



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE ELECTRICIDAD

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE
ALMACENAMIENTO ONGRID”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico

AUTOR:

Paredes Paredes Jhony Manuel

TUTOR ACADÉMICO:

Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso M.Sc.

LATACUNGA – ECUADOR

Agosto 2023



DECLARACIÓN DE AUDITORÍA

Yo, PAREDES PAREDES JHONY MANUEL declaro ser autor del presente proyecto de investigación: “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO ONGRID”, siendo el Ing. **PROAÑO MALDONADO XAVIER ALFONSO** el tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

.....
Paredes Paredes Jhony Manuel

C.C. 020217538-6



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad del Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO ONGRID”, de PAREDES PAREDES JHONY MANUEL, de la carrera de Ingeniería en Electricidad, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos–técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Honorable Consejo Académico de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, agosto del 2023

El Tutor

Tutor

Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado M. Sc.
C.C. 050265642-4



APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS; por cuanto, el postulante: **PAREDES PAREDES JHONY MANUEL** con el título de Proyecto de titulación: “**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO ONGRID**”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, agosto del 2023

Para constancia firman:

Lector 1 (presidente)

Ing. MSc. Jessica Nataly Castillo Fiallos
CC: 060459021-6

Lector 2

Ing. MSc. Gabriel Napoleón Pesántez Palacios
CC: 030189388-9

Lector 3

MBA. Diego Enrique Estupiñan Tello
CC: 050165650-8



AVAL DE ACEPTACIÓN

Mediante el presente pongo a consideración que el señor **Paredes Paredes Jhony Manuel**, realizó su tesis beneficio de la UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI con el tema: “**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO ONGRID**”, trabajo que fue presentado y probado de manera satisfactoria.

Tutor

Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado M. Sc.
C.C. 050265642-4



AGRADECIMIENTO

El desarrollo del presente proyecto de investigación lleva la inmensa gratitud a la Universidad Técnica de Cotopaxi-Latacunga, en especial a la carrera Electricidad, por abrirme las puertas e impartirme el conocimiento teórico y práctico el cual me sirve para mi aprendizaje.

A todos los ingenieros en especial a mi tutor académico Ing. Xavier Proaño quien, con humildad, responsabilidad y honestidad, supo guiarme y fortalecer mis conocimientos.

Jhony Paredes



DEDICATORIA

A Dios, por darme salud, la oportunidad de vivir y permitirme llevar a cabo este proyecto de investigación.

Con mucho amor a mis padres y hermanas, quienes han estado en todo momento.

Gracias por todo a mi mamá y papá por darme una carrera para el futuro, aunque hemos pasado muchas adversidades siempre han estado apoyándome moral, económicamente y brindándome todo su amor. Los amos con todo mi corazón y este trabajo es dedicado para ustedes, solamente les estoy devolviendo lo mucho que han dado por mí.

A mis amigos y compañeros muchas gracias por estar en las buenas y en las malas a lo largo de este tiempo.

Jhony Paredes



ÍNDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUDITORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AVAL DE ACEPTACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	vii
RESUMEN	xvi
ABSTRACT.....	xvii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xviii
1. INFORMACIÓN GENERAL.....	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1. EL PROBLEMA	2
2.1.1. Situación Problemática.....	2
2.1.2. Formulación del Problema	3
2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	3
2.3. BENEFICIARIOS.....	4
2.3.1. Beneficiarios directos	4
2.3.2. Beneficiarios indirectos	4
2.4. JUSTIFICACIÓN	4
2.5. HIPÓTESIS.....	5
2.6. OBJETIVOS	5
2.6.1. Objetivo General	5
2.6.2. Objetivos Específicos	5
2.7. SISTEMA DE TAREAS.....	6
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	7
3.1. ANTECEDENTES.....	7



3.2. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO	9
3.2.1. Descripción de los sistemas de almacenamiento de energía	9
3.2.2. Tipos de sistemas de almacenamiento.....	9
3.2.2.1. Baterías Ion de Litio	9
3.2.2.2. Baterías de Sodio-Sulfuro	10
3.2.2.3. Baterías de Flujo Redox.....	10
3.2.2.4. Baterías de Níquel-Cadmio.....	11
3.2.2.5. Baterías Plomo-Ácido.....	11
3.2.2.6. Comparación de sistemas de almacenamiento.....	12
3.2.3. Factores que afectan a los sistemas de almacenamiento	13
3.2.3.1. Temperatura ambiente	14
3.2.3.2. Envejecimiento	14
3.2.3.3. Profundidad de descarga.....	14
3.2.3.4. Curva de carga y descarga	15
3.3. PEAK SHAVING	15
3.3.1. Tipos de Peak Shaving	16
3.3.1.1. Apagado de equipos.....	16
3.3.1.2. Peak Shaving Storage	16
3.3.1.3. Redistribución de Consumo.....	17
3.3.1.4. Almacenamiento Térmico.....	19
3.3.1.5. Autogeneración.....	19
3.3.1.6. Gestión de la energía.....	19
3.3.2. Arbitraje de Energía	20
3.4. PLIEGO TARIFARIO	21
3.4.1. Estructura de las tarifas en el Ecuador	21
3.4.1.1. Tarifa horaria en el sector industrial	21
3.4.1.2. Cargos tarifarios únicos	22



3.5. ANÁLISIS ECONÓMICO	23
3.5.1. El Valor Actual Neto (VAN).....	23
3.5.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)	23
4. MATERIALES Y MÉTODOS	25
4.1. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	25
4.1.1. Método Experimental	25
4.1.2. Método Histórico.....	25
4.2. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN.....	25
4.2.1. Investigación Bibliográfica	25
4.2.2. Investigación Descriptiva	25
4.3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA.....	25
4.3.1. Técnicas de instrumentos para recolectar información	25
4.4. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL	26
4.5. METODOLOGÍA PARA EL COMPORTAMIENTO DE LA BATERÍA.....	27
4.5.1. Diagrama de conexión del sistema de almacenamiento	27
4.5.2. Parámetros para la evaluación del comportamiento de la Batería.....	28
4.5.3. Obtención de los parámetros de la Batería	29
4.5.4. Modelo matemático de la Batería.....	30
4.5.4.1. Estado de Carga de la batería (SOC)	30
4.5.4.2. Ecuaciones para el ciclo de carga y descarga	30
4.5.5. Modelo Eléctrico de la Batería	31
4.5.6. Implementación del modelo en Matlab-Simulink	31
4.6. METODOLOGÍA PARA LA ESTRATEGÍA DEL PEAK SHAVING	32
4.6.1. Pasos a seguir para dimensionar el sistema de almacenamiento	32
4.6.2. Perfil de demanda eléctrica del sector industrial (Caso Base)	32
4.6.3. Curva característica de consumo de potencia L-V Caso base.....	33
4.6.4. Curva característica de consumo de Potencia S-D Caso base.....	34



4.6.5. Curva característica del consumo de Energía Caso Base	35
4.6.6. Dimensionamiento del sistema de almacenamiento.....	36
4.6.6.1. Estrategia para el Peak Shaving.....	36
4.6.6.2. Parámetros del sistema de almacenamiento para el Peak Shaving	37
4.6.7. Cálculo de ahorros anuales de electricidad	38
4.6.8. Cálculo de costos de operación anual.....	38
4.6.9. Cálculo de costo de caja netos actuales	38
4.6.10. Cálculo del VAN	38
4.6.11. Cálculo del TIR	38
5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	39
5.1. Datos obtenidos mediante los diferentes escenarios de descarga	39
5.1.1. Curva de Carga.....	39
5.1.2. Curva de descarga (Escenario 1)	40
5.1.3. Curva de descarga (Escenario 2)	40
5.1.4. Curva de descarga (Escenario 3)	40
5.2. Resultados al aplicar la estrategia del Peak Shaving	41
5.2.1. Cálculo de la Planilla eléctrica del Caso Base.....	41
5.2.1.1. Cálculo por consumo de energía eléctrica Caso Base	41
5.2.1.2. Cálculo por demanda consumo de potencia eléctrica Caso base.....	42
5.2.1.3. Planilla eléctrica Caso base.....	43
5.3. Cálculo de planilla eléctrica con el sistema de almacenamiento Caso 1	43
5.3.1. Valores para la estrategia del Peak Shaving Caso 1	43
5.3.2. Parámetros de la batería seleccionada para el Caso 1	43
5.3.3. Cálculo por consumo de energía eléctrica Caso 1	44
5.3.4. Cálculo por cargo de demanda con sistema de almacenamiento Caso 1	44
5.3.5. Planilla eléctrica con sistema de almacenamiento Caso 1.....	45
5.3.6. Gráfica del Peak Shaving con almacenamiento Caso 1	45



5.3.7. Ahorro con sistema de almacenamiento Caso 1 por cargo de energía	46
5.3.8. Ahorro con sistema de almacenamiento Caso 1 por cargo de demanda	46
5.3.9. Costos totales de la planilla eléctrica con sistema de almacenamiento Caso 1..	47
5.3.10. Costos de inversión para la evaluación económica Caso 1	47
5.3.11. Beneficio y viabilidad del proyecto Caso 1	48
5.4. Cálculo de planilla con el sistema de almacenamiento Caso 5	49
5.4.1. Valores para la estrategia del Peak Shaving Caso 5	49
5.4.2. Parámetros de la batería seleccionada para el Caso 5	49
5.4.3. Cálculo por consumo de energía eléctrica Caso 5	50
5.4.4. Cálculo por cargo de demanda con sistema de almacenamiento Caso 5	50
5.4.5. Análisis del Peak Shaving Caso 5	51
5.4.6. Ahorro con sistema de almacenamiento Caso 5 por cargo de energía	51
5.4.7. Ahorro con sistema de almacenamiento Caso 5 por cargo de demanda	52
5.4.8. Costos totales de la planilla eléctrica con sistema de almacenamiento Caso 5..	52
5.4.9. Costos de inversión para la evaluación económica Caso 5	53
5.4.10. Beneficio y viabilidad del proyecto Caso 5	53
5.5. Resumen de valores obtenidos por el VAN y el TIR	54
5.5.1. Resumen del ahorro mensual considerando todos los casos	55
5.5.2. Resumen del ahorro anual considerando todos los casos	55
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	56
6.1. CONCLUSIONES	56
6.2. RECOMENDACIONES	57
7. REFERENCIAS	58
ANEXOS	61



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Ventajas y desventajas de los sistemas de almacenamiento	12
Tabla 3.2. Aplicaciones para sistemas de almacenamiento en la industria	20
Tabla 3.3. Franja Horaria para consumidor industrial	22
Tabla 3.4. Cargos tarifarios únicos para el sector industrial.....	22
Tabla 4.1. Datos de demanda de L-V	33
Tabla 4.2. Datos de demanda de S-D.....	34
Tabla 5.1. Datos obtenidos de los ensayos con diferentes cargas.....	39
Tabla 5.2. Cargo por energía según franja horaria Caso Base.....	42
Tabla 5.3. Cargo por demanda L-V	42
Tabla 5.4. Cargo por demanda S-D	42
Tabla 5.5. Planilla eléctrica Industria Prolatd	43
Tabla 5.6. Valores para el sistema de almacenamiento para el Peak Shaving.....	43
Tabla 5.7. Parámetros del sistema de almacenamiento Caso1.....	44
Tabla 5.8. Cálculo de energía para el Caso 1	44
Tabla 5.9. Cargo por demanda con sistema de almacenamiento L-V Caso 1	44
Tabla 5.10. Cargo por demanda con sistema de almacenamiento S-D Caso 1.....	45
Tabla 5.11. Planilla eléctrica con sistema de almacenamiento	45
Tabla 5.12. Análisis de costos por cargar y descargar los módulos de baterías Caso 1	46
Tabla 5.13. Ahorro por el cargo de energía al utilizar módulos de baterías Caso 1	46
Tabla 5.14. Ahorro por el cargo de demanda al utilizar módulos de baterías Caso 1	47
Tabla 5.15. Planilla eléctrica con sistema de almacenamiento Caso 1	47
Tabla 5.16. Inversión inicial Caso 1	47
Tabla 5.17. Evaluación económica del sistema de almacenamiento	48
Tabla 5.18. Valores para el sistema de almacenamiento para el Peak Shaving.....	49
Tabla 5.19. Parámetros del sistema de almacenamiento.....	49
Tabla 5.20. Cálculo de energía para el Caso 5.....	50
Tabla 5.21. Cargo por demanda con sistema de almacenamiento L-V Caso 5	50
Tabla 5.22. Cargo por demanda con sistema de almacenamiento S-D Caso 2.....	50
Tabla 5.23. Análisis de costos por cargar y descargar los módulos de baterías Caso 5	51
Tabla 5.24. Ahorro por el cargo de energía al utilizar módulos de baterías Caso 5	52
Tabla 5.25. Ahorro por el cargo de demanda al utilizar módulos de baterías Caso 5	52
Tabla 5.26. Planilla eléctrica con sistema de almacenamiento Caso 5	52



Tabla 5.27. Inversión inicial Caso 5	53
Tabla 5.28. Evaluación económica del sistema de almacenamiento Caso 5	53
Tabla 5.29. Resumen del análisis del VAN y el TIR.....	54
Tabla 5.30. Resumen del ahorro mensual para todos los casos de estudio.....	55
Tabla 5.31. Resumen del ahorro anual para todos los casos de estudio	55



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Estructura de la batería de Litio.	10
Figura 3.2. Estructura de las baterías de Sodio-Sulfuro	10
Figura 3.3. Estructura de las baterías de Flujo Redox	11
Figura 3.4. Estructura de las baterías de Níquel-Cadmio	11
Figura 3.5. Estructura de las baterías Ácido Plomo.....	12
Figura 3.6. Degradación de la capacidad después de ciclos de descarga profunda.....	14
Figura 3.7. Curva de potencia vs tiempo para el Peak Shaving	15
Figura 3.8. Clasificación de las estrategias para el Peak Shaving	16
Figura 3.9. Recorte de pico.....	17
Figura 3.10. Valley Filling.....	17
Figura 3.11. Load Shifting.....	18
Figura 3.12. Strategic Conservation	18
Figura 3.13. Strategic Growth	19
Figura 3.14. Comportamiento de módulos de baterías para la gestión del consumo.	20
Figura 4.1. Esquema a seguir para la metodología general	26
Figura 4.2. Esquema para el comportamiento de la batería.....	27
Figura 4.3. Esquema del sistema de almacenamiento ONGRID.....	28
Figura 4.4. Conexión de aparato de medida hacia la batería	29
Figura 4.5. Modelo Eléctrico de la Batería.....	31
Figura 4.6. Diagrama de bloques en Simulink para el ciclo de carga y descarga	31
Figura 4.7. Curva de Potencia demanda de L-V.....	33
Figura 4.8. Curva de Potencia demanda de S-D	34
Figura 4.9. Energía consumida por la empresa de L-V	35
Figura 4.10. Energía consumida por la empresa de S-D	36
Figura 4.11. Perfil de demanda horaria	36
Figura 4.12. Capacidad de la batería para el recorte de picos	37
Figura 5.1. Proceso de carga de la batería	39
Figura 5.2. Proceso de descarga de la batería (Escenario 1)	40
Figura 5.3. Proceso de descarga de la batería (Escenario 2)	40
Figura 5.4. Proceso de descarga de la batería (Escenario 3)	41
Figura 5.5. Reducción del pico máximo para L-V y S-D Caso 1	46
Figura 5.6 Reducción del pico máximo de L-V y S-D Caso 5	51



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

TEMA: “EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO ONGRID”

Autor:

Paredes Paredes Jhony Manuel

Tutor:

Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso M. Sc.

RESUMEN

El presente estudio de investigación se enfocó en evaluar la viabilidad económica, del uso de sistemas de almacenamiento de energía aplicado a la industria. Mediante una exhaustiva revisión bibliográfica, se determinó una metodología que permitió desarrollar varios escenarios de estudio, todos orientados a determinar la viabilidad económica de estos sistemas. Para este propósito, se analizó la energía excedente del sistema de almacenamiento utilizando datos históricos del perfil de demanda de la industria (PROLATD) obtenidos de un estudio realizado en 2019, que sirvió como caso de estudio. Se aplicaron las normativas actuales establecidas por el ARCERNNR, el ente regulador del pliego tarifario. Además, se utilizó el software Excel para el análisis de las tarifas eléctricas y la evaluación económica. Los resultados revelaron que al reducir el pico máximo al 7% utilizando 3 módulos de baterías, se logró un ahorro anual de \$2417.40. Estos resultados demostraron ser rentables, con un Valor Actual Neto (VAN) de \$5617.19 y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 14%. Sin embargo, al reducir el pico al 16% con 7 módulos de baterías, se obtuvo un ahorro anual de \$2711.97, pero con un VAN de \$-4896.53 y una TIR del 5%. Estos indicadores financieros sugieren que este escenario no resulta rentable debido al aumento de la inversión requerida. Cabe mencionar que la evaluación económica se realizó con una tasa de descuento del 7.99% y un horizonte de tiempo de 25 años. Se consideró también la necesidad de reemplazar los equipos a los 15 años debido a su vida útil y deterioro. De esta manera, se pudo verificar la factibilidad económica del proyecto, considerando todos los aspectos relevantes. Finalmente, se comprobó que el sistema propuesto también contribuye a la reducción del cargo por demanda durante las horas pico.

Palabras Clave: Sistemas de Almacenamiento, Peak Shaving, evaluación económica, tarifas eléctricas, ONGRID.



**COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES
ELECTRICAL ENGINEERING CAREER**

Title: " EVALUATION OF THE BEHAVIOR OF AN ONGRID STORAGE SYSTEM"

Author:

Paredes Paredes Jhony Manuel

Tutor:

Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso M.Sc.

ABSTRACT

The present research study focused on evaluating the economic viability of the use of energy storage systems applied to industry. Through an exhaustive bibliographical review, a methodology was determined that allowed the development of various study scenarios, all aimed at determining the economic viability of these systems. For this purpose, the excess energy from the storage system was analyzed using historical industry demand profile data (PROLATD) obtained from a study carried out in 2019, which served as a case study. The current regulations established by ARCERNNR, the regulator of the tariff schedule, were applied. In addition, Excel software was used for the analysis of electricity rates and economic evaluation. The results revealed that by reducing the maximum peak to 7% using 3 battery modules, an annual savings of \$2417.40 was achieved. These results proved to be profitable, with a Net Present Value (NPV) of \$5617.19 and an Internal Rate of Return (IRR) of 14%. However, by reducing the peak to 16% with 7 battery modules, an annual saving of \$2711.97 was obtained, but with a NPV of \$-4896.53 and an IRR of 5%. These financial indicators suggest that this scenario is not profitable due to the increased investment required. It is worth mentioning that the economic evaluation was carried out with a discount rate of 7.99% and a time horizon of 25 years. The need to replace the equipment at 15 years due to its useful life and deterioration was also considered. In this way, it was possible to verify the economic feasibility of the project, considering all relevant aspects. Finally, it was verified that the proposed system also contributes to the reduction of the demand charge during peak hours.

Keywords: Storage Systems, Peak Shaving, economic evaluation, electricity rates, ONGRID.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que:

La traducción del resumen al idioma inglés del proyecto de investigación cuyo título versa: “**EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO ONGRID**” presentado por: **Jhony Manuel Paredes Paredes**, egresado de la **Carrera de Ingeniería en Electricidad**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, agosto del 2023

Atentamente,

TANIA
ELIZABETH
ALVEAR JIMENEZ

Firmado digitalmente
por TANIA ELIZABETH
ALVEAR JIMENEZ
Fecha: 2023.08.23
12:17:23 -05'00'

Tania Alvear Jiménez
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0503231763



CENTRO
DE IDIOMAS

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:

EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE UN SISTEMA DE ALMACENAMIENTO ONGRID

Tipo de Proyecto: Proyecto de Investigación.

Fecha de inicio: Abril del 2023.

Fecha de finalización: Agosto del 2023.

Lugar de ejecución: El Ejido – Eloy Alfaro – Latacunga – Cotopaxi – Zona 3 – Universidad Técnica de Cotopaxi.

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas (CIYA).

Carrera que auspicia: Carrera de Electricidad.

Proyecto Macro Asociado: Desarrollo de Sistemas Eficientes para el abastecimiento y uso de energía eléctrica a nivel local, regional o nacional.

Equipo de Trabajo:

Grupo de Investigación: Energía y Tecnologías Apropriadas

Tutor de Titulación: Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado M. Sc.

Estudiante: Paredes Paredes Jhony Manuel

Área de Conocimiento: 07 Ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

Línea de investigación: Energías Alternativas y Renovables, Eficiencia Energética y Protección Ambiental.

Sublíneas de investigación de la Carrera: Control y Optimización en el uso de la Energía del Sector Industrial, Comercial y Residencial.

Sublínea 1: Conversión y uso racional de la energía eléctrica.

2. INTRODUCCIÓN

Hoy en día el continuo aumento de la demanda energética y la creciente contaminación en el medio ambiente han impulsado a las industrias a buscar soluciones más eficientes y que sean más sostenibles en cuanto al consumo de la energía eléctrica. Uno de los enfoques más prometedores para alcanzar este objetivo es la implementación de sistemas de almacenamiento conectados a la red que permiten gestionar de manera más inteligente y efectiva la energía eléctrica utilizada por las empresas.

La evaluación del comportamiento de un sistema de almacenamiento se ha convertido en una herramienta clave para comprender su viabilidad y potencial para reducir significativamente los costos asociados a la energía eléctrica en una industria como baterías de ion-litio, pueden absorber y liberar energía en momentos estratégicos, permitiendo que la industria utilice la electricidad cuando sea más conveniente y económico.

En esta investigación, se abordará la importancia de evaluar adecuadamente el comportamiento de un sistema de almacenamiento en el contexto específico de una industria, con el objetivo de determinar su eficacia para reducir los cargos por demanda. Para ello se analizarán diversos factores que influyen en su profundidad de descarga como la capacidad de almacenamiento, la tasa de carga y descarga, la integración con la red eléctrica y el análisis de patrones de consumo de energía de la industria analizada.

2.1. EL PROBLEMA

2.1.1. Situación Problemática

El crecimiento de la demanda y la innovación en tecnologías de generación ha formado que los países desarrollados y emergentes estén interesados en mejorar el uso y el acceso a la energía, así como incrementar la contribución de energía renovable convencional y no convencional en la matriz energética [1].

En los últimos años, ha habido cambios significativos a nivel global en el mercado eléctrico, centrándose en introducir los sistemas de almacenamiento, con el objetivo principal de satisfacer la creciente demanda de manera limpia y sostenible. Además, los diversos usuarios clasificados según su consumo en función de las tarifas establecidas están buscando la implementación de sistemas que les permitan acceder a energía eléctrica con almacenamiento de la manera más rentable desde el punto de vista económico.

La viabilidad de implementar un sistema de almacenamiento de energía eléctrica en una industria debe fundamentarse en un análisis del costo-beneficio de la inversión. Entre los

beneficios que se pueden obtener destaca el arbitraje de energía que implica adquirir energía a bajo costo durante los períodos de menor actividad y venderla a un precio más elevado en los momentos de mayor demanda, este enfoque permite reducir los picos máximos de demanda y disminuir la emisión de CO_2 , la cual es producida principalmente por centrales termoeléctricas. A pesar de las ventajas mencionadas, la adopción de sistemas de almacenamiento de energía ha sido limitada debido a los elevados costos de instalación y mantenimiento. No obstante, en los últimos años se ha presenciado una amplia variedad comercial de tecnologías de almacenamiento y una reducción significativa de los costos. Este cambio se ha producido principalmente debido a la necesidad de integrar las fuentes renovables en los sistemas eléctricos.

Algunas de las tecnologías de almacenamiento de energía que han experimentado notables desarrollos en los últimos años incluyen las baterías, los sistemas de hidro-bombeo, las tecnologías de ion-litio y los sistemas de aire comprimido, entre otros. Estas innovaciones han abierto nuevas posibilidades para una gestión más eficiente y sostenible de la energía en la industria y el sector eléctrico en general.

Las baterías cuentan con un proceso de carga que genera iones cargados eléctricamente, durante la descarga, estos iones contribuyen al flujo de electrones. Además, el comportamiento de las baterías se ve influenciado por diversos factores, como la temperatura ambiente, el tipo de carga aplicada, la profundidad de descarga y el modo de uso del usuario. Estos factores presentan algunas desventajas, como la reducción del tiempo de vida útil, que depende de la cantidad de ciclos de carga y descarga. A pesar de estas limitaciones, proponer sistemas de almacenamiento sigue siendo una opción atractiva debido a la rápida instalación y a los beneficios económicos, sociales y ambientales que pueden ofrecer dicha tecnología.

2.1.2. Formulación del Problema

¿La incorporación de sistemas de almacenamiento de energía eléctrica en la industria permite reducir los picos de demanda máxima?

2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

El objeto de estudio es: la evaluación de un sistema de almacenamiento de energía eléctrica en una industria para reducir la planilla eléctrica mensual.

El campo de acción para el proyecto: 330000 Ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas/ 3306.01 Utilización de la Corriente Continua/ 3306.02 Aplicaciones Eléctricas.

2.3. BENEFICIARIOS

2.3.1. Beneficiarios directos

La investigación va direccionada al sector industrial, donde permita el respaldo de energía, el autoconsumo y la reducción de picos máximos de demanda por parte del sistema de almacenamiento, de esta manera se buscará reducir los cargos por demanda máxima mensual para dicho sector.

2.3.2. Beneficiarios indirectos

Los beneficiarios indirectos son las personas afines a la investigación, las cuales se ven relacionadas con el tema.

2.4. JUSTIFICACIÓN

La electricidad desempeña un papel fundamental en el desarrollo del sector industrial pero la constante inquietud en este ámbito radica en la demanda máxima mensual, debido a su alto costo por dicho cargo, lo cual se constituye como una gran parte para facturar la energía eléctrica al sector industrial. En este contexto este estudio se enfoca en la incorporación de sistemas de almacenamiento de energía cuyo propósito radica en abordar eficazmente la reducción de los costos relacionados con la demanda máxima mensual, generando diversos beneficios económicos y medioambientales a través de la estrategia del Peak Shaving.

Estos sistemas de almacenamiento permiten mitigar la carga eléctrica al liberar la energía acumulada durante los momentos de mayor demanda. Esto a su vez reduce la necesidad de depender de fuentes costosas y perjudiciales para el medio ambiente para satisfacer esos picos de consumo al gestionar de forma eficiente la energía durante los períodos críticos, las industrias pueden evitar costos adicionales por demanda, además de posibilitar la adquisición de energía en momentos de precios más bajos para su posterior utilización, estos sistemas de almacenamiento conllevan ahorros significativos en las facturas de electricidad a lo largo del tiempo. Asimismo, establecen una fuente de respaldo en situaciones de interrupciones en el suministro eléctrico, asegurando la continuidad de las operaciones esenciales de la industria, evitando pérdidas financieras y perjuicios en la producción de las empresas.

2.5. HIPÓTESIS

¿La implementación de un sistema de almacenamiento de energía eléctrica en una industria permitirá la reducción de la planilla eléctrica mediante la aplicación de la técnica del Peak Shaving en la gestión de energía para de la demanda horaria?

