



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Maestría en Electricidad mención Redes Eléctricas Inteligentes

Almacenamiento de energía mediante baterías para aliviar la curva de demanda del alimentador 0524

Trabajo de titulación previa a la obtención del título de: Magíster en Electricidad mención Redes Eléctricas Inteligentes

AUTOR: Ing. Juan Carlos Rodríguez Méndez
C.I. 0103870143
Juanca5579@hotmail.com

DIRECTOR: Ing. Wilson Fernando Mogrovejo León, Mgt.
C.I. 010505882-0

Cuenca, Ecuador

30-octubre-2020

RESUMEN

Este trabajo estudia la factibilidad de implementar el almacenamiento de energía en el alimentador 0524 de la ciudad de Cuenca para aliviar la curva de la demanda. Para esto se considera tanto aspectos técnicos como económicos de tecnologías existentes en el mercado. El alimentador 0524 pertenece a la subestación 05 (El Arenal) de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, se encuentra en el área urbana de la ciudad de Cuenca (Calles Tarquino Cordero, El Arenal, El Salado, Indurama, Coral Centro, El Tiempo, Parque Iberia, Av. Remigio Crespo, Colegio Miguel Merchán). En base a datos de consumo registrados durante 12 meses para este alimentador, se analiza la factibilidad de que sistemas de almacenamiento basados en baterías permitan aplanar la curva de la demanda. El sistema seleccionado consta de un banco de 56 baterías tipo Ion Litio, con capacidad total de almacenamiento de 500 kW teniendo en cuenta que es la potencia que aporta la Termoeléctrica El Descanso al alimentador 0524 cuando el despacho de generación así lo requiere, es decir cuando la demanda de energía es mayor a lo que puede proveer la generación hidroeléctrica. Este tipo de baterías permiten su empleo en condiciones de la ciudad y de los parámetros de operación del alimentador. Con los resultados obtenidos se realiza el análisis del beneficio técnico de su implementación. Se muestra que la operación del sistema de almacenamiento propuesto permite que el alimentador funcione de mejor manera, especialmente en los horarios de mayor demanda, cuando el sistema de almacenamiento entrega carga a la red, mientras que la carga del sistema se puede efectuar de mejor manera en las horas valle o de menor demanda. El análisis económico-financiero de la propuesta muestra que la inversión inicial es de US\$ 441,692.83, esta inversión se justifica porque el TIR es positivo con un valor de 11.61% y el VAN muestra que la rentabilidad esperada es mayor a un retorno mínimo aceptable. Desde el punto de vista económico, la incorporación de un banco de baterías es beneficioso para la Empresa Eléctrica, debido a que se puede aplanar la curva de la demanda obteniendo una mejor proyección de la energía necesaria para suplir el requerimiento de consumo lo que resulta beneficioso si se tiene en cuenta que la energía que proviene en este caso de una fuente hídrica se almacenaría durante las horas valle con un costo inferior para usarla en las horas de mayor consumo disminuyendo la dependencia de la energía producida por una central termoeléctrica con un valor más costoso. Se debe considerar además que si el proyecto se enmarcará en una inversión privada no presentaría rentabilidad debido a los costos actuales de los elementos que conforman el sistema.

Palabras clave: Distribución Eléctrica. Alimentador. Almacenamiento. Demanda. Hora pico. Hora valle.

ABSTRACT

This work studies the feasibility of implementing energy storage in feeder 0524 in the city of Cuenca to alleviate the demand curve. For this, both technical and economic aspects of existing technologies on the market are considered. Feeder 0524 belongs to substation 05 (El Arenal) of Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, it is located in the urban area of the city of Cuenca (Tarquino Cordero street, El Arenal, El Salado, Indurama, Coral Centro, El Tiempo, Parque Iberia, Av. Remigio Crespo, Miguel Merchán school). Based on consumption data recorded for 12 months for this feeder, the feasibility of battery based storage systems to flatten the demand curve is analyzed. The selected system consists of a bank of 56 Lithium Ion batteries, with a total storage capacity of 500 kW taking into account that it is the power provided by the El Descanso Thermoelectric Plant to the 0524 feeder when the generation dispatch requires it, that is, when the energy demand is greater than what hydroelectric generation can provide. These types of batteries allow their use in city conditions and the operating parameters of the feeder. With the results obtained, an analysis of the technical benefits of its implementation is carried out. It is shown that the operation of the proposed storage system allows the feeder to function better, especially in peak demand times, when the storage system delivers load to the grid, while the load of the system can be carried out in a better way, in off-peak or off-peak hours. The economic-financial analysis of the proposal shows that the initial investment is \$647468.51, this investment is justified because the TIR is positive with a value of 11.64% and the VAN shows that the expected return is greater than a minimum acceptable return. From an economic point of view, the incorporation of a battery bank is beneficial for the Electric Company, due to the fact that the demand curve can be flattened, obtaining a better projection of the energy necessary to meet the consumption requirement, which is beneficial if one takes into account that the energy that comes in this case from a water source would be stored during the off-peak hours with a lower cost to use it in the hours of highest consumption, reducing dependence on the energy produced by a thermoelectric plant with a more expensive value. It should also be considered that if the project is part of a private investment, it would not present profitability due to the current costs of the elements that make up the system.

Keywords: Electricity Distribution. Feeder. Storage. Demand. Peak hour. Off-peak hour.



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	II
ABSTRACT.	III
ÍNDICE GENERAL.	IV
INDICE DE ANEXOS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
DEDICATORIA.	XIV
AGRADECIMIENTOS.....	XV

CAPITULO I

GENERALIDADES..... 16

1.1 Introducción.....	16
1.2 Objetivo General	20
1.2.1 Objetivos Específicos.....	20
1.3 Justificación.....	20
1.4 Alcance	22
1.5 Antecedentes	22

CAPITULO II

MARCO TEORICO.....29

2.1 Sistemas de Almacenamiento de Energía	29
2.1.1 Sistemas de Almacenamiento por Bombeo Hidráulico	32
2.1.2 Sistemas de Almacenamiento Mediante Volante de Inercia	33
2.1.3 Sistemas de Almacenamiento Basados en Aire Comprimido	35
2.1.4 Sistemas de Almacenamiento Térmico	36
2.1.5 Sistemas de Almacenamiento con Superconductores Magnéticos	36
2.1.6 Sistemas de Almacenamiento con Supercondensadores.....	38
2.1.7 Sistemas de Almacenamiento con Baterías de Flujo.	40
2.1.8 Sistemas de Almacenamiento de Energía Mediante Baterías.....	39
2.2 Tipos de Baterías	43
2.2.1 Batería Ion Litio.....	43
2.2.2 Batería de Níquel Cadmio.....	48
2.2.3 Batería de Plomo Acido.	49
2.2.4 Batería Redox de Vanadio.....	53
2.3 Factores Considerados para la Elección de la Batería	58
2.3.1 Autodescarga.....	59
2.3.2 Capacidad Específica.	59
2.3.3 Ciclos de Vida.....	59
2.3.4 Condiciones Ambiente y Temperatura.	59
2.3.5 Costo.	59
2.3.6 Curvas de Carga y Descarga.....	60
2.3.7 Eficiencia Energética.	61
2.3.8 Densidad de Energía.	61



2.3.9 Efecto Memoria.....	61
2.3.10 Estado de Carga o SOC.	62
2.3.11 Estado de Salud o SOH (State of Health).	62
2.3.12 Garantías.....	62
2.3.13 Fabricantes.	62
2.3.14 Mantenimiento.	62
2.3.15 Potencia Específica.	63
2.3.16 Seguridad	63
2.3.17 Tensión.....	63
2.3.18 Vida Útil.	64
2.4 Rendimiento de la Batería	65
2.5 Configuración de la Batería	66

CAPITULO III

DIAGNOSTICO DEL ALIMENTADOR 052468

3.1 Características Generales.	68
3.1.1 Análisis de Datos.	73

CAPITULO IV

DIMENSIONAMIENTO DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA.84

4.1 Elección de la Tecnología de Almacenamiento.	84
4.2 Electrónica de Potencia en la Red.....	85
4.3 Aspectos Económicos.	88
4.4 Aspectos Medioambientales.....	90
4.4.1 Reciclado de Baterías.	90
4.4.2 Balance con el Sistema.....	92
4.4.3 Definiciones sobre la Carga y Descarga de las Baterías.....	93
4.4.4 Elección de la Batería para el Sistema de Almacenamiento.	94
4.4.4.1 Análisis de la Batería Ion Litio.....	97
4.4.5 Componentes de un Sistema de Almacenamiento de Energía Mediante Baterías de Ion Litio.	103
4.5 Características del Sistema de Almacenamiento.....	105
4.5.1 Cálculo y Diseño del Banco de Baterías.	106
4.5.1.1 Dimensionamiento del Inversor.....	109
4.5.1.2 Obtención del arreglo para el Almacenamiento	115
4.5.1.3 Conductores	118
4.5.2 Simulación del Aplanamiento de la Curva de Demanda mediante Phyton. .	118

CAPITULO V

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO 130

5.1 Análisis de la factibilidad de inversión del sistema de almacenamiento.....	130
5.2 Datos iniciales del análisis económico.....	132
5.3 Conclusión del análisis económico	134
5.4 Análisis de resultados futuros.....	137



CAPITULO VI	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	140
6.1 Conclusiones.....	140
6.2 Recomendaciones.....	143
REFERENCIAS	144



ANEXOS

ANEXO 1.

Tabla de valores de potencias del alimentador 0524 en los meses de mayo y julio del Año 2019 149

ANEXO 2

Valor Promedio de Potencia del Alimentador 0524 en los meses de mayor y menor Demanda, Año 2019..... 152

ANEXO 3

Potencia Promedio del Alimentador 0524, año 2019 155

ANEXO 4

Script del programa en Python realizado para la simulación del aplanamiento de la Curva de demanda promedio del alimentador 0524..... 158

ANEXO 5

Script del programa en Python realizado para la simulación del aplanamiento de la Curva de demanda baja del alimentador 0524..... 161

ANEXO 6

Script del programa en Python realizado para la simulación del aplanamiento de la Curva de demanda alta del alimentador 0524..... 164

ANEXO 7

Catálogo de Baterías Ion Litio marca Samsung 167

ANEXO 8

Características Técnicas de los Inversores ESI de ABB 168

ANEXO 9

Captura de pantalla de los resultados obtenidos en Python..... 169

ANEXO 10

Resumen de resultados Costo de Financiación y Payback..... 170



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Demanda del alimentador 0524 (Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur).....	18
Tabla 1.2	Costo anual de las pérdidas en el alimentador 0524 (Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur).....	19
Tabla 1.3	Índice FMIK y TTIK año 2019 del alimentador 0524 (Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur).....	22
Tabla 2.1	Aplicaciones de las diferentes tecnologías de almacenamiento [7]	30
Tabla 2.2	Datos referentes de batería Ion Litio [16].....	47
Tabla 2.3	Datos referentes de batería Níquel Cadmio [16]	49
Tabla 2.4	Datos referentes de batería Plomo Acido [16].....	51
Tabla 2.5	Datos referentes de batería Redox de Vanadio [16].....	54
Tabla 2.6	Comparativo de diversa tecnologías de celdas electroquímicas [25].....	55
Tabla 2.7	Características técnicas de cada tecnología [26]	57
Tabla 3.1	Datos de potencia activa y reactiva censada cada 15 min (Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur).....	71
Tabla 3.2	Demanda del alimentador 0524 durante el día 1 del año 2019.....	73
Tabla 3.3	Consumo de energía del alimentador 0524 Año 2019 (Elaboración propia).....	79
Tabla 3.4	Día típico en mes de mayor y menor consumo (Elaboración propia).....	80
Tabla 3.5	Potencia (MW) alimentador 0524 en días típicos (Elaboración propia).....	82
Tabla 4.1	Eficiencia de la batería de Ion Litio del laboratorio de Balzay [39]	101
Tabla 4.2	Eficiencia de la batería de Plomo Acido del laboratorio de Balzay [39].....	102
Tabla 4.3	Eficiencia de los Supercondensadores del laboratorio de Balzay [39].....	104
Tabla 4.4	Características de diferentes baterías de Ion Litio existentes en el mercado [27].....	107
Tabla 4.5	Aproximación del arreglo de banco de baterías (Elaboración propia).....	115
Tabla 4.6	Resultados de flujos del alimentador 0524 obtenidos en Digsilent (Elaboración propia)	129
Tabla 5.1	Datos iniciales generales (Elaboración propia).....	132
Tabla 5.2	Datos iniciales generales (Elaboración propia).....	132
Tabla 5.3	Valores de inversión propuesto (Elaboración propia)	133
Tabla 5.4	Resumen de resultados financieros (Elaboración propia)	136
Tabla 5.5	Resumen de resultados costo de financiación (Elaboración propia).....	136
Tabla 5.6	Proyección de costos de Compra de Energía Eléctrica 2019 (Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur).....	138
Tabla 5.7	Costos reales de compra de Energía Eléctrica año 2019 (Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur).....	138
Tabla 5.8	Comparación entre costos de energía hidráulica y térmica (Elaboración propia)	139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Capacidad de Almacenamiento en los principales mercados (2013-2023) [2].....	23
Figura 1.2	Escenario Regional. Tecnologías: Eólica, Solar, Almacenamiento [2].....	24
Figura 1.3	Subestación 5 perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur (Fuente: Elaboración propia)	27
Figura 1.4	Estructura de arranque del alimentador 0524 perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur (Fuente: Elaboración propia).....	27
Figura 1.5	Recorrido del alimentador 0524 (Fuente: Geoportal Empresa Eléctrica Regional Centro Sur).....	28
Figura 2.1	Picos de Demanda y Generación de Electricidad [4].....	31
Figura 2.2	Volante de Inercia (Fuente: Revista SmartGrid)	34
Figura 2.3	Sistema de Almacenamiento con aire comprimido [9].....	35
Figura 2.4	Sistema de Almacenamiento térmico [11]	36
Figura 2.5	Estructura de un dispositivo de almacenamiento basado en Superconductores magnéticos [11]	37
Figura 2.6	Súper condensadores Maxwell de 130 F c/u perteneciente a Laboratorio de Microredes de la Universidad de Cuenca, sector Balzay (Fuente: Elaboración propia)	39
Figura 2.7	FB 20-100 de la casa Gidemeister, potencia 20 kW capacidad de Almacenamiento 100 kWh Laboratorio de microredes de la Universidad De Cuenca (Fuente: Elaboración propia).....	41
Figura 2.8	Funcionamiento básico de una celda de ion litio [14]	44
Figura 2.9	Almacenamiento de energía mediante baterías de ion-litio en Carmona [15]	45
Figura 2.10	Batería de ion-litio instalada en la subestación de transporte de Carmona [15]	45
Figura 2.11	Interior de la batería de ion-litio instalada en la subestación de transporte De Carmona [15]	46
Figura 2.12	Disposición de baterías para el almacenamiento de energía mediante Baterías de ion-litio [18]	47
Figura 2.13	Sistema de almacenamiento mediante baterías de plomo – ácido [22]	51
Figura 2.14	Partes de una batería de plomo ácido [16].....	52
Figura 2.15	Vista aérea de instalación con batería de flujo redox vanadio [21]	55
Figura 2.16	Curva característica de la batería [28].....	60
Figura 2.17	Numero de ciclos de vida en función de la profundidad de descarga [4]	61
Figura 2.18	Factores para la selección de la batería (Fuente: Elaboración propia)	64
Figura 2.19	Circuito Equivalente de una batería (Fuente: Elaboración propia).....	65
Figura 2.20	Evolución de la tensión en la batería [29].....	66



Figura 3.1	Curvas de carga Residencial, Comercial e industrial [32].....	69
Figura 3.2	Curva de carga – Alumbrado Público [32]	69
Figura 3.3	Impacto del uso de la cocina en el perfil de carga residencial [32]	70
Figura 3.4	Dispositivo SIEMENS 7SJ85 (Fuente: Data Sheet 7SJ85)	72
Figura 3.5	Perfil del Alimentador 0524 día 01-01-2019 (Elaboración propia)	76
Figura 3.6	Perfil del Alimentador 0524 en el transcurso del año (Elaboración propia). 77	
Figura 3.7	Perfil Promedio del Alimentador 0524 (Elaboración propia)	78
Figura 3.8	Consumo de Energía alimentador 0524 perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur. Año 2019 (Elaboración propia)	80
Figura 3.9	Consumo de Potencia día típico mes de mayo y julio (Elaboración propia) 81	
Figura 3.10	Perfil de carga meses de mayo y julio alimentador 0524 (Elaboración propia)	83
Figura 4.1	Sistema modular de baterías en una planta solar Alt Daber Alemania [35] 87	
Figura 4.2	Factores considerados para los costos de ciclo de vida de los Sistemas de almacenamiento de energía (Elaboración propia).....	89
Figura 4.3	Fases principales del ciclo de vida de un producto [36].....	91
Figura 4.4	Almacenamiento de energía [25].....	93
Figura 4.5	Comparación de tecnologías de Almacenamiento de energía [38].....	95
Figura 4.6	Evolución de los precios de la batería de Ion Litio [13].....	96
Figura 4.7	Evolución aproximada del precio de las distintas baterías para Aplicaciones de escala de servicios públicos [11]	96
Figura 4.8	Captura de pantalla del sistema SCADA implementado en el laboratorio de Microredes de la Universidad de Cuenca [3]	98
Figura 4.9	Registro de carga y descarga de la batería Ion Litio con sistema SCADA a 20 kW [39].....	98
Figura 4.10	Registro de carga y descarga de la batería Ion Litio con el Analizador de calidad de energía a 20 kW [39]	99
Figura 4.11	Registro de carga y descarga de la batería Ion Litio con sistema SCADA a 5 kW [39].....	100
Figura 4.12	Registro de carga y descarga de la batería Ion Litio con el Analizador de calidad de energía a 5 kW [39]	101
Figura 4.13	Ejemplo de un Sistema de Almacenamiento de Energía mediante Baterías BESS de 3 MW (Fuente NEC Energy Solutions).....	104
Figura 4.14	Esquema General del Sistema de Almacenamiento con Baterías [11]	105
Figura 4.15	Características de los módulos de batería LIM25H-8 Y LIM30H-8 de Yuasa [23].....	105
Figura 4.16	Características de los módulos de batería Samsung M2-M076, P3-M063 [41].....	108
Figura 4.17	Características de la batería Samsung E3-M090 [41]	109

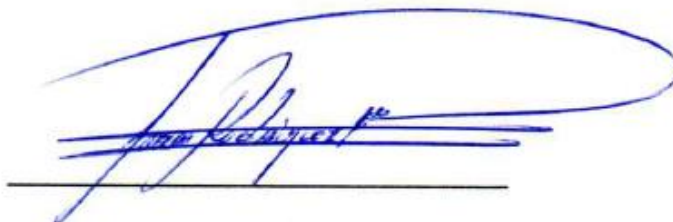
Figura 4.18	Inversor ABB ESI – I V1 [42].....	113
Figura 4.19	Combinaciones del Inversor ABB ESI-I V1 [42].....	114
Figura 4.20	Disposición física del Inversor ABB ESI-I-V1.....	114
Figura 4.21	Ramal de 14 baterías conectadas al inversor (Elaboración Propia)	116
Figura 4.22	Esquema simplificado del Sistema de Almacenamiento de Energía [43]..	117
Figura 4.23	Disposición del sistema de almacenamiento hacia la red (Elaboración Propia)	117
Figura 4.24	Aporte del sistema de almacenamiento en el día típico de menor demanda. (Elaboración Propia)	122
Figura 4.25	Resultados con los datos del día típico de mínima demanda (Elaboración propia)	123
Figura 4.26	Aporte del sistema de almacenamiento en el día típico de mayor demanda. (Elaboración Propia)	123
Figura 4.27	Resultados con los datos del día típico de máxima demanda (Elaboración propia)	124
Figura 4.28	Aporte del sistema de almacenamiento considerando la demanda Promedio del alimentador. (Elaboración Propia).....	125
Figura 4.29	Resultados con los datos de demanda promedio (Elaboración propia)	125
Figura 4.30	Alimentador 0524 en Digsilent (Elaboración propia).....	126
Figura 4.31	Análisis del estado actual del alimentador 0524 en Programa Digsilent (Elaboración propia)	127
Figura 4.32	Flujo de carga del Alimentador 0524 conectando el Sistema de Almacenamiento en programa Digsilent (Elaboración propia)	129
Figura 5.1	Factores que influyen en la reducción de costos de la batería de Ion litio (Elaboración propia).....	132
Figura 5.2	Recuperación del valor inicial (Elaboración propia)	134
Figura 5.3	Proyección de Costos de Compra de Energía año 2019. (Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur).....	138

Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Yo, Juan Carlos Rodríguez Méndez, en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Almacenamiento de energía mediante baterías para aliviar la curva de demanda del alimentador 0524", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 30 de octubre de 2020



Juan Carlos Rodríguez Méndez

C.I: 0103870143

Cláusula de Propiedad Intelectual

Yo, Juan Carlos Rodríguez Méndez, autor del trabajo de titulación "Almacenamiento de energía mediante baterías para aliviar la curva de demanda del alimentador 0524", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 30 de octubre de 2020



Juan Carlos Rodríguez Méndez

C.I: 0103870143



DEDICATORIA

A Dios y la Virgen por darme la oportunidad y fortaleza de alcanzar una meta más en mi vida.

A mi hijo Juan Andrés, que me enseña que el aprender es un ciclo constante en la vida, a mi madre Rocío que ha sido un pilar fundamental en mi formación, a mi compañera de vida Andrea que ha sido un apoyo constante en la culminación de esta maestría, especialmente quiero dedicar esta tesis a la memoria de mi abuela ya que sus consejos y apoyo en mis primeras etapas de estudio fueron fundamentales para alcanzar cada una de las metas obtenidas hasta ahora, a mi padre que ha sabido aconsejarme de la mejor manera y a mi abuelo que con su sabiduría ha sido indispensable en mi vida.

Ing. Juan C. Rodríguez.



AGRADECIMIENTOS

Mi sincero agradecimiento al Ing. Fernando Mogrovejo, por su valiosa colaboración y disposición durante el desarrollo de esta tesis.

A la Universidad de Cuenca y cada uno de los profesores de la maestría por permitirme seguir con mi formación académica con su valioso aporte, a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur que me ha brindado la información necesaria y que permite cada día desarrollarme en el campo profesional.

A mis compañeros de maestría con los cuales pudimos compartir experiencias tanto profesionales como académicas siempre en el marco del respeto y amistad.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la sociedad ha buscado desde sus etapas más tempranas la manera de almacenar recursos sean estos granos, agua o fuentes de energía como por ejemplo la madera, todo esto para poder sobrevivir en periodos de escasez. La energía no ha sido ajena a esta necesidad aunque el reto de su almacenamiento es más complejo.

De acuerdo al Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022 para el Ecuador¹, en su capítulo referente a sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental, la eficiencia energética es el “consumo inteligente de la energía”, esto quiere decir atender una necesidad con la menor cantidad de energía. Teniendo en cuenta que las fuentes de energía son finitas y la demanda es creciente, la correcta utilización de la misma se presenta como una necesidad vista hacia el futuro.

Es necesario gestionar fuentes intermitentes de generación para un mercado que demanda cada vez mayor calidad de suministro eléctrico. Por ello, el almacenamiento de energía, proveniente de las fuentes convencionales y no convencionales, adquiere una nueva dimensión que cada día será más importante para los sistemas eléctricos.

El cambio que se requiere no está en la mayor necesidad de almacenar energía, sino en la forma de gestionarla de manera eficiente. Considerando que el almacenamiento de energía surge como una alternativa importante para los sistemas eléctricos, países como España han desarrollado una fuerte apuesta por

¹ Plan Maestro de Electrificación 2013-2022, capítulo IV, CONELEC.

la investigación que involucra centros tecnológicos, las universidades y empresas que aportan recursos e incorporan distintas ramas de la ingeniería; de esta manera nuevas tecnologías mecánicas y químicas mejoran la densidad y disminuyen el deterioro de las baterías permitiendo acometer los retos futuros en materia de almacenamiento energético.

El avance en la tecnología de almacenamiento debe ser eficiente desde el punto de vista económico; por tal motivo la penetración de estas tecnologías deriva de las crecientes economías de producción, así como de su integración en todos los ámbitos de la vida cotidiana; es decir cada día la cantidad de dispositivos que usan tecnología de almacenamiento es mayor, este incremento en la capacidad de almacenamiento y la disminución del costo en estos sistemas permitirán que a un futuro cercano, el sector eléctrico tenga a su disposición nuevas herramientas que permitan favorecer la penetración de las energías renovables.

La Empresa Eléctrica Regional Centro Sur., es una compañía de distribución y comercialización de energía, que en el transcurso de su historia ha asumido los cambios como oportunidades para desarrollarse y evolucionar, siempre en favor de sus clientes y de la región a la que sirve.

Su objetivo de suministrar el servicio de electricidad para satisfacer las necesidades de la sociedad se lleva a cabo debido a que la Empresa realiza análisis periódicos de las redes que conforman su sistema y la constante búsqueda de alternativas alineadas al continuo avance de la tecnología, con el fin de ofrecer calidad y continuidad en el servicio eléctrico.

La propuesta de almacenamiento de energía mediante baterías para aliviar la curva de demanda se realizará considerando el diagnóstico del alimentador 0524, el mismo posee un longitud de red monofásica de 16.58 km, 15.08 km de redes trifásicas y 2.5 km de redes subterráneas lo cual suma la longitud total de 34.16 km, este ramal nace en la subestación 05 misma que se ubica en las calles Tarquino

Cordero y Cornelio Crespo Vega – Yanuncay sirviendo de energía los sectores de El Arenal, El Salado, Indurama, Coral Centro, El Tiempo, Parque Iberia, Av. Remigio Crespo, Colegio Miguel Merchán, entre otros.

La demanda del alimentador posee un crecimiento a lo largo del tiempo, sin embargo, para el desarrollo del presente trabajo se considera las demandas correspondientes a los meses del año 2019, la demanda total máxima del alimentador 0524(Demanda anual 2019) se presenta en la Tabla 1.1.

TABLA 1.1 Demanda del alimentador 0524
(Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur).

Demanda del Alimentador 0524	Potencia Aparente (kVA)	Potencia Activa (MW)	Potencia Reactiva (kVAR)
Potencia Máxima	14852	4120	1.28

Debido a que se trata de un alimentador que se encuentra distribuido en una zona extensa de la ciudad de Cuenca, está expuesto a fallas por varios factores como por ejemplo el trayecto que recorre a través de los sectores citados anteriormente, al tratarse de vías de gran circulación los índices de accidentes de tránsito que repercuten en los postes correspondientes al alimentador son recurrentes.

Gran parte de accidentes relacionados con vehículos afectan a los postes que sostienen el alimentador en diferentes partes del trayecto del mismo, esto provoca que el servicio eléctrico se vea interrumpido. Del mismo modo en el último año la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur ha venido implementado trabajos de mejoras y optimizaciones en varios sectores que comprenden el área de cobertura del alimentador 0524; lo que ha provocado cortes de servicio programados por periodos de tiempo igual a 4 horas como establece la regulación² para la ejecución de mencionadas actividades.

² REGULACIÓN ARCONEL 005/18 “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica”

Otro factor que se debe tener en cuenta es la condición climática a la que se expone este alimentador como los demás alimentadores que conforman el sistema eléctrico de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, esto debido a que la región Austral y en específico la ciudad de Cuenca se encuentra a 2550 m sobre el nivel del mar, razón por la cual es propensa a tormentas eléctricas especialmente en épocas de invierno. Esto provoca la actuación de los elementos de protección principalmente ante la presencia de interrupciones ocasionadas por mencionadas tormentas en épocas de lluvia.

A más de los inconvenientes citados se debe considerar que ciertos tramos del alimentador comparten vía con árboles que ocasionalmente pueden estar próximos a la franja de servicio y pueden provocar actuación de los elementos de protección. Con todos los factores mencionados, la confiabilidad y eficiencia del alimentador 0524 se ven afectadas como se puede apreciar en la Tabla 1.2.

TABLA 1.2 Costo anual de las pérdidas en el alimentador 0524
(Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur).

Costo anual de las pérdidas del sistema (Alim. 0524)	kW	MWh/año	\$/año
Pérdidas en las líneas	4.67	18.74	1870
Pérdidas en los cables	0.83	3.32	330
Pérdidas de carga del transformador	23.04	92.43	9240
Pérdidas en vacío del transformador	39.52	346.24	34620
Pérdidas en el condensador shunt	0.47	1.9	190
Otras pérdidas	4.87	19.54	1950
Pérdidas totales	73.42	482.17	48220

Mediante el presente trabajo se propone almacenar energía mediante baterías para aliviar la curva de demanda del alimentador, mejorar la confiabilidad y eficiencia considerando nuevas tecnologías que están posicionadas dentro del campo eléctrico en los últimos tiempos. Para lograr lo mencionado, se requiere disponer de un historial de datos que permite estimar el panorama existente y así poder

dimensionar la energía a almacenar y el aprovechamiento de la misma en base a esos datos.

Para el caso del almacenamiento de energía se analizarán diferentes sistemas principalmente en el que consiste de baterías, se realizará los cálculos pertinentes para hallar el mayor beneficio y se simulará mediante software el comportamiento de la propuesta una vez obtenido el mejor método.

1.2 OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de este trabajo de titulación consiste en elaborar una propuesta de almacenamiento de energía mediante baterías para aliviar la curva de demanda del alimentador 0524 perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur que se sitúa en la ciudad de Cuenca, teniendo en cuenta que el sistema de distribución eléctrica se encuentra expuesto a variaciones de voltaje por cantidad de usuarios, la utilización de nuevas cargas y el cambio de costumbres de los consumidores.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar un diagnóstico del alimentador 0524.
- Dimensionar el almacenamiento de energía con vistas a aliviar la curva de demanda en el alimentador 0524.
- Desarrollar el análisis técnico del almacenamiento de energía.
- Determinar la factibilidad económica en la atenuación de la curva de demanda aplicando el sistema de almacenamiento más conveniente.

1.3 JUSTIFICACIÓN

En la actualidad el país ha incursionado en el campo de las energías renovables y las nuevas tecnologías de generación de energía como la eólica, fotovoltaica,

biogás o biomasa, los porcentajes de energía que proveen estas tecnologías cada vez se incrementan por lo que surge la necesidad de buscar alternativas para almacenar la energía. Las baterías permiten disponer de energía en cualquier momento independientemente de cuando se genera, esto resulta valioso para las energías renovables que dependen de factores ambientales como la luz solar o el viento [1].

Aplanar al máximo los picos de demanda o la demanda máxima que se producen cada día implica adecuar el sistema para generar la capacidad requerida, si la curva de demanda se hace más uniforme se evita tener que sobredimensionar las instalaciones o prescindir de generación por combustibles fósiles. Por esta razón mediante este trabajo se realiza una propuesta de implementación de almacenamiento basado en baterías, considerando tanto las características técnicas, económicas y el impacto que representan en nuestro medio tomando como referencia proyectos que se han implementado alrededor del mundo.

La demanda de energía eléctrica debido a los hábitos de consumo es variable en el tiempo, grandes consumos se concentran en unas pocas horas llamadas pico, mientras que las horas en las que el consumo desciende considerablemente son llamadas valle, estos desequilibrios fuertes motivan la existencia de diferentes precios de la electricidad en las 24 horas de un día, ya que con el fin de equilibrar la curva de carga diaria se penaliza el consumo en horas pico encareciendo el precio del kWh y bonificando el consumo en horas valle lo que abarata el precio del kWh [1]. Disponer de la tecnología que aplane la curva de la demanda provocaría que perdieran importancia los conceptos de punta y valle esto a su vez permitiría una penetración mayor de las fuentes renovables.

En el caso del alimentador 0524 se realiza un diagnóstico preliminar basado en datos de potencia activa, demanda, así como los índices de calidad FMIK (Frecuencia Media de Interrupción por kVA instalado) y TTIK (Tiempo Total de Interrupción por kVA nominal instalado), estos parámetros determinan el número de

interrupciones que ha sufrido el alimentador tanto por cortes programados y no programados. El índice concerniente al año 2019 se muestra en la Tabla 1.3.

TABLA 1.3 Índice FMIK y TTIK año 2019 del alimentador 0524
(Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur).

INDICE AÑO 2019/ALIMENTADOR 0524		LIMITES REGULACIÓN	
		005/18	
FMIK	TTIK	FMIK	TTIK
3.1114	10.1347	7	10

1.4 ALCANCE

Mediante el desarrollo de este trabajo se dimensiona un sistema de almacenamiento energía basado en baterías y se analiza la factibilidad de implementarlo para aliviar la curva de demanda del alimentador 0524 perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur y que sirve a sectores tales como El Arenal, El Salado, Indurama, Coral Centro, El Tiempo, Parque Iberia, Av. Remigio Crespo, Colegio Miguel Merchán, etc.

1.5 ANTECEDENTES

La capacidad global de almacenamiento de energía aumentará casi cinco veces en los próximos cinco años, creciendo más de 400 MW cada año. En términos de MWh anuales, el mercado crecerá de 4.8 GWh en 2018 a 33 GWh en el 2023. Los Estados Unidos seguirán siendo líder en el mercado durante este período e implementarán 36.5 GWh del 2018 al 2023 para alcanzar un total de 37.6 GWh en el período 2013 al 2023 [2]. Después de Estados Unidos sigue China, con instalaciones de 15.3 GWh [2] durante el mismo período de tiempo, la capacidad de almacenamiento en los principales mercados se pueden observar en la Figura 1.1.

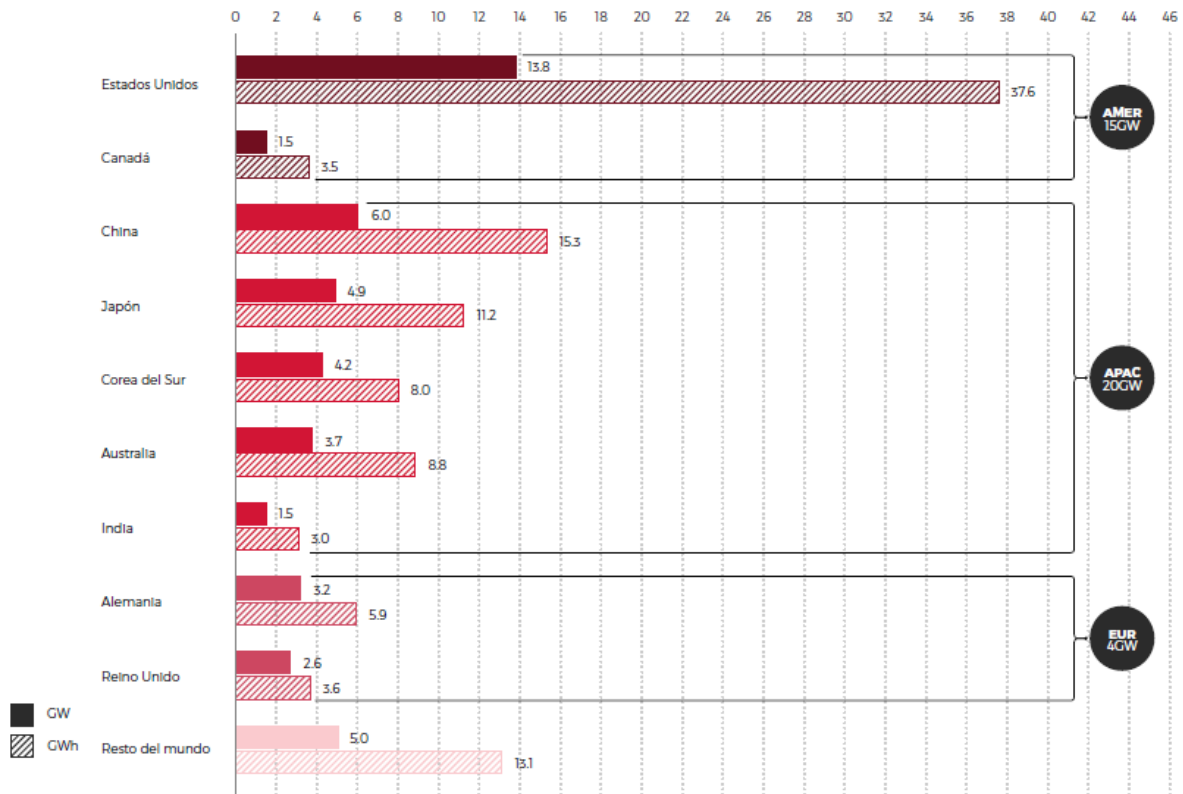


Figura 1.1 Capacidad de Almacenamiento en los principales mercados (2013 – 2023) [2].

Como se puede observar en la Figura 1.1, los países que más se enfocan a dar un avance significativo en cuanto a almacenamiento de energía respecta son los Estados Unidos y China. Estos países poseen una economía estable razón por la cual invierten en sistemas de almacenamiento que ayudan a fomentar su investigación, instalación y operación [2].

En el caso de América Latina, al igual que en varios otros países de la región, más de la mitad de su consumo energético es abastecido por energías renovables, esto se debe en gran parte a que estos países poseen fuentes de recursos naturales considerables, siendo la mayoría aprovechados para la generación de energía limpia tal como la hidráulica, energía eólica y energía fotovoltaica. Por este motivo la capacidad de almacenamiento no se compara con países como Estados Unidos o China.

En la Figura 1.2 se puede observar el escenario regional de tecnologías Eólica, Solar y el Almacenamiento presente en cada país considerando el año 2017 y la proyección hacia el año 2027 [2].

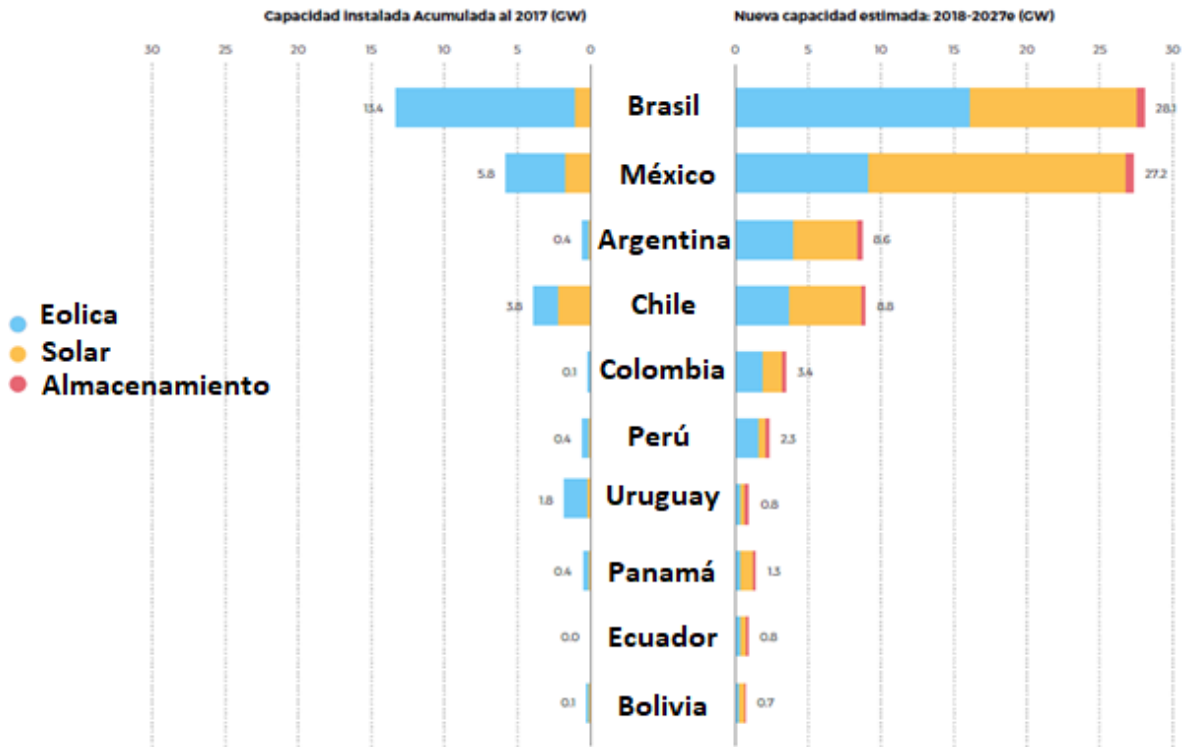


Figura 1.2 Escenario Regional. Tecnologías: Eólica, Solar, Almacenamiento [2].

En la actualidad Ecuador no posee planes cercanos de almacenamiento debido al pequeño tamaño del mercado, lo cual derivará a que sea aún menos relevante en el contexto Latinoamericano. Sin embargo, la investigación se está dando por varias entidades entre las cuales se puede contar la Universidad Estatal de Cuenca, misma que cuenta con un laboratorio de Energías Renovables [3] en el sector de Balzay que trabaja actualmente de manera investigativa con tecnologías de almacenamiento tales como batería de Ion Litio, supercondensadores y Baterías de flujo Redox, que son un importante punto de inicio en la implementación de un proyecto que se pueda plantear a futuro o establecer una propuesta como es el caso del presente trabajo.

La energía se define de manera general como toda causa capaz de producir un trabajo, su manifestación se nota en la transformación en otra forma de energía, lo que lleva a considerar como principio general de la naturaleza, que la energía no se crea, ni se destruye, solamente se transforma.

