

Evaluación de la eficiencia energética en los estanques de la Camaronera Guajaca Frank País, Cuba

Evaluation of Energy Efficiency in the Ponds of the Guajaca Frank País Shrimp Farm, Cuba

Lián Blanco Cuba * lianblancocuba@gmail.com ⁽¹⁾

<https://orcid.org/0009-0006-8834-4546>

Victor Germán Rodríguez Durán vraturan@ismm.edu.cu ⁽¹⁾

<https://orcid.org/0000-0002-5019-1891>

Odalys Robles Laurencio orbles@ismm.edu.cu ⁽¹⁾

<https://orcid.org/0000-0002-4905-4697>

Lester Zúñiga Ortíz lzuñigaortiz@gmail.com ⁽²⁾

<https://orcid.org/0009-0003-8533-2337>

Geidis Jardínez Correa gjardinez@ismm.edu.cu ⁽¹⁾

<https://orcid.org/0009-0003-9381-917X>

⁽¹⁾ Universidad de Moa, Moa, Cuba ⁽²⁾ Empresa Eléctrica Holguín, Cuba.

* Autor para la correspondencia

Resumen: El propósito de esta investigación es evaluar la eficiencia energética de los sistemas eléctricos en los estanques de la Camaronera Guajaca Frank País, Cuba. El análisis se centra en los servicios (1, 2 y 4) que suministran energía a los estanques, donde se identificaron altos consumos, pérdidas por transformación de energía y bajo factor de potencia. Estas ineficiencias provocan penalizaciones económicas impuestas por la empresa eléctrica. A través de un diagnóstico eléctrico, que incluyó mediciones de parámetros eléctricos y análisis de facturación, se propone la instalación de bancos de capacitores para corregir el factor de potencia y reducir las pérdidas de energía. Los resultados demuestran que la compensación de la potencia reactiva puede mejorar significativamente la eficiencia energética, reducir las penalizaciones económicas y contribuir a la sostenibilidad ambiental al disminuir las emisiones de CO₂. Este estudio proporciona un marco replicable para mejorar la eficiencia energética en entornos industriales similares.

Palabras clave: carga eléctrica, consumo de energía, distribución de energía eléctrica, gestión industrial

Abstract: The purpose of this research is to evaluate the energy efficiency of the electrical systems in the ponds of the Guajaca Frank País Shrimp Farm in Cuba. The analysis focuses on three shrimp farm services (1, 2, and 4) that supply energy to the ponds, where high-energy consumption, energy transformation losses, and a low power factor. These inefficiencies result in financial penalties imposed by the electric company. Through an electrical diagnostic, which includes measurements of electrical parameters and billing analysis, the installation of capacitor banks is proposed to correct the power factor and reduce energy losses. The results show that reactive power compensation can significantly improve energy efficiency, reducing financial penalties, and contribute to environmental sustainability by decreasing CO₂ emissions. This study provides a replicable framework for improving energy efficiency in similar industrial environments.

Keywords: electric charge, power consumption, electrical power distribution, industrial management

1. Introducción

La eficiencia energética se refiere a la optimización del uso de la energía en actividades y dispositivos eléctricos con el objetivo de reducir el consumo de energía y disminuir el impacto ambiental (Gómez, 2016; Vega *et al.*, 2024; Mondragón *et al.*, 2025). La demanda global de eficiencia energética en los procesos industriales ha aumentado debido al incremento de los costos de la energía y las preocupaciones ambientales (García y Aguado, 2019; Solis-Mora & Gruezo-Valencia, 2022; Valencia-Bautista *et al.*, 2022; Cárdenas-Monné & Baños-Martínez, 2024).

En las industrias, el bajo factor de potencia, el deterioro de la red eléctrica, el empleo de cargas no lineales, los transformadores subcargados y el sobrecalentamiento, reducen la eficiencia energética (Freire *et al.*, 2019; Gómez, 2021; Ávila & Segarra, 2022; Maldonado, 2025). Para poder minimizar las afectaciones, es preciso conocer cómo se generan y los métodos para corregirlos.

En Cuba, la industria camaronera es un gran consumidor de energía eléctrica, por lo que es esencial optimizar el uso de la energía para reducir costos operativos y el impacto ambiental. Este estudio se desarrolla en la Camaronera Guajaca Frank País, donde las

ineficiencias en los sistemas eléctricos de los estanques de camarones han llevado a altos consumos de energía (18 %), pérdidas significativas de energía y un bajo factor de potencia, que provoca penalizaciones económicas.

Los diagnósticos eléctricos son esenciales para identificar ineficiencias en los sistemas eléctricos como altas pérdidas de energía, cargas desbalanceadas y bajo factor de potencia (García & Aguado, 2019; García & Hernández, 2021; Martínez & Gassinski, 2022; Collins, & Tomalá, 2025). En el diagnóstico se definen una serie de factores que permiten conocer los parámetros característicos de cada carga y del sistema eléctrico (García y Aguado, 2019), y expresar en forma cuantitativa sus variaciones, sus efectos sobre el sistema y la relación entre las cargas (Rueda, 2023). En este estudio, se realiza un diagnóstico preliminar y de primer nivel, que incluye inspecciones visuales, mediciones de parámetros eléctricos y análisis de facturación.

