en el flujo de máxima demanda con BESS

Elementos	Voltaje kV	Cargabilidad	Voltaje [pu]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVar]
Bus 69kV	69 kV	---	1	---	---
Bus 13kV	13,8	---	1	---	---
Load 1	---	---	---	1,93	0,5
Load 2	---	---	---	2,15	0,68
Load 3	---	---	---	1,44	0,4
Trafo	---	35,6%	---	Alta 4,45	Alta 0,06
				Baja 4,45	Baja 0,06
External Grid	---	---	---	4,45	0,06

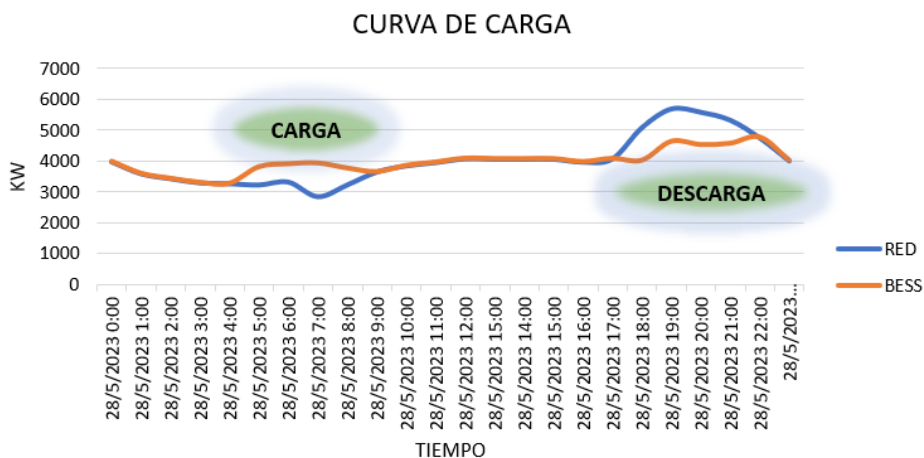
FUENTE: DigSILENT.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Respecto a los datos, podemos observar cómo se reduce la energía que se toma de la red, además que la mayoría de la potencia reactiva es suministrada por el sistema de baterías. De igual manera se aprecia una disminución en la cargabilidad del transformador la cual era de cerca del 50%, ahora encontrándose en 35,6 lo cual es una disminución significativa, por parte del voltaje en las barras se encuentran en los valores ideales tanto en kV como pu.

En la Figura 4.12 se aprecia el proceso de carga y descarga de la batería dentro del sistema y como elimina picos y valles de la curva de carga.

Figura 4.12 Curva de carga del sistema con y sin BESS



Nota. El gráfico representa la curva de carga del sistema con y sin BESS., tomado de DigSILENT y CNEL UN SANTO DOMINGO, 2023, Saraguro Erick.

4.1.2.2. Caso de estudio II (Consumo en valor máximo mes de mayo 2023)

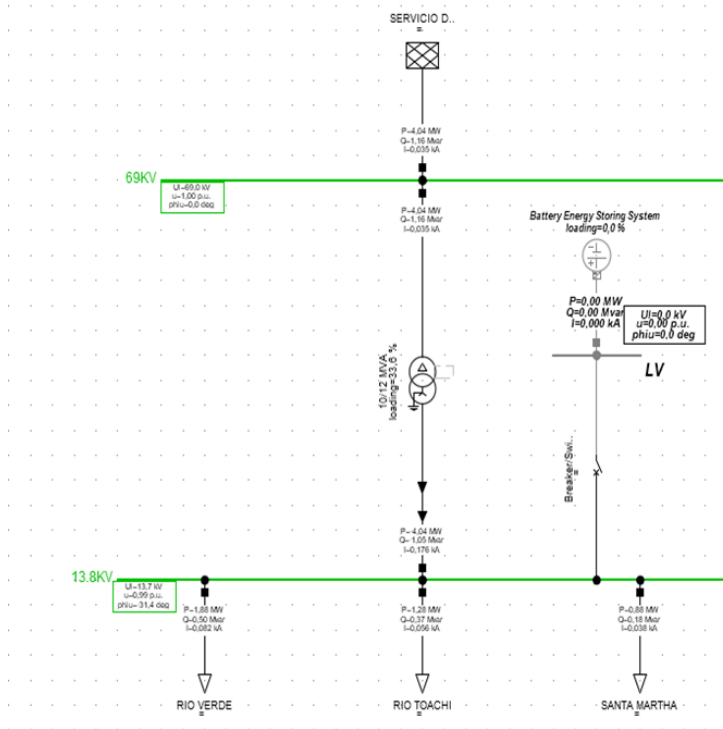
El segundo caso de estudio se da con el flujo del sistema en valores de máximo consumo dentro del mes elegido, al analizar el valor de máximo consumo dentro del mes nos encontramos con un día donde se tomará la mínima y máxima

demanda para el análisis del sistema y poder observar cómo afecta en la curva de carga.

Proceso de carga

Primero analizamos el sistema sin conexión del BESS como se puede apreciar en la Figura 4.13. Los valores para la simulación del proceso de carga serán tomados de la Tabla 4.15.

Figura 4.13. Esquema del sistema en el simulador con la demanda mínima sin BESS



Nota. El gráfico representa el esquema del sistema en el simulador con la demanda mínima sin BESS, tomado de DigSILENT, 2023.

En la siguiente Tabla 4.28 podemos apreciar los valores de medición en el sistema.

Tabla 4.28. Valores medidos en el flujo de mínima demanda sin BESS

Elementos	Voltaje kV	Cargabilidad	Voltaje [pu]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVar]
Bus 69kV	69 kV	---	1	---	---
Bus 13kV	13,7	---	0.99	---	---
Load 1	---	---	---	1,88	0,5
Load 2	---	---	---	1,28	0,37
Load 3	---	---	---	0,88	0,18
Trafo	---	33,6%	---	Alta 4,04 Baja 4,04	Alta 1,16 Baja 1,05
External Grid	---	---	---	4,0	1,16

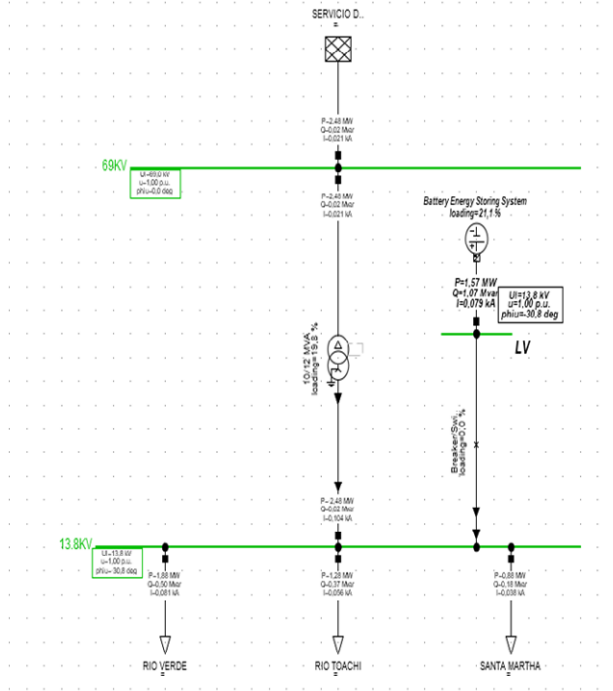
FUENTE: DigSILENT.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Al momento que el sistema trabaja con valores de mínimo consumo sin estar conectado el BESS no se ve afectado, la cargabilidad del transformador es de 33,6 %, de igual manera los valores de voltaje en las barras, en el caso del primario se mantiene en su valor nominal, para el secundario es de 13,7kV.

