



Simulación del método Peak Shaving como estrategia de gestión energética en un cliente industrial del sector eléctrico ecuatoriano

Simulation of the Peak Shaving method as an energy management strategy in an industrial client of the Ecuadorian electrical sector

Simulação do método Peak Shaving como estratégia de gestão energética num cliente industrial do setor elétrico equatoriano

Ángel Fabricio Cherres-Coca ^I

acherres@institutos.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0006-4614-9793>

Victor Rafael Pérez-Miranda ^{II}

vperez@institutos.gob.ec

<https://orcid.org/0000-0002-6163-5101>

Paul Mauricio López-Bastista ^{III}

pmlopez@institutos.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0008-9856-6155>

Milton Isaías Díaz-Alban ^{IV}

mdiaz@institutos.gob.ec

<https://orcid.org/0009-0006-8716-5861>

Lady Veronica Herrera ^V

lvherrera@institutos.gob.ec

<https://orcid.org/0000-0002-7960-3570>

Correspondencia: acherres@institutos.gob.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas

Artículo de Investigación

* **Recibido:** 07 de julio de 2024 * **Aceptado:** 08 de agosto de 2024 * **Publicado:** 16 de septiembre de 2024

- I. Máster Universitario en Electricidad Mención Sistemas Eléctricos de Potencia, Ingeniero en Electromecánica por la Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE-L", Docente de Redes Eléctricas, Máquinas Eléctricas, Metodología de la Investigación, en el Instituto Superior Tecnológico Pelileo, Tungurahua, Ecuador.
- II. Magíster en Automatización y Sistemas de Control, Ingeniero en electrónica e instrumentación, Docente de Automatización Industrial y Plc., Instrumentación y Sistemas de control en el Instituto Superior Tecnológico Pelileo, Ecuador.
- III. Ingeniero Eléctrico por la Escuela Politécnica Nacional, Docente Instalaciones Eléctricas, Máquinas Eléctricas, Centrales de Generación, Máquinas Eléctricas C.A., en el Instituto Superior Tecnológico Pelileo, Tungurahua, Ecuador.
- IV. Ingeniero Automotriz, Docente de Física, Matemáticas, Resistencia de Materiales, Máquinas Herramientas en el Instituto Superior Tecnológico Pelileo, Tungurahua, Ecuador.
- V. Magíster en la Enseñanza del Idioma Inglés como Lengua Extranjera, Licenciada en Ciencias de la Educación Mención Inglés, Docente del Idioma Inglés en el Instituto Superior Tecnológico Pelileo, Tungurahua, Ecuador.

Resumen

El presente proyecto de investigación pertenece al área de Generación, al programa de transformación de energías y la línea de investigación de implementación de generaciones convencionales y no convencionales ya que se realizará la simulación de la metodología peak shaving como estrategia de reducción de la demanda eléctrica y su factibilidad en un cliente industrial del sector eléctrico ecuatoriano.

Además, obedece a la temática mencionada porque mediante este estudio se pretende aportar con conocimientos para mejorar y optimizar el consumo energético de un cliente industrial a través de nuevas fuentes de generación eléctrica. De esta manera, se simulará el método “Peak Shaving” y se analizará el ahorro económico asociado al consumo energético de un cliente industrial. En este sentido, se emplearán software abiertos para impulsar a las industrias a aplicar el método “Peak Shaving” como estrategia de reducción de la demanda eléctrica.

Palabras clave: Generación; Simulación; Peak Shaving; Demanda Eléctrica; Estrategia.

Abstract

This research project belongs to the Generation area, to the energy transformation program and to the line of research on the implementation of conventional and non-conventional generations, since the simulation of the peak shaving methodology will be carried out as a strategy for reducing electrical demand and its feasibility in an industrial client of the Ecuadorian electrical sector.

In addition, it is in accordance with the aforementioned theme because through this study it is intended to provide knowledge to improve and optimize the energy consumption of an industrial client through new sources of electrical generation. In this way, the “Peak Shaving” method will be simulated and the economic savings associated with the energy consumption of an industrial client will be analyzed. In this sense, open source software will be used to encourage industries to apply the “Peak Shaving” method as a strategy for reducing electrical demand.

Keywords: Generation; Simulation; Peak Shaving; Electrical Demand; Strategy.