2.6. OBJETIVOS

2.6.1. Objetivo General

Evaluar un sistema de almacenamiento de energía eléctrica aplicando la estrategia del Peak Shaving para la reducción de la demanda máxima durante las horas pico.

2.6.2. Objetivos Específicos

- Revisar la literatura científica y técnica relacionada con los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica.
- Utilizar un sistema de acumulación de energía eléctrica conectado a la red para el análisis del comportamiento de este equipo ante diferentes escenarios de carga mediante el modelo eléctrico de la batería.
- Analizar la rentabilidad de los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica de una industria mediante el uso del pliego tarifario.

2.7. SISTEMA DE TAREAS

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados Esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Revisar la literatura científica y técnica relacionada con los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica.	Estudio de trabajos relacionados con los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica alimentados por la red.	Desarrollo del marco teórico relacionado a los sistemas de acumulación de energía eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> - Bibliografía de artículos científicos, tesis e informes. - Microsoft Word.
Utilizar un sistema de acumulación de energía eléctrica conectado a la red para el análisis del comportamiento de este equipo ante diferentes escenarios de carga mediante el modelo eléctrico de la batería.	<ul style="list-style-type: none"> - Recopilación de información asociada al sistema. 	Análisis del comportamiento de la batería mediante el modelado de Simulink.	<ul style="list-style-type: none"> - Sistema de almacenamiento de energía. - Equipo de medida - Matlab-Simulink
Analizar la rentabilidad de los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica de una industria mediante el uso del pliego tarifario.	<ul style="list-style-type: none"> - Recopilación de información del perfil de carga de una industria. - Análisis de datos del sistema aplicando el perfil de carga del caso de estudio. 	Análisis del escenario de estudio para evaluar el aspecto técnico económico del sistema de almacenamiento de energía eléctrica.	<ul style="list-style-type: none"> - Microsoft Excel - Pliego tarifario

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

De acuerdo con [2] realizaron el análisis del rendimiento de los acumuladores de energía del sistema fotovoltaico existente en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, donde los estudios se centran en la aplicación de los sistemas fotovoltaicos y se tiene como objetivo específico conseguir un entorno de trabajo que permita analizar la problemática asociada a instalaciones fotovoltaicas desde su diseño hasta su puesta en marcha, sobre todo en la parte de acumular la energía entregada por el sistema de paneles.

Se realiza el modelo para análisis de viabilidad de arbitraje energético con baterías de flujo de vanadio bajo incertidumbre [3] teniendo como objetivo principal analizar el beneficio económico de un VRB de gran porte conectado a la red eléctrica utilizado para arbitrar energía en un escenario bajo incertidumbre, la flexibilidad de largo plazo de las baterías a una inversión del tipo estudiado y poder determinar el valor de la opción de invertir en un VRB para un caso de estudio bajo incertidumbre, mediante el enfoque de opciones reales, y comparar el análisis tradicional de inversión por medio del Valor Presente Neto (VPN) con el análisis de la técnica de opciones reales.

Además, ha sido de interés en el ámbito académico, tal es el caso, del trabajo titulado como Características de baterías para instalaciones de sistemas fotovoltaicos aislados en zonas rurales del departamento de Santander Colombia [4], con el objetivo de establecer los parámetros de trabajo de baterías mediante fuentes de información secundaria, dando como resultado que no se puede definir una batería en especial debido a que los costos de cada batería influyen a la hora de su elección y se maneja un rango de costo beneficio. Cada batería tiene su ventaja y desventaja una con respecto a la otra, pero cada una cumple una excelente labor si se trabaja en las condiciones que especifica el fabricante.

Dada la importancia de los sistemas fotovoltaicos, se realizó el análisis de un sistema fotovoltaico residencial acoplado a la red utilizando un convertidor Q-Z con acumuladores de energía [5]. En el trabajo plantea analizar el comportamiento y las características de un sistema de generación fotovoltaico operado con un convertidor conectado a la red eléctrica con acumuladores para el abastecimiento energético del sector residencial.

Tomando en cuenta el estudio del rendimiento de las baterías en los sistemas fotovoltaicos [6]. Se realizó el cálculo del rendimiento de baterías en sistemas fotovoltaicos usando criterios de eficiencia energética, donde se analiza el rendimiento del acumulador en cada zona de trabajo correspondiente a un distinto escenario, al igual que las condiciones ideales en las cuales

debería operar la batería según los requerimientos del sistema. Por otra parte, establece el objetivo de determinar cuál de los escenarios es el más favorable para el rendimiento óptimo de la batería, analizando en que zona de trabajo se desempeña en cada uno de los escenarios y cuál de ellos es el más saludable para el acumulador.

Por otra parte se investigó sobre la confiabilidad de los sistemas fotovoltaicos autónomos con la aplicación a la electrificación rural [7], donde establece como objetivos contribuir a la mejora de la calidad técnica de los sistemas fotovoltaicos autónomos en su función de suministro eléctrico durante todo el tiempo de vida estimado, además propone establecer una herramienta de análisis de la confiabilidad de las instalaciones fotovoltaicas autónomas que unifique la influencia de la fiabilidad asociada a averías, los problemas derivados de su mantenimiento y la pérdida de carga asociada al dimensionamiento del sistema.

Luego, en Chile las energías renovables para autoconsumo se enfocan en sistemas de almacenamiento con energía solar fotovoltaica [8], donde recomiendan que los sistemas de almacenamiento son una de las tecnologías clave para resolver estos desafíos, dado que incrementan la flexibilidad y disponibilidad de recurso energético, y con ello apoyar la inserción de abundantes alternativas energéticas como las ERNC. En los últimos años se ha utilizado este tipo de tecnologías en conjunto con sistemas de generación FV, eólicos, entre otros a nivel de redes de distribución y sistemas aislados, sobre todo con el auge de la generación distribuida.

El Análisis del beneficio económico por arbitraje de energía en Colombia con Sistemas de Almacenamiento de Energía de tipo Baterías [9], donde se expone el desarrollo realizado para el análisis económico de la operación de arbitraje de baterías de Ion-Litio en el mercado eléctrico colombiano. Llegando a la conclusión de que después, de realizar la evaluación económica para el periodo de 15 años, se pudo evidenciar, en primer lugar, que los costos de inversión para las baterías siguen siendo muy altos. Se evidenció que ninguna capacidad de batería lograba terminar los 15 años con ganancia.

Finalmente, se realizó [10] el Diseño de un Sistema de Alumbrado LED a través de Energía Fotovoltaica para Brindar Niveles de Calidad de Iluminación en el Parqueadero N° 1 de la Universidad Técnica de Cotopaxi, el sistema fotovoltaico está conformado por 28 paneles monocristalinos de 360 W/24 V, el sistema de acumulación constará de 28 baterías de descarga profunda a 240 Ah/12 V, dos reguladores de carga PWM de 110 A/48 V y el inversor de 5 000

VA/48 V. Con un nuevo valor para el kWh de USD 0,681 2 se logra tener un VAN de \$ 66 525,60 y el TIR igual a 25,35 %, indicando la rentabilidad del proyecto.

3.2. SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO

El almacenamiento con banco de baterías es una forma de almacenar energía eléctrica y utilizarla en momentos de alta demanda o cuando no hay suministro de energía. Las baterías de ciclo profundo son ideales para este propósito, ya que están diseñadas para soportar descargas profundas y recargas frecuentes sin afectar su vida útil. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el almacenamiento con baterías todavía puede ser costoso en comparación con otros métodos de almacenamiento de energía y que la tecnología de las baterías está en constante evolución [11].

3.2.1. Descripción de los sistemas de almacenamiento de energía

Un sistema de almacenamiento de energía es definido como un conjunto de tecnologías capaces de absorber energía eléctrica generada previamente, almacenarla durante un período de tiempo, y a partir de entonces ser capaz de despachar esa energía en un momento posterior. Estas tecnologías pueden almacenar la energía en diferentes formas, tales como sistemas de baterías que utilizan conversión electroquímica a través de celdas de distintas químicas, almacenamiento de energía mecánica mediante aire comprimido, condensadores de doble capa, almacenamiento térmico de sales fundidas, sistemas de almacenamiento mediante Centrales Hidráulicas de Bombeo, entre otras tecnologías. Estos sistemas desempeñan un papel crucial en la gestión de la oferta y la demanda de energía, permitiendo la integración efectiva de fuentes intermitentes de energía para su liberación en momentos de alta demanda[12].

3.2.2. Tipos de sistemas de almacenamiento

En el mercado existen diversos tipos de baterías, donde las principales tecnologías son de celdas electroquímicas pueden ser líquidas, pastas o sólidas, estas a su vez presentan ventajas y desventajas, a continuación, se detallan los tipos de almacenamiento de energía.

3.2.2.1. Baterías Ion de Litio

Las baterías de litio son usadas en los dispositivos portátiles en los últimos años teniendo un ciclo de vida de hasta 10000 recargas, el cátodo de esta batería es óxido de metal litado, mientras que el ánodo este hecho de carbono grafito con una estructura de capas y el cátodo con óxido metálico o sulfuro tal como indica la Figura 3.1. Son ampliamente utilizadas en una variedad de aplicaciones, como sistemas electrónicos, sistemas de almacenamiento de energía residencial, comercial e industrial y muchas aplicaciones más que requieren una fuente de energía compacta y de alta densidad. [13].

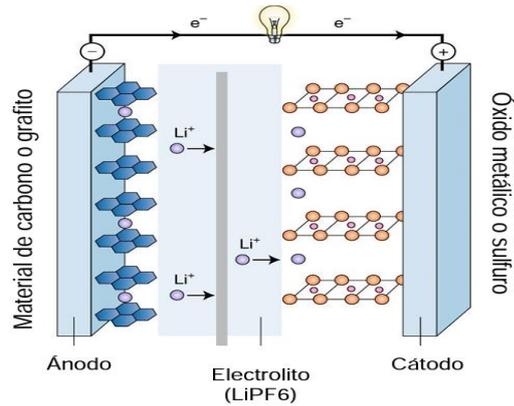


Figura 3.1. Estructura de la batería de Litio [14].

3.2.2.2. Baterías de Sodio-Sulfuro

Para aplicaciones de gran escala el electrodo es líquido y el electrolito sólido, donde operan a temperaturas de 300° a 350°C, su vida útil estimada es de 15 años (4500 ciclos). No tiene autodescarga y presenta buena eficiencia (~ 80%) [14], en la Figura 3.2 se puede ver los elementos que conforman a las baterías de Sodio-Sulfuro.

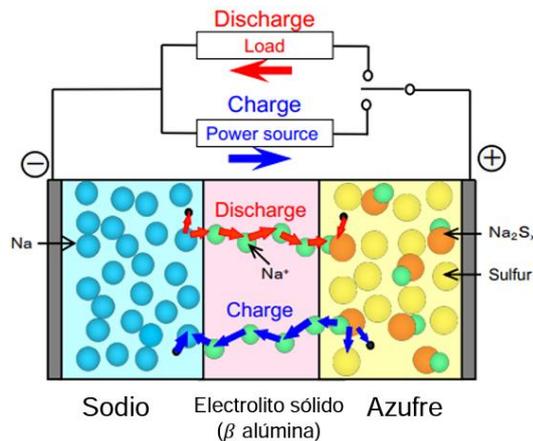


Figura 3.2. Estructura de las baterías de Sodio-Sulfuro [14].

3.2.2.3. Baterías de Flujo Redox

Batería basada en procesos de reducción y oxidación. Se hacen circular electrolitos positivos y negativos a base de iones de Vanadio para la carga y descarga. El intercambio de iones se da en la membrana, la cual intenta prevenir la mezcla de electrolitos. Actualmente costo es mayor que baterías Ion de Li. La capacidad de la batería depende del tamaño de los tanques. Para incrementar potencia se aumenta el tamaño de las pilas (entre electrodos) [14]. En la Figura 3.3 se puede visualizar la estructura de las baterías de Flujo Redox.

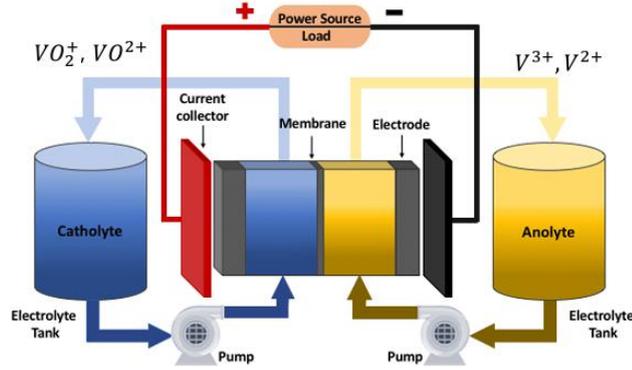


Figura 3.3. Estructura de las baterías de Flujo Redox [14].

3.2.2.4. Baterías de Níquel-Cadmio

Las baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd) son dispositivos de almacenamiento de energía recargables que utilizan una tecnología basada en las reacciones químicas entre el níquel y el cadmio para almacenar y liberar energía eléctrica. Aunque han sido ampliamente utilizadas en el pasado, en la actualidad su uso ha disminuido en muchas aplicaciones debido a cuestiones ambientales y a la competencia de tecnologías más modernas, como las baterías de iones de litio [13]. Tiene buenas propiedades en términos de eficiencia, capacidad y potencia específica. Usado en equipos electrónicos. Además, el Cd es un metal altamente tóxico y su disposición final es un problema socio-ambiental [14]. La estructura de las baterías de Níquel-Cadmio se puede observar en la Figura 3.4.

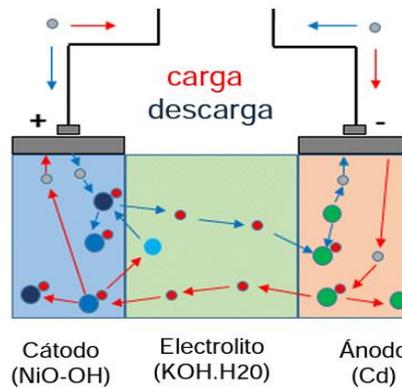


Figura 3.4. Estructura de las baterías de Níquel-Cadmio [14].

3.2.2.5. Baterías Plomo-Ácido

Las baterías de plomo-ácido son dispositivos de almacenamiento de energía recargables que utilizan una tecnología basada en las reacciones químicas entre el plomo y el ácido sulfúrico para almacenar y liberar energía eléctrica. Son una de las tecnologías de baterías más antiguas y ampliamente utilizadas, y se encuentran en una variedad de aplicaciones, desde sistemas de respaldo de energía en telecomunicaciones hasta arranque de motores en vehículos. Estas baterías constan de celdas individuales interconectadas, y cada celda está compuesta por un

electrodo positivo de dióxido de plomo (PbO_2) y un electrodo negativo de plomo esponjoso (Pb), sumergidos en una solución de ácido sulfúrico (H_2SO_4) como electrolito. Durante la descarga, el plomo esponjoso en el electrodo negativo reacciona con el ácido sulfúrico para formar sulfato de plomo y liberar energía eléctrica. Durante la recarga, el proceso se invierte, con el dióxido de plomo en el electrodo positivo reaccionando con el ácido sulfúrico para reformar plomo esponjoso y sulfato de plomo, la vida útil de este tipo de baterías es de 5 a 15 años y tiene una eficiencia entre el 70% y el 90% [13]. Su estructura se puede visualizar en la Figura 3.5.

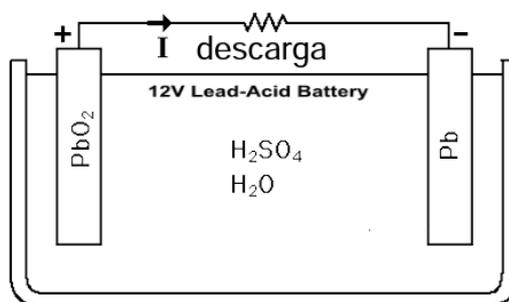


Figura 3.5. Estructura de las baterías Ácido Plomo [14]

Tiene una placa positiva de dióxido de Plomo (PbO_2), una negativa de Plomo (Pb) y un electrolito de ácido sulfúrico y agua. Características: bajo costo, es seguro y confiable para aplicaciones de varios MW. Es una tecnología de más de 150 años [14].

3.2.2.6. Comparación de sistemas de almacenamiento

En la Tabla 3.1 se tiene las ventajas y desventajas para las diferentes tecnologías de los sistemas de almacenamiento que existen en el mercado, cada un cumple con una aplicación en específico por ende las baterías de ion litio son recomendables para la industria.

Tabla 3.1. Ventajas y desventajas de los sistemas de almacenamiento [15].

TIPO	VENTAJA	DESVENTAJA	USO RECOMENDADO
NÍQUEL - CADMIO	<p>Mayor durabilidad.</p> <p>Se pueden descargar por completo sin sufrir daño alguno y se pueden reciclar.</p> <p>Admiten sobrecargas y permiten seguir siendo cargadas aun cuando ya no admiten más carga.</p>	<p>Contienen metales pesados tóxicos.</p> <p>Tienen una tasa de autodescarga relativamente alta.</p> <p>Son más propensas al efecto memoria que algunas otras baterías; es decir, su capacidad puede disminuir si no se</p>	<p>Uso en aplicaciones industriales y militares.</p>

		cargan y descargan de manera correcta.	
NÍQUEL-MH	<p>Tienen una mayor densidad de energía y potencia.</p> <p>Tienen un valor aceptable del número de ciclos de carga y descarga que puede soportar.</p> <p>Puede operar en un rango de temperatura bastante amplio.</p> <p>Reciclable.</p> <p>No contienen metales pesados tóxicos.</p>	<p>Menor densidad de energía en comparación con las baterías de iones de litio.</p> <p>Pueden ser menos eficientes en términos de la cantidad de energía que pueden proporcionar por unidad de peso.</p>	<p>Se aplican en aplicación en dispositivos electrónicos como cámaras digitales, juguetes, linternas, herramientas eléctricas, equipos de telecomunicaciones, sistemas de energía renovable y vehículos eléctricos.</p>
ION DE LITIO	<p>Poseen una mayor densidad de energía y densidad de potencia que otro tipo de baterías.</p> <p>Brindan una mejor vida útil y no requieren de mantenimiento.</p> <p>Son reciclables.</p> <p>Son las baterías más usadas debido a su peso ligero, lenta descarga y tiempo de carga rápido.</p>	<p>Sensibles a la temperatura y la sobrecarga, lo que puede provocar fallas en la batería.</p> <p>Su coste puede ser relativamente elevado.</p>	<p>Se utilizan en aplicaciones industriales y de consumo. Esto es debido a su alta densidad de energía, su larga vida útil y su capacidad para proporcionar energía a dispositivos de alta potencia.</p>

3.2.3. Factores que afectan a los sistemas de almacenamiento

Todos los sistemas de almacenamiento tienen una vida útil limitada, si bien determinar la duración de la batería puede ser complicado, hay factores principales que contribuyen a la vida útil general de la batería [16].

3.2.3.1. Temperatura ambiente

Dado que la capacidad estándar de una batería se establece considerando una temperatura ambiente de 25 °C (77 °F), cualquier cambio en la temperatura podría impactar su desempeño y disminuir su durabilidad. Por cada incremento de 8,3 °C (15 °F) en la temperatura media anual por encima de los 25 °C (77 °F), la vida útil de la batería se verá reducida en un 50%.

3.2.3.2. Envejecimiento

Durante la vida útil de una batería, su rendimiento o salud tiende a deteriorarse gradualmente debido a los cambios físicos y químicos irreversibles que se producen con el uso. El envejecimiento tiene lugar inicialmente en la composición química del electrolito de la batería. Los mecanismos de degradación del electrodo positivo y negativo son diferentes. El origen de los mecanismos de envejecimiento puede ser químico o mecánico y depende en gran medida de la composición de los electrodos. A lo largo del tiempo el envejecimiento provoca la degradación de los componentes celulares y modificar su vida útil [17].

3.2.3.3. Profundidad de descarga

En caso de presentarse esta situación, resultará difícil restaurar la capacidad original de carga de la batería [18]. Para mantener las baterías en servicio por un largo período, se recomienda que no permita que se descarguen por debajo del 20% de su capacidad. De igual manera al cargarse más de lo necesario, el aumento de la temperatura en la batería es excesivo, y acelera el deterioro de las placas y otras partes internas; esto genera una notable disminución de la vida útil de la batería, por lo cual se recomienda mantener la carga por debajo del 80% [17]. En la Figura 3.6 se puede visualizar la degradación de la capacidad después de ciclos de descarga profunda.

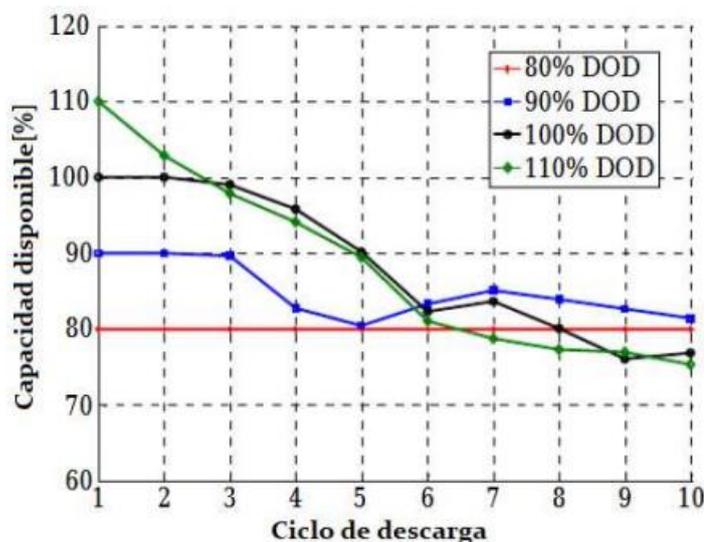


Figura 3.6. Degradación de la capacidad después de ciclos de descarga profunda [17].

3.2.3.4. Curva de carga y descarga

Las curvas de carga y descarga son entregadas por el material que está construida la batería, las curvas apenas poseen pendientes y su funcionamiento es prácticamente lineal durante todo su uso. El resto de químicas a medida que van agotando su capacidad, van disminuyendo su voltaje de manera progresiva, reduciendo así la potencia entregada, lo que supone una disminución de las prestaciones a medida que la batería se va envejeciendo [19].

3.3. PEAK SHAVING

El Peak Shaving en inglés se refiere a la reducción de la demanda máxima de energía eléctrica [20]. En la Figura 3.7 se muestra la aplicación de un sistema de almacenamiento de energía para gestionar el consumo. Mediante esta tecnología, el periodo de mayor demanda se desplaza al periodo de menor demanda, lo que permite reducir el pico de consumo y nivelar la demanda.

Esto tiene beneficios tanto para el usuario como para la red eléctrica. En el caso de la red, se reducen las congestiones de demanda, mientras que para el consumidor final se obtiene un beneficio económico al disminuir su tarifa. Sin embargo, es importante tener en cuenta el riesgo asociado a la vida útil de la batería, ya que un deterioro de la misma podría incrementar la inversión requerida y retrasar los beneficios esperados.

El objetivo del Peak Shaving es evitar costos adicionales asociados con la demanda máxima, ya que las empresas a menudo deben pagar tarifas más altas en función del pico de consumo que alcanzan durante un período determinado, además de ayudar a mejorar la eficiencia y la estabilidad de la red eléctrica. Esto puede lograrse mediante estrategias como la programación de equipos para que funcionen en momentos de menor demanda, la implementación de sistemas de almacenamiento de energía para liberar energía durante los picos, o la optimización del uso de energía a través de tecnologías de gestión energética.

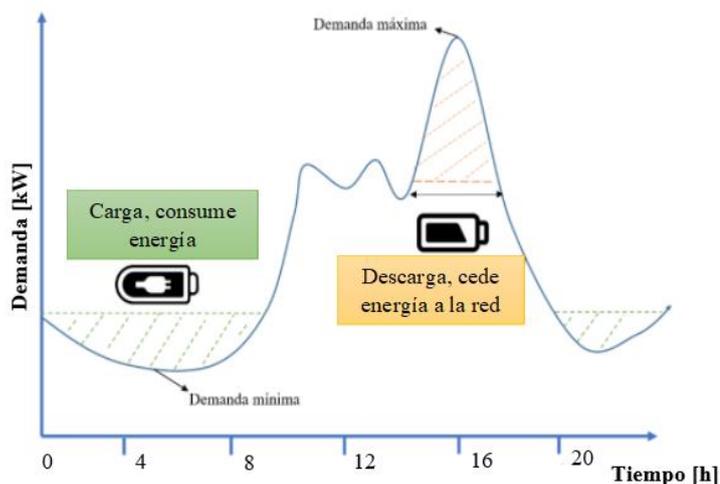


Figura 3.7. Curva de potencia vs tiempo para el Peak Shaving [21].

3.3.1. Tipos de Peak Shaving

La técnica del Peak Shaving puede ser implementada de diversas formas, desde enfoques sencillos hasta soluciones más avanzadas que involucran tecnologías más robustas. A continuación, se describen algunas alternativas de Peak Shaving y se analizan los efectos que pueden tener en la gestión de la demanda eléctrica. En la Figura 3.8 se puede observar la clasificación para las diferentes estrategias para el Peak Shaving.

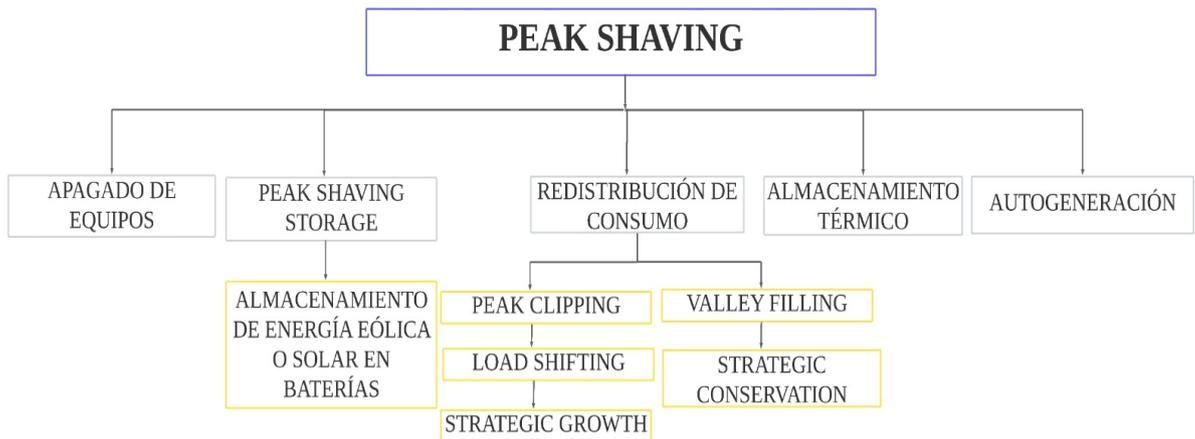


Figura 3.8. Clasificación de las estrategias para el Peak Shaving [22].