Considerando lo expuesto se debe tener en cuenta que la eficacia de un sistema eléctrico se determina en gran medida por la adecuación o las previsiones de demanda por parte del operador al requerimiento real del sistema eléctrico, es decir la eficiencia total del sistema se logrará.

En otras palabras la eficiencia ideal en sistema eléctrico se obtendría cuando se demandará la misma cantidad de energía sin importar la hora del día, consiguiendo así tener un control absoluto sobre la producción de energía para cubrir la demanda lo que implicaría que el operador del sistema no tendría que ordenar la parada o arranque a las centrales eléctricas cual fuere su origen, lo que conseguiría limitar su trabajo al planeamiento semanal o mensual de la repartición en la producción de energía.

Este panorama desde luego es irreal en la actualidad pero el avance de las tecnologías y las investigaciones pretende aportar más en ese camino a medida que avanza el tiempo. La energía eléctrica es un producto finito e inmediato que una vez generada si no es consumida se pierde y se debe producir nuevamente. La única opción para consumirla en otro momento es almacenándola. Esto permitiría que se dé un aumento de la generación distribuida contribuyendo a la reducción de la red de transporte y distribución.

El avance de las tecnologías y la predisposición de cambiar el parque automotor para ayudar al cuidado del ambiente ha permitido la introducción del vehículo eléctrico en gran parte de países de Europa, lo que lleva a pensar que esta tecnología no será ajena al país en los próximos años sumándose a las cargas que no estaban previstas. Este trabajo plantea la propuesta de analizar la factibilidad de

implementar baterías para almacenar energía y así aliviar la curva de la demanda del alimentador 0524 perteneciente a la red de distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur en la ciudad de Cuenca Ecuador, para esto se analizará el estado del arte.

El alimentador 0524 nace en la subestación 05 El Arenal que se encuentra ubicada en la Av. Tarquino Cordero entre las calles Cornelio Crespo Vega y la calle Manuel Arturo Cisneros, esta subestación recibe energía a través de líneas correspondiente al anillo de subtrasmisión de 69kV desde la subestación 03 Monay, interconectadas mediante una línea de subtrasmisión ACSCR de 473 mcm, esta subestación cuenta con dos transformadores reductores de 69kV/22kV conectados en paralelo. Tiene una longitud de 30.82 km en red aérea tanto monofásica como trifásica, 2.53km de red subterránea además cuenta con 147 transformadores monofásicos que suma 3925 kVA y 120 transformadores trifásicos que proporcionan 10927 kVA. Es importante recalcar que este alimentador tiene 4130 puntos de carga sirviendo así a 6492 clientes con un consumo de energía mensual de 165,932.6 kWh/mes. Este alimentador sirve a los sectores de El Arenal, Av. de Las Américas, Av. Don Bosco, El Salado, Indurama, Coral Centro, sector El Mercurio, El Tiempo, Parque Iberia, Av. Remigio Crespo, Supermaxi, Av. Los Conquistadores, Av. Loja.

En la Figura 1.3 se puede observar el estado actual de la subestación 5 (S/E 05) perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, en la Figura 1.4 se muestra la estructura de arranque del alimentador 0524.



Figura 1.3 Subestación 5 perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur
(Fuente: Elaboración propia)



Figura 1.4 Estructura de arranque del alimentador 0524 perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur. (Fuente: elaboración propia)

Como se indicó el alimentador 0524 nace en la subestación 05 El Arenal (S/E 05) ubicada en la Av. Tarquino Cordero entre las calles Cornelio Crespo Vega y la calle Manuel Arturo Cisneros, su recorrido se indica en la Figura 1.5 resaltado en color violeta.



Figura 1.5 Recorrido del alimentador 0524
(Fuente: Geoportal Empresa Regional Centro Sur)

CAPITULO II

MARCO TEORICO

2.1 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

La introducción de elementos de almacenamiento de energía hace posible en gran medida la acumulación de la misma durante el tiempo en que la producción sobrepasa al consumo [4]. Evaluar las soluciones de almacenamiento de electricidad es un desafío debido a la diversidad de tecnologías que poseen diferentes características de costo y rendimiento [5]. Los estudios sobre los costos a futuro se limitan al costo de inversión de las tecnologías de almacenamiento.

Los usos habituales de los sistemas de almacenamiento abarcan aplicaciones en el ámbito del arbitraje de energía, respuesta primaria, secundaria y terciaria del sistema, garantizar disponibilidad de capacidad de generación durante los picos o períodos de mayor demanda, restauración de las operaciones de una planta de energía después de un corte de energía que no involucre fuente de alimentación externa, compensar la interrupción del suministro a largo plazo o la variabilidad estacional en la oferta y la demanda entre otras aplicaciones.

La Tabla 2.1 muestra un conjunto de aplicaciones de almacenamiento considerando 7 tecnologías que se implementan comúnmente para estas aplicaciones, la idoneidad técnica se determina en función de las características de la tecnología así como de los requisitos de la aplicación [6].

El almacenamiento de energía permite que se dé un incremento de eficiencia, reducción de costos, un aumento de vida media así como una facilidad mayor de gestión de planta. La integración de elementos que están destinados al

almacenamiento de la energía permitiría que se optimice tanto curvas de demanda como curvas de producción [4].

TABLA 2.1 Aplicaciones de las diferentes tecnologías de almacenamiento [7]

APLICACION	DESCRIPCION	BOMBEO HIDRAULICO	AIRE COMPRIMIDO	VOLANTE DE INERCIA	ION LITIO	PLOMO ACIDO	FLUJO REDOX DE VANADIO	SUPERCONDENSADORES
Arbitraje de Energía	Comprar Energía a bajo precio y vender en periodos de precio alto en el mercado mayorista o minorista	X	X		X	X	X	
Respuesta Primaria	Corrige los cambios continuos y repentinos de frecuencia y voltaje en la red			X	X	X	X	X
Respuesta Secundaria	Corrige desequilibrios anticipados e inesperados entre carga y generación en la red	X	X	X	X	X	X	X
Respuesta Terciaria	Reemplaza la respuesta primaria y secundaria durante el estrés prolongado del sistema	X	X		X	X	X	
Peaker Reemplacement	Garantiza la disponibilidad de capacidad de generación suficiente durante los periodos de máxima demanda	X	X		X	X	X	
Black Start	Restaura las operaciones de la planta de energía después de una interrupción de la red sin una fuente de alimentación externa	X	X	X	X	X	X	X
Almacenamiento Estacional	Compensa la interrupción del suministro a largo plazo o la variabilidad estacional en la oferta y demanda	X	X				X	
Manejo de la Congestión	Evita la diferencia de precios debido al riesgo de sobrecargar la infraestructura existente	X	X		X	X	X	
Calidad de Energía	Proteja la carga en el sitio contra pérdidas de energía de corta duración o variaciones de voltaje o frecuencia			X	X	X	X	X
Confiabilidad	Suple la falta temporal de suministro variable y proporciona energía durante las fallas				X	X	X	

Teniendo en cuenta una similitud con unidades de generación, el almacenamiento de energía representará una ventaja al realizar la sustitución de una central eléctrica de emergencia como por ejemplo una central térmica que representa mayor nivel de contaminación por una unidad de almacenamiento de energía de tal manera que lo que se almacena en períodos valle, se regresa a la red en el transcurso de los picos de demanda. Esto remedia la demanda energética únicamente con una planta de generación trabajando a un mayor rendimiento contrario a no utilizar almacenamiento. Por supuesto este es un escenario en el que la aplicación se da a un nivel de generación lo cual a más de presentar mayor eficiencia reduciría los costos [8]. En el caso del presente trabajo, la propuesta es aplicar el mismo método en un alimentador de la ciudad de Cuenca.

La integración de sistemas de almacenamiento permite aprovechar la capacidad de generación de una unidad en el transcurso del día. Por lo tanto, durante los valles de demanda de electricidad deberá realizarse los procesos de carga. Alternativamente, durante los picos de demanda³ los sistemas de almacenamiento se mantendrán en modo de descarga.

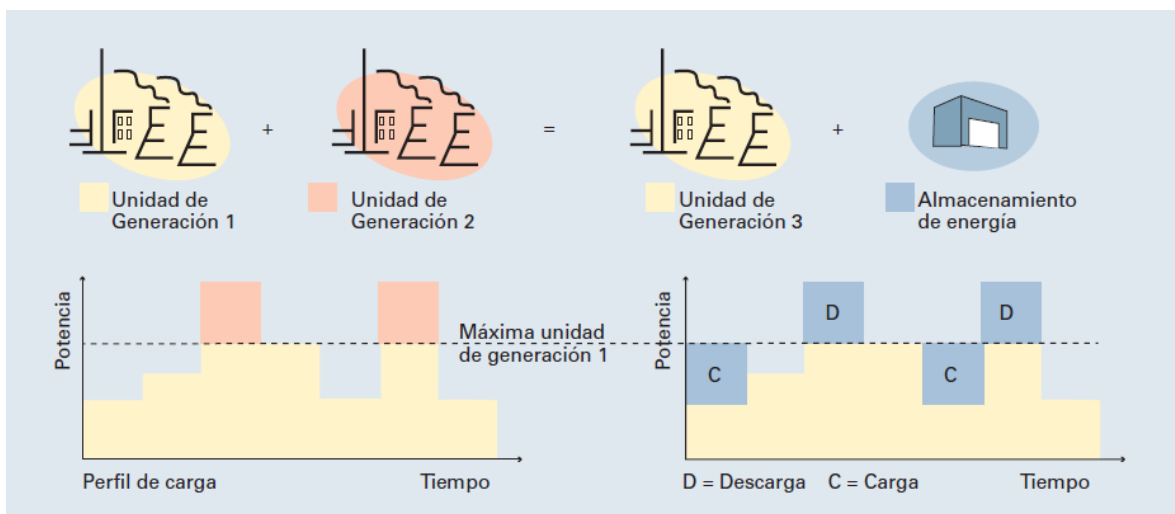


Figura 2.1 Picos de Demanda y Generación de Electricidad [4]

³ Demanda de Energía Eléctrica más alta que se ha producido durante un período de tiempo específico.

La Figura 2.1 considera las necesidades de grandes cantidades de electricidad, como por ejemplo ciudades. Sin embargo se podría considerar una racionalización de los recursos a una pequeña escala como es el caso del alimentador 0524 perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur. En este caso, la integración de un elemento de almacenamiento de energía supondrá que se optimicen los recursos resultando en una menor sobrecarga a la red eléctrica como se observará en el capítulo IV.

Se debe distinguir que en la actualidad las tecnologías de almacenamiento están ya abarcando procesos y técnicas que en el pasado no eran conocidas, por ejemplo el almacenamiento de energía que más importancia tiene en la actualidad y por ende mayor relevancia es el que se realiza por almacenamiento en baterías ya sea por variación de la electroquímica y considerando la necesidad de almacenamiento [9].

Un caso de aplicación exitosa de un sistema de almacenamiento es el del Proyecto “Almacena” implementado por Red Eléctrica de España, este proyecto se instaló en el año 2013 en la subestación de Carmona en la provincia de Sevilla [10]. Del mismo modo están los sistemas de bombeo hidráulico, sistemas basados en hidrógeno, baterías de flujo, almacenamiento en sistemas de aire comprimido, volantes de inercia, superconductores magnéticos y supercondensadores.

2.1.1 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO POR BOMBEO HIDRÁULICO

El almacenamiento de energía mediante sistemas de bombeo hidráulico son sistemas de alta densidad de energía, se utilizan generalmente en centrales hidroeléctricas reversibles⁴ mismas que no existen en la actualidad en el país pero sí en varias regiones de Europa como por ejemplo la central La Muela II ubicada en

⁴ **Central Hidroeléctrica Reversible:** es una central hidroeléctrica que además de poder transformar la energía potencial del agua en electricidad, tiene la capacidad de hacerlo a la inversa, es decir, aumentar la energía potencial del agua (por ejemplo subiéndola a un embalse) consumiendo para ello energía eléctrica.

Valencia España o la central Canfranc ubicada en la provincia de Huesca España [9].

El funcionamiento está basado en la transformación de la energía eléctrica almacenada por la red en energía potencial, mediante bombeo de agua desde un punto de menor altura a otro de altura mayor lo que aumenta la energía potencial de tal forma que se pueda utilizar en otro momento la masa de agua para la generación de electricidad [9].

El bombeo se da en horas de menor consumo eléctrico para luego hacerla caer y pasar por las turbinas para generar electricidad en los momentos de mayor demanda, esto permite que se optimice la eficiencia económica de la explotación al conservar electricidad en forma de agua embalsada en el depósito superior y de todo el sistema eléctrico debido a que es la forma más eficaz de almacenar energía.

Este tipo de sistemas son capaces de almacenar gran cantidad de energía, razón por la cual son necesarios para controlar variaciones tales como sobretensiones, subtensiones, desbalance de red, interrupciones y apariciones de efectos transitorios [9].

2.1.2 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO POR VOLANTES DE INERCIA

Este es un sistema de almacenamiento de energía cinética, se basa en el movimiento de una masa rotativa sobre rodamientos magnéticos evitando pérdidas de energía por fricción. Entre el soporte y el volante se coloca una cavidad de vacío lo que permite eliminar la resistencia aerodinámica. El volante gira a gran velocidad cuando se encuentra conectado a una máquina eléctrica, en la Figura 2.2 se puede observar las partes que componen un volante de inercia. La máquina eléctrica a la que se conecta el volante de inercia cuenta con dos modos de trabajo; generador o motor eléctrico. Cuando trabaja como generador el sistema suministra energía lo

que transforma la energía cinética del volante de inercia y por ende suministra a la red.

Cuando la operación es como motor o maquina eléctrica, absorbe energía de la red transformándola en energía cinética lo que aumenta la velocidad en el volante. La energía que esta almacenada en este sistema depende de la masa del volante concluyendo que mientras más masa tenga más energía será capaz de almacenar.

Este tipo de sistemas utilizan materiales inertes, razón por la cual tienen una larga vida por lo general decenas de miles de ciclos de uso lo que lo hace un sistema limpio de almacenamiento de energía. La desventaja de este tipo de sistemas radica en el límite de potencia de pico que posee debido a la energía almacenada en el volante así como la rápida velocidad de autodescarga, además, requiere de un sistema de control complejo así como de componentes y convertidores AC/DC, bomba de vacío, refrigeración etc, esto aumenta el peso del equipo disminuyendo la densidad de energía real.

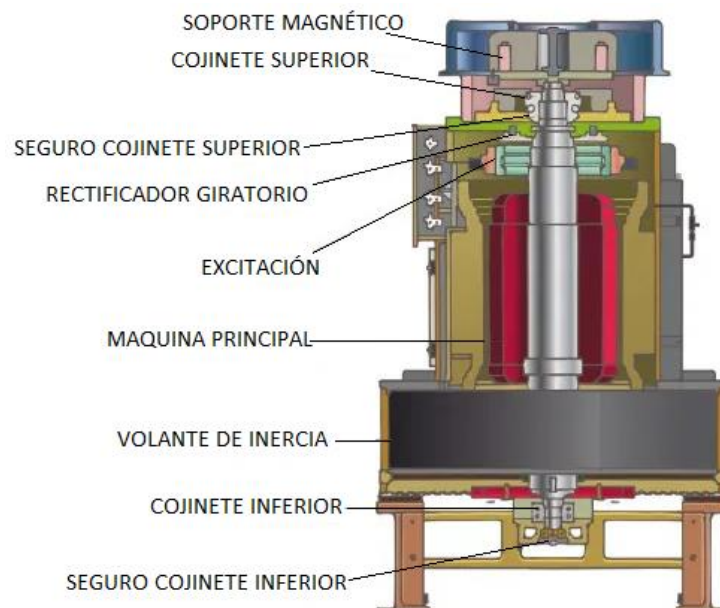


Figura 2.2 Volante de Inercia (Fuente: Revista SmartGrid⁵)

⁵ Recuperado de: <https://smartgridspain.org/web/europa/2015/05/01/volante-de-inercia/>

2.1.3 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO BASADOS EN AIRE COMPRIMIDO

El almacenamiento mediante sistemas de aire comprimido se basan en turbinas de gas convencionales, dichos sistemas cuentan con un gran rango energético de actuación en función del uso que se le proporcionará. Cuando estos sistemas se utilizan para la red eléctrica se almacena el aire comprimido en tanques bajo tierra o en instalaciones subterráneas. En la Figura 2.3 se puede observar un esquema general de un sistema de almacenamiento con aire comprimido.

En el momento que se requiera inyectar energía a la red eléctrica, el aire comprimido que se almacena en los tanques subterráneos o cuevas es calentado de tal manera que se expande y aumenta su volumen en turbinas de alta y baja presión lo que transforma la energía cinética del aire en energía eléctrica [9].

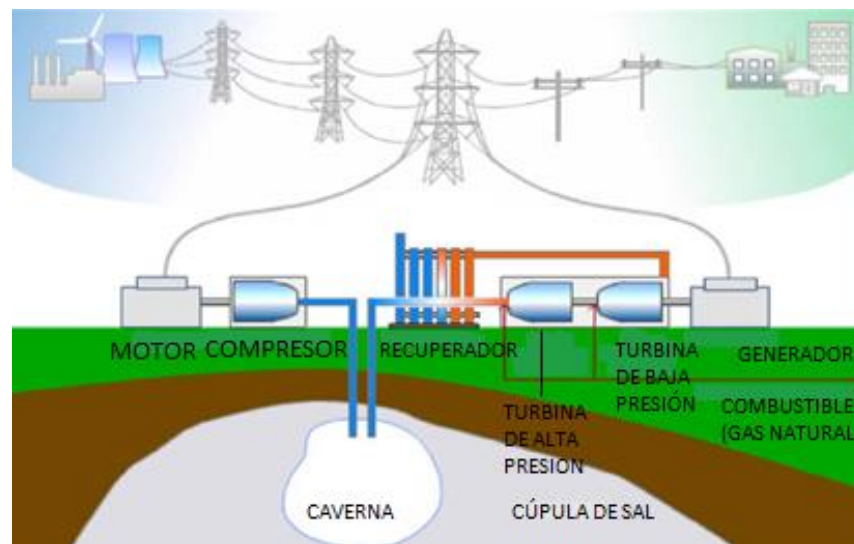


Figura 2.3 Sistema de Almacenamiento con aire comprimido [9]

El sistema de almacenamiento de aire comprimido tiene como principio físico la transformación de la energía eléctrica en presión, que se utilizan en momentos de mayor demanda o necesidad para obtener energía eléctrica.

2.1.4 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO TÉRMICO

El almacenamiento térmico acumula energía mediante el aprovechamiento del calor ya sea subiendo o bajando la temperatura de una sustancia (calor sensible), cambiando la fase de la sustancia (calor latente) o mediante la combinación de ambos mecanismos, mediante estos sistemas la energía es almacenada de manera eficiente mejorando la relación entre la demanda y la generación. Se emplean en centrales termoeléctricas [11]. En la Figura 2.4 se puede observar un sistema de almacenamiento térmico con todos los elementos que lo forman.

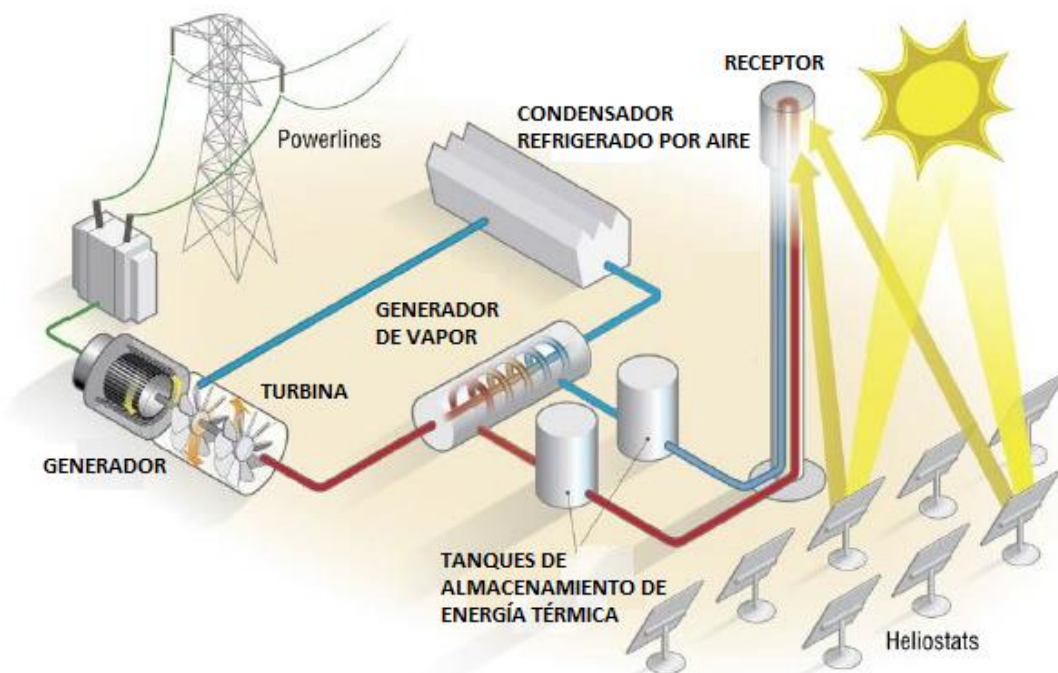


Figura 2.4 Sistema de Almacenamiento térmico [11]

2.1.5 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO CON SUPERCONDUCTORES MAGNETICOS

Este sistema se basa en el almacenamiento de energía a través de un campo magnético, este se produce por una corriente continua a través de una bobina conformada por un superconductor, esto disminuye la resistencia lo cual mejora considerablemente el rendimiento.

La bobina se guarda a un rango de temperaturas que se encuentra entre -270° y -223° , esto facilita que la resistencia del superconductor se reduzca. Para enfriar el material se utiliza nitrógeno o helio líquido, que siendo métodos de enfriamiento costosos desde el punto de vista energético requieren menos cantidad de energía y permite obtener rendimientos de hasta un 90% [11].

El enfriamiento logra aumentar de manera sensible la intensidad de corriente que lo atraviesa permitiendo circular alta intensidad de corriente, esto es una característica muy importante debido a que la energía almacenada responde de forma cuadrática respecto a la intensidad que atraviesa la bobina por el valor de su inductancia [11].

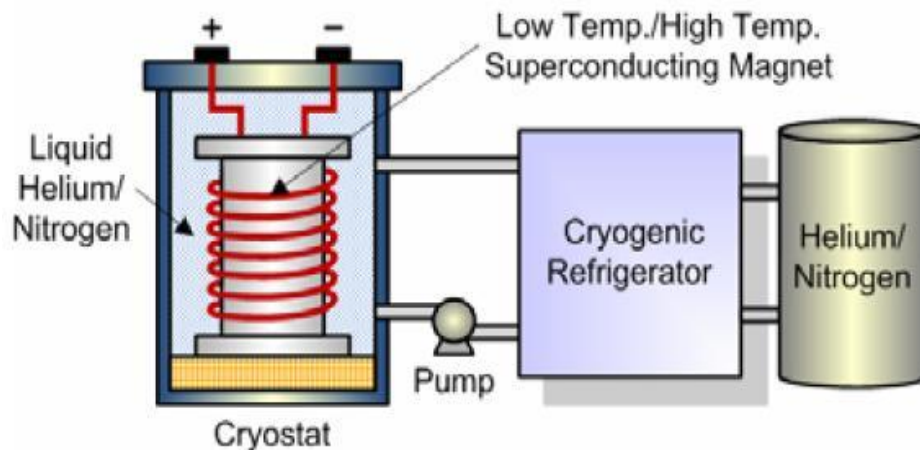


Figura 2.5 Estructura de un dispositivo de almacenamiento basado en superconductores magnéticos. [11]

En la Figura 2.5 se puede apreciar la estructura detallada en el párrafo anterior, el sistema de almacenamiento basado en superconductores es una tecnología que se está aplicando en varios países de Europa, esta tecnología tiene gran futuro por la facilidad de almacenar energía en grandes cantidades manteniendo su rentabilidad [11]. Su principal problema radica en el costo del sistema, este es muy elevado en comparación a otros que se utilizan para fines de iguales características, los

avances en sistemas de refrigeración criogénicos así como el desarrollo de mejores superconductores ayudaran a que su aplicación sea más comercial [12].

2.1.6 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO CON SUPERCONDENSADORES

La base de este tipo de sistemas son los ultra condensadores o condensadores de doble capa. Los mismos se basan en células electroquímicas con dos electrodos, un electrolito y una membrana porosa a través de la cual se transportan iones, la principal diferencia con las baterías es que los electrolitos de los supercondensadores no tienen reacción redox debido que la tensión de operación es menor. La energía que se almacena en los supercondensadores es proporcional al cuadrado de la tensión que se aplica considerando la formula (2.1):

$$E=1/2*C*V^2 \quad (2.1)$$

Los condensadores llegan a alcanzar valores de hasta 5 kF, la principal desventaja es la tensión de operación que está en el orden de los 3.5 V.

Los supercondensadores son elementos de pequeña resistencia interna razón por la cual su constante de tiempo de descarga también lo es, esto significa que estos sistemas son los más rápidos, permitiendo alcanzar densidades de energía decenas de veces mayores que las baterías. La desventaja de tener baja constante temporal es que tienden a descargarse de manera rápida.



Figura 2.6 Supercondensadores Maxwell de 130 F c/u perteneciente a laboratorio de Microredes de la Universidad de Cuenca, sector Balzay.
(Fuente: Elaboración propia)

Este tipo de sistema de almacenamiento de energía se utiliza cuando se requiere una rápida respuesta y grandes cantidades de potencia, su tiempo de vida varía en gran parte debido a las condiciones de trabajo como la temperatura y el número de ciclos de vida del elemento. En la Figura 2.6 se observan los supercondensadores Maxwell de 130 Faradios existentes el laboratorio de microredes y energías renovables de la Universidad de Cuenca.

El almacenamiento mediante supercondensadores requiere sistemas electrónicos de control complejo y capaz de mantener la tensión sobre cada uno de los supercondensadores internos de una manera que se mantenga estable, en la actualidad los precios de estos sistemas son mayores a los sistemas basados en baterías pero están disminuyendo debido a los procesos de desarrollo y comercialización.

2.1.7 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO CON BATERÍAS DE FLUJO

La batería de flujo es un sistema recargable donde el electrolito circula por medio de la celda electroquímica, esto transforma la energía química en eléctrica, se puede mantener el electrolito en tanques externos desde los que se bombea dentro de las celdas o stacks⁶ [9].

Estas baterías se recargan de manera rápida, lo que sustituye el electrolito o revierte la reacción redox razón por la cual el valor de la densidad de energía del sistema es proporcional a la cantidad de electrolito que es capaz de almacenarse en el tanque. Los tipos de baterías de flujo son dos que actualmente están en auge comercial: Vanadio y Zinc – Bromo.

Las baterías de vanadio utilizan pares redox de vanadio en mezclas que se diluyen con ácido sulfúrico, por lo tanto la vida útil del electrolito es infinita, esto sumado a la operación del sistema la convierte en una de las tecnologías de mayor proyección de la actualidad. Esta tecnología tiene una gran rapidez de respuesta de carga y descarga motivo por el cual se utiliza para solucionar huecos de tensión y calidad de energía debido a que puede responder en un milisegundo duplicando su potencia nominal durante periodos de minutos.

La desventaja es la baja densidad de energía de cada celda por separado de aproximadamente 1.2V, debido a esto es necesario la interconexión de muchas celdas. Las limitaciones aparecen cuando se tiene que controlar grandes volúmenes de electrolito con bombas debido a que el control es complejo y costoso. En el laboratorio de microredes y energías renovables de la Universidad de Cuenca se cuenta con baterías de flujo del tipo FB 20-100 como se puede observar en la Figura 2.7.

⁶ Conjunto de celdas de combustible apiladas en serie de tal modo que el cátodo de una celda está conectado eléctricamente con el ánodo de la siguiente.



Figura 2.7 FB 20-100 de la casa Gidemeister, potencia 20 kW capacidad de almacenamiento 100 kWh Laboratorio de micredes de la Universidad de Cuenca. (Fuente: Elaboración propia)

2.1.8 SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA MEDIANTE BATERÍAS

Se debe tener en cuenta el hecho de que la batería es una tecnología de almacenamiento de energía en mejora continua y que se perfecciona a lo largo de los años. La batería mantiene energía que se utilizará en el transcurso del tiempo en el que se requiera electricidad. En otras palabras una batería acumula energía química que se transforma en energía eléctrica por medio de celdas electroquímicas [13].

La batería se forma con dos o más celdas conectadas en serie, paralelo o la combinación de ambas, mediante esta configuración se consiguen la capacidad y tensión deseada.

Una celda está formada por los componentes que se detallan a continuación:

- Electrodo (cátodo (+) y ánodo (-))
- Electrolito (sustancia que contienen iones en su composición orbitando libremente, lo que le permite comportarse como un conductor eléctrico)
- Separadores (realiza la separación de los componentes de su interior)

El principio de funcionamiento de una batería se basa en un proceso reversible que se llama reducción – oxidación, el mismo consiste en que uno de los componentes se oxida lo que significa que pierde electrones mientras que el otro componente se reduce o dicho de mejor manera gana electrones. Es decir, se trata de un proceso en el que los componentes no se consumen, sino que únicamente cambian su estado de oxidación; por otro lado, dichos componentes pueden retornar a su estado original, en las circunstancias adecuadas las mismas que son el cierre del circuito externo durante el proceso de descarga y la aplicación de una corriente externa durante el proceso de carga [13].

La energía es liberada o almacenada mediante reacciones electroquímicas que transportan electrones entre electrodos que se encuentran interiormente conectados por un electrolito. De manera constante se usan catalizadores que aceleran las tasas de reacción a niveles aceptables.

La cantidad total de electricidad producida en la reacción electroquímica es la capacidad de una celda, la misma se suele medir en amperios – hora (Ah). La idoneidad de una batería se logra descargando la celda a una fuerza determinada hasta lograr la tensión de corte.

El valor de la capacidad es el producto de la intensidad de descarga (A) y la duración de la descarga (horas), es decir la unidad de capacidad de la batería se mide en amperios – hora (Ah) o miliamperios – hora (mAh). Una batería soporta alteraciones en su capacidad cuando se carga y descarga, por lo tanto después de un cierto número de ciclos la misma pierde calidad, esto significa que no completa con éxito

las reacciones químicas, se debe considerar la carga en exceso también es perjudicial para su vida útil.

Del mismo modo se debe considerar que existe un efecto de auto descarga que se produce cuando las baterías no se utilizan, es decir la energía remanente disminuye de manera progresiva mientras pasa el tiempo. Algunos tipos de batería sufren el efecto memoria como por ejemplo la batería de níquel cadmio. Por el contrario las baterías de plomo ácido o las de ion litio no se afectan por el mismo. Este fenómeno reduce la capacidad de la batería con cargas incompletas, el mismo se produce cuando se realiza la carga de una batería sin llegar a descargarse del todo generando la creación de una especie de cristales en su interior lo que va a debilitar los electrodos y hace que la batería pierda parte de su capacidad real.

2.2 TIPOS DE BATERÍAS

2.2.1 BATERÍA ION LITIO

Se forman por un ánodo de carbono y un cátodo de óxido metálico de litio, el electrolito es un compuesto de litio como el hexafluorofosfato de litio que es un compuesto inorgánico en forma de polvo cristalino blanco. La vida útil es cinco veces mayor al igual que su carga, en estas baterías el electrolito se calienta menos en comparación que el líquido y cuando están apagadas su gasto energético es menor, razón por la cual son más fiables y pueden trabajar a baja temperatura ambiente [13].

Los átomos de litio presentes en el cátodo se convierten en iones que se conducen hasta el ánodo de carbono, es ahí donde se mezclan con los electrones externos y se depositan como átomos de litio en el interior de las capas de ánodo carbono. En la Figura 2.8 se puede observar el proceso de carga y descarga de una batería de Ion litio, el flujo de electrones es diferente tanto en la carga como en la descarga.

En la carga el flujo de electrones está en el sentido del ánodo (-) desde el cátodo, en cambio en el proceso de descarga el flujo de electrones toma el sentido contrario, es decir desde el ánodo hacia el cátodo.

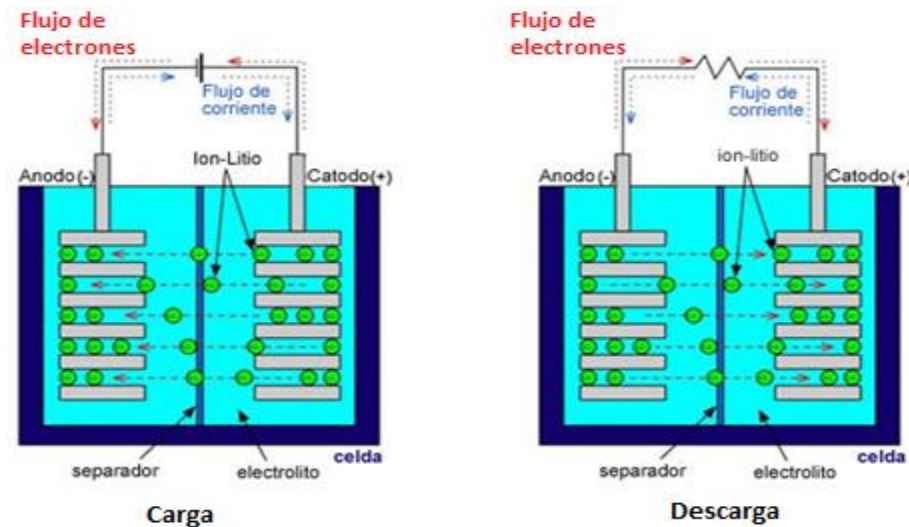


Figura 2.8 Funcionamiento básico de una celda de ion litio [14]

Las baterías de ion litio muestran las siguientes ventajas:

- Mínimo estado de carga: alrededor del 10%.
- Alta eficiencia: 94%.
- Alta densidad de energía: de 300 a 400 Wh / m^3
- Ciclo de vida largo: 5000 Ciclos.
- Energía específica entre 130 y 147 Wh/kg

A más de las ventajas detalladas estas baterías apenas sufren de efecto memoria y se pueden cargar sin la necesidad de estar completamente descargadas lo que no reduce su vida útil. Los inconvenientes que presentan este tipo de baterías son:

- Empaquetamiento especial.
- Requieren un circuito interno de protección ante sobrecargas.

Los inconvenientes mencionados anteriormente representan un costo de inversión que se encuentra rodeando los 530 €/kWh, en tanto que sus costos de mantenimiento bordean los 3 €/kWh [13].



Figura 2.9 Almacenamiento de energía mediante baterías de Ion-Litio en Carmona. (Fuente: REE⁷)[15]



Figura 2.10 Batería de Ion-litio instalada en la subestación de transporte de Carmona (Sevilla) [15]

⁷ REE (Siglas de Red Eléctrica de España), 2013

Tanto la Figura 2.9 como la Figura 2.10 muestran el almacenamiento mediante Ion litio implementado en el “proyecto Almacena”, situado en la localidad de Carmona (España). Estas instalaciones han realizado 180 ciclos diarios de carga y descarga almacenando y devolviendo al sistema el equivalente al consumo de 100000 hogares durante más de 5 horas. El interior del contenedor con las baterías utilizadas se puede observar en la Figura 2.11.



Figura 2.11 Interior de la batería de Ion-litio instalada en la subestación de transporte de Carmona (Sevilla). [15]

Las baterías de Ion litio son utilizadas en la actualidad para los teléfonos móviles, computadores portátiles, reproductores de mp3, cámaras y algunos vehículos eléctricos conectados a la red, a más de sus ventajas, estas baterías presentan inconvenientes como sobrecalentamiento [4], alto costo entre otros tales como la necesidad de tener empaquetamiento especial y un circuito interno de protección ante sobrecargas. Esto hace que se eleve el costo de inversión en alrededor de 530 €/kWh, mientras que los costos de operación y mantenimiento se encuentran cercanos a 3 €/kWh [16].

El costo de las baterías de Ion – litio para un sistema de almacenamiento se ha reducido en un 85% desde el 2010. En cuanto a la capacidad de fabricación, esta ha aumentado de 14 GWh a 285 GWh en el mismo periodo de tiempo y se encamina

a pasar el doble de la capacidad hasta los 777 GWh para el año 2026 con una disminución de los precios de alrededor del 9% anual hasta ese año [17].

La batería de Ion – litio es una tecnología de energía de respuesta rápida que ayuda a descarbonizar; es decir, que a medida que las energías renovables se conviertan en la principal fuente de electricidad en las próximas una o dos décadas [17], la capacidad de equilibrar la oferta y demanda será más difícil. En la Figura 2.12 se puede observar una disposición diferente a la utilizada en el proyecto Almacena de la localidad de Carmona. En la Tabla 2.2 se detallan las características de las baterías de Ion Litio que serán similares dependiendo del fabricante.



Figura 2.12 Disposición de baterías para el almacenamiento de energía mediante baterías de Ion-Litio. [18]

TABLA 2.2 Datos referentes de batería Ion Litio [16]

Densidad de Energía	10,8 – 14,40 MJ/m ³
Rango de Energía	36*10 ³ MJ
Rango de Potencia	0,1 - 10 MW
Tiempo de Carga y Descarga	Horas / Minutos
Ciclos de Carga/Descarga	4500 ciclos
Rendimiento	94%
Mínimo Estado de Carga	10%
Coste de Instalación	530 €/kWh
Coste de Mantenimiento al Año	3 €/kWh

Como ya se mencionó anteriormente, uno de los proyectos actuales que cuentan con este tipo de tecnología de almacenamiento es el “Proyecto Almacena”, mismo que es desarrollado por Red Eléctrica de España, este consiste en la instalación de un sistema de almacenamiento de energía a través de una batería prismática de ion – litio cuya potencia oscila el 1 MW con una capacidad de al menos 3 MWh, el objetivo es evaluar las capacidades y características técnicas para mejorar la eficiencia de la operación del sistema eléctrico [15].

El proyecto se encuentra instalado desde el año 2013 en la subestación Carmona en España, el sistema de almacenamiento se ha instalado en el interior de un contenedor de 16 metros de largo como se observa en la Figura 2.11, conteniendo 30 racks de celdas prismáticas de ion litio [16]. Entre los principales fabricantes de este tipo de batería se encuentran J&A Electronics [19] y Shenzhen Napel Power Tech [20]:

2.2.2 BATERÍA DE NÍQUEL - CADMIO

La batería de Níquel Cadmio ha existido durante gran tiempo, esta batería está conformada por un electrodo positivo de óxido níquel y el electrodo negativo está conformado por cadmio, el electrolito es una solución de hidróxido de potasio [21]. Esta batería puede ser cargada de manera rápida y la misma puede soportar descargas profundas de hasta 100%. La eficiencia energética de estas baterías es baja.

Las baterías de níquel cadmio presentan el decrecimiento de la suficiencia de la batería si no se ejecuta de manera correcta los ciclos de carga y descarga, esto último se llama efecto memoria, las características principales son las que se presentan en la Tabla 2.3.

TABLA 2.3 Datos referentes de batería Níquel Cadmio [16]

Densidad de Energía:	160 MJ/m ³
Rango de energía:	24,3*10 ³ MJ
Rango de Potencia:	0.1 - 40 MW
Tiempos de Carga y Descarga:	Horas - Minutos
Ciclos de Carga/Descarga:	600-1200 ciclos
Rendimiento:	80-85%

Entre los principales fabricantes se destacan las siguientes empresas:

- Saft Empresa importante en el desarrollo de todo tipo de baterías, se destaca por instalar un sistema de almacenamiento de energía de 40MW de potencia en Alaska.
- Varta. Es una empresa que fabrica acumuladores de níquel-cadmio recargable y herméticamente cerrado.

2.2.3 BATERÍA DE PLOMO ACIDO

Este tipo de batería cuenta con dos clases de electrodos en forma de sulfato de plomo II ($PbSO_4$) cuando el sistema está descargado. El electrolito de estas baterías es una disolución en agua de ácido sulfúrico.

Cuando ocurre la descarga de la batería, la corriente que se produce genera un cambio de estado a través de la reacción producida por el bióxido de plomo de la placa positiva, esto combinado con el ácido sulfúrico produce sulfato de plomo. Como consecuencia el oxígeno que se libera del bióxido de plomo mezclado con el hidrogeno del ácido sulfúrico forma agua.

El plomo correspondiente a la placa negativa se combina con el ácido sulfúrico formando sulfato de plomo. Es así que la densidad del electrolito disminuye de manera similar a la tensión hasta que la reserva energética se agote [16].

En el momento que el acumulador se carga, la materia activa de la placa positiva se constituye por dióxido de plomo mientras que la materia activa de la placa negativa está constituida por plomo metálico en estado esponjoso. Es así que el electrolito es una solución de ácido sulfúrico y agua [16].

En el proceso de carga, la corriente recibida provoca la respuesta contraria a la descarga, retornando al estado inicial de dióxido de plomo en la placa positiva, en la placa negativa plomo en forma esponjosa y ácido sulfúrico en el electrolito lo que incrementa su densidad [16].

La tensión de la batería incrementa llegando a un valor que genera la separación del hidrogeno y oxígeno liberado tanto de la placa positiva como negativa.