El BESS se conecta al sistema y entrar en proceso de carga como se observa en la Figura 4.14, esto modificara parámetros del sistema como pueden ser donde la cargabilidad del transformador y la energía que se absorbe de la red. Estos valores serán descritos en la Tabla 4.29.

Figura 4.14 Esquema del sistema en el simulador con la demanda mínima con BESS



Nota. El gráfico representa el esquema del sistema en el simulador con la demanda mínima con BESS, tomado de DigSILENT, 2023.

Podemos observar como el sistema de baterías entra en funcionamiento y empieza a absorber energía de la red para más adelante suministrarla cuando se produzcan picos de demanda y suavizar la curva de carga.

Tabla 4.29. Valores medidos en el flujo de mínima demanda con BESS

Elementos	Voltaje kV	Cargabilidad	Voltaje [pu]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVar]
Bus 69kV	69 kV	---	1	---	---
Bus 13kV	13,8	---	1	---	---
Load 1	---	---	---	1,88	0,5
Load 2	---	---	---	1,28	0,37
Load 3	---	---	---	0,88	0,18
Trafo	---	44,9%	---	Alta 5,61 Baja 5,61	Alta 0,09 Baja 0,02
External Grid	---	---	---	5,61	0,09

FUENTE: DigSILENT.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Cuando se realiza el proceso de carga, la batería absorbe energía de la red, esto produce un aumento en la cargabilidad el transformador elevándose a 44,9 % un valor que no afecta al sistema.

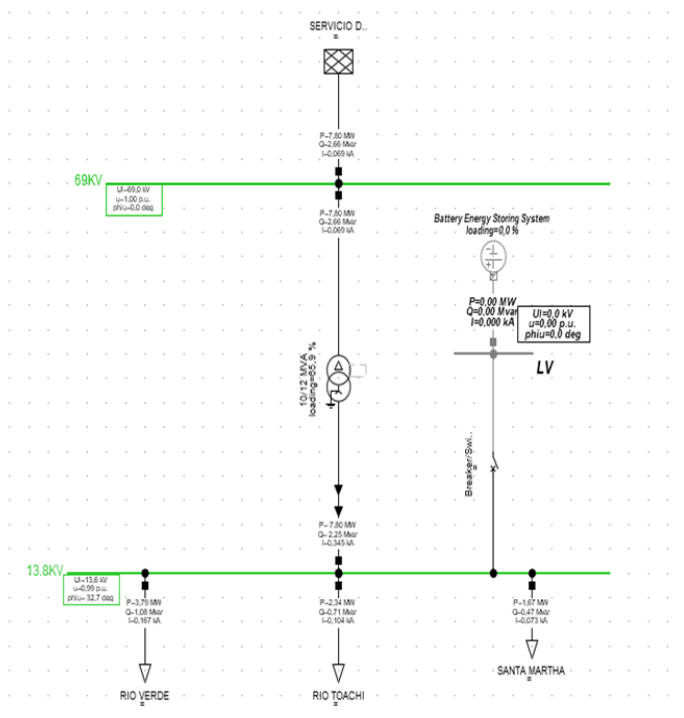
Por parte del voltaje en la barra donde se conecta las cargas, su valor se encuentra en el nominal.

La batería se encuentra realizando su función correctamente sin afectar a la red o la S/E, por el contrario, está regulando los niveles de voltaje y aliviando la curva de carga.

Proceso de descarga

Ahora procedemos a realizar el proceso de descarga del segundo caso de estudio, en esta simulación se usan los valores máximos día dentro del mes seleccionado, primero analizamos el sistema sin conexión del BESS, este se puede apreciar en la Figura 4.15. Los valores para la simulación del proceso de carga serán tomados de la Tabla 4.30.

Figura 4.15 Esquema del sistema en el simulador con la demanda máxima sin BESS



Nota. El gráfico representa el esquema del sistema en el simulador con la demanda máxima sin BESS, tomado de DigSILENT, 2023.

Tabla 4.30. Valores medidos en el flujo de mínima demanda sin BESS

Elementos	Voltaje kV	Cargabilidad	Voltaje [pu]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVar]
Bus 69kV	69 kV	---	1	---	---
Bus 13kV	13,6	---	0,99	---	---
Load 1	---	---	---	3,79	1,08
Load 2	---	---	---	2,34	0,71
Load 3	---	---	---	1,67	0,47
Trafo	---	65,9%	---	Alta 7,8 Baja 7,8	Alta 2,66 Baja 2,25
External Grid	---	---	---	7,8	2,66

FUENTE: DigSILENT.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

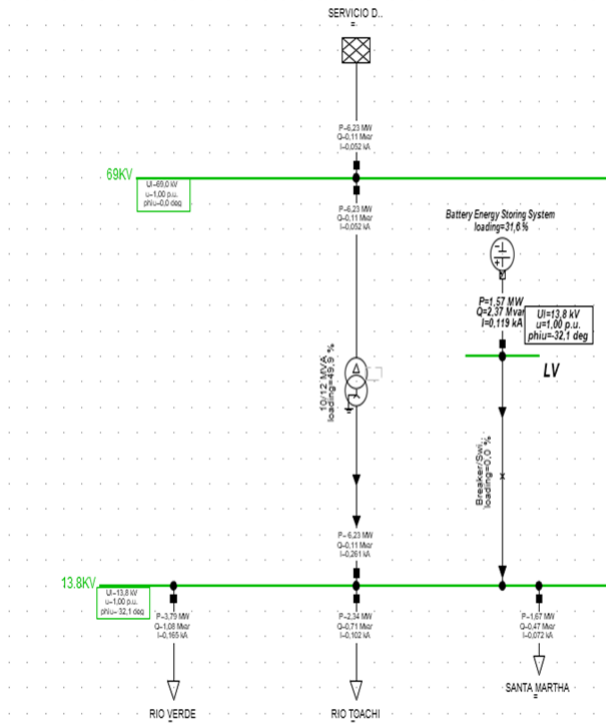
Se observa que la cargabilidad del transformador supera el 50%, exactamente el 65,9%, un valor bastante elevando.

Por parte de los niveles de voltaje, el bus de media está por debajo del valor nominal, exactamente 13,6 y su valor por unidad es de 0,99, analizaremos como afecta la entrada en servicio del BESS a estos valores.

Al momento que entre el BESS entre funcionamiento entregara la energía que almaceno reduciendo el consumo directo de la red, el flujo del sistema se puede apreciar en la Figura 4.16.

Después recopilaremos los datos que entrega el flujo para poner realizar el análisis del efecto que provoca cuando entregue energía el BESS a la red de suministro eléctrico. Esto se puede apreciar en la Tabla 4.31.

Figura 4.16 Esquema del sistema en el simulador con la demanda máxima con BESS



Nota. El gráfico representa el esquema del sistema en el simulador con la demanda máxima con BESS, tomado de DigSILENT, 2023.