3.3.1.1. Apagado de equipos

Se trata de la manera más básica de disminuir la demanda, involucrando únicamente apagar los dispositivos que el usuario percibe como no esenciales durante las horas de mayor requerimiento energético. Esto puede generar consecuencias como la insatisfacción de los clientes o la reducción en la producción.

3.3.1.2. Peak Shaving Storage

En lugar de generar energía en el lugar exclusivamente durante los picos de consumo, esta metodología produce y almacena energía de forma continua. El concepto fundamental detrás de esta táctica es directo: la acumulación de energía ocurre en baterías que se cargan en momentos de menor costo energético o mediante fuentes renovables como la energía eólica o solar. Este enfoque brinda la oportunidad de ahorrar en la factura eléctrica en tres niveles distintos:

- Evitar multas por exceder la demanda máxima de potencia.
- Negociar con la compañía eléctrica una nueva demanda máxima, que resultará menor a la anterior.
- Usando la energía descargada de las baterías, obtenida a un precio más bajo.

3.3.1.3. Redistribución de Consumo

En lugar de compensar la reducción de la energía de los servicios públicos con la generación, las instalaciones pueden optar por utilizar menos energía para nivelar la carga. Reducir el consumo podría significar ajustar los programas de producción, apagar las máquinas o mejorar la eficiencia de los edificios. En algunas empresas existe la posibilidad de cambiar los horarios de producción de manera que no se labore en horas punta, esta medida reducirá o eliminará el efecto económico del horario punta. Un punto en contra puede tener insatisfacción de los empleados que modificarán su rutina diaria [23]. A continuación, se detallan diferentes alternativas para el ajuste de forma de carga que se pueden obtener mediante la gestión de demanda.

3.3.1.3.1. Peak Clipping (Recorte de Pico)

En la Figura 3.9 Se presenta cómo esta opción se enfoca en disminuir el uso de electricidad durante los momentos de mayor demanda. El resultado alcanzado implica una disminución tanto en la demanda máxima como en el consumo total de energía.

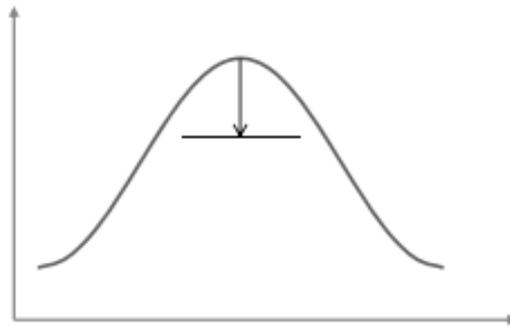


Figura 3.9. Recorte de pico [24].

3.3.1.3.2. Valley Filling (Llenado del periodo Valle)

Este enfoque promueve el empleo de energía eléctrica al incorporar cargas durante los intervalos de menor requerimiento en el sistema eléctrico. En la Figura 3.10 se representa otra alternativa de ajuste de forma de carga.

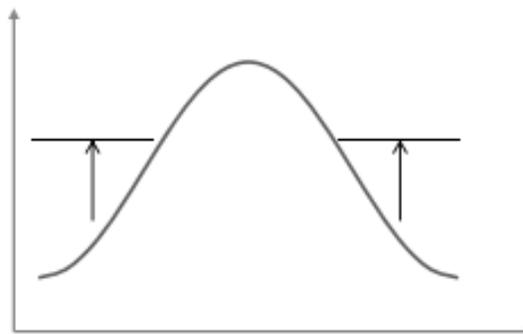


Figura 3.10. Valley Filling [24].

3.3.1.3.3. Load Shifting (Desplazamiento de Carga)

La "Conservación Estratégica" en el contexto del Peak Shaving se refiere a una estrategia en la que se toman medidas deliberadas y planificadas para reducir el consumo de energía en momentos de alta demanda eléctrica, con el objetivo de evitar o reducir los picos de consumo y, en consecuencia, disminuir los costos asociados con la demanda máxima en la red eléctrica. Esta estrategia implica identificar y priorizar los equipos, dispositivos o sistemas que pueden reducirse o apagarse temporalmente durante los períodos de mayor carga eléctrica. En lugar de comprometer la operación continua y esencial, se trata de identificar elementos que puedan ser ajustados sin causar interrupciones significativas en la producción, la comodidad o las operaciones, como indica en la Figura 3.11. En esta alternativa no se conmutan cargas, sólo se cambian o reprograman, por lo tanto, la producción total no es afectada [25].

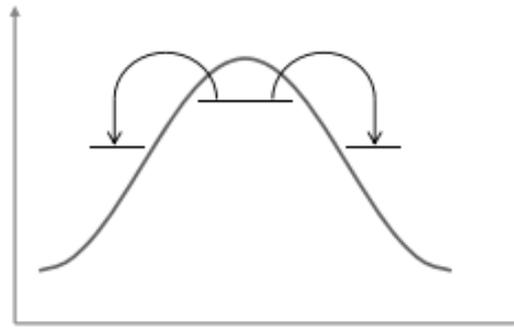


Figura 3.11. Load Shifting [24]

3.3.1.3.4. Strategic Conservation (Conservación Estratégica)

Este enfoque se orienta hacia la disminución de la demanda eléctrica a lo largo de todas las horas del día. Los planes de conservación estratégica se basan en el avance tecnológico industrial para disminuir el consumo de electricidad. Ejemplos de estas nuevas tecnologías que pueden emplearse para reducir la demanda energética industrial incluyen motores altamente eficientes, sistemas de recuperación de calor y dispositivos de regulación de velocidad, tal como se representa en la Figura 3.12.

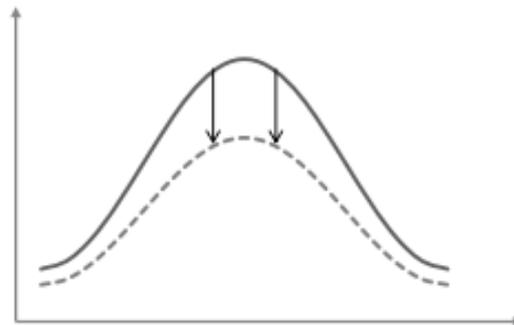


Figura 3.12. Strategic Conservation [24].

3.3.1.3.5. Strategic Growth (Crecimiento Estratégico)

El strategic Growth se refiere al crecimiento estratégico de la carga que se presenta en el despliegue de nuevas tecnologías como por ejemplo se puede visualizar en la carga de los vehículos eléctricos los cuales incrementarán estratégicamente el consumo de electricidad. La Figura 3.13 ilustra el crecimiento estratégico.

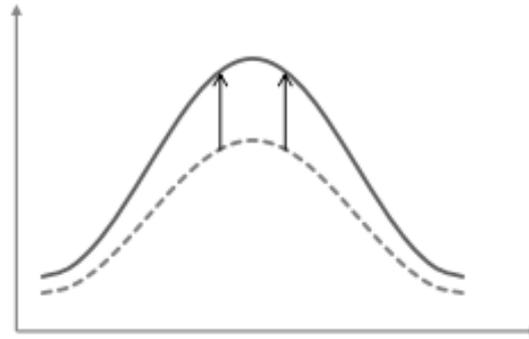


Figura 3.13. Strategic Growth [24].

3.3.1.4. Almacenamiento Térmico

Para aquellas empresas en las cuales el uso de aire acondicionado es un factor importante en su carga eléctrica, cabe la posibilidad de tener un equipo que almacene energía térmica y ésta se utilice para satisfacer los requerimientos en horario punta. De esta manera, los equipos eléctricos operan en horario base o intermedio (cuando la energía es relativamente económica) para almacenar energía térmica (agua helada o hielo) y se apagan en horario punta ya que se abastecerá la carga con la energía térmica almacenada.

3.3.1.5. Autogeneración

Para la autogeneración se hace énfasis en el Peak Shaving mediante el uso de generación eléctrica en sitio, es el proceso de transferir carga a un generador eléctrico propiedad del usuario, durante el horario punta (en el Ecuador, el periodo comprendido entre las 18:00 a 22:00 horas). En este proceso, el usuario genera su propia energía eléctrica para abastecer parcial o totalmente sus requerimientos. La autogeneración en las horas punta tiene varias alternativas de funcionamiento, que están relacionadas de acuerdo con el uso y aplicación que se le quiera entregar a la unidad de generación

3.3.1.6. Gestión de la energía

La gestión de la energía puede definirse como el uso adecuado de la energía para lograr los objetivos previstos [26]. En la actualidad, hay una variedad extensa de servicios ofrecidos por los sistemas de almacenamiento en diferentes partes del mundo, tal como se muestra en la Tabla 3.2. Los sistemas de almacenamiento tienen un rango de tiempo de respuesta necesario para estas aplicaciones que va desde unos segundos hasta varias horas.

Tabla 3.2. Aplicaciones para sistemas de almacenamiento en la industria

Lugar	Servicios de Red	Aplicación	Tiempo de aplicación
Pequeñas, medianas y grandes industrias	Cambio de energía	Autoconsumo/sistema fotovoltaico	A diario de 1 a 10 h
	Reducción de picos	Autoconsumo/sistema fotovoltaico	A diario de 1 a 10 h
	Respaldo de energía	Sistema fotovoltaico	A diario de 1 a 10 h
	Gestionar la energía fotovoltaica	Sistema fotovoltaico	A diario de 1 a 10 h

En la industria, la gestión energética se enfoca en la implementación de baterías con el fin de optimizar la administración de la energía eléctrica, lo que a su vez permite reducir los costos de la tarifa mensual.

3.3.2. Arbitraje de Energía

La gestión del consumo se refiere al suministro de energía en un contexto de precios variables. Tradicionalmente, en un mercado liberalizado, los precios varían durante el día, reflejando el excedente o el déficit de generación de energía, así como otros factores, como la congestión de la red. Estas variaciones pueden tener una gran volatilidad. Por lo tanto, un sistema de almacenamiento puede obtener beneficios o reducir los costos al consumir energía barata e inyectar energía cara. Esto también se traduce en una reducción del impacto de la volatilidad de los precios en los gastos de la empresa. Sin embargo, el controlador de la batería para carga y descarga es complejo, ya que las decisiones deben tomarse en función de los precios futuros previstos [27].

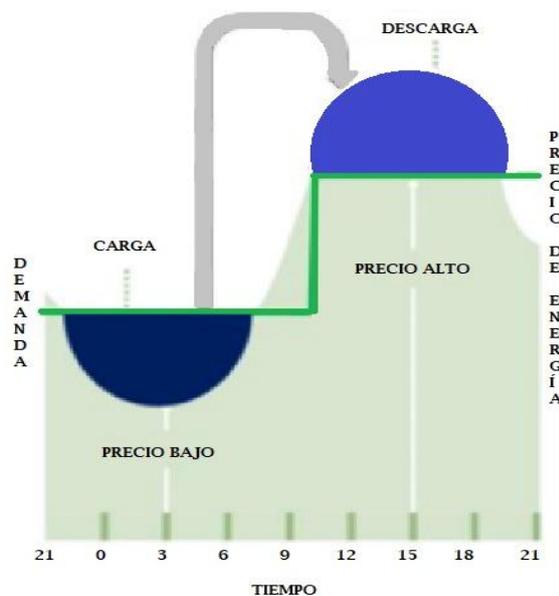


Figura 3.14. Comportamiento de módulos de baterías para la gestión del consumo [27].

En la Figura 3.14, donde se presenta una curva de demanda para un caso industrial junto con el costo de la electricidad por hora, representado por la línea verde. El propósito del sistema de almacenamiento es cargar durante los periodos de bajo costo de la electricidad y descargar durante los periodos de alto costo.

3.4. PLIEGO TARIFARIO

En Ecuador, las tarifas reguladas se consideran con un costo de demanda máxima. Sin embargo, existen categorías para facturar la energía consumida del usuario. Se aplica a los consumidores industriales, en medio voltaje, que disponen de un registrador de demanda horaria que les permite identificar la demanda de potencia y los consumos de energía eléctrica en los periodos horarios de punta, media y base [28]. El consumidor debe pagar por:

- a) Un cargo por comercialización en USD/consumidor-mes, independiente del consumo de energía.
- b) Un cargo por demanda en USD/kW-mes, por cada kW de demanda mensual facturable como mínimo de pago, independiente del consumo de energía, multiplicado por un factor de gestión de la demanda (FGDI).
- c) Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el período de lunes a viernes, de 08:00 hasta las 18:00 horas.
- d) Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el período de lunes a viernes, de 18:00 hasta las 22:00 horas.
- e) Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el período de lunes a viernes de 22:00 hasta las 08:00 horas; incluyendo la energía de sábados, domingos y feriados, en el período de 22h00 a 18:00 horas.
- f) Un cargo por energía en USD/kWh, en función de la energía consumida en el período de sábados, domingos y feriados, en el período de 18:00 hasta las 22:00 horas.

3.4.1. Estructura de las tarifas en el Ecuador

La configuración, alcance y esquema de tarifas relacionado con el suministro público de electricidad, que será implementado por la empresa distribuidora, en consonancia con los principios tarifarios definidos en la regulación actual. Este documento es expedido por el Organismo Regulador del Sector Eléctrico (ARCERNNR). Dentro de los conceptos destacados que resultarán útiles para el análisis de la industria.

3.4.1.1. Tarifa horaria en el sector industrial

La Tabla 3.3, que define rangos horarios cada rango donde A = Media, B = Pico, C = Base, y D = Pico feriados, tiene un valor distinto de energía lógicamente en la banda pico y

logra el cargo por energía será más alto para tratar de disuadir a los consumidores a que consuman mucha energía valga la redundancia en esta banda para que la curva de demanda nacional sea más plana el impacto en esta banda sea menor a nivel de país.

- **Periodo de Demanda Base.** - comprendido en el periodo de 22:00 a 08:00, que corresponde al consumo de energía eléctrica.
- **Periodo de Demanda Hora Media.** - el horario comprendido de 08:00 a 18:00, correspondiente al consumo de energía eléctrica.
- **Periodo de Demanda Hora Punta.** - corresponde al horario 18:00 a 22:00, cobre el consumo de energía eléctrica.

Tabla 3.3. Franja Horaria para consumidor industrial

HORAS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Lunes -Viernes	C	C	C	C	C	C	C	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	C	C
Sábados -Domingos	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	C	C
Feridos	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	C	C

3.4.1.2. Cargos tarifarios únicos

En la Tabla 3.4, se puede verificar el precio del \$/kWh de acuerdo a diferentes horarios y se observa que en la hora pico existe mayor precio por \$/kWh 0.1037 y el valor de comercialización para este tipo de usuario es de \$ 1.414.

Tabla 3.4. Cargos tarifarios únicos para el sector industrial [28].

INDUSTRIALES			
Rango de consumo	Demanda (\$/kW-mes)	Energía (\$/kW-mes)	Comercialización (\$/consumidor)
L-V 08h00 a 18h00	4,576	0,0897	1.414
L-V 18h00 a 22h00		0,1037	
L-V 22h00 a 08h00		0,0501	
S,D,F 18h00 a 22h00		0,0897	

Para los consumidores industriales que se encuentren en medio y alto voltaje – Grupo AV1 descritos en el Pliego Tarifario, que disponen de un contador de demanda horaria en el que el factor de gestión de la demanda (FGDI) se obtiene de la siguiente manera:

$$FGDI = \begin{cases} 0.50 & \text{si } \frac{DP}{DM} < 0.6 \\ 0.5833 \times \frac{DP}{DM} + 0.4167 \times \left(\frac{DP}{DM}\right)^2 & \text{si } 0.6 \leq \frac{DP}{DM} \leq 0.9 \\ 1.00 & \text{si } 0.9 < \frac{DP}{DM} \leq 1.0 \end{cases} \quad (1)$$

Donde:

FGDI: factor de gestión de la demanda.

DP: demanda máxima mensual durante las horas de pico.

DM: demanda máxima mensual.

3.5. ANÁLISIS ECONÓMICO

3.5.1. El Valor Actual Neto (VAN)

El valor actual neto (VAN), también conocido como el método de descuento de flujos ajustado por el riesgo, es uno de los métodos más difundidos en la literatura de evaluación de proyectos. Una de las razones que propicia su difusión es que provee un marco decisional sencillo en relación a la conveniencia financiera de los proyectos. El VAN se puede explicar así: cuando se hace una inversión, se recibe a lo largo de la vida de ésta, un flujo de caja. El VAN mide el remanente después de restar, al flujo recibido en valor actual (flujo neto), la inversión y la tasa de descuento [29].

Para determinar el VAN se utiliza la siguiente ecuación (1):

$$VAN = -A + \sum_{j=1}^{j=n} \frac{FC_j}{(1+k)^j} \quad (2)$$

Donde:

A = Inversión Inicial

FC = Flujos de Caja

k = Tasa de Descuento

n = Número de Periodos

Los criterios empleados para la toma de decisiones se fundamentan en los siguientes puntos:

- Si el Valor Actual Neto (VAN) es mayor que cero, ello significa que al calcular el valor actualizado de los flujos de ingresos y gastos futuros relacionados con la inversión utilizando la tasa de descuento elegida, se obtendrán ganancias.
- Si el VAN es igual a cero, el proyecto de inversión no resultará en ganancias ni pérdidas, lo que implica que su realización, en principio, carecerá de impacto.
- Si el VAN es menor que cero, la inversión proyectada resultará en pérdidas, por lo tanto, se recomendará su rechazo.

3.5.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno (TIR) es otro de los métodos, junto con el VAN y el PayBack, más utilizado por las empresas. Posee la ventaja de ser fácil de visualizar de manera intuitiva. La TIR es una medida porcentual de la magnitud de los beneficios que le reporta un proyecto a un inversionista. A este método también se le denomina tasa interna de rendimiento, tasa de rendimiento descontado o método de inversionista. El objetivo es encontrar una tasa que, al ser aplicada a los flujos de caja que generará el proyecto durante su vida útil, dé un monto igual a

la inversión inicial [29]. El TIR realiza el mismo cálculo llevando el VAN a cero y así se obtiene el porcentaje, que se comparará con el porcentaje de interés definido como más seguro [30].

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{Fn}{(1+i)^n} = 0 \quad (3)$$

Donde:

Fn = Flujos de Caja

n = Número de Periodos

i = valor de la inversión inicial

Los criterios empleados para la toma de decisiones se fundamentan en los siguientes puntos:

- Si el TIR es mayor que cero, el proyecto se considera viable, lo que señala que su rentabilidad excede al costo de oportunidad o al rendimiento mínimo requerido
- Si el TIR es menor que cero, el proyecto se descarta debido a que su rentabilidad es inferior al rendimiento mínimo necesario.
- Si el TIR es igual a cero, no se generan ni ganancias ni pérdidas. En estas instancias, resulta importante contemplar otros beneficios potenciales vinculados a la ejecución del proyecto para tomar una decisión.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

En este proyecto de investigación se emplearon diversos métodos de investigación que se describen a continuación:

4.1.1. Método Experimental

Mediante los datos experimentales obtenidos en los ensayos para la descarga de la batería, se puede evaluar el comportamiento de la batería con el modelo implementado en Simulink, de esta manera se pretende obtener las curvas de carga y descarga de la batería.

4.1.2. Método Histórico

Con la ayuda de este método se investigó sobre los datos históricos de demanda eléctrica del sector industrial de un determinado periodo de consumo de energía eléctrica, estos datos se utilizaron para la gestión del consumo en el que se aplica un sistema de almacenamiento.

4.2. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

4.2.1. Investigación Bibliográfica

En el presente estudio, se llevó a cabo una exhaustiva investigación mediante la búsqueda de diversas fuentes bibliográficas, incluyendo tesis, artículos científicos, páginas web, libros y repositorios de universidades. Estas fuentes proporcionaron la información necesaria para respaldar la fundamentación teórica, la metodología y los resultados de la investigación.

4.2.2. Investigación Descriptiva

En este tipo de investigación se llevó a cabo con el objetivo de detallar los datos técnicos del sistema de almacenamiento de energía, específicamente la batería. Se abordaron aspectos como su estructura, el uso, el mantenimiento y los pasos necesarios para su implementación y puesta en funcionamiento.

4.3. DESARROLLO DE LA PROPUESTA

4.3.1. Técnicas de instrumentos para recolectar información

- **Técnicas**

Observación: Se toma en consideración el perfil de carga para evaluar el costo de energía eléctrica cuando se emplea un sistema de almacenamiento de energía, al suministro eléctrico del usuario industrial.

Medición: Se realiza las mediciones de las magnitudes eléctricas mediante dispositivos de medida para comprobar que el sistema de almacenamiento funcione adecuadamente y obtener los datos de carga y descarga de la batería.

- **Instrumentos**

Software: Se hace uso de los softwares computacionales Matlab y Excel para realizar las simulaciones para la obtención de las curvas de cargas y descarga de la batería, además de la estrategia del Peak Shaving.

4.4. METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL

En esta sección se describe la metodología utilizada para dar cumplimiento a los objetivos planteados, de tal manera que en primera instancia se realiza la utilización de un sistema de almacenamiento conectado a la red del cual se obtienen datos experimentales de la batería para luego implementarlo en Simulink y de esta manera observar el comportamiento de la batería ante diferentes escenarios de carga, posteriormente se realizó la estrategia del Peak Shaving donde se busca reducir el cargo por demanda máxima en las horas pico mediante el uso del pliego tarifario para calcular las tarifas eléctricas, lo cual conlleva al análisis técnico y económico para verificar la factibilidad del proyecto mediante fórmulas financieras como el VAN y el TIR. En la Figura 4.1 se puede observar en un mapa mental como está estructurada la metodología general para el proyecto de investigación.

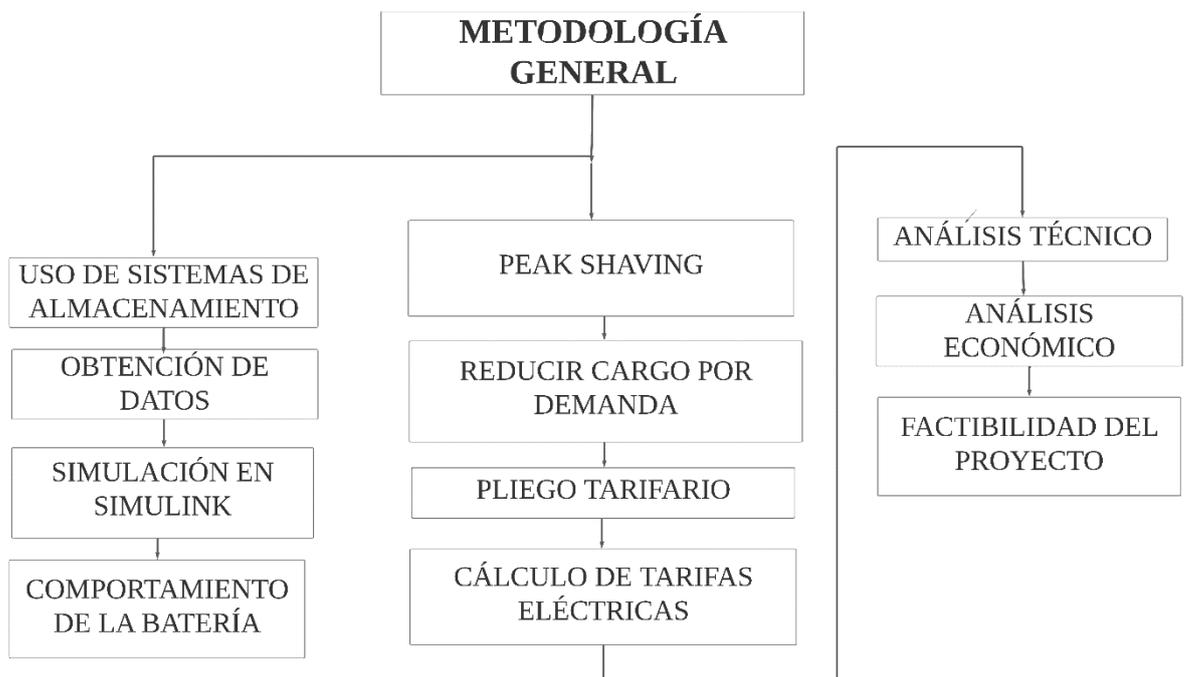


Figura 4.1. Esquema a seguir para la metodología general

4.5. METODOLOGÍA PARA EL COMPORTAMIENTO DE LA BATERÍA

Para evaluar el comportamiento de una batería se puede seguir una metodología experimental que permita obtener datos precisos y reales de la batería analizada, entonces se mide el voltaje de circuito abierto para conocer la capacidad de la batería, así como también la resistencia de carga o descarga (se obtiene mediante la ley de Ohm) y finalmente el equipo de medida proporciona el valor de la corriente ya sea para el ciclo de carga o ciclo de descarga en ambos casos la corriente será constante, los datos son implementados en una hoja de cálculo de Excel para luego obtener las curvas de carga y descarga de la batería mediante el software de Matlab-Simulink, en la Figura 4.2 se puede ver un esquema donde se resume los pasos a seguir para el modelo. En dicha figura se tiene nuevos acrónimos en donde OCV es el voltaje en terminales de la batería, el SOC es la capacidad de la batería, DOD es la profundidad de descarga.

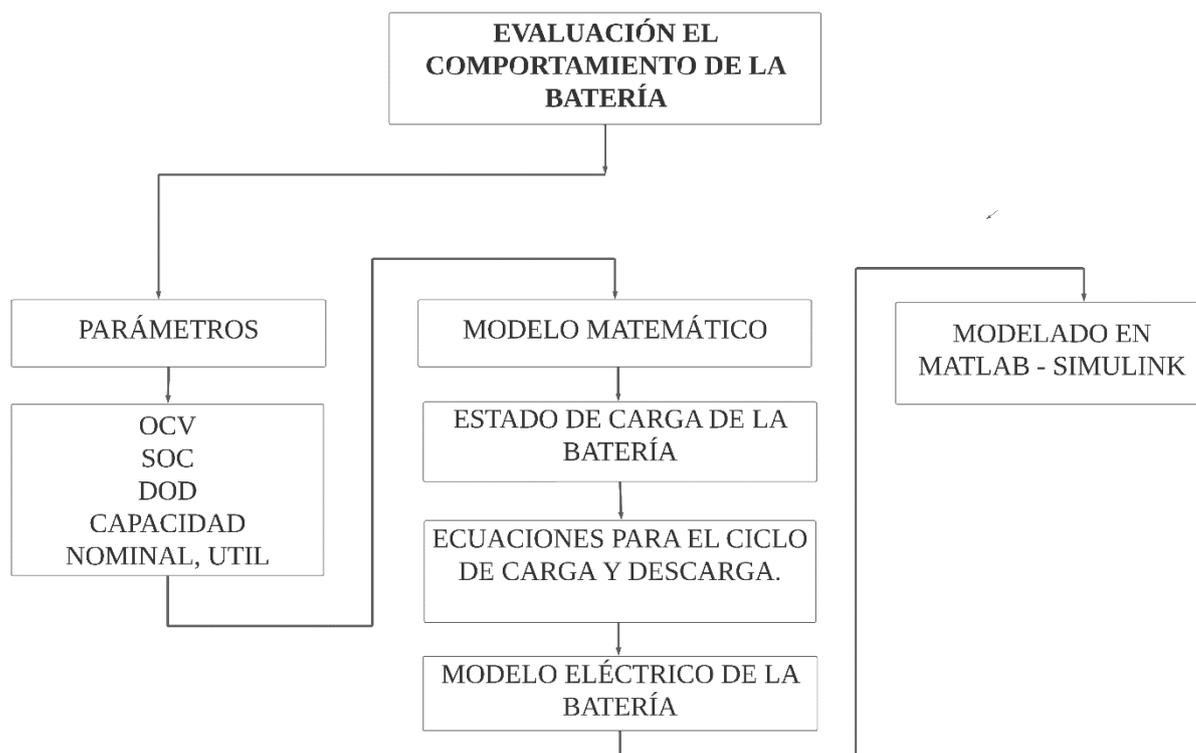


Figura 4.2. Esquema para el comportamiento de la batería

4.5.1. Diagrama de conexión del sistema de almacenamiento

En la Figura 4.3 indica el diagrama de conexión del sistema de almacenamiento conectado a la red, simplificando la generación fotovoltaica, la cual es utilizada para la obtención de datos para el comportamiento de la batería, los datos técnicos de los equipos utilizados y diagrama unifilar se encuentran en los Anexos.