A nivel mundial las baterías de plomo – ácido son las más maduras comercialmente hablando, esto en consecuencia presentan un mayor desarrollo tecnológico así como un menor costo de inversión, dicho sea de paso esta tecnología presenta varios inconvenientes como la necesidad de unos complejos requisitos de mantenimiento y la energía de descarga no es constante, por el contrario depende de ciclos de vida corto que rondan los 2500 ciclos equivalentes y del mínimo estado de carga admisible por cada batería.

Las baterías de plomo ácido están superando inconvenientes con el objetivo de aplicar en sistemas para integración de energías renovables en el sistema eléctrico. Como se puede observar en la Tabla 2.4, estas baterías logran un rédito del 90%, con un estado mínimo de carga del 20%, el costo de adquisición asciende a 360 €/kWh (391 US\$/kWh), en cambio sus costos de operación y mantenimiento rodean los 2 €/kWh (2.17 US\$/kWh) [16].

TABLA 2.4 Datos referentes de batería Plomo Acido [16]

Densidad de Energía	60 - 180 MJ/m ³
Rango de Energía	144*10 ³ MJ
Rango de Potencia	0,1 - 10 MW
Tiempo de Carga y Descarga	Horas / Minutos
Ciclos de Carga/Descarga	2500 ciclos
Rendimiento	90%
Mínimo Estado de Carga	20%
Coste de Instalación	360 €/kWh
Coste de Mantenimiento al Año	2 €/kWh

La empresa “Duke Energy Renewables” utiliza esta tecnología en un proyecto de almacenamiento de 36MW de energía en la planta eólica “Notrees” en EEUU en el año 2012.

La implementación en la planta eólica “Notress” se puede observar en la Figura 2.13 que se indica a continuación.

**Figura 2.13** Sistema de almacenamiento mediante baterías de Plomo-Acido [22]

Los principales fabricantes de estas baterías son:

- Yuasa Battery. Estas baterías disponen de elementos de 6 o 12V y máximas corrientes que van desde 3 a 1200 A, con capacidad de 200Ah [23].
- Exide Technologies. Este fabricante cuenta con baterías para aplicaciones de potencia con capacidades de entre 50 a 5000 Ah mientras que su vida útil es de 25 años [24].

La Figura 2.14 muestra los elementos que conforman una batería de plomo ácido, en la misma se detallan las celdas de conexión, la válvula, los terminales, polos, placas, entre otros.

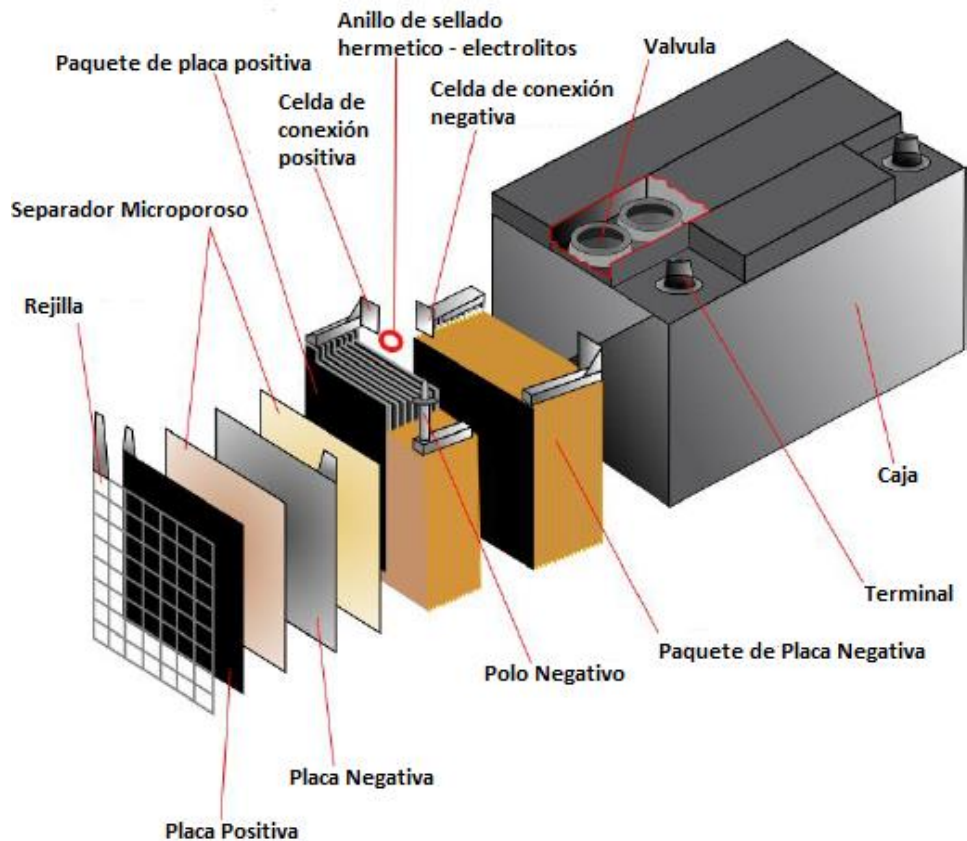


Figura 2.14 Partes de una batería de plomo ácido [16]

2.2.4 BATERÍA REDOX DE VANADIO

Las baterías redox de vanadio pertenecen al grupo de baterías de flujo, siendo estas las más desarrolladas tecnológicamente hablando. La energía es almacenada con iones cargados localizados en dos recipientes separados que contienen electrolito, uno para las reacciones positivas y otro para las reacciones negativas. Estas baterías usan pares redox⁸ de vanadio diluidas en mezclas de ácido sulfúrico.

Cuando se necesita descargar energía de la batería, el electrolito fluye hacia una celda redox con electrodos lo que genera corriente, esta reacción electroquímica se invierte cuando se aplica sobretensión, similar a las baterías convencionales, esto permite al sistema efectuar cargas y descargas de manera repetida.

Los sistemas de baterías tipo redox de vanadio se diseñan para proveer energía en un lapso de tiempo de 2 a 8 horas. Los fabricantes establecen el tiempo de vida útil de estas baterías en 20 años siendo el tiempo de vida útil de los electrolitos 25 años.

El rendimiento de las baterías redox de vanadio es de aproximadamente 90%, los mismos pueden alcanzar una profundidad de descarga del 100% y 20000 ciclos, esta cifra es muy alta comparada a las baterías de otros tipos. Sin embargo, el costo de adquisición está entre los 700 €/kWh (760 US\$/kWh), costo de operación y mantenimiento con un valor de 10 €/kWh (10.87 US\$/kWh) [16].

Proyectos que requieran una capacidad de almacenamiento del orden de los MWh deben considerar el tamaño de los tanques de electrolito grandes como se puede observar en la Figura 2.15. Se debe considerar que es necesario mantener los

⁸ **Redox.** Es la reacción de tipo químico que implica la transferencia de electrones entre distintos reactivos, esto lleva una modificación del estado de oxidación, en estas reacciones un elemento pierde electrones y el otro los recibe

electrolitos a 300° C y así garantizar que el proceso se desarrolle de manera correcta [16].

La Tabla 2.5 resume las características de la batería de Vanadio, es importante recalcar que el rendimiento puede ser del 90% teniendo hasta 20000 ciclos de carga / descarga y un mínimo estado de carga de alrededor del 5%.

TABLA 2.5 Datos referentes de batería Redox de Vanadio [16]

Densidad de Energía	54 - 65 MJ/m ³
Rango de Energía	36*10 ³ MJ
Rango de Potencia	0,1 - 100 MW
Tiempo de Carga y Descarga	Horas
Ciclos de Carga/Descarga	20000 ciclos
Rendimiento	90%
Mínimo Estado de Carga	5%
Coste de Instalación	700 €/kWh
Coste de Mantenimiento al Año	10 €/kWh

Sistema de baterías redox de Vanadio son empleados en actuales momentos pudiendo mencionar los siguientes [21]:

- Pacific Corp en Moab (Estados Unidos) Sistema de 250 kW-2 MWh [21].
- Un sistema de 15 kW/120 kWh, que opera en Dinamarca que opera como parte de un sistema de redes inteligentes.
- Hydro Tasmania (Australia) Sistema de 200 kW-800 kWh [21].
- JPower (Japón) Sistema de 4 MW-6 MWh [21].
- Sornef Hill (Irlanda) Sistema de 1.5 MW-12 MWh [21].



Figura 2.15 Vista aérea de instalación con batería de flujo redox vanadio [21]

TABLA 2.6 Comparativo de diversas tecnologías de celdas electroquímicas. [25]

Características principales de diversas tecnologías de celdas electroquímicas.									
Elaboración en base a datos de varios fabricantes									
(Exide Technologies, 2015), (Power Sonic - NiMH, 2015), (Nexeon), (Targray, 2015), (EnerDel, 2015), (A123, 2015).									
Tipo	Subtipo	Tensión op. (V)	Tensión nominal (V)	Temp. Operación (°C)	Ciclabilidad	Energía esp. Teórica y real (Wh/kg)	Auto descarga mensual	Eficiencia energética (dc-dc)	Máximo ratio de descarga
Plomo ácido (LA)	LA (regulada por válvula)	1,75 - 2,27	2,00	(-40;50)(25)	1200 (80% DoD; C/8)	170 (24)	2 - 4%	70 - 80%	1 C cont.
	LA (inundada)	1,75 - 2,23	2,00	(16;32)(25)	1800 (80% DoD; C/8)	170 (19)	5%	70 - 80%	1 C cont.
Alcalinas	NiCd	0,90 - 1,50	1,30	(-20;60)(25)	800 (80% DoD; C/8)	213 (47 ⁹)	10%	60 - 80%	1 C cont.
	NiMH	0,90 - 1,50	1,30	(0;40)(25)	800 (80% DoD; C/8)	240 (65 ⁹)	100%	60 - 80%	10 C cont.
Sales fundidas	Nas	2,31 - 1,63	2,10	(300;350)(300)	4500 (80% DoD; 1/C)	783 (122 ¹⁰)	0%	89%	1C cont. / 5C pico (30s)
	Na/NiCl ₂	3,10 - 1,72	2,58	(270;350)(300)	3000 (80% DoD; 1C)	790 (91, 115 ¹¹)	0%	85%	1 C cont. / 5C pico.
Litio - ión	C/LiCoO ₂	4,20 - 3,00	3,60	(-20;55)(25)	3000 (80% DoD; 1C)	709 (133 ¹²)	<5%	>92%	1 C cont.
	C/LiNiCoMnO ₂	4,10 - 3,00	3,70	(-20;55)(25)	2500 (100% DoD; C/2)	837 (130, 132, 147) ¹³	<5%	>92%	5C cont. / 30C pulso.
	C/LiFePO ₄	3,60 - 2,50	3,30	(-30;55)(25)	>3000 (100% DoD; 1C)	479 (131) ¹⁴	<3%	>92%	35C cont. / 125C pulso.
	C/LiMn2O ₄	4,20 - 3,00	3,70	(-20;55)(25)	>2000 (100% DoD; 1C)	625	<5%	>92%	10C cont. / 40C pulso.

En la Tabla 2.6 se puede observar la temperatura de operación nominal que se recomienda dada en grados centígrados, en algunos casos se puede detallar valores variables que la celda puede experimentar eventualmente. Sin embargo tanto las prestaciones como la vida útil se verán reducidos.

La ciclabilidad es el número de cargas y descargas que el equipo puede realizar a lo largo de su vida útil, en la Tabla 2.5 se hace referencia considerando tanto la profundidad de descarga como la temperatura de operación recomendada.

La Energía específica que corresponde a una celda es el cociente entre la energía libre o la cantidad máxima de trabajo que se puede aprovechar de un sistema cerrado y que termodinámicamente es liberada en las reacciones electroquímicas.

$$E_{sp} = \left(\frac{Wh}{g} \right) = \frac{n \cdot F \cdot V_{th}}{\sum M_i} \quad (2.2)$$

n es el número de electrones que están involucrados en la reacción química, F es la constante de Faraday (26.801 mAh/mol), V_{th} es la tensión teórica de las reacciones en V mientras que M_i es el peso molecular presente en la reacción y que se expresa en g [25].

La energía específica real tiene en cuenta el peso, sistemas de celda auxiliares y limitaciones prácticas de la electroquímica que se deben a aspectos relacionadas a la fabricación de celda. Auto descarga mensual se expresa en porcentaje relacionado a la máxima capacidad y la temperatura nominal de operación.

Otros factores tales como la energía específica (unidad de energía en Wh por unidad de masa, en kg) así como la potencia específica (potencia máxima en W por unidad de masa, en kg) además de la tensión y capacidad energética son factores que definen las celdas electroquímicas [25].

Considerando los factores antes citados y otros como la temperatura de operación de celda, seguridad de uso, ciclabilidad, modularidad, etc, el desarrollo de tecnología y la industria ofrece pares redox en favor de la aplicabilidad del almacenamiento electroquímico.

A manera general la química o par redox define o determina el tipo de batería en cuanto a la posibilidad de ser recargada, el rango de temperaturas, rango de operación, el tipo de traspaso iónico entre electrodos, etc [25].

El diseño de celda determina la densidad de energía y potencia de celda, los ratios de carga y descarga admisibles, vida útil, etc. En la Tabla 2.6 se compara de manera cuantitativa las diversas características de varios pares redox que se encuentran disponibles de manera comercial.

TABLA 2.7 Características técnicas de cada tecnología [26]

Tecnología	Rango de Potencia MW	Duración de Energía	Tiempo de Respuesta	Densidad de Energía	Autodescarga	Rendimiento %	Vida media	Costo de instalación US\$/kW
Bombeo Hidráulico	100-5000	1-24 h	seg-min	0.04-1.5 Wh/l	0	75	50-100	385-1650
Volante de Inercia	0.002-20	seg-15min	seg	5-130 Wh/kg	0-100	85-95	>20	1100
Aire Comprimido	100-300	1-24 h	5-15min	30-60 Wh/kg	0	55-75	25-40	550-2400
Térmico	30-100	>24 h	min	-	0.50%	50	20	3000
Superconductores Magnéticos	0.01-10	ms-5min	ms	0.05-5 Wh/kg	2-40	95	>20	500
Supercondensadores	0.01-1	ms-min	ms	0.1-15 Wh/kg	2-40	95	>20	440
Baterías de Flujo	7 a 10	>10 h	ms	50 Wh/kg	0.1	85-92	>30	
Baterías Ion litio Sodio	50	min-h	variable	250 Wh/kg	20	90	5-10años	200

La Tabla 2.7 muestra un listado de características técnicas de las diferentes tecnologías, en el caso del almacenamiento por bombeo hidráulico se tiene un alto costo de inversión y mantenimiento, presenta lenta respuesta a cambios de carga y depende de elementos ambientales.

El volante de inercia presenta un alto costo de implementación y aún es una tecnología que se encuentra en desarrollo.

El almacenamiento por aire comprimido presenta un bajo rendimiento en general. Los supercondensadores aún son tecnología en desarrollo, presentan baja densidad de energía, su nivel de autodescarga es alto por consecuencia sus costos de implementación son elevados.

En el caso de los superconductores magnéticos presentan costos elevados y la necesidad de sistemas auxiliares de gran capacidad, mientras tanto que la batería flujo redox tiene limitado rango de temperatura de trabajo, baja densidad de potencia.

En el caso de las baterías tanto de ion litio como de sodio presentan una gran capacidad de respuesta, menor velocidad de descarga, bajo mantenimiento, peso y volumen. Considerando las comparativas anteriores y en base a los datos técnicos se opta por considerar las baterías para el sistema de almacenamiento del presente trabajo.

2.3 FACTORES CONSIDERADOS PARA LA ELECCIÓN DE LA BATERÍA

Considerando los componentes químicos que conforman las baterías electroquímicas, es importante tener en cuenta la manera, así como las condiciones en las que se utilicen debido a que esto afectará al rendimiento, costo y vida útil.

Es necesario resaltar, que considerar solamente el costo para la selección de la batería tiende a ser simple, además hay otros factores que pueden tener mayor relevancia. A continuación se pueden detallar los aspectos que se deben considerar:

2.3.1 AUTODESCARGA

Es la carga que la batería pierde durante el almacenamiento cuando las reacciones de los electrodos con el electrolito continúan, depende de la tecnología de la batería así como de la temperatura.

2.3.2 CAPACIDAD ESPECÍFICA

Es la que determina la cantidad de carga que la batería es capaz de almacenar, se expresa Amperios - hora (Ah). Para comparar las diferentes tipologías se hace referencia a dos magnitudes de cada batería como el volumen (Ah/l) o la masa (Ah/kg). En cuanto a la corriente máxima se puede expresar en función de la capacidad misma que es recomendada por el fabricante.

2.3.3 CICLOS DE VIDA

El ciclo de vida de una batería es el número de ciclos completos de carga y descarga que puede completar durante su vida útil, antes de perder un rendimiento considerable [11] un ciclo de vida es determinado a una profundidad de descarga (DoD) y temperatura determinada.

El tiempo de cada ciclo depende de la aplicación así como del tamaño relativo de la instalación. De manera similar influirá en el tiempo de carga y descarga.

2.3.4 CONDICIONES AMBIENTE Y TEMPERATURA

En la batería las condiciones ambientales como la temperatura pueden tener un efecto importante sobre el rendimiento de la misma, por ejemplo con altas temperaturas ambientales se pueden provocar reacciones internas, pérdidas de capacidad, corrosión y formación de gases [11].

Los climas fríos pueden ser adversos para las baterías debido que las reacciones pueden ser lentas por lo que la descarga puede detenerse por completo por la congelación del electrolito.

Considerando este aspecto cabe acotar que las baterías de iones de litio de manera general no son tan sensibles a la temperatura como lo son las baterías de plomo-acido [27].

2.3.5 COSTO

Considerando aplicaciones económicas debemos tomar en cuenta el costo de la batería por unidad de energía almacenada.

2.3.6 CURVAS DE CARGA Y DESCARGA

Se utiliza la Figura 2.16 para definir tanto el funcionamiento como las prestaciones de una batería. En la misma se diferencian dos curvas: una para la tensión (V) y la otra se utiliza para la potencia (W) considerando ambas en función de la capacidad (Ah).

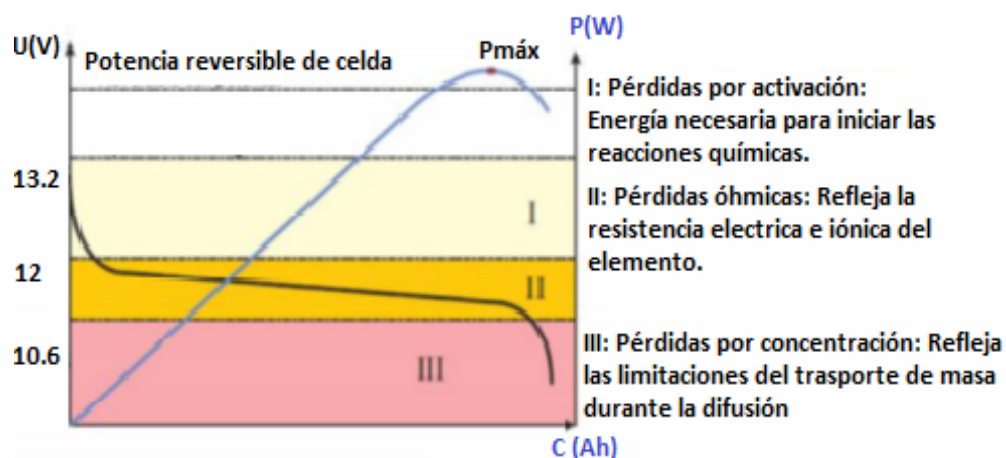


Figura 2.16 Curva característica de la batería [28]

2.3.7 EFICIENCIA ENERGÉTICA (%)

Es la relación entre la energía necesaria para la carga y la energía eléctrica que se proporciona por la batería, de manera ideal sería un 100%.

Existen diversos fenómenos que pueden provocar pérdidas en las baterías entre las que destacan tres tipos:

- Pérdidas de activación. Cuentan con una dependencia logarítmica con la corriente, con ellas se refleja la dificultad para que ocurra la reacción entre la materia activa de la batería.
- Pérdidas óhmicas. Tienen una dependencia lineal con la corriente, ocurren con la oposición al flujo de electrones e iones de los componentes de la batería.
- Pérdidas de Concentración. La materia activa se agota de acuerdo con la descarga de la batería, esto depende del estado de carga y de la corriente.

2.3.8 DENSIDAD DE ENERGÍA

La energía específica pertenece a la energía que puede almacenar la batería en relación a su masa o a su volumen, la densidad determina el espacio que ocupará la batería, el cual puede estar limitado.

2.3.9 EFECTO MEMORIA

Debido al paso del tiempo sobre la batería se reduce la capacidad por el uso inadecuado, ya sean cargas o descargas incompletas, esto se conoce como efecto memoria. En el interior de la celda se crean estructuras cristalinas que debilitan los electrodos y aumentan la impedancia interna de la celda.

2.3.10 ESTADO DE CARGA (%) o SOC (State of Charge)

El mismo indica la situación actual de carga de la batería de manera porcentual, respecto a la capacidad nominal cuando la batería está completamente cargada lo que expresa cuanto tiempo le queda de funcionamiento antes que requiera nueva carga.

2.3.11 ESTADO DE SALUD (%) o SOH (State of Health)

Es la razón entre la capacidad medida y la capacidad nominal. Sobresale la degradación y el envejecimiento experimentado por la batería, lo que afecta notablemente la capacidad de la misma, la determinación del SoH de una batería ayuda de manera eficaz a identificar las capacidades de energía de la batería permitiendo establecer el régimen de carga adecuado.

2.3.12 GARANTÍAS.

En la actualidad la mayoría de las baterías tienen una garantía superior a los 10 años misma que empieza cuando se adquiere.

2.3.13 FABRICANTES

Como ya se mencionó antes las baterías de cada fabricante difieren por lo tanto también lo harán las características, razón por la cual cada fabricante se encargará de especificar todos los parámetros característicos de la batería que fabrica.

2.3.14 MANTENIMIENTO

La observación de las medidas establecidas en las normas de operación y mantenimiento permite el buen uso de las baterías en condiciones óptimas, es lo que se conoce como mantenimiento preventivo.

El mantenimiento correctivo es lo que se realiza cuando se debe sustituir alguna celda debido a dificultades o inconvenientes de índole eléctrica, se debe considerar que ciertas tecnologías requieren un mantenimiento más costoso que otras.

2.3.15 POTENCIA ESPECÍFICA (W/kg)

Indica la potencia instantánea que puede suministrar una batería por unidad de masa, cada batería tiene un límite de potencia. Mientras más potencia tenga la batería, tendrá mejores prestaciones.

2.3.16 SEGURIDAD

El trabajo que se vaya a realizar con baterías implica que se va tener contacto con sustancias que pueden ser peligrosas tales como gases, ácidos corrosivos entre otros razón por la cual se deben considerar todas las medidas necesarias de seguridad.

2.3.17 TENSIÓN

La tensión es un parámetro importante ya que un mayor potencial por cada celda permitiría un menor número de celdas a conectar serie para conseguir una mayor tensión nominal en la batería y en paralelo se consigue suministrar una menor corriente a la misma potencia. El voltaje por celda electroquímica se determina por los potenciales de cada electrodo.

La tensión en vacío es la que tiene la batería entre sus terminales cuando no se cierra un circuito a través de ellos, su valor depende de la naturaleza química que se utilice.

La tensión en circuito cerrado aparece entre los terminales de una batería cuando se conecta a una carga, cuando una batería entrega energía a una carga, su tensión disminuye tanto o más, cuanto mayor sea la corriente de descarga.

2.3.18 VIDA ÚTIL

Hace referencia al tiempo que una batería tarda en disminuir su capacidad al 80% del total. La misma está ligada al DoD debido a que, en función de la profundidad de descarga, la batería puede efectuar un mayor número de ciclos de carga y descarga, es decir a mayor DoD, menor número de ciclos. La Figura 2.18 muestra los factores a considerar para la selección de la batería.

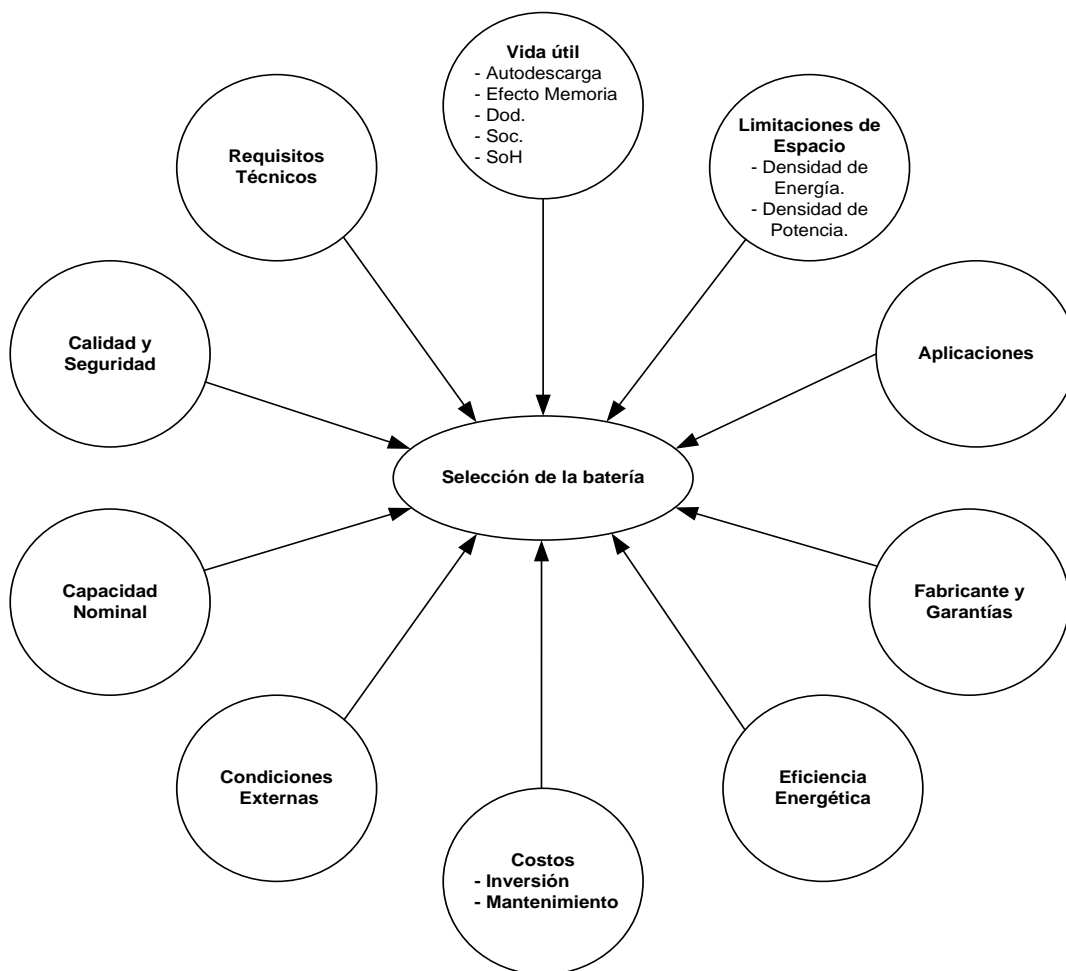


Figura 2.18 Factores para la selección de la batería (Fuente: Elaboración propia)

Los factores indicados proporcionarán la información necesaria para la correcta selección de la batería que se utilizará en el sistema de almacenamiento propuesto.

2.4 RENDIMIENTO DE LA BATERÍA

La batería se puede considerar como una fuente de tensión real, la misma posee una resistencia interna que es inversamente proporcional al estado de carga, es así que mientras la batería sufre una descarga, su resistencia interna se incrementa de manera considerable. [29]

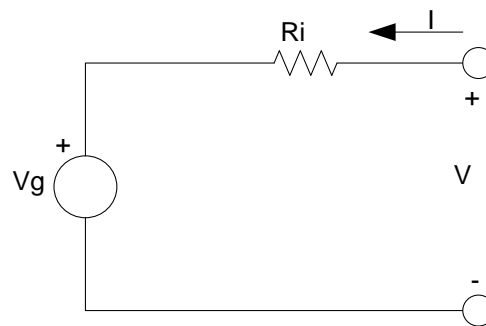


Figura 2.19 Circuito Equivalente de una Batería. (Fuente: Elaboración propia)

El circuito equivalente de una batería de manera general se muestra en la Figura 2.19, el desempeño cuando empieza a funcionar la batería se define por dos indicadores relevantes detallados en párrafos anteriores.

El SOC (Estado de carga de la batería) es la relación entre la porción de energía capaz de almacenar la batería y la capacidad que dispone constantemente.

Si el SOC se acerca al 100% la batería no es capaz de almacenar más energía debido a que su capacidad nominal se encuentra al tope, lo contrario sucede cuando se acerca al 0%, esto significa que la batería no posee energía que pueda entregar al sistema [30].

La capacidad de la batería es inversamente proporcional a la intensidad de carga que fluye por la batería en un instante de tiempo, por lo tanto, a medida que la corriente se incrementa, la capacidad disminuye y el SOC de la batería se incrementa. Este término se conoce como la Ley de Peukert⁹ y su constante tiene distintos valores típicos para las baterías de plomo y litio por ejemplo.

El segundo indicador que se conoce como LOE (Nivel de Energía) proporciona información de la cantidad de energía que posee la batería en un instante de tiempo y en condiciones normales de trabajo, representando de forma directa únicamente la energía que se encuentra almacenada en la batería [29].

Si una batería presenta un SOC de 100% y un LOE que difiere de este valor, en centro instante de tiempo se consideraría que el acumulador está saturado a una fracción de la capacidad nominal [29].

De manera general y una vez que se definen ambos indicadores antes mencionados, se analiza el comportamiento de la batería según la zona de trabajo como se observa en la Figura 2.20.

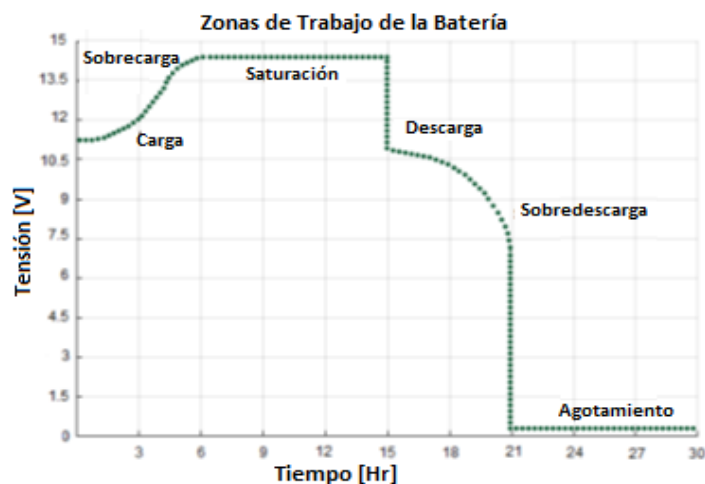


Figura 2.20 Evolución de la tensión en la batería [29].

⁹ Ley de Peukert es la relación entre el estado de carga de una batería y su ratio de descarga, a mayor ratio de descarga, menor capacidad de la batería.

Las zonas de Carga y Descarga se consideran las mejores para el funcionamiento de la batería debido a que presentan un excelente rendimiento energético con un mínimo porcentaje de daños considerables a lo largo del tiempo [29].

El momento que se extrae una cantidad excesiva de energía a la batería opera en la zona de sobre descarga, es ahí donde la tensión en la batería decrece de manera considerable debido a los efectos poco lineales producto de las reacciones químicas que se presentan en el interior de la batería. Se debe evitar en esta zona debido a su alto nivel de peligrosidad.

Por lo general los controladores de carga realizan una desconexión cuando la batería entra a esta zona de trabajo, y la vuelve a conectar cuando existe un exceso de energía para cargar la batería [29].

La batería opera en la zona de sobrecarga cuando ya se ha almacenado suficiente energía con respecto a la capacidad real en un punto de trabajo, por lo tanto se refiere a que la capacidad que se encontraba disponible ya se llenó más no a que la batería se encuentre completamente cargada [31].

Cuando la batería no puede aceptar más energía por un tiempo indefinido y finalmente no asimila más carga se encuentra en un estado de saturación. Se hace necesaria la desconexión por parte del regulador y así permitir el abastecimiento de energía a las cargas conectadas, caso contrario el acumulador presentara daños permanentes.

La zona de agotamiento es la que se considera más peligrosa debido a que causa daños serios a la batería y se presenta cuando el SOC es igual a 0%. Puede aparecer una tensión residual en circuito abierto, pero no asegura que el acumular pueda suministrar más corriente.

CAPITULO III

DIAGNOSTICO DEL ALIMENTADOR 0524

3.1. CARACTERÍSTICAS GENERALES

Considerando que los sistemas de almacenamiento de energía deben ser eficientes y duraderos con el mínimo costo se tiene que enfatizar tres características que tienen importancia fundamental para la implementación de dicho sistema, estas son: capacidad de transporte, densidad de energía y la duración de almacenamiento [21].

En el caso de este proyecto de investigación se obtuvieron los datos referentes al alimentador 0524 como recorrido, calibre de conductores, número de abonados, cargas conectadas al mismo, así como valores de consumo de energía referentes a los doce meses del año 2019 obteniendo valores reales de comportamiento del consumo energético de los usuarios.

Se propone aplicar el almacenamiento de energía mediante baterías al alimentador 0524 correspondiente al sistema de distribución perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur.

Como antecedente del comportamiento de consumo del alimentador se presentan las curvas de carga acorde al ARCONEL y que presentan distintos comportamientos de consumo como se puede apreciar en la Figura 3.1 y Figura 3.2, esto debido a factores como estrato de consumo, épocas del año y tipo de consumidores.

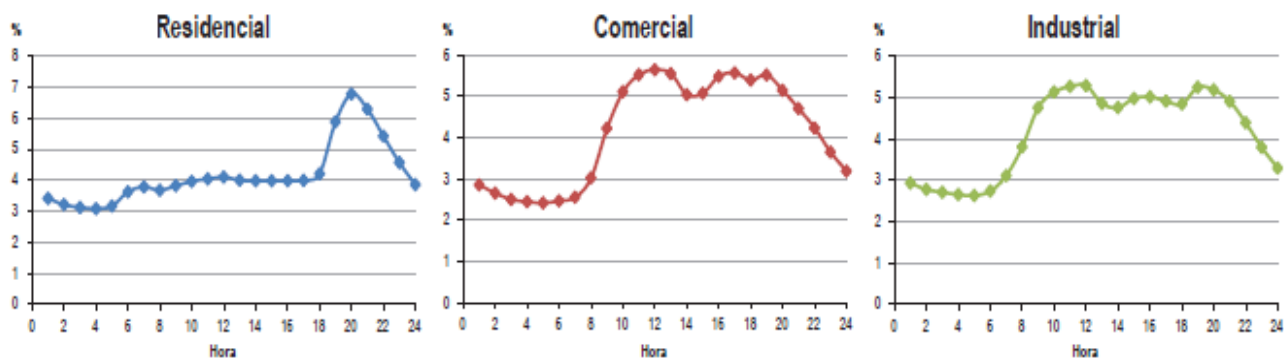


Figura 3.1 Curvas de carga Residencial, Comercial e industrial [32].

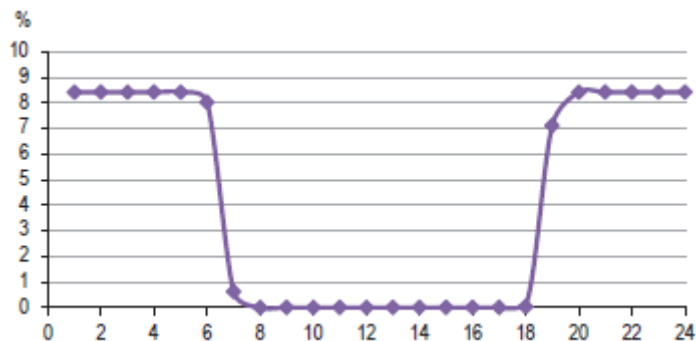


Figura 3.2 Curva de carga – Alumbrado Público [32].

El alumbrado público tiene un comportamiento particular debido a que las curvas cuentan con un perfil de valle en el que presenta una demanda instantánea al momento de la puesta del sol lo que hace caer a 0 en la salida, es así que el perfil se determina en función de los horarios de salida y puesta del sol con una evaluación de 365 días al año. Con respecto al comportamiento que la demanda de la cocina de inducción va a generar desde el punto de vista del consumo eléctrico y que se puede observar en la Figura 3.3, de manera particular en el perfil de carga típico el cliente residencial se puede mostrar lo siguiente:

- Se asume un consumo promedio de 100 kWh/mes/cliente por uso de la cocina.
- El perfil presenta tres picos definidos que se originan en la mañana, medio día y tarde-noche.

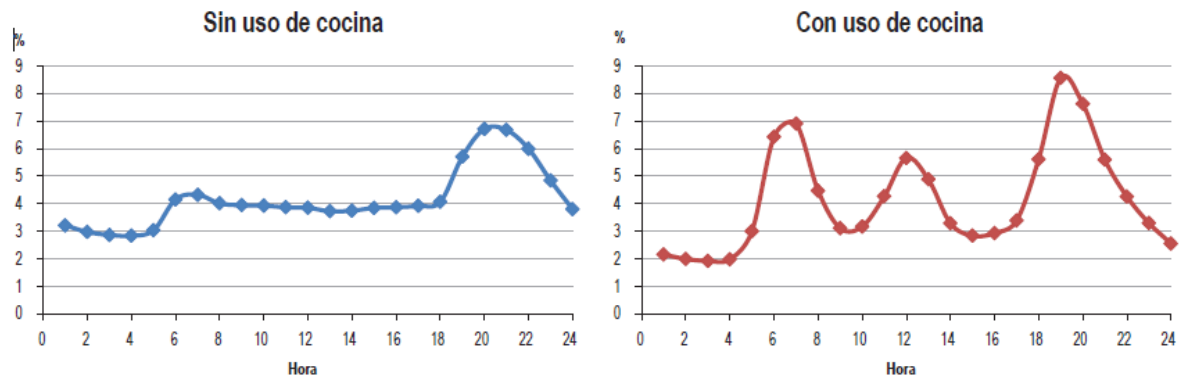


Figura 3.3 Impacto del uso de la cocina en el perfil de carga residencial [32].

Se debe tener en consideración que en el nivel de tensión que utiliza la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur en las subestaciones es de 22 KV en el caso de los alimentadores primarios que en la mayoría son aéreos, mientras tanto en la red subterránea del centro histórico el nivel de tensión está a un nivel de 6.3 KV.

En el caso de la subestación 05 que se ubica en el sector El Arenal (S/E 05) existen 10 alimentadores primarios a 22 KV, su referencia es por alimentador desde el 0521 hasta el 05210 donde 05 indica la subestación de arranque, el 2 indica el nivel de voltaje y el último número indica de manera secuencial el alimentador primario.

La red de distribución primaria está constituida por líneas eléctricas que se denominan alimentadores primarios, los mismos que están configurados de manera radial, tienen interconexiones que facilitan las labores de operación, reposición o cambio de equipos o mejoras siendo este último aspecto lo que se pretende reemplazar con la implementación del almacenamiento de energía.

El alimentador debe llevar la carga total en el área de la red, aun cuando algún circuito de subtransmisión se encuentre fuera de operación, sin sobrecargar seriamente cualquier línea de la red o circuito de enlace lo que se logra distribuyendo de manera proporcional las carga a otros alimentadores siempre y

cuando la configuración de red lo permita, esta es una de las ventajas que el almacenamiento de energía puede aportar a más de obviar restricciones de capacidad de los transformadores, pérdidas, caídas de tensión, así como los límites térmicos de los alimentadores y por ende los circuitos de enlace.

Los datos a utilizar para el caso de estudio son los datos reales obtenidos mediante equipos de medición ubicados en cada subestación se censan los datos tanto de potencia activa como reactiva en períodos de 15 minutos en cada alimentador como se muestra en la Tabla 3.1.