El objetivo principal de este estudio es evaluar la eficiencia energética de los sistemas eléctricos en los estanques de la camaronera Guajaca Frank País y proponer medidas correctivas para mejorar el factor de potencia y reducir las pérdidas de energía. El estudio destaca la importancia de la compensación de la potencia reactiva mediante bancos de capacitores como una solución rentable para mejorar la eficiencia energética y reducir los costos operativos (Pérez *et al.*, 2022).

2. Materiales y métodos

La investigación se llevó a cabo en el área de los estanques de la camaronera Guajaca Frank País. Los servicios 1, 2, 3 y 4 se encuentran distribuidos por módulos de estanques donde se cultiva el camarón junto a la estación de bombeo de Agua Salada, donde se encuentra las mayores afectaciones por penalizaciones debido al bajo factor de potencia.

2.1. Factor de potencia y compensación de potencia reactiva

El factor de potencia es un parámetro crítico en los sistemas eléctricos. Representa la relación entre la potencia activa y la potencia aparente. Un bajo factor de potencia indica un alto consumo de potencia reactiva, lo que aumenta las pérdidas de energía y reduce la capacidad de los equipos eléctricos (Diaconescu *et al.*, 2025). La compensación de la potencia reactiva mediante bancos de capacitores es un método ampliamente utilizado para mejorar el factor de potencia, reducir las pérdidas de energía (Majidzadeh *et al.*, 2025; Lujano-Rojas *et al.*, 2026).

La mayoría de las cargas industriales son de naturaleza inductiva (Pérez, 2016; Giha-Yidi, 2023; Ramos *et al.*, 2024). Las cargas inductivas originan el bajo factor de potencia con los inconvenientes que esto ocasiona. El factor de potencia es la relación entre la potencia activa (que produce trabajo en la carga) y la potencia aparente del circuito (ecuación 1):

$$\cos\omega = fp = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{3}VI} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{Q}{P}\right)\right) \quad [1]$$

Donde:

P: Potencia activa (kW)

S: Potencia aparente (kVA)

Q: Potencia reactiva (kVAr)

Fp: factor de potencia

Φ : ángulo de fase

Operar con bajo factor de potencia una instalación eléctrica, además del impacto en el pago de electricidad, tiene otras implicaciones, particularmente en relación con la capacidad de los equipos de transformación y distribución de la energía eléctrica y con el uso eficiente de la máquinas y aparatos (Silva *et al.*, 2018). La potencia aparente y la corriente de la carga (I) depende inversamente del factor de potencia de la misma:

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} \quad (\text{VA}) \quad [2]$$

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}V\cos\varphi} \quad (\text{A}) \quad [3]$$

2.2. Métodos de corrección del factor de potencia

El mejoramiento del factor de potencia en la industria solo se alcanza a través de la correcta combinación de diferentes medios para su elevación, cada uno de los cuales debe ser técnica y económicamente fundamentado (Ali *et al.*, 2023). Los medios para la elevación del factor de potencia pueden ser considerados dentro de los grupos generales:

- a) Reducción del consumo de potencia reactiva, sin la aplicación de medios compensadores.
- b) Con la aplicación de medios compensadores.

La corrección de factor de potencia mediante la instalación de banco de capacitores se puede realizar principalmente de tres formas atendiendo las características de la carga, ubicación y el medio adecuado para su futuro mantenimiento:

1. Compensación individual o fija: se utiliza en equipos que tienen un ciclo continuo de operación y cuyo consumo de reactiva es considerable, principalmente motores eléctricos y transformadores. El capacitor se instala en cada una de las cargas de manera que los únicos conductores afectados por la energía reactiva son los que unen la carga con el condensador. La ventaja de esta configuración radica en que la energía reactiva queda confinada entre el condensador y la carga, quedando el resto de las líneas libres de energía reactiva.

2. Compensación en grupo: se recomienda cuando un grupo de cargas, ya sea iguales o diferentes, se conectan simultáneamente y demandan una cantidad reactiva constante. La configuración en grupo permite que los bancos de capacitores pueden instalarse en el centro de control de motores, solo se utilicen cuando las cargas se encuentran en funcionamiento, se elimine la potencia reactiva de las líneas de distribución de energía eléctrica y la inversión económica en la instalación sea menor.

3. Compensación centralizada o principal: La potencia total del banco de capacitores, se instala en la acometida, cerca de los tableros de distribución de energía. La potencia total del banco de capacitores, se divide en varios bloques o escalones, comunicados con regulador automático que los conecta o desconecta en cada momento, según el consumo de la energía reactiva instantáneo (Chicaiza Díaz & Arcos, 2015). La compensación centralizada permite mayor aprovechamiento de la capacidad de los condensadores, mejor regulación del voltaje en el sistema eléctrico y la adecuación de la potencia del banco de capacitores, según los requerimientos de cada momento (Figura 1).

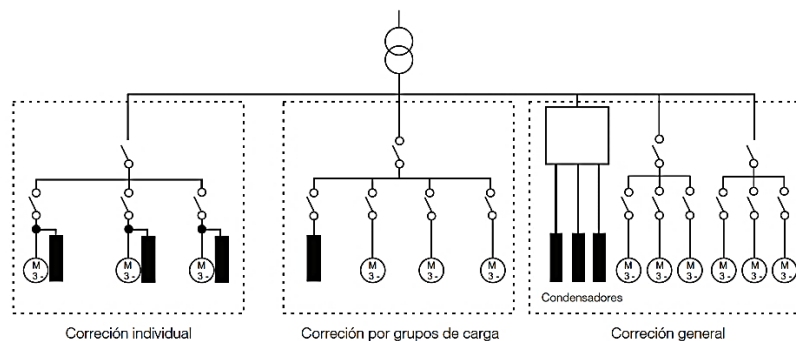


Figura 1. Formas de ubicación de los bancos de condensadores (Chicaiza Díaz & Arcos, 2015).