Figura 4.3. Esquema del sistema de almacenamiento ONGRID [31].

4.5.2. Parámetros para la evaluación del comportamiento de la Batería

Se desarrolla un modelo para observar el comportamiento de la batería cuando se carga y cuando se descarga, tomando en cuenta los siguientes parámetros:

Capacidad: producto entre la corriente y el tiempo (Ah)

Capacidad nominal: es la capacidad que se obtiene en condiciones nominales.

Capacidad útil: capacidad nominal por la profundidad máxima de descarga permitida.

OCV: Voltaje de Circuito Abierto de la batería en voltios.

Estado de carga de la batería (SOC %): es la cantidad de energía almacenada por la batería.

$$SOC (\%) = \frac{OCV - V_{min}}{V_{max} - V_{min}} * 100 \quad (4)$$

Donde:

OCV: Voltaje de Circuito Abierto de la batería en voltios.

V_{mín}: Voltaje mínimo de la batería en voltios. Representa el SOC del 0%.

V_{máx}: Voltaje máximo de la batería en voltios. Representa el SOC del 100%.

Profundidad de descarga (DOD %): indica el porcentaje de la batería que se puede descargar en relación con la capacidad total de la batería.

$$DOD (\%) = 1 - SOC \quad (5)$$

Resistencia de carga: es la relación entre el voltaje y corriente se obtiene mediante la ley de Ohm, donde se utiliza la corriente de carga.

$$R_c = \frac{V}{I_c} \quad (6)$$

Resistencia de descarga: es la relación entre el voltaje y corriente, se obtiene mediante la ley de Ohm, donde se utiliza la corriente de descarga.

$$R_d = \frac{V}{I_d} \quad (7)$$

Donde:

R: Resistencia de carga o descarga se mide en ohmios [Ω].

V: Voltaje de la batería en circuito abierto se mide en voltios [V].

I_c : Corriente de carga de la batería se mide en amperios [A].

I_d : Corriente de descarga de la batería se mide en amperios [A].

4.5.3. Obtención de los parámetros de la Batería

La obtención de los parámetros de la batería se realiza mediante aparatos de medida en este caso se utiliza un multímetro para medir en tiempo real el voltaje y corriente del sistema de almacenamiento, entonces se mide el voltaje en los terminales de la batería con un voltímetro, el cual leerá el voltaje en circuito abierto (OCV) incluso si no hay corriente fluyendo en el circuito. El OCV es función del estado de carga (SOC) de la batería, con el voltaje de circuito abierto se determina el estado de carga de la batería. En la Figura 4.4 se muestra cómo se conecta el voltímetro para medir el voltaje de la batería para este caso se conecta en paralelo y para la medición de la corriente se abre el circuito y se conecta un amperímetro el cuál se conecta en serie.

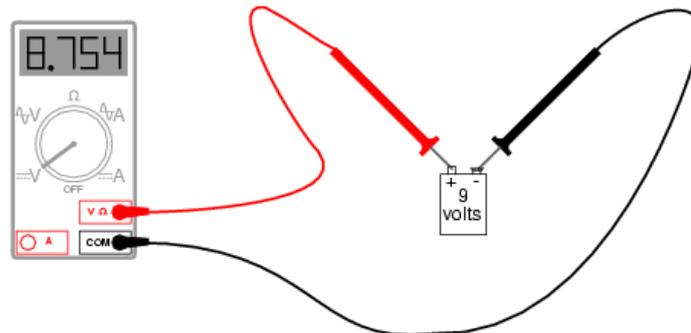


Figura 4.4. Conexión de aparato de medida hacia la batería [32].

Una vez conectado el equipo de medida se procede a la obtención de datos de la batería, cuando la batería se encuentra en estado de carga se mide la corriente de carga y el voltaje de carga para calcular mediante la ley de ohm la resistencia de carga, de igual manera para cuando la batería se encuentra descargada se mide el voltaje de descarga y corriente de descarga, mediante la ley de ohm se calcula la resistencia de descarga, los datos se toman en intervalos de tiempo los cuales son insertados en una hoja de cálculo de Excel, posteriormente dicha hoja de cálculo es utilizada para implementarla en el software Matlab-Simulink y de esta manera

modelar el comportamiento de la batería en las cuales se obtiene las curvas de carga y descarga de la batería.

4.5.4. Modelo matemático de la Batería

Entonces, un modelo de batería es una lista de ecuaciones matemáticas que describen lo que sucede internamente dentro de la batería, el modelo puede predecir el comportamiento de la batería. Por lo tanto, existe una relación entre el voltaje de circuito abierto (OCV) y estado de carga de la batería (SOC), dicha relación es dependiente de la composición química de la batería y la dirección de carga y descarga.

4.5.4.1. Estado de Carga de la batería (SOC)

Una de las variables muy importantes a monitorear el estado de carga de la batería, ya que parámetros como el voltaje de circuito abierto (OCV) y las resistencias de carga (R_c) y descarga (R_d) son funciones de esta variable, además de la temperatura y del tiempo de uso. La siguiente ecuación define el SOC:

$$SOC = \frac{\text{Total Cargada (Ah)}}{\text{Capacidad de Batería (Ah)}} \quad (8)$$

Reescribiendo la ecuación se tiene:

$$SOC(t) = SOC(t=0) \pm \frac{1}{C_n} \int_0^t i(\tau) d\tau \quad (9)$$

Donde el signo positivo (+) para la carga y el signo negativo (-) para la descarga y C es la capacidad de la batería.

4.5.4.2. Ecuaciones para el ciclo de carga y descarga

En las siguientes ecuaciones matemáticas se modela el comportamiento de la batería para el ciclo de carga.

$$V_T = OCV_c(SOC) + I * R_c(T, SOC) \quad (10)$$

$$SOC = SOC(t=0) + \frac{1}{C_n} \int_0^t I(t) dt \quad (11)$$

En las siguientes ecuaciones matemáticas se modela el comportamiento de la batería para el ciclo de descarga.

$$V_T = OCV_d(SOC) - I * R_c(T, SOC) \quad (12)$$

$$SOC = SOC(t=0) - \frac{1}{C_n} \int_0^t I(t) dt \quad (13)$$

Donde:

VT: voltaje en los terminales

Cn: Capacidad de la batería

I: Corriente de carga o descarga

Rc: Resistencia interna de la batería en modo de carga.

R_d : Resistencia interna de la batería en modo de descarga.

T : Temperatura (se considera temperatura constante para el ciclo de carga y descarga de la batería).

4.5.5. Modelo Eléctrico de la Batería

El modelo eléctrico de la batería se puede describir mediante el siguiente diagrama, tal como se indica en la Figura 4.5.

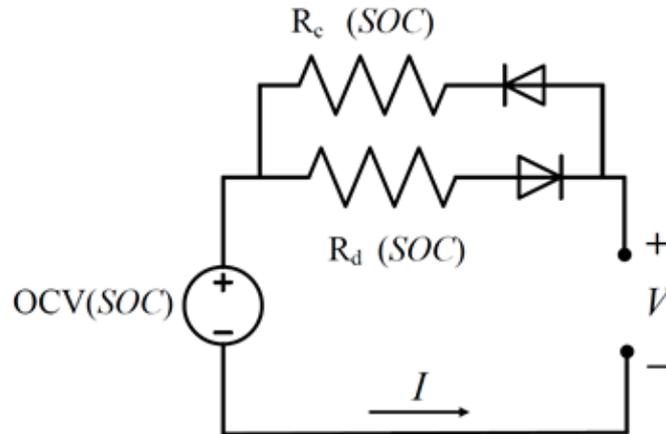


Figura 4.5. Modelo Eléctrico de la Batería [32].

Donde:

R_c : Resistencia interna de la batería en modo de carga.

R_d : Resistencia interna de la batería en modo de descarga.

OCV: Tensión de la batería en circuito abierto en régimen de carga o descarga

I : Corriente de la batería en régimen de carga o descarga.

4.5.6. Implementación del modelo en Matlab-Simulink

Una vez que se obtiene el modelo eléctrico y el modelado matemático con sus respectivas ecuaciones para la carga y descarga de la batería se implementa el modelo de la batería, en Simulink mediante el diagrama de bloques, donde se modela las ecuaciones para el ciclo de carga y descarga de la batería, el diagrama se puede visualizar en la Figura 4.6.

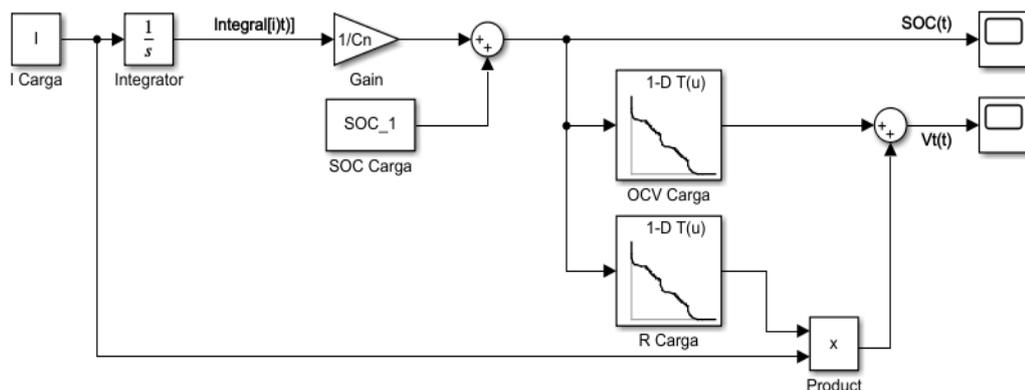


Figura 4.6. Diagrama de bloques en Simulink para el ciclo de carga y descarga

4.6. METODOLOGÍA PARA LA ESTRATEGÍA DEL PEAK SHAVING

En esta sección se presenta un caso de estudio que ilustra la realización de la evaluación económica en el contexto de un sistema de almacenamiento. El objetivo es analizar la rentabilidad en función de la capacidad de la batería para suministrar energía, identificando el punto óptimo en el que el ahorro se maximiza. Este enfoque tiene como finalidad mitigar los picos máximos de demanda en el escenario que se está analizando. A continuación, se describe en detalle de la metodología que se seguirá para obtener los resultados deseados.

4.6.1. Pasos a seguir para dimensionar el sistema de almacenamiento

La gestión de energía implica cargar un sistema de almacenamiento durante los períodos de precios bajos y descargarlo durante los períodos de precios altos, lo que se conoce como gestión de energía. El parámetro principal para dimensionar la capacidad de la batería es la cantidad de energía que se puede almacenar, debido a que esto tiene un impacto directo en el potencial de ahorro. Para determinar este valor, se sugieren los siguientes pasos:

1. Identificar los períodos de precios altos (horas pico) y los períodos de precios bajos (horas valle) en el perfil de precios de energía en base al pliego tarifario esto se encuentra en la sección 3.4.
2. Utilizando el perfil del usuario industrial denominado caso de estudio (Caso Base), calcular la cantidad de energía consumida durante las horas pico. Esto se denomina energía pico original.
3. Determinar la máxima cantidad de energía que se requiere recortar durante las horas pico. Esto se denomina energía pico deseada para este caso se determina el porcentaje del pico a reducir.
4. Cálculo de la planilla eléctrica del caso base, estos valores se tomarán en cuenta cuando la industria se encuentre sin el sistema de almacenamiento.
5. Calcular la diferencia entre la energía máxima original y la energía punta deseada. Esta diferencia representa la cantidad mínima de energía requerida por la batería.
6. Aunque la potencia del sistema de almacenamiento se determina en el paso 3, el inversor puede dimensionarse de acuerdo con el paso 3.
7. Recalcular la planilla eléctrica con la integración del sistema de almacenamiento de energía eléctrica de acuerdo a cada caso de estudio.

4.6.2. Perfil de demanda eléctrica del sector industrial (Caso Base)

Se emplea un patrón de consumo en el análisis, que muestra el historial de consumo de la empresa Prolatd, considerando tanto el uso de energía como la demanda requerida. Estos datos

son empleados para examinar cómo se comporta el sistema de almacenamiento en relación con la estrategia de Reducción de Picos (Peak Shaving). La sección posterior muestra los detalles de la distribución horaria del perfil de carga de dicho usuario.

4.6.3. Curva característica de consumo de potencia L-V Caso base

La Tabla 4.1, presenta los datos de demanda eléctrica horaria del caso base, de lunes a viernes en la que se visualiza una curva característica para estimar el consumo de potencia, donde el pico máximo es de 94 kW, en la cual se puede apreciar las horas en las que la fábrica presenta un consumo muy elevado de potencia.

Tabla 4.1. Datos de demanda de L-V

Hora	Potencia [kW]	Hora	Potencia [kW]
0:00:00	58	12:00:00	91
1:00:00	62	13:00:00	92
2:00:00	60	14:00:00	80
3:00:00	69	15:00:00	94
4:00:00	72	16:00:00	78
5:00:00	60	17:00:00	80
6:00:00	62	18:00:00	75
7:00:00	78	19:00:00	84
8:00:00	80	20:00:00	93
9:00:00	84	21:00:00	94
10:00:00	90	22:00:00	85
11:00:00	93	23:00:00	82

Según la Figura 4.7, se tiene potencia vs tiempo, donde se presenta la curva característica de demanda en [kW], en dicha figura indica los picos máximos de la empresa Prolatd de lunes a viernes.

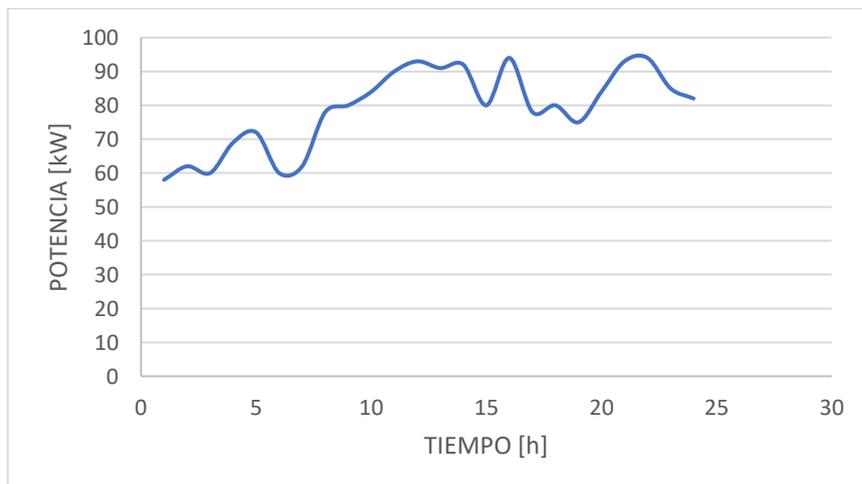


Figura 4.7. Curva de Potencia demanda de L-V

4.6.4. Curva característica de consumo de Potencia S-D Caso base

La Tabla 4.2, presenta los datos de demanda eléctrica horaria de un usuario industrial de sábados a domingos en el que se visualiza una curva característica para estimar el consumo de potencia, donde el pico máximo es de 144 kW, en la cual se puede apreciar las horas en las que la fábrica presenta un consumo muy elevado de potencia.

Tabla 4.2. Datos de demanda de S-D

Hora	Potencia [kW]	Hora	Potencia [kW]
0:00:00	103	12:00:00	138
1:00:00	107	13:00:00	129
2:00:00	100	14:00:00	140
3:00:00	109	15:00:00	119
4:00:00	112	16:00:00	119
5:00:00	91	17:00:00	124
6:00:00	116	18:00:00	134
7:00:00	92	19:00:00	144
8:00:00	134	20:00:00	135
9:00:00	100	21:00:00	131
10:00:00	115	22:00:00	120
11:00:00	149	23:00:00	107

Según la Figura 4.8, se tiene potencia vs tiempo, donde se presenta la curva característica de demanda en [kW], en dicha figura se observa los picos máximos de la empresa Prolatd de sábado a domingo.

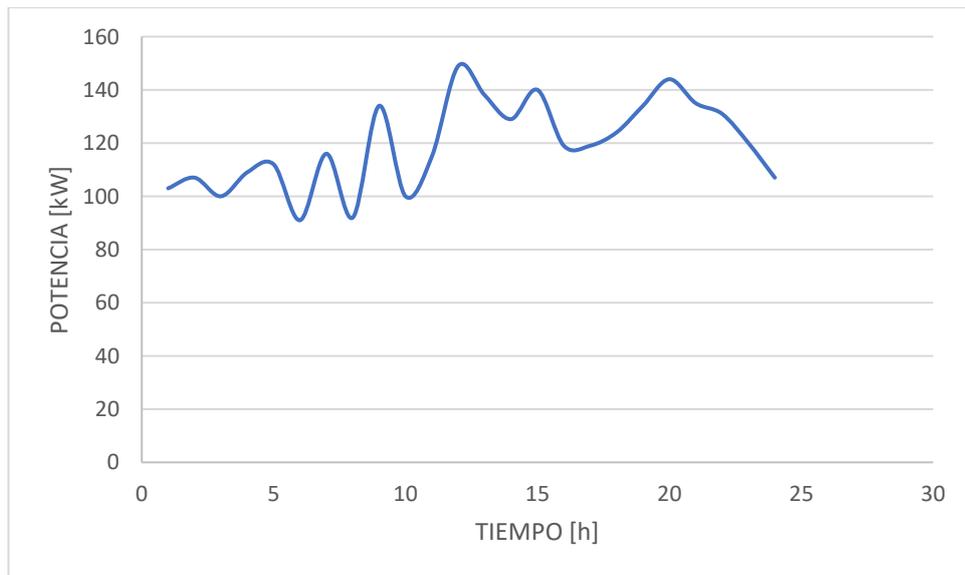


Figura 4.8. Curva de Potencia demanda de S-D

4.6.5. Curva característica del consumo de Energía Caso Base

Para obtener el consumo de energía de la empresa (caso de estudio), en la cual se considera 1 hora para el periodo de tiempo que se requiere potencia entonces el área bajo la curva será la energía que consume dicha empresa, también se puede aplicar la ecuación (14), para obtener la energía en cada hora, en este caso se obtiene los mismos valores para la potencia de demanda y la energía consumida.

$$\text{Energía Eléctrica } (E) = P \cdot t \quad (14)$$

Donde:

E: energía consumida se mide en [kWh].

P: demanda o potencia requerida por el usuario [kW].

t: periodo de tiempo que se requiere potencia, se mide en [h].

La energía consumida por la empresa Prolatd de lunes a viernes se puede ver en la Figura 4.9, en esta representación se señala que el espacio encerrado por la curva refleja la cantidad de energía necesaria para que la fábrica pueda satisfacer la demanda y a la vez pueda suministrar sus productos.

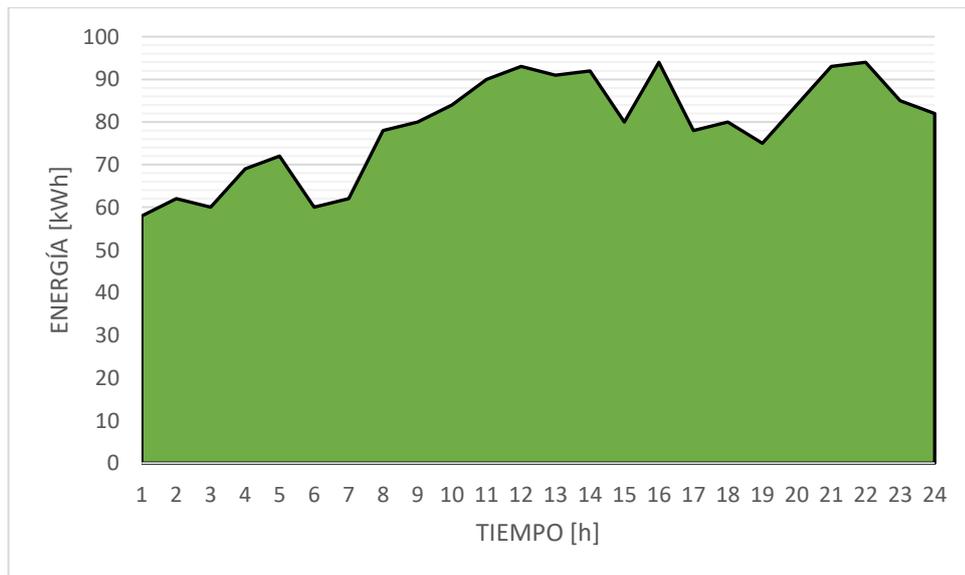


Figura 4.9. Energía consumida por la empresa de L-V

De igual manera como se tiene en el caso anterior, se obtiene la curva característica de energía consumida por parte de la empresa (caso de estudio), en la Figura 4.10 se puede ver que la energía consumida en los sábados y domingos.

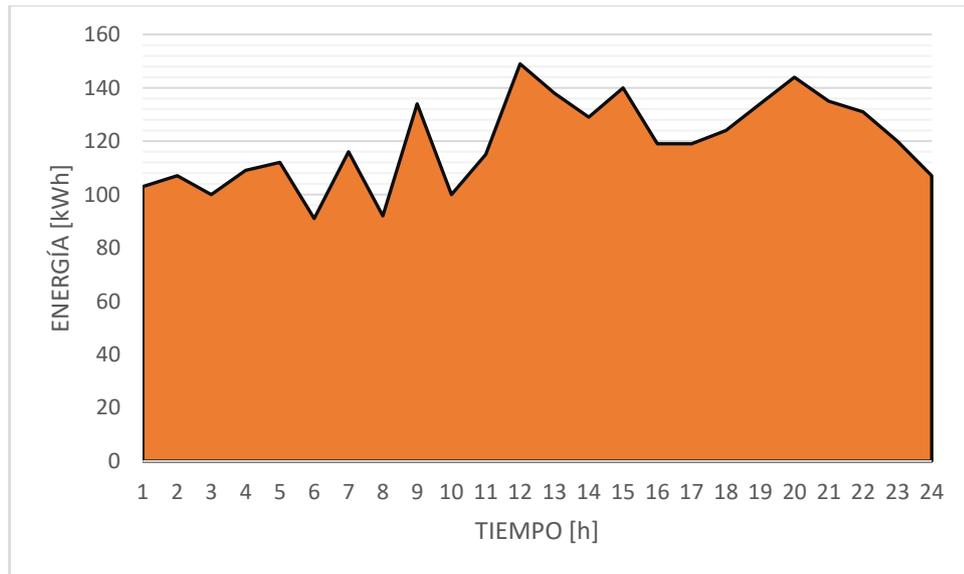


Figura 4.10. Energía consumida por la empresa de S-D

4.6.6. Dimensionamiento del sistema de almacenamiento

A continuación, se presenta cómo dimensionar el sistema de almacenamiento siguiendo los pasos descritos en la sección 4.6.1. En este caso se centra en el recorte de picos máximos de demanda, para esto se utiliza los datos de entrada del perfil de consumo horario de una industria denominada como caso de estudio o caso base. Se asume que este perfil de consumo se mantiene constante durante todo el año calendario para los días lunes a viernes y de sábados a domingos.

4.6.6.1. Estrategia para el Peak Shaving

La gestión de energía es el parámetro más influyente para el dimensionamiento del sistema de almacenamiento de energía eléctrica es el pico máximo al cual se le requiere reducir, de acuerdo a la Figura 4.11.

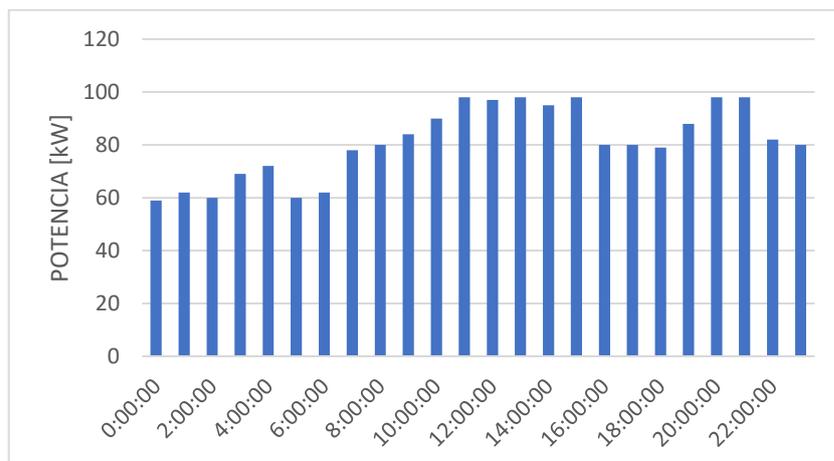


Figura 4.11. Perfil de demanda horaria

Para este caso, se verifica el pico máximo de la demanda horaria indicada en la Figura 4.12, entonces se desea reducir el pico al porcentaje deseado de acuerdo al caso de estudio planteado.

Para hallar el valor de la potencia del sistema de almacenamiento, se obtiene la diferencia entre la demanda máxima original y la demanda máxima deseada de acuerdo a la ecuación.

$$\text{Capacidad}_{\text{Batería}} [kW] = D_M - D_D \quad (14)$$

Donde:

D_M : Demanda máxima del caso de estudio.

D_D : Demanda deseada para reducir los picos.