Tabla 4.31. Valores medidos en el flujo de mínima demanda con BESS

Elementos	Voltaje kV	Cargabilidad	Voltaje [pu]	Potencia activa [MW]	Potencia reactiva [MVar]
Bus 69kV	69 kV	---	1	---	---
Bus 13kV	13,8	---	1	---	---
Load 1	---	---	---	3,79	1,08
Load 2	---	---	---	2,34	0,71
Load 3	---	---	---	1,67	0,47
Trafo	---	49,9%	---	Alta 6,23 Baja 6,23	Alta 0,11 Baja 0,11
External Grid	---	---	---	6,23	0,11

FUENTE: DigSILENT.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

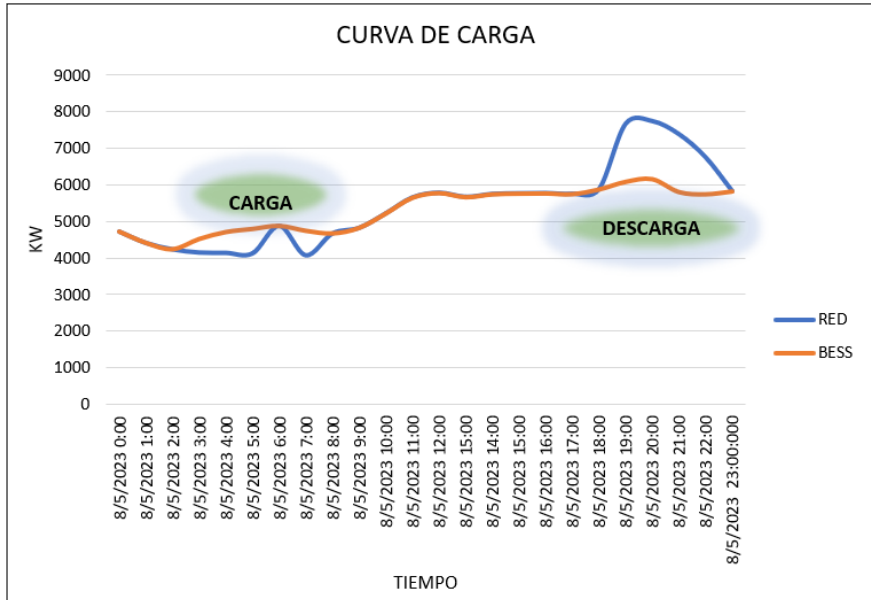
Se observa que la cargabilidad del transformador supera el 50%, exactamente el 65,9%, un valor bastante elevando.

Con respecto a los niveles de voltaje, hubo un control y regulación, pasando de 13,6kV a 13,8kV, de igual manera su valor por unidad de 0.99 a 1.

Por parte de la cargabilidad, el transformador está cargado al 65,9%, al entrar en función el BESS se le quita trabajo reduciendo su cargabilidad al 49,9%, al tener un valor alto y la creciente demanda es posible que sea necesario repotenciar el sistema, esto se detiene debido a que el sistema de baterías alivia le trabajo del transformador y a la vez regula niveles de voltaje.

En la Figura 4.17 se aprecia el proceso de carga y descarga de la batería dentro del sistema y como elimina picos y valles de la curva de carga.

Figura 4.17 Curva de carga del sistema con y sin BESS



Nota. El gráfico representa la curva de carga del sistema con y sin BESS., tomado de DigSILENT y CNEL UN SANTO DOMINGO, 2023, Saraguro Erick.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdin, Z., & Khalilpour, K. R. (2018). Single and polystorage technologies for renewable-based hybrid energy systems. En *Polygeneration with Polystorage: For Chemical and Energy Hubs* (pp. 77–131). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813306-4.00004-5>
- Abe, J. O., Popoola, A. P. I., Ajenifuja, E., & Popoola, O. M. (2019). Hydrogen energy, economy and storage: Review and recommendation. En *International Journal of Hydrogen Energy* (Vol. 44, Número 29, pp. 15072–15086). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.04.068>
- Adeleke, O., Ukil, A., & Zhang, X. (2020). Vanadium Redox & Lithium Ion Based Multi-Battery Hybrid Energy Storage System for Microgrid.
- Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables. (2022, febrero). Mapa Nro. 24: Infraestructura eléctrica de CNEL EP Unidad de Negocio Santo Domingo Zoom 1.
- Andrés, C., & Gómez, A. (2018). Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica aplicadas en generación con fuentes renovables, una revisión sistemática de literatura.
- Araya Rodríguez, J. D., Rojas, J. J., & Richmond-Navarro, G. (2022). Integración de un sistema de almacenamiento de energía en un parque eólico, estudio de caso. *Revista Tecnología en Marcha*. <https://doi.org/10.18845/tm.v35i7.6333>
- Argyrou, M. C., Christodoulides, P., & Kalogirou, S. A. (2018). Energy storage for electricity generation and related processes: Technologies appraisal and grid scale applications. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 94, pp. 804–821). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.06.044>
- Arnberg, G. (2022). Implementation of battery energy storage systems in the Swedish electrical infrastructure A techno-economic assessment.
- Bertran, J. M. (2017). Métodos de estimación del estado de carga de baterías electroquímicas.
- Breeze, P. (2018). Compressed Air Energy Storage. En *Power System Energy Storage Technologies* (pp. 23–31). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812902-9.00003-1>
- Breeze, P. (2019). Power System Energy Storage Technologies. En *Power Ge-*

- neration Technologies (pp. 219–249). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-102631-1.00010-9>
- Budt, M., Wolf, D., Span, R., & Yan, J. (2016). A review on compressed air energy storage: Basic principles, past milestones and recent developments. En *Applied Energy* (Vol. 170, pp. 250–268). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.108>
- Burheim, O. S. (2017). Electrochemical Energy Storage. En *Engineering Energy Storage* (pp. 75–110). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814100-7.00006-7>
- Cabeza, L. F. (2012). 3.07 - Thermal Energy Storage. En *Comprehensive Renewable Energy* (pp. 211–253). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-087872-0.00307-3>
- Cabeza, L. F., Martorell, I., Miró, L., Fernández, A. I., & Barreneche, C. (2015). Introduction to thermal energy storage (TES) systems. En *Advances in Thermal Energy Storage Systems: Methods and Applications* (pp. 1–28). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1533/9781782420965.1>
- Catherine Yang. (2019, septiembre 5). 15 Factors that should be considered in battery selection. LinkedIn.
- C. Ortega. (2022, diciembre 9). Investigación aplicada: Definición, tipos y ejemplos. QuestionPro.
- Elsäkerhetsverket. (2016). Informationsbehov och elsäkerhetskrav rörande små-och storskalig energilagring av el Dnr:16EV600.
- Enlight (E.). (2023, junio 26). BESS: qué son y cómo funcionan. Enlight.mx.
- Euroinnova Business School. (2022, diciembre 21). Investigación diagnóstica descriptiva y explicativa. www.euroinnova.mx.
- Facultad de Ciencias Sociales y Humanas de la Universidad de Antioquia. (2020). Investigación documental: Una estrategia no reactiva de investigación social, en estrategias de investigación social cualitativa. Editorial FCSH.
- Fan, X., Liu, B., Liu, J., Ding, J., Han, X., Deng, Y., Lv, X., Xie, Y., Chen, B., Hu, W., & Zhong, C. (2020). Battery Technologies for Grid-Level Large-Scale Electrical Energy Storage. En *Transactions of Tianjin University* (Vol. 26, Número 2, pp. 92–103). Tianjin University. <https://doi.org/10.1007/s12209-019-00231-w>

- FIDEL MAIK MEDINA CATAY. (2021). “SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN BATERÍA (BESS) Y SU INFLUENCIA EN LA DEMANDA ELÉCTRICA DIARIA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SE0062 (HUANCAYO)”.
- Georgious, R., Refaat, R., Garcia, J., & Daoud, A. A. (2021). Review on energy storage systems in microgrids. En *Electronics (Switzerland)* (Vol. 10, Número 17). MDPI. <https://doi.org/10.3390/electronics10172134>
- GUASCAL PAILLACHO PAUL SANTIAGO. (2021). APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA – SAE EN EL ABASTECIMIENTO DE LA DEMANDA USANDO FLUJOS ÓPTIMOS DE POTENCIA – DC PARA MÚLTIPLES PERIODOS DE TIEMPO.
- GUILLERMO JAVIER MARTÍN CHICHARRO. (2016). *Sistemas de Almacenamiento de Energía*.
- Guney, M. S., & Tepe, Y. (2017). Classification and assessment of energy storage systems. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 75, pp. 1187–1197). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.102>
- Haines, G. (2018). *Basic Operation of a Battery Energy Storage System (BESS)*.
- Hellman, H. P., Pihkala, A., Hyvärinen, M., Heine, P., Karppinen, J., Siilin, K., Lahtinen, P., Laasonen, M., & Matilainen, J. (2017). Benefits of battery energy storage system for system, market, and distribution network - case Helsinki. *CIREN - Open Access Proceedings Journal*, 2017(1), 1588–1592. <https://doi.org/10.1049/oap-cired.2017.0810>
- Henry Paúl Asadobay Sandoval. (2022). ANÁLISIS TÉCNICO, REGULATORIO Y ECONÓMICO, DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ALMACENAMIENTO EN BATERÍAS A GRAN ESCALA, EN EL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO ANÁLISIS TÉCNICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ALMACENAMIENTO EN BATERÍAS A GRAN ESCALA EN EL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO.
- Hesse, H. C., Schimpe, M., Kucevic, D., & Jossen, A. (2017). Lithium-ion battery storage for the grid - A review of stationary battery storage system design tailored for applications in modern power grids. En *Energies* (Vol. 10, Número 12). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/en10122107>
- Ibrahim, H., Ghandour, M., & Saad, S. (2018). Performance Index: A Simple Selection Method of Appropriate Energy Storage for Specific Appli-