2.3. Mediciones de parámetros eléctricos

Se midieron los parámetros eléctricos: corriente, voltaje, potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia y consumo de energía, en los servicios 1, 2 y 4 de los estanques de camarones. Se utilizó un analizador de redes y un multímetro.

2.3.1. Comportamiento general de las magnitudes eléctricas

Los motores de inducción acoplados mediante accionamientos mecánicos a las paletas de rotación (aireadores) son las principales cargas a tener en cuenta a la hora del análisis de las variables y magnitudes eléctricas que influyen en el bajo factor de potencia por el que son penalizados en estos servicios. Las tensiones medidas en un panel característico para la conexión de estos motores, indican altos valores de voltajes de línea incrementando en cierta medida el consumo de potencia reactiva de la red influyendo a su vez en el factor de potencia (Figura 2).

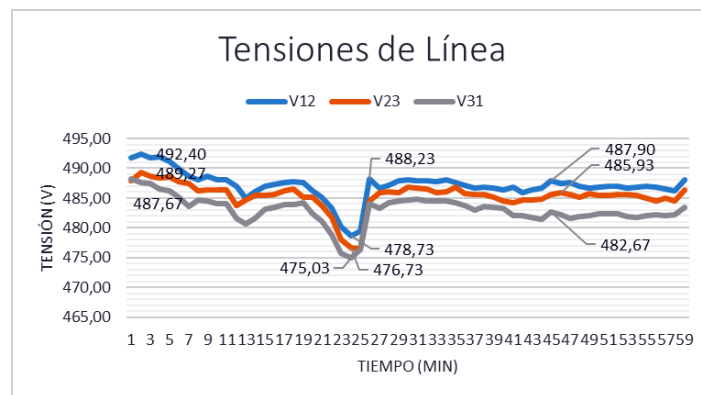


Figura 2. Comportamiento de las tensiones de línea.

El desbalance de tensión (DU): relación entre la máxima desviación de tensión con respecto al valor promedio, generalmente se expresa en % y las normas establecen, para motores eléctricos trifásicos asincrónicos, un valor que no excedan el 5 %). El desbalance de tensión obtenido de 0.45 % cumple lo establecido en las normas.

$$Du \% = \frac{\max[abs(U_{ab} - U_{prom}); abs(U_{bc} - U_{prom}); abs(U_{ca} - U_{prom})]}{U_{prom}} 100\% \quad [4]$$

Donde:

U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}, U_{prom}: Tensiones entre fases a y b, b y c, c y a y tensión promedio en Volt (V)

Teniendo en cuenta que el voltaje nominal de los motores es 460 V el desbalance de tensión respecto a este valor y las magnitudes medidas se encuentra aproximadamente en un 6 %, parámetro que no cumple con la norma para el funcionamiento de los motores eléctricos trifásicos asincrónicos. Las corrientes por cada fase muestran valores esperados sin variaciones de gran escala (Figura 3).

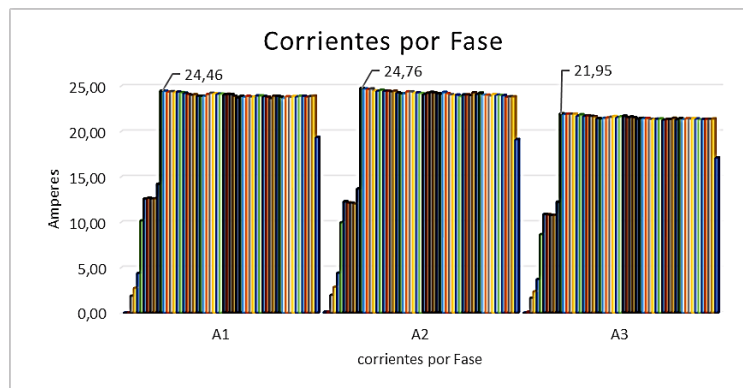


Figura 3. Distribución de las corrientes por fase.

En el estanque 45, sembrado con ejemplares, se encontraban instalados 10 aireadores para la oxigenación del agua. Se realizaron mediciones por una hora para monitorear el comportamiento de las variables eléctricas cuando se conectaba todos los motores. Este fue el único estanque en el que se pudo realizar mediciones donde estuvieran conectados el máximo número de aireadores, con sus protecciones sin afectaciones por el déficit de generación y la falta de fluido eléctrico. Se instaló el instrumento de medición y se comprobó el funcionamiento de los equipos instalados (Figura 4).



Figura 4. Vista de los aireadores en el estanque 45.

La figura 5 muestra el comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente en una hora de medición. En los primeros minutos se observa que los valores de potencias aumentan desde cero hasta alcanzar un máximo estable, manteniendo este

comportamiento durante todo el tiempo de medición debido a la conexión escalonada de los 10 motores para evitar los picos de corriente de arranque sostenidos.