TABLA 3.1 Datos de potencia Activa y Reactiva censada cada 15 min.
(Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur)

1/1/2019		SUBESTACION 05															
		0524		0525		0526		0527		0528		0529		05210		TOTAL	
HORA		P.(MW)	Q.(MVAR)	P.(MW)	Q.(MVAR)	P.(MW)	Q.(MVAR)	P.(MW)	Q.(MVAR)	P.(MW)	Q.(MVAR)	P.(MW)	Q.(MVAR)	P.(MW)	Q.(MVAR)	P.(MW)	Q.(MVAR)
0:00		1.710	-0.070	2.960	0.310	2.210	0.500	1.984	-0.112	0.000	0.000	1.933	-0.461	1.952	0.312	20.189	1.149
0:15		1.700	-0.090	2.920	0.320	2.240	0.520	1.991	-0.118	0.000	0.000	2.005	-0.452	2.006	0.334	20.142	1.144
0:30		1.690	-0.090	2.920	0.330	2.210	0.500	1.952	-0.120	0.000	0.000	1.978	-0.460	2.000	0.335	20.030	1.185
0:45		1.660	-0.090	2.880	0.310	2.210	0.510	1.932	-0.106	0.000	0.000	1.938	-0.486	1.956	0.322	19.736	1.130
1:00		1.670	-0.090	2.820	0.330	2.210	0.510	1.902	-0.107	0.000	0.000	1.916	-0.464	1.939	0.328	19.477	1.197
1:15		1.660	-0.080	2.820	0.330	2.150	0.500	1.872	-0.126	0.000	0.000	1.891	-0.460	1.895	0.317	19.158	1.171
1:30		1.580	-0.100	2.750	0.330	2.140	0.500	1.820	-0.126	0.000	0.000	1.851	-0.459	1.880	0.335	18.811	1.170
1:45		1.580	-0.080	2.700	0.330	2.090	0.500	1.801	-0.121	0.000	0.000	1.835	-0.453	1.840	0.334	18.456	1.189
2:00		1.540	-0.080	2.620	0.330	2.060	0.510	1.797	-0.100	0.000	0.000	1.736	-0.488	1.808	0.335	18.001	1.197
2:15		1.500	-0.110	2.530	0.290	2.020	0.500	1.752	-0.104	0.000	0.000	1.697	-0.478	1.779	0.336	17.618	1.185
2:30		1.500	-0.090	2.530	0.330	2.020	0.510	1.717	-0.113	0.000	0.000	1.675	-0.467	1.760	0.345	17.482	1.224
2:45		1.450	-0.080	2.440	0.300	1.930	0.510	1.695	-0.118	0.000	0.000	1.644	-0.476	1.719	0.340	16.988	1.147
3:00		1.410	-0.100	2.400	0.310	1.930	0.500	1.664	-0.104	0.000	0.000	1.607	-0.477	1.686	0.334	16.698	1.133
3:15		1.430	-0.080	2.380	0.330	1.900	0.500	1.629	-0.099	0.000	0.000	1.588	-0.471	1.668	0.343	16.466	1.203
3:30		1.390	-0.100	2.330	0.330	1.890	0.500	1.580	-0.117	0.000	0.000	1.548	-0.474	1.664	0.355	16.192	1.174
3:45		1.370	-0.080	2.240	0.310	1.880	0.500	1.563	-0.119	0.000	0.000	1.568	-0.456	1.633	0.348	15.993	1.183
4:00		1.350	-0.080	2.240	0.320	1.850	0.520	1.554	-0.118	0.000	0.000	1.518	-0.453	1.604	0.340	15.826	1.219
4:15		1.340	-0.100	2.220	0.300	1.810	0.490	1.540	-0.112	0.000	0.000	1.483	-0.475	1.591	0.348	15.643	1.142
4:30		1.310	-0.100	2.160	0.300	1.810	0.490	1.519	-0.116	0.000	0.000	1.485	-0.457	1.561	0.331	15.435	1.119
4:45		1.300	-0.090	2.160	0.300	1.780	0.460	1.498	-0.113	0.000	0.000	1.480	-0.471	1.559	0.319	15.277	1.045
5:00		1.300	-0.100	2.140	0.320	1.770	0.470	1.479	-0.130	0.000	0.000	1.421	-0.492	1.560	0.321	15.201	0.989
5:15		1.240	-0.130	2.120	0.290	1.770	0.450	1.456	-0.125	0.000	0.000	1.445	-0.476	1.530	0.296	15.011	0.875
5:30		1.250	-0.120	2.090	0.250	1.750	0.470	1.445	-0.130	0.000	0.000	1.432	-0.488	1.516	0.313	14.973	0.905
5:45		1.250	-0.120	2.110	0.260	1.720	0.450	1.436	-0.137	0.000	0.000	1.424	-0.489	1.508	0.311	14.908	0.865
6:00		1.160	-0.140	1.830	0.260	1.570	0.420	1.304	-0.171	0.000	0.000	1.260	-0.520	1.350	0.294	13.415	0.693
6:15		0.960	-0.170	1.590	0.230	1.380	0.400	1.063	-0.207	0.000	0.000	1.100	-0.514	1.194	0.278	11.347	0.487
6:30		0.900	-0.180	1.550	0.230	1.310	0.400	0.954	-0.186	0.000	0.000	1.048	-0.525	1.138	0.293	10.830	0.531
6:45		0.910	-0.160	1.530	0.220	1.300	0.400	0.941	-0.179	0.000	0.000	1.058	-0.520	1.142	0.287	10.831	0.548

Para la captura de datos existen un conjunto de equipos que permiten adquirir en tiempo real las variables eléctricas, dentro de los cuales destaca El IED¹⁰ instalado

¹⁰ Dispositivo electrónico inteligente, que contiene procesadores con la capacidad de recibir y enviar información desde o hacia una fuente externa, como controladores de bahía, relés de protección, relés concentradores de señales, registradores de fallas.

en la subestación 5 y que utiliza la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur para la recopilación de los datos que se utilizan en este trabajo es el SIEMENS 7SJ85 que se muestra en la Figura 3.4, el mismo es un equipo capaz de recibir y enviar información en tiempo real para la verificación en el centro de control.

El dispositivo en mención realiza el censo en líneas de alimentación en uno o dos extremos, líneas paralelas y sistemas de anillo en circuito abierto o cerrado en todos los niveles de voltaje.

Este equipo también es capaz de realizar la regulación o control de transformadores de potencia (dos o tres devanados, transformadores de acoplamiento de red).



Figura 3.4 Dispositivo SIEMENS 7SJ85 (Fuente: Data sheet 7SJ85)

En la Tabla 3.1 se muestran los valores correspondientes a los alimentadores que conforman la subestación 05, estos datos son los obtenidos en el día 01 del mes de enero del año 2019, es una muestra de los valores que se tienen para el desarrollo del trabajo, se puede observar que los datos son censados cada 15 minutos el rango que se muestra abarca las 6 primeras horas del día.

3.1.1 ANALISIS DE DATOS

Para establecer el comportamiento del alimentador y la curva de demanda necesaria para dimensionamiento del banco de baterías se consideró los datos establecidos de cada día durante 12 meses, de esta manera se obtuvo la potencia entregada por el alimentador en intervalos de 15 minutos, al tener las potencias medidas se procedió a realizar el promedio de consumo de cada hora para obtener un valor más preciso del comportamiento del alimentador a lo largo del año.

La Tabla 3.2 contiene los valores de potencia censada las 24 horas del día 1 del año 2019 correspondiente a cada mes.

TABLA 3.2 Demanda del alimentador 0524 durante el día 1 del año 2019.
(Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur)

HORA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
	P (MW)	P (MW)	P (MW)	P (MW)	P (MW)	P (MW)	P (MW)	P (MW)	P (MW)	P (MW)	P (MW)	P (MW)	
0:00	1.710	2.420	1.930	1.990	2.780	1.950	2.010	3.060	1.750	3.210	2.210	1.820	2.237
0:15	1.700	2.510	1.780	2.030	2.520	1.870	2.160	3.140	1.850	3.040	2.060	1.710	2.198
0:30	1.690	2.450	1.690	2.080	2.430	1.780	2.150	3.110	1.720	2.990	2.180	1.780	2.171
0:45	1.660	2.460	1.730	2.080	2.550	1.690	2.120	3.100	1.690	2.940	2.020	1.690	2.144
1:00	1.670	2.390	1.630	2.080	2.470	1.740	2.090	3.060	1.700	3.090	1.980	1.680	2.132
1:15	1.660	2.390	1.650	2.010	2.500	1.740	2.020	3.090	1.650	2.960	1.930	1.600	2.100
1:30	1.580	2.250	1.590	2.250	2.450	1.680	2.050	2.920	1.610	2.950	1.900	1.680	2.076
1:45	1.580	2.210	1.430	2.100	2.530	1.650	2.130	2.960	1.630	2.900	1.890	1.570	2.048
2:00	1.540	2.290	1.430	2.150	2.570	1.650	1.980	3.040	1.580	2.870	1.940	1.660	2.058
2:15	1.500	2.230	1.390	2.170	2.440	1.600	2.130	3.040	1.580	2.700	1.760	1.550	2.008
2:30	1.500	2.240	1.370	2.130	2.370	1.580	2.200	2.810	1.540	2.710	1.830	1.620	1.992
2:45	1.450	2.210	1.390	2.270	2.290	1.630	2.250	2.810	1.550	2.700	1.760	1.580	1.991
3:00	1.410	1.910	1.370	1.970	2.230	1.540	2.240	2.630	1.480	2.710	1.760	1.540	1.899
3:15	1.430	1.920	1.370	1.860	2.450	1.550	1.950	2.400	1.620	2.430	1.830	1.630	1.870
3:30	1.390	1.920	1.340	1.970	2.380	1.550	2.090	2.470	1.510	2.320	1.730	1.530	1.850
3:45	1.370	2.140	1.410	2.070	2.370	1.470	2.140	2.720	1.460	2.420	1.730	1.530	1.903
4:00	1.350	2.250	1.350	2.120	2.290	1.540	2.180	2.510	1.510	2.400	1.770	1.490	1.897
4:15	1.340	2.160	1.350	2.120	2.390	1.480	2.110	2.710	1.420	2.400	1.780	1.530	1.899
4:30	1.310	2.200	1.360	2.210	2.520	1.550	1.970	2.610	1.470	2.410	1.720	1.540	1.906
4:45	1.300	2.020	1.350	2.180	2.320	1.550	2.020	2.730	1.520	2.380	1.980	1.480	1.903



5:00	1.300	2.200	1.370	2.200	2.330	1.560	2.100	2.660	1.450	2.410	1.770	1.580	1.911
5:15	1.240	2.260	1.370	2.170	2.420	1.590	2.230	2.770	1.470	2.550	1.960	1.530	1.963
5:30	1.250	2.400	1.420	2.180	2.470	1.540	2.250	2.770	1.520	2.550	1.790	1.530	1.973
5:45	1.250	2.370	1.470	2.340	2.590	1.620	2.430	2.950	1.570	2.640	1.820	1.610	2.055
6:00	1.160	2.580	1.570	2.440	2.520	1.590	2.390	2.920	1.500	2.590	1.600	1.450	2.026
6:15	0.960	2.340	1.600	2.490	2.330	1.520	2.450	2.540	1.300	2.690	1.530	1.270	1.918
6:30	0.900	2.210	1.390	2.250	2.280	1.380	2.480	2.800	1.090	2.720	1.580	1.300	1.865
6:45	0.910	2.100	1.410	2.190	2.380	1.400	2.510	2.800	1.170	2.800	1.630	1.250	1.879
7:00	0.940	2.770	1.480	2.490	2.570	1.550	2.620	3.000	1.160	2.900	1.590	1.320	2.033
7:15	0.960	2.990	1.570	2.810	2.730	1.600	2.850	3.120	1.210	3.040	1.670	1.310	2.155
7:30	0.960	3.500	1.570	3.250	2.730	1.860	2.990	3.270	1.240	3.390	2.000	1.410	2.348
7:45	0.960	3.160	1.670	3.210	2.770	1.820	2.990	3.360	1.310	3.230	2.030	1.330	2.320
8:00	0.980	3.230	1.670	2.920	2.810	1.830	3.070	3.430	1.290	3.370	2.080	1.390	2.339
8:15	1.020	3.330	1.730	3.260	3.100	1.940	3.190	3.470	1.300	3.560	2.150	1.270	2.443
8:30	1.020	3.300	1.730	3.480	3.210	1.950	3.290	3.700	1.340	3.500	2.310	1.340	2.514
8:45	1.080	3.300	1.770	3.320	3.330	2.000	3.320	3.440	1.340	3.580	2.360	1.590	2.536
9:00	1.080	3.400	1.920	3.500	3.250	2.140	3.230	3.600	1.410	3.480	2.510	1.670	2.599
9:15	1.120	3.430	2.020	3.670	3.430	2.070	3.390	3.770	1.490	3.520	2.420	1.610	2.662
9:30	1.140	3.590	1.970	3.480	3.260	2.180	3.390	3.750	1.530	3.520	2.450	1.770	2.669
9:45	1.140	3.560	2.010	3.440	3.310	2.190	3.350	3.670	1.480	3.790	2.450	1.930	2.693
10:00	1.160	3.430	2.030	3.450	3.360	2.230	3.400	3.830	1.530	3.660	2.430	1.910	2.702
10:15	1.220	3.490	2.170	3.390	3.370	2.140	3.270	3.730	1.550	3.730	2.500	1.860	2.702
10:30	1.190	3.410	2.150	3.510	3.430	2.220	3.480	3.880	1.530	3.790	2.480	1.880	2.746
10:45	1.210	3.550	2.180	3.070	3.200	2.200	3.590	3.570	1.530	3.640	2.450	1.880	2.673
11:00	1.290	3.230	2.250	3.480	3.210	2.150	3.310	3.560	1.480	3.510	2.390	1.980	2.653
11:15	1.320	3.320	2.150	3.540	3.160	2.230	3.190	3.580	1.570	3.480	2.390	1.940	2.656
11:30	1.360	3.520	2.280	3.670	3.240	2.170	3.530	3.460	1.540	3.710	2.500	1.880	2.738
11:45	1.380	3.460	2.210	3.490	3.410	2.190	3.470	3.560	1.600	3.800	2.470	1.970	2.751
12:00	1.330	3.510	2.270	3.590	3.480	2.180	3.560	3.580	1.580	3.580	2.410	1.980	2.754
12:15	1.380	3.520	2.250	3.560	3.260	2.000	3.400	3.500	1.630	3.790	2.660	1.970	2.743
12:30	1.370	3.440	2.210	3.500	3.400	1.990	3.540	3.570	1.600	3.690	2.700	1.920	2.744
12:45	1.410	3.330	2.240	3.540	3.350	1.980	3.450	3.630	1.610	3.670	2.640	1.850	2.725
13:00	1.370	3.450	2.220	3.490	3.280	2.000	3.480	3.690	1.620	3.680	2.550	1.790	2.718
13:15	1.340	3.160	2.110	3.530	3.280	1.810	3.380	3.700	1.560	3.640	2.600	1.780	2.658
13:30	1.310	3.290	2.240	3.450	3.260	1.820	3.370	3.810	1.550	3.740	2.600	1.780	2.685
13:45	1.340	3.410	2.270	3.640	3.100	1.730	3.450	3.510	1.500	3.730	2.570	1.640	2.658
14:00	1.290	3.530	2.260	3.640	3.080	1.690	3.480	3.690	1.530	3.660	2.530	1.590	2.664
14:15	1.290	3.430	2.310	3.630	3.280	1.910	3.500	3.630	1.530	3.690	2.560	1.560	2.693
14:30	1.340	3.450	2.320	3.570	3.340	1.890	3.480	3.560	1.500	3.740	2.470	1.550	2.684
14:45	1.290	3.340	2.340	3.680	3.490	1.830	3.480	3.600	1.520	3.740	2.590	1.620	2.710



15:00	1.320	3.340	2.410	3.760	3.350	1.910	3.490	3.360	1.450	3.730	2.400	1.560	2.673
15:15	1.300	3.170	2.410	3.610	3.350	1.860	3.410	3.300	1.490	3.820	2.560	1.580	2.655
15:30	1.300	3.060	2.370	3.460	3.390	1.820	3.540	3.240	1.440	3.670	2.330	1.620	2.603
15:45	1.310	3.170	2.300	3.620	3.300	1.820	3.740	3.410	1.480	3.390	2.270	1.580	2.616
16:00	1.320	3.170	2.330	3.750	3.260	1.870	3.660	3.410	1.530	3.380	2.290	1.670	2.637
16:15	1.320	3.170	2.260	3.750	3.360	1.910	3.850	3.350	1.520	3.510	2.240	1.680	2.660
16:30	1.350	2.850	2.280	3.850	3.320	1.880	3.780	3.390	1.510	3.490	2.210	1.650	2.630
16:45	1.350	2.910	2.330	3.950	3.140	1.720	3.790	3.500	1.550	3.670	2.180	1.690	2.648
17:00	1.370	2.910	2.330	3.730	3.260	1.750	3.960	3.340	1.490	3.430	2.170	1.650	2.616
17:15	1.390	2.890	2.330	3.640	3.190	1.780	3.820	3.340	1.550	3.410	2.340	1.660	2.612
17:30	1.390	3.230	2.350	3.710	3.110	1.890	3.870	3.040	1.600	3.470	2.320	1.680	2.638
17:45	1.390	3.330	2.360	3.760	2.900	1.900	3.830	3.170	1.650	3.610	2.320	1.680	2.658
18:00	1.430	3.260	2.440	3.760	2.900	2.080	3.770	3.290	1.650	3.610	2.420	1.790	2.700
18:15	1.520	3.250	2.510	3.940	2.950	2.410	3.800	3.390	1.720	3.600	2.780	2.000	2.823
18:30	1.620	3.360	2.710	4.070	3.390	2.450	3.940	3.410	1.970	4.110	2.780	2.330	3.012
18:45	1.940	3.460	2.800	4.240	3.810	2.500	4.270	3.690	2.250	4.110	2.830	2.500	3.200
19:00	2.160	3.810	2.740	4.170	4.030	2.510	4.340	3.790	2.270	4.080	2.830	2.530	3.272
19:15	2.250	3.600	2.840	4.170	3.910	2.510	4.230	3.670	2.300	4.000	2.620	2.560	3.222
19:30	2.250	3.660	2.640	4.010	3.740	2.550	3.880	3.650	2.350	3.820	2.750	2.560	3.155
19:45	2.260	3.640	2.660	3.950	3.700	2.570	4.160	3.560	2.370	3.730	2.680	2.610	3.158
20:00	2.260	3.620	2.760	3.880	3.960	2.570	4.210	3.720	2.310	4.070	2.740	2.540	3.220
20:15	2.200	3.600	2.700	4.160	3.910	2.540	4.180	3.660	2.390	4.050	2.660	2.590	3.220
20:30	2.270	3.540	2.700	4.120	3.900	2.570	4.190	3.600	2.390	4.070	2.670	2.610	3.219
20:45	2.240	3.590	2.710	4.010	3.840	2.590	4.180	3.580	2.370	4.070	2.640	2.520	3.195
21:00	2.220	3.710	2.710	4.410	3.880	2.400	4.180	3.730	2.370	3.990	2.510	2.550	3.222
21:15	2.190	3.660	2.460	4.110	3.960	2.320	4.050	3.640	2.250	3.940	2.350	2.460	3.116
21:30	2.110	3.480	2.420	4.210	3.720	2.250	4.090	3.680	2.250	3.960	2.410	2.400	3.082
21:45	2.080	3.430	2.520	4.030	3.620	2.320	3.950	3.710	2.180	3.850	2.410	2.440	3.045
22:00	2.030	3.000	2.380	4.040	3.600	2.230	3.980	3.590	2.150	3.720	2.350	2.310	2.948
22:15	1.960	2.980	2.360	3.650	3.580	2.230	3.860	3.400	2.380	3.670	2.300	2.290	2.888
22:30	1.930	2.780	2.440	3.770	3.510	2.160	3.810	3.340	2.240	3.640	2.220	2.360	2.850
22:45	1.810	2.670	2.130	3.580	3.430	2.020	3.780	3.230	2.140	3.370	2.150	2.170	2.707
23:00	1.740	2.730	2.140	3.570	3.330	1.930	3.610	3.220	2.220	3.430	2.140	2.000	2.672
23:15	1.690	2.590	2.070	3.470	3.100	1.890	3.330	3.110	2.090	3.280	1.990	2.020	2.553
23:30	1.650	2.500	2.070	3.170	2.990	1.750	3.350	3.020	1.990	3.110	1.930	2.120	2.471
23:45	1.590	2.350	1.910	2.940	2.830	1.680	3.350	2.960	1.890	3.120	1.910	2.080	2.384

Graficando los valores que se indican en la Tabla 3.2 obtiene el perfil de carga del alimentador 0524 correspondiente al día 1 del año 2019, el mismo se puede apreciar en la Figura 3.5.

Se observa que los valores valle se dan a las 3h30 y 06h30, mientras que su pico se establece a las 19h15 manteniendo el consumo hasta alrededor de las 21h00.

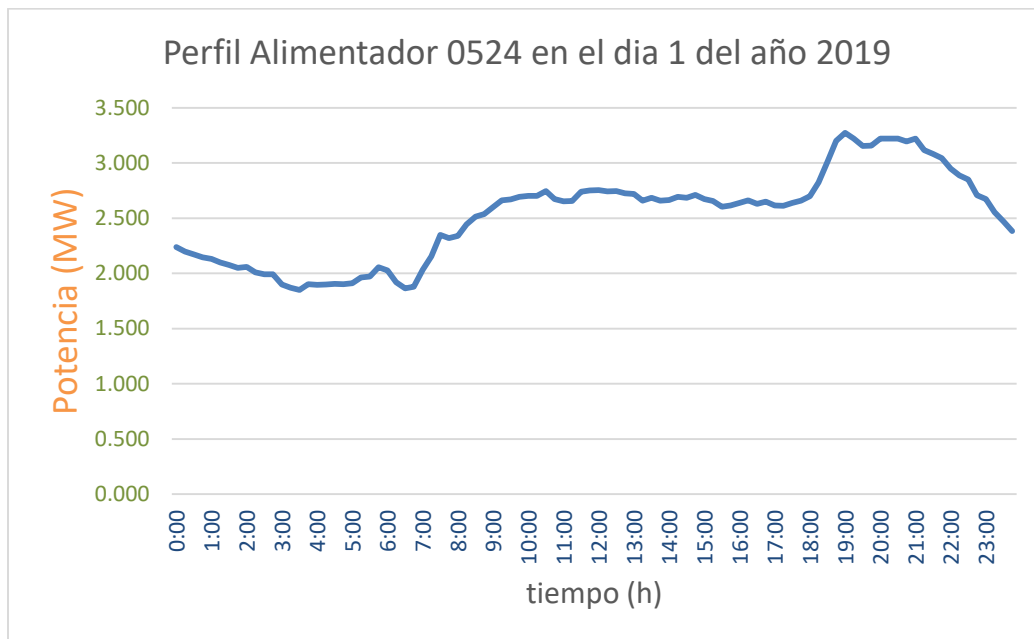


Figura 3.5 Perfil del Alimentador 0524 día 01-01-2019
(Elaboración Propia).

Debido a que se cuenta con los datos de potencia activa censados cada 15 minutos de cada uno de los días en cada mes, se grafica el comportamiento de la curva de demanda promedio a lo largo de los doce meses. El comportamiento se puede apreciar en la Figura 3.6.

Los datos recopilados muestran que el comportamiento del alimentador presenta mayor consumo los tres primeros días de cada mes del año 2019, mientras que los demás presentan menores valores.

Los valores valle se dan alrededor de las 06h30 con 1 MW mientras que los valores pico se presentan alrededor de las 18h45 pm con 3.5 MW.

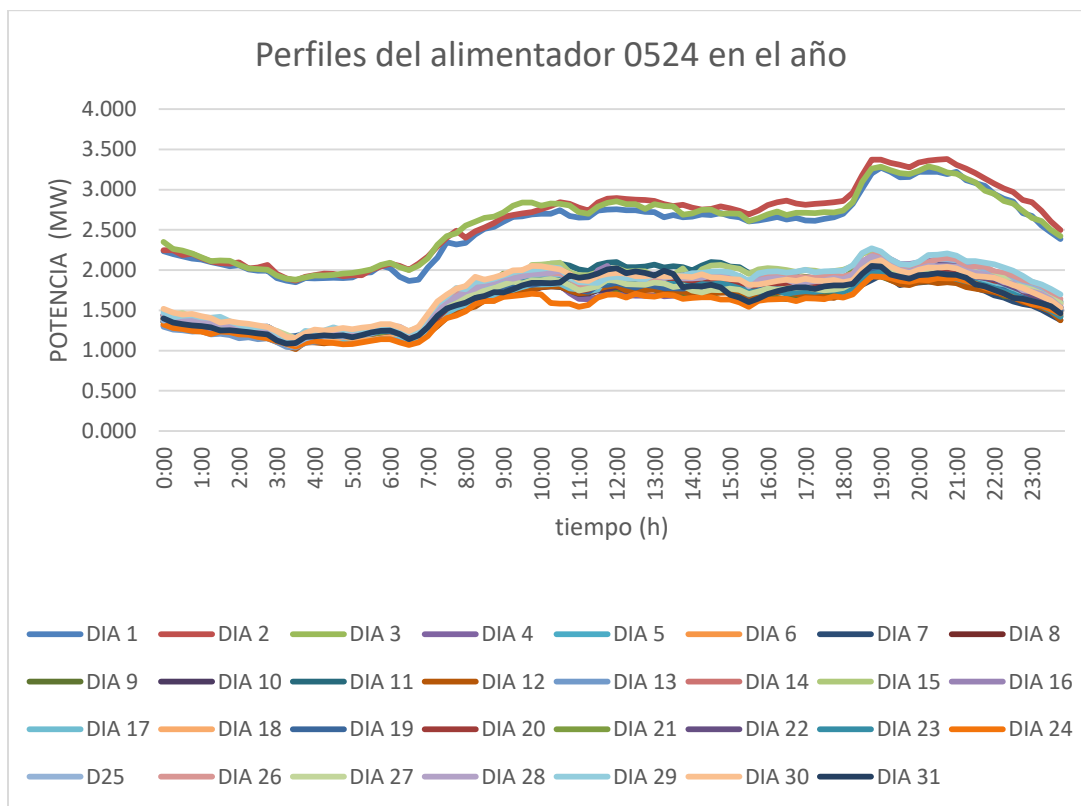


Figura 3.6 Perfil del Alimentador 0524 en el transcurso del año.
(Elaboración Propia)

El proceso se repite para cada uno de los días que conforman los meses pertenecientes al año 2019, al final se calcula el promedio y se grafica el perfil del carga correspondiente al alimentador 0524 como se indica en la Figura 3.7

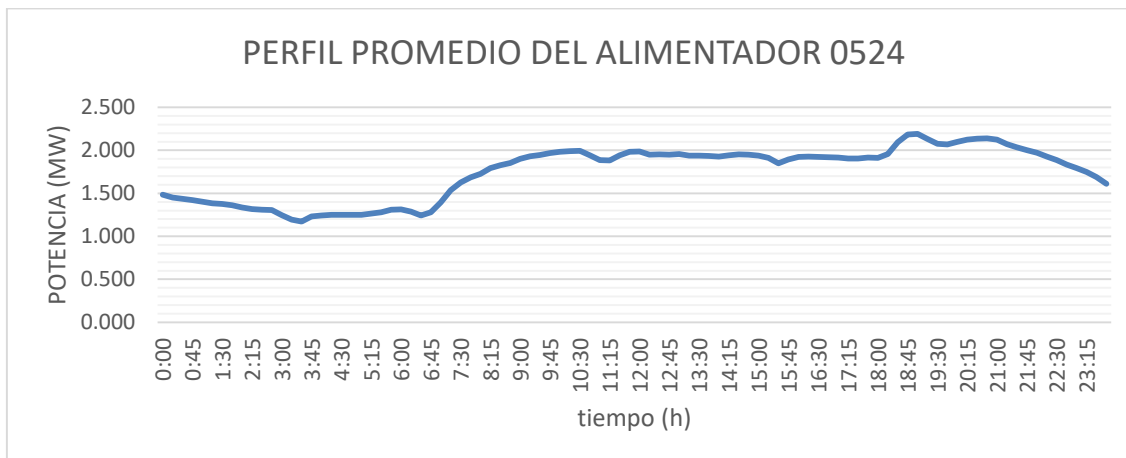


Figura 3.7 Perfil Promedio del Alimentador 0524 (Elaboración propia).

El valor pico se encuentra a las 19h00 y se sitúa en 2.19 MW, en cambio el punto valle se presenta desde las 03h30 hasta las 06h30.

En términos generales se puede expresar que el comportamiento de la curva de demanda se da sobre las 6h45 am en el que se presenta un incremento debido a la concentración alta de usuarios que se podrían catalogar como empleados dependientes que inician sus labores diarias.

En la Figura 3.7 se puede observar que el incremento es gradual y se mantiene hasta aproximadamente el medio día, esto se puede explicar en el caso del alimentador 0524 por la presencia de varias industrias que se sirven del mismo así como el consumo de los usuarios que tienen ocupaciones como: amas de casa, desempleados, pensionados y estudiantes.

El segundo incremento se presenta pasada las 18h00 y su punto máximo se ubica en las 19h00 debido al retorno de la totalidad de los usuarios a sus hogares, esto provoca el uso en mayor medida de los electrodomésticos en especial la iluminación artificial (focos y lámparas) sin dejar de mencionar cocinas de inducción, este período se mantiene hasta alrededor de las 20h45.

El período que inicia desde las 20h45 hasta las 6h45 presenta una disminución en el consumo debido a que en estas horas la actividad en las viviendas disminuye de manera significativa. Teniendo datos recopilados del alimentador se pudo determinar los meses de mayor y menor consumo así como sus respectivos días típicos.

De acuerdo a los datos obtenidos de las mediciones mensuales del alimentador 0524 se pudo realizar la segregación de los meses acorde con el consumo de mayor a menor como se indica en la Tabla 3.3

TABLA 3.3 Consumo de Energía del alimentador 0524
Año 2019 (Elaboración propia).

ENERGÍA (MWh)	MESES
2116.69	MAYO
2050.76	AGOSTO
2044.91	ENERO
2014.85	DICIEMBRE
1979.81	SEPTIEMBRE
1940.60	OCTUBRE
1938.81	JUNIO
1880.26	NOVIEMBRE
1871.09	FEBRERO
1863.52	MARZO
1855.95	ABRIL
1830.21	JULIO

Como se observa los mayores consumos se dan en los meses de mayo, agosto, enero y diciembre siendo los de menor consumo los meses de marzo, abril y julio. Del mismo modo se pudo obtener el día típico de los meses de mayor y menor consumo como se indica en la Tabla 3.4.

TABLA 3.4 Día típico en mes de mayor y menor consumo.
(Elaboración propia)

MES	Energía (MWh)	Día Típico	REF
ENERO	2044.91	31	
FEBRERO	1871.09	22	
MARZO	1863.52	24	
ABRIL	1855.95	23	
MAYO	2116.69	21	MAX
JUNIO	1938.81	3	
JULIO	1830.21	12	MIN
AGOSTO	2050.76	8	
SEPTIEMBRE	1979.81	16	
OCTUBRE	1940.60	14	
NOVIEMBRE	1880.26	5	
DICIEMBRE	2014.85	23	

Se debe considerar que estos datos son importantes al momento de analizar la propuesta del presente trabajo debido a que aportará la elección de la curva de análisis basado en la demanda representativa del alimentador 0524.

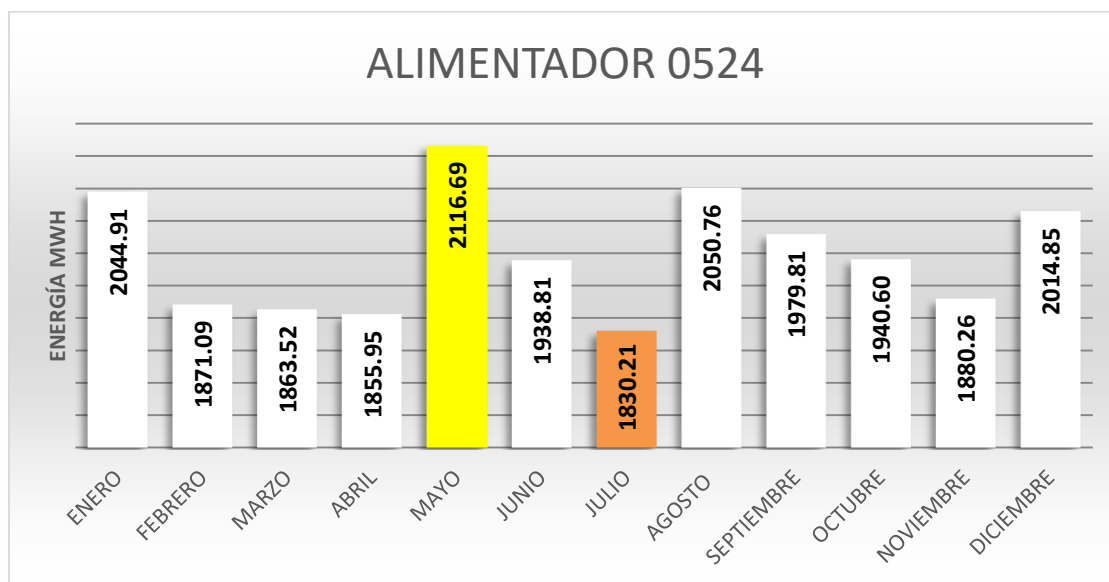


Figura 3.8 Consumo de Energía alimentador 0524 perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur. Año 2019. (Elaboración Propia)

La Figura 3.8 muestra la gráfica de la energía consumida por el alimentador a lo largo de los 12 meses del año 2019.

Para el desarrollo del presente trabajo se toma en consideración los dos meses representativos; es decir, el de mayor consumo y el de menor consumo y así poder obtener un comparativo del comportamiento de la instalación de un sistema de almacenamiento para atenuar la curva de la demanda en el mes respectivo.

Acorde a la Tabla 3.4 el mayor consumo se tiene en el mes de mayo donde su día representativo es el 21, en cambio el menor consumo se dio en el mes de julio donde su día representativo es el 12.

La demanda del alimentador el 21 de mayo (máximo consumo) y el 12 de Julio (mínimo consumo) de 2019 se aprecia en la Figura 3.9 mientras que en la Tabla que se detalla en el Anexo 1 se puede observar las potencias que se censan cada 15 minutos en el mes de mayor y menor consumo correspondiente al día representativo de cada uno.

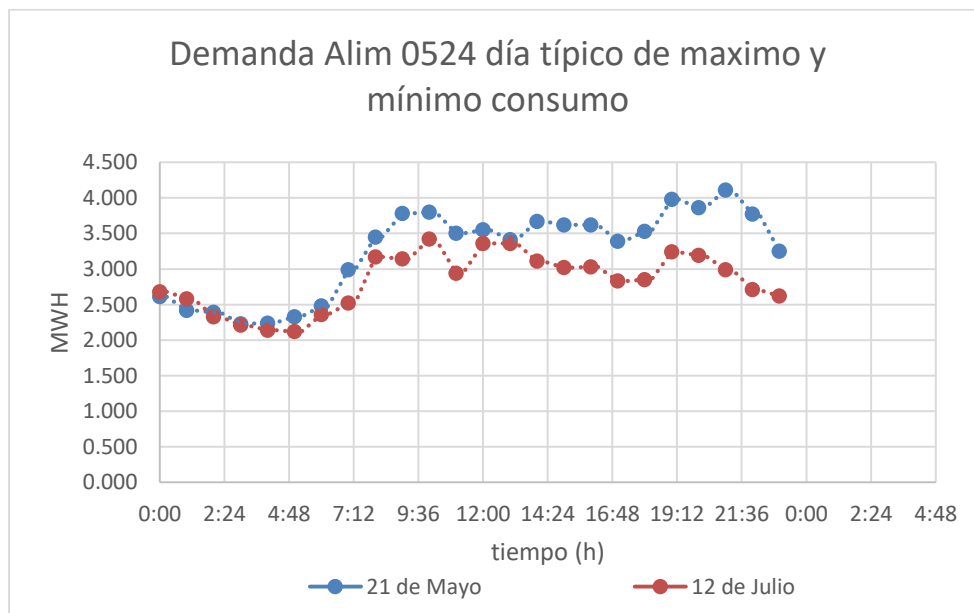


Figura 3.9 Consumo de Potencia día típico mes de mayo y julio
(Elaboración propia)

La Tabla 3.5 muestra los datos de potencia censados cada hora tanto en el mes de mayo como el mes de julio, del mismo modo se obtuvo la potencia promedio entre estos dos meses.

TABLA 3.5 Potencia (MW) alimentador 0524 en días típicos.
(Elaboración propia)

HORA	MAYO (MW)	JULIO (MW)	Promedio
0:00	2.610	2.680	2.645
1:00	2.420	2.580	2.500
2:00	2.390	2.330	2.360
3:00	2.230	2.210	2.220
4:00	2.240	2.140	2.190
5:00	2.330	2.120	2.225
6:00	2.480	2.360	2.420
7:00	2.990	2.520	2.755
8:00	3.450	3.170	3.310
9:00	3.780	3.140	3.460
10:00	3.800	3.420	3.610
11:00	3.500	2.940	3.220
12:00	3.550	3.360	3.455
13:00	3.410	3.360	3.385
14:00	3.670	3.110	3.390
15:00	3.620	3.020	3.320
16:00	3.620	3.030	3.325
17:00	3.390	2.830	3.110
18:00	3.530	2.850	3.190
19:00	3.980	3.240	3.610
20:00	3.860	3.190	3.525
21:00	4.110	2.990	3.550
22:00	3.770	2.710	3.240
23:00	3.250	2.620	2.935

En la Figura 3.10 se puede apreciar el perfil de carga en los días típicos de los meses de mayo y julio así como el promedio, estos datos son los que se utilizarán para dimensionar el almacenamiento que se puede obtener en horas valle y que se inyectaran al alimentador en las horas punta.

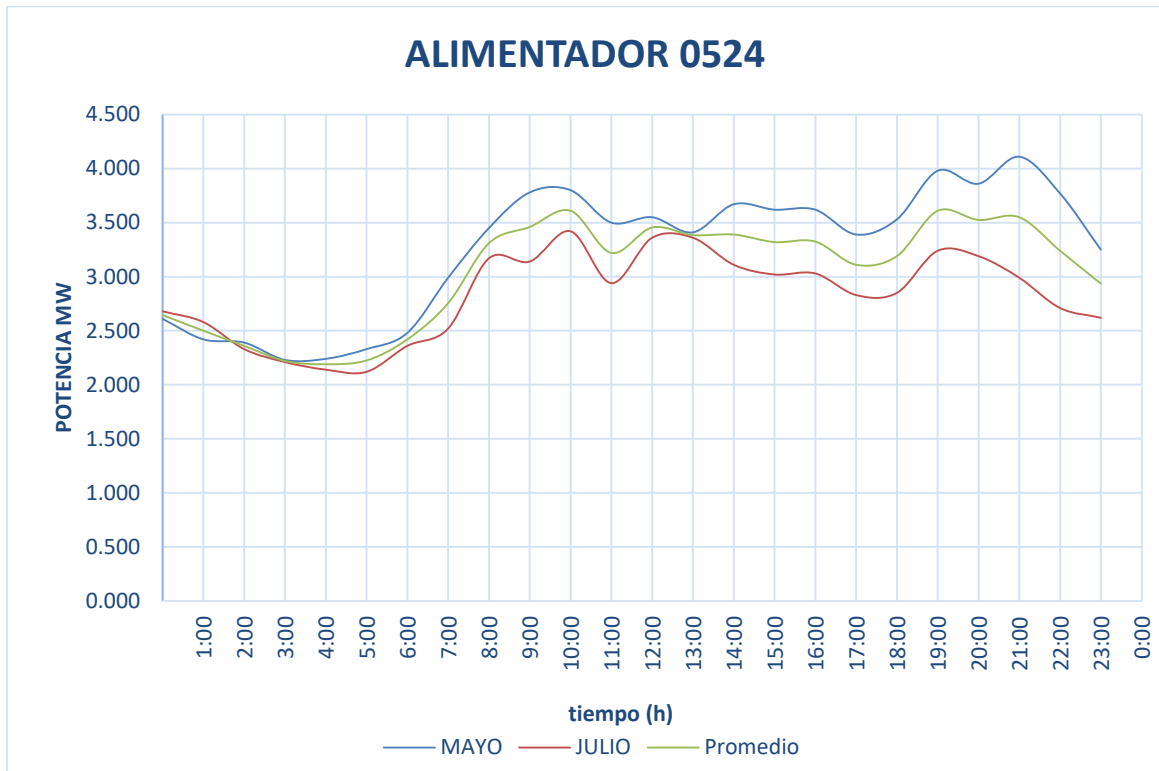


Figura 3.10 Perfil de carga meses de mayo y julio alimentador 0524. (Elaboración Propia)

CAPITULO IV

DIMENSIONAMIENTO DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA

4.1 ELECCIÓN DE TECNOLOGÍA DE ALMACENAMIENTO

No existe una tecnología que sea ideal para todas las aplicaciones. Es decir, cada una de las tecnologías de almacenamiento cuentan con características propias y los requerimientos pueden ser muy distintos a esto se debe sumar aspectos tecnológicos en desarrollo, los criterios económicos o medioambientales.

Si bien la batería Redox vanadio, como ya se detalló en el capítulo II, se basa en tecnología Redox con un nivel de eficiencia que se encuentra en el 92% [33], así como una respuesta rápida y larga vida útil, en este estudio no se considerará esta tecnología debido a que tienen baja densidad de energía en comparación con las baterías de ion litio y requieren de sistemas más complicados de sensores y gestión de flujo. Del mismo modo representan un elevado tamaño en conjunto así como mayores costos de instalación.

Considerando que en el capítulo II ya se detallaron las tecnologías que actualmente están en desarrollo y aplicación, en este trabajo se opta por el almacenamiento de energía mediante las baterías de ion litio, debido a que es la tecnología que ha tenido un avance significativo en los últimos años. En la práctica ha demostrado que proporciona una respuesta rápida a las variaciones bruscas e imprevistas en el momento que absorbe y aporta energía [34]; cuenta con un nivel de eficiencia significativo en comparación con otras tecnologías (Tabla 2.7), del mismo modo su costo de instalación es el menor comparado con otros sistemas.

Este sistema de almacenamiento permite almacenar energía durante las horas valle, de bajo consumo, y disponer de la misma en las horas punta de tal manera que se adapte la generación del alimentador 0524 a la demanda de electricidad para aumentar la eficiencia del suministro.

4.2 ELECTRÓNICA DE POTENCIA EN LA RED

La introducción de las redes inteligentes hace que el sistema eléctrico presente una creciente complejidad lo que hace indispensable una mayor presencia de las tecnologías de la información y la comunicación [18].