- cation. MATEC Web of Conferences, 171. <https://doi.org/10.1051/matec-conf/201817101002>
- Ibrahim, H., Ilinca, A., & Perron, J. (2008). Energy storage systems-Characteristics and comparisons. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 12, Número 5, pp. 1221–1250). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.01.023>
- Ignacio Ortega Aguado. (2021). EL FUTURO DEL ALMACENAMIENTO ENERGÉTICO: ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE UNA PLANTA DE BATERÍAS DE ION DE LITIO DE 50 MW. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (s/f). Electrical Equivalent Model of Vanadium Redox Flow Battery.
- Jawwad Shaikh. (2021, julio). Battery Energy Storage Systems (BESS). SgurEnergy.
- Jennifer Manierre. (2019). Battery Energy Storage Systems.
- Johnson, S. C., Todd Davidson, F., Rhodes, J. D., Webber, M. E., Coleman, J. L., Bragg-Sitton, S. M., & Dufek, E. J. (2019). Selecting Favorable Energy Storage Technologies for Nuclear Power. En *Storage and Hybridization of Nuclear Energy: Techno-economic Integration of Renewable and Nuclear Energy* (pp. 119–175). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813975-2.00005-3>
- JUAN SEBASTIÁN PALACIO PULLA. (2022). ANÁLISIS REGULATORIO, TÉCNICO Y ECONÓMICO DE LA IMPLEMENTACIÓN DE ALMACENAMIENTO EN BATERÍAS A GRAN ESCALA EN EL SISTEMA NACIONAL INTERCONECTADO.
- Koehler, U. (2018). General overview of non-lithium battery systems and their safety issues. En *Electrochemical Power Sources: Fundamentals, Systems, and Applications Li-Battery Safety* (pp. 21–46). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63777-2.00002-5>
- Koohi-Kamali, S., Tyagi, V. V., Rahim, N. A., Panwar, N. L., & Mokhlis, H. (2013). Emergence of energy storage technologies as the solution for reliable operation of smart power systems: A review. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 25, pp. 135–165). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.03.056>

- Kumar, D., Rajouria, S. K., Kuhar, S. B., & Kanchan, D. K. (2017). Progress and prospects of sodium-sulfur batteries: A review. *Solid State Ionics*, 312, 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.ssi.2017.10.004>
- LaoRen. (2022, noviembre 17). What is a Power Conversion System PCS? CLOU GLOBAL.
- Lawder, M. T., Suthar, B., Northrop, P. W. C., De, S., Hoff, C. M., Leitermann, O., Crow, M. L., Santhanagopalan, S., & Subramanian, V. R. (2014). Battery energy storage system (BESS) and battery management system (BMS) for grid-scale applications. *Proceedings of the IEEE*, 102(6), 1014–1030. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2014.2317451>
- Lázaro Endemaño Ventura. (2016). Análisis Global de los Sistemas de Almacenamiento de Energía Eléctrica.
- Lourenssen, K., Williams, J., Ahmadpour, F., Clemmer, R., & Tasnim, S. (2019). Vanadium redox flow batteries: A comprehensive review. En *Journal of Energy Storage* (Vol. 25). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.100844>
- Luis, J. (2014). El Método de la Investigación Research Method. En *Daena: International Journal of Good Conscience* (Vol. 9, Número 3).
- Luo, X., Wang, J., Dooner, M., & Clarke, J. (2015). Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation. *Applied Energy*, 137, 511–536. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.081>
- Magdalena Andersson. (2021). Genomförande av elmarknadsdirektivet när det gäller nätverksamhet.
- Mahlia, T. M. I., Saktisahdan, T. J., Jannifar, A., Hasan, M. H., & Matseelar, H. S. C. (2014). A review of available methods and development on energy storage; Technology update. En *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 33, pp. 532–545). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.01.068>
- Mai, L. Q. (2015). Semiconductor nanowire battery electrodes. En *Semiconductor Nanowires: Materials, Synthesis, Characterization and Applications* (pp. 441–469). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-253-2.00016-5>
- MANUEL FERNANDO FAJARDO RODRÍGUEZ. (2018). ESTUDIOS

ELÉCTRICOS DE APLICACIONES EN TRANSMISIÓN CON SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA CON BATERÍAS (BESS) PARA SU INTEGRACIÓN EN EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS FACULTAD DE INGENIERÍA.

María Del Socorro Gómez Pérez. (2018). PLANEAMIENTO DE LA EXPANSIÓN USANDO SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA BESS.

Miller, M. A., Petrasch, J., Randhir, K., Rahmatian, N., & Klausner, J. (2020). Chemical energy storage. En *Thermal, Mechanical, and Hybrid Chemical Energy Storage Systems* (pp. 249–292). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819892-6.00005-8>

Montoya, M., & Nuhfer, K. (2012). Tehachapi Wind Energy Storage Project. http://www.edison.com/files/102010_news1.pdf.

Moradzadeh, A., Nazari-Heris, M., & Mohammadi-Ivatloo, B. (2021). Energy storage fundamentals and components. En *Energy Storage in Energy Markets: Uncertainties, Modelling, Analysis and Optimization* (pp. 23–39). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820095-7.00009-1>

Mviri, F. S. M. (2022). Battery storage systems in electric power grid: A review. *Journal of Physics: Conference Series*, 2276(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2276/1/012016>

NATALY XIMENA MONTEZUMA SANTACRUZ. (2014). PROBLEMA DE PREDESPACHO DE UNIDADES CON REPRESENTACIÓN DE ALMACENAMIENTO A BASE DE BATERÍAS.

Oliveira, D. Q., Saavedra, O. R., Santos-Pereira, K., Pereira, J. D. F., Cosme, D. S., Veras, L. S., Bento, R. G., & Riboldi, V. B. (2021). A critical review of energy storage technologies for microgrids. En *Energy Systems*. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s12667-021-00464-6>

PAÚL ALFREDO LEMA OSORIO. (2018). “ANÁLISIS DE LAS BATERÍAS DE FLUJO COMO MEDIO DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA PARA EL APLANAMIENTO DE PICO DE CARGA MEJORANDO LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA CURVA DE DEMANDA ELÉCTRICA”.