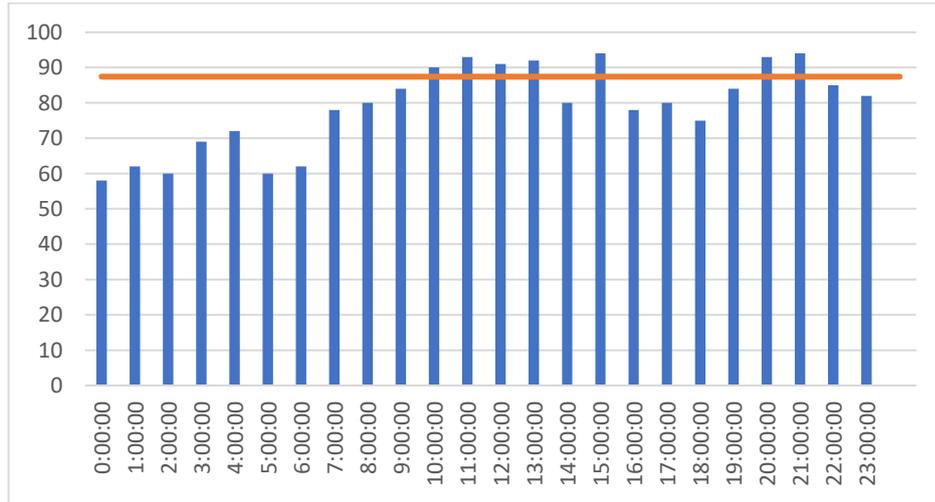


Figura 4.12. Capacidad de la batería para el recorte de picos

Para la estrategia del Peak Shaving donde se pretende reducir el 7%, 9%, 11%, 14%, y 16% denominados casos de estudio del pico máximo, con ello se puede reducir el cargo por demanda eléctrica debido a que es el mayor precio que paga la empresa por dicho cargo, entonces la capacidad de la batería es igual a la capacidad del inversor, de tal manera se aplica la ecuación (15).

$$Cap_{inv} = DM * D \text{ pico deseado} \% \quad (15)$$

4.6.6.2. Parámetros del sistema de almacenamiento para el Peak Shaving

Los parámetros establecidos son dados por el fabricante del sistema de almacenamiento por ejemplo la capacidad del sistema de almacenamiento, energía útil, profundidad de descarga, corriente de carga/descarga y voltaje de carga, sin embargo, algunos parámetros son necesarios calcular los cuales se detallan a continuación:

Para obtener el tiempo de carga/descarga del sistema de almacenamiento se aplica la siguiente ecuación (16):

$$Tiempo_{\text{carga/descarga}} = \frac{\text{Capacidad de la batería}}{I_{\text{carga/descarga}}} \quad (16)$$

De igual manera se calcula el voltaje de descarga del sistema de almacenamiento donde se aplica la siguiente ecuación (17):

$$Voltaje_{descarga} = \frac{Potencia\ carga}{I_{carga/descarga}} \quad (17)$$

4.6.7. Cálculo de ahorros anuales de electricidad

Para los debidos cálculos de ahorros anuales de consumo eléctrico se toma en cuenta los valores del “CASO BASE” y los valores en los cuales se tomó en cuenta el tiempo de carga y descarga del almacenamiento de energía, para lo cual se realizará una diferencia entre los costos diarios, mensuales y anuales obteniendo así el ahorro al utilizar de los casos planteados a estudiar de la demanda máxima.

$$Ahorro\ anual = costo\ kWh(caso\ base) - costo\ kWh(caso\ de\ estudio) \quad (18)$$

4.6.8. Cálculo de costos de operación anual

Para el cálculo de costos de operación anual se toma en cuenta el horario en donde se cargó la batería seleccionada para cada caso y se calcula el costo de carga de las respectivas baterías a la tarifa de 0.0501 siendo esta la más barata y de este modo se obtiene el costo anual para el costo de operación.

$$P_{carga\ batería\ anual} = ((P_{carga} * costo\ de\ la\ tarifa) * 30días) * 12meses \quad (19)$$

4.6.9. Cálculo de costo de caja netos actuales

Una vez que se calculan los ahorros anuales de electricidad y el costo de mantenimiento, se realiza una diferencia de estos dos valores para obtener el valor del costo de caja netos actuales.

$$CNA = ahorros\ anuales - costos\ de\ O/M \quad (20)$$

4.6.10. Cálculo del VAN

Para calcular el Valor Actual Neto (VAN), es esencial considerar la vida útil de los equipos. Esta duración representa el tiempo estimado que, según la tesis, se apoya en un porcentaje adicional del 7,99% para el cálculo. El VAN se calcula multiplicando la inversión por 1,0799 en el primer año, 1,07991 en el segundo año, 1,07992 en el tercer año y así sucesivamente, elevando este valor anual. Posteriormente, se resta este valor obtenido de la inversión original. Un VAN positivo indicaría la viabilidad de implementar baterías para reducir el pico de demanda máxima. Por otro lado, si el VAN es negativo, se buscará un valor alternativo que genere más ahorros y permita reducir el pico máximo de demanda. Se toma en cuenta la ecuación (2).

4.6.11. Cálculo del TIR

Para el cálculo del TIR se realiza un arreglo en la plantilla de Excel utilizando la ecuación (3) financiera de la cual se utiliza los valores de caja netos anuales y se obtendrá el porcentaje del proyecto.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados de la simulación en Matlab del modelado de la batería conjuntamente con el análisis de la estrategia del Peak Shaving mediante un sistema de almacenamiento, además del costo beneficio mediante un análisis financiero para saber la factibilidad del proyecto.

5.1. Datos obtenidos mediante los diferentes escenarios de descarga

Con los datos obtenidos mediante los diferentes ensayos cuando se conectó diferentes cargas resistivas al sistema de almacenamiento ONGRID, se obtiene mediante el modelado de bloques implementados en Simulink de Matlab para conseguir las curvas de descarga y para la curva de carga solo se realizó un ensayo para obtener su curva característica, en la Tabla 5.1 se encuentran los valores más relevantes por parte de los ensayos.

Tabla 5.1. Datos obtenidos de los ensayos con diferentes cargas.

Escenarios de descarga			
Escenario	Potencia [W]	Corriente descarga [A]	Tiempo
1	110	9	9:40 horas
2	550	60	37 min
3	660	65,6	34 min
Escenario de Carga			
Escenario	Potencia [W]	Corriente de carga [A]	Tiempo
1	192	16	3 horas

5.1.1. Curva de Carga

En la Figura 5.1 se puede ver el comportamiento de la batería cuando se carga a una corriente constante de 16A, el estado de carga de la batería (SOC) indica el porcentaje de almacenamiento de energía en relación al tiempo, cuando la batería se encuentra al 0% de carga indica un valor de 11,6V y cuando está completamente cargada indica un valor del 13.6 V. En el ensayo realizado se pudo constatar que la duración de carga de la batería dura 3 h hasta llegar al 100% del SOC.

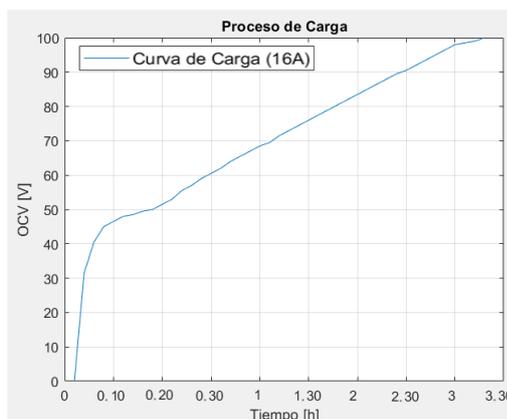


Figura 5.1. Proceso de carga de la batería

5.1.2. Curva de descarga (Escenario 1)

En la Figura 5.2 se puede ver el comportamiento de la batería cuando se descarga a una corriente constante de 9A, cuando la batería se encuentra al 100% de carga indica un valor de 13.46V y cuando está completamente descargada indica un valor del 10,5V. En el ensayo realizado se pudo verificar que la duración de descarga de la batería dura 9.40 horas con una carga resistiva de 110W.

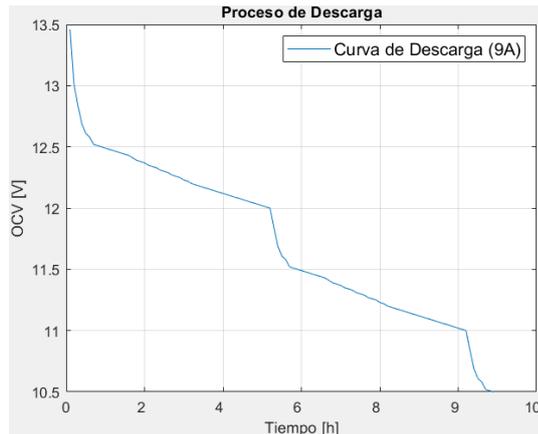


Figura 5.2. Proceso de descarga de la batería (Escenario 1)

5.1.3. Curva de descarga (Escenario 2)

En la Figura 5.3 se puede ver el comportamiento de la batería cuando se descarga a una corriente constante de 60A, cuando la batería se encuentra al 100% de carga indica un valor de 13.4 V y cuando está completamente descargada indica un valor del 10,25 V. En el ensayo realizado se pudo verificar que la duración de descarga de la batería dura 37 min con una carga resistiva de 550W.

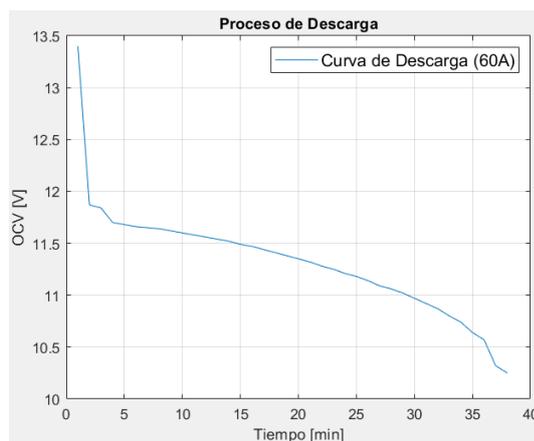


Figura 5.3. Proceso de descarga de la batería (Escenario 2)

5.1.4. Curva de descarga (Escenario 3)

En la Figura 5.4 se puede ver el comportamiento de la batería cuando se descarga a una corriente constante de 65.6A, cuando la batería se encuentra al 100% de carga indica un valor

de 13.45 V y cuando está completamente descargada indica un valor del 10,5 V. En el ensayo realizado se pudo verificar que la duración de descarga de la batería dura 34 min con una carga resistiva de 660W.

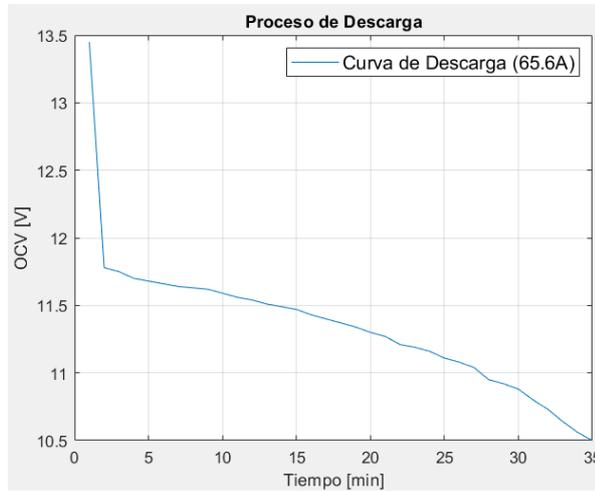


Figura 5.4. Proceso de descarga de la batería (Escenario 3)

5.2. Resultados al aplicar la estrategia del Peak Shaving

En esta sección se trata sobre los resultados del Peak Shaving mediante la integración de sistemas de almacenamiento en la industria. Por lo tanto, se establecen los siguientes casos de estudio:

Caso Base: corresponde al perfil de carga de la industria Prolatd cuando no se integra el sistema de almacenamiento.

Caso 1: corresponde a la reducción del 7% del pico máximo de demanda, con 3 baterías.

Caso 2: corresponde a la reducción del 9% del pico máximo de demanda, con 4 baterías.

Caso 3: corresponde a la reducción del 11% del pico máximo de demanda, con 5 baterías.

Caso 4: corresponde a la reducción del 14% del pico máximo de demanda, con 6 baterías.

Caso 5: corresponde a la reducción del 16% del pico máximo de demanda, con 7 baterías.

5.2.1. Cálculo de la Planilla eléctrica del Caso Base

Con los datos históricos obtenidos de la empresa (caso base), se aplica el cálculo para obtener el costo que el usuario debe cancelar a la empresa distribuidora de energía eléctrica, además se debe tomar en cuenta los cargos que se le aplica al sector industrial esto en base al pliego tarifario, En el anexo se adjunta la hoja de cálculo de Excel.

5.2.1.1. Cálculo por consumo de energía eléctrica Caso Base

En la Tabla 5.2, se indica el tipo de tarifa según la franja horaria para obtener el costo de energía diaria, costo de energía mensual y finalmente el costo de energía anual, para el estudio

se considera los días laborables lunes a viernes (22 días) y sábados a domingos (8 días), de esta manera se cumple los 30 días de un mes calendario.

Tabla 5.2. Cargo por energía según franja horaria Caso Base.

Tipo de tarifa	Franja Horaria	Costo [\$/kWh]	Energía [\$/kWh/día]	Energía [\$/kWh/mes]	Energía [\$/kWh/año]
A	L-V 08h00 hasta 18h00	0,0897	70,15	1543,3	18519,6
B	L-V 18h00 hasta 22h00	0,1037	44,69	983,18	11798,16
C	L-V 22h00 hasta 08h00	0,0501	34,22	752,84	9034,08
D	S,D,F 18h00 hasta 22h00	0,0897	59,56	476,48	5717,76
A	S,D,F 8h00 hasta 18h00	0,0897	101,63	813,04	9756,48
C	S,D,F 22h00 hasta 08h00	0,0501	53,66	429,28	5151,36
TOTAL			363,91	4998,12	59977,44

5.2.1.2. Cálculo por demanda consumo de potencia eléctrica Caso base

Con las fórmulas del pliego tarifario descritas en la sección 3.4.1.2 se puede encontrar el costo por el cargo demanda eléctrica, con dichas ecuaciones se encuentra el factor de corrección de demanda y el factor de gestión de la demanda (FGDI), entonces el FGDI se obtiene con el producto de la demanda máxima mensual (DM) por el factor de corrección de demanda (FCD) y para obtener la demanda facturable se realiza la multiplicación del FGDI por la demanda (USD/kW-mes) según el pliego tarifario es el valor de 4.576 en la Tabla 5.3, se puede visualizar los valores calculados con dichas ecuaciones.

Tabla 5.3. Cargo por demanda L-V

DM	2068
DP	2068
DP/DM	1
FCD	1
FGDI	2068
USD/kW-mes	4,576
Demanda facturable	9463,168

De igual manera que en el caso anterior se calcula la demanda facturable para los días sábados y domingos, en la Tabla 5.4, se pueden ver los resultados por el cargo de demanda para dichos días.

Tabla 5.4. Cargo por demanda S-D

DM	1192
DP	1152
DP/DM	0,96644295
FCD	1
FGDI	1192
USD/kW-mes	4,576
Demanda facturable	5454,592

5.2.1.3. Planilla eléctrica Caso base

En la Tabla 5.5, se obtiene el valor de la planilla eléctrica con los principales cargos (demanda, energía y comercialización) para este tipo de usuario, según los datos obtenidos la empresa paga más por el cargo de demanda con un valor de \$ 13453,44 al mes.

Tabla 5.5. Planilla eléctrica Industria Prolatd

Valor de C. Energía L-V	3279,28
Valor de C. Energía S-D	1718,78
Demanda Facturable L-V	9463,17
Demanda Facturable S-D	5454,592
Comercialización	1,414
VALOR TOTAL (USD)	19917,24

En los siguientes apartados se describen detalladamente los casos 1 y 5, los demás casos son descritos al detalle en los Anexos.

5.3. Cálculo de planilla eléctrica con el sistema de almacenamiento Caso 1

Para poder calcular el pago por demanda máxima cuando se tiene un banco de baterías para reducir el pico máximo de demanda al 7%, se procede a realizar el cálculo de la planilla tal como se indicó en la sección 5.2.1, además en el caso base tiene una demanda máxima horaria de 94kW.

5.3.1. Valores para la estrategia del Peak Shaving Caso 1

En la Tabla 5.6, se identifica los valores para la estrategia del Peak Shaving, en la empresa denominado (caso de estudio), con dichos valores se puede realizar la reducción del pico máximo de la demanda original, además de reducir los costos en la planilla eléctrica.

Tabla 5.6. Valores para el sistema de almacenamiento para el Peak Shaving

Reducción de Pico [kW]	6,58
Pico. Máx. [kW]	94
Pico. Deseado [kW]	87,42
C. Inversor [kW]	7
C. Batería [kW]	6,58

5.3.2. Parámetros de la batería seleccionada para el Caso 1

Una vez calculados los parámetros anteriores se tiene la Tabla 5.7, donde se resumen todos los parámetros necesarios para la estrategia del Peak Shaving, los parámetros de potencia de carga/descarga, cuando se carga 1h, se obtiene mediante los datos técnicos que proporciona el fabricante y la potencia de carga/descarga se obtiene con el voltaje de carga/descarga respectivamente teniendo en cuenta el tiempo de 0.67h. Las tablas con la estrategia del Peak Shaving.

Tabla 5.7. Parámetros del sistema de almacenamiento Caso1

Parámetros de la batería		
C. Batería	50	Ah
Energía útil	9,6	kWh
DOD%	100	%
Icarga/descarga	30	A
Voltaje Descarga	219	V
Voltaje Carga	192	V
PCarga 1h	5,76	kW
PDescarga 1h	6,57	kW
Tiempo carga/descarga	1,67	h
PCarga 0,67h	3,84	kW
PDescarga 0,67h	4,38	kW

5.3.3. Cálculo por consumo de energía eléctrica Caso 1

En la Tabla 5.8, se indica el tipo de tarifa según la franja horaria para obtener el costo de energía diaria, costo de energía mensual y finalmente el costo de energía anual del Caso 1, para el estudio se considera los días laborables lunes a viernes y sábados a domingos.

Tabla 5.8. Cálculo de energía para el Caso 1

Tipo de tarifa	Franja Horaria	Costo [\$/kWh]	Energía [\$/kWh/día]	Energía [\$/kWh/mes]	Energía [\$/kWh/año]
A	L-V 08h00 hasta 18h00	0,0897	70,15	1543,3	18519,6
B	L-V 18h00 hasta 22h00	0,1037	43,56	958,32	11499,84
C	L-V 22h00 hasta 08h00	0,0501	34,70	763,4	9160,80
D	S,D,F 18h00 hasta 22h00	0,0897	59,56	476,48	5717,76
A	S,D,F 8h00 hasta 18h00	0,0897	100,65	805,2	9662,4
C	S,D,F 22h00 hasta 08h00	0,0501	48,78	390,24	4682,88
TOTAL			357,4	4936,94	59243,28

5.3.4. Cálculo por cargo de demanda con sistema de almacenamiento Caso 1

De igual forma que en el la sección 5.2.1.2, se recalcula el cargo por demanda cuando se tiene un sistema de almacenamiento en la Tabla 5.9, se tiene los nuevos valores por el cargo de demanda de lunes a viernes.

Tabla 5.9. Cargo por demanda con sistema de almacenamiento L-V Caso 1

DM	2068
DP	1971,64
DP/DM	0,953404255
FCD	1
FGDI	2068
USD/kW-mes	4,576
Demanda facturable	9463,168

De igual manera que en el caso anterior se recalcula la demanda facturable para los días sábados y domingos cuando se tiene un sistema de almacenamiento, en la Tabla 5.10, se pueden ver los resultados por el cargo de demanda para dichos días.

Tabla 5.10. Cargo por demanda con sistema de almacenamiento S-D Caso 1

DM	1152
DP	1152
DP/DM	1
FCD	1
FGDI	1152
USD/kW-mes	4,576
Demanda facturable	5271,552

5.3.5. Planilla eléctrica con sistema de almacenamiento Caso 1

Una vez que se ha calculado lo mencionado anteriormente se obtiene la planilla eléctrica de la empresa (caso de estudio) cuando se reduce el pico máximo al 7%, los valores encontrados son de los días lunes a viernes y de sábados a domingos de un mes calendario, como se muestra en la Tabla 5.15.

Tabla 5.11. Planilla eléctrica con sistema de almacenamiento

Tarifa	Caso Base	Caso 1	Ahorro \$/mes	Ahorro %
Valor de C. Energía L-V	3279,28	3264,88	14,4	0,44%
Valor de C. Energía S-D	1718,78	1714,77	4,01	0,23%
Demanda Facturable L-V	9463,17	9463,168	0,002	0,00%
Demanda Facturable S-D	5454,592	5271,552	183,04	3,36%
Comercialización	1,414	1,414	0	0,00%
VALOR TOTAL (USD)	19917,24	19715,79	201,45	1,01%

De acuerdo a lo observado en la Tabla 5.11 se puede indicar que el ahorro por energía es de 0,67% con respecto al caso base, mientras el ahorro por demanda es de 3,36%

5.3.6. Gráfica del Peak Shaving con almacenamiento Caso 1

Los valores encontrados se pueden agregar al nuevo perfil de consumo en donde se considera el recorte de picos máximos de demanda mediante el sistema de almacenamiento de energía, en la Figura 5.5, se observa que en las horas valle es donde se carga la batería para luego descargar la energía almacenada en las horas pico, en dicha figura se muestra la reducción del pico para los días lunes-viernes y sábados-domingos.

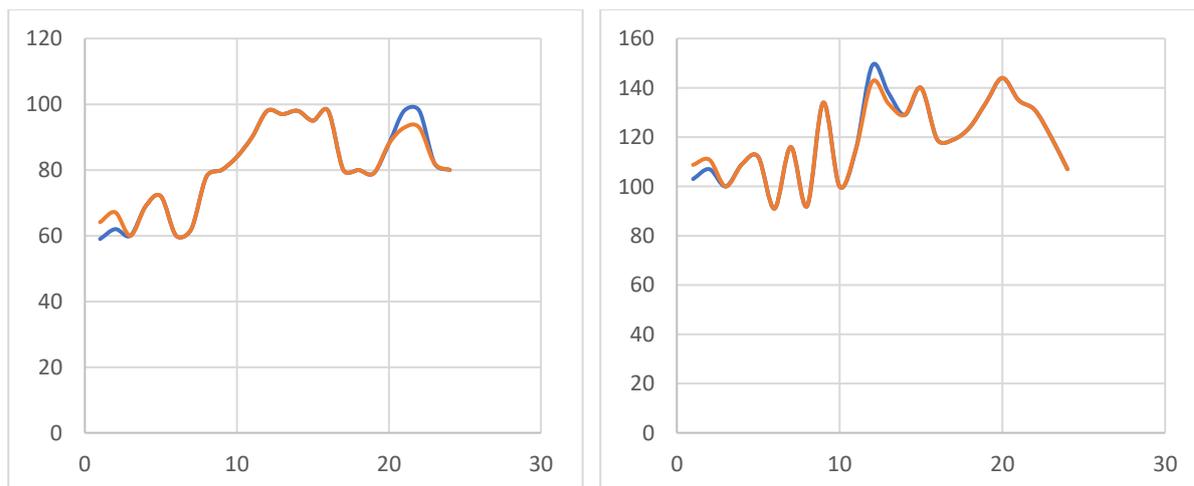


Figura 5.5. Reducción del pico máximo para L-V y S-D Caso 1

5.3.7. Ahorro con sistema de almacenamiento Caso 1 por cargo de energía

El costo por cargar y descargar el sistema de almacenamiento para el Caso 1 de lunes a viernes y de sábados a domingos diario se encuentran en la Tabla 5.12 con el nombre Costo de Carga [\$] y Costo de Descarga [\$] para dicho periodo de tiempo, además con el costo diario se puede encontrar el ahorro diario, mensual y anual de un año calendario, dichos valores sirven para el análisis financiero.

Tabla 5.12. Análisis de costos por cargar y descargar los módulos de baterías Caso 1

TARIFA	Costo de Carga [\$]	Costo de Descarga [\$]
L-V	0,48	1,13
S-D	0,48	0,98

En la Tabla 5.13 se puede observar el ahorro diario, mensual y anual por el cargo de energía cuando se integra un sistema de almacenamiento para la reducción de los picos máximos de demanda eléctrica, este ahorro es para el Caso 1.

Tabla 5.13. Ahorro por el cargo de energía al utilizar módulos de baterías Caso 1

TARIFA	Ahorro DIARIO	Ahorro MENSUAL	Ahorro ANUAL
L-V [\$]	0,65	14,40	172,80
S-D [\$]	0,50	4,01	48,12
TOTAL	1,15	18,41	220,92

5.3.8. Ahorro con sistema de almacenamiento Caso 1 por cargo de demanda

En esta sección se obtiene el ahorro por cargo de demanda en donde se puede ver en la Tabla 5.14, la diferencia del caso base y el caso 1 es el ahorro por el cargo de demanda donde los fines de semana es donde se reduce el costo por demanda máxima debido a que dicha empresa consume más energía dichos días.

Tabla 5.14. Ahorro por el cargo de demanda al utilizar módulos de baterías Caso 1

DESCRIPCIÓN	CASO BASE/mes	CASO 1/mes	AHORRO POR DEMANDA	% AHORRO
Demanda Facturable L-V	9463,16	9463,16	0	0
Demanda Facturable S-D	5454,59	5271,55	183,04	3,35
TOTAL [\$]	14917,75	14734,71	183,04	1.24

5.3.9. Costos totales de la planilla eléctrica con sistema de almacenamiento Caso 1

La Tabla 5.15 indica los valores cuando se tiene un sistema de almacenamiento, en donde el valor por consumo de energía de L-V es \$ 3264,88 con un ahorro mensual de 0,43%, para el valor de consumo de energía de S-D es \$ 1714,77 con un ahorro mensual de 0,23%, para el cargo por demanda para los días L-V se tiene 0% y finalmente los días S-D es donde se ve reflejado el mayor ahorro mensual con un 3,35%, una vez obtenido estos valores son sumados para obtener el ahorro mensual de \$ 201,45 y el ahorro anual es de \$ 2417,403 dicho valor es necesario para el cálculo del VAN y del TIR.

Tabla 5.15. Planilla eléctrica con sistema de almacenamiento Caso 1

PLANILLA ELECTRICA CON ALMACENAMIENTO	
DESCRIPCIÓN	CANT.
Valor de C. Energía L-V	3264,88
Valor de C. Energía S-D	1714,77
Demanda Facturable L-V	9463,168
Demanda Facturable S-D	5271,552
Comercialización	1,414
VALOR TOTAL (USD)	19715,79

5.3.10. Costos de inversión para la evaluación económica Caso 1

En la siguiente Tabla 5.16, se indica los precios estimados para la implementación del proyecto, además este valor de inversión será de gran ayuda para calcular el valor actual neto para el análisis económico y rentabilidad del proyecto.

Tabla 5.16. Inversión inicial Caso 1

Descripción	Cantidad	P. Unitario \$	P. Total \$
Batería kW	3	2321.17	6963.51
Inversor 7 kW	1	2493.15	2493.15
Costo de O/M	1	446.29	446.29
Mano de Obra	1	2500	2500
Otros gastos	1	500	500
Total			12456.66

5.3.11. Beneficio y viabilidad del proyecto Caso 1

Se considera al VAN y al TIR como indicadores para saber si es viable o no invertir en un proyecto de esta magnitud, el VAN se calcula mediante valores monetarios, mientras que el TIR indica el resultado en forma de porcentaje.