La red eléctrica cada vez está incluyendo más tecnologías en sus equipos y sistemas, las mismas proporcionan una mayor capacidad de coordinación de todos los agentes, aporta a la red una mayor inteligencia lo que permite gestionar y controlar el suministro eléctrico en un marco de sostenibilidad técnica y económica.

Una herramienta que puede aplicarse en este caso es el sistema de supervisión y control de la red de distribución o DMS por sus siglas en inglés (Distribution Management System), la misma integra los equipos de telecontrol y los sistemas de detección y reposición de defectos, esta aplicación se encarga también de la supervisión y el control de los sistemas de almacenamiento que se instale en la red de distribución.

El almacenamiento de energía mediante baterías o cualquier tecnología de almacenamiento requieren sistemas de conversión de potencia para que el intercambio energético con la red eléctrica en este caso el alimentador 0524 se facilite.

El sistema de conversión de potencia debe presentar estructura heterogénea, considerar requerimientos de diseño tales como la modularidad; es decir, el

acondicionamiento del espacio para las diferentes configuraciones acorde a la necesidad, eficiencia, controlabilidad, costo y protección ante eventualidades.

Se debe entender que la electrónica de potencia resulta fundamental para la conexión a red de los sistemas de almacenamiento de energía.

El almacenamiento mediante baterías debe proveer en el sistema eléctrico aspectos tales como el soporte a la frecuencia, el seguimiento de carga, el aplanamiento de los picos de demanda, los requerimientos tanto de potencia así como de capacidad podrían exceder decenas de megavatios y megavatios – hora, respectivamente [25].

Habitualmente las celdas electroquímicas se conectan en serie o en paralelo para dar lugar a los módulos de baterías, dichos módulos proveen prestaciones en el orden de los kW de potencia y kWh en energía.

La modularidad de estos sistemas da lugar a diferentes diseños en cuanto al sistema de conversión de potencia, es decir a la electrónica de potencia y equipamiento auxiliar que permite la conexión de las baterías con la red eléctrica [25].

El diseño del sistema de conversión de potencia se fundamenta en criterios tales como:

- Controlabilidad de planta. Se refiere a la capacidad del sistema para seguir señales de potencia tanto activa como reactiva por parte del operador, bidireccionalidad de flujos de energía, aislamiento, protección, seguridad así como desconexión eventual.

- Durabilidad. Este aspecto abarca tanto el número y manera de conectar los módulos de baterías entre sí, logrando cadenas que desfoguen en diferentes unidades o convertidores de potencia. El aspecto de durabilidad es

importante para asegurar un mínimo de desbalanceo en tres celdas electroquímicas lo que determina la vida útil del sistema.

- Eficiencia Energética. Para lograrla se debe considerar el número de convertidores de potencia, niveles de tensión, topología y corriente, estos factores son importante para la gestión en la recuperación de la carga almacenada.
- Costo. Para la propuesta de almacenar energía para atenuar la curva de la demanda se debe tener en cuenta que los costos están directamente relacionados al número y tipo de elementos que la conforman así como el diseño del sistema de conversión de potencia, esto implicara un valor en la operación y mantenimiento durante la vida útil [25].

Actualmente la industria generalmente en Europa que es en donde se están aplicando en gran mayoría las propuestas de almacenamiento, propone diferentes diseños de sistemas de conversión. Sistemas modulares como el que se puede observar en la Figura 4.1 se instalan cada vez más en los diferentes proyectos.



Figura 4.1 Sistema modular de baterías en una planta solar Alt Daber Alemania. [35]

La instalación de sistemas de almacenamiento en la red eléctrica brinda mayor integración de energías renovables, permiten establecer un arbitraje eléctrico lo que quiere decir que el sistema de almacenamiento de energía puede cargarse cuando el precio es bajo y descargarse para compensar la carga de la instalación cuando el precio es alto.

Otra ventaja que presentan los sistemas de almacenamiento es la gestión de carga de la demanda, esto quiere decir que un sistema de almacenamiento de energía puede reducir los cargos de demanda al descargar cuando se está aproximando su máxima carga. Un sistema de almacenamiento también se puede utilizar para reemplazar la compra de banco de capacitores para corregir el factor de potencia.

Al ser el sistema de almacenamiento un nexo de integración con energías renovables, se puede considerar como una alternativa más limpia y silenciosa a los generadores de gas o diésel convencionales en el caso de una interrupción de la red eléctrica. Los sistemas de almacenamiento permiten contribuir con la estabilidad de la red, debido a que no solo ayudan a la regulación de la frecuencia, sino también a la regulación de la tensión; inclusive mejorando la respuesta de existir fallas en el sistema previniendo apagones.

4.3 ASPECTOS ECONOMICOS

Las tecnologías de almacenamiento de energía deben ir de la mano de costos reducidos de tal manera que se favorezca el despliegue de las mismas a manera general tanto en el sistema eléctrico como en el de potencia. Todo lo referente al aspecto económico tiene que ver de manera directa con la expansión que se puede lograr al implementar estas tecnologías.

Para la decisión acerca de la viabilidad de un proyecto de almacenamiento y si se puede o no adoptar como una alternativa, se debe considerar aspectos tales como costos de operación, mantenimiento que considera el cambio de componentes

durante la vida útil del proyecto, del mismo modo se debe tener en cuenta los costos relacionados con el desmantelamiento y el reciclado de la tecnología utilizada una vez terminada la etapa del proyecto, esto dentro de los parámetros ambientales que están rigor acorde a la normativa y legislación del país. La Figura 4.2 muestra los aspectos que influyen en los costos totales.

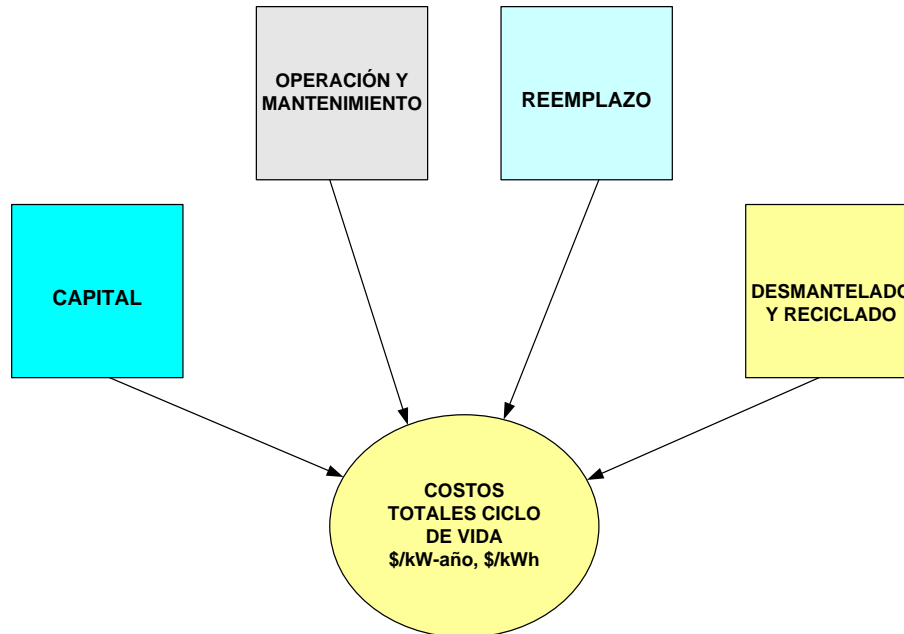


Figura 4.2 Factores considerados para los costos de ciclo de vida de los sistemas de almacenamiento de energía. (Elaboración propia)

El almacenamiento presenta varias ventajas ya que por una parte constituye una potencia firme que disminuye la necesidad de instalación de potencia térmica de respaldo, en el caso de Cuenca se podría prescindir de la termoeléctrica El Descanso considerando que el almacenamiento se haga a nivel de generación.

Por otro lado el almacenamiento de energía permite utilizar los excedentes almacenados de manera previa y así aprovecharlos en hora pico.

4.4 ASPECTOS MEDIOAMBIENTALES

Toda tecnología de almacenamiento requiere de recursos energéticos así como materiales para la ejecución de todas las etapas de su ciclo de vida, es decir desde que se produce el material bruto hasta que se realiza el reciclado del material que formó parte de la misma, por este motivo es importante considerar la minimización del impacto medioambiental.

4.4.1. RECICLADO DE BATERÍAS

Se entiende que en la actualidad la responsabilidad ambiental está presente en cada actividad en cuanto a la actividad energética, razón por la cual el proponer utilizar baterías para aplanar la curva de la demanda debe incluir en el análisis este aspecto. Del mismo modo se debe considerar la escasez de materiales necesarios para la fabricación de las celdas electroquímicas y legislaciones que se enfocan en la necesidad de alcanzar la reducción en el gasto energético y emisiones de efecto invernadero.

En este contexto se debe recalcar el análisis del ciclo de vida (ACV) que es una metodología que evalúa el impacto medioambiental en sistemas productivos, esta metodología empieza con la definición del alcance o límites del estudio.

El Análisis del ciclo de vida del producto batería consta de 4 fases que son:

- 1 Obtención de mineral de la corteza terrestre.
- 2 Manufactura.
- 3 Utilización.
- 4 Colección y reciclado del producto al final de su vida útil.

En caso que se recuperen los materiales se pueden utilizar de nuevo en la fase de manufactura de nuevas baterías.

Se tiene claro que las baterías contienen una gran variedad de materiales tanto en los electrodos y electrolito así también en membranas separadoras, colectores, encapsulados, etc.

Las baterías de plomo ácido incluyen plomo y óxidos derivados, ácido sulfúrico, polipropileno, agua, antimonio, vidrio, etc. Estos materiales se pueden obtener directamente de la corteza terrestre o ser reutilizados mediante procesos de reciclado y recuperación.

En la actualidad las baterías de plomo – ácido y otra variedad de baterías se fabrican usando entre un 60 y 80% de plomo y plástico reciclado [36].

La Figura 4.3 indica lo referente a las fases principales del ciclo de vida de un producto, este concepto puede aplicarse a las baterías.

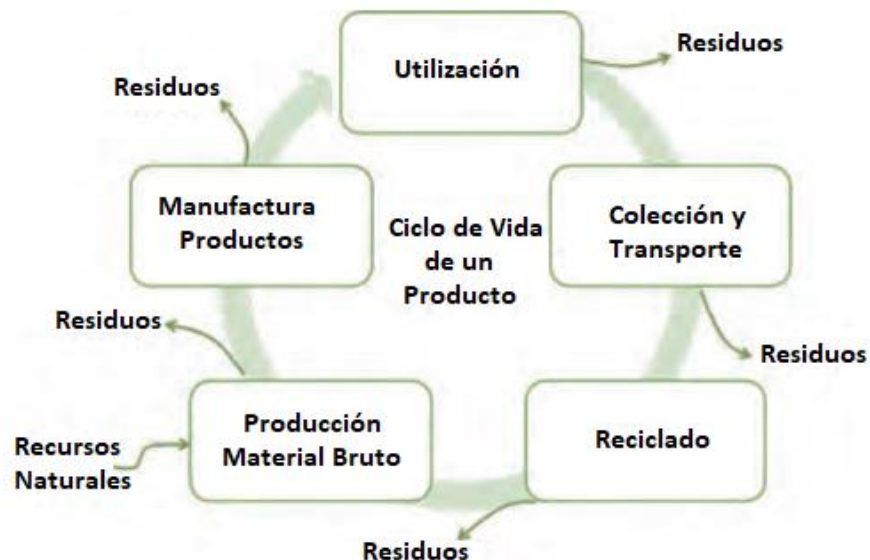


Figura 4.3 Fases principales del ciclo de vida de un producto [36].

4.4.2 BALANCE CON EL SISTEMA

En el caso de la propuesta de almacenamiento de energía es importante la disponibilidad de capacidad para almacenar energía en determinados períodos para entregarla más adelante.

El problema de optimización requiere definir un vector de variables que cuente con una representación de las decisiones que deben adoptarse en cada uno de los periodos de programación en los que se divide el día objetivo [25]. El vector deberá considerar la información acerca de las siguientes variables para cada periodo de programación:

- Referencia de potencia activa a seguir.
- Valor máximo y mínimo de la potencia reactiva a aportar.
- Potencia activa máxima y mínima a aportar para la regulación de frecuencia.
- Nivel del estado de carga (SOC: state of charge) máximo y mínimo permitido.

Los parámetros fundamentales que se deben considerar son la potencia nominal de carga y descarga lo que depende del almacenamiento en sí y del inversor de conexión a red, así como la capacidad total de almacenamiento de energía del dispositivo.

Como se aprecia en la Figura 4.4, el almacenamiento consume energía en las horas valle de demanda, mientras que en las horas pico de la misma proporciona la energía almacenada con lo cual se tienen a atenuar la curva de demanda en un día normal.

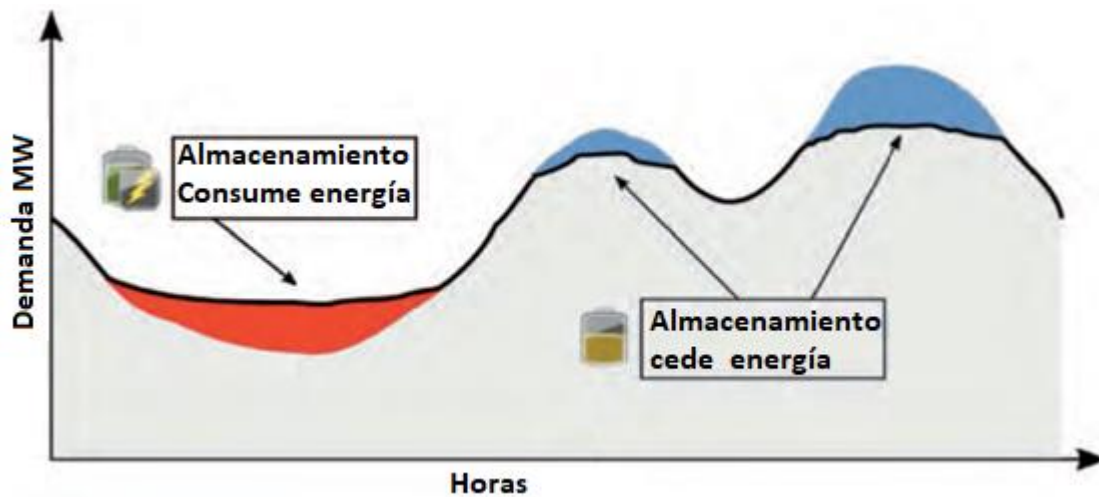


Figura 4.4. Almacenamiento de energía [25]

4.4.3 DEFINICIONES SOBRE LA CARGA Y DESCARGA DE LAS BATERÍAS

Como ya se indicó anteriormente el SOC es el estado de carga actual de la batería. Dicho valor se indica en porcentaje; es decir, una batería está plenamente cargada si el SOC es de 100% mientras que el valor más bajo es de 0%.

Teóricamente hablando los valores intermedios son posibles, pero en la mayoría de los tipos de batería, el estado de carga no debe ser inferior a un 30% [25], esto debido a que es muy probable que la batería sufra una descarga total lo que acortaría de manera significativa su vida útil o provoque su rotura.

El estado de carga de la batería no se debe confundir con la capacidad residual de la batería disponible en un determinado momento. La capacidad residual real de la batería depende de varios parámetros como la temperatura, el historial de la batería, la edad y otros aspectos.

La capacidad residual de la batería se puede calcular multiplicando su estado de carga actual por su capacidad nominal. No obstante, la capacidad nominal puede

variar de manera considerable al envejecer la batería, esto supondría una afirmación errónea acerca de la capacidad aun disponible.

La determinación del estado de carga de la batería es importante debido a que en el proceso de carga, el regulador que se instale debe saber cuándo la batería está cargada por completo para protegerla contra la sobrecarga debidamente y a tiempo.

De manera similar, al descargar la batería es de gran importancia conocer el estado de carga para protegerla a tiempo de una descarga total lo que es perjudicial para ella. Para realizar estas funciones existen diferentes criterios que indican el estado en el que se encuentra la batería.

Un criterio fácil y de hecho el más usado es la tensión de la batería, en el mismo se fija una tensión final de carga, al alcanzar esta tensión el proceso de carga finaliza.

Del mismo modo se fija un umbral de descarga total, si la tensión de la batería desciende por debajo de este valor la carga se desconecta de la batería.

Otras soluciones incluyen no solamente la tensión sino además las corrientes de la batería para determinar el umbral de carga completa y de descarga total [37].

4.4.4 ELECCIÓN DE LA BATERÍA PARA EL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

El sistema de almacenamiento basado en baterías de Ion litio es el predominante debido a que el mismo está alcanzando una rápida integración en el mercado así como la optimización de costos lo que le permite contar con una gran aceptación en diferentes segmentos del mercado eléctrico.

Teniendo en cuenta la información recopilada, se propone a la batería de Ion Litio como la de mejor desempeño [11], esto debido a que se ha podido comparar las características con las que cuentan los diferentes tipos de tecnologías de

almacenamiento (Tabla 2.6) y se ha realizado la verificación de eficiencia utilizando equipos existentes en el laboratorio de Microredes de la Universidad de Cuenca como se observa en la Tabla 4.1.

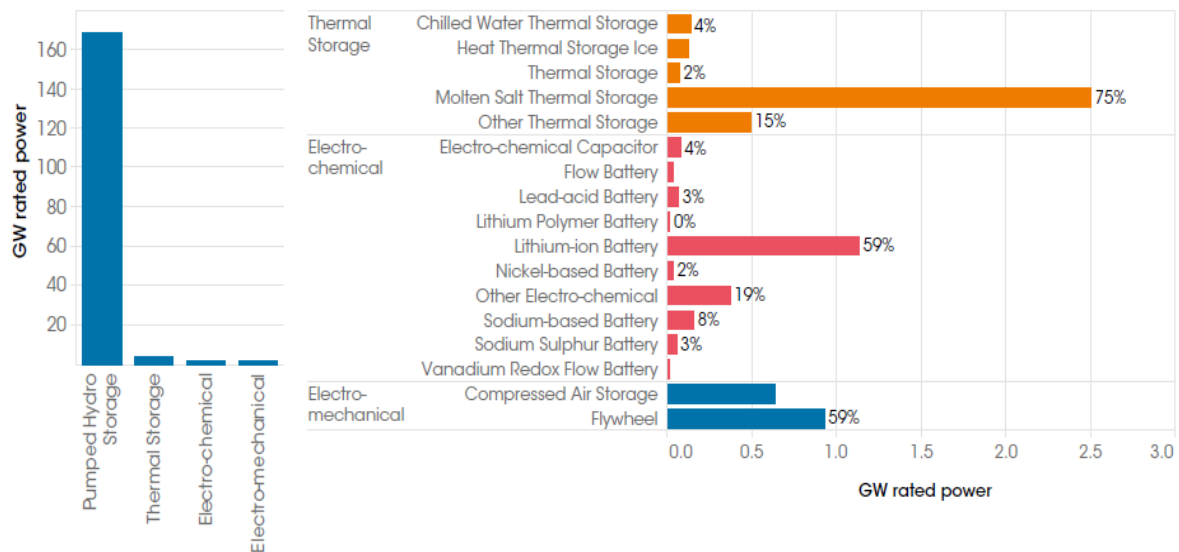


Figura 4.5. Comparación de tecnologías de Almacenamiento de energía [38]

Se debe considerar que el desarrollo de las baterías de ion litio además es impulsado por políticas para implementar la tecnología en el sector eléctrico y en el mercado de vehículos eléctrico. Esto se debe a su densidad de energía, es decir son pequeñas pero cuentan con una capacidad energética significativa así como un buen rendimiento, la comparación con otras baterías se puede apreciar en la Figura 4.5.

En la Figura 4.6 se puede observar cómo los valores de las baterías de Ion litio han disminuido de manera sustancial en los últimos años, razón por la cual esta tecnología es más atractiva para implementar la propuesta del presente trabajo.

En el mercado actual los precios de la batería de Ion litio descienden continuamente manteniendo la tendencia siendo favorable para el análisis debido a que el uso de

esta tecnología cada vez incrementa beneficios en cuanto al costo de inversión, lo que permite que se dé mayor atención en cuanto a la implementación en gran escala y en diferentes proyectos en un futuro muy cercano [13].

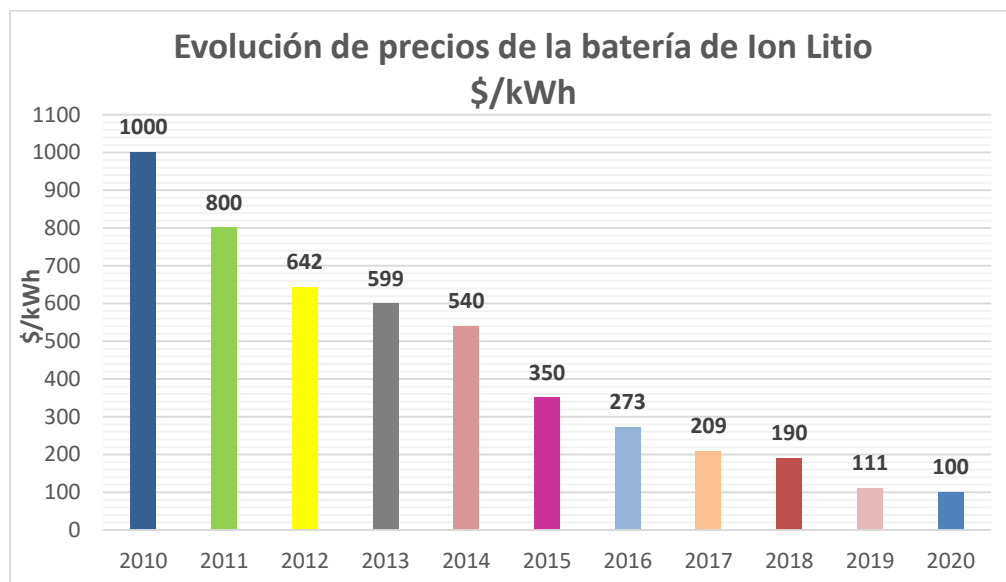


Figura 4.6 Evolución de los precios de la batería de Ion Litio [13]

La evolución del precio de distintas baterías para aplicaciones similares se puede observar en la Figura 4.7.

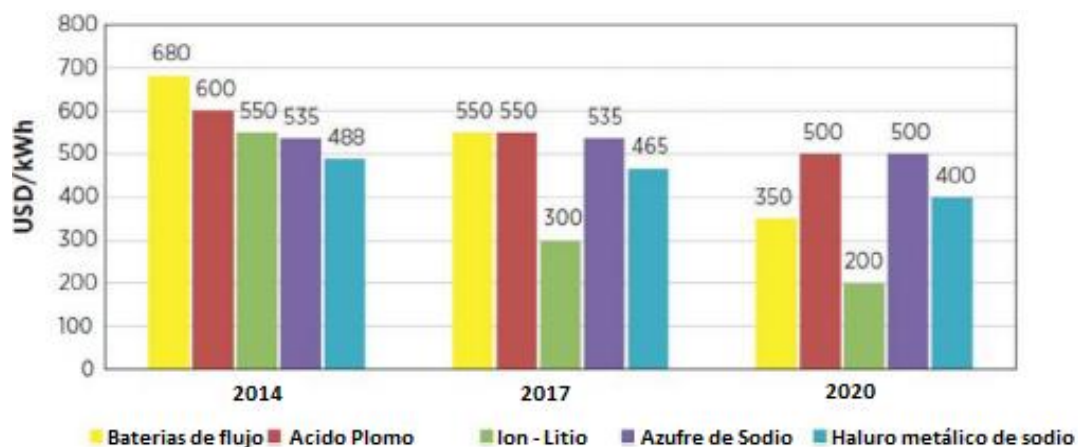


Figura 4.7 Evolución aproximada del precio de las distintas baterías para aplicaciones de escala de servicios públicos [11]

Del mismo modo se debe tener presente que las baterías de Ion litio presentan la capacidad de modular su descarga rápidamente y a su alta relación kW/kWh, las baterías de litio están siendo utilizadas para regulación de frecuencia. Las baterías de Ion litio crean demanda (cargan) cuando la frecuencia es alta, y oferta (descargan) cuando la misma es baja.

De manera práctica se aprovecha el desarrollo de pruebas realizadas con los equipos existentes en el laboratorio de redes inteligentes de la Universidad de Cuenca ubicado en el sector de Balzay para conocer la eficiencia entre la tecnología de almacenamiento de las baterías de ion litio, las baterías de plomo ácido y los superconductores.

Es así que se sometieron los dispositivos a procesos de carga y descarga de 20 kW, 5 kW y 10 kW lo cual permite comparar las eficiencias.

4.4.4.1 Análisis de la batería de Ion Litio

El laboratorio de la Universidad de Cuenca ubicado en el sector de Balzay posee con un sistema de almacenamiento de energía mediante banco de baterías recargable de Ion litio modelo de celda ELPT392-0002, así como con sistemas de gestión de energía en la batería con comunicación Ethernet al sistema SCADA del laboratorio, se procede a realizar la verificación de la eficiencia del banco de Ion litio marca Samsung que se compone de 11 celdas en serie que alcanza un voltaje nominal de 642V DC siendo capaz de manejar una potencia y energía nominal de 88 kW y 44 kWh respectivamente [3]. La captura de pantalla del sistema SCADA con el cual cuenta el laboratorio de Balzay se observa en la Figura 4.8.

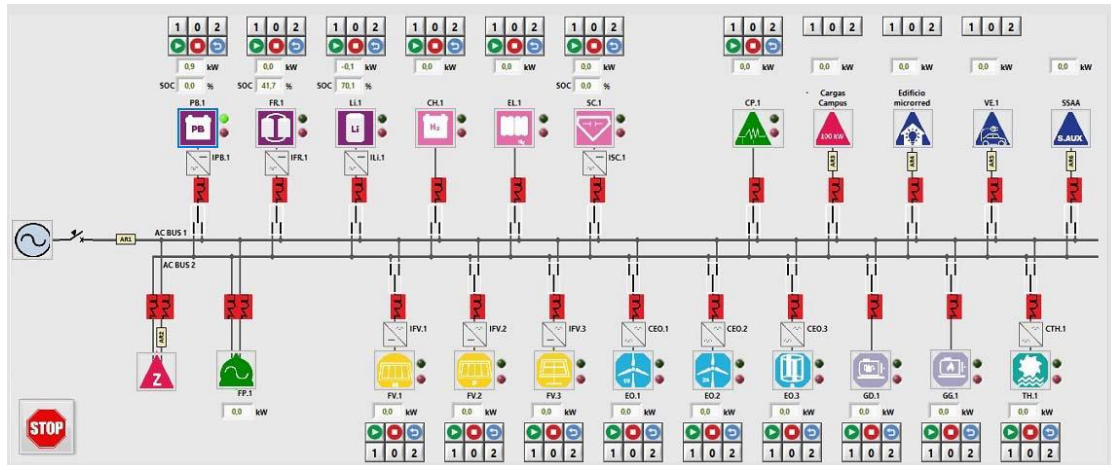


Figura 4.8 Captura de pantalla del sistema SCADA implementado en el laboratorio de microredes de la Universidad de Cuenca. [3]

La comprobación se realiza utilizando datos del sistema SCADA del laboratorio de Microredes de la Universidad de Cuenca y el equipo analizador de calidad de energía.

El desarrollo de cargado y descargado de la batería será con 20 kW para iniciar, la Figura 4.9 muestra los datos registrados en el sistema SCADA instalado en el laboratorio de Microredes de la Universidad de Cuenca [39].

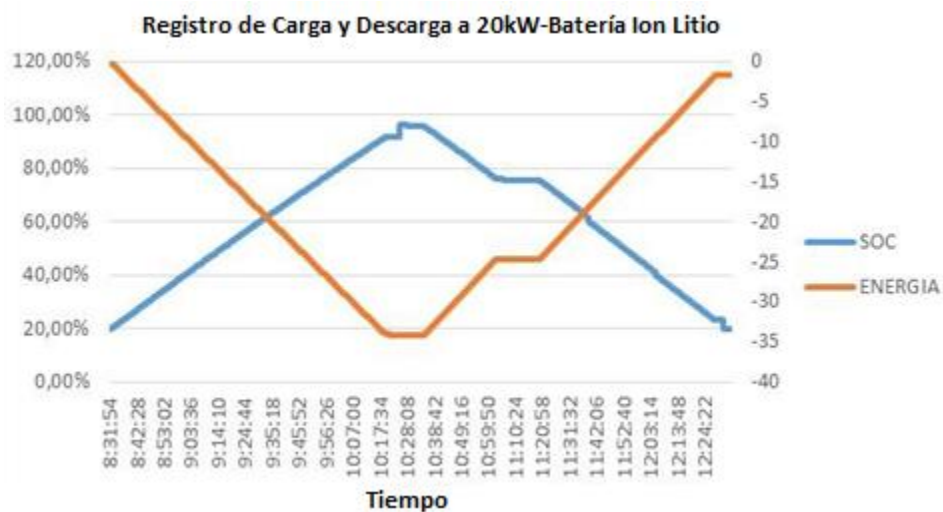


Figura 4.9 Registro de carga y descarga de la batería Ion Litio con sistema SCADA a 20 kW [39]

Con esta prueba se registró 14562 datos del sistema SCADA instalado en el laboratorio de la Universidad de Cuenca, se trabaja con el valor de la potencia en corriente continua para obtener la eficiencia de la batería Ion litio [39].

Usando estos valores se logra una eficiencia del 95.2%, este valor debe ser multiplicado por el dato de eficiencia del inversor (95%) para la carga y descarga, logrando una eficiencia del 85.92% como se indica a continuación [39]:

$$\eta = 95.21\% * 0.95 * 0.95$$

$$n = 85.92\%$$

Utilizando el analizador de calidad de energía se registran 2837 datos, estos datos se grafican como se muestra en la Figura 4.10.

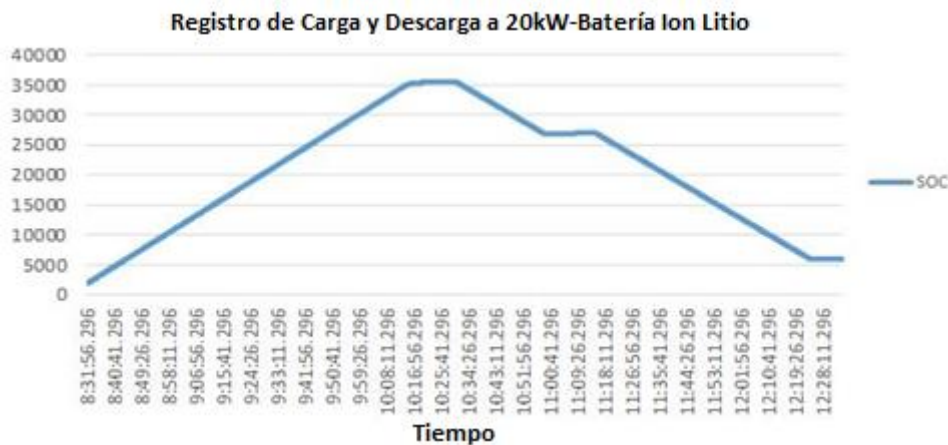


Figura 4.10 Registro de carga y descarga de la batería Ion Litio con analizador de calidad de energía a 20 kW. [39]

A causa que el equipo no registra los datos del estado de carga de la batería, se utilizan valores de energía activa total para desarrollar el cálculo de la eficiencia teniendo en cuenta el lapso de tiempo en el que fueron tomados durante la carga y descarga, esto permitió obtener un valor de eficiencia del 87.65% [39].

En la Figura 4.11 se presentan los datos que se registraron por el sistema SCADA del laboratorio de microrredes al inyectar una potencia de 5 kW a la carga y descarga de la batería de Ion litio:

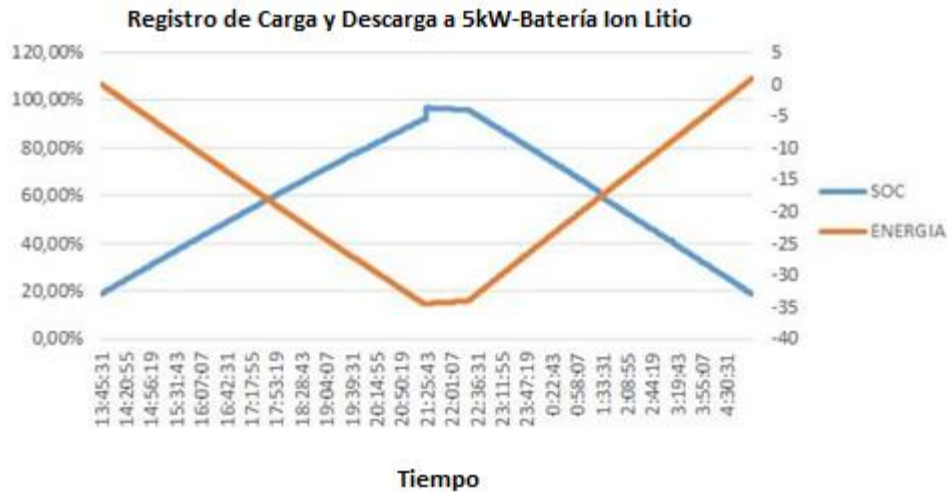


Figura 4.11. Registro de carga y descarga de la batería Ion Litio con sistema SCADA a 5 kW [39]

Se obtuvo el registro de 55200 datos mediante el sistema SCADA del laboratorio de la Universidad de Cuenca, con estos valores se logró una eficiencia del 82.63%.

Este valor se multiplicó por la eficiencia del inversor (95%) en la carga y descarga, obteniendo una eficiencia del 74.57% como se aprecia a continuación.

$$\eta = 82.63\% * 0.95 * 0.95$$

$$\eta = 74.57\%$$

En la Figura 4.12, se muestran los resultados considerando los datos registrados por el analizador de calidad de energía:

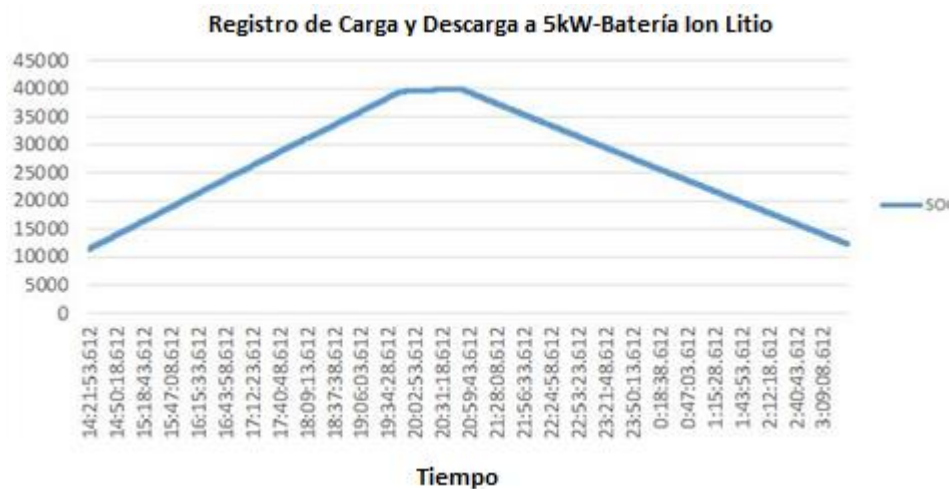


Figura 4.12. Registro de carga y descarga de la batería Ion Litio con analizador de calidad de energía a 5 kW [39].

Mediante los datos registrados se pudo calcular un valor de la eficiencia del 75.8% para la batería de Ion litio.

La Tabla 4.1 muestra el resumen de las eficiencias calculadas en la carga y descarga de la batería de ion litio.

TABLA 4.1. Eficiencia de la batería de Ion Litio del laboratorio de Balzay [39]

Potencia kW	Valor Eficiencia SCADA %	Eficiencia del Analizador de Calidad %	Valor nominal de Eficiencia %
20 kW	85.28%	87.65%	94%
5 kW	74.57%	75.81%	

Realizando un similar análisis con baterías de plomo Acido (Tabla 4.2) y Supercondensadores (Tabla 4.3) se concluye que la mejor opción de almacenamiento son estos últimos recalando que mencionada tecnología no está desarrollada hasta el momento de manera comercial por sus valores altos. En el caso de las baterías de plomo acido su eficiencia es inferior a la batería de Ion litio.

TABLA 4.2. Eficiencia de la Batería de Plomo Acido del Laboratorio de Balzay [39]

Potencia kW	Valor Eficiencia SCADA%	Eficiencia del Analizador de Calidad%	Valor nominal de Eficiencia %
20 kW	69.94%	64.34%	80%
5 kW	71.85%	71.48%	

TABLA 4.3. Eficiencia de los Supercondensadores del laboratorio de Balzay [39]

Potencia kW	Valor Eficiencia SCADA%	Eficiencia del Analizador de Calidad%	Valor nominal de Eficiencia %
30 kW	95.07%	92.64%	95%
20 kW	88.26%	94.92%	
10 kW	83.80%	82.00%	

El comportamiento de esta batería se diferencia de la de plomo debido a que la eficiencia es mayor a medida que aumenta la potencia, aproximándose a su valor nominal [39].

Cuando se disminuye la potencia a 10 kW los valores calculados tienden al valor de la eficiencia que se verifica mediante el analizador de calidad esto significa que la batería tiene mayor grado de sensibilidad al decremento de potencia.

Los superconductores del laboratorio de microneces del campus Balzay, presentan resultados de eficiencia que se aproximan más a los valores nominales [39].

Los valores de eficiencia que se obtuvieron con la ayuda de los datos registrados por el analizador de calidad de energía se aproximan más a los valores de eficiencia nominales de todos los sistemas de acumulación de energía existentes en el laboratorio de Balzay.

4.4.5 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA MEDIANTE BATERÍAS DE ION LITIO

Cuando se tiene a disposición sistemas de almacenamiento lo que se debe lograr son los siguientes parámetros:

- Balance entre demanda y consumo.
- Gestionar de mejor manera redes de transmisión y distribución.
- Promocionar la gestión de la demanda.
- Mejorar la competitividad y seguridad de la red eléctrica.

Desde el punto de vista de distribución, el almacenamiento a más de ser el punto de enfoque del presente trabajo de titulación, puede utilizarse para evitar inversiones necesarias y así mantener la adecuada capacidad en las redes de distribución como es el caso del alimentador 0524.

Una de las inversiones en este contexto podría ser el reemplazo de un transformador antiguo o deteriorado que se encuentre sobrecargado en la subestación o realizar el cambio de conductor de mayor capacidad de corriente en el trayecto del alimentador, lo que implicaría valores elevados a más del costo de realizar suspensiones para efectuar mencionados trabajos.

Cuando se reemplaza un transformador y se sustituye por uno de mayor capacidad en base al crecimiento que tenga la carga en un período de 15 a 20 años, indica que la inversión es sub utilizada la mayor parte del tiempo de vida útil del equipo.

Los elementos de almacenamiento de energía permiten la acumulación de la misma mientras la producción sobrepase al consumo, la cantidad que se almacena se utiliza en el momento que el consumo sobrepase a la producción, lo que ayuda a mantener la planta de producción a un valor estable y con un mínimo de variaciones.

Esto representa incrementar la eficiencia reduciendo costos y facilita la gestión de planta aumentando su vida media.

La energía almacenada en las zonas valle se regresa a la red cuando se presenten los picos de demanda, de esta manera se satisface la demanda energética con una sola planta de generación [2]. Un sistema de almacenamiento por baterías “BESS” por sus siglas en inglés (Batería Energy Storage System) se puede acoplar de varias maneras, en la Figura 4.13 se puede apreciar un sistema de 3 MW.

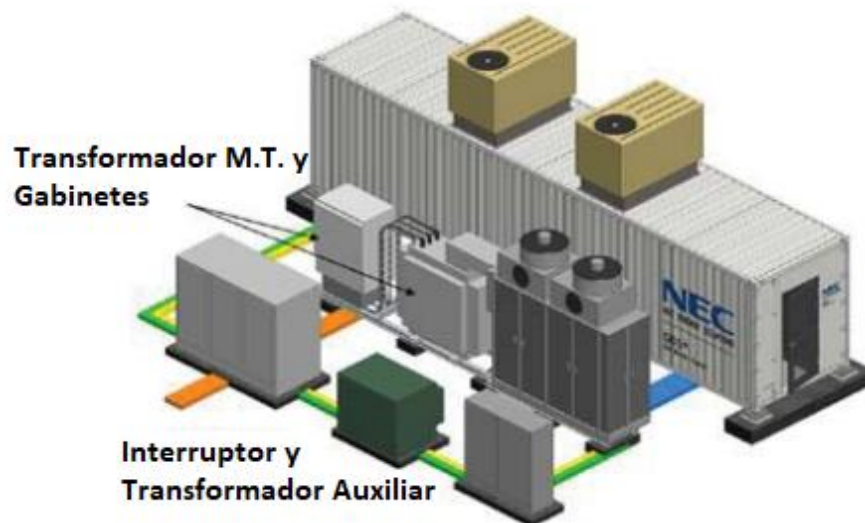


Figura 4.13. Ejemplo de un Sistema de un sistema de almacenamiento de Energía mediante baterías BESS¹¹ de 3 MW (fuente: NEC Energy Solutions)

En la Figura 4.14 se puede apreciar el esquema general del sistema de Almacenamiento con baterías considerando los sistemas que se utilizan en la actualidad.