- Rachid, A., El Fadil, H., Gaouzi, K., Rachid, K., Lassioui, A., El Idrissi, Z., & Koundi, M. (2023). Electric Vehicle Charging Systems: Comprehensive Review. *En Energies* (Vol. 16, Número 1). MDPI. <https://doi.org/10.3390/en16010255>
- Ramos-Galarza, C. A. (2020). Alcances de una investigación. *CienciAmérica*, 9(3), 1–6. <https://doi.org/10.33210/ca.v9i3.336>
- Revankar, S. T. (2019). Chemical Energy Storage. En *Storage and Hybridization of Nuclear Energy: Techno-economic Integration of Renewable and Nuclear Energy* (pp. 177–227). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813975-2.00006-5>
- Rodríguez, M., Tutor, J., & Rodrigo, M. (2022). Selección y dimensionamiento del sistema de almacenamiento de energía de una microrred aislada.
- Rusek, S., Goño, R., Vysoké učení technické v Brně. Faculty of Electrical Engineering and Communication. Department of Electrical Power Engineering, IEEE Power & Energy Society. Czechoslovakia Section, & Institute of Electrical and Electronics Engineers. (s/f). Sodium-Sulfur Batteries for Energy Storage Applications.
- Samuel, F. S. M., & Junior, M. B. M. (2022). “ANÁLISIS DE LA INCORPORACIÓN DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS TIPO RED EN EL ALIMENTADOR CENTRO BABAHOYO 13.8kV DE CNEL EP UNIDAD DE NEGOCIOS LOS RÍOS”.
- Sarbu, I., & Sebarchievici, C. (2017). Thermal Energy Storage. En *Solar Heating and Cooling Systems* (pp. 99–138). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811662-3.00004-9>
- Silverman, J. (1980). INTRODUCTORY ADDRESS. En *Energy Storage* (pp. 6–7). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-025471-5.50008-7>
- Šimić, Z., Knežević, G., Topić, D., & Pelin, D. (2021). Battery energy storage technologies overview. En *International Journal of Electrical and Computer Engineering Systems* (Vol. 12, Número 1, pp. 53–65). J.J. Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology. <https://doi.org/10.32985/IJECES.12.1.6>
- Skyllas-Kazacos, M. (2010). Electro-chemical energy storage technologies for wind energy systems. En *Stand-Alone and Hybrid Wind Energy Systems* (pp. 323–365). Elsevier. <https://doi.org/10.1533/9781845699628.2.323>

- Soberón, U. E. M., & Acosta, Z. (2008). FUENTES DE INFORMACIÓN PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN CUANTITATIVA Y CUALITATIVA 1 TEXTO No 2.
- Solovev, A., & Petrova, A. (2021, agosto 16). Efficient Energy Management and Energy Saving with a BESS (Battery Energy Storage System). Integra Sources Ltd.
- Spendiff-Smith, M. (2022, julio 12). A guide to battery energy storage system components . EVESCO. Power Sonic Corp.
- Spiers, D. (2018). Batteries in PV systems. En McEvoy's Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and Applications (pp. 789–843). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809921-6.00021-5>
- Stecca, M., Elizondo, L. R., Soeiro, T. B., Bauer, P., & Palensky, P. (2020). A comprehensive review of the integration of battery energy storage systems into distribution networks. En IEEE Open Journal of the Industrial Electronics Society (Vol. 1, Número 1, pp. 46–65). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. <https://doi.org/10.1109/OJIES.2020.2981832>
- Sterner, M., & Stadler, I. (2019). Handbook of Energy Storage. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-662-55504-0>
- Tarabay, J., & Karami, N. (2015). Nickel Metal Hydride battery: Structure, chemical reaction, and circuit model. 2015 3rd International Conference on Technological Advances in Electrical, Electronics and Computer Engineering, TAECE 2015, 22–26. <https://doi.org/10.1109/TAECE.2015.7113594>
- Xie, J., & Lu, Y. C. (2020). A retrospective on lithium-ion batteries. En Nature Communications (Vol. 11, Número 1). Nature Research. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16259-9>

ANEXOS

DATOS HISTÓRICOS 2018, DE LOS 3 ALIMENTADORES

Anexo 7.1 Consumo mes histórico promedio 2019 del alimentador Rio Verde.

RIO VERDE 2019			
MES	kW Total	kVA Total	kVAR Total
ENERO	942,27144	954,764723	151,557184
FEBRERO	947,868156	975,836721	209,647943
MARZO	951,783392	966,399163	165,683255
ABRIL	979,935958	995,025925	170,543695
MAYO	993,187042	1008,72456	174,492813
JUNIO	1029,31959	1046,10321	184,7217
JULIO	997,230513	1013,67587	179,956696
AGOSTO	1024,99321	1042,69551	189,247411
SEPTIEMBRE	1018,00944	1035,55146	187,689396
OCTUBRE	1031,57313	1048,94914	188,27188
NOVIEMBRE	1031,07406	1048,83416	189,163771
DICIEMBRE	1043,78318	1060,70762	186,34916

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Anexo 7.2 Consumo mes histórico promedio 2019 del alimentador Rio Toachi

RIO TOACHI 2019			
MES	kW Total	kVA Total	kVAR Total
ENERO	2517,45015	2564,75626	485,441368
FEBRERO	723,750802	792,986469	321,714811
MARZO	724,224456	795,978266	328,079364
ABRIL	746,07774	819,342471	336,340019
MAYO	751,424353	825,479288	339,261826
JUNIO	741,052153	814,940357	336,589181
JULIO	730,578779	800,346017	324,450691
AGOSTO	728,09739	798,33133	325,011075
SEPTIEMBRE	732,453692	803,46957	327,784742
OCTUBRE	735,401646	803,396033	320,860984
NOVIEMBRE	731,030422	800,516037	323,742677
DICIEMBRE	745,964069	813,689445	322,729957

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Anexo 7.3 Consumo mes histórico promedio 2019 del alimentador Santa Martha

SANTA MARTHA 2019			
MES	kW Total	kVA Total	kVAR Total
ENERO	2330,57864	2373,03638	439,112021
FEBRERO	959,740629	1015,39057	327,627816
MARZO	950,837775	1015,69324	353,005955
ABRIL	958,422274	1014,54164	317,04728
MAYO	963,312779	993,931173	243,682755
JUNIO	954,457394	985,463768	244,193857
JULIO	943,338705	973,88077	240,874734
AGOSTO	960,214246	991,879195	247,347339
SEPTIEMBRE	972,412074	1003,75289	247,556151
OCTUBRE	980,929717	1010,23294	240,425886
NOVIEMBRE	987,049405	1019,02475	252,291976
DICIEMBRE	1000,51134	1032,53491	254,245052

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Anexo 7.4 Consumo mes histórico promedio 2020 del alimentador Rio Verde

RIO VERDE 2020			
MES	kW Total	kVA Total	kVAR Total
ENERO	1051,96492	1067,54482	179,313097
FEBRERO	1061,49087	1078,02544	185,473904
MARZO	1065,26115	1083,57475	195,717585
ABRIL	979,941514	995,025925	170,543695
MAYO	993,187042	1008,72456	174,492813
JUNIO	1029,31959	1046,10321	184,7217
JULIO	1103,54703	1123,54981	208,798592
AGOSTO	1449,53674	1490,91823	343,163643
SEPTIEMBRE	2028,58949	2099,56026	538,522774
OCTUBRE	2071,94876	2141,88451	539,791517
NOVIEMBRE	2074,00687	2148,89814	558,371768
DICIEMBRE	2043,78318	2018,70762	586,34916

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Anexo 7.5 Consumo mes histórico promedio 2020 del alimentador Rio Toachi

RIO TOACHI 2020			
MES	kW Total	kVA Total	kVAR Total
ENERO	765,45506	833,692158	327,953113
FEBRERO	692,031019	755,227312	300,468792
MARZO	674,133076	733,082166	285,87053
ABRIL	746,07774	819,342471	336,340019
MAYO	751,424353	825,479288	339,261826
JUNIO	741,052153	814,940357	336,589181
JULIO	656,944537	714,210786	277,980606
AGOSTO	899,384894	960,298619	328,758446
SEPTIEMBRE	1424,17394	1483,10105	412,226236
OCTUBRE	1435,50904	1494,95363	415,632151
NOVIEMBRE	1430,66414	1487,96651	406,981311
DICIEMBRE	1345,96407	1413,68944	402,729957