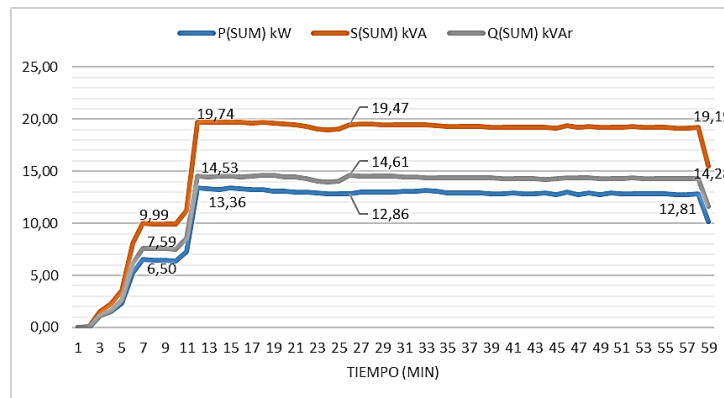


Figura 5. Comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente.

En la primera meseta estaban conectados la mitad de los motores, con valor de potencia activa equivalente a 6.5 kW, y potencia reactiva de aproximadamente 7.6 kVAR destacando la mayoría de reactivo para este momento, al conectar más carga se aprecia que las magnitudes de potencias reactiva se elevan proporcionalmente al aumento de carga, pero no varían su comportamiento, destacando los mayores valores de reactivo en la red. Esto queda reflejado en un bajo factor de potencia (Figura 6). Siguiendo el comportamiento de las cargas y el tiempo de conexión de éstas, se aprecia cómo se impone sobre el sistema el factor de potencia de los motores de inducción, principal carga del Servicio 4. De esta misma manera sucede en los Servicios 1 y 2. Antes de conectar los motores la medición registra un factor de potencia de aproximadamente 0.42, caracterizado por la conexión de un foco halógeno de 400 W.

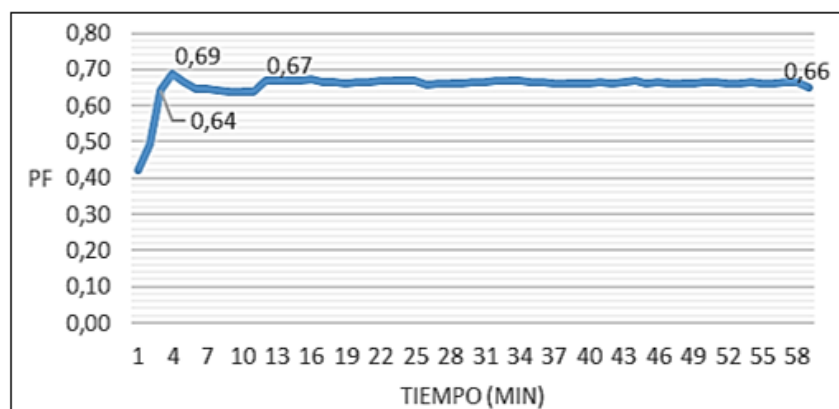


Figura 6. Factor de potencia en el estanque 45.

La potencia media que demanda el sistema cuando opera a carga máxima es de 13 kW para un factor de potencia medio de 0.66, de aquí se puede entender que el factor de potencia varía con la carga, pero al ser esta una carga estable en el tiempo la fluctuación de su valor llega cuando hay conexión o desconexión de cargas repentinamente. La figura 7 muestra el panel funcionando a carga normal y la forma en la que se adapta al servicio la potencia activa, reactiva, aparente y el factor de potencia.

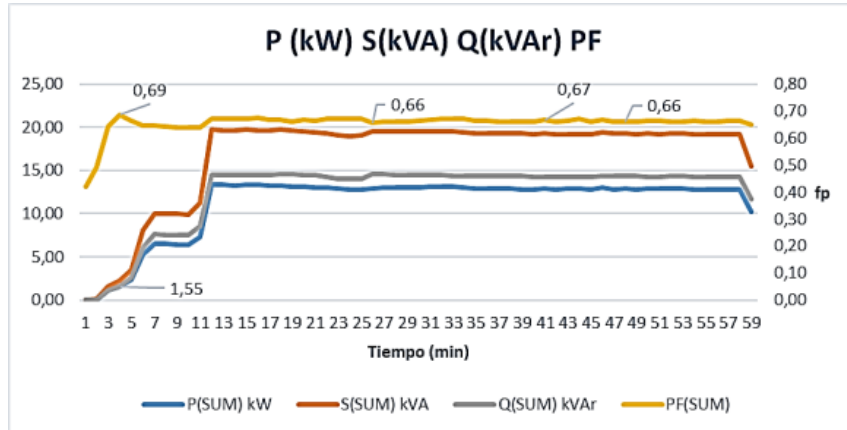


Figura 7. Relación de las potencias y el factor de potencia.

Se comprueba que el factor de potencia lo impone la carga que en este caso son los motores de inducción con valor medio de 0.66 y su vínculo estrecho con los altos y bajos valores de potencia reactiva y activa respectivamente.

3. Análisis de los resultados

3.1. Servicios de los estanques en función de las facturas

Los servicios 1, 2 y 4 suministran energía a los estanques de camarones, donde se utilizan aireadores para oxigenar el agua. Estos aireadores tienen un bajo factor de potencia (entre 0.35 y 0.89), lo que genera penalizaciones económicas. La figura 8 ilustra el comportamiento del factor de potencia en los servicios 1, 2 y 4 durante 2023.