Para considerar el cálculo del VAN se debe tener flujos de ingresos, egresos y caja neta anual del caso de estudio, por análisis de mercado se puede obtener los costos de inversión. Se ha determinado una tasa de descuento del 7,99% según el banco central del Ecuador para este tipo de proyectos y se prevén costos de mantenimiento anuales de 100 dólares. No obstante, es necesario considerar el gasto asociado al inversor y al sistema de almacenamiento, los cuales se proyectan que mantendrán la sustitución cada quince años. Este examen se realiza en un periodo de veinticinco años para llevar a cabo la evaluación financiera. Una vez transcurrido este tiempo, se espera que la eficiencia de los equipos comience a disminuir. De esta manera la tabla es para la reducción de pico al 7% con 3 módulos de baterías a la que se aplica el VAN y el TIR es la siguiente Tabla 5.17.

Tabla 5.17. Evaluación económica del sistema de almacenamiento

3 módulos de baterías			Potencia máxima de descarga		6,57kW	
Tasa de descuento			7.99%			
Periodo en Años	Costo inicial de inversión (C0):	Ahorro anual de electricidad:	Costos de O/M anuales:	Caja netos anuales (Rt)	$(1+k)^j$	$Rt/(1+k)^j$
				-12457		
AÑO 1	12457	2417,40	446,29	1971	1,08	1825,27
AÑO 2		2417,40	446,29	1971	1,17	1690,22
AÑO 3		2417,40	446,29	1971	1,26	1565,16
AÑO 4		2417,40	446,29	1971	1,36	1449,36
AÑO 5		2417,40	446,29	1971	1,47	1342,12
AÑO 6		2417,40	446,29	1971	1,59	1242,82
AÑO 7		2417,40	446,29	1971	1,71	1150,87
AÑO 8		2417,40	446,29	1971	1,85	1065,72
AÑO 9		2417,40	446,29	1971	2,00	986,87
AÑO 10		2417,40	446,29	1971	2,16	913,85
AÑO 11		2417,40	446,29	1971	2,33	846,24
AÑO 12		2417,40	446,29	1971	2,52	783,62
AÑO 13		2417,40	446,29	1971	2,72	725,65
AÑO 14		2417,40	446,29	1971	2,93	671,96
AÑO 15		-7039,26	446,29	-7486	3,17	-2363,04
AÑO 16		2417,40	446,29	1971	3,42	576,20
AÑO 17		2417,40	446,29	1971	3,69	533,57
AÑO 18		2417,40	446,29	1971	3,99	494,09

AÑO 19		2417,40	446,29	1971	4,31	457,53
AÑO 20		2417,40	446,29	1971	4,65	423,68
AÑO 21		2417,40	446,29	1971	5,02	392,33
AÑO 22		2417,40	446,29	1971	5,43	363,31
AÑO 23		2417,40	446,29	1971	5,86	336,43
AÑO 24		2417,40	446,29	1971	6,33	311,53
AÑO 25		2417,40	446,29	1971	6,83	288,48
					VAN	5617,19
					TIR	14%

5.4. Cálculo de planilla con el sistema de almacenamiento Caso 5

Para poder calcular el pago por demanda máxima cuando se tiene un banco de baterías para reducir el pico máximo de demanda al 16%, se procede a realizar el cálculo de la planilla tal como se indicó en la sección 5.2.1, además en el caso base una demanda máxima de 94kW.

5.4.1. Valores para la estrategia del Peak Shaving Caso 5

En la Tabla 5.18 se identifica los valores para la estrategia del Peak Shaving, en la empresa denominado (caso de estudio), con dichos valores se puede realizar la reducción del pico máximo de la demanda original, además de reducir los costos en la planilla eléctrica.

Tabla 5.18. Valores para el sistema de almacenamiento para el Peak Shaving

Reducción de Pico [kW]	15,04
Pico. Máx. [kW]	94
Pico. Deseado [kW]	78,96
C. Inversor [kW]	15
C. Batería [kW]	15,33

5.4.2. Parámetros de la batería seleccionada para el Caso 5

Una vez calculados los parámetros anteriores se tiene una Tabla 5.19 donde se resumen todos los parámetros necesarios para la estrategia del Peak Shaving, los parámetros de potencia de carga/descarga, cuando se carga 1h, se obtiene mediante los datos técnicos que proporciona el fabricante y la potencia de carga/descarga se obtiene con el voltaje de carga/descarga respectivamente teniendo en cuenta el tiempo de 0.67h. Las tablas con la estrategia del Peak Shaving.

Tabla 5.19. Parámetros del sistema de almacenamiento

Parámetros de la batería		
C. Batería	50	Ah
Energía útil	22,4	kWh
DOD%	100	%
Icarga/descarga	30	A
Voltaje Descarga	511	V
Voltaje Carga	448	V

PCarga 1h	13,44	kW
PDescarga 1h	15,33	kW
Tiempo carga/descarga	1,67	h
PCarga 0,67h	8,96	kW
PDescarga 0,67h	10,22	kW

5.4.3. Cálculo por consumo de energía eléctrica Caso 5

En la Tabla 5.20, se indica el tipo de tarifa según la franja horaria para obtener el costo de energía diaria, costo de energía mensual y finalmente el costo de energía anual del Caso 5, para el estudio se considera los días laborables lunes a viernes y sábados a domingos.

Tabla 5.20. Cálculo de energía para el Caso 5

Tipo de tarifa	Franja Horaria	Costo [\$/kWh]	Energía [\$/kWh/día]	Energía [\$/kWh/mes]	Energía [\$/kWh/año]
A	L-V 08h00 hasta 18h00	0,0897	70,15	1543,3	18519,6
B	L-V 18h00 hasta 22h00	0,1037	42,05	925,1	11101,20
C	L-V 22h00 hasta 08h00	0,0501	35,34	777,48	9329,76
D	S,D,F 18h00 hasta 22h00	0,0897	59,56	476,48	5717,76
A	S,D,F 8h00 hasta 18h00	0,0897	99,34	794,72	9536,64
C	S,D,F 22h00 hasta 08h00	0,0501	54,78	438,24	5258,88
TOTAL			361,22	4955,32	59463,84

5.4.4. Cálculo por cargo de demanda con sistema de almacenamiento Caso 5

De igual forma que en el la sección 5.2.1.2, se recalcula el cargo por demanda cuando se tiene un sistema de almacenamiento en la Tabla 5.21 se tiene los nuevos valores por el cargo de demanda de lunes a viernes.

Tabla 5.21. Cargo por demanda con sistema de almacenamiento L-V Caso 5

DM	2068
DP	1870
DP/DM	0,90
FCD	1
FGDI	2068
USD/kW-mes	4,57
Demanda facturable	9463,16

De igual manera que en el caso anterior se recalcula la demanda facturable para los días sábados y domingos cuando se tiene un sistema de almacenamiento para el Caso 5, en la Tabla 5.22, se pueden ver los resultados por el cargo de demanda para dichos días.

Tabla 5.22. Cargo por demanda con sistema de almacenamiento S-D Caso 2

DM	1152
DP	1152
DP/DM	1
FCD	1

FGDI	1152
USD/kW-mes	4,576
Demanda facturable	5271,552

5.4.5. Análisis del Peak Shaving Caso 5

Los valores encontrados se pueden agregar al nuevo perfil de consumo en donde se considera el recorte de picos máximos de demanda mediante el sistema de almacenamiento de energía, en la Figura 5.6, se observa que en las horas valle es donde se carga la batería para luego descargar la energía almacenada en las horas pico, en dicha figura se muestra la reducción del pico para los días lunes-viernes y sábados-domingos.

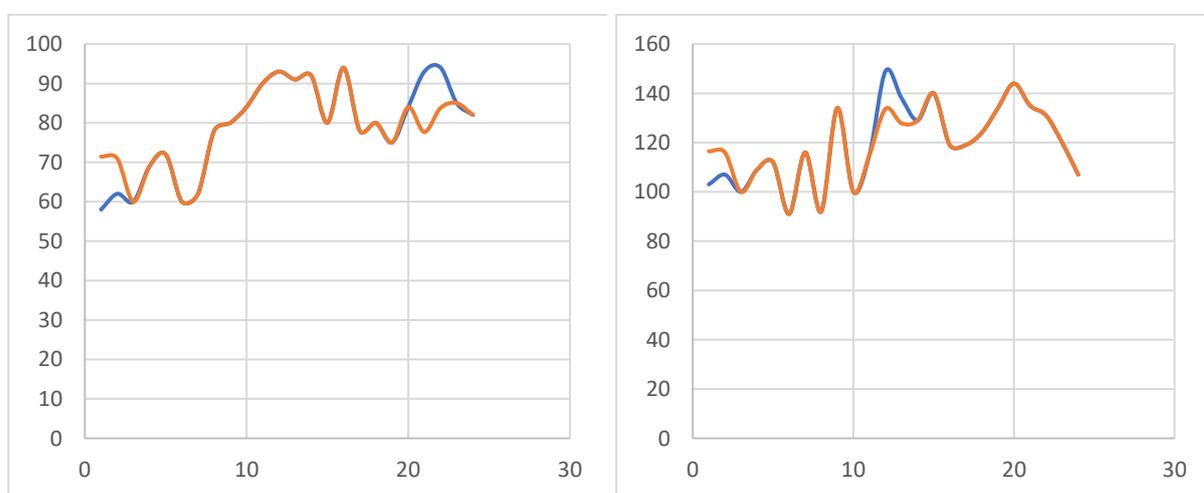


Figura 5.6 Reducción del pico máximo de L-V y S-D Caso 5

5.4.6. Ahorro con sistema de almacenamiento Caso 5 por cargo de energía

El costo por cargar y descargar el sistema de almacenamiento para el Caso 5 de lunes a viernes y de sábados a domingos diario se encuentran en la Tabla 5.23 con el nombre Costo de Carga [\$] y Costo de Descarga [\$] para dicho periodo de tiempo, además con el costo diario se puede encontrar el ahorro diario, mensual y anual de un año calendario dichos valores sirven para el análisis financiero.

Tabla 5.23. Análisis de costos por cargar y descargar los módulos de baterías Caso 5

TARIFA	Costo de Carga [\$]	Costo de Descarga [\$]
L-V	1,12	2,64
S-D	1,12	2,29

En la Tabla 5.24 se puede observar el ahorro diario, mensual y anual por el cargo de energía cuando se integra un sistema de almacenamiento para la reducción de los picos máximos de demanda eléctrica este ahorro es para el Caso 5.

Tabla 5.24. Ahorro por el cargo de energía al utilizar módulos de baterías Caso 5

TARIFA	A. DIARIO	A. MENSUAL	A. ANUAL
AHORRO Diario L-V [\$]	1,52	33,60	403,20
AHORRO Diario S-D [\$]	1,16	9,35	112,28
TOTAL	2,68	42,95	515,48

5.4.7. Ahorro con sistema de almacenamiento Caso 5 por cargo de demanda

En esta sección se obtiene el ahorro por cargo de demanda en donde se puede ver en la Tabla 25, la diferencia del caso base y el caso 5, es el ahorro por el cargo de demanda donde los fines de semana es donde se reduce el costo por demanda máxima debido a que dicha empresa consume más energía dichos días, a diferencia del caso anterior se tiene el mismo ahorro debido a que el factor de corrección de demanda se mantiene en 1 según el pliego tarifario.

Tabla 5.25. Ahorro por el cargo de demanda al utilizar módulos de baterías Caso 5

DESCRIPCIÓN	CASO BASE/mes	CASO 5/mes	AHORRO POR DEMANDA
Demanda Facturable L-V	9463,16	9463,16	0
Demanda Facturable S-D	5454,59	5271,55	183,04
TOTAL [\$]	14917,75	14734,71	183,04

5.4.8. Costos totales de la planilla eléctrica con sistema de almacenamiento Caso 5

La Tabla 5.26 indica los valores cuando se tiene un sistema de almacenamiento, en donde el valor por consumo de energía de L-V es \$ 3279,28, para el valor de consumo de energía de S-D es \$ 1718,78, para el cargo por demanda para los días L-V se tiene 0% y finalmente los días S-D es donde se ve reflejado el mayor ahorro mensual con un 3,35%, una vez obtenido estos valores son sumados para obtener el ahorro mensual de \$ 225,9 y el ahorro anual es de \$ 2710,8 dicho valor es necesario para el cálculo del VAN y del TIR.

Tabla 5.26. Planilla eléctrica con sistema de almacenamiento Caso 5

Tarifa	Caso Base	Caso 5	Ahorro \$/mes	Ahorro %
Valor de C. Energía L-V	3279,28	3245,68	33,6	1,02%
Valor de C. Energía S-D	1718,78	1709,43	9,35	0,54%
Demanda Facturable L-V	9463,17	9463,16	0,01	0,00%
Demanda Facturable S-D	5454,592	5271,55	183,042	3,36%
Comercialización	1,414	1,414	0	0,00%
VALOR TOTAL (USD)	19917,24	19691,25	225,99	1,13%

De acuerdo a lo observado en la Tabla 5.26 se puede indicar que el ahorro por energía es de 1,57% con respecto al caso base, mientras el ahorro por demanda es de 3,36%

5.4.9. Costos de inversión para la evaluación económica Caso 5

En la siguiente Tabla 5.27, se indica los precios estimados para la implementación del proyecto, además este valor de inversión será de gran ayuda para calcular el valor actual neto para el análisis económico y rentabilidad del proyecto.

Tabla 5.27. Inversión inicial Caso 5

Descripción	Cantidad	P. Unitario \$	P. Total \$
Batería 15,33 kW	7	2321.17	16248,19
Inversor 15 kW	1	3591,61	3591,61
Costo de O/M	1	446,29	446,29
Mano de Obra	1	2500	2500
Otros gastos	1	500	500
Total			22838,8

5.4.10. Beneficio y viabilidad del proyecto Caso 5

Se considera al VAN y al TIR como indicadores para saber si es viable o no invertir en un proyecto de esta magnitud, el VAN se calcula mediante valores monetarios, mientras que el TIR indica el resultado en forma de porcentaje.

Para considerar el cálculo del VAN se debe tener flujos de ingresos, egresos y caja neta anual del caso de estudio, por análisis de mercado se puede obtener los costos de inversión. Se ha determinado una tasa de descuento del 7,99% según el banco central del Ecuador para este tipo de proyectos y se prevén costos de mantenimiento anuales de 100 dólares. No obstante, es necesario considerar el gasto asociado al inversor y al sistema de almacenamiento, los cuales se proyectan que mantendrán la sustitución cada quince años. Este minucioso análisis se realiza en un periodo de veinticinco años para llevar a cabo la evaluación financiera. Una vez transcurrido este tiempo, se espera que la eficiencia de los equipos comience a disminuir. De esta manera la tabla es para la reducción de pico al 16% con 7 módulos de baterías a la que se aplica el VAN y el TIR es la siguiente Tabla 5.28.

Tabla 5.28. Evaluación económica del sistema de almacenamiento Caso 5

7 módulos de baterías			Potencia máxima de descarga		15,33 kW	
Tasa de descuento			7.99%			
Periodo en Años	Costo inicial de inversión (C0):	Ahorro anual de electricidad:	Costos de O/M anuales:	Caja netos anuales (Rt)	$(1+k)^j$	$Rt/(1+k)^j$
				-22840		
AÑO 1	22840	2711,97	446,29	2266	1,08	2098,05
AÑO 2		2711,97	446,29	2266	1,17	1942,81
AÑO 3		2711,97	446,29	2266	1,26	1799,07
AÑO 4		2711,97	446,29	2266	1,36	1665,96

AÑO 5		2711,97	446,29	2266	1,47	1542,70
AÑO 6		2711,97	446,29	2266	1,59	1428,56
AÑO 7		2711,97	446,29	2266	1,71	1322,86
AÑO 8		2711,97	446,29	2266	1,85	1224,98
AÑO 9		2711,97	446,29	2266	2,00	1134,35
AÑO 10		2711,97	446,29	2266	2,16	1050,42
AÑO 11		2711,97	446,29	2266	2,33	972,70
AÑO 12		2711,97	446,29	2266	2,52	900,73
AÑO 13		2711,97	446,29	2266	2,72	834,09
AÑO 14		2711,97	446,29	2266	2,93	772,38
AÑO 15		-17127,83	446,29	-17574	3,17	-5547,80
AÑO 16		2711,97	446,29	2266	3,42	662,31
AÑO 17		2711,97	446,29	2266	3,69	613,31
AÑO 18		2711,97	446,29	2266	3,99	567,93
AÑO 19		2711,97	446,29	2266	4,31	525,91
AÑO 20		2711,97	446,29	2266	4,65	487,00
AÑO 21		2711,97	446,29	2266	5,02	450,97
AÑO 22		2711,97	446,29	2266	5,43	417,60
AÑO 23		2711,97	446,29	2266	5,86	386,70
AÑO 24		2711,97	446,29	2266	6,33	358,09
AÑO 25		2711,97	446,29	2266	6,83	331,60
VAN						-4896,538
TIR						5%

5.5. Resumen de valores obtenidos por el VAN y el TIR

Mediante el análisis del VAN y el TIR se tiene la Tabla 5.29 resumen donde indica los valores y porcentajes para cada módulo de baterías, donde el caso más beneficioso es cuando se tiene un módulo de tres baterías indicando un valor de \$5617,19 para el VAN y para el TIR un valor de 14%, todo esto evaluado en un periodo de 25 años, además en el año 15 se planea cambiar los equipos debido al deterioro del mismo el proyecto es rentable debido a la poca inversión, entre más inversión se tiene un periodo de tiempo más lejano para el retorno del dinero.

Tabla 5.29. Resumen del análisis del VAN y el TIR

% Red. Pico	Módulos	VAN	TIR
Caso 1	3	5617,19397	14%
Caso 2	4	1473,0267	9%
Caso 3	5	652,383606	9%
Caso 4	6	-2629,3834	6%
Caso 5	7	-4896,53757	5%

5.5.1. Resumen del ahorro mensual considerando todos los casos

En la Tabla 5.30 se pueden observar los costos mensuales para todos los casos de estudio, donde se presentan los tres principales cargos para facturar al sector industrial.

Tabla 5.30. Resumen del ahorro mensual para todos los casos de estudio

AHORRO MENSUAL						
DESCRIPCIÓN	Valor de C. Energía L-V	Valor de C. Energía S-D	Demanda Facturable L-V	Demanda Facturable S-D	Comercialización	Total
Caso Base	3279,28	1718,78	9463,17	5454,59	1,41	19917,24
Caso 1	3264,88	1714,77	9463,17	5271,55	1,41	19715,79
Ahorro Caso1	14,40	4,01	0,00	183,04	0,00	201,45
Caso 2	3260,08	1713,44	9463,17	5271,55	1,41	19709,66
Ahorro Caso2	19,20	5,35	0,00	183,04	0,00	207,59
Caso 3	3255,28	1712,10	9463,17	5271,55	1,41	19703,52
Ahorro Caso3	24,00	6,68	0,00	183,04	0,00	213,72
Caso 4	3250,48	1710,76	9463,17	5271,55	1,41	19697,38
Ahorro Caso4	28,80	8,02	0,00	183,04	0,00	219,86
Caso 5	3245,68	1709,43	9463,17	5271,55	1,41	19691,25
Ahorro Caso5	33,60	9,36	0,00	183,04	0,00	226,00

5.5.2. Resumen del ahorro anual considerando todos los casos

En la Tabla 5.31 se pueden observar los costos anuales para todos los casos de estudio, donde se presentan los tres principales cargos para facturar al sector industrial.

Tabla 5.31. Resumen del ahorro anual para todos los casos de estudio

AHORRO ANUAL						
DESCRIPCIÓN	Valor de C. Energía L-V	Valor de C. Energía S-D	Demanda Facturable L-V	Demanda Facturable S-D	Comercialización	Total
Caso Base	39351,42	20625,41	113558,02	65455,10	16,97	239006,91
Caso 1	39178,62	20577,29	113558,02	63258,62	16,97	236589,51
Ahorro Caso1	172,80	48,12	0,00	2196,48	0,00	2417,40
Caso 2	39121,01	20561,25	113558,02	63258,62	16,97	236515,87
Ahorro Caso2	230,40	64,16	0,00	2196,48	0,00	2491,04
Caso 3	39063,41	20545,21	113558,02	63258,62	16,97	236442,23
Ahorro Caso3	288,00	80,20	0,00	2196,48	0,00	2564,68
Caso 4	39005,81	20529,17	113558,02	63258,62	16,97	236368,59
Ahorro Caso4	345,61	96,24	0,00	2196,48	0,00	2638,33
Caso 5	38948,21	20513,13	113558,02	63258,62	16,97	236294,95
Ahorro Caso5	403,21	112,28	0,00	2196,48	0,00	2711,97

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

Mediante la revisión de la literatura científica y técnica relacionada con los sistemas de almacenamiento, se revela una amplia gama de tecnologías de almacenamiento de energía eléctrica, cada una con sus propias ventajas y desventajas, estos incluyen baterías de ion-litio, baterías de flujo redox y baterías de plomo ácido entre otros, cada tecnología se adapta mejor a diferentes aplicaciones y condiciones específicas.

Al analizar los diferentes escenarios de descarga se observa que la batería responde de manera variada a distintos niveles de potencia y corriente de descarga, como se pudo observar en el escenario 1 donde la potencia es de 110W y la corriente de descarga es de 9A, la batería logró mantenerse durante 9.4 horas de descarga continua, contrastando esto en el escenario 2 con una potencia de 550W y una corriente de descarga de 60A, la batería se descarga en tan solo 37 minutos por lo que se concluyó que su capacidad es limitada en condiciones de alta demanda energética, además en el escenario 3 con 660W de potencia y una corriente de descarga de 65.6A la batería se agota en 34 minutos por lo que tiene una disminución en su duración a medida que aumenta la potencia de descarga y finalmente en lo que respecta al escenario de carga con una corriente constante de carga de 16A la batería requiere un tiempo de carga de 3 horas para alcanzar su capacidad máxima, estos resultados subrayan la importancia de considerar tanto los parámetros eléctricos de carga como los de descarga al evaluar el rendimiento global de la batería.

Este estudio ha revelado que la implementación de sistemas de almacenamiento para reducir los picos máximos de demanda en la industria es una estrategia que no solo tiene fundamentos técnicos, sino que también se presenta como una inversión financieramente atractiva en el que los resultados financieros obtenidos son altamente alentadores siendo así un Valor Actual Neto (VAN) de \$5617.19 a una tasa de descuento del 7,99%, y una Tasa Interna de Retorno (TIR) del 14% por lo que se establece una base sólida para respaldar la inversión en sistemas de almacenamiento como una medida efectiva para reducir los picos máximos de demanda, tomando en cuenta que el ahorro anual proyectado es de \$2417.40 lo que reafirma aún más el potencial del beneficio económico que se puede alcanzar mediante la implementación de esta solución, con esto se comprueba que se reduce la factura eléctrica cuando el cargo máximo por demanda en las horas picos disminuye con el sistema de almacenamiento.

6.2. RECOMENDACIONES

Es fundamental seguir realizando revisiones completas de la literatura científica y técnica relacionada con las baterías y su comportamiento, el avance tecnológico y la comprensión de estos factores clave seguirán siendo esenciales para mejorar la eficiencia y vida útil de las baterías en las industrias.

Se recomienda establecer un equilibrio entre las cargas y descargas de la batería, dado que la batería muestra una duración menor a medida que aumenta la potencia de descarga, con ello puede comprometer y reducir la vida útil de dicho equipo.

Para futuras investigaciones, es recomendable considerar la integración de algoritmos de optimización, los cuales permiten ajustar de manera eficiente las dimensiones de los sistemas de almacenamiento de energía eléctrica en el sector industrial, la aplicación de esta metodología podría dar valores optimizados, debido a que en la presente investigación se excluyeron algunas variables de decisión los cuales podrían aportar valor significativo al estudio.

7. REFERENCIAS

- [1] C. Augusto y M. Mera, «Desarrollo de un prototipo a escala laboratorio de una batería de flujo redox como sistema de almacenamiento de energía eléctrica para alta densidad de potencia», 2016.
- [2] P. R. Ramón A, «Análisis del rendimiento de los acumuladores de energía del sistema fotovoltaico existente en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca», 2015.
- [3] D. T. CORONEL BEJARANO, «MODELO PARA ANÁLISIS DE VIABILIDAD DE ARBITRAJE ENERGÉTICO CON BATERÍAS DE FLUJO DE VANADIO BAJO INCERTIDUMBRE DIEGO TAMATIA CORONEL BEJARANO», San Lorenzo, dic. 2017. Accedido: 3 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.conacyt.gov.py/sites/default/files/Tesis%20BECA32-17.pdf>
- [4] W. A. Alarcón Vanegas y S. Sánchez Jaimes, «Características de baterías para instalaciones de sistemas fotovoltaicos aislados en zonas rurales del departamento de Santander Colombia», oct. 2021, Accedido: 3 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.uts.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8311/FDC%20125%20WA-SS.pdf?sequence=1>
- [5] J. D. Armijos Armijos y C. G. Encarnación Castro, «Análisis de un sistema fotovoltaico residencial acoplado a la red utilizando un convertidor Q-Z con acumuladores de energía», Cuenca, 2018. Accedido: 3 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/16680/1/UPS-CT008079.pdf>
- [6] G. A. Pavón Narváez y J. A. Bucheli Ávila, «Cálculo del rendimiento de baterías en sistemas fotovoltaicos usando criterios de eficiencia energética», *Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito*, vol. 0, 2018.
- [7] P. Díaz Villar, «UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS DE TELECOMUNICACIÓN CONFIABILIDAD DE LOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS AUTÓNOMOS: APLICACIÓN A LA ELECTRIFICACIÓN RURAL TESIS DOCTORAL».
- [8] D. Fuchs, «SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO CON ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA EN CHILE», Santiago de Chile, dic. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.4echile.cl/proyectos/nama/>

- [9] J. D. Ardila Lozano, «Análisis del beneficio económico por arbitraje en Colombia con Sistemas de Almacenamiento de Energía de tipo Baterías», jun. 2019.
- [10] D. Jiménez y X. Proaño, «Diseño de un Sistema de Alumbrado LED a través de Energía Fotovoltaica para Brindar Niveles de Calidad de Iluminación en el Parqueadero N° 1 de la Universidad Técnica de Cotopaxi», *Revista Técnica «energía»*, vol. 16, n.º 2, pp. 158-167, ene. 2020, doi: 10.37116/REVISTAENERGIA.V16.N2.2020.363.
- [11] D. DE Posgrado, S. Chanchay Felix Wilmer, y P. Palacios Gabriel Napoleón Msc, «UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Cherres Coca Ángel Fabricio».
- [12] A. Sebastián y P. Reinoso, «Informe Proyecto de Título de Ingeniero Civil Eléctrico».
- [13] F. M. Medina Catay, «“SISTEMA DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA EN BATERÍA (BESS) Y SU INFLUENCIA EN LA DEMANDA ELÉCTRICA DIARIA DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN SE0062 (HUANCAYO)”», HUANCAYO, 2021. Accedido: 30 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7604/T010_70758672_T%281%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [14] G. V. Mora, «Uso de BESS para apoyar la estabilidad y control de sistemas de potencia». Accedido: 30 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://acrobat.adobe.com/link/review?uri=urn%3Aaaid%3Ascds%3AUS%3A0a4d6034-b0c3-3de4-a677-fcc52f71a2c3>
- [15] S. S. Cepeda Camacho, C. F. Garzón Muñoz, J. E. Guasumba Maila, y D. D. Oramas Proaño, «Descripción de las características de los diferentes tipos de baterías utilizadas en los vehículos eléctricos», abr. 2022.
- [16] «4 factores que afectan la vida útil de la batería de tus UPS - DataGlobal». <https://dataglobal.com.ar/4-factores-que-afectan-la-vida-util-de-la-bateria-de-tus-ups/> (accedido 13 de agosto de 2023).
- [17] E. Bustamante y G. Reibán, «Estudio de factibilidad técnico-económica del diseño e implementación de un banco de baterías para un vehículo híbrido», Cuenca, ago. 2020.
- [18] «5 Factores que afectan la vida útil de sus baterías de tracción para montacargas eléctricos | Coéxito S.A.S». <https://coexito.com.co/5-factores-que-afectan-la-vida-util-de-sus-baterias-de-traccion-para-montacargas-electricos/> (accedido 13 de agosto de 2023).