¹¹ Battery Energy Storage System (Sistema De Almacenamiento de Energía mediante Baterías.)

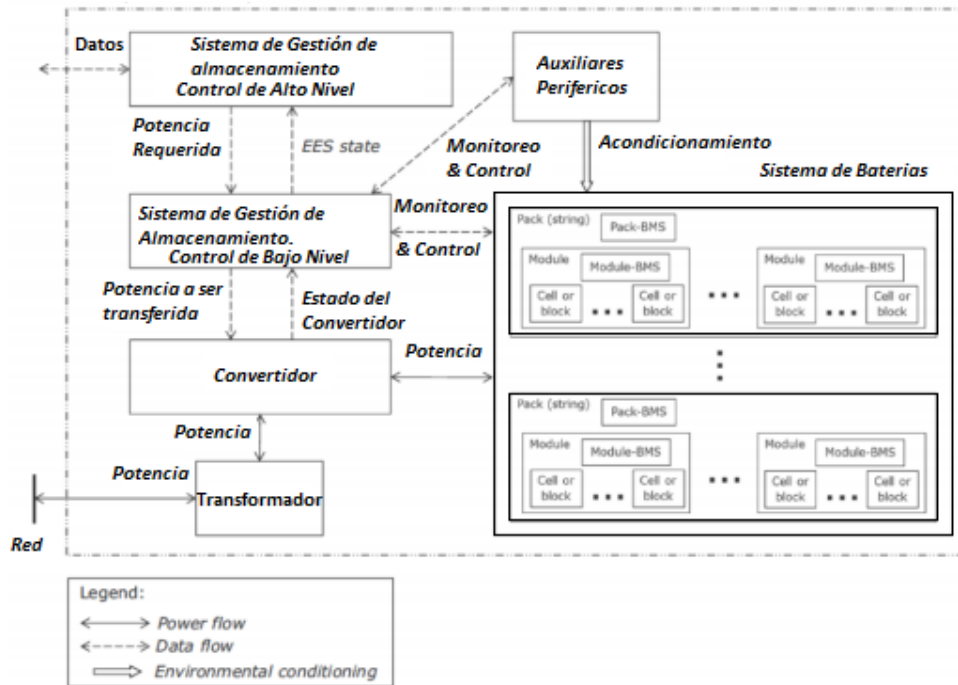


Figura 4.14. Esquema General del Sistema de Almacenamiento con Baterías [11]

4.5 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

Para que se cumplan los requerimientos del sistema de almacenamiento, se deben incluir tres partes que son:

- Conversión de la energía.
- Almacenamiento Central.
- Control de Carga y descarga.

La conversión de la energía se debe encargar de acoplar el sistema de potencia y el almacenamiento central controlando el intercambio de energía entre ellos, es decir actúa como el acondicionador del sistema eléctrico en el punto de conexión.

Los parámetros fundamentales del equipo de almacenamiento son: densidad energética por peso y por volumen, eficiencia del ciclo, número de ciclos de carga

– descarga, vida útil, tiempo de cambio del sentido de la energía, tiempo de respuesta, potencia óptima de salida, potencia almacenada óptima, necesidades de espacio para la instalación [40].

4.5.1 CÁLCULO Y DISEÑO DEL BANCO DE BATERÍAS

Como ya se ha detallado, la principal función de un banco de baterías es acumular la energía de un sistema de generación, en el mercado actual se pueden encontrar un sin número de diferentes tipos de baterías.

En el presente trabajo se analiza el valor de potencia que dejaría de aportar la Central El Descanso si dejara de generar energía para el sistema de la subestación 5 de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur y concretamente al alimentador 0524, el valor de potencia que deja de aportar es de 0.5 MW¹². Este valor será el dato de partida para el análisis del almacenamiento.

Previo a escoger la batería se realiza un análisis de diferentes tipos existentes en el mercado, de esta manera se hará la elección de la que mejor se acople a la propuesta.

Como se puede observar en la Tabla 4.4 se hace una comparación de las diferentes baterías considerando su densidad de energía así como su relación de costo por kWh, es así que de acuerdo a su disponibilidad en mercados y su costo, baterías en marca Panasonic y Samsung presentan accesibilidad en el momento de escoger un equipo que brinde las mejores prestaciones, sin embargo en el caso de Panasonic no se obtuvo mayor referencia de manera comercial, en cambio se pudo acceder a información concerniente a características técnicas de módulos Yuasa y baterías Samsung, de esta manera se pudo hacer un comparativo de tal manera que se pueda escoger una batería para el desarrollo del presente trabajo.

¹² Valor de potencia que aporta la Central Termoeléctrica El Descanso al Alimentador 0524 (Fuente: Centrosur)

TABLA 4.4. Características de diferentes baterías de Ion Litio existentes en el mercado [27]

	Cathode	Anode	Electrolyte	Energy density	Cycle life	price per kWh	Prominent manufacturers
Lithium iron phosphate	LFP	Graphite	Lithium carbonate	85-105 Wh/kg	200-2000	USD550-USD850	A123 Systems, BYD, Amperex, Lishen
Lithium manganese spinel	LMO	Graphite	Lithium carbonate	140-180 Wh/kg	800-2000	USD450-USD700	LG Chem, AESC, Samsung SDI
Lithium titanate	LMO	LTO	Lithium carbonate	80-95 Wh/kg	2000-25000	USD900-USD2,200	ATL, Toshiba, Leclanché, Microvast
Lithium cobalt oxide	LCO	Graphite	Lithium polymer	140-200 Wh/kg	300-800	USD250-USD500	Samsung SDI, BYD, LG Chem, Panasonic, ATL, Lishen
Lithium nickel cobalt aluminum	NCA	Graphite	Lithium carbonate	120-160 Wh/kg	800-5000	USD240-USD380	Panasonic, Samsung SDI
Lithium nickel manganese cobalt	NMC	Graphite, silicon	Lithium carbonate	120-140 Wh/kg	800-2000	USD550-USD750	Johnson Controls, Saft

Specifications of LIM25H-8 and LIM30H-8 Li-ion battery module.

Model	LIM25H-8	LIM30H-8
Nominal capacity / Ah	25	30
Nominal voltage / V	28.8	28.8
Dimension (W×D×H) / mm	219×440×128	231×414×147
Mass / kg	17.5	19.5
Max current / A	600 (24 CA)	600 (20 CA)



Figura 4.15. Características de los módulos de batería LIM25H-8 Y LIM30H-8 de Yuasa [23]



Item		Module	
Model		M2-M076	
Cell Capacity	Ah	94	
Energy	kWh	7.6	
Operating Voltage	V	70.4~91.3	
Dimension (W x D x H)	mm	370 x 650 x 160	
Weight	kg	55	

Item		Module	
Model		P3-M063	
Cell Capacity	Ah	78	
Energy	kWh	63	
Operating Voltage	V	68.2~90.2	
Dimension (W x D x H)	mm	370 x 650 x 160	
Weight	kg	55	


Figura 4.16. Características de los módulos de batería Samsung M2-M076, P3-M063 [41]

Como se puede observar en las figuras 4.15 y 4.16 la capacidad nominal expresada en Ah son inferiores al modelo E3-M090 escogido para el presente trabajo, del mismo modo el valor de energía es inferior en la batería Yuasa con respecto a las baterías Samsung, el peso también es un factor importante teniendo en cuenta que las baterías Samsung presentan un valor muy inferior al módulo de 8 celdas de la batería Yuasa.

El incremento del consumo de corriente puede afectar a la energía disponible así como al voltaje de la batería, como ya se indicó anteriormente, esta disminución efectiva en la potencia se conoce como el efecto Peukert.

En una batería de ácido plomo, cuanto mayor sea la intensidad de consumo, mayor será la necesidad de incrementar la capacidad Ah de la batería para disminuir este efecto; mientras tanto con las baterías de Litio se puede obtener un voltaje al 20% SOC sin la necesidad de incrementar la capacidad Ah de la batería, esto es lo que hace que las baterías de Ion Litio sean adecuadas para altas cargas.

En base a lo indicado se escoge la batería marca Samsung modelo E3-M090 cuyas características se muestran en la Figura 4.17.



Item		Module
Model		E3-M090
Cell Capacity	Ah	111
Energy	kWh	90
Operating Voltage	V	70.4-91.3
Dimension (W x D x H)	mm	370 x 588 x 160
Weight	kg	55

Figura 4.17. Características de la batería Samsung E3-M090 [41]

La elección se realiza considerando los aspectos técnicos, y los aspectos de compatibilidad con las características del inversor requerido para manejar el nivel de voltaje necesario para realizar nuevamente la conexión a la red.

El dimensionamiento del banco de baterías considera el voltaje nominal de las mismas así como la corriente, de esta manera se puede obtener la cantidad de baterías que se conectaran al inversor para entrega la cantidad de energía necesaria para cubrir los 0.5 MW.

El voltaje máximo de operación de la batería escogida es de 91.3 V y el voltaje mínimo de operación corresponde a 70.4 V. La batería opera a una corriente nominal de 111 Ah [41].

4.5.1.1 Dimensionamiento del Inversor

El dimensionamiento del inversor, se realiza considerando sus principales características, las mismas que vienen determinadas por la tensión de entrada del inversor, que se debe adaptar a la del sistema, además de la potencia máxima que puede proporcionar la forma de onda en la salida (sinusoidal pura o modificada, etc.), la frecuencia de trabajo y la eficiencia, que debe estar próxima o superior al 85% [25]. El inversor hará las funciones de controlador de carga, cargando y

descargando la batería a la potencia establecida siempre y cuando se encuentre en el límite de diseño.

Se debe tomar en cuenta que la eficiencia de un inversor no es constante y depende del régimen de carga al que esté sometido; ya que para regímenes de carga próximos a la potencia nominal, la eficiencia del inversor es mayor que para regímenes de carga bajos.

El inversor es un elemento electrónico que convierte la corriente continua en corriente alterna.

Las características principales que deben cumplir el inversor son:

- Principio de funcionamiento: fuente de corriente.
- De tipo autoconmutado.
- No funcionará en modo aislado, es decir no debe funcionar o seguir inyectando potencia a la red si en ésta no existe tensión.

Los parámetros que debe cumplir un inversor para su correcto funcionamiento, están determinados por:

- Voltaje y corriente a la entrada del inversor acorde con la que se debe adaptar al generador.
- Potencia máxima que puede proporcionar la forma de onda en la salida.
- Frecuencia de trabajo de 60Hz y eficiencia mayor al 85%.
- Voltaje de fase en la red, que dependerá del punto de conexión en la red de distribución.
- Potencia reactiva de salida del inversor.

Los inversores deben cumplir con normas de Seguridad Eléctrica y Compatibilidad

Electromagnética, además deben cumplir con las siguientes protecciones:

- Protección frente a cortocircuitos en corriente alterna.
- Protección frente a tensiones fuera de rango.
- Protección frente a frecuencia de red fuera de rango.
- Protecciones frente a sobretensiones, mediante varistores o dispositivos similares.
- Protecciones ante perturbaciones en la red como: pulsos, microcortes, retorno de la red, etc.

El inversor debe tener una correcta señalización para facilitar su operación. Además debe contar con controles automáticos que aseguren su supervisión y uso; un control manual de encendido y apagado general del inversor, y un control manual para la conexión y desconexión del mismo de la parte de corriente alterna que podrá ser externo a este.

El autoconsumo del inversor en modo nocturno, debe ser menor al 0,5% de su potencia nominal; y sin carga conectada será menor o igual al 2% de la potencia nominal de salida.

Las pérdidas de energía ocasionadas diariamente por el autoconsumo del inversor deben ser inferiores al 5%, teniendo en cuenta que el inversor debe contar con un sistema de “stand by” para reducir este tipo de pérdidas. El factor de potencia de la potencia generada debe ser mayor al 0,95 entre el 25% y el 100% de la potencia nominal.

Los inversores deben garantizar operatividad en condiciones ambientales de temperatura entre -5°C y 40°C , y de humedad relativa entre 0% y 95%. Se debe considerar que la eficiencia de un inversor dependerá en gran parte del régimen de carga al que se someta, lo que quiere decir que la eficiencia no es constante siendo

mayor para regímenes de carga bajos.

Los requisitos técnicos que deben satisfacer los inversores de tipo monofásico o trifásico que funcionan como fuente de tensión fija, es decir su valor eficaz de tensión y frecuencia de salida son fijos, se describen a continuación:

- Los inversores serán de onda senoidal pura, haciendo una excepción en el caso de que la potencia nominal sea inferior a 1 kVA, ya que en estos casos, no se producen daño a las cargas.
- El inversor se encarga de una correcta operación en todo el margen de tensiones de entrada que el sistema admita.
- El inversor será capaz de entregar la potencia nominal de forma continuada en el margen de temperatura que especifica el fabricante.
- El inversor debe arrancar y operar todas las cargas que se tienen en la instalación sin interferir en su correcta operación.
- Para inversores diferentes a los tipos que se han mencionado, se exigirá que cumplan con requisitos de calidad similares.

Actualmente se implementa el concepto de inversor bidireccional, el mismo permite aprovechar la energía reactiva debido a la característica de la carga y retornarla a la batería o bien aprovechar la fuente de energía alterna y realizar la carga de baterías. La ventaja de utilizar este tipo de inversores es básicamente reducir etapas de conversión y tener la capacidad de manejar flujo de potencia bidireccional.

En este caso se considera el inversor ESI-I V1 de ABB que se observa en la Figura 4.18, este equipo es una combinación de 2 equipos el ESI-I-M315 y el ESI-I-M200. Las características de este inversor bidireccional es la reducción del contenido armónico de la tensión de salida, el mejoramiento en el rendimiento global del inversor y la capacidad de monitorear la estabilidad de la red al detectar una perturbación desconectándose de la misma.

Este inversor está protegido contra cortocircuitos, sobrecargas, contra inversiones de polaridad en el caso de corriente continua; también admite desconexión automática, baja distorsión armónica, bajo consumo, aislamiento galvánico, sistemas de medida y monitorización.



Figura 4.18. Inversor ABB ESI-I V1 [42].

El inversor maneja voltaje de continua en un rango de 720 – 1200 Vdc y una corriente de 180 A, la conexión a la red se puede llevar a cabo con valores de 480 Vac en 3 fases y una frecuencia de 60Hz [42].

Para lograr manejar la potencia planteada de 0.5 MW se opta por instalar 1 inversor bidireccional de 500 kW, el mismo debe estar sincronizado a la misma frecuencia

de la red, una de las características técnicas del inversor de ABB es el soporte autónomo de frecuencia y potencia reactiva lo que le permite acoplarse a la red. En la Figura 4.19 se puede observar la combinación del Inversor seleccionado, mientras tanto que en la Figura 4.20 se puede ver la disposición física.

Requested power (kW)	Inverter combinations ESI-I V1	Number of Cable entry cubicles	Dimensions (W x D x H mm) Including cable entry cubicle
200	1 x ESI-I-M200	1	1400 x 600 x 2250
250	1 x ESI-I-M315	1	1400 x 600 x 2250
300	1 x ESI-I-M315	1	2200 x 600 x 2250
500	1 x ESI-I-M315 + 1 x ESI-I-M200	1	2200 x 600 x 2250
600	2 x ESI-I-M315	1	2200 x 600 x 2250
700	1x ESI-I-M315 + 2 x ESI-I-S200	2	3600 x 600 x 2250
800	2x ESI-I-M315 + 1 x ESI-I-S200	2	3600 x 600 x 2250
1500	5 x ESI-I-M315	3	5800 x 600 x 2250

Figura 4.19. Combinaciones del Inversor ABB ESI-I V1 [42].

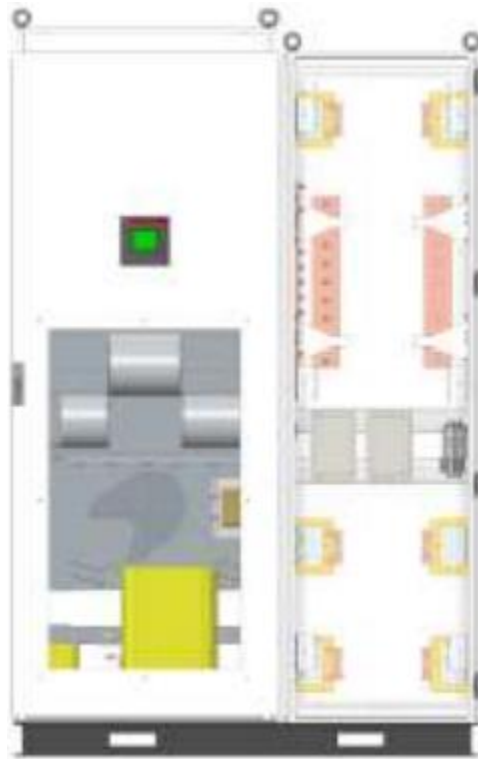


Figura 4.20. Disposición física del Inversor ABB ESI-I-V1 [42].

Mediante el sistema de control se establece los niveles de voltaje y corriente que manejarán el equipo previo a cargar y descargar las baterías sin ocasionar daños en las mismas, esta información puede manejarse a través del SCADA del sistema.

4.5.1.2 Obtención del arreglo para el almacenamiento

Considerando los parámetros tanto del inversor, así como de la batería escogida se puede obtener la relación de los arreglos que formarán parte del sistema del banco de baterías.

$$V_{m\acute{a}x} = \frac{V_{m\acute{a}x}_{inv}}{V_{m\acute{a}x}_{Bat}} = \frac{1500}{91.3} = 16.43 \approx 16 \text{ Baterías en serie}$$

$$V_{m\acute{i}n} = \frac{V_{m\acute{i}n}_{inv}}{V_{m\acute{i}n}_{Bat}} = \frac{740}{70.4} = 10.51 \approx 11 \text{ Baterías en serie}$$

$$V_{prom} = \frac{((V_{m\acute{a}x}_{inv} + V_{m\acute{i}n}_{inv}) / 2)}{V_{nom}} = \frac{((1500 + 740) / 2)}{77.4} = 14.47 \approx 14 \text{ Baterías en serie}$$

$$I = \frac{I_{inv}}{I_{Bat}} = \frac{172}{111} = 1.54 \approx 1 \text{ Batería en paralelo.}$$

Mediante verificación que se realiza con la utilización de una tabla de cálculo (Tabla 4.5) se puede aproximar el arreglo a 14 baterías en serie y 4 ramas en paralelo. En la Figura 4.21 se muestra el esquema de baterías conectadas al inversor que será el encargado de entregar la energía continua almacenada por las baterías a la red, entregando un valor en total de 0.481 MW que es el más cercano para cubrir el valor nominal del mismo.

TABLA 4.5 Aproximación del arreglo de banco de baterías (Elaboración Propia)

Paralelo	Serie				
	10	11	12	13	14
1	85914	94505.4	103096.8	111688.2	120279.6
2	171828	189010.8	206193.6	223376.4	240559.2
3	257742	283516.2	309290.4	335064.6	360838.8
4	343656	378021.6	412387.2	446752.8	481118.4
5	429570	472527	515484	558441	601398
6	515484	567032.4	618580.8	670129.2	721677.6

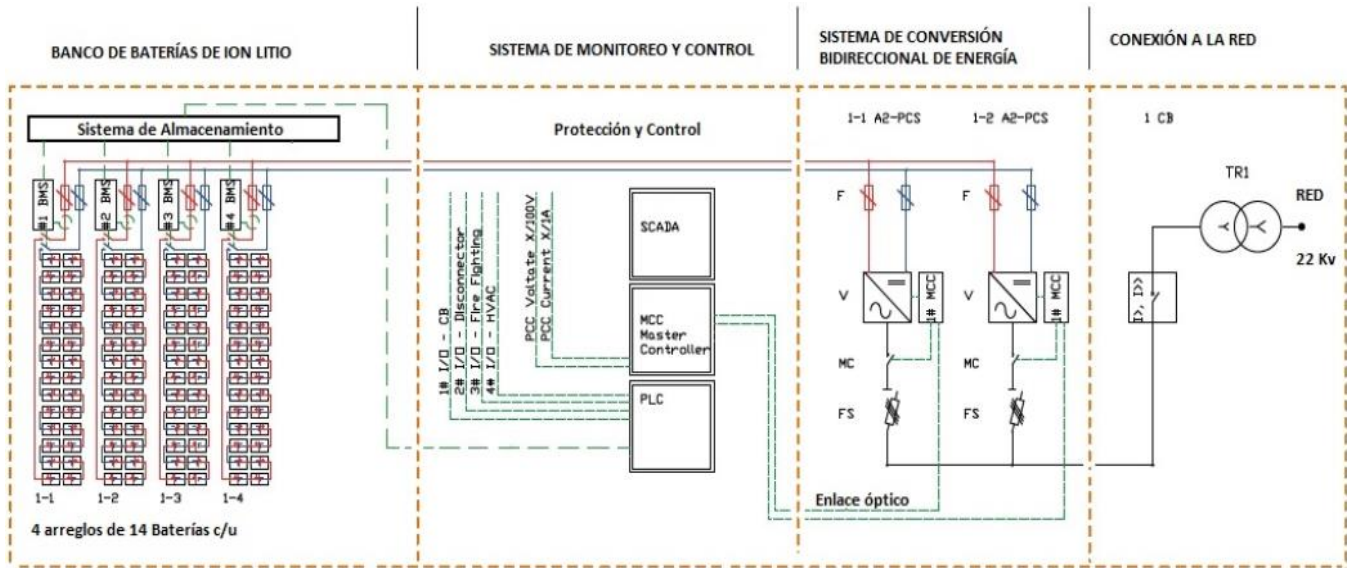


Figura 4.21. Ramal de 14 baterías conectadas al inversor.
(Elaboración propia)

En base a la potencia establecida para el presente análisis se define que la energía que se va a almacenar en los períodos de valle será de 1.063 MWh como se indica a continuación, se debe tener en cuenta que la eficiencia de carga y descarga de la batería escogida es del 94%, del mismo modo se debe considerar que la batería no se descargará al 100% para evitar que la misma presente un desgaste prematuro de sus ciclos de vida.

$$P = 0.5MW$$

$$Energía = E = \frac{Pxt}{\eta}$$

$$E = \frac{0.5MW \times 2hrs}{0.94}$$

$$E = 1.063MWh$$

La Figura 4.22 muestra de manera general el esquema de conexión de los elementos del sistema de almacenamiento considerando el sistema de control que es el encargado de ejecutar los ciclos de carga y descarga del sistema de almacenamiento actuando sobre el inversor bidireccional [43].

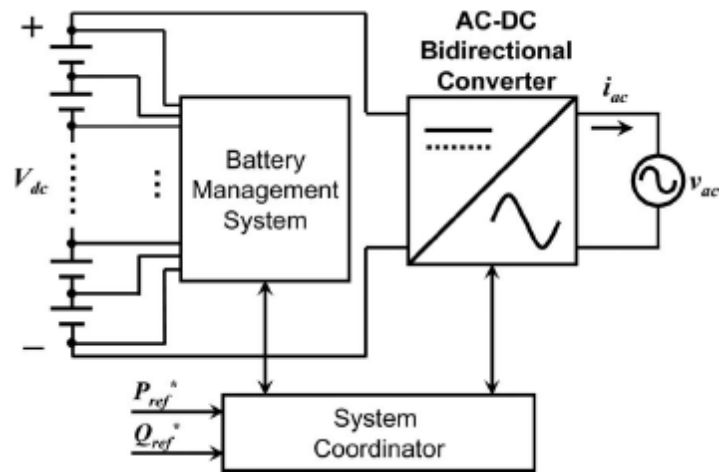


Figura 4.22. Esquema simplificado del Sistema de Almacenamiento de Energía. [43]

Del mismo modo se debe tener en cuenta que el sistema de control será el encargado de ejecutar los ciclos de carga y descarga entregando la señal necesaria para que el inversor ejecute el trabajo deseado, esto puede llevarse a cabo mediante un protocolo de comunicación siempre y cuando la potencia y tensión de continua estén en el rango que el inversor lo permita así como la corriente de alterna.

La Figura 4.23 muestra la disposición del sistema propuesto a partir del banco de baterías.

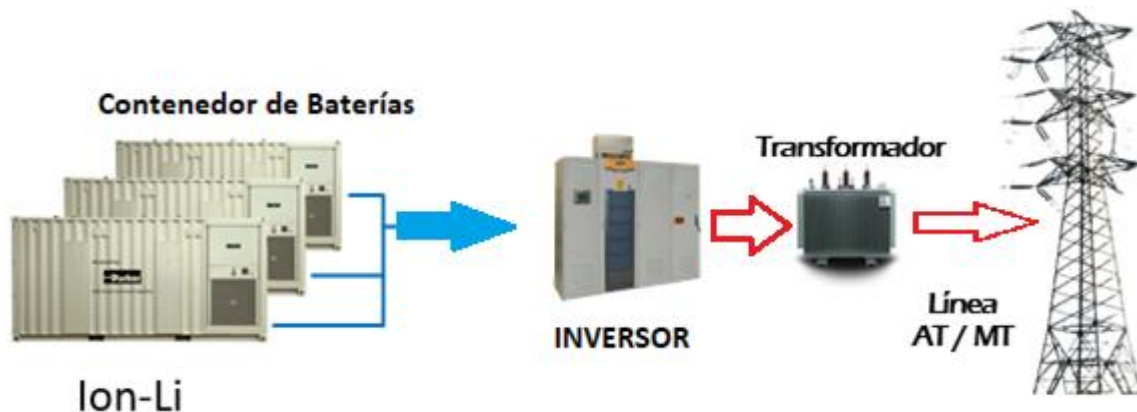


Figura 4.23. Disposición del sistema de almacenamiento hacia la red. (Elaboración Propia)

4.5.1.3 Conductores

Considerando recomendaciones internacionales, las guías técnicas ICT-BT-19¹³, y la ICT-BT-20¹⁴, los conductores deben ser de cobre y deben estar aislados a excepción de los que se montan sobre aisladores. Además de cumplir con las normas UNE-EN-60332 o IEC 60332.

Los conductores que se utilizan para la instalación deben contar con la sección adecuada para minimizar las caídas de tensión, así como los calentamientos del cobre por el efecto Joule; para cada uno de los tramos, el rango de caída de tensión debe considerarse entre el 4 y 5% como se indica a continuación:

- Caída de tensión máxima en la parte de corriente continua, 2.5%.
- Caída de tensión máxima en la parte de corriente alterna, 1.5%.

Para una mayor seguridad, los conductores deben separarse tomando en consideración los positivos y negativos para impedir que se produzcan uniones que termine en cortocircuitos y demás problemas.

En el diseño se debe incluir la cantidad de cable utilizado tanto en la parte de corriente continua como en la parte de corriente alterna considerando reservas pertinentes para futuras instalaciones y para evitar la posibilidad de contacto en el momento de flujo de personas.

4.5.2 SIMULACIÓN DEL APLANAMIENTO DE LA CURVA DE DEMANDA MEDIANTE PHYTON

Para poder verificar el resultado de almacenar la potencia de 0.5 MW en el alimentador 0524 perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur y como el sistema de baterías trabajaría para atenuar la demanda del mismo se procede a

¹³ Prescripciones generales de instalaciones interiores o receptoras

¹⁴ Sistemas de Instalación para instalaciones interiores o receptoras

generar líneas de programación que satisfagan la condición establecida mediante la implementación de un algoritmo que haga el cálculo del tiempo de carga y descarga de la energía del banco de baterías así como la energía absorbida y entregada.

La implementación del algoritmo se hará en el programa Python¹⁵ y se utilizará los datos referentes al alimentador 0524 de la Empresa Regional Centro Sur en cuanto a la potencia del día típico de mayor y menor demanda para obtener una visualización del desempeño del sistema de almacenamiento en el mismo.

El programa genera un archivo de resultados en Excel mostrando cuatro columnas establecidas en el siguiente orden:

1. Variación del tiempo (hora de registro de la potencia del alimentador 0524). Este dato es el inicial de las curvas de demanda y se coloca de manera decimal.
2. La potencia inicial que se obtiene del mismo archivo de las curvas de demanda.
3. Se obtiene la curva de potencia aplanada, estos son los resultados de los cálculos donde se puede apreciar la descarga y carga de las baterías.
4. El umbral de descarga que es el valor ideal al que debería aproximarse la curva aplanada.

Las simulaciones se las realiza considerando la máxima demanda, mínima demanda y promedio para observar el comportamiento del alimentador ante los tres escenarios.

Mediante el desarrollo de las líneas de programación se obtiene el aplanamiento de la curva de demanda del alimentador 0524 considerando la demanda dada en el día

¹⁵ Lenguaje de programación multiparadigma, soporta orientación a objetos, programación imperativa y, en menor medida, programación funcional. Es un lenguaje interpretado, dinámico y multiplataforma.

típico del mes de mayor demanda y en el día típico del mes de menor demanda, del mismo modo se hace la simulación del comportamiento considerando la demanda promedio de todo el año 2019.

Con el uso de la herramienta Phyton se puede obtener los valores de energía almacenada y entregada acorde la curva de la demanda promedio obteniendo los siguientes resultados:

- Energía almacenada en las baterías: 1.17 MWh
- Energía entregada por las baterías: 0.93 MWh

Los resultados denotan que la cantidad calculada de almacenamiento de energía de 1.063 MWh se aproxima a la simulada mediante el programa bajo las condiciones de carga del alimentador 0524.

La secuencia de programación se realiza considerando el siguiente algoritmo:

-
1. INICIO
 2. Importar datos de demanda en el tiempo.
[Demanda], [tiempo]
 3. Datos del ESS (Energy storage system) o Sistema de Almacenamiento.

P_{ESS}	Potencia nominal de 1 módulo ESS.
n_{ESS}	Número de módulos ESS.
η_{in}	Eficiencia de carga de las baterías.
η_{out}	Eficiencia de descarga de las baterías (despacho)
E_{ESS}	Capacidad nominal de almacenamiento de las baterías.
 4. Carga del ESS en hora valle
$$E_{ESS} = carga \times \Delta t \times \eta_{in}$$
 5. Descarga del ESS en horas pico. Proceso iterativo

6. $aux = D_{max} - P_{ESS}$ Criterio inicial para establecer la potencia umbral de descarga.
 7. $maxit$ Número máximo de iteraciones para calcular el despacho.
 8. ΔP Variación de potencia para ajustar el umbral de descarga.
 9. Mientras $it < maxit$
 - a. Si $P_i > aux$:
 - i. $P_{aux} = P_i - aux$
 - ii. Si $\text{floor}\left(\frac{P_{aux}}{P_{ESS}}\right) < n_{ESS}$
 1. $despacho = \sum_i P_{ESS} \times n_{ESS} \times \Delta t_i \times \eta_{out}$
 2. Registrar hora de descarga
 - b. Si $despacho > E_{ESS}$:
 - i. $aux = aux + \Delta P$
 - c. Caso contrario
 - i. $aux = aux - \Delta P$
 - d. $it = it + 1$
 - e. Si $despacho_k - despacho_{k-1} \leq tol$:
 - i. $it = maxit$ Criterio de parada del proceso iterativo
 10. Mostrar resultados.
 11. FIN
-

El programa realizado considera los datos del día típico de mayor demanda, el día típico de menor demanda y la demanda promedio del alimentador 0524. Los mismos son censados cada 15 minutos como se explicó en el capítulo III.

El sistema almacena la energía en las horas valle considerando la carga por el intervalo de tiempo y la eficiencia de carga de la batería, el valor óptimo para aprovechar la carga y descarga de las baterías es el valor de umbral, el mismo se consigue por iteraciones realizadas en el programa.

Una vez que se realiza la simulación se generan dos archivos Excel, el primero con los resultados del sistema conjuntamente con el aporte de las baterías y el otro archivo con el aporte del sistema de almacenamiento únicamente.

Para el desarrollo de las simulaciones se utiliza el número de módulos calculados y

la eficiencia de carga y descarga de las baterías escogidas para el planteamiento, el valor aportado por las baterías en el día típico de demanda mínima es el que se indica en la Figura 4.24.

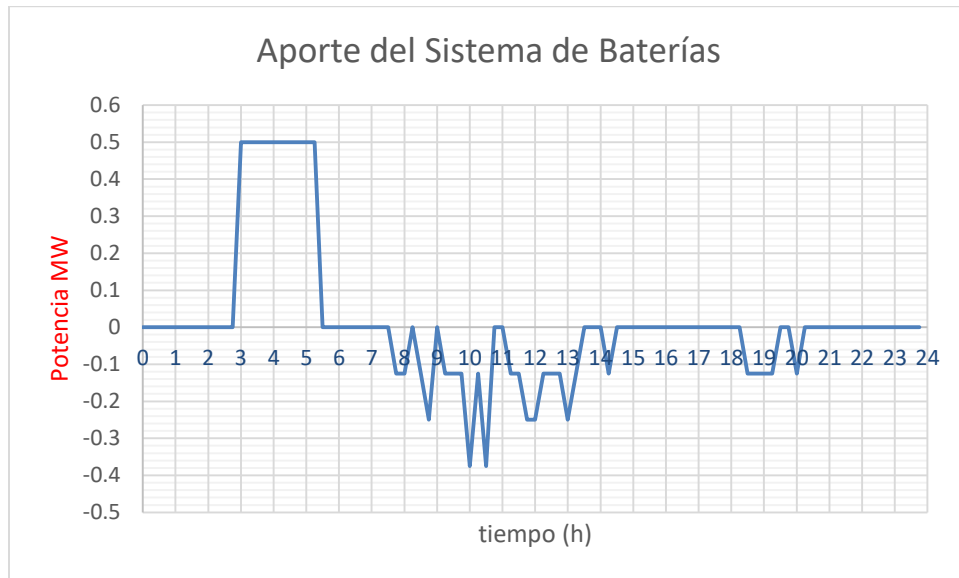


Figura 4.24. Aporte del sistema de almacenamiento en el día típico de menor demanda. (Elaboración Propia)

En la Figura 4.25 se tiene el resultado de la simulación considerando los datos del día típico en el mes de menor demanda del alimentador 0524. Como se puede observar, el comportamiento del banco de baterías cambia y trata de acoplarse a los cambios en las horas valle y pico de la curva de demanda en este caso se da una mayor uniformidad de los lapsos de estabilización tanto en la entrega como almacenamiento de energía por parte de las baterías. Se observa que el sistema de baterías carga energía en el período comprendido entre las 03h00 y 05h30, en cambio entrega energía en los horarios entre las 18h00 y 20h00.

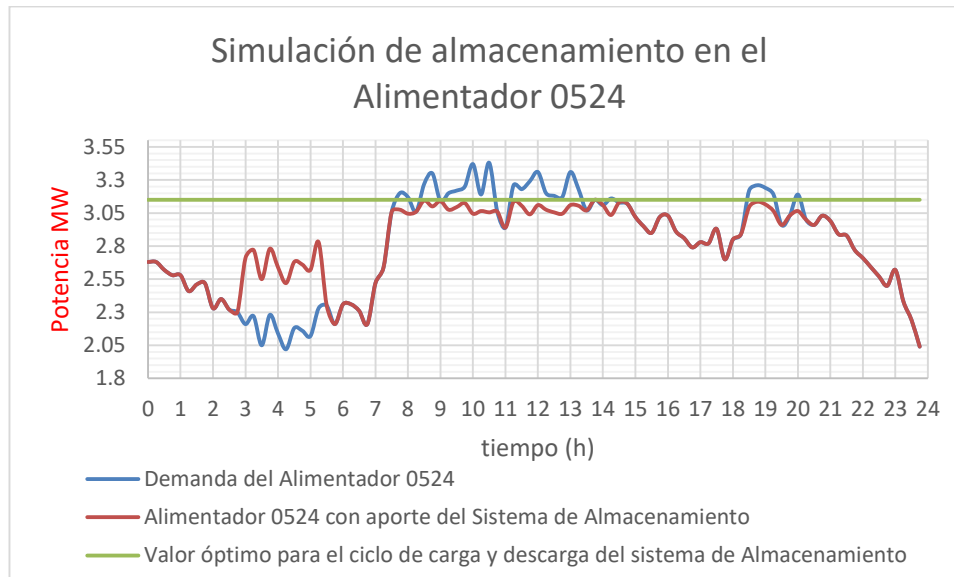


Figura 4.25. Resultados con los datos del día típico de mínima demanda. (Elaboración Propia)

El valor aportado por las baterías en el día típico de demanda máxima es el que se indica en la Figura 4.26, el sistema almacena energía entre las 02h00 y 05h00 mientras que entrega energía entre las 20h00 y 21h00. Se observa además que existe un período entre las 18h00 y 20h00 en el que la entrega de energía es menor.

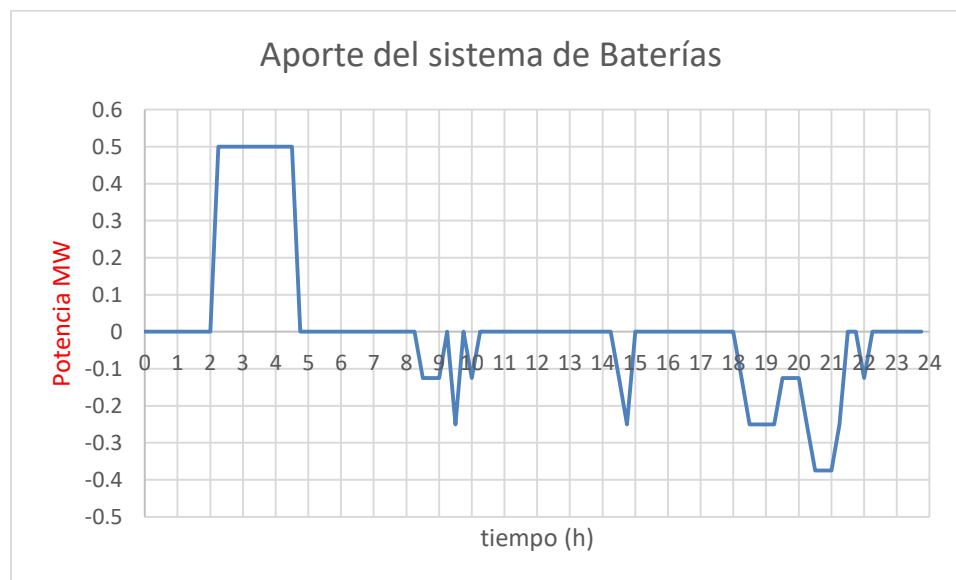


Figura 4.26. Aporte del sistema de almacenamiento en el día típico de mayor demanda. (Elaboración Propia)

En la Figura 4.27 se puede apreciar los resultados de la simulación considerando los datos del día típico del mes de mayor demanda, como se puede observar en las horas valle existe una carga del sistema de baterías mismo que se aporta en las horas pico para tratar de equiparar el valor óptimo de carga y descarga.

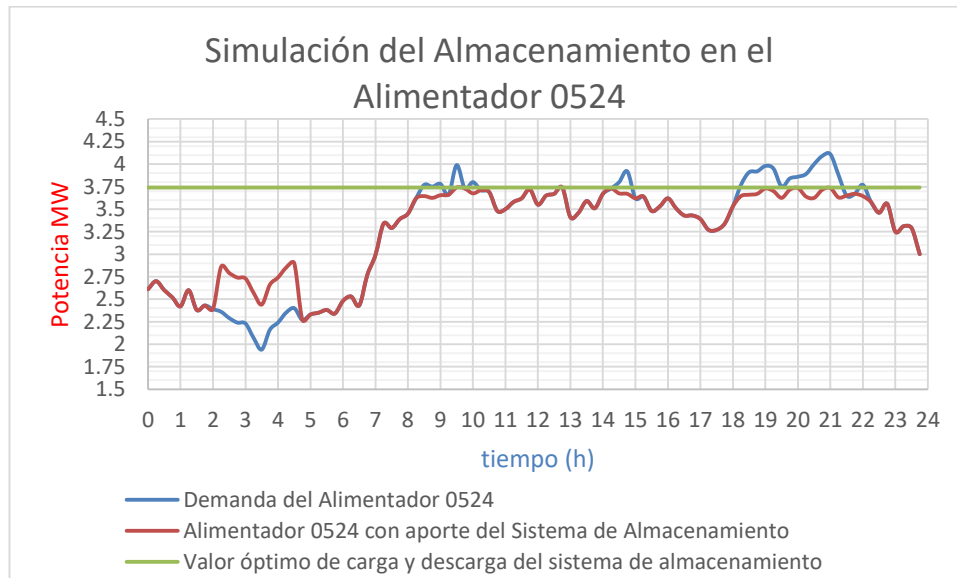


Figura 4.27. Resultados con los datos del día típico de máxima demanda. (Elaboración propia)

En el caso de la Figura 4.29 se utilizan los datos de la demanda promedio del alimentador a lo largo del año 2019 razón por la cual el seguimiento de entrega de energía por parte de la baterías se hace más extendido considerando que las potencias son el resultado promedio de la demanda a lo largo del año, si bien el comportamiento tanto en el almacenamiento como en la entrega es similar a los casos anteriores la diferencia de energía se logra obtener sin llegar al valor de umbral.

Del mismo modo el aporte del sistema de baterías considerando la demanda promedio del alimentador se puede observar en la Figura 4.28.