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Anexo 7.6 Consumo mes histórico promedio 2020 del alimentador Santa Martha

SANTA MARTHA 2020			
MES	kW Total	kVA Total	kVAR Total
ENERO	1076,69187	1113,20959	281,355486
FEBRERO	1049,30072	1085,4288	276,302669
MARZO	945,167371	971,707146	224,145723
ABRIL	958,422274	1014,54164	317,04728
MAYO	963,312779	993,931173	243,682755
JUNIO	954,457394	985,463768	244,193857
JULIO	1000,82415	1033,40346	256,470603
AGOSTO	1007,23541	1041,8805	265,427943
SEPTIEMBRE	1009,0763	1042,35431	260,422046
OCTUBRE	1019,87773	1054,86773	268,103363
NOVIEMBRE	1002,88981	1045,60478	294,481549
DICIEMBRE	1000,51134	1032,53491	254,245052

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Anexo 7.7 Consumo mes histórico promedio 2021 del alimentador Rio Verde

RIO VERDE 2021			
MES	kW Total	kVA Total	kVAR Total
ENERO	1990,10058	2056,24832	512,822057
FEBRERO	2046,88338	2118,91764	543,483779
MARZO	2067,77508	2145,6861	568,137975
ABRIL	2057,03429	2130,72805	550,534548
MAYO	2260,79494	2362,30457	673,284875
JUNIO	2022,89975	2091,8098	527,906643
JULIO	2011,55595	2101,52484	601,627936
AGOSTO	2033,67554	2130,32229	626,603398
SEPTIEMBRE	2019,84687	2104,95312	586,703966
OCTUBRE	2034,93264	2124,02152	603,258352
NOVIEMBRE	2006,9753	2091,93524	584,000125
DICIEMBRE	2092,7973	2184,90893	621,488803

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Anexo 7.8 Consumo mes histórico promedio 2021 del alimentador Rio Toachi

RIO TOACHI 2021			
MES	kW Total	kVA Total	kVAR Total
ENERO	1427,65198	1482,26511	396,71804
FEBRERO	1458,14844	1518,82965	422,911531
MARZO	1466,32908	1549,64551	498,860103
ABRIL	1449,30239	1530,91326	490,515073
MAYO	1600,91992	1685,34768	521,758231
JUNIO	1434,16684	1504,99431	452,514313
JULIO	1426,16193	1485,86423	414,846163
AGOSTO	1440,62564	1503,94826	429,374523
SEPTIEMBRE	1459,22773	1522,34731	431,676304
OCTUBRE	1458,85317	1523,20068	436,022926
NOVIEMBRE	1440,74202	1503,63169	428,219788
DICIEMBRE	1477,96456	1544,85161	447,164904

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Anexo 7.9 Consumo mes histórico promedio 2021 del alimentador Santa Martha

SANTA MARTHA 2021			
MES	kW Total	kVA Total	kVAR Total
ENERO	1006,93012	1042,47813	268,71764
FEBRERO	1033,5567	1074,17568	291,526201
MARZO	1047,20428	1090,01167	301,320673
ABRIL	1041,32857	1083,06779	296,596547
MAYO	1101,07919	1142,64892	302,965244
JUNIO	1021,03811	1060,36222	284,908078
JULIO	1019,70786	1058,86063	284,031592
AGOSTO	1028,22033	1068,58278	289,553168
SEPTIEMBRE	1032,03136	1071,59738	287,315732
OCTUBRE	1022,4994	1062,3979	287,102423
NOVIEMBRE	1008,38815	1047,12688	280,838655
DICIEMBRE	1029,75777	1068,74562	284,693524

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Anexo 7.10 Consumo mes histórico promedio 2022 del alimentador Rio Verde

RIO VERDE 2022			
MES	kW Total	kVA Total	kVAR Total
ENERO	2115,89149	2205,46197	615,711825
FEBRERO	2555,82475	2636,15702	637,241232
MARZO	2471,76459	2562,75297	668,440141
ABRIL	2171,99154	2264,44452	634,016896
MAYO	2179,9687	2279,04119	657,977338
JUNIO	2135,13107	2226,50349	623,0833
JULIO	2119,12038	2210,50051	619,773021
AGOSTO	2184,02868	2277,73418	638,175565
SEPTIEMBRE	2247,60799	2346,75101	666,538193
OCTUBRE	2251,89199	2360,09342	696,873498
NOVIEMBRE	2324,77087	2412,59335	632,676063
DICIEMBRE	2344,033	2424,56678	608,38277

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Anexo 7.11 Consumo mes histórico promedio 2022 del alimentador Rio Toachi

RIO TOACHI 2022			
MES	kW Total	kVA Total	kVAR Total
ENERO	1471,50238	1535,42289	435,65275
FEBRERO	1477,0946	1543,25525	444,073586
MARZO	1509,2726	1580,64918	466,515028
ABRIL	1512,06352	1582,52748	463,161505
MAYO	1497,03063	1568,41593	464,56789
JUNIO	1451,89565	1518,68262	441,492828
JULIO	1447,71508	1510,92997	428,390845
AGOSTO	1487,14055	1555,02445	450,079822
SEPTIEMBRE	1491,08346	1560,80156	457,282681
OCTUBRE	1481,13263	1550,71948	455,271417
NOVIEMBRE	1473,22023	1540,36563	445,176872
DICIEMBRE	1505,71579	1576,22032	461,795809

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Anexo 7.12 Consumo mes histórico promedio 2022 del alimentador Santa Martha

SANTA MARTHA 2022			
MES	kW Total	kVA Total	kVAR Total
ENERO	1021,18668	1058,05774	275,359603
FEBRERO	1040,35732	1080,51645	290,339612
MARZO	1058,45507	1102,07348	305,516546
ABRIL	1060,73518	1103,9412	304,190858
MAYO	1059,35866	1102,93959	305,488635
JUNIO	1020,72942	1058,2626	277,312377
JULIO	1042,89084	1082,82222	289,011743
AGOSTO	1046,62271	1088,69877	297,6577
SEPTIEMBRE	1032,13212	1072,46377	289,101325
OCTUBRE	1016,12133	1053,65684	276,151517
NOVIEMBRE	1010,7752	1046,03953	266,758958
DICIEMBRE	1045,03028	1082,27535	278,871352

FUENTE: Excel.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Anexo 7.13 Valores de proyección del alimentador Rio Toachi

PROYECCIÓN KW RIO TOACHI			
FECHA	LINEAL	DOBLE	ADITIVO
2023M01	1716,540	1506,921	1582,255
2023M02	1739,226	1514,619	1574,497
2023M03	1761,912	1522,316	1580,230
2023M04	1784,598	1530,013	1600,121
2023M05	1807,284	1537,710	1636,940
2023M06	1829,970	1545,407	1578,782
2023M07	1852,655	1553,104	1552,090
2023M08	1875,341	1560,801	1625,552
2023M09	1898,027	1568,498	1763,475
2023M10	1920,713	1576,195	1764,464
2023M11	1943,399	1583,892	1755,655
2023M12	1966,085	1591,590	1755,642
2024M01	1988,771	1599,287	1832,182
2024M02	2011,457	1606,984	1824423
2024M03	2034,143	1614,681	1830,157
2024M04	2056,829	1622,378	1850,047
2024M05	2079,515	1630,075	1886,867
2024M06	2102,201	1637,772	1828,709
2024M07	2124,886	1645,469	1802,017
2024M08	2147,572	1653,166	1875,479
2024M09	2170,258	1660,864	2013,402
2024M10	2192,944	1668,561	2014,391
2024M11	2215,630	1676,258	2005,581
2024M12	2238,316	1683,955	2005,569
2025M01	2261,002	1691,652	2082,109
2025M02	2283,688	1699,349	2074,350
2025M03	2306,374	1707,046	2080,084
2025M04	2329,060	1714,743	2099,974
2025M05	2351,746	1722,440	2136,794
2025M06	2374,432	1730,137	2078,635
2025M07	2397,117	1737,835	2051,944
2025M08	2419,803	1745,532	2125,406