- [19] C. Peña Ordóñez, «ESTUDIO DE BATERÍAS PARA VEHÍCULOS ELÉCTRICOS.», Madrid, may 2011.
- [20] Asian Development Bank, «Handbook on Battery Energy Storage System», dic. 2018, doi: 10.22617/TCS189791-2.
- [21] M. Del Socorro Gómez Pérez, A. Hernando, y E. Zuluaga, «PLANEAMIENTO DE LA EXPANSIÓN USANDO SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA BESS», 2018.
- [22] M. A. Pariona Curi, «Peak shaving y su influencia en la optimización de los costos de energía en un cliente libre del sector industrial de manufactura», 2022.
- [23] J. C. Castro Cuasapaz, «Estudio de los métodos de reducción de demanda eléctrica en Horas Pico “Peak Shaving” y su factibilidad en Ecuador.», 2017.
- [24] J. Fabricio y O. Girón, «Optimal Load Management Application for Industrial Customers».
- [25] S. Ashok y R. Banerjee, «An optimization mode for industrial load management», *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 16, n.º 4, pp. 879-884, 2001, doi: 10.1109/59.962440.
- [26] S. A. Roosa, S. Doty, y W. C. Turner, «EnErgy ManagEMEnt Handbook ninth Edition».
- [27] Deutsche Gesellschaft für, «Guía para el dimensionamiento de sistemas de almacenamiento de energía con baterías», 2022. [En línea]. Disponible en: www.giz.de/mexico
- [28] ARCERNNR, «PLIEGO TARIFARIO DEL SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA AÑO 2023», 2023.
- [29] A. Fuentes, «Evaluación de Proyectos en Chile», 2005.
- [30] «Cómo calcular la Tasa Interna de Retorno (TIR) | IEP». <https://www.iep-edu.com.co/como-calcular-la-tasa-interna-de-retorno-tir/> (accedido 18 de julio de 2023).
- [31] «Inversor UPS Híbrido POWEST 6 KVA - FASE DIVIDIDA - ZuHause». <https://zuhause.com.ec/producto/inversor-ups-hibrido-powest-6-kva-fase-dividida/> (accedido 11 de agosto de 2023).
- [32] «Biblia MATLAB/SIMULINK|Pase de cero a héroe! | Udemý». <https://www.udemy.com/course/matlab-simulink-biblego-from-zero-to-hero/learn/lecture/10042118#content> (accedido 22 de agosto de 2023).

ANEXOS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 1	Informe Anti-Plagio Proyecto de Titulación
Facultad:	Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas
Carrera:	Ingeniería en Electricidad
Nombre del docente evaluador que emite el informe:	Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso M. Sc.
Documento evaluado:	Proyecto de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico
Autor del documento:	Paredes Paredes Jhony Manuel
Programa de similitud utilizado:	Sistema Compilatio
Porcentaje de similitud según el programa utilizado:	%
Observaciones: Calificación de originalidad atendiendo a los siguientes criterios: <ul style="list-style-type: none">• El documento cumple criterios de originalidad, sin observaciones.• El documento cumple criterios de originalidad, con observaciones.• El documento no cumple criterios de originalidad.	-X- --- ---
Fecha de realización del informe:	8/8/2023 5:15:00 PM
Captura de pantalla del documento analizado:	
<hr/> Tutor del Proyecto de Investigación Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso M. Sc. C.C. 050265642-4	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 2

Datos técnicos del Inversor

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS UPS HÍBRIDA	
Capacidad	1KVA 12V
Especificaciones de Entrada	
Topología de entrada	Monofásica
Voltaje nominal de entrada	120VAc
Cantidad de hilos	3 (Fase +Neutro +GND)
Voltaje permitido por el rectificador	95 -140 vac
Rango de frecuencia de entrada	50Hz o 60Hz (Detección Automática)
Limitación de corriente de entrada	150% sistema inversor y bypass
Conexión	Bornera
Especificaciones de Salida	
Topología de salida	Monofásica
Voltaje nominal de salida	120VAC
Factor de potencia de Salida	0,8
Potencia W	1000VA/800W
Tipo de onda de salida	Senoidal pura
Otros voltajes de salida configurables	110/120VAC
Tiempo de transferencia	10 / 20 ms
Cantidad de hilos	3 (Fase +Neutro+GND)
Regulación de voltaje	<+/-5%
Sobre tensión de energía	2 * Potencia Nominal por 5 Segundos
Frecuencia nominal de salida	50Hz/60Hz
Capacidad de sobrecarga	5s@≥150% de carga; 10s@110%~150% de carga.
Protecciones corto circuito	Modo línea: Fusible Modo Batería: Circuito electrónico
Conexión	Bornera
Eficiencia	Modo Linea 90%
Especificaciones de las Baterías	
Tipo de baterías	VRLA / GS / FT / OPz / GEL
Voltaje DC	12VDC
Especificaciones de Cargador Red	
Corriente	10/20 A
Voltaje de carga flotación	13,5VDC
Protección de sobre voltaje	15,5VDC
Especificaciones de Cargador Solar	
Potencia W	500W
Eficiencia	98%
Max PV VOC	102VDC
Rango de Operación PV MPPT	15-80 VDC
Min Voltaje de Batería para PV cargador	8,5VDC
Especificaciones Cargador Red y Solar	
Max Corriente de carga	60A
Configuración por defecto	40A
Especificaciones Físicas	
Dimensiones (Altura x Ancho x Profundo)	316 * 240 * 95 mm
Peso Neto Kg (Sin Baterías)	5,2 Kg.
Display LCD	Display LCD todos los parámetros Condiciones de la carga, capacidad de la Batería, alarmas visuales y auditivas. Estado de operación del UPS (bypass, Linea, Baterías, Falla)
Conexión de Baterías Externo	Conector bornera
Interface	La UPS puede ser monitoreada por un PC, vía USB
Tarjeta de red	NA
Conexión Paralelo	NA
Software	software Windows XP, Windows , Linux
Gabinete	Tipo pared (indoor) NEMA Tipo 1
Especificaciones Ambientales	
Humedad	5% ~ 95% sin condensación
Temperatura de Operación	0°C - 55°C
Temperatura de almacenamiento	0°C - 55°C



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 3

Datos técnicos de la batería de gel

BATERÍA DE GEL 12V-100AH REF. FLG 121000



Especificaciones



<u>Voltaje Nominal</u>	12V
<u>Capacidad Nominal (20 Hr)</u>	100Ah
<u>Dimensiones</u>	Longitud 330±3mm (13.0 ") Ancho 171±2mm (1.85 ") Altura 216±2mm (3.98 ") Altura Total 219±2mm (4.13 ")
<u>Peso Aproximado</u>	Aprox. 29.5kg (65.04lbs)
<u>Terminal</u>	M8
<u>Material del Envase</u>	ABS UL 94-HB (retardante de llama UL94V-0)
<u>Capacidad estimada</u>	20h/100Ah (5.00A a 10.5V) 10h/93.6Ah (9.36A a 10.5V) 5h/83.0Ah (16.6A a 10.5V)
<u>Máxima Corriente de Descarga</u>	950A(5S)
<u>Resistencia Interna</u>	Carga completa a 25°C: 7.5mΩ
<u>Rango de Temperatura de Operación</u>	Descarga: -40 -60°C(-40- 140°F) Carga: -20 -50°C(-4- 122°F) Almacenamiento: -20 -50°C(-4- 122°F)
<u>Vida útil</u>	15 años
<u>Método de carga (25°C)</u>	Corriente de carga: máx. 19.0A; recomendado 9.50A Carga en flotación: 13,5-13,8 V, recomendado 13,5 V (-18 mV/ °C) Carga de ecualización: 13,8-14,1 V, recomendado 14,1 V (-24 mV/ °C) Ciclo de carga: 14.4-15.0V, recomendado 14.4V(-30mV/ °C)
<u>Auto- descarga</u>	3 % de capacidad reducida por mes a 25°C

Aplicaciones

- Energías renovables.
- Fuente de alimentación ininterrumpida (UPS).
- Sistema de potencia Eléctrica (EPS).
- Energía renovable (solar y eólica).
- Sistemas de poder.
- Sistema de telecomunicaciones.
- Iluminación de emergencia.
- Sistema de control automático.
- Propósito general.

Corriente Constante de Descarga (Amperios) a 25 °C (77 °F)

W/Tiempo	15min	30min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h
1.60W/Celda	167	102	60.2	35.2	25.6	17.2	11.3	9.63	5.07
1.65W/Celda	162	100	59.8	35.0	25.3	17.0	11.2	9.54	5.05
1.70W/Celda	159	98.4	59.4	34.8	24.9	16.8	11.1	9.45	5.02
1.75W/Celda	154	97.5	58.5	34.2	24.7	16.6	11.0	9.36	5.00
1.80W/Celda	143	93.3	57.0	33.6	24.5	16.2	10.9	9.26	4.97
1.85W/Celda	128	85.1	52.8	31.9	23.1	15.4	10.5	8.99	4.89

Potencia Constante de Descarga (Wattios/celda) a 25 °C (77°F)

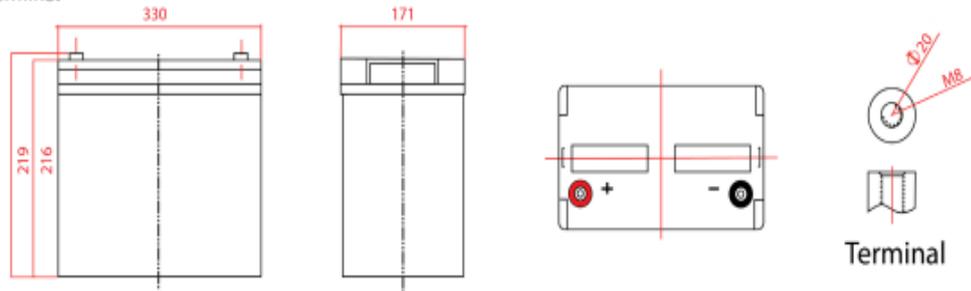
W/Tiempo	15min	30min	1h	2h	3h	5h	8h	10h	20h
1.60W/Celda	390	233	143	81.8	59.7	40.0	26.9	22.4	12.1
1.65W/Celda	383	231	141	81.6	58.9	39.7	26.7	22.2	12.0
1.70W/Celda	379	231	140	81.2	58.6	39.4	26.6	22.0	12.0
1.75W/Celda	376	230	139	80.8	58.3	39.2	26.3	21.7	11.9
1.80W/Celda	356	225	138	80.6	58.1	38.7	26.1	21.5	11.9
1.85W/Celda	318	206	128	76.9	55.2	37.0	25.2	21.2	11.8

BATERIA DE GEL 12V-100AH REF. FLG 121000

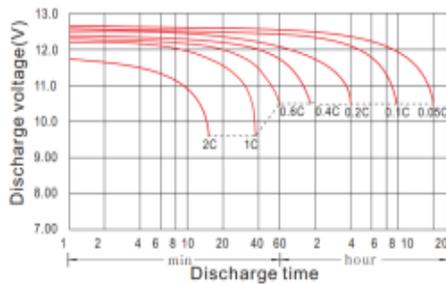


Dimensiones (mm)

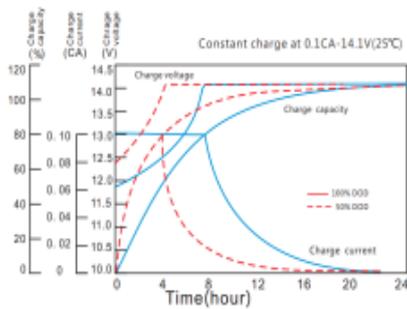
• Terminal



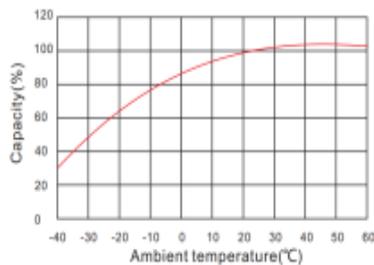
Características de Descarga



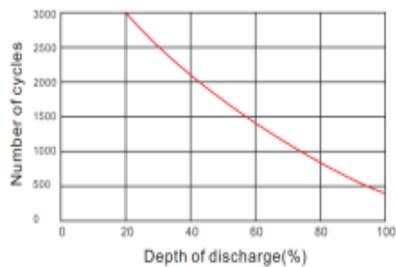
Características de Carga en flotación



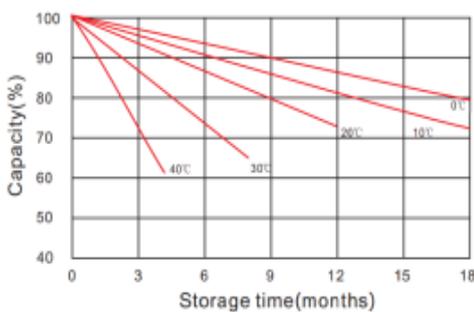
Efectos de la temperatura en relación con la capacidad de la batería



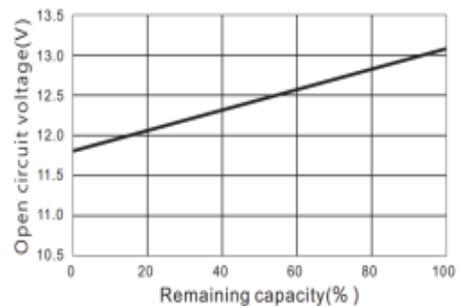
Efecto de la temperatura sobre la vida útil de la batería en flotación



Ciclo de vida en relación a la profundidad de descarga



Curvas de voltaje de circuito abierto vs capacidad





UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y
APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 5

Sistema de almacenamiento ONGRID

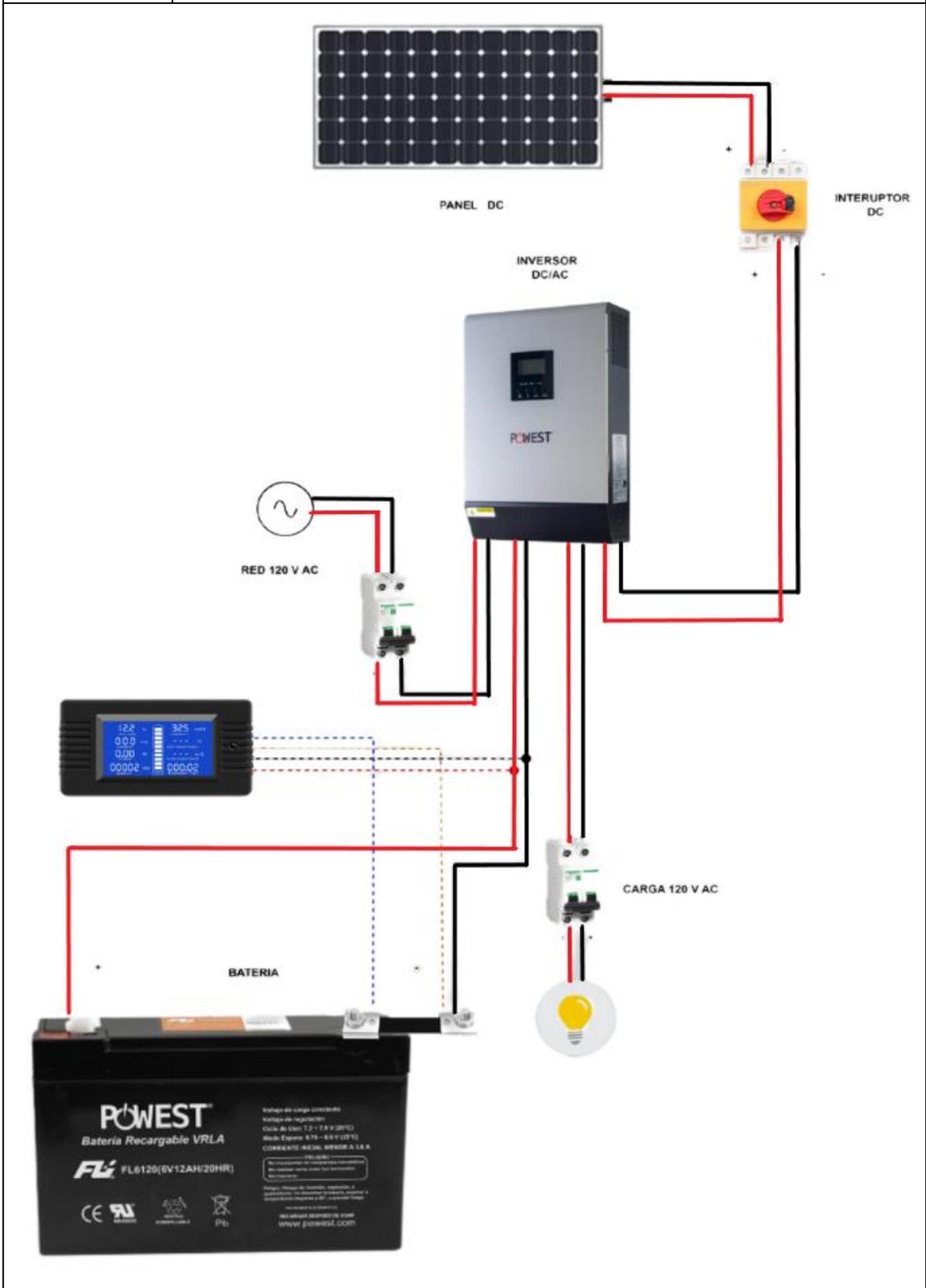
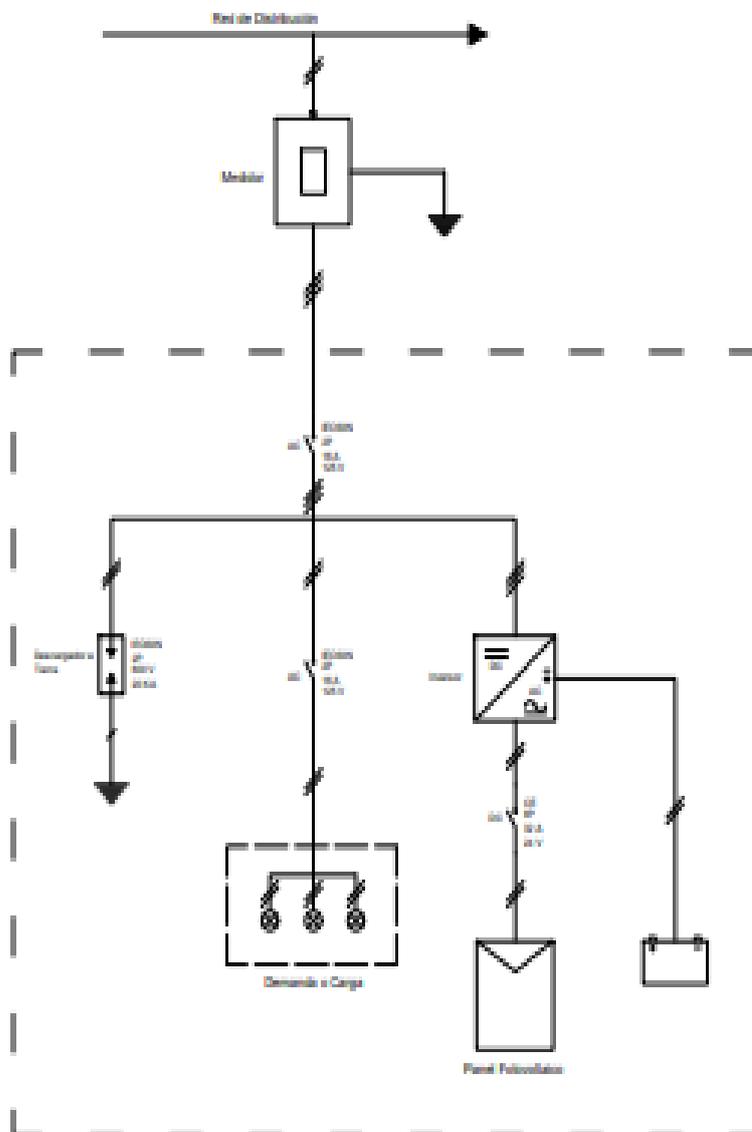


DIAGRAMA UNIFILAR HIBRIDO



SIMBOLOGIA

	Un Conductor
	Dos Conductores
	Tres Conductores
	Puesta a Tierra
	Medidor
	Interruptor en AC (corriente alterna)
	Interruptor en DC (corriente directa)
	Inversor Híbrido
	Descargador a tierra
	Panel fotovoltaico
	Carga o demanda
	Batería de gel
	Ingreso de la Red distribuidora



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
 CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 7

Caso Base L-V

Hora	Demanda [kW/día]	Energía [kWh/día]	Tipo de tarifa	Tarifa [\$/kWh]	Demanda [kW/mes]	C. Energía [\$/día]	C. Energía [\$/mes]	C. Energía [\$/año]
0:00:00	58	58	C	0,0501	1276	2,91	63,93	767,13
1:00:00	62	62			1364	3,11	68,34	820,04
2:00:00	60	60			1320	3,01	66,13	793,58
3:00:00	69	69			1518	3,46	76,05	912,62
4:00:00	72	72			1584	3,61	79,36	952,30
5:00:00	60	60			1320	3,01	66,13	793,58
6:00:00	62	62			1364	3,11	68,34	820,04
7:00:00	78	78			1716	3,91	85,97	1031,66
8:00:00	80	80			1760	4,01	88,18	1058,11
9:00:00	84	84	A	0,0897	1848	7,53	165,77	1989,19
10:00:00	90	90			1980	8,07	177,61	2131,27
11:00:00	93	93			2046	8,34	183,53	2202,31
12:00:00	91	91			2002	8,16	179,58	2154,95
13:00:00	92	92			2024	8,25	181,55	2178,63
14:00:00	80	80			1760	7,18	157,87	1894,46
15:00:00	94	94			2068	8,43	185,50	2226,00
16:00:00	78	78			1716	7,00	153,93	1847,10
17:00:00	80	80			1760	7,18	157,87	1894,46
18:00:00	75	75	B	0,1037	1650	7,78	171,11	2053,26
19:00:00	84	84			1848	8,71	191,64	2299,65
20:00:00	93	93			2046	9,64	212,17	2546,04
21:00:00	94	94			2068	9,75	214,45	2573,42
22:00:00	85	85			1870	8,81	193,92	2327,03
23:00:00	82	82	C	0,0501	1804	4,11	90,38	1084,56
TOTAL	1896				41712	149,06	3279,28	39351,42



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
 CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 8

Caso Base S-D

Hora	Demanda S. [kW/día]	Demanda D. [kW/día]	Demanda S-D [kW/día]	Energía S-D [kWh/día]	Tipo de tarifa	Tarifa [\$/kWh]	Demanda S-D [kW/mes]	C. Energía S-D [\$/día]	C. Energía S-D [\$/mes]	C. Energía S-D [\$/año]
0:00:00	55	48	103	103	C	0,0501	824	5,16	41,28	495,39
1:00:00	65	42	107	107			856	5,36	42,89	514,63
2:00:00	60	40	100	100			800	5,01	40,08	480,96
3:00:00	64	45	109	109			872	5,46	43,69	524,25
4:00:00	72	40	112	112			896	5,61	44,89	538,68
5:00:00	50	41	91	91			728	4,56	36,47	437,67
6:00:00	57	59	116	116			928	5,81	46,49	557,91
7:00:00	42	50	92	92			736	4,61	36,87	442,48
8:00:00	72	62	134	134			1072	6,71	53,71	644,49
9:00:00	50	50	100	100	A	0,0897	800	8,97	71,76	861,12
10:00:00	55	60	115	115			920	10,32	82,52	990,29
11:00:00	70	79	149	149			1192	13,37	106,92	1283,07
12:00:00	64	74	138	138			1104	12,38	99,03	1188,35
13:00:00	50	79	129	129			1032	11,57	92,57	1110,84
14:00:00	57	83	140	140			1120	12,56	100,46	1205,57
15:00:00	50	69	119	119			952	10,67	85,39	1024,73
16:00:00	50	69	119	119			952	10,67	85,39	1024,73
17:00:00	55	69	124	124			992	11,12	88,98	1067,79
18:00:00	60	74	134	134	D	0,0897	1072	12,02	96,16	1153,90
19:00:00	69	75	144	144			1152	12,92	103,33	1240,01
20:00:00	54	81	135	135			1080	12,11	96,88	1162,51
21:00:00	54	77	131	131			1048	11,75	94,01	1128,07
22:00:00	50	70	120	120			960	10,76	86,11	1033,34
23:00:00	52	55	107	107			856	5,36	42,89	514,63
TOTAL	1377	1491	2868				22944	214,85	1718,78	20625,41



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
 CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 9

Caso 1 con almacenamiento L-V

Hora	Demanda [kW/día]	Energía [kWh/día]	Tipo de tarifa	Tarifa [\$/kWh]	P_Carga Batería [kW]	P_Descarga Batería [kW]	Nueva Demanda [kW/día]	Nueva Energía [kWh/día]	Nueva Demanda [kW/mes]	C. Energía [\$/día]	C. Energía [\$/mes]	C. Energía [\$/año]
0:00:00	58	58	C	0,0501	5,76	0	63,76	63,76	1402,72	3,19	70,28	843,32
1:00:00	62	62			3,84	0	65,84	65,84	1448,48	3,30	72,57	870,83
2:00:00	60	60			0	0	60	60	1320	3,01	66,13	793,58
3:00:00	69	69			0	0	69	69	1518	3,46	76,05	912,62
4:00:00	72	72			0	0	72	72	1584	3,61	79,36	952,30
5:00:00	60	60			0	0	60	60	1320	3,01	66,13	793,58
6:00:00	62	62			0	0	62	62	1364	3,11	68,34	820,04
7:00:00	78	78			0	0	78	78	1716	3,91	85,97	1031,66
8:00:00	80	80	0	0	80	80	1760	4,01	88,18	1058,11		
9:00:00	84	84	A	0,0897	0	0	84	84	1848	7,53	165,77	1989,19
10:00:00	90	90			0	0	90	90	1980	8,07	177,61	2131,27
11:00:00	93	93			0	0	93	93	2046	8,34	183,53	2202,31
12:00:00	91	91			0	0	91	91	2002	8,16	179,58	2154,95
13:00:00	92	92			0	0	92	92	2024	8,25	181,55	2178,63
14:00:00	80	80			0	0	80	80	1760	7,18	157,87	1894,46
15:00:00	94	94			0	0	94	94	2068	8,43	185,50	2226,00
16:00:00	78	78			0	0	78	78	1716	7,00	153,93	1847,10
17:00:00	80	80	0	0	80	80	1760	7,18	157,87	1894,46		
18:00:00	75	75	B	0,1037	0	0	75	75	1650	7,78	171,11	2053,26
19:00:00	84	84			0	0	84	84	1848	8,71	191,64	2299,65
20:00:00	93	93			0	6,57	86,43	86,43	1901,46	8,96	197,18	2366,18
21:00:00	94	94			0	4,38	89,62	89,62	1971,64	9,29	204,46	2453,51
22:00:00	85	85	0	0	85	85	1870	8,81	193,92	2327,03		
23:00:00	82	82	C	0,0501	0	0	82	82	1804	4,11	90,38	1084,56
TOTAL	1896						1894,65		41682,3	148,40	3264,88	39178,62