Resumo

Este projeto de investigação pertence à área de Geração, ao programa de transformação de energia e à linha de investigação para a implementação de gerações convencionais e não convencionais,

uma vez que será realizada a simulação da metodologia de peak shaving como estratégia de redução da procura eléctrica e a sua viabilidade num cliente industrial do setor eléctrico equatoriano.

Além disso, obedece ao tema acima referido porque este estudo visa fornecer conhecimentos para melhorar e otimizar o consumo de energia de um cliente industrial através de novas fontes de geração de eletricidade. Desta forma, será simulado o método “Peak Shaving” e analisadas as poupanças económicas associadas ao consumo de energia de um cliente industrial. Neste sentido, será utilizado software aberto para incentivar as indústrias a aplicar o método “Peak Shaving” como estratégia para reduzir a procura de energia eléctrica.

Palavras-chave: Geração; Simulação; Raspagem de Pico; Procura de Eletricidade; Estratégia.

Introducción

El sector industrial es uno de los principales consumidores de energía en Ecuador, generando una significativa demanda eléctrica, especialmente durante las horas pico. Esta alta demanda, concentrada en cortos períodos de tiempo, incrementa los costos de energía para las empresas y ejerce presión sobre la infraestructura eléctrica del país. En este contexto, surge la necesidad de implementar estrategias de gestión energética eficientes que permitan reducir el consumo de energía en los picos de demanda, optimizando los costos y contribuyendo a la sostenibilidad del sistema eléctrico.

El método Peak Shaving se presenta como una estrategia prometedora para la gestión energética en el sector industrial.

Este método consiste en implementar medidas para reducir o desplazar el consumo de energía durante los períodos de alta demanda, aprovechando los beneficios de tarifas más bajas y contribuyendo a la estabilidad de la red eléctrica.

Estrategias Peak Shaving

En un sistema eléctrico se pueden aplicar diversas técnicas Peak Shaving para disminuir el consumo de energía durante los picos de demanda. Estas estrategias buscan aplanar la curva de demanda, optimizando el uso de la red eléctrica y reduciendo costos.

Las estrategias Peak Shaving son:

- Eficiencia energética
- Desplazamiento de carga

- Autogeneración
- Cogeneración
- Almacenamiento de energía eléctrica.(Uddin et al., 2018)

Pliego Tarifario del servicio público de energía eléctrica

El pliego tarifario eléctrico en Ecuador es un documento normativo emitido por la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables (ARCERNNR). Este pliego establece la estructura, niveles y regímenes tarifarios para el servicio público de energía eléctrica (SPEE). En otras palabras, es como un manual que define cuánto debemos pagar por la electricidad que consumimos en nuestros hogares, negocios o industrias.

La finalidad principal del pliego tarifario es garantizar la equidad y transparencia en la fijación de las tarifas eléctricas. Se busca que estas tarifas reflejen los costos reales de generación, transmisión y distribución de la energía, al mismo tiempo que promueven la eficiencia energética y la sostenibilidad. Además, el pliego considera diferentes tipos de consumidores (residencial, comercial, industrial) y establece tarifas diferenciadas en función del consumo y la potencia contratada.

Es importante destacar que el pliego tarifario es dinámico y se actualiza periódicamente. Esto se debe a diversos factores como cambios en los costos de generación, variaciones en la demanda de energía, nuevas tecnologías y políticas energéticas. Las actualizaciones del pliego tarifario son analizadas y aprobadas por la ARCERNNR, con el objetivo de mantener un sistema eléctrico eficiente y justo para todos los ecuatorianos.

El pliego tarifario eléctrico es un instrumento fundamental para la regulación del sector eléctrico en Ecuador. Este documento garantiza que las tarifas eléctricas sean justas y transparentes, promoviendo así un consumo eficiente de energía y el desarrollo sostenible del país.

Las tarifas eléctricas en Ecuador son variadas y dependen de diversos factores como el tipo de consumidor, el nivel de voltaje y el consumo mensual. Estas tarifas se establecen en el pliego tarifario emitido por la ARCERNNR y son revisadas periódicamente para ajustarlas a las condiciones del mercado.(ARCERNNR, 2024)

Tipos de Tarifas

Principalmente, se distinguen dos grandes categorías de consumidores:

Residencial: Aplica a viviendas unifamiliares o multifamiliares.