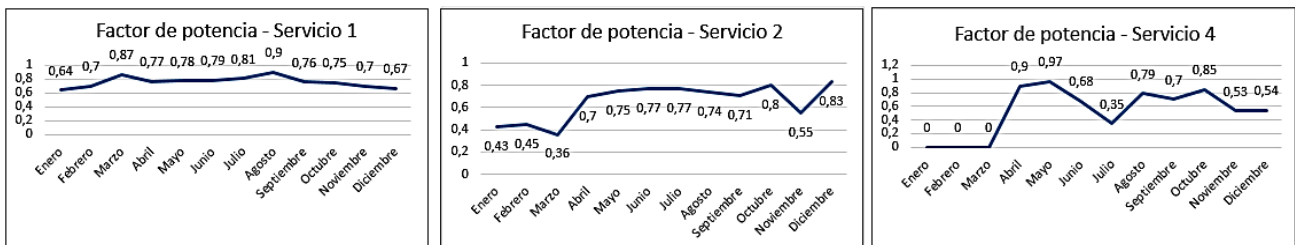


Figura 8. Comportamiento del factor de potencia en los servicios 1, 2 y 4 durante 2023.

En los tres servicios hay un comportamiento variable de esta magnitud, por el cual, la facturación final en todo el año fue superior a la facturación normal como se muestra en el análisis detallado en lo adelante para los servicios a los estanques.

Servicio 1: Cuenta con dos transformadores de 50 y 75 kVA en conexión incompleta, alimenta los aireadores en los estanques del 1 hasta el 9. La tabla 1 muestra el comportamiento del consumo de energía, las pérdidas por transformación y la facturación en los meses del año analizado.

Tabla 1. Comportamiento de parámetros energéticos en el servicio 1 (estanques 1 - 9)

Meses	Consumo mensual (kWh)	Pérd. Transf. (kWh)	Facturación normal (CUP)	Factor de potencia	Facturación total (CUP)
Enero	864	444	16297	0,64	22917,66
Febrero	1766	444	18172,69	0,7	23364,8
Marzo	631	401	15376,66	0,87	15906,89
Abril	11004	466	37997,51	0,77	44412,67
Mayo	14615	648	46849,85	0,78	54057,52
Junio	14731	482	50054,5	0,79	57024,11
Julio	1824	430	18600,65	0,81	20667,39
Agosto	444	0	15288,73	0,9	15288,73
Septiembre	3137	445	21474,69	0,76	25430,55
Octubre	7813		33700,04	0,75	36987,85
Noviembre	6085	452	27124,73	0,7	34874,65
Diciembre	7799	444	30388,41	0,67	40820,25
Promedio	5892,75	423,27	27610,46	0,76	32646,09

El factor de potencia es bajo y variable entre 64 y 87 % debido esencialmente a los aireadores, carga principal del servicio, donde la cantidad y su operación por estanques varía notablemente. El aireador tiene un factor de potencia bajo (65 %) (Figura 9).

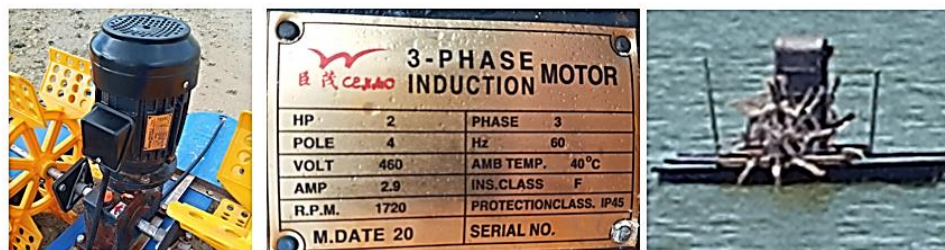


Figura 9. Vista general de un aireador.

La variación en el consumo de energía según el gráfico, está asociado a esta condición, así como las condiciones del estanque en función de la cantidad de camarón a cultivar y otros elementos tecnológicos al respecto.

Servicio 2: Corresponde a la alimentación de los estanques del 10 al 18 y al tercer bloque de estanques del 19 al 28, haciéndose a través de un banco de transformadores (3 x 75 kVA). En la tabla 2, se describen los parámetros analizados.

Tabla 2. Comportamiento de parámetros en el servicio 2 de los estanques.

Meses	Consumo mensual (kWh)	Pérd. Transf. (kWh)	Facturación normal (CUP)	Factor de potencia	Facturación total (CUP)
Enero	2137	601	15968,56	0,43	33422,57
Febrero	2125	601	15818,58	0,45	31637,16
Marzo	1382	542	13900,26	0,36	34750,65
Abril	10892	616	34530,39	0,7	44396,22
Mayo	16605	614	48064,81	0,75	57677,77
Junio	25652	676	73004,55	0,77	85329,99
Julio	22023	637	64788,82	0,77	75727,19
Agosto	14998	627	45357,52	0,74	55164,55
Septiembre	10056	613	33959,56	0,71	43047,33
Octubre	13270		40537,09	0,8	45604,23
Noviembre	13765	641	39948,48	0,55	65370,24
Diciembre	23021	634	63253,61	0,83	70844,25
Promedio	12993,83	618,36	40761,02	0,66	53581,01

Se demuestra que en el servicio 2 a los estanques, el factor de potencia es bajo y varía de 36 a 83 %, siendo la causa fundamental de las penalizaciones. En los tres primeros meses con consumos bajos y factores de potencia inferiores al 50 %, se pagó más del doble de lo correspondiente al consumo y en los siete meses restantes del año, la empresa fue penalizada con por cientos entre los 12 y 63 % por encima de la facturación normal por el consumo de energía medido.