2025M09	2442,489	1753,229	2263,328
2025M10	2465,175	1760,926	2264,318
2025M11	2487,861	1768,623	2255,508
2025M12	2510,547	1776,320	2255,496
2026M01	2533,233	1784,017	2332,035
2026M02	2555,919	1791,714	2324,277
2026M03	2578,605	1799,411	2330,010
2026M04	2601,291	1807,109	2349,901
2026M05	2623,977	1814,806	2386,720
2026M06	2646,663	1822,503	2328,562
2026M07	2669,348	1830,200	2301,871
2026M08	2692,034	1837,897	2375,333
2026M09	2714,720	1845,594	2513,255
2026M10	2737,406	1853,291	2514,245
2026M11	2760,092	1860,988	2505,435
2026M12	2782,778	1868,685	2505,423
2027M01	2805,464	1876,383	2581,962
2027M02	2828,150	1884,080	2574,203
2027M03	2850,836	1891,777	2579,937
2027M04	2873,522	1899,474	2599,828
2027M05	2896,208	1907,171	2636,647
2027M06	2918,894	1914,868	2578,489
2027M07	2941,579	1922,565	2551,797
2027M08	2964,265	1930,262	2625,259
2027M09	2986,951	1937,959	2763,182
2027M10	3009,637	1945,656	2764,171
2027M11	3032,323	1953,354	2755,361
2027M12	3055,009	1961,051	2755,349
2028M01	3077,695	1968,748	2831,889
2028M02	3100,381	1976,445	2824,130
2028M03	3123,067	1984,142	2829,864
2028M04	3145,753	1991,839	2849,754
2028M05	3168,439	1999,536	2886,574
2028M06	3191,125	2007,233	2828,416

2028M07	3213,810	2014,930	2801,724
2028M08	3236,496	2022,628	2875,186
2028M09	3259,182	2030,325	3013,109
2028M10	3281,868	2038,022	3014,098
2028M11	3304,554	2045,719	3005,288
2028M12	3327,240	2053,416	3005,276
2029M01	3349,926	2061,113	3081,816
2029M02	3372,612	2068,810	3074,057
2029M03	3395,298	2076,507	3079,790
2029M04	3417,984	2084,204	3099,681
2029M05	3440,670	2091,902	3136,500
2029M06	3463,356	2099,599	3078342
2029M07	3486,041	2107,296	3051,651
2029M08	3508,727	2114,993	3125,113
2029M09	3531,413	2122,690	3263,035
2029M10	3554,099	2130,387	3264,025
2029M11	3576,785	2138,084	3255,215
2029M12	3599,471	2145,781	3255,203
2030M01	3622,157	2153,478	3331,742
2030M02	3644,843	2161,175	3323,984
2030M03	3667,529	2168,873	3329,717
2030M04	3690,215	2176,57	3349,608
2030M05	3712,901	2184,267	3386,427
2030M06	3735,587	2191,964	3328,269
2030M07	3758,272	2199,661	3301,577
2030M08	3780,958	2207,358	3375,039
2030M09	3803,644	2215,055	3512,962
2030M10	3826,33	2222,752	3513,951
2030M11	3849,016	2230,449	3505,142
2030M12	3871,702	2238,147	3505,129

FUENTE: EViews 10.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Anexo 7.14 Valores de proyección del alimentador Rio Verde

PROYECCIÓN KW RIO VERDE			
FECHA	LINEAL	DOBLE	ADITIVO
2023M01	2574,237	2382,864	2407,741
2023M02	2610,694	2419,199	2535,701
2023M03	2647,150	2455,534	2521,830
2023M04	2683,606	2491,869	2429,910
2023M05	2720,062	2528,205	2489,468
2023M06	2756,518	2564,540	2436,851
2023M07	2792,975	2600,875	2440,547
2023M08	2829,431	2637,211	2555,742
2023M09	2865,887	2673,546	2711,197
2023M10	2902,343	2709,881	2730,270
2023M11	2938,799	2746,217	2741,890
2023M12	2975,256	2782,552	2763,783
2024M01	3011,712	2818,887	2827,491
2024M02	3048,168	2855,223	2955,450
2024M03	3084,624	2891,558	2941,580
2024M04	3121,080	2927,893	2849,659
2024M05	3157,537	2964,229	2909,218
2024M06	3193,993	3000,564	2856,601
2024M07	3230,449	3036,899	2860,297
2024M08	3266,905	3073,235	2975,492
2024M09	3303,361	3109,570	3130,947
2024M10	3339,818	3145,905	3150,020
2024M11	3376,274	3182,241	3161,640
2024M12	3412,730	3218,576	3183,533
2025M01	3449,186	3254,911	3247,241
2025M02	3485,642	3291,247	3375,200
2025M03	3522,099	3327,582	3361,330
2025M04	3558,555	3363,917	3269,409
2025M05	3595,011	3400,253	3328,968
2025M06	3631,467	3436,588	3276,351
2025M07	3667,923	3472,923	3280,047
2025M08	3704,380	3509,258	3395,242

2025M09	3740,836	3545,594	3550,697
2025M10	3777,292	3581,929	3569,770
2025M11	3813,748	3618,264	3581,390
2025M12	3850,204	3654,600	3603,283
2026M01	3886,661	3690,935	3666,990
2026M02	3923,117	3727,270	3794,950
2026M03	3959,573	3763,606	3781,079
2026M04	3996,029	3799,941	3689,159
2026M05	4032,485	3836,276	3748,718
2026M06	4068,942	3872,612	3696,101
2026M07	4105,398	3908,947	3699,797
2026M08	4141,854	3945,282	3814,992
2026M09	4178,310	3981,618	3970,447
2026M10	4214,766	4017,953	3989,520
2026M11	4251,223	4054,288	4001,140
2026M12	4287,679	4090,624	4023,033
2027M01	4324,135	4126,959	4086,740
2027M02	4360,591	4163,294	4214,700
2027M03	4397,047	4199,630	4200,829
2027M04	4433,504	4235,965	4108,909
2027M05	4469,960	4272,300	4168,468
2027M06	4506,416	4308,636	4115,851
2027M07	4542,872	4344,971	4119,547
2027M08	4579,328	4381,306	4234,742
2027M09	4615,785	4417,642	4390,197
2027M10	4652,241	4453,977	4409,270
2027M11	4688,697	4490,312	4420,890
2027M12	4725,153	4526,647	4442,782
2028M01	4761,609	4562,983	4506,490
2028M02	4798,066	4599,318	4634,450
2028M03	4834,522	4635,653	4620,579
2028M04	4870,978	4671,989	4528,659
2028M05	4907,434	4708,324	4588,218
2028M06	4943,890	4744,659	4535,601

2028M07	4980,347	4780,995	4539,297
2028M08	5016,803	4817,330	4654,492
2028M09	5053,259	4853,665	4809,947
2028M10	5089,715	4890,001	4829,020
2028M11	5126,171	4926,336	4840,640
2028M12	5162,628	4962,671	4862,532
2029M01	5199,084	4999,007	4926,240
2029M02	5235,540	5035,342	5054,200
2029M03	5271,996	5071,677	5040,329
2029M04	5308,452	5108,013	4948,409
2029M05	5344,909	5144,348	5007,967
2029M06	5381,365	5180,683	4955,351
2029M07	5417,821	5217,019	4959,047
2029M08	5454,277	5253,354	5074,242
2029M09	5490,733	5289,689	5229,696
2029M10	5527,190	5326,025	5248,770
2029M11	5563,646	5362,360	5260,390
2029M12	5600,102	5398,695	5282,282
2030M01	5636,558	5435,031	5345,99
2030M02	5673,014	5471,366	5473,95
2030M03	5709,471	5507,701	5460,079
2030M04	5745,927	5544,036	5368,159
2030M05	5782,383	5580,372	5427,717
2030M06	5818,839	5616,707	5375,1
2030M07	5855,295	5653,042	5378,796
2030M08	5891,752	5689,378	5493,991
2030M09	5928,208	5725,713	5649,446
2030M10	5964,664	5762,048	5668,52
2030M11	6001,12	5798,384	5680,14
2030M12	6037,576	5834,719	5702,032