General: Incluye a consumidores comerciales, industriales y otros servicios.

Dentro de cada categoría, existen diferentes niveles de voltaje: bajo, medio y alto, lo que influye en la tarifa a aplicar.

¿Cómo se Calculan las Tarifas?

El cálculo de la factura eléctrica involucra varios componentes:

Consumo de Energía: Se mide en kilovatios hora (kWh) y corresponde a la cantidad de energía eléctrica consumida en un período determinado.

Potencia Contratada: Es la máxima demanda de energía que un consumidor puede requerir en un momento dado y se mide en kilovoltamperios (kVA).

Factor de Potencia: Mide la eficiencia con la que se utiliza la energía eléctrica.

Tarifas Básicas: Son valores fijos que cubren los costos fijos del servicio.

Otros Cargos: Incluyen impuestos, tasas y cargos por servicios adicionales.

La fórmula general para calcular la factura eléctrica es una combinación de estos elementos. Sin embargo, el cálculo exacto puede variar dependiendo de la empresa eléctrica y de las condiciones específicas del contrato. (ARCERNNR, 2024)

Tabla 1: Niveles de voltaje

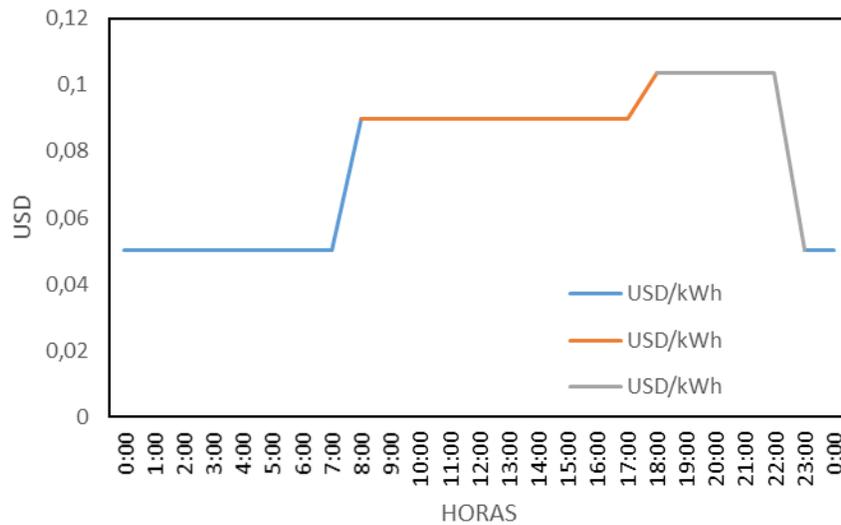
Nivel de voltaje	Grupo	Voltaje de suministro en el punto de entrega.
Bajo Voltaje		Menor o igual a 0.6kV
Medio Voltaje		Mayor a 0.6kV y menor igual a 40kV
Alto Voltaje	Grupo 1 - AV1	Mayor a 40 kV y menor igual a 138kV
	Grupo 2 – AV2	Mayor a 135kV

Nota: en la tabla se exponen la clasificación de los niveles de voltaje, tanto para Transmisión, Subtransmisión, Distribución y Consumo. Fuente: (ARCERNNR, 2024)

Tarifas de medio Voltaje con demanda horaria

Se aplica a consumidores de la categoría general de medio voltaje que disponen de un registrador de demanda horaria.

Figura 1: Tarifa de Kwh según horario



Fuente: (ARCERNR, 2024)

Materiales y Métodos

Debido a la naturaleza de la investigación, se ha empleado un método cuali-experimental manipulando las variables de entrada, simulando condiciones de generación y obteniendo curvas de demanda resultantes para la industria bajo estudio. (Rahimi, 2018).

De la misma forma el método deductivo – inductivo permitió realizar un diagnóstico energético detallado, a partir del cual se diseñó un plan de gestión energética orientado a la optimización de los consumos y la reducción de los costos asociados a la energía.

Adicionalmente se llevó a cabo un análisis estadístico descriptivo de los datos obtenidos del analizador de carga y del medidor de demanda, los cuales fueron presentados en tablas y gráficos."