Servicio 4: Alimentado por un banco de transformadores (3 x 50 kVA), para el resto de los estanques, a partir del 29. En la tabla 3 se muestra el comportamiento de los parámetros hasta ahora analizados.

Tabla 3. Parámetros para el servicio 4 a los estanques a partir del nº 29.

Meses	Consumo mensual (kWh)	Pérd. Transf. (kWh)	Facturación normal (CUP)	Factor de potencia	Facturación total (CUP)
Enero	0	0	0	0	0
Febrero	0	0	0	0	0
Marzo	0	0	0	0	0
Abril	4472	550	16563,68	0,9	16563,68
Mayo	791	531	9335,86	0,97	8946,86
Junio	3202	549	18166,81	0,68	24044,31
Julio	5218	546	22168,65	0,35	57005,1
Agosto	14835	575	41962,49	0,79	47805,37
Septiembre	2475	549	13364,18	0,7	17182,52
Octubre	645		9076,15	0,85	10339,92
Noviembre	705	548	9156,17	0,53	15548,21
Diciembre	2608	532	13405,29	0,54	22342,15
Promedio	3883,44	547,50	17022,14	0,70	24419,79

Hay variación en los consumos de energía y en el factor de potencia, siendo agosto muy alto en comparación con el resto del año. En julio se experimenta el menor valor de factor de potencia; por consiguiente, la facturación final por penalización fue de 257 % con respecto a la facturación normal por el consumo. Como se observa en el gráfico de la facturación desde mayo hasta diciembre fueron penalizados.

3.2. Mejoras propuestas

Para abordar el bajo factor de potencia, se propone la instalación de bancos de capacitores. Además, se recomienda el mantenimiento de los paneles eléctricos y el ajuste de las protecciones de los motores. La existencia de factor de potencia entre 0,35 y 0,89 en los tres servicios asociados de los estanques conduce a realizar una compensación de estos factores de potencia alterados según la norma.

El método de cálculo del Factor de Potencia ($\cos\phi$) es el resultado de la aplicación del coseno ϕ , que va con la arco-tangente de la división entre la energía reactiva (kVArh) y la energía activa (kWh), medida en un período de tiempo mayor de 24 horas o hasta el período de facturación (Pérez *et al.*, 2022).

$$\text{factor de Potencia} = \cos \left[\arctan \left(\frac{kVArh}{kWh} \right) \right] \quad [5]$$

La energía reactiva puede ser producida donde se consume, mediante bancos de capacitores, por lo que se penaliza o bonifica, como sigue: Bonificaciones por factor de potencia: Los clientes que registren un factor de potencia superior a 0,92 son bonificados según la siguiente ecuación donde la facturación normal no incluye penalizaciones y el factor de potencia es el real del período hasta un valor máximo de 0,96 (Gómez, 2020).

$$\text{Bonificación} = \text{Facturación normal} \left[\frac{0,92 - F. Pot. Real}{F. Pot. Real} \right] \quad [6]$$

Penalizaciones por Factor de Potencia: Si es inferior a 0,90, el cliente es penalizado. La penalización es el importe que resulte de la siguiente ecuación donde la facturación normal no incluye otras penalizaciones y el factor de potencia es el real del período.

$$\text{Penalización} = \text{Facturación normal} \left[\frac{0,90 - F. Pot. Real}{F. Pot. Real} \right] \quad [7]$$

- Se penaliza con un factor de potencia menor de 0,90.
- Entre 0,90 y 0,92, no habrá penalización ni bonificación.
- Se bonifica con un factor de potencia de 0,92 hasta 0,96.
- Cuando el factor de potencia sea mayor de 0,96, la bonificación se calcula utilizando el valor del factor de potencia hasta 0,96.

Atendiendo a ello, se analiza la posibilidad de compensación del factor de potencia con banco de capacitor para el servicio 4, teniendo en cuenta que en las mediciones el factor de potencia promedio mostrado con las mediciones realizadas de 0,66 (Tabla 4).

Potencia del banco de capacitor a instalar $Q_{cap0.95}$ por cálculo para factor de potencia 0,95:

$$Q_{cap0.95} = P_{real}(\tan\varphi - \tan\varphi_{deseado}) = 12,97(\tan(48,4^\circ) - \tan(18,19^\circ)) = 10.5 \text{ kVArC} \quad [8]$$

Donde:

Q_{cap} : Potencia del capacitor

P_{real} : Potencia activa real de la carga

φ_{real} : ángulo de defasaje real

$\varphi_{deseado}$: ángulo de defasaje deseado.

Tabla 4. Cálculo de la capacidad a instalar

Denominación	Valor	Áng. Grado	Tangente	$Q = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)$ kVArC
Factor de potencia por medición	0.66	48.36	3.179	
Factor de potencia deseado	0.95	23.074	0.426	10.5 kVArC

Esta compensación está calculada para un panel de 10 motores (compensación en grupo), que según el cálculo se estandariza a 15 kVArC, pero al tener 25 paneles en todo el área de cultivo (cada uno representa un grupo) se dificulta instalar una compensación por grupos de carga, los paneles donde se podrían instalar quedan distantes uno de los otros, los costos por cantidad de capacitores aumentan y por lo tanto, se sugiere una compensación centralizada para cada uno de los servicios en los módulos de los estanques, al evitarse costos adicionales y la instalación, vigilancia, monitoreo y mantenimiento del equipo es más sencillo.