FUENTE: EViews 10.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

Anexo 7.15 Valores de proyección del alimentador Santa Martha

PROYECCIÓN KW RIO VERDE

FECHA	LINEAL	DOBLE	ADITIVO
2023M01	1042316	1037790	1056996
2023M02	1043275	1038378	1062186
2023M03	1044235	1038965	1044165
2023M04	1045194	1039553	1046292
2023M05	1046153	1040140	1056955
2023M06	1047112	1040728	1022957
2023M07	1048071	1041315	1036861
2023M08	1049030	1041903	1046024
2023M09	1049989	1042491	1046783
2023M10	1050948	1043078	1044717
2023M11	1051908	1043666	1037804
2023M12	1052867	1044253	1054493
2024M01	1053826	1044841	1067691
2024M02	1054785	1045428	1072881
2024M03	1055744	1046016	1054860
2024M04	1056703	1046604	1056987
2024M05	1057662	1047191	1067650
2024M06	1058621	1047779	1033652
2024M07	1059580	1048366	1047556
2024M08	1060540	1048954	1056719
2024M09	1061499	1049542	1057478
2024M10	1062458	1050129	1055413
2024M11	1063417	1050717	1048499
2024M12	1064376	1051304	1065189
2025M01	1065335	1051892	1078387
2025M02	1066294	1052479	1083577
2025M03	1067253	1053067	1065555
2025M04	1068213	1053655	1067682
2025M05	1069172	1054242	1078346
2025M06	1070131	1054830	1044347
2025M07	1071090	1055417	1058251
2025M08	1072049	1056005	1067415
2025M09	1073008	1056593	1068173

2025M10	1073967	1057180	1066108
2025M11	1074926	1057768	1059195
2025M12	1075885	1058355	1075884
2026M01	1076845	1058943	1089082
2026M02	1077804	1059530	1094272
2026M03	1078763	1060118	1076251
2026M04	1079722	1060706	1078378
2026M05	1080681	1061293	1089041
2026M06	1081640	1061881	1055043
2026M07	1082599	1062468	1068947
2026M08	1083558	1063056	1078110
2026M09	1084517	1063644	1078869
2026M10	1085477	1064231	1076804
2026M11	1086436	1064819	1069890
2026M12	1087395	1065406	1086579
2027M01	1088354	1065994	1099777
2027M02	1089313	1066581	1104967
2027M03	1090272	1067169	1086946
2027M04	1091231	1067757	1089073
2027M05	1092190	1068344	1099736
2027M06	1093150	1068932	1065738
2027M07	1094109	1069519	1079642
2027M08	1095068	1070107	1088805
2027M09	1096027	1070694	1089564
2027M10	1096986	1071282	1087499
2027M11	1097945	1071870	1080585
2027M12	1098904	1072457	1097275
2028M01	1099863	1073045	1110473
2028M02	1100822	1073632	1115663
2028M03	1101782	1074220	1097641
2028M04	1102741	1074808	1099768
2028M05	1103700	1075395	1110432
2028M06	1104659	1075983	1076434
2028M07	1105618	1076570	1090337
2028M08	1106577	1077158	1099501
2028M09	1107536	1077745	1100260

2028M10	1108495	1078333	1098194
2028M11	1109454	1078921	1091281
2028M12	1110414	1079508	1107970
2029M01	1111373	1080096	1121168
2029M02	1112332	1080683	1126358
2029M03	1113291	1081271	1108337
2029M04	1114250	1081859	1110464
2029M05	1115209	1082446	1121127
2029M06	1116168	1083034	1087129
2029M07	1117127	1083621	1101033
2029M08	1118087	1084209	1110196
2029M09	1119046	1084796	1110955
2029M10	1120005	1085384	1108890
2029M11	1120964	1085972	1101976
2029M12	1121923	1086559	1118665
2030M01	1122,882	1087,147	1131,863
2030M02	1123,841	1087,734	1137,053
2030M03	1124,8	1088,322	1119,032
2030M04	1125,759	1088,91	1121,159
2030M05	1126,719	1089,497	1131,823
2030M06	1127,678	1090,085	1097,824
2030M07	1128,637	1090,672	1111,728
2030M08	1129,596	1091,26	1120,891
2030M09	1130,555	1091,847	1121,65
2030M10	1131,514	1092,435	1119,585
2030M11	1132,473	1093,023	1112,672
2030M12	1133,432	1093,61	1129,361

FUENTE: EViews 10.

ELABORADO: Saraguro E (2023).

RESEÑA DE AUTORES



Erick Isrrael Saraguro Tacuri

Nacido en Santo Domingo (2000), Ecuador. Erick, graduado como Ingeniero Eléctrico en la Universidad Técnica estatal de Quevedo, se desempeña como técnico de mantenimiento electromecánico, con experiencia en mantenimiento, reparación e instalación de sistemas eléctricos y mecánicos. Aunque siempre ha estado vinculado al ámbito técnico, este libro representa su primera incursión como autor, con el objetivo de compartir su investigación sobre los sistemas de almacenamiento de energía por baterías, destacando sus beneficios en la integración de energías renovables, la estabilidad de la red y los sistemas de respaldo.



Milton Geovanny Cuenca Cabrera

El Ing. Milton Cuenca Cabrera, MSc. es docente e investigador de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo (UTEQ), Ecuador. Se graduó como Ingeniero Eléctrico, especializado en Sistemas de Potencia, en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) en el año 2014. Posteriormente, obtuvo el título de Máster en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por la Warsaw University of Technology, Polonia, en 2020. A lo largo de su carrera académica y profesional, ha desarrollado múltiples investigaciones y publicaciones científicas en revistas de medio y alto impacto, centrandó su trabajo en áreas como sistemas de potencia, generación de energía mediante fuentes renovables y la aplicación de inteligencia artificial en la ingeniería eléctrica. Actualmente, en la UTEQ, lidera proyectos de investigación orientados a la optimización energética, modelado y análisis de microrredes con DIGSILENT PowerFactory, así como al uso de inteligencia artificial para la automatización y electrificación rural. Su labor docente se complementa con la formación y guía de estudiantes en proyectos de innovación tecnológica, contribuyendo activamente al desarrollo académico y científico en el campo de la ingeniería eléctrica en Ecuador y la región.



Ing. Yenny Guiselli Torres Navarrete, PhD.
RECTORA

Dr. Eduardo Díaz Ocampo, PhD.
VICERRECTOR ACADÉMICO

Ing. Sonnia Esther Barzola Miranda, PhD.
VICERRECTORA ADMINISTRATIVA

Econ. Carlos Edison Zambrano, Ph.D.
DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN - DICYT

Este libro, Integración de los Sistemas de Almacenamiento de Energía por Baterías (BESS) en la Subestación La Cadena, ofrece un estudio detallado y aplicado sobre la incorporación de esta tecnología en una instalación eléctrica real. Esta obra está dirigida a estudiantes, profesionales y tomadores de decisiones del sector eléctrico que buscan comprender el verdadero potencial de los sistemas de almacenamiento energético en un entorno cada vez más exigente.

Un libro que aporta conocimiento, visión práctica y perspectivas futuras sobre una de las tecnologías más disruptivas en el ámbito de la energía.