Técnicas e instrumentos de investigación

La técnica de observación, en conjunto con el análisis de los datos obtenidos del analizador FLUKE 435-II, permitió caracterizar el perfil de carga de la industria y evaluar la calidad de la energía eléctrica.

Se realiza un muestreo de los parámetros eléctricos de la industria cada 10 minutos durante una semana, utilizando un analizador de potencia FLUKE 435-II para obtener una curva de carga detallada.

Procedimiento

Tabulación de los datos de consumo de energía de una industria basado en las siguientes magnitudes: Energía Activa, Energía Reactiva Inductiva, Energía Reactiva Capacitiva, Tensión en la Fase R, Tensión en la Fase S, Tensión en la Fase T, Distorsión armónica de voltaje en la fase R, Distorsión armónica de voltaje en la fase S, Distorsión armónica de voltaje en la fase T, Distorsión armónica de corriente en la fase R, Distorsión armónica de corriente en la fase S, Distorsión armónica de corriente en la fase T. Los datos obtenidos tienen una periodicidad de 05 minutos durante 7 días continuos.

El transformador analizado es de 500kVA 13800/340-440 V, de la marca Ecuatran.

La curva de demanda promedio diario se obtuvo de la medición de los 7 días de la semana las 24 horas del día, obteniéndose la curva promedio de la figura 2.

En la figura 1 se muestra la curva de demanda en los 7 días y en la figura 2 se muestra la curva promedio con la que se realiza la estimación para aplicar las estrategias de peak Shaving. Descartando el día lunes debido a que es un día atípico en términos de la demanda de energía.

Figura 2: Registro de demanda diaria durante una semana.

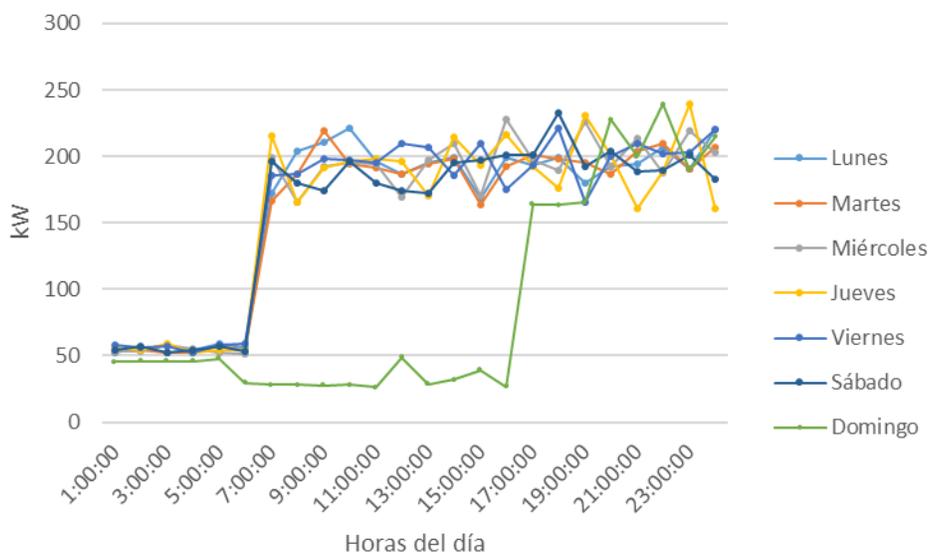
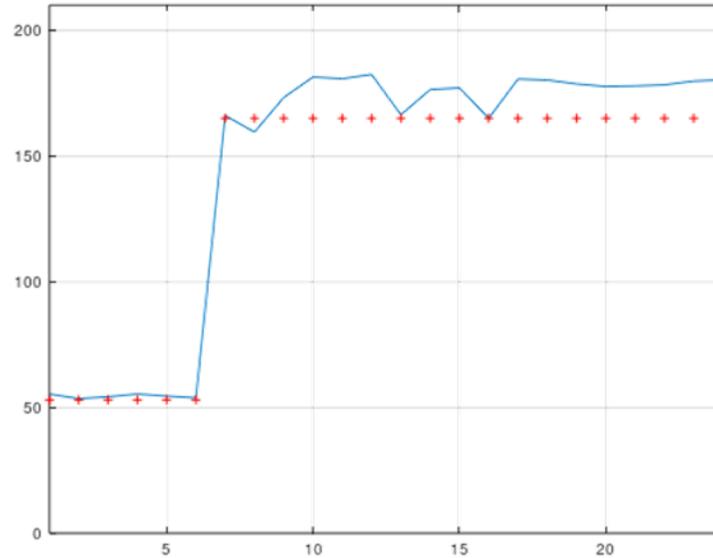


Figura 3: Curva promedio de demanda diaria.



