

Estudio de carga en la Unidad Empresarial de Transporte Taller ESUNI de Moa

Load study at ESUNI Transport Workshop Enterprise Unit in Moa municipality

Victor Germán Rodríguez Durán vrduran@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>

Ángel Maceo Breff amaceo511@gmail.com⁽²⁾
<https://orcid.org/0009-0009-5617-154X>

⁽¹⁾ Universidad de Moa, Moa, Cuba ⁽²⁾ Empresa Mixta Moa Nickel S.A. Moa, Cuba

Resumen: Se presenta un diagnóstico energético de la Unidad Empresarial de Transporte Taller ESUNI de Moa, con el objetivo de caracterizar las cargas instaladas y analizar el bajo factor de potencia en su subestación de 440 V. Mediante mediciones eléctricas y el análisis de la facturación, se identificó que el factor de potencia promedio es de 0.3, por debajo del mínimo requerido de 0.9, lo que genera penalizaciones que representan en promedio el 57 % del importe total de la factura eléctrica. La causa principal radica en la operación a baja carga de motores asincrónicos, inherentemente inductivos. Se concluye que la solución técnicamente viable es la instalación de un banco de capacitores automáticos para compensar la energía reactiva, mejorar el factor de potencia por encima de 0.92 y eliminar las penalizaciones. Adicionalmente, se recomiendan medidas técnico-organizativas como la actualización del diagrama unifilar y mejoras en la infraestructura para optimizar la eficiencia energética de la instalación.

Palabras clave: carga de redes eléctricas, propiedades eléctricas, transformadores

Abstract: This research presents a diagnosis conducted at ESUNI Transport Workshop Enterprise Unit in Moa municipality, with the purpose of characterizing the installed loads and analyzing the low power factor in its 440 V substation. Through electrical measurements and billing analysis, it was determined that the average power factor is 0.3, significantly below the minimum required value of 0.9. This deficiency generates penalties that account for approximately 57 % of the total electricity bill. The main cause

lies in operating the asynchronous motors at low load, which are inherently inductive. The results reveal that the technically viable solution identified is the installation of an automatic capacitor bank to compensate for reactive energy, improving the power factor above 0.92, and eliminating penalties. Additionally, technical-organizational measures are recommended, such as updating the single-line diagram and improving infrastructure, to optimize the energy efficiency of the facility.

Keywords: electrical load networks, electrical properties, transformers

Introducción

Gran cantidad de los problemas del uso no eficiente de la energía en la industria y los servicios se deben a gestión inadecuada en la administración de estos recursos y no a la capacidad o actualización de la tecnología productiva o de servicios existente. En la actualidad es necesaria la eficiencia para alcanzar sistemas energéticos sostenible (Fernández Gómez, 2021; Giler-Sarmiento & Sandoya-Sánchez, 2022).

La energía eléctrica es un elemento relevante a nivel organizacional, que representa uno de los principales componentes para la producción, por lo que debe ser administrado responsablemente (Villamarín-Tapia *et al.*, 2023; Maldonado *et al.*, 2025). Según Fazendeiro & Simões (2021) los indicadores de eficiencia energética tienen la capacidad de guiar a las organizaciones en el sentido de la adopción de tecnologías más eficientes, lo que aporta en la consecución de metas de desarrollo sostenible en la sociedad como organizaciones socialmente responsables.

Existe un camino de baja inversión que logra reducir y controlar los costos energéticos actuales en la industria y los servicios fundamentalmente a través de medidas técnico-organizativas. Lo más importante para lograr la eficiencia energética en una empresa no es sólo que exista un plan de ahorro de energía, sino contar con un sistema de gestión energética que garantice el mejoramiento continuo (García & Hernández, 2021; Ladeuth, López & Socarrás, 2021).

Masapanta, Pazuña & Corrales (2025) advierten que en los edificios institucionales se presentan una gran demanda de energía eléctrica debido a sus funciones. La reducción del consumo energético es un objetivo prioritario para cualquier economía (Martínez, 2025; Alvarez & Concha, 2025). Todo trabajo en función del uso racional de la energía asignada es una acción importante en la gestión y optimización de la energía y los

recursos energéticos (López, 2017). Para las organizaciones empresariales es importante contar con un sistema de gestión energética debido a que los gastos de energía representan una parte importante de los costos operativos y su descenso favorece el desempeño y competitividad (Piñeres, Cabello & Hinojosa, 2022; Prado-Díaz et al., 2023).

El diagnóstico del consumo energético facilita comprender como se utiliza la energía en un sistema específico y determinar el consumo de las instituciones. El diagnóstico energético como herramienta inicial permite elaborar propuestas de planes de eficiencia energética en edificios públicos a la vez que ayuda a generar una conciencia sobre el consumo eficiente de la energía eléctrica (Bermejo, Cabello & Correa, 2022; Calla & Maldonado, 2023).

El edificio de la Unidad de Transporte Taller ESUNI pertenece al grupo empresarial Cubaníquel. Su función principal es brindar servicios de transportación a todas las entidades del grupo niquelífero, en los diferentes turnos de trabajo que posee, así como a otras dependencias del Ministerio de la Industria Básica. Presenta dos subestaciones, una para 440 V trifásico y otra para el servicio 220 V trifásico y monofásico; de ahí se deriva la presencia de tres tipos de cargas (trifásica 440 V, trifásica 220 V y monofásica 220 V). Esta diversidad de tensiones eléctricas, unido a la existencia de dos subestaciones complejiza el análisis de la influencia de las cargas y su efectividad energética. Estas subestaciones presentan una similitud en el tipo de conexión, trifásica incompleta, con dos transformadores de distribución; apropiada para cargas trifásicas de baja potencia, donde no se justifica un transformador trifásico por cuestiones económicas. En la instalación subsisten problemas de configuración original del sistema eléctrico que pueden generar dificultades para la operación normal, como la inexistencia de un plano que identifique las cargas.

En el presente trabajo se realiza un diagnóstico de caracterización de las cargas instaladas, el