Para el Servicio 4, al contar con 10 paneles, se requiere instalar 150 kVArC. Por consiguiente, los Servicios 1 y 2 necesitan 75 kVArC y 150 kVArC, respectivamente.

Se propone una batería automática LIFASA para la compensación centralizada del factor de potencia en instalaciones de baja tensión.

4. Discusión

4.1 Diagnóstico eléctrico

El diagnóstico revela que los servicios 1, 2 y 4 tienen un bajo factor de potencia, lo que resulta en penalizaciones económicas. En el servicio 1, el factor de potencia osciló entre 0.64 y 0.87, mientras que en el servicio 2 varió entre 0.36 y 0.83. En el servicio 4, el factor de potencia promedio fue de 0.66.

4.2 Corrección del factor de potencia

Se calculó la capacidad de los bancos de capacitores para cada servicio. El servicio 1 requirió un banco de 75 kVAr, el servicio 2 un banco de 150 kVAr, y el servicio 4 un banco de 150 kVAr. La instalación de estos bancos de capacitores aumentaría el factor de potencia a 0.95, eliminando las penalizaciones y generando ahorros económicos.

4.3 Impacto económico y ambiental

La corrección del factor de potencia resulta en ahorros anuales de 235,496.05 CUP para los servicios de los estanques. Además, las emisiones de CO₂ se reducen en 14,305.27 kg anuales. La tabla 5 ilustra los ahorros obtenidos.

Tabla 5. Ahorro total después de la conexión de los condensadores

Items	Servicio 1	Servicio 2	Servicio 4
Diferencia entre facturación total y normal	60427,61	80238,15	66967,84
Bonificación	10017,91	13953,06	3891,48
Ahorro Total (CUP)	70445,52	94191,21	70859,32

Haciendo un análisis estimado solamente de los costos de los condensadores se pueden relacionar las magnitudes que se expresan en la tabla 6.

Tabla 6. Costo de inversión y tiempo de amortización con la propuesta

Items	Servicio 1	Servicio 2	Servicio 4
Inversión Euro	1603	4178	4178
Inversión CUP	41 669.98	108 607.11	108 607.11
Amortización	0.59 (7 meses)	0.64 (8 meses)	1.53 (1 año y 6 meses)

Teniendo en cuenta los valores relacionados en las tablas 5 y 6, respecto a los tres servicios a los estanques, se obtendrían ahorros en el año equivalente a 235496,05 CUP lo que implica que el tiempo de amortización sea próximo a dos años y medio.

5. Conclusiones

El estudio demuestra que la compensación de la potencia reactiva mediante bancos de capacitores es una medida efectiva para mejorar la eficiencia energética en los estanques de la Camaronera Guajaca Frank País. La solución propuesta no solo reduce las penalizaciones económicas y eleva la eficiencia con la disminución de la potencia reactiva, la potencia aparente y el consumo de combustible, sino que también contribuye a la sostenibilidad ambiental al disminuir las emisiones de CO₂. Los resultados proporcionan la posibilidad de réplicas para mejorar la eficiencia energética en entornos industriales similares.

Referencias bibliográficas

- Ali, M.H., Al-Sumaiti, A.S., & Kumar, R. (2023). A comprehensive review of reactive power compensation technologies in modern power systems. *IEEE Access*, *11*, 78945-78967. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3294007>
- Ávila, L. A., & Segarra, J. C. (2022). Análisis de la eficiencia energética en los sistemas de distribución de bajo voltaje por medio de la reducción de armónicos. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, *3(6)*, 154-163. <https://doi.org/10.51798/sijis.v3i6.505>
- Cárdenas-Monné, L., & Baños-Martínez, M.A. (2024). Sistema de Gestión Integrada en Calidad, Medioambiente, Seguridad y Salud, Energía e Investigación+ Desarrollo+ Innovación. *Ingeniería Industrial*, *45(1)*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59362024000100076&script=sci_abstract&tlng=en
- Chicaiza Díaz, D.M., & Arcos López, E.R. (2015). *Diseño y construcción de un tablero de control automático para corrección del factor de potencia, empleando un Módulo DCRA*. [Bachelor's thesis, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/10583>
- Collins, M., & Tomalá, M. (2025). Desarrollo de algoritmos basados en inteligencia artificial para el diagnóstico predictivo de fallas en redes eléctricas y electrónicas. *Reincisol*, *4(8)*, 4117-4142. <https://www.reincisol.com/ojs/index.php/reincisol/article/view/1089>