CASO 1: Peack Shaving aplicando la estrategia de Autogeneración (Generador Fotovoltaico)

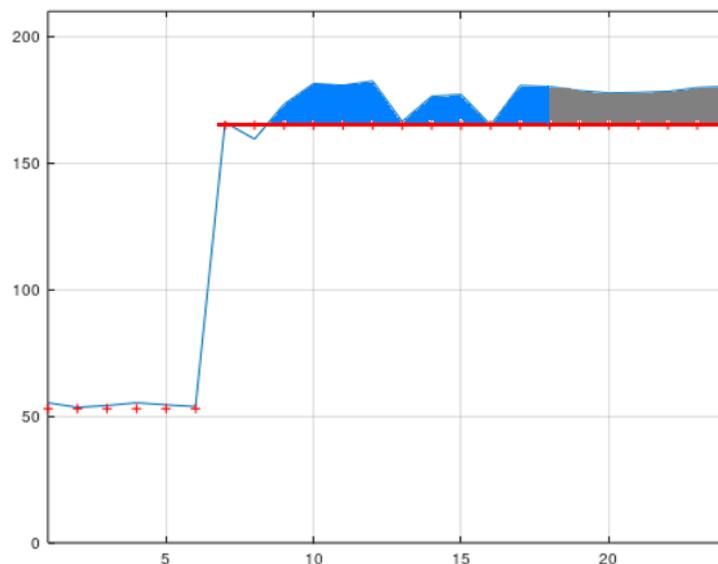
En el primer caso de estudio se simula el método Peack Shaving, bajo el método de autogeneración, usando un generador fotovoltaico, aprovechando el espacio disponible en el techo de la industria, asegurando.

Para este primer caso se diseña un generador fotovoltaico con la potencia resultante del área bajo la curva de la demanda promedio diaria (Figura 4). Área Total: 205.03kW, área color azul (7h00 – 18h00) = 112.8 kW. Área color gris (18h00-00h00)= 92.23kW.(Mishra, 2018).

El generador fotovoltaico servirá para aplicar el método peak shaving en el rango horario 08h00 a 18h00, según pliego tarifario ARCERNNR 2024.

El esquema de la figura 5 explica la forma de conexión de los componentes del sistema y como se integra el nuevo generador al sistema eléctrico de la industria. El generador fotovoltaico entrega la energía a un inversor, mismo que inyecta la energía generada a la barra de bajo voltaje de la industria a través del control de despacho, priorizando la generación fotovoltaica.

Figura 4: Área debajo de la curva de demanda promedio



Nota: La figura muestra el área bajo la curva como la energía necesaria para cortar los picos de la demanda promedio.