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
 CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 10					Caso 1 con almacenamiento S-D							
Hora	Demanda S-D [kW/día]	Energía S-D [kWh/día]	Tipo de tarifa	Tarifa [\$/kWh]	P_Carga Batería [kW]	P_Descarga Batería [kW]	Nueva Demanda [kW/día]	Nueva Energía [kWh/día]	Nueva Demanda [kW/mes]	C. Energía [\$/día]	C. Energía [\$/mes]	C. Energía [\$/año]
0:00:00	103	103	C	0,0501	5,76	0	108,76	108,76	870,08	5,45	43,59	523,09
1:00:00	107	107			3,84	0	110,84	110,84	886,72	5,55	44,42	533,10
2:00:00	100	100			0	0	100	100	800	5,01	40,08	480,96
3:00:00	109	109			0	0	109	109	872	5,46	43,69	524,25
4:00:00	112	112			0	0	112	112	896	5,61	44,89	538,68
5:00:00	91	91			0	0	91	91	728	4,56	36,47	437,67
6:00:00	116	116			0	0	116	116	928	5,81	46,49	557,91
7:00:00	92	92			0	0	92	92	736	4,61	36,87	442,48
8:00:00	134	134			0	0	134	134	1072	6,71	53,71	644,49
9:00:00	100	100	A	0,0897	0	0	100	100	800	8,97	71,76	861,12
10:00:00	115	115			0	0	115	115	920	10,32	82,52	990,29
11:00:00	149	149			0	6,57	142,43	142,43	1139,44	12,78	102,21	1226,49
12:00:00	138	138			0	4,38	133,62	133,62	1068,96	11,99	95,89	1150,63
13:00:00	129	129			0	0	129	129	1032	11,57	92,57	1110,84
14:00:00	140	140			0	0	140	140	1120	12,56	100,46	1205,57
15:00:00	119	119			0	0	119	119	952	10,67	85,39	1024,73
16:00:00	119	119			0	0	119	119	952	10,67	85,39	1024,73
17:00:00	124	124			0	0	124	124	992	11,12	88,98	1067,79
18:00:00	134	134	D	0,0897	0	0	134	134	1072	12,02	96,16	1153,90
19:00:00	144	144			0	0	144	144	1152	12,92	103,33	1240,01
20:00:00	135	135			0	0	135	135	1080	12,11	96,88	1162,51
21:00:00	131	131			0	0	131	131	1048	11,75	94,01	1128,07
22:00:00	120	120			0	0	120	120	960	10,76	86,11	1033,34
23:00:00	107	107	C	0,0501	0	0	107	107	856	5,36	42,89	514,63
TOTAL	2868						2866,65		22933,2	214,35	1714,77	20577,29



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
 CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 11

Caso 2 con almacenamiento L-V

Hora	Demanda [kW/día]	Energía [kWh/día]	Tipo de tarifa	Tarifa [\$/kWh]	P_Carga Bateria [kW]	P_Descarga Bateria [kW]	Nueva Demanda [kW/día]	Nueva Energía [kWh/día]	Nueva Demanda [kW/mes]	C. Energía [\$/día]	C. Energía [\$/mes]	C. Energía [\$/año]
0:00:00	58	58	C	0,0501	7,68	0	65,68	65,68	1444,96	3,29	72,39	868,71
1:00:00	62	62			5,12	0	67,12	67,12	1476,64	3,36	73,98	887,76
2:00:00	60	60			0	0	60	60	1320	3,01	66,13	793,58
3:00:00	69	69			0	0	69	69	1518	3,46	76,05	912,62
4:00:00	72	72			0	0	72	72	1584	3,61	79,36	952,30
5:00:00	60	60			0	0	60	60	1320	3,01	66,13	793,58
6:00:00	62	62			0	0	62	62	1364	3,11	68,34	820,04
7:00:00	78	78			0	0	78	78	1716	3,91	85,97	1031,66
8:00:00	80	80	0	0	80	80	1760	4,01	88,18	1058,11		
9:00:00	84	84	A	0,0897	0	0	84	84	1848	7,53	165,77	1989,19
10:00:00	90	90			0	0	90	90	1980	8,07	177,61	2131,27
11:00:00	93	93			0	0	93	93	2046	8,34	183,53	2202,31
12:00:00	91	91			0	0	91	91	2002	8,16	179,58	2154,95
13:00:00	92	92			0	0	92	92	2024	8,25	181,55	2178,63
14:00:00	80	80			0	0	80	80	1760	7,18	157,87	1894,46
15:00:00	94	94			0	0	94	94	2068	8,43	185,50	2226,00
16:00:00	78	78			0	0	78	78	1716	7,00	153,93	1847,10
17:00:00	80	80	0	0	80	80	1760	7,18	157,87	1894,46		
18:00:00	75	75	B	0,1037	0	0	75	75	1650	7,78	171,11	2053,26
19:00:00	84	84			0	0	84	84	1848	8,71	191,64	2299,65
20:00:00	93	93			0	8,76	84,24	84,24	1853,28	8,74	192,19	2306,22
21:00:00	94	94			0	5,84	88,16	88,16	1939,52	9,14	201,13	2413,54
22:00:00	85	85	0	0	85	85	1870	8,81	193,92	2327,03		
23:00:00	82	82	C	0,0501	0	0	82	82	1804	4,11	90,38	1084,56
TOTAL	1896						1894,2		41672,4	148,19	3260,08	39121,01



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
 CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 12

Caso 2 con almacenamiento S-D

Hora	Demanda S-D [kW/día]	Energía S-D [kWh/día]	Tipo de tarifa	Tarifa [\$/kWh]	P_Carga Batería [kW]	P_Descarga Batería [kW]	Nueva Demanda [kW/día]	Nueva Energía [kWh/día]	Nueva Demanda [kW/mes]	C. Energía [\$/día]	C. Energía [\$/mes]	C. Energía [\$/año]
0:00:00	103	103	C	0,0501	7,68	0	110,68	110,68	885,44	5,55	44,36	532,33
1:00:00	107	107			5,12	0	112,12	112,12	896,96	5,62	44,94	539,25
2:00:00	100	100			0	0	100	100	800	5,01	40,08	480,96
3:00:00	109	109			0	0	109	109	872	5,46	43,69	524,25
4:00:00	112	112			0	0	112	112	896	5,61	44,89	538,68
5:00:00	91	91			0	0	91	91	728	4,56	36,47	437,67
6:00:00	116	116			0	0	116	116	928	5,81	46,49	557,91
7:00:00	92	92			0	0	92	92	736	4,61	36,87	442,48
8:00:00	134	134			0	0	134	134	1072	6,71	53,71	644,49
9:00:00	100	100	A	0,0897	0	0	100	100	800	8,97	71,76	861,12
10:00:00	115	115			0	0	115	115	920	10,32	82,52	990,29
11:00:00	149	149			0	8,76	140,24	140,24	1121,92	12,58	100,64	1207,63
12:00:00	138	138			0	5,84	132,16	132,16	1057,28	11,85	94,84	1138,06
13:00:00	129	129			0	0	129	129	1032	11,57	92,57	1110,84
14:00:00	140	140			0	0	140	140	1120	12,56	100,46	1205,57
15:00:00	119	119			0	0	119	119	952	10,67	85,39	1024,73
16:00:00	119	119			0	0	119	119	952	10,67	85,39	1024,73
17:00:00	124	124			0	0	124	124	992	11,12	88,98	1067,79
18:00:00	134	134	D	0,0897	0	0	134	134	1072	12,02	96,16	1153,90
19:00:00	144	144			0	0	144	144	1152	12,92	103,33	1240,01
20:00:00	135	135			0	0	135	135	1080	12,11	96,88	1162,51
21:00:00	131	131			0	0	131	131	1048	11,75	94,01	1128,07
22:00:00	120	120			0	0	120	120	960	10,76	86,11	1033,34
23:00:00	107	107	C	0,0501	0	0	107	107	856	5,36	42,89	514,63
TOTAL	2868						2866,2		22929,6	214,18	1713,44	20561,25



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
 CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 13				Caso 3 con almacenamiento L-V								
Hora	Demanda [kW/día]	Energía [kWh/día]	Tipo de tarifa	Tarifa [\$ / kWh]	P_Carga Batería [kW]	P_Descarga Batería [kW]	Nueva Demanda [kW/día]	Nueva Energía [kWh/día]	Nueva Demanda [kW/mes]	C. Energía [\$ / día]	C. Energía [\$ / mes]	C. Energía [\$ / año]
0:00:00	58	58	C	0,0501	9,6	0	67,6	67,6	1487,2	3,39	74,51	894,10
1:00:00	62	62			6,4	0	68,4	68,4	1504,8	3,43	75,39	904,69
2:00:00	60	60			0	0	60	60	1320	3,01	66,13	793,58
3:00:00	69	69			0	0	69	69	1518	3,46	76,05	912,62
4:00:00	72	72			0	0	72	72	1584	3,61	79,36	952,30
5:00:00	60	60			0	0	60	60	1320	3,01	66,13	793,58
6:00:00	62	62			0	0	62	62	1364	3,11	68,34	820,04
7:00:00	78	78			0	0	78	78	1716	3,91	85,97	1031,66
8:00:00	80	80			0	0	80	80	1760	4,01	88,18	1058,11
9:00:00	84	84	A	0,0897	0	0	84	84	1848	7,53	165,77	1989,19
10:00:00	90	90			0	0	90	90	1980	8,07	177,61	2131,27
11:00:00	93	93			0	0	93	93	2046	8,34	183,53	2202,31
12:00:00	91	91			0	0	91	91	2002	8,16	179,58	2154,95
13:00:00	92	92			0	0	92	92	2024	8,25	181,55	2178,63
14:00:00	80	80			0	0	80	80	1760	7,18	157,87	1894,46
15:00:00	94	94			0	0	94	94	2068	8,43	185,50	2226,00
16:00:00	78	78			0	0	78	78	1716	7,00	153,93	1847,10
17:00:00	80	80			0	0	80	80	1760	7,18	157,87	1894,46
18:00:00	75	75	B	0,1037	0	0	75	75	1650	7,78	171,11	2053,26
19:00:00	84	84			0	0	84	84	1848	8,71	191,64	2299,65
20:00:00	93	93			0	10,95	82,05	82,05	1805,1	8,51	187,19	2246,27
21:00:00	94	94			0	7,3	86,7	86,7	1907,4	8,99	197,80	2373,57
22:00:00	85	85	0	0	85	85	1870	8,81	193,92	2327,03		
23:00:00	82	82	C	0,0501	0	0	82	82	1804	4,11	90,38	1084,56
TOTAL	1896						1893,75		41662,5	147,97	3255,28	39063,41



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
 CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 14

Caso 3 con almacenamiento S-D

Hora	Demanda S-D [kW/día]	Energía S-D [kWh/día]	Tipo de tarifa	Tarifa [\$/kWh]	P_Carga Batería [kW]	P_Descarga Batería [kW]	Nueva Demanda [kW/día]	Nueva Energía [kWh/día]	Nueva Demanda [kW/mes]	C. Energía [\$/día]	C. Energía [\$/mes]	C. Energía [\$/año]
0:00:00	103	103	C	0,0501	9,6	0	112,6	112,6	900,8	5,64	45,13	541,56
1:00:00	107	107			6,4	0	113,4	113,4	907,2	5,68	45,45	545,41
2:00:00	100	100			0	0	100	100	800	5,01	40,08	480,96
3:00:00	109	109			0	0	109	109	872	5,46	43,69	524,25
4:00:00	112	112			0	0	112	112	896	5,61	44,89	538,68
5:00:00	91	91			0	0	91	91	728	4,56	36,47	437,67
6:00:00	116	116			0	0	116	116	928	5,81	46,49	557,91
7:00:00	92	92			0	0	92	92	736	4,61	36,87	442,48
8:00:00	134	134			0	0	134	134	1072	6,71	53,71	644,49
9:00:00	100	100	A	0,0897	0	0	100	100	800	8,97	71,76	861,12
10:00:00	115	115			0	0	115	115	920	10,32	82,52	990,29
11:00:00	149	149			0	10,95	138,05	138,05	1104,4	12,38	99,06	1188,78
12:00:00	138	138			0	7,3	130,7	130,7	1045,6	11,72	93,79	1125,48
13:00:00	129	129			0	0	129	129	1032	11,57	92,57	1110,84
14:00:00	140	140			0	0	140	140	1120	12,56	100,46	1205,57
15:00:00	119	119			0	0	119	119	952	10,67	85,39	1024,73
16:00:00	119	119			0	0	119	119	952	10,67	85,39	1024,73
17:00:00	124	124			0	0	124	124	992	11,12	88,98	1067,79
18:00:00	134	134	D	0,0897	0	0	134	134	1072	12,02	96,16	1153,90
19:00:00	144	144			0	0	144	144	1152	12,92	103,33	1240,01
20:00:00	135	135			0	0	135	135	1080	12,11	96,88	1162,51
21:00:00	131	131			0	0	131	131	1048	11,75	94,01	1128,07
22:00:00	120	120			0	0	120	120	960	10,76	86,11	1033,34
23:00:00	107	107	C	0,0501	0	0	107	107	856	5,36	42,89	514,63
TOTAL	2868						2865,75		22926	214,01	1712,10	20545,21



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
 CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 15

Caso 4 con almacenamiento L-V

Hora	Demanda [kW/día]	Energía [kWh/día]	Tipo de tarifa	Tarifa [\$/kWh]	P_Carga Batería [kW]	P_Descarga Batería [kW]	Nueva Demanda [kW/día]	Nueva Energía [kWh/día]	Nueva Demanda [kW/mes]	C. Energía [\$/día]	C. Energía [\$/mes]	C. Energía [\$/año]
0:00:00	58	58	C	0,0501	11,52	0	69,52	69,52	1529,44	3,48	76,62	919,50
1:00:00	62	62			7,68	0	69,68	69,68	1532,96	3,49	76,80	921,62
2:00:00	60	60			0	0	60	60	1320	3,01	66,13	793,58
3:00:00	69	69			0	0	69	69	1518	3,46	76,05	912,62
4:00:00	72	72			0	0	72	72	1584	3,61	79,36	952,30
5:00:00	60	60			0	0	60	60	1320	3,01	66,13	793,58
6:00:00	62	62			0	0	62	62	1364	3,11	68,34	820,04
7:00:00	78	78			0	0	78	78	1716	3,91	85,97	1031,66
8:00:00	80	80			0	0	80	80	1760	4,01	88,18	1058,11
9:00:00	84	84	A	0,0897	0	0	84	84	1848	7,53	165,77	1989,19
10:00:00	90	90			0	0	90	90	1980	8,07	177,61	2131,27
11:00:00	93	93			0	0	93	93	2046	8,34	183,53	2202,31
12:00:00	91	91			0	0	91	91	2002	8,16	179,58	2154,95
13:00:00	92	92			0	0	92	92	2024	8,25	181,55	2178,63
14:00:00	80	80			0	0	80	80	1760	7,18	157,87	1894,46
15:00:00	94	94			0	0	94	94	2068	8,43	185,50	2226,00
16:00:00	78	78			0	0	78	78	1716	7,00	153,93	1847,10
17:00:00	80	80			0	0	80	80	1760	7,18	157,87	1894,46
18:00:00	75	75	B	0,1037	0	0	75	75	1650	7,78	171,11	2053,26
19:00:00	84	84			0	0	84	84	1848	8,71	191,64	2299,65
20:00:00	93	93			0	13,14	79,86	79,86	1756,92	8,28	182,19	2186,31
21:00:00	94	94			0	8,76	85,24	85,24	1875,28	8,84	194,47	2333,60
22:00:00	85	85	0	0	85	85	1870	8,81	193,92	2327,03		
23:00:00	82	82	C	0,0501	0	0	82	82	1804	4,11	90,38	1084,56
TOTAL	1896						1893,3		41652,6	147,75	3250,48	39005,81



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
 CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 16

Caso 4 con almacenamiento S-D

Hora	Demanda S-D [kW/día]	Energía S-D [kWh/día]	Tipo de tarifa	Tarifa [\$/kWh]	P_Carga Batería [kW]	P_Descarga Batería [kW]	Nueva Demanda [kW/día]	Nueva Energía [kWh/día]	Nueva Demanda [kW/mes]	C. Energía [\$/día]	C. Energía [\$/mes]	C. Energía [\$/año]
0:00:00	103	103	C	0,0501	11,52	0	114,52	114,52	916,16	5,74	45,90	550,80
1:00:00	107	107			7,68	0	114,68	114,68	917,44	5,75	45,96	551,56
2:00:00	100	100			0	0	100	100	800	5,01	40,08	480,96
3:00:00	109	109			0	0	109	109	872	5,46	43,69	524,25
4:00:00	112	112			0	0	112	112	896	5,61	44,89	538,68
5:00:00	91	91			0	0	91	91	728	4,56	36,47	437,67
6:00:00	116	116			0	0	116	116	928	5,81	46,49	557,91
7:00:00	92	92			0	0	92	92	736	4,61	36,87	442,48
8:00:00	134	134			0	0	134	134	1072	6,71	53,71	644,49
9:00:00	100	100	A	0,0897	0	0	100	100	800	8,97	71,76	861,12
10:00:00	115	115			0	0	115	115	920	10,32	82,52	990,29
11:00:00	149	149			0	13,14	135,86	135,86	1086,88	12,19	97,49	1169,92
12:00:00	138	138			0	8,76	129,24	129,24	1033,92	11,59	92,74	1112,91
13:00:00	129	129			0	0	129	129	1032	11,57	92,57	1110,84
14:00:00	140	140			0	0	140	140	1120	12,56	100,46	1205,57
15:00:00	119	119			0	0	119	119	952	10,67	85,39	1024,73
16:00:00	119	119			0	0	119	119	952	10,67	85,39	1024,73
17:00:00	124	124			0	0	124	124	992	11,12	88,98	1067,79
18:00:00	134	134	D	0,0897	0	0	134	134	1072	12,02	96,16	1153,90
19:00:00	144	144			0	0	144	144	1152	12,92	103,33	1240,01
20:00:00	135	135			0	0	135	135	1080	12,11	96,88	1162,51
21:00:00	131	131			0	0	131	131	1048	11,75	94,01	1128,07
22:00:00	120	120			0	0	120	120	960	10,76	86,11	1033,34
23:00:00	107	107	C	0,0501	0	0	107	107	856	5,36	42,89	514,63
TOTAL	2868						2865,3		22922,4	213,85	1710,76	20529,17



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
 CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 17

Caso 5 con almacenamiento L-V

Hora	Demanda [kW/día]	Energía [kWh/día]	Tipo de tarifa	Tarifa [\$/kWh]	P_Carga Batería [kW]	P_Descarga Batería [kW]	Nueva Demanda [kW/día]	Nueva Energía [kWh/día]	Nueva Demanda [kW/mes]	C. Energía [\$/día]	C. Energía [\$/mes]	C. Energía [\$/año]
0:00:00	58	58	C	0,0501	13,44	0	71,44	71,44	1571,68	3,58	78,74	944,89
1:00:00	62	62			8,96	0	70,96	70,96	1561,12	3,56	78,21	938,55
2:00:00	60	60			0	0	60	60	1320	3,01	66,13	793,58
3:00:00	69	69			0	0	69	69	1518	3,46	76,05	912,62
4:00:00	72	72			0	0	72	72	1584	3,61	79,36	952,30
5:00:00	60	60			0	0	60	60	1320	3,01	66,13	793,58
6:00:00	62	62			0	0	62	62	1364	3,11	68,34	820,04
7:00:00	78	78			0	0	78	78	1716	3,91	85,97	1031,66
8:00:00	80	80			0	0	80	80	1760	4,01	88,18	1058,11
9:00:00	84	84	A	0,0897	0	0	84	84	1848	7,53	165,77	1989,19
10:00:00	90	90			0	0	90	90	1980	8,07	177,61	2131,27
11:00:00	93	93			0	0	93	93	2046	8,34	183,53	2202,31
12:00:00	91	91			0	0	91	91	2002	8,16	179,58	2154,95
13:00:00	92	92			0	0	92	92	2024	8,25	181,55	2178,63
14:00:00	80	80			0	0	80	80	1760	7,18	157,87	1894,46
15:00:00	94	94			0	0	94	94	2068	8,43	185,50	2226,00
16:00:00	78	78			0	0	78	78	1716	7,00	153,93	1847,10
17:00:00	80	80			0	0	80	80	1760	7,18	157,87	1894,46
18:00:00	75	75	B	0,1037	0	0	75	75	1650	7,78	171,11	2053,26
19:00:00	84	84			0	0	84	84	1848	8,71	191,64	2299,65
20:00:00	93	93			0	15,33	77,67	77,67	1708,74	8,05	177,20	2126,36
21:00:00	94	94			0	10,22	83,78	83,78	1843,16	8,69	191,14	2293,63
22:00:00	85	85	0	0	85	85	1870	8,81	193,92	2327,03		
23:00:00	82	82	C	0,0501	0	0	82	82	1804	4,11	90,38	1084,56
TOTAL	1896						1892,85		41642,7	147,53	3245,68	38948,21



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
 FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
 CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 18

Caso 5 con almacenamiento S-D

Hora	Demanda S-D [kW/día]	Energía S-D [kWh/día]	Tipo de tarifa	Tarifa [\$/kWh]	P_Carga Batería [kW]	P_Descarga Batería [kW]	Nueva Demanda [kW/día]	Nueva Energía [kWh/día]	Nueva Demanda [kW/mes]	C. Energía [\$/día]	C. Energía [\$/mes]	C. Energía [\$/año]
0:00:00	103	103	C	0,0501	13,44	0	116,44	116,44	931,52	5,83	46,67	560,03
1:00:00	107	107			8,96	0	115,96	115,96	927,68	5,81	46,48	557,72
2:00:00	100	100			0	0	100	100	800	5,01	40,08	480,96
3:00:00	109	109			0	0	109	109	872	5,46	43,69	524,25
4:00:00	112	112			0	0	112	112	896	5,61	44,89	538,68
5:00:00	91	91			0	0	91	91	728	4,56	36,47	437,67
6:00:00	116	116			0	0	116	116	928	5,81	46,49	557,91
7:00:00	92	92			0	0	92	92	736	4,61	36,87	442,48
8:00:00	134	134			0	0	134	134	1072	6,71	53,71	644,49
9:00:00	100	100	A	0,0897	0	0	100	100	800	8,97	71,76	861,12
10:00:00	115	115			0	0	115	115	920	10,32	82,52	990,29
11:00:00	149	149			0	15,33	133,67	133,67	1069,36	11,99	95,92	1151,06
12:00:00	138	138			0	10,22	127,78	127,78	1022,24	11,46	91,69	1100,34
13:00:00	129	129			0	0	129	129	1032	11,57	92,57	1110,84
14:00:00	140	140			0	0	140	140	1120	12,56	100,46	1205,57
15:00:00	119	119			0	0	119	119	952	10,67	85,39	1024,73
16:00:00	119	119			0	0	119	119	952	10,67	85,39	1024,73
17:00:00	124	124			0	0	124	124	992	11,12	88,98	1067,79
18:00:00	134	134	D	0,0897	0	0	134	134	1072	12,02	96,16	1153,90
19:00:00	144	144			0	0	144	144	1152	12,92	103,33	1240,01
20:00:00	135	135			0	0	135	135	1080	12,11	96,88	1162,51
21:00:00	131	131			0	0	131	131	1048	11,75	94,01	1128,07
22:00:00	120	120			0	0	120	120	960	10,76	86,11	1033,34
23:00:00	107	107	C	0,0501	0	0	107	107	856	5,36	42,89	514,63
TOTAL	2868						2864,85		22918,8	213,68	1709,43	20513,13



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD



Anexo 19

Especificaciones técnicas de los Sistemas de almacenamiento de energía eléctrica, para cada caso.

Type designation	SBR096	SBR128	SBR160	SBR192	SBR224	SBR256
Technical properties	 3 modules	 4 modules	 5 modules	 6 modules	 7 modules	 8 modules
System Data						
Battery Type	LiFePO4 Prismatic Cell					
Battery Module	3.2 kWh, 33 kg					
Nominal Capacity	9.6 kWh	12.8 kWh	16 kWh	19.2 kWh	22.4 kWh	25.6 kWh
Energy (usable) ¹	9.6 kWh	12.8 kWh	16 kWh	19.2 kWh	22.4 kWh	25.6 kWh
Nominal voltage	192 V	256 V	320 V	384 V	448 V	512 V
Operating voltage	150 – 219 V	200 – 292 V	250 – 365 V	300 – 438 V	350 – 511 V	400 – 584 V
Rated DC power	5.76 kW	7.68 kW	9.6 kW	11.52 kW	13.44 kW	15.36 kW
Max. charge / discharge power	6.57 kW	8.76 kW	10.95 kW	13.14 kW	15.33 kW	17.52 kW
Max. charging / discharging current: continuous	30 A					
Max. charging / discharging current	42 A					
Depth of Discharge	Max.100 % DOD (settable)					
Short circuit current	3500 A					
Display	SOC indicator, status indicator					
Communication interface	CAN					
Protection						
Over / under voltage protection	Yes					
Over current protection	Yes					
Over / under temperature protection	Yes					
DC breaker	Yes					
General Data						
Dimensions (W*H*D)	625*545*330 mm	625*675*330 mm	625*805*330 mm	625*935*330 mm	625*1065*330 mm	625*1195*330 mm
Weight	114 kg	147 kg	180 kg	213 kg	246 kg	279 kg
Installation Location	Indoor / Outdoor					
Mounting method	Floor stand					
Operating ambient temperature range	Charge: 0 to 50 °C Discharge: -20 to 50 °C					
Degree of protection	°CIP55					
Allowable relative humidity range	0 % to 95 % no condensing					
Max. operating altitude	Max. 2000 m					
Cooling method	Natural convection					
Certificates	CE, CEC, IEC 62619, IEC 62040, UN38.3, VDE 2510-50					
Warranty ²	10 Years					