- Diaconescu, I.L., Petrescu, L., Cazacu, E., Ioniță, V., & Petrescu, M. (2025). Reactive power compensation solutions in the metallurgical industry installations. *Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty*, 25(2), 74-81. <https://doi.org/10.2478/sbeef-2025-0012>
- Freire, L., Resabala, V., Castillo, J., & Corrales, B. (2019). Propuesta de un plan alternativo de optimización energética. *Espacios*, 40(30). <https://www.revistaespacios.com/a19v40n30/a19v40n30p04.pdf>
- García, C., & Aguado, J.A. (2019). Energy efficiency and power quality improvement in industrial plants using custom power devices: A case study. *Journal of Cleaner Production*, 231, 1123-1135. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.283>
- García, F.J., & Hernández, M.P. (2021). A methodology for energy audit in small and medium industries: From diagnosis to action plan. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47, 101234. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101234>
- Giha-Yidi, S.A. (2023). *Diseño de un sistema de compensación de energía reactiva para el mejoramiento del factor de potencia en el Pcc de un sistema Eléctrico Industrial con Armónicos*. [Tesis de Maestría, Universidad de la Costa]. https://redcol.minciencias.gov.co/Record/RCUC2_2ea275f95c1f9d7d23f5d507a9c3b674/Details
- Gómez, J.M. (2016). Análisis de la variación de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina. *Estudios gerenciales*, 32(139), 120-126. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0123592316300018>
- Gómez, J.F. (2021). Eficiencia energética en el sector industrial. *Cuadernos Orkestra*, 1(1), 1-12. <https://e-archivo.uc3m.es/entities/publication/032878b6-960c-47a5-9f53-ffc72171afa5>
- Lujano-Rojas, J.M., Dufo-López, R., Artal-Sevil, J.S., & Bernal-Agustín, J.L. (2026). Optimal Sizing and Placement of Reactive Power Compensation in Rural Distribution Networks Using an Experience Exchange Strategy. *Applied Sciences* 16(6). <https://doi.org/10.3390/app16063015>

- Majidzadeh, M., Esmaeeli, M., Afkar, H., Golshannavaz, S., & Li, Z. (2025). *Optimal reactive power planning in an industrial microgrid: A case study of Urmia Petrochemical Plant*. *Global Energy Interconnection*. <https://doi.org/10.1016/j.gloi.2025.02.005>
- Maldonado, V.A., Pérez-Rodríguez, J.A., & Rodríguez-Borges, C.G. (2025). Análisis de metodologías empleadas en los sistemas de gestión energética y sus indicadores. *Revista Científica FINIBUS-Ingeniería, Industria y Arquitectura*, 8(15), 103-111. <https://doi.org/10.56124/finibus.v8i15.011>
- Mondragón, J.A.A., Ricaurte, J.I.A., & Ricaurte, N.A. (2025). Eficiencia energética en sistemas mecánicos industriales. Estrategias de rediseño y automatización. *Cadernos Latino-Americanos de Engenharia, Tecnologia e Ciências Aplicadas*, 4(1), 2-8. <https://doi.org/10.56183/cladetec.v4i1.638>
- Martínez, F. & Gassinski, L. (2022). La eficiencia energética y el papel del mantenimiento en la misma. *Ingeniería Energética*, 43(2), 10-18. <http://scielo.sld.cu/pdf/rie/v43n2/1815-5901-rie-43-02-10.pdf>
- Pérez Donsión, M. (2016). *Calidad de la energía eléctrica*. Garceta Grupo Editorial. <https://www.donsion.org/libros/portada-CEE.pdf>
- Pérez, M., López, J., & Fernández, G. (2022). Techno-economic analysis of automatic capacitor banks for reactive power compensation in industrial facilities. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 58(2), 1123-1132. <https://doi.org/10.1109/TIA.2022.3142370>
- Ramos, J., Pérez, M., González, B.A., & Silverio, R. (2024). Aplicación para el estudio de la compensación de potencia reactiva. *Ingeniería Energética*, 45(1), 1-14. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9456610>
- Rueda, W.P. (2023). Diagnóstico energético del sistema de suministro eléctrico de la Universidad Técnica de Cotopaxi. *Revista Científica Arbitrada Multidisciplinaria Pentaciencias*, 5(6), 309-332. <https://doi.org/10.59169/pentaciencias.v5i6.8>

Silva, B.O., Santos, A.M., & Oliveira, L.C. (2018). Operational efficiency improvement in industrial motors through power factor correction: Experimental validation. *Electric Power Systems Research*, 163, 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.06.008>

Solis-Mora, V.S., & Gruezo-Valencia, D.F. (2022). La Inteligencia Artificial (IA) al servicio de la eficiencia energética en el Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 8(2), 600-621. <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v8i2.2665>

Valencia-Bautista, E.L., Angulo-Guerrero, R.J., Farfán-Bone, J.M., Verá-Lozano, C.J., Arboleda-Cheres, I.A., & Orobio-Arboleda, T.J. (2022). Una revisión del suministro de energía renovable y las tecnologías de eficiencia energética. *Polo del Conocimiento*, 7(4). <https://doi.org/10.23857/pc.v7i4.3934>

Vega, L. P., Bautista, K. T., Campos, H., Daza, S., & Vargas, G. (2024). Biofuel production in Latin America: A review for Argentina, Brazil, México, Chile, Costa Rica and Colombia. *Energy Reports*, 11, 28-38. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2023.10.060>

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses.

Contribución de autoría según taxonomía CRediT

Lián Blanco Cuba: Investigación/Redacción - borrador original/Diseño de la metodología/Validación

Víctor G. Rodríguez Durán: Investigación/Conceptualización/Diseño de la metodología

Odalys Robles Laurencio: Conceptualización/Investigación/Logística/Redacción - borrador original

Lester Zúñiga Ortíz: Investigación/Validación/Redacción - revisión y edición

Geidis Jardínez Correa: Investigación/Redacción - revisión y edición