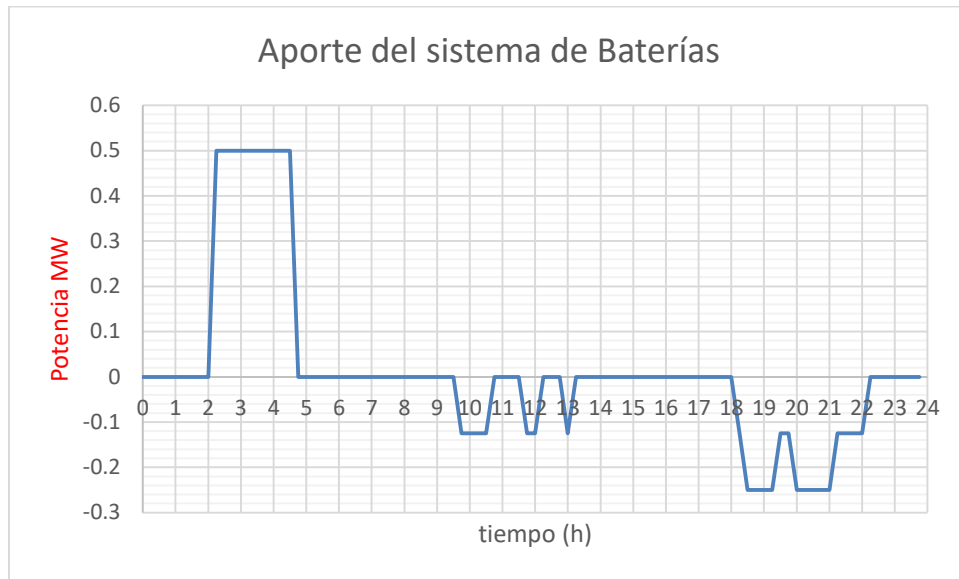


Figura 4.28. Aporte del sistema de almacenamiento considerando la demanda promedio del alimentador 0524. (Elaboración Propia)

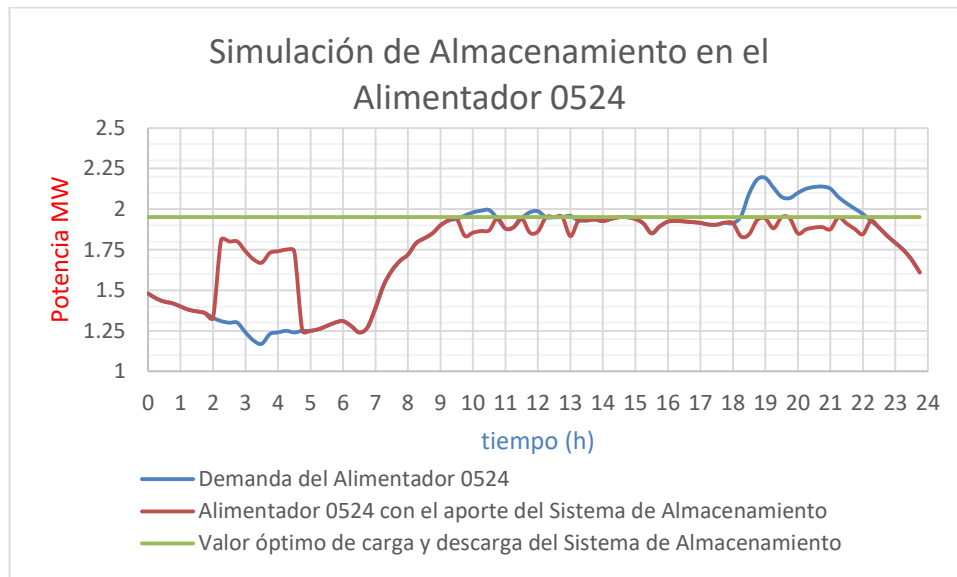


Figura 4.29. Resultados con los datos de demanda promedio. (Elaboración propia)

Realizando la misma simulación con una potencia superior se encontrará que los valores obtenidos se irán acoplado a los requerimientos en los tiempos necesarios para almacenar y proveer energía por parte del alimentador. El script de

programación se puede apreciar en el Anexo 4.

De igual manera se procede a simular el comportamiento del flujo del alimentador considerando la inclusión del banco de baterías al mismo. Esto se hace mediante la utilización del programa DigSilent¹⁶.

En la Figura 4.30 se puede observar el esquema del alimentador 0524 ingresado en el programa Digsilent para la verificación de los flujos de potencia del mismo.

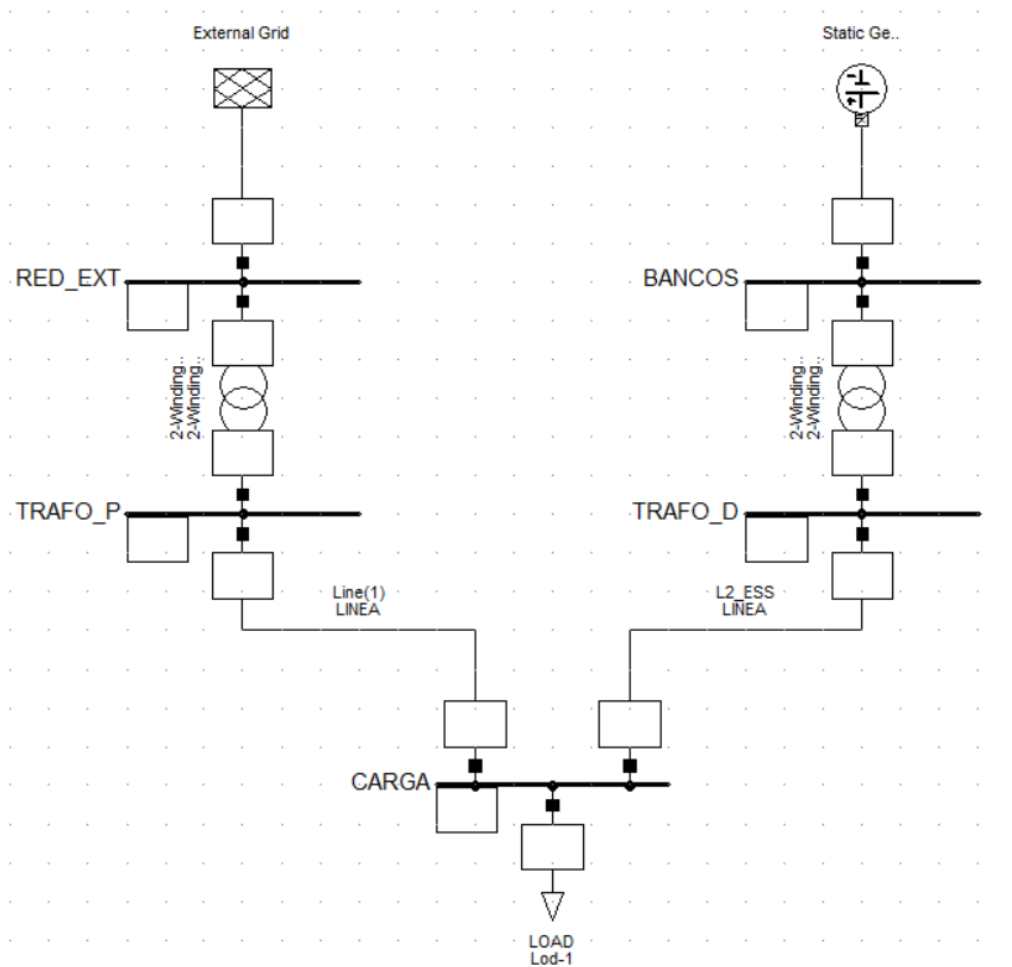


Figura 4.30. Alimentador 0524 en Digsilent (Elaboración propia)

¹⁶ DigSilent, es un software que brinda servicios en el campo de los sistemas de energía eléctrica para plantas de transmisión, distribución y generación eléctrica.

En la Figura 4.31 se observa el alimentador 0524 de la Empresa eléctrica Regional Centro Sur y el banco de baterías ingresado en el programa Digsilent, esto se realiza para verificar el estado actual del sistema y su comportamiento con la adición del sistema de almacenamiento.

Se hace el análisis de flujos en el programa y se obtienen los resultados actuales del sistema como se muestra en la Figura 4.31.

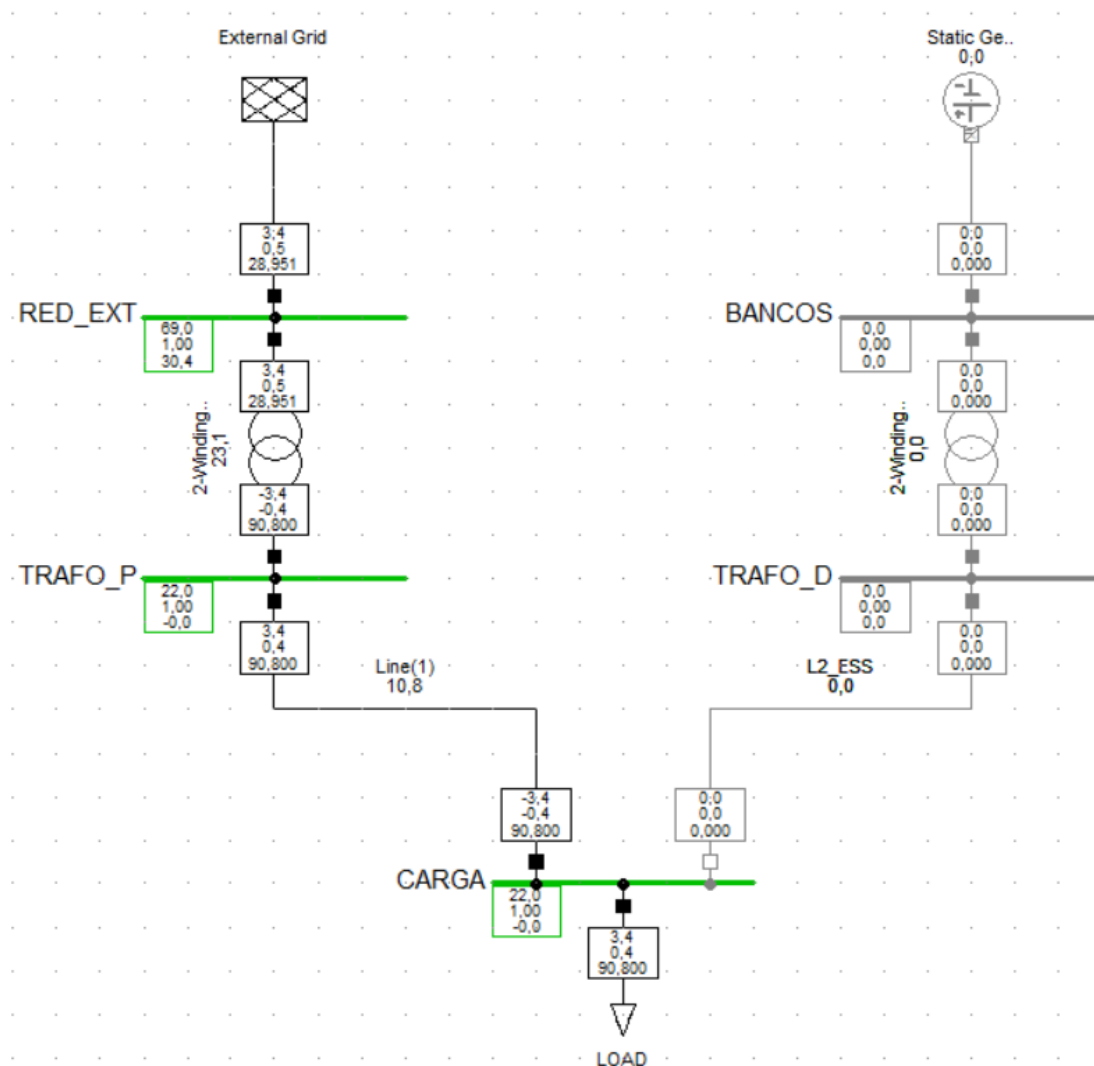


Figura 4.31. Análisis del estado actual del alimentador 0524 en Programa Digsilent (Elaboración Propia).

El valor de Potencia acorde el análisis de flujo mediante el programa DigSilent es de 3.4 MW con 0.4 MVAR y una corriente de 90.8 A, a nivel del alimentador, el valor de potencia concuerda con el valor promedio que se indica en la Tabla 3.5, estos valores son los que actualmente están presentes en el sistema sin la adición del sistema de almacenamiento.

Con la integración del banco de baterías al alimentador 0524 (Figura 4.32), se observa que el valor de potencia se mantiene pero hay una variación leve en la corriente, esto se puede observar en la Tabla 4.5.

Este resultado indica que el sistema de almacenamiento no afecta la entrega de potencia del alimentador al sistema sin embargo presenta una leve variación en la corriente debido a la actuación del sistema de almacenamiento, razón por la cual se debería considerar aplicar un estudio de cortocircuito a fin de reconfigurar el sistema de protecciones, en el presente caso no se considerará este aspecto.

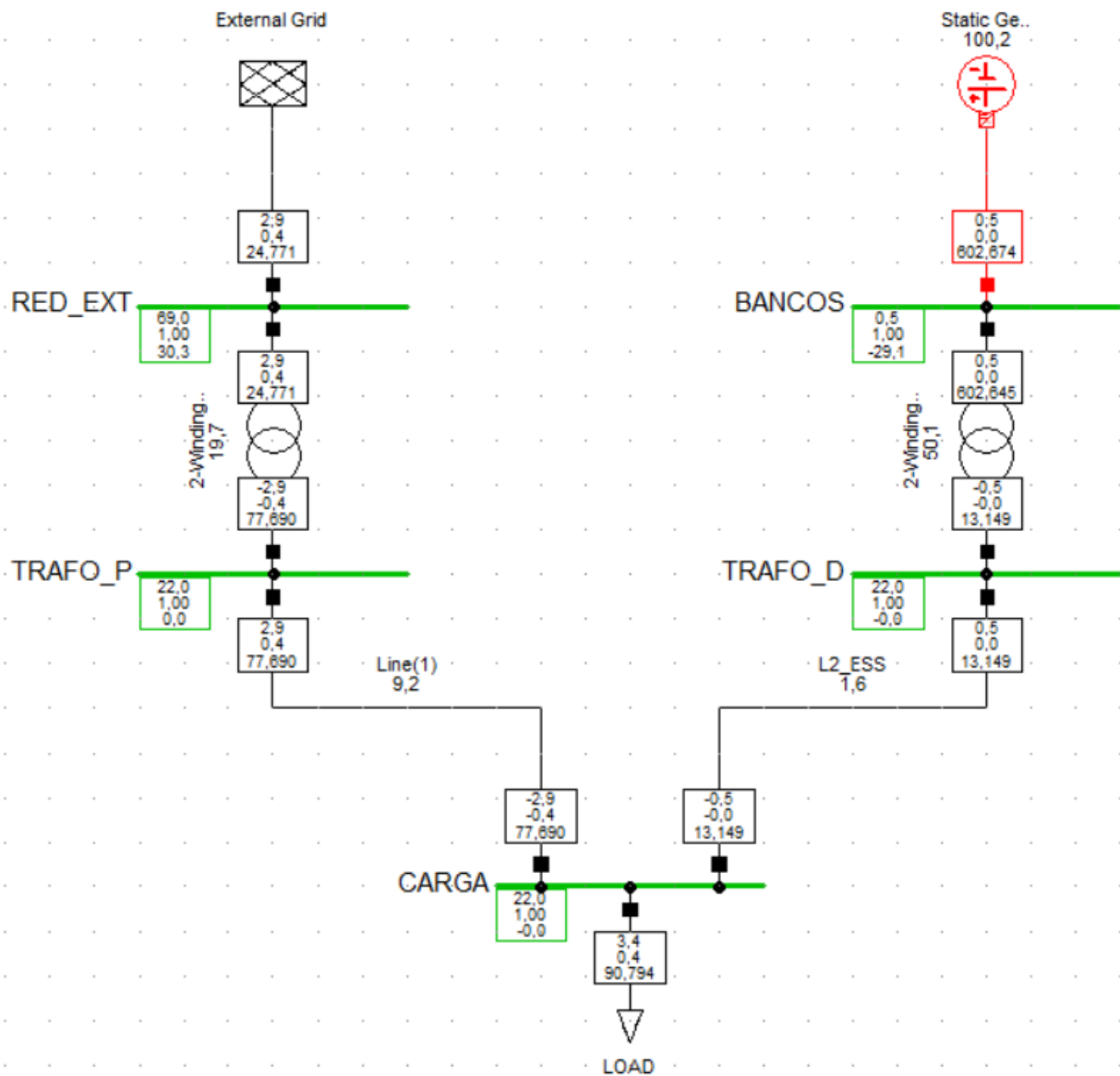


Figura 4.32. Flujo de carga del alimentador 0524 conectando el Sistema de Almacenamiento en programa Digsilent (Elaboración Propia).

TABLA 4.6 Resultados de flujos del alimentador 0524 obtenidos en Digsilent (Elaboración Propia)

	Alimentador 0524 sin la inclusión del sistema de Almacenamiento	Carga con la inclusión del Sistema de Almacenamiento
Potencia (MW)	3.4	3.4
Potencia Reactiva (MVAR)	0.4	0.4
Corriente (A)	90.8	90.794

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

5.1 ANÁLISIS DE LA FACTIBILIDAD DE INVERSIÓN DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO

El desarrollo que presenta las baterías de Ion litio en la actualidad es de magnitud mayor a los de otros tipos de baterías, esto conlleva a unas oportunidades significativas de reducir costos, la integración de este tipo de parámetros como se observa en la Figura 5.1 se convierte en uno de los principales factores técnicos que influyen en la disminución de costos, el perfeccionamiento de los materiales utilizados y una línea de producción más competitiva acarrea un campo más amplio de investigación y desarrollo [13].

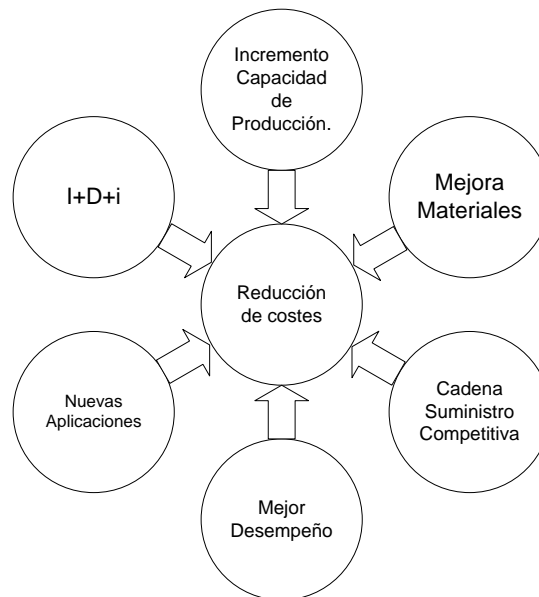


Figura 5.1 Factores que influyen en la reducción de costos de la batería de Ion – Litio. (Elaboración Propia)

En el presente trabajo se ha optado por realizar el análisis económico considerando un banco de baterías de Ion litio para realizar el almacenamiento de energía correspondiente al alimentador 0524 perteneciente a la Empresa Eléctrica Regional

Centro Sur, verificar la propuesta es factible para implementar utilizando 4 inversores que transforman la energía eléctrica continua (DC) de la cual se dispone en la batería en corriente alterna (AC) la que a su vez se regresa a la red eléctrica.

Como un incentivo extra podría presentarse que el ingreso al país de todo el equipo que se utilice, sería libre de impuestos.

Para poder desarrollar de manera correcta el análisis se necesitan los conceptos que se detallan a continuación

- Cash-Flow: diferencia entre la entrada y la salida de dinero contemplado en el proyecto durante el período de un año [13].
- VAN (valor actual neto): renovación de los cobros y pagos del proyecto para conocer el porcentaje de ganancia o pérdida de la inversión [13].

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n} \quad (5.1)$$

Donde:

- I_0 : Cash Flow en el primer periodo (desembolso inicial)
 - F_t : Cash Flow en el periodo t
 - k : Tipo de rentabilidad
 - n : Número de periodos
- TIR: tipo de interés que iguala el VAN a cero.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = 0 \quad (5.2)$$

- Fondos Absorbidos: son inversiones, valor residual, etc.

- Fondos generados: se crean por la actividad de la empresa y están disponibles para cualquier aplicación en la misma.
- Periodo de recuperación (pay back): tiempo que se demora en recuperar la inversión inicial efectuada [13].

5.2 DATOS INICIALES DEL ANALISIS ECONÓMICO

Para el análisis económico se considera que el financiamiento será total por parte de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, se proyecta el tiempo de vida útil para 20 años y se considera el valor de la inflación actual del país [44], esto se puede apreciar en la Tabla 5.1.

TABLA 5.1 Datos iniciales generales (Elaboración Propia)

Datos generales	
Potencia de la instalación (kW)	500
Coste instalación (US\$/kW)	US\$ 530.00
Coste total de la inversión (US\$)	US\$ 441,692.83
Recursos propios para la financiación del proyecto (% de la inversión inicial)	100.00%
Impuestos	0.0%
Vida útil del proyecto en años	20
Inflación	3.30%
Valor de la Energía	2,12 ¢US\$/kWh

En la Tabla 5.2 se puede se detalla los valores de la batería y el inversor considerando valores comerciales en Euros.

TABLA 5.2 Datos iniciales generales (Elaboración propia)

DATOS INICIALES	
Precio batería (US\$/MWh)	29680
Tamaño batería (MWh)	1.063
Precio Inversor (US\$/MW)	55000
Tamaño Inversor (MW)	0.5 a 1
Amortización batería (años)	11
Amortización Inversor (años)	15

En el caso que se desee implementar el almacenamiento de energía mediante el almacenamiento de baterías se debe considerar el precio de la batería teniendo en cuenta los datos del fabricante (US\$/MWh), el tamaño del sistema de baterías (MWh), el precio del inversor que se basará en los MW de capacidad, en este caso kW, los valores de infraestructura y cableado, así como la construcción e implementación del espacio físico necesario. Como se detalló en el capítulo IV, las baterías de ion litio se pueden adquirir por unidades, racks y módulos armados, su valor será uno de los elementos a analizar en el momento del diseño previo.

TABLA 5.3 Valores de inversión propuesto (Elaboración Propia)

EJECUCIÓN DE MATERIALES	395,491.35	
SUMA DE GASTOS GENERALES Y BENEFICIOS	23,729.48	
	3%G.GENERALES	11,864.74
	3% BENEFIC	11,864.74
TOTAL PRESUPUESTO	419,220.83	
TOTAL PRESUPUESTO GENERAL	US\$ 419,220.83	

Los valores referidos en la Tabla 5.2 se toman teniendo en cuenta los valores comerciales, generalmente dado en Euros, el reflejo de los mismos en el campo local se haría mediante conversión de la moneda a dólares. Se debe considerar un tiempo de amortización del sistema de baterías (años) así como del inversor [13].

La Tabla 5.3 muestra los valores generales de inversión propuesto considerando aspectos como el suministro, transporte e instalación de las baterías, inversores y rectificadores, cableado así como la implementación de obra civil necesaria para la puesta en funcionamiento del sistema de almacenamiento.

Se realiza el análisis financiero con la ayuda de una tabla de cálculo en Excel, el resultado se presenta en el Anexo 11:

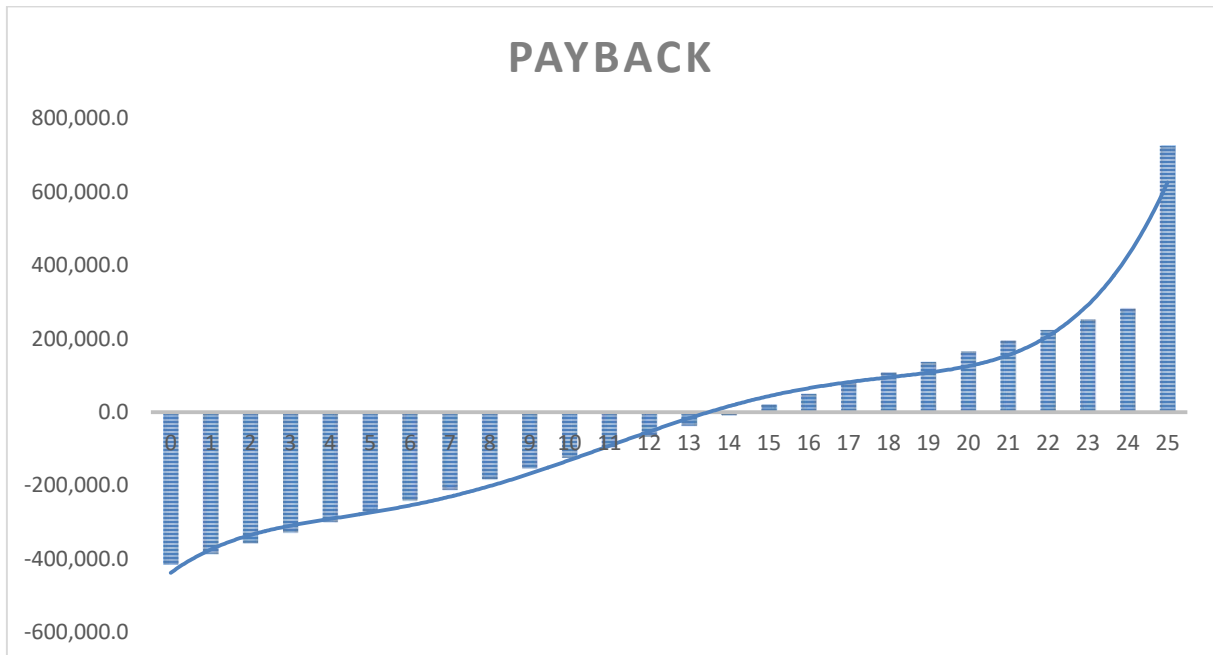


Figura 5.2 Recuperación del valor inicial. (Elaboración Propia)

En la Figura 5.2 se puede observar el comportamiento del Payback, este es el período en el que se acumulan los sucesivos flujos netos de caja hasta alcanzar una suma igual a la de la inversión inicial, en la gráfica se puede constatar que la inversión inicial se recupera superado los 13 años teniendo en cuenta que la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur asumirá el 100% de la inversión.

5.3 CONCLUSION DEL ANALISIS ECONÓMICO

Una vez que se han considerado los aspectos mencionados anteriormente, se debe agrupar en una tabla todos los importes como se detalla a continuación:

- Inversiones, costos y gastos: son los que forman parte de los fondos que se absorben y por lo tanto los que se restan a la hora de calcular el Cash Flow.
- Amortizaciones: La amortización se logra teniendo en cuenta la vida útil estimada, así como del valor sobrante del elemento, en este caso se trata de repartir el costo de compra entre la vida útil de tal manera que la provisión anual de la amortización representa un gasto que reduce el resultado.

- En el caso del cálculo del cash flow, el ingreso de amortización anual se suma al resultado contable sin suponer salida de caja
- Valor residual: este importe es el que una empresa podría percibir por la venta de un activo una vez que se ha concluido la vida útil [13].

Se debe tener en cuenta que técnicamente hablando las ventajas de aportar energía para aplanar la curva de demanda representará un ahorro tanto en el caso de pérdidas así como en la renovación de equipos adicionales acorde la terminación de vida útil de los mismos.

Se debe considerar que en el periodo 0 se hace la suma de inversiones que se indican con signo negativo debido que son desembolsos o salidas de caja. Desde el período 1 en adelante se debe comprobar si existe el beneficio, teniendo en cuenta que esta propuesta no tuviera aplicación de impuestos solamente se sumarían las amortizaciones ya que el desembolso ha sido al principio (Año 0).

Una vez que se calcula el cash flow o flujo de caja, se puede estimar el tiempo de recuperación o pay back, la TIR y el VAN. Este proceso se realiza considerando los elementos presentes en el caso de implementarse el sistema de almacenamiento tales como el tamaño del inversor, las características de las baterías existentes en el mercado, la implementación de un transformador necesario para devolver la energía almacenada a la red así como el sistema de control necesario para la operación del sistema.

En la Tabla 5.4 se tiene el resumen de resultados Financieros obtenidos mediante la ayuda de una tabla de Excel considerando los datos, el valor positivo tanto del TIR como del VAN son positivos significan que la propuesta es viable, siempre y cuando se trate de una inversión por parte de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur con un aporte de inversión del 100%.

TABLA 5.4 Resumen de Resultados Financieros (Elaboración Propia)

Tasa Interna de Retorno (TIR)	11.61%
Valor Actual Neto (VAN)	US\$ 500,284.38
Tasa Interna de Retorno neta (TIR_{neto})	9.01%

Teniendo en cuenta que se trata de una propuesta, se puede establecer que el proyecto de inversión no sería viable para ser aplicado por una empresa privada o grupo de inversores, sin embargo y al considerar que la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur está en búsqueda constante de generar alternativas que mejoren las condiciones del sistema podría interesarse en asumir las pérdidas de esta inversión y compensarlas con ganancias del índole técnico, al punto de que la inversión dada se muestre a futuro como una recuperación en cuanto a la cantidad de energía adquirida para satisfacer la demanda.

En la Tabla 5.5 (de acuerdo al Anexo 11) se aprecia que el resultado obtenido indica que el proyecto recuperaría su inversión después de un período de 13 años, considerando que la empresa Eléctrica Regional Centro Sur asuma el 100% de inversión inicial.

TABLA 5.5 Resumen de Resultados Costo de Financiación (Elaboración Propia)

Subvenciones															
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Importe Subvención	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Cuota Amortización Subvención (di)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Préstamo															
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Saldo Inicial (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Intereses	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Amortización Financiera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Saldo Final (31/12)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Capital Propio															
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Importe deuda	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	
Dividendos	29,345.5	29,345.5	29,345.5	29,345.5	29,345.5	29,345.5	29,345.5	29,345.5	29,345.5	29,345.5	29,345.5	29,345.5	29,345.5	29,345.5	
Amortización deuda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Saldo deuda	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	419,220.8	
Dimensión financiera de la financiación (pasivo)															
- Inversión	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
	-419,220.8	29,345.46	29,345.46	29,345.46	29,345.46	29,345.46	29,345.46	29,345.46	29,345.46	29,345.46	29,345.46	29,345.46	29,345.46	29,345.46	
Coste del capital (pasivo)	7.00%														
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	-419,220.8	-389,875.37	-360,529.91	-331,184.46	-301,839.00	-272,493.54	-243,148.08	-213,802.62	-184,457.17	-155,111.71	-125,766.25	-96,420.79	-67,075.33	-37,729.87	8,128.19

5.4 ANALISIS DE RESULTADOS FUTUROS

Considerando que este tipo de proyectos aún no se están implementado a nivel nacional y teniendo en cuenta que el presente proyecto representa una propuesta, las aplicaciones en el campo nacional aun no son consideradas a gran escala; por lo tanto, si el proyecto se enmarcará en una inversión privada no sería rentable. Es por esta razón que se puede valorar posibles resultado futuros que conllevan a que el análisis proporcione una rentabilidad positiva basada en las experiencias que se están aplicando en varios países de Europa y que deberían tener mayor apoyo en el país.

Como ya se explicó, el avance de las baterías de Ion Litio genera oportunidades para reducir costos. Los factores técnicos son participes directos en la reducción de costos de estas baterías lo que significa un incremento en la capacidad de producción, una cadena de suministro más competitiva y un amplio espectro de investigación.

Para que el análisis resulte viable, se requiere que el Valor Actual Neto (VAN) sea positivo. Las variables necesarias para calcular el VAN son:

- Inversión inicial.
- Tipo de interés
- Flujo de caja (Cash Flow), en el que intervienen los ingresos y costos.

Para que la propuesta sea rentable en caso que se desee realizar la inversión de manera particular, el precio de la batería debería bajar al menos un 80% sobre el precio actual, además se debe considerar que los valores de las baterías están disminuyendo de manera considerable en los últimos años [45].

Una estimación establece que el precio de la batería podría llegar a 20 €/kWh en el año 2026 con lo cual se haría cada vez más accesible la aplicación de este tipo de tecnologías [45].

El almacenamiento de energía permite tener una curva de demanda aplanada, esto significa que la previsión de energía se puede realizar de mejor manera, esto se puede observar al verificar la proyección de la demanda de energía realizada en el año 2019 para el alimentador 0524 y la energía real utilizada. Este análisis brinda una mejor estimación de los recursos requeridos por concepto de compra de energía.

TABLA 5.6 Proyección de costos de Compra de Energía Eléctrica 2019 (Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur)

Año / Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Costo total	40,438	31,721	33,430	35,472	34,750	35,299	36,567	35,528	31,901	34,547	34,850	34,610	419,113.89
Costo unitario promedio	2.93	2.48	2.36	2.58	2.43	2.55	2.57	2.53	2.30	2.38	2.48	2.39	2.50

TABLA 5.7 Costos reales de compra de Energía Eléctrica año 2019 (Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur)

Año / Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Total
Costo total	28,499	27,843	28,148	28,116	28,247	28,822	29,870	27,608	29,636	29,407	27,314	27,784	341,293.85
Costo unitario promedio	2.09	2.19	2.05	2.10	2.04	2.15	2.25	2.17	2.20	2.17	2.01	2.00	2.12
% mensual de desajuste	-29.53%	-12.23%	-15.80%	-20.74%	-18.72%	-18.35%	-18.31%	-22.29%	-7.10%	-14.88%	-21.62%	-19.72%	
(\$) diferencia	-11,940	-3,878	-5,282	-7,356	-6,504	-6,477	-6,697	-7,920	-2,265	-5,140	-7,535	-6,826	-77,820

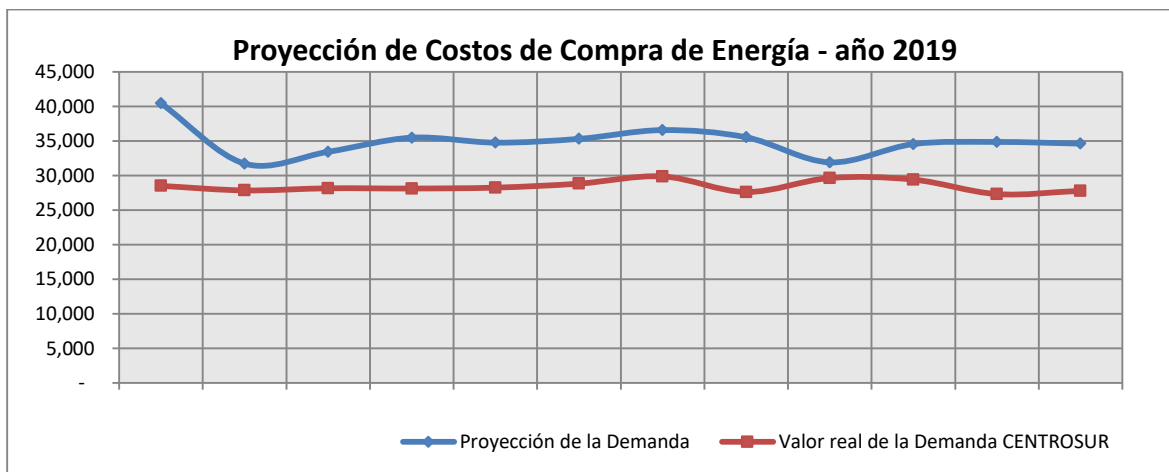


Figura 5.3 Proyección de Costos de Compra de Energía año 2019. (Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centros Sur)

Teniendo en cuenta que el costo de producción de energía hidráulica es menor al de la energía térmica, la implementación del sistema de almacenamiento será beneficioso para la empresa eléctrica debido a que la energía producida y almacenada en horas valle de fuentes hidráulicas cuyo costo es de 2.12 centavos de dólar puede almacenarse y entregarse en las horas pico obviando la utilización de la energía producida por centrales térmicas como por ejemplo El Descanso.

Considerando los datos obtenidos de compra de energía tanto hidráulica como térmica se hace la comparación de los precios, el ahorro considerando la potencia de 0.5 MW se puede apreciar en la Tabla 5.8, teniendo en cuenta la energía almacenada de 1.063 MWh.

TABLA 5.8 Costos reales de compra de Energía Eléctrica año 2019 (Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur)

Año / Mes	Hidráulica	Térmica
Costo total	2,253.56	18,071
Costo unitario promedio ¢US\$/kWh	2.12	17.00
Energía Almacenada (MWh)	1.063	1.063
(\$) diferencia	15,817	

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Del trabajo realizado se pueden obtener las siguientes conclusiones:

6.1 CONCLUSIONES

Se puede concluir que la gestión de la curva de demanda mediante almacenamiento, representa desarrollo de la tecnología enfocada en fuentes de energía limpia o renovable, el aplanamiento de la curva de la demanda permitirá reducir el consumo de energía generada a base de combustibles fósiles en las horas pico.

En cuanto a las baterías de Ion Litio el costo se reduce mientras incrementa las prestaciones respecto a otros tipos de batería así como otras tecnologías de almacenamiento, su capacidad de descarga en breve tiempo las hace atractivas para implementar sistemas de almacenamiento como se trata en el presente trabajo teniendo en cuenta que la carga y descarga se hace acorde el requerimiento de demanda del alimentador como se muestra en las simulaciones desarrolladas. Se debe tener en cuenta que las baterías de ion litio son atractivas para los sistemas de almacenamiento debido a que el valor de mantenimiento es bajo.

Se realizaron simulaciones que permiten observar el funcionamiento de las baterías considerando la potencia del alimentador en su consumo promedio del año 2019, así como la potencia en el día típico del mes de mayor consumo y el día típico del mes de menor consumo. En las gráficas correspondientes se pudo observar que las baterías reaccionan al paso del tiempo almacenando energía en las horas de menor consumo y aportando cuando se requiere mayor demanda, lo que nos permite evidenciar que el implementar un sistema similar en cualquier parte del sistema de

distribución de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur tendrá un comportamiento apegado a las características de la red a la que se aplica.

El almacenamiento de energía aplicado al alimentador puede utilizarse para mantener la capacidad de la red de distribución y aplazar mejoras como el reemplazo de un transformador de distribución con una vida útil a punto de culminar o sobrecargado en la subestación.

Los resultados obtenidos de la simulación permiten observar que el sistema de almacenamiento de energía se puede acoplar al comportamiento del alimentador, esto debido a que el mismo se desarrolló para el día típico de menor demanda, el día típico de mayor demanda y la demanda promedio del mismo.

Se consideraron resultados obtenidos en cargas y descargas a las baterías existentes en el laboratorio de microredes de la Universidad de Cuenca ubicado en el sector de Balzay para estimar la eficiencia de las baterías y compararla a las que se dan en los catálogos comerciales y así estimar un valor más aproximado a la realidad y por ende brinde una mejor apreciación de implementar las mismas en el sistema de almacenamiento aplicado.

La funcionalidad del sistema de almacenamiento depende en gran parte de las especificaciones de la red, en el caso del presente trabajo se ha realizado un análisis considerando las características eléctricas del sistema de estudio, en este caso del alimentador 0524 correspondiente a la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, por lo tanto para una estimación de las necesidades y el potencial del almacenamiento en las redes eléctricas se debe realizar estudios técnico económicos específicos en cada caso.

La Empresa Eléctrica Regional Centro Sur podría adoptar esta tecnología para optimizar las redes en base al análisis de la propuesta establecida en el presente trabajo, en el caso que sean otras instituciones las que estén dispuestas a asumir

la inversión de instalar y operar un sistema de almacenamiento para proveer a futuro servicios a otras distribuidoras o incluso generadoras a nivel del país si le resultase favorable; debería considerarse una legislación que dé apertura a este interés, lo que mejoraría más el panorama para la implementación de mencionada tecnología. En el país aún no existe un desarrollo marcado de tecnologías de almacenamiento de energía, razón por la cual la falta de un marco regulatorio será una de las principales barreras para la integración de sistema de almacenamiento en las redes eléctricas.

El sistema de almacenamiento mediante baterías y específicamente las de ion litio representan soluciones para la disminución de picos a lo largo del año para la empresa de distribución de energía, en este caso la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur, de igual manera se presenta como una solución ante perturbaciones de larga y corta duración, la variación del costo de energía, pérdidas comerciales y otros problemas similares.

Se realizó un script de programación que ayuda a visualizar como un sistema de almacenamiento instalado en un alimentador de la red de distribución de la Empresa eléctrica Regional Centro Sur aporta la energía necesaria para atenuar la curva de la demanda considerando una potencia de 0.5 MW que será almacenada por el lapso de 2 horas, este valor se consideró teniendo en cuenta la potencia que aporta la Termoeléctrica El Descanso, es importante recalcar que dejar de utilizar esta termoeléctrica significaría un ahorro tanto económico así como evitar la emisión de gases al ambiente. A más del ahorro económico que significa almacenar energía se suma el valor económico que representa que la Termoeléctrica se encuentre disponible para proveer la energía acorde el requerimiento del despacho en el momento de mayor demanda.

La potencia del inversor será mínimo el 80% de la potencia pico del valor de potencia que se estará generando, considerando que en generación máxima el inversor puede soportar de 20 a 25% de sobrecarga.

6.2 RECOMENDACIONES

1. El inversor debe cumplir con normas de seguridad eléctrica y compatibilidad electromagnética además de tener protecciones frente a cortocircuitos en corriente alterna, tensiones y frecuencia fuera de rango, protecciones frente a sobretensiones y ante perturbaciones en la red.
2. El convertidor bidireccional que se encuentra conformado por el rectificador y los inversores se debe coordinar considerando que el rectificador obtendrá la señal para gestionar la carga y descarga de las baterías mediante protocolos de comunicación como el SCADA, los inversores se pueden configurar en esquema maestro-esclavo de tal manera que la energía sea devuelta a la red sin tener desfase de frecuencia.
3. Los inversores deben ser de onda senoidal pura además de entregar la potencia nominal de forma continua arrancando y operando todas las cargas que tienen en la instalación sin interferir en su correcta operación.
4. Se debe tener en cuenta que los sistemas de almacenamiento de energía implementan métodos de control los mismos que implícitamente utilizan elementos de electrónica de potencia, los mismos provocarán cierta distorsión en la red, mediante la inyección de corrientes armónicas, esto significa que será necesario el uso de filtros cuya implementación se podría analizar en otro estudio.