Figura 5: Esquema de conexión de la estrategia Autogeneración

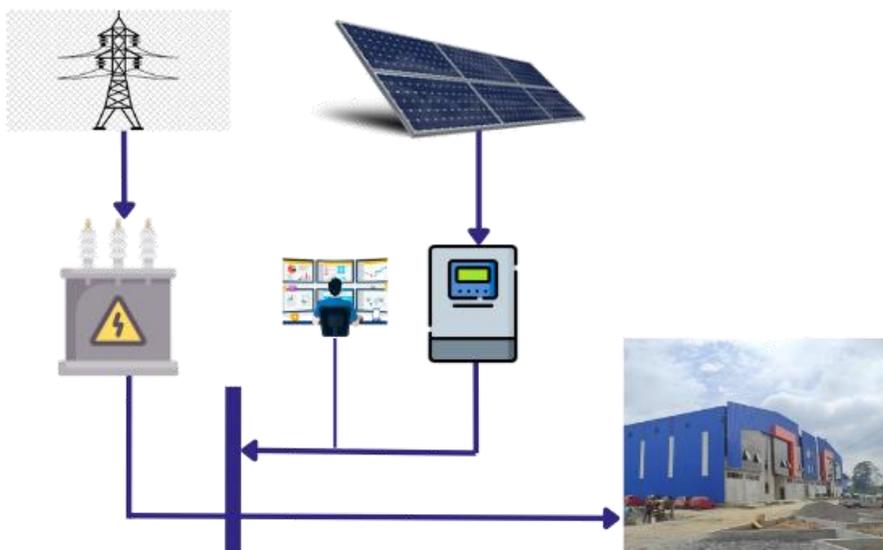
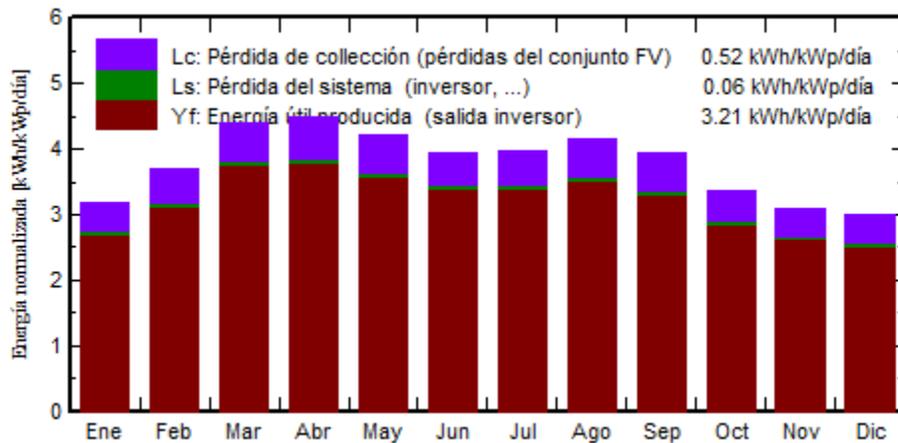


Tabla 2: Especificaciones del generador fotovoltaico.

Ítem	Descripción	Cantidad	Unidades
Paneles Solares	460W, 20.83 Eficiencia, 144 Cell	124	Und.
Inversor	25kW, 150-525V, 50A	8	Und
Área	Área necesaria para los paneles y los pasillos	301.69	m ²

Se ha diseñado un sistema fotovoltaico conectado a la red con el objetivo de implementar la estrategia de peak shaving en la industria. Mediante esta solución, se busca reducir los picos de demanda eléctrica de la empresa. Los resultados de la simulación, presentados en la figura 6, muestran el comportamiento energético del sistema propuesto, evidenciando una disminución significativa de la demanda máxima. (Kabir et al., 2018)

Figura 6: Producción normalizada (kW instalado)



CASO 2: Peak Shaving aplicando la estrategia de Almacenamiento (BESS)

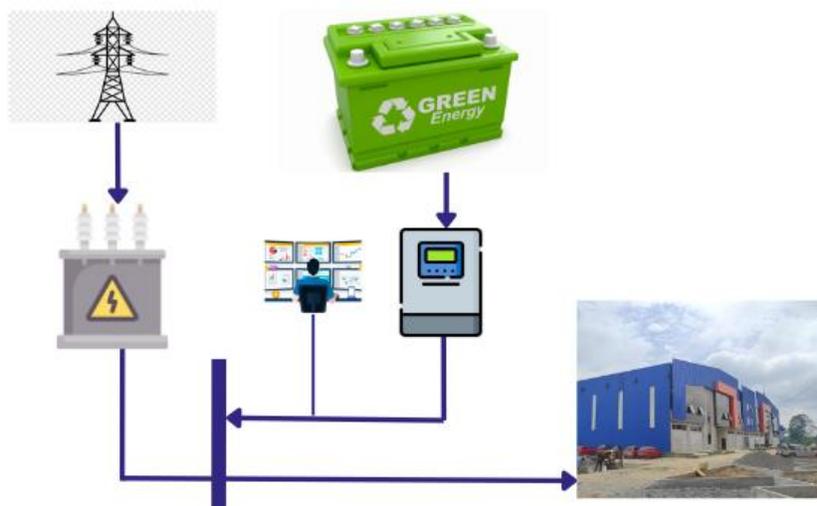
De acuerdo con el tarifario vigente de ARCENNR 2024, se observa una significativa diferencia en el costo de la energía eléctrica entre los periodos nocturnos (22:00-08:00) y las horas pico de la tarde (18:00-22:00). Este diferencial tarifario representa una oportunidad idónea para implementar un sistema de almacenamiento de energía. La estrategia propuesta consiste en cargar el sistema durante las horas valle (22:00-08:00), cuando el costo de la energía es menor, y descargarlo durante

las horas pico (18:00-22:00), aprovechando así los beneficios económicos que ofrece esta diferencia tarifaria. Para este estudio, se considerarán las siguientes condiciones operativas:

- Ventana de descarga: El sistema de almacenamiento operará durante un período de 4 horas, desde las 18:00 hasta las 22:00 horas.
- Ventana de carga: El sistema se cargará durante el resto del período, es decir, desde las 22:00 hasta las 08:00 horas.

El sistema de almacenamiento, conformado por un regulador de carga y un inversor, será dimensionado para cubrir la demanda máxima durante el período pico (18:00-00:00 horas). Según los datos presentados en la Figura 4, se ha determinado que la potencia necesaria para eliminar este pico es de 92.23 kW. Por lo tanto, la capacidad del sistema de almacenamiento se establecerá en función de esta demanda máxima. (Emmanuel et al., 2020)

Figura 7: Esquema de conexión del BESS



El esquema de conexión del BESS mostrado en la figura 7 indica la interacción de los equipos, el BESS se conecta a la barra de bajo voltaje del transformador a través del control de despacho, priorizando la energía del BESS.

Tabla 2: Especificaciones del BESS

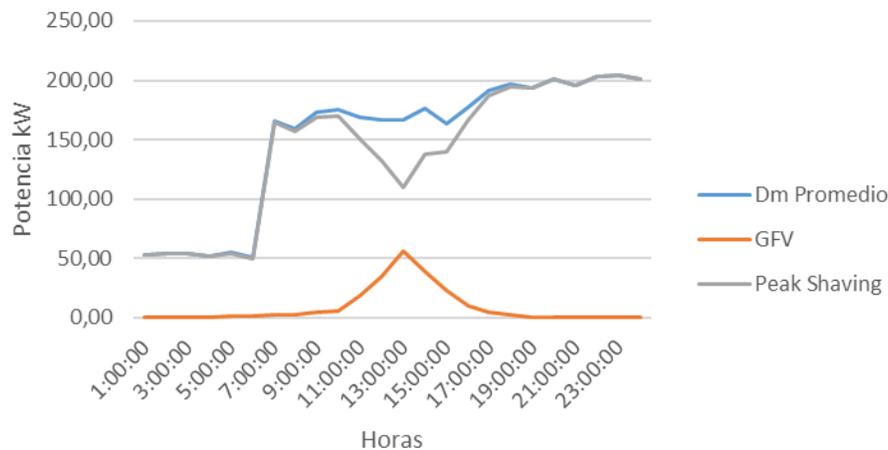
Item	Descripción	Cantidad	Unidades
Baterias	12V, 150A	13	Und.

Inversor	25kW, 150-525V, 50A	8	Und
Área	Área necesaria las baterías	15	m ²

Resultados

En el Caso 1, donde se aplica la técnica de peak shaving mediante autogeneración, la Figura 8 muestra el comportamiento del sistema. Se observa que el generador fotovoltaico (representado por la curva en color tomate) conectado a la red opera desde las 6:00 hasta las 18:00 horas, siendo este el período de generación de energía solar. Como se aprecia en la misma figura 8, el pico de demanda es efectivamente reducido durante el intervalo de operación del sistema fotovoltaico.

Figura 8: Respuesta Peak Shaving por Autogeneración



En el caso 2 el Sistema de Almacenamiento de Energía (BESS) suministrará una potencia de 81 kWh durante el período pico de demanda, entre las 18:00 y las 22:00 horas, con el objetivo de reducir significativamente los picos de consumo de la empresa. La carga de los acumuladores se realizará durante las horas valle, es decir, en las primeras horas de la madrugada, aprovechando el menor costo de la energía (50% inferior al período pico). La Figura 9 muestra de manera gráfica el impacto de esta estrategia, comparando la curva de demanda inicial con la curva de inyección del BESS y la curva de demanda resultante

Figura 9: Respuesta Peak Shaving por BESS



La figura 9 muestra las etapas de carga y descarga del BESS y su efecto en la curva del perfil de demanda, específicamente en las horas donde el costo de la energía es más elevado.