REFERENCIAS

- [1] Pérez, A. (2016). *Estudio de Viabilidad económica para almacenamiento de energía eléctrica en acumuladores electroquímicos*. (Trabajo Fin de Grado), Universidad Politécnica de Cartagena, Colombia.
- [2] García de Fonseca, L., Manan, P & Ravi, M. (2019). *Evolución futura de costos de las energías renovables y almacenamiento en América Latina*, Wood Mackenzie, México.
- [3] Espinoza Abad, J. L., Sempertegui Álvarez, R. E., & González Morales, L. G. (2018). *Micro grid laboratory as a tool for research on non-conventional energy sources in Ecuador. 2017 IEEE international autumn meeting on power, electronics and computing (ROPEC)*
- [4] Díaz - González, F., Sumper A., Gomis - Bellmunt O., Villafáfila - Robles R. *A review of energy storage technologies for wind power applications*. Renewable and Sustainable Energy Reviews 2012; 16:2154-2171.
- [5] Braff, W.A, Mueller, J.M., and Trancik, J.E. (2016). *Value of Storage technologies for wind and solar energy*. Nat. Clim. Chang. 6,964-969
- [6] Lazard. (2016). *Lazard's Levelized Cost of Storage Analysis, [2.0. version]*. Recuperado de <https://www.lazard.com/media/438042/lazard-levelizedcost-of-storage-v20.pdf>.
- [7] Fitzgerald, G., Mandel, J., Morris, J., and Touati, H. (2015). *The Economics of Battery Energy Storage: How Multi-Use, Customer Sited Batteries Deliver the Most Services and Value to Customers and the Grid*, Rocky Mountain Institute, Colorado EEUU.
- [8] Ordoñez, J. (2017). *Análisis de viabilidad técnico-económico de sistemas con energías renovables a pequeña escala con nuevas tecnologías de almacenamiento*. (Trabajo de maestría), Instituto politécnico de Leiria, Portugal.
- [9] Cortés, A. (2016). *Sistemas de almacenamiento de energía basados en baterías y supercondensadores*, Universidad de Alcalá, Alcalá, España.
- [10] Proyecto Almacena (2013). *Solución de almacenamiento electroquímico para mejorar la eficiencia Batería de ion-litio instalada en la subestación del sistema eléctrico*. Recuperado de www.ree.es, Madrid, España.
- [11] Karanki, S.B.; Xu, D. (2016). *Optimal capacity and placement of battery energy storage systems for integrating renewable energy sources in distribution system*. In

- Proceedings of the 2016 National Power Systems Conference (NPSC), Bhubaneswar, India.
- [12] S. Vasquez, S.M. Lukic, E. Galvan and J. Carrasco, (2010). *Energy Storage Systems for Transport and Grid Applications*, IEEE trans. On Industrial Electronics, vol.57, No.12.
- [13] Zhang C., Wei Y. Cao P. y Lin M. (2018). *Energy storage system: current studies on batteries and power condition system*. Renewable and Sustainable energy reviews, 82, 3091-3106.
- [14] Isla, L., Singla, M., Rodríguez M., Granada, I. (2019). *Análisis de Tecnología, industria y mercado para vehículos eléctricos en América Latina y El Caribe*, Banco Interamericano de Desarrollo, Washington, EEUU.
- [15] Proyecto Almacena, (2015), *Un proyecto pionero de almacenamiento electroquímico de energía eléctrica*, Red Eléctrica de España. Recuperado de: <https://www.ree.es/es>
- [16] Hernández, R. (2016), *Análisis Económico de Un Sistema de Almacenamiento Para la Disminución de Desvíos de Producción en un Parque Eólico*. (Trabajo de Fin de Master), Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- [17] A Roca, J. (2019), El periódico de la Energía. Recuperado de: <https://elperiodicodelaenergía.com/el-ion-litio-es-el-claro-ganador-de-la-carrera-mundial-de-almacenamiento-de-energía-pero-tiene-un-gran-inconveniente>
- [18] Almacenamiento de Energía (2019), Red Eléctrica de España. Recuperado de: <https://www.ree.es/es>
- [19] J & A Electronics (China) Co; Ltd. *Fabricante profesional de baterías recargables con más de 10 años de experiencia*, recuperado de <http://jaelectronics.com/>
- [20] Shenzhen Napel Power Tech. Co; Ltd *Fabricante chino que fabrica además baterías de plomo – ácido común, baterías de gel*, recuperado de <http://www.napelpower.com/>
- [21] Gallego, J. (2014). *Sistemas de Acumulación de Energía Eléctrica para Centrales de Generación Hidráulica Fluyentes* (Tesis Fin de Master). Departamento de Ingeniería Energética de Universidad de Sevilla, Sevilla, España.
- [22] Windpower. (2020), Advance PCB Battery. Recuperado de: <http://www.windpowerengineering.com>
- [23] Características de Yuasa Battery. Recuperado de: <http://www.yuasabatteries.com/batteries.php>.
- [24] Exide Technologies. Recuperado de: <http://www.exide.com>

- [25] ENDESA (2017), *El Almacenamiento de Energía en la Distribución Eléctrica del Futuro*, Real Academia de Ingeniería. Madrid, España.
- [26] Hesse, H., Schimpe, M., Kucevic, D., and 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. *Energies* 10, 2107.
- [27] IRENA (2015), *Battery Storage for Renewables: Market Status and Technology Outlook*, Younicos, Alemania.
- [28] Gauchia, L. (2009), *Nonlinear Dynamic Per-unit Models for Electrochemical Energy Systems*, Madrid, España.
- [29] A. Perez, R. Moreno, R. Moreira, M. Orchard, and G. Strbac, (2016). *Effect of Battery Degradation on Multi-Service Portfolios of Energy Storage*, vol. 7, no. 4.
- [30] Casacca, A., Lynch, A. (1992). *A Mathematical Model for Lead-Acid Batteries*, vol. 7, no. 1, University of Lowell, Massachussets, EEUU.
- [31] Mariaud, S. Ekins-daukes, N. (2017) “Integrated optimisation of photovoltaic and battery storage systems for UK commercial buildings,” *Appl. Energy*.
- [32] ARCONEL (2013), *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022*. Recuperado de: <https://www.regulacioneolica.gob.ec/plan-maestro-de-electrificacion-2013-2022/>.
- [33] Hesse, H., Schimpe, M., Kucevic, D., and 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*. *Energies* 10, 2107.
- [34] Twenergy (30-06-2019). *El Almacenamiento Eléctrico como elemento clave para dotar de mayor eficiencia y seguridad al sistema eléctrico*. Recuperado de: <https://twenergy.com/eficiencia-energetica/almacenamiento-de-energía/el-almacenamiento-electrico-como-elemento-clave-para-dotar-de-mayor-eficiencia-y-seguridad-al-sistema-electrico-1745/>.
- [35] PV Magazine. (2020). Recuperado de: <https://www.pv-magazine.es/>.
- [36] Sullivan, J. L., Gaines, L (2010). *A review of Battery Life – Cycle Analysis*, Argonne National Lab, Washington, EEUU.
- [37] Características de baterías Steka, recuperado de: www.steka.com.
- [38] Gonzales, M (2019). *Metodología para evaluar el impacto de las tecnologías de almacenamiento de energía en sistemas de distribución eléctricos*. (Proyecto Final de Master), Escola Técnica Superior d’ Enginyeria Industrial de Barcelona, España.

- [39] Cabrera, M., Bermeo, J., Rodriguez, J. & Valladares, A. (2019). *Cálculo de eficiencia energética en el proceso de almacenamiento para las baterías Ion – Litio, Plomo Acido, Flujo de Vanadio y Supercondensadores*, Universidad de Cuenca, Ecuador.
- [40] Ter-Gazarian. (2011). *Energy Storage for Power Systems. 2nd Edition, the Institute of Engineering and Technology*, Stevenage, United Kingdom.
- [41] Características de las Baterías Samsung SDI, recuperado de <https://www.samsungsdi.com/ess/index.html>
- [42] Características de Inversor ABB ESI-I V1 recuperado de: https://new.abb.com/docs/librariesprovider46/pw2016/seminars/r310-en-esi_converter_-_which_is_suitable_for_medium_size_bess_system.pdf?sfvrsn=2/.
- [43] H. Quian, J. Zhang, J.-S. Lai, and W. Yu, "A High – Efficiency Grid – Tie Battery Energy Storage System," *IEEE Trans. Power Electron.* vol. 26, no. 3, pp. 886, Mar. 2011.
- [44] CONELEC, (2000; 2002; 2004; 2006). *Precios de energía eléctrica proveniente de centrales de energía renovable no convencional*. Regulaciones CONELEC-008/00; 003/02; 004/04; 009/06. Quito, Ecuador.
- [45] Huggins, R. (2016). *Energy Storage, Fundamentals materials and application*. Springer, New York, USA.



ANEXOS

ANEXO 1

Tabla de valores de potencias del alimentador 0524 en los meses de mayo y julio del año 2019

(Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur)

12/7/2020	0524		21/5/2020	524	
HORA	P (MW)	Q (MVAR)	HORA	P (MW)	Q (MVAR)
0:00	2.680	0.450	0:00	2.61	0.61
0:15	2.680	0.510	0:15	2.7	0.73
0:30	2.620	0.550	0:30	2.6	0.73
0:45	2.580	0.550	0:45	2.52	0.69
1:00	2.580	0.590	1:00	2.42	0.71
1:15	2.460	0.550	1:15	2.6	0.69
1:30	2.510	0.560	1:30	2.38	0.71
1:45	2.520	0.520	1:45	2.43	0.67
2:00	2.330	0.480	2:00	2.39	0.69
2:15	2.400	0.440	2:15	2.36	0.67
2:30	2.320	0.440	2:30	2.29	0.67
2:45	2.300	0.430	2:45	2.24	0.67
3:00	2.210	0.330	3:00	2.23	0.61
3:15	2.270	0.280	3:15	2.07	0.45
3:30	2.050	0.320	3:30	1.94	0.48
3:45	2.280	0.440	3:45	2.16	0.65
4:00	2.140	0.410	4:00	2.24	0.66
4:15	2.020	0.440	4:15	2.35	0.65
4:30	2.180	0.380	4:30	2.4	0.65
4:45	2.160	0.380	4:45	2.27	0.66
5:00	2.120	0.440	5:00	2.33	0.67
5:15	2.330	0.420	5:15	2.35	0.66
5:30	2.350	0.400	5:30	2.38	0.59
5:45	2.210	0.400	5:45	2.34	0.59
6:00	2.360	0.370	6:00	2.48	0.59
6:15	2.360	0.370	6:15	2.53	0.62
6:30	2.310	0.350	6:30	2.43	0.62
6:45	2.210	0.380	6:45	2.77	0.79
7:00	2.520	0.410	7:00	2.99	0.73
7:15	2.640	0.510	7:15	3.34	1.18
7:30	3.060	0.680	7:30	3.29	1.09
7:45	3.200	0.790	7:45	3.39	1.13
8:00	3.170	0.890	8:00	3.45	1.32
8:15	3.060	0.920	8:15	3.62	1.14



8:30	3.270	1.070	8:30	3.77	1.18
8:45	3.350	1.140	8:45	3.75	1.18
9:00	3.140	0.900	9:00	3.78	1.45
9:15	3.200	0.970	9:15	3.66	1.17
9:30	3.220	0.920	9:30	3.99	1.23
9:45	3.250	0.860	9:45	3.73	1.24
10:00	3.420	0.940	10:00	3.8	1.24
10:15	3.190	0.860	10:15	3.71	1.26
10:30	3.430	1.040	10:30	3.69	1.38
10:45	3.060	0.900	10:45	3.48	1.1
11:00	2.940	0.790	11:00	3.5	1.04
11:15	3.260	0.790	11:15	3.58	1.03
11:30	3.230	0.820	11:30	3.62	1.13
11:45	3.290	0.900	11:45	3.72	1.15
12:00	3.360	0.900	12:00	3.55	1.18
12:15	3.200	0.850	12:15	3.65	1.12
12:30	3.180	0.870	12:30	3.67	1.19
12:45	3.170	0.990	12:45	3.74	1.17
13:00	3.360	1.140	13:00	3.41	1.2
13:15	3.230	0.930	13:15	3.46	1.2
13:30	3.070	1.010	13:30	3.59	1.16
13:45	3.150	1.210	13:45	3.51	1.18
14:00	3.110	0.970	14:00	3.67	1.2
14:15	3.160	0.930	14:15	3.73	1.2
14:30	3.130	1.050	14:30	3.8	1.5
14:45	3.120	0.960	14:45	3.92	1.28
15:00	3.020	0.890	15:00	3.62	1.41
15:15	2.950	0.910	15:15	3.64	1.23
15:30	2.900	1.020	15:30	3.48	1.16
15:45	3.020	1.110	15:45	3.53	1.16
16:00	3.030	1.070	16:00	3.62	1.13
16:15	2.910	0.930	16:15	3.51	1.16
16:30	2.860	0.880	16:30	3.43	1.08
16:45	2.790	1.010	16:45	3.43	1.06
17:00	2.830	0.820	17:00	3.39	1.09
17:15	2.820	0.780	17:15	3.27	1.02
17:30	2.930	0.750	17:30	3.27	1.05
17:45	2.700	0.740	17:45	3.34	0.91
18:00	2.850	0.740	18:00	3.53	0.98
18:15	2.890	0.730	18:15	3.77	1.07
18:30	3.220	0.710	18:30	3.91	0.98



18:45	3.260	0.630	18:45	3.92	0.89
19:00	3.240	0.540	19:00	3.98	0.9
19:15	3.190	0.460	19:15	3.95	0.9
19:30	2.960	0.360	19:30	3.75	0.72
19:45	3.030	0.350	19:45	3.84	0.64
20:00	3.190	0.400	20:00	3.86	0.69
20:15	3.000	0.330	20:15	3.89	0.78
20:30	2.960	0.330	20:30	4	0.85
20:45	3.030	0.330	20:45	4.09	0.9
21:00	2.990	0.360	21:00	4.11	0.87
21:15	2.890	0.290	21:15	3.88	0.86
21:30	2.880	0.340	21:30	3.65	0.88
21:45	2.770	0.340	21:45	3.67	0.78
22:00	2.710	0.300	22:00	3.77	0.79
22:15	2.640	0.300	22:15	3.58	0.79
22:30	2.570	0.300	22:30	3.46	0.81
22:45	2.500	0.290	22:45	3.56	0.81
23:00	2.620	0.300	23:00	3.25	0.77
23:15	2.380	0.290	23:15	3.31	0.87
23:30	2.240	0.240	23:30	3.29	0.79
23:45	2.040	0.170	23:45	3	0.71
ENERG_DÍA	67.373	15.358	ENERG_DÍA	78.23	22.405
POT_MÍN	2.020	0.170	POT_MÍN	1.94	0.45
POT_MAX	3.430	1.210	POT_MAX	4.11	1.5

ANEXO 2

Valor Promedio de Potencia del Alimentador 0524 en los Meses de Mayor y Menor Demanda, Año 2019

(Fuente: Empresa Eléctrica Regional Centro Sur)

	may-21	jul-12	
HORA	(MW)	(MW)	Promedio
0:00	2.610	2.680	2.645
0:15	2.700	2.680	
0:30	2.600	2.620	
0:45	2.520	2.580	
1:00	2.420	2.580	2.500
1:15	2.600	2.460	
1:30	2.380	2.510	
1:45	2.430	2.520	
2:00	2.390	2.330	2.360
2:15	2.360	2.400	
2:30	2.290	2.320	
2:45	2.240	2.300	
3:00	2.230	2.210	2.220
3:15	2.070	2.270	
3:30	1.940	2.050	
3:45	2.160	2.280	
4:00	2.240	2.140	2.190
4:15	2.350	2.020	
4:30	2.400	2.180	
4:45	2.270	2.160	
5:00	2.330	2.120	2.225
5:15	2.350	2.330	
5:30	2.380	2.350	
5:45	2.340	2.210	
6:00	2.480	2.360	2.420
6:15	2.530	2.360	
6:30	2.430	2.310	
6:45	2.770	2.210	
7:00	2.990	2.520	2.755
7:15	3.340	2.640	
7:30	3.290	3.060	
7:45	3.390	3.200	
8:00	3.450	3.170	3.310



8:15	3.620	3.060	
8:30	3.770	3.270	
8:45	3.750	3.350	
9:00	3.780	3.140	3.460
9:15	3.660	3.200	
9:30	3.990	3.220	
9:45	3.730	3.250	
10:00	3.800	3.420	3.610
10:15	3.710	3.190	
10:30	3.690	3.430	
10:45	3.480	3.060	
11:00	3.500	2.940	3.220
11:15	3.580	3.260	
11:30	3.620	3.230	
11:45	3.720	3.290	
12:00	3.550	3.360	3.455
12:15	3.650	3.200	
12:30	3.670	3.180	
12:45	3.740	3.170	
13:00	3.410	3.360	3.385
13:15	3.460	3.230	
13:30	3.590	3.070	
13:45	3.510	3.150	
14:00	3.670	3.110	3.390
14:15	3.730	3.160	
14:30	3.800	3.130	
14:45	3.920	3.120	
15:00	3.620	3.020	3.320
15:15	3.640	2.950	
15:30	3.480	2.900	
15:45	3.530	3.020	
16:00	3.620	3.030	3.325
16:15	3.510	2.910	
16:30	3.430	2.860	
16:45	3.430	2.790	
17:00	3.390	2.830	3.110
17:15	3.270	2.820	
17:30	3.270	2.930	
17:45	3.340	2.700	
18:00	3.530	2.850	3.190
18:15	3.770	2.890	

18:30	3.910	3.220	
18:45	3.920	3.260	
19:00	3.980	3.240	3.610
19:15	3.950	3.190	
19:30	3.750	2.960	
19:45	3.840	3.030	
20:00	3.860	3.190	3.525
20:15	3.890	3.000	
20:30	4.000	2.960	
20:45	4.090	3.030	
21:00	4.110	2.990	3.550
21:15	3.880	2.890	
21:30	3.650	2.880	
21:45	3.670	2.770	
22:00	3.770	2.710	3.240
22:15	3.580	2.640	
22:30	3.460	2.570	
22:45	3.560	2.500	
23:00	3.250	2.620	2.935
23:15	3.310	2.380	
23:30	3.290	2.240	
23:45	3.000	2.040	

ANEXO 3

Potencia Promedio del Alimentador 0524, año 2019 (Elaboración Propia)

HORA	PROMEDIO (MW)
0:00	1.485
0:15	1.452
0:30	1.438
0:45	1.420
1:00	1.403
1:15	1.383
1:30	1.375
1:45	1.362
2:00	1.336
2:15	1.319
2:30	1.308
2:45	1.306
3:00	1.247
3:15	1.194
3:30	1.171
3:45	1.230
4:00	1.243
4:15	1.250
4:30	1.249
4:45	1.250
5:00	1.250
5:15	1.264
5:30	1.281
5:45	1.308
6:00	1.314
6:15	1.285
6:30	1.241
6:45	1.279
7:00	1.394
7:15	1.535
7:30	1.625
7:45	1.687
8:00	1.727
8:15	1.794
8:30	1.826



8:45	1.852
9:00	1.903
9:15	1.930
9:30	1.946
9:45	1.967
10:00	1.982
10:15	1.990
10:30	1.994
10:45	1.943
11:00	1.888
11:15	1.883
11:30	1.944
11:45	1.981
12:00	1.987
12:15	1.950
12:30	1.952
12:45	1.951
13:00	1.958
13:15	1.938
13:30	1.939
13:45	1.936
14:00	1.926
14:15	1.940
14:30	1.952
14:45	1.950
15:00	1.939
15:15	1.911
15:30	1.851
15:45	1.894
16:00	1.923
16:15	1.927
16:30	1.924
16:45	1.920
17:00	1.915
17:15	1.905
17:30	1.904
17:45	1.916
18:00	1.913
18:15	1.956
18:30	2.095
18:45	2.183



19:00	2.191
19:15	2.132
19:30	2.075
19:45	2.068
20:00	2.100
20:15	2.125
20:30	2.136
20:45	2.139
21:00	2.126
21:15	2.074
21:30	2.036
21:45	2.003
22:00	1.970
22:15	1.928
22:30	1.885
22:45	1.835
23:00	1.792
23:15	1.748
23:30	1.689
23:45	1.610

ANEXO 4

Script del programa en Python realizado para la simulación del aplanamiento de la curva de demanda promedio del alimentador 0524 (Elaboración Propia)

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Tue Sep 1 19:24:08 2020
@author: "Juan Carlos Rodríguez Méndez"
"""

import pandas as pd
import numpy as np
import math
from math import floor

#Importación de datos de demandas desde un archivo externo de Excel
#Todos los datos de potencia en los cálculos están en MW

#Curva de demanda
D_max = pd.read_excel('DATOS.xlsx',sheet_name='PROMEDIO')
demanda=D_max.to_numpy()
td_max = D_max['HORA'].values
P=demanda[:,1]

#####
#####

#Datos del banco de baterías
P_ess=0.125 #MW De cada módulo
n_ess=4 #Número de Módulos
eff_in=0.94 #Eficiencia de carga de las baterías.
eff_out=0.98 #Eficiencia de descarga de las baterías.
E_ess=1.063 #MWh

#####
#####

#Carga de la batería
t_carga=E_ess/P_ess
aux_min=np.amin(P)
aux1=np.where(D_max.POTENCIA==aux_min)[0]
aux2=aux1[0]

#Calcula el intervalo de tiempo entre los datos para luego calcular la #energía
temp1=td_max[1]-td_max[0]
temp2=t_carga/(2*temp1)
aux3=int(aux2-temp2)
Pot_max=P.copy()
carga=0
```

```
#####
# Proceso de carga de la batería
#####
while carga<E_ess: #Hasta alcanzar la capacidad nominal
    Pot_max[aux3]=Pot_max[aux3]+P_ess #Actualiza el valor de la demanda
    carga=carga+(P_ess*temp1*eff_in) #Calcula la energía en la batería
    aux3=aux3+1

print ("Energía almacenada en las baterías:",carga,"MWh")

#####
#Proceso de descarga de la batería
#####

aux_max=np.amax(P) #Potencia pico
[dv,dw]=D_max.shape
aux13=aux_max-P_ess #Valor inicial de potencia para aplanar la curva
delta=0.01 #Variación del valor de potencia para aplanar la curva
horas=np.zeros((dv)) #Salvar posición del tiempo
tol=0.1 #Diferencia entre carga y descarga
despacho=0
maxit=200 #Número máximo de iteraciones
it=1
while it<maxit:
    for i in range(dv):
        if P[i]>aux13: #En caso de encontrarse picos de demanda
            p_aux=P[i]-aux13
            entero=floor(p_aux/P_ess)
            if entero<=n_ess:
                Pot_max[i]=P[i]-entero*P_ess #Actualiza la demanda con el aporte de el ess
                despacho=despacho+(entero*P_ess*temp1*eff_out) #Energia entregada por el ess
                horas[i]=td_max[i] #Registro de la hora que se da la descarga
            else:
                Pot_max[i]=P[i]-n_ess*P_ess
                despacho=despacho+n_ess*P_ess*eff_out*temp1
        if despacho>E_ess:
            aux13=aux13+delta
        else:
            aux13=aux13-delta

    desp=despacho
    despacho=0
    hora_desc=horas.copy() #Horario de descarga
    horas=np.zeros((dv))
    #Criterios de parada
    pos1=it
    it=it+1
    error=abs(desp-E_ess)
    if error<tol:
        it=maxit
```

```
#####  
# Resultados  
#####  
  
print ("Energía entregada por las baterías:",desp, "MWh")  
print ("Número de iteraciones:",pos1)  
auxp=np.ones((dv))  
auxp1=np.amax(Pot_max)  
corte=auxp1*auxp  
datos=np.column_stack((td_max,P,Pot_max,corte))  
baterias=Pot_max-P  
datos1=np.column_stack((td_max,baterias))  
guarda=pd.DataFrame(data=datos)  
guarda1=pd.DataFrame(data=datos1)  
guarda.to_excel('resultados.xlsx',sheet_name='CURVAS')  
guarda1.to_excel('baterias.xlsx',sheet_name='CURVA')
```


ANEXO 5

Script del programa en Python realizado para la simulación del aplanamiento de la curva de demanda baja del alimentador 0524 (Elaboración Propia)

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Tue Sep 1 19:24:08 2020
@author: "Juan Carlos Rodríguez Méndez"
"""

import pandas as pd
import numpy as np
import math
from math import floor

#Importación de datos de demandas desde un archivo externo de Excel
#Todos los datos de potencia en los cálculos están en MW

#Curva de demanda
D_max = pd.read_excel('DATOS.xlsx',sheet_name='BAJA')
demanda=D_max.to_numpy()
td_max = D_max['HORA'].values
P=demanda[:,1]

#####
#####

#Datos del banco de baterías
P_ess=0.125 #MW De cada módulo
n_ess=4 #Número de Módulos
eff_in=0.94 #Eficiencia de carga de las baterías.
eff_out=0.98 #Eficiencia de descarga de las baterías.
E_ess=1.063 #MWh

#####
#####

#Carga de la batería
t_carga=E_ess/P_ess
aux_min=np.amin(P)
aux1=np.where(D_max.POTENCIA==aux_min)[0]
aux2=aux1[0]

#Calcula el intervalo de tiempo entre los datos para luego calcular la #energía
temp1=td_max[1]-td_max[0]
temp2=t_carga/(2*temp1)
aux3=int(aux2-temp2)
Pot_max=P.copy()
carga=0
```

```
#####
# Proceso de carga de la batería
#####

while carga<E_ess: #Hasta alcanzar la capacidad nominal
    Pot_max[aux3]=Pot_max[aux3]+P_ess #Actualiza el valor de la demanda
    carga=carga+(P_ess*temp1*eff_in) #Calcula la energía en la batería
    aux3=aux3+1

print ("Energía almacenada en las baterías:",carga,"MWh")

#####
#Proceso de descarga de la batería
#####

aux_max=np.amax(P) #Potencia pico
[dv,dw]=D_max.shape
aux13=aux_max-P_ess #Valor inicial de potencia para aplanar la curva
delta=0.01 #Variación del valor de potencia para aplanar la curva
horas=np.zeros((dv)) #Salvar posición del tiempo
tol=0.1 #Diferencia entre carga y descarga
despacho=0
maxit=200 #Número máximo de iteraciones
it=1
while it<maxit:
    for i in range(dv):
        if P[i]>aux13: #En caso de encontrarse picos de demanda
            p_aux=P[i]-aux13
            entero=floor(p_aux/P_ess)
            if entero<=n_ess:
                Pot_max[i]=P[i]-entero*P_ess #Actualiza la demanda con el aporte de el ess
                despacho=despacho+(entero*P_ess*temp1*eff_out) #Energia entregada por el ess
                horas[i]=td_max[i] #Registro de la hora que se da la descarga
            else:
                Pot_max[i]=P[i]-n_ess*P_ess
                despacho=despacho+n_ess*P_ess*eff_out*temp1
        if despacho>E_ess:
            aux13=aux13+delta
        else:
            aux13=aux13-delta

    desp=despacho
    despacho=0
    hora_desc=horas.copy() #Horario de descarga
    horas=np.zeros((dv))
    #Criterios de parada
    pos1=it
    it=it+1
    error=abs(desp-E_ess)
    if error<tol:
        it=maxit
```

```
#####  
# Resultados  
#####  
  
print ("Energía entregada por las baterías:",desp, "MWh")  
print ("Número de iteraciones:",pos1)  
auxp=np.ones((dv))  
auxp1=np.amax(Pot_max)  
corte=auxp1*auxp  
datos=np.column_stack((td_max,P,Pot_max,corte))  
baterias=Pot_max-P  
datos1=np.column_stack((td_max,baterias))  
guarda=pd.DataFrame(data=datos)  
guarda1=pd.DataFrame(data=datos1)  
guarda.to_excel('resultados.xlsx',sheet_name='CURVAS')  
guarda1.to_excel('baterias.xlsx',sheet_name='CURVA')
```

ANEXO 6

Script del programa en Python realizado para la simulación del aplanamiento de la curva de demanda alta del alimentador 0524 (Elaboración Propia)

```
# -*- coding: utf-8 -*-
"""
Created on Tue Sep 1 19:24:08 2020
@author: "Juan Carlos Rodríguez Méndez"
"""

import pandas as pd
import numpy as np
import math
from math import floor

#Importación de datos de demandas desde un archivo externo de Excel
#Todos los datos de potencia en los cálculos están en MW

#Curva de demanda
D_max = pd.read_excel('DATOS.xlsx',sheet_name='ALTA')
demanda=D_max.to_numpy()
td_max = D_max['HORA'].values
P=demanda[:,1]

#####

#Datos del banco de baterías
P_ess=0.125 #MW De cada módulo
n_ess=4 #Número de Módulos
eff_in=0.94 #Eficiencia de carga de las baterías.
eff_out=0.98 #Eficiencia de descarga de las baterías.
E_ess=1.063 #MWh

#####

#Carga de la batería
t_carga=E_ess/P_ess
aux_min=np.amin(P)
aux1=np.where(D_max.POTENCIA==aux_min)[0]
aux2=aux1[0]

#Calcula el intervalo de tiempo entre los datos para luego calcular la #energía
temp1=td_max[1]-td_max[0]
temp2=t_carga/(2*temp1)
aux3=int(aux2-temp2)
Pot_max=P.copy()
carga=0
```

```
#####
# Proceso de carga de la batería
#####

while carga<E_ess: #Hasta alcanzar la capacidad nominal
    Pot_max[aux3]=Pot_max[aux3]+P_ess #Actualiza el valor de la demanda
    carga=carga+(P_ess*temp1*eff_in) #Calcula la energía en la batería
    aux3=aux3+1

print ("Energía almacenada en las baterías:",carga,"MWh")

#####
#Proceso de descarga de la batería
#####

aux_max=np.amax(P) #Potencia pico
[dv,dw]=D_max.shape
aux13=aux_max-P_ess #Valor inicial de potencia para aplanar la curva
delta=0.01 #Variación del valor de potencia para aplanar la curva
horas=np.zeros((dv)) #Salvar posición del tiempo
tol=0.1 #Diferencia entre carga y descarga
despacho=0
maxit=200 #Número máximo de iteraciones
it=1
while it<maxit:
    for i in range(dv):
        if P[i]>aux13: #En caso de encontrarse picos de demanda
            p_aux=P[i]-aux13
            entero=floor(p_aux/P_ess)
            if entero<=n_ess:
                Pot_max[i]=P[i]-entero*P_ess #Actualiza la demanda con el aporte de el ess
                despacho=despacho+(entero*P_ess*temp1*eff_out) #Energia entregada por el ess
                horas[i]=td_max[i] #Registro de la hora que se da la descarga
            else:
                Pot_max[i]=P[i]-n_ess*P_ess
                despacho=despacho+n_ess*P_ess*eff_out*temp1
        if despacho>E_ess:
            aux13=aux13+delta
        else:
            aux13=aux13-delta

    desp=despacho
    despacho=0
    hora_desc=horas.copy() #Horario de descarga
    horas=np.zeros((dv))
    #Criterios de parada
    pos1=it
    it=it+1
    error=abs(desp-E_ess)
    if error<tol:
        it=maxit
```

```
#####  
# Resultados  
#####  
  
print ("Energía entregada por las baterías:",desp, "MWh")  
print ("Número de iteraciones:",pos1)  
auxp=np.ones((dv))  
auxp1=np.amax(Pot_max)  
corte=auxp1*auxp  
datos=np.column_stack((td_max,P,Pot_max,corte))  
baterias=Pot_max-P  
datos1=np.column_stack((td_max,baterias))  
guarda=pd.DataFrame(data=datos)  
guarda1=pd.DataFrame(data=datos1)  
guarda.to_excel('resultados.xlsx',sheet_name='CURVAS')  
guarda1.to_excel('baterias.xlsx',sheet_name='CURVA')
```

ANEXO 7

Catálogo de Baterías Ion Litio marca Samsung

Energy Platform New

Over 2 hours

- Energy density has increased more than 18% with upgrades to Samsung SDI's new advanced cell
- Higher density enables better footprint and installation cost savings



Item		Module	Rack		
Model		E3-M090	E3-R081	E3-R099	E3-R108
Cell Capacity	Ah	111	111	111	111
Energy	kWh	90	81	99	108
Operating Voltage	V	70.4-91.3	634-822	774-1,004	845-1,096
Dimension (W x D x H)	mm	370 x 588 x 160	442 x 702 x 1,792	442 x 702 x 2,124	442 x 702 x 2,290
Weight	kg	55	550	670	730

*2018.2H Mass Production

Medium Platform

1+hour up to 45 minutes

- Unique Platform in the ESS Industry with Mid-range Capabilities
- Optimized Solution for around One hour of Grid Service
- The Highest Lifetime Performance in a Continuous Charge/Discharge for 1 hour



Item		Module	Rack		
Model		M2-M076	M2-R068	M2-R084	M2-R091
Cell Capacity	Ah	94	94	94	94
Energy	kWh	7.6	6.8	8.4	9.1
Operating Voltage	V	70.4-91.3	634-822	774-1,004	845-1,096
Dimension (W x D x H)	mm	370 x 650 x 160	442 x 702 x 1,792	442 x 702 x 2,124	442 x 702 x 2,290
Weight	kg	55	550	670	730

Benefits of Lithium-ion Batteries

Less Space / Weight

Lead-acid Lithium-ion
[Equal Capacity]

- Less Space for Battery Room
- No Structure Reinforcement Required

Longer Life

Lead-acid Lithium-ion

- Battery Replacement Deferral
- Enhanced Reliability

Fast Charge / Discharge Rate

Lead-acid Lithium-ion
[Back-up 10min]

- No Oversizing Required
- Shorter Charging Time

*This comparison above is based on each material's characteristic. The Battery life time may vary depending on the environmental condition which the device are used in and the customer's usage pattern.

Why Samsung SDI

- Only Samsung SDI can provide a 10 minute backup battery solution
- Compatible with Global UPS Battery Solutions
- Proven Safety & Quality
- Global Reference to IDC, a Factory in Operation for over 5 years



IDC (Internet Data Center)

2012, Shinhan Bank
World's First LIB Solution

Factory

2016, Samsung Display /Semiconductor
World's Largest factory



ANEXO 8

Características Técnicas de los Inversores ESI de ABB

Model	ESI-I	ESI-M	ESI-S
Ratings			
Maximum power at 400V _{AC} (3-phase)	Up to 315 kW in one unit	Up to 100 kW in one unit	Up to 85 kW in one unit
Battery voltage range	V1: 585-830 V _{DC} at 400 V _{AC} V2: 720-1200 V _{DC} at 480 V _{AC}	V1: 585-830 V _{DC} at 400 V _{AC}	V1: 585-830 V _{DC} at 400 V _{AC} (3-phase) 120-830 V _{DC} at 240 V _{AC} (single-phase)
Electrical characteristics			
Connection method	3-phase	3-phase	3-phase/3-phase + neutral/ single-phase
Inverter Range	V1: 725 V _{DC} (585 V - 830 V) 400 V _{AC} (380 V - 415 V) V2: 850 V _{DC} (720 V - 1200 V) 480 V _{AC} (440 V - 480 V)	V1: 725 V _{DC} (585 V - 830 V) 400 V _{AC} (380 V - 415 V) V2: 850 V _{DC} (720 V - 1200 V) 480 V _{AC} (440 V - 480 V)	725 V _{DC} (585 V - 830 V) 400 V _{AC} (380 V - 415 V) Please consult us for single-phase inverter power.
Network frequency	50 Hz/60 Hz - +/- 5%		
AC Power per inverter (kW)	V1: 200 kW, 315 kW V2: 150 kW, 270 kW	V1: 50 kW, 70 kW, 90 kW, 100 kW V2: 85 kW	V1: 20 kW, 30 kW, 40 kW, 50 kW, 55 kW, 60 kW, 70 kW, 85 kW Please consult us for single-phase inverter power.
Modularity			
Modularity	Maximum 8 inverters can be combined S-type : 4 inverters		
Redundancy ⁽¹⁾	Master/master or master/slave arrangement		
Equipment losses	3% of the equipment rated power typically		
Power Quality characteristics			
Reactive power compensation: target cos Φ	Programmable from 0.6 (inductive) to 0.6 (capacitive) ⁽²⁾		
Harmonic mitigation ⁽³⁾	Up to 2 nd to 50 th harmonic		
Harmonic range	20 individual harmonics		
Harmonics selectable			3-wire: 20 harmonics 4-wire: 15 harmonics
Filtering target	Programmable for each harmonic in absolute Ampere value		
Harmonic attenuation factor (I _h (source)/I _h (load))	Better than 97% at rated load		
Response time	P: between 450 ms and 550 ms Q: 2 seconds Harmonics: 2 networks cycles typically (10-90% filtering)		
Load balancing characteristics ⁽⁴⁾	Balance the currents between phases and/or between phases and neutral		
Programming/Communication			
Digital I/O	2 digital inputs/6 digital outputs (potential free)		
Alarm contact	1 NO/NC alarm contact (potential free)		
Programming/Monitoring	Using ESI-Manager GUI Using Modbus RTU and Modbus TCP/IP interface (optional) Ethernet (RJ45) and USB ports provided Using PQF-Link software (optional)		
Energy Management communication	Modbus TCP/IP, Modbus RTU		
Battery Management System communication	CAN		
Islanding mode ⁽⁴⁾	Available in both 3 and 4-wire		

⁽¹⁾ For full redundancy combine only master units. If limited redundancy is acceptable, master and slave units can be combined. The desired redundancy level can be obtained by selecting more or less master units.

⁽²⁾ If cos Φ of the installation is higher than the target cos Φ , the filter will not downgrade the existing cos Φ

⁽³⁾ CT's to be provided at the main incomer (source-side)

⁽⁴⁾ Additional signal needed from customer

ANEXO 9

Captura de pantalla de los resultados obtenidos en Phyton

```
Terminal 1/A [x]
Python 3.6.4 |Anaconda, Inc.| (default, Jan 16 2018, 10:22:32) [MSC v.1900 64 bit (AMD64)]
Type "copyright", "credits" or "license" for more information.

IPython 6.2.1 -- An enhanced Interactive Python.

In [1]: runfile('C:/Users/Juan Rodriguez/Desktop/Programa/PROGRAMA.py', wdir='C:/Users/Juan
Rodriguez/Desktop/Programa')
Energía almacenada en las baterías: 1.1749999999999996 MWh
Energía entregada por las baterías: 0.9399999999999998 MWh
Número de iteraciones: 199
```

Explorador de variables

Nombre	Tipo	Tamaño	Valor
D_max	DataFrame	(96, 2)	Column names: HORA, POTENCIA
E_ess	float	1	1.063
P	float64	(96,)	Min: 1.17 Max: 2.192
P_ess	float	1	0.125
Pot_max	float64	(96,)	Min: 1.24 Max: 1.951
aux1	int64	(1,)	Min: 14 Max: 14
aux13	float64	1	1.8170000000000013
aux2	int64	1	14
aux3	int	1	19
aux_max	float64	1	2.192
aux_min	float64	1	1.17
auxp	float64	(96,)	Min: 1.0 Max: 1.0
auxp1	float64	1	1.951
baterias	float64	(96,)	Min: -0.25 Max: 0.5
carga	float64	1	1.1749999999999996
corte	float64	(96,)	Min: 1.951 Max: 1.951
datos	float64	(96, 4)	Min: 0.0 Max: 23.75
datos1	float64	(96, 2)	Min: -0.25 Max: 23.75

**ANEXO 10****Resultados Costo de Financiación y Payback (Elaboración Propia)**

Subvenciones																	
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Importe Subvención	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cuota Amortización Subvención (di	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Préstamo																	
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Saldo Inicial (1/1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Intereses	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Amortización Financiera	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saldo Final (31/12)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Capital Propio																	
Periodo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Importe deuda	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5
Dividendos	45,322.8	45,322.8	45,322.8	45,322.8	45,322.8	45,322.8	45,322.8	45,322.8	45,322.8	45,322.8	45,322.8	45,322.8	45,322.8	45,322.8	45,322.8	45,322.8	45,322.8
Amortización deuda	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Saldo deuda	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5	647,468.5

Dimensión financiera de la financiación (pasivo)																	



- Inversión	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
-647,468.5	45,322.80	45,322.80	45,322.80	45,322.80	45,322.80	45,322.80	45,322.80	45,322.80	45,322.80	45,322.80	45,322.80	45,322.80	45,322.80	45,322.80	45,322.80	45,322.80	45,322.80
Coste del capital (pasivo)	7.00%																
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
-647,468.5	-602,145.72	-556,822.92	-511,500.12	-466,177.33	-420,854.53	-375,531.74	-330,208.94	-284,886.14	-239,563.35	-194,240.55	-148,917.76	-103,594.96	-58,272.17	8,285.27	53,608.07	98,930.86	144,253.66