Como lo establece (Danish et al., 2020) la potencia entregada a la industria o carga eléctrica es la sumatoria de la potencia generada por el BESS más la obtenida de la red. (Chua et al., 2016).

Conclusiones

La metodología Peak Shaving abarca un amplio marco referencial sobre las opciones de aplicar la metodología para reducir los picos de demanda de energía eléctrica en las industrias, sin embargo, en la presente investigación se han analizados tres casos de aplicación. (Reihani et al., 2016).

En los últimos años, Ecuador ha experimentado un notable impulso en el desarrollo de energías renovables, gracias a una serie de regulaciones como ARCONEL 003-18, ARCONEL 057-18, ARCERNNR 001/21 y ARCERNNR 002/21. Estas normativas han establecido un marco regulatorio sólido para la implementación de proyectos renovables a diversas escalas. En particular, la regulación ARCERNNR 001/21, al definir dos modalidades de microrredes, ha complementado la regulación ARCONEL 003-18, superando las limitaciones previas relacionadas con las superficies de construcción. Esta sinergia regulatoria ha abierto nuevas oportunidades para el desarrollo de sistemas fotovoltaicos tanto aislados como conectados a la red, facilitando la implementación de estrategias de gestión de la demanda, como la reducción de picos, y generando así beneficios económicos y medio ambientales para los consumidores. (Rana et al., 2022).

La precisión en el diseño de estaciones fotovoltaicas con almacenamiento depende en gran medida de la calidad y caracterización de los datos del perfil de demanda. Es fundamental contar con información precisa y confiable para establecer una línea base sólida. El uso de software especializado permite validar los modelos matemáticos utilizados en el diseño y dimensionamiento, así como corroborar la información meteorológica empleada. Sin embargo, la diversidad de fabricantes de componentes fotovoltaicos representa un desafío significativo. Para mitigar este problema, resulta fundamental contar con referencias de componentes que hayan sido validados en condiciones reales de operación.

Referencias

1. ARCERNNR. (2024). Pliego-Tarifario-ARCERNNR-2024.
2. Chua, K. H., Lim, Y. S., & Morris, S. (2016). Energy storage system for peak shaving. *International Journal of Energy Sector Management*, 10(1), 3–18. <https://doi.org/10.1108/IJESM-01-2015-0003>
3. Danish, S. M. S., Ahmadi, M., Danish, M. S. S., Mandal, P., Yona, A., & Senjyu, T. (2020). A coherent strategy for peak load shaving using energy storage systems. *Journal of Energy Storage*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101823>
4. Emmanuel, M., Jain, A., Bryce, R., Latif, A., Ghosh, S., & Nagarajan, A. (2020). Impacts of control set-points on battery energy storage performance for peak shaving application. *Conference Record of the IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2020-June*, 2703–2707. <https://doi.org/10.1109/PVSC45281.2020.9301022>
5. Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K. H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 82, pp. 894–900). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>
6. Mishra, S. (2018). Efficient Power Flow Management and Peak Shaving in a Microgrid-PV System. IEEE.
7. Rahimi, A. (2018). A Simple and Effective Approach for Peak Load Shaving Using Battery Storage Systems. IEEE.
8. Rana, M. M., Atef, M., Sarkar, M. R., Uddin, M., & Shafiullah, G. M. (2022). A Review on Peak Load Shaving in Microgrid—Potential Benefits, Challenges, and Future Trend. In *Energies* (Vol. 15, Issue 6). MDPI. <https://doi.org/10.3390/en15062278>

9. Reihani, E., Motalleb, M., Ghorbani, R., & Saad Saoud, L. (2016). Load peak shaving and power smoothing of a distribution grid with high renewable energy penetration. *Renewable Energy*, 86, 1372–1379. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.09.050>
10. Uddin, M., Romlie, M. F., Abdullah, M. F., Abd Halim, S., Abu Bakar, A. H., & Chia Kwang, T. (2018). A review on peak load shaving strategies. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 82, pp. 3323–3332). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.056>

© 2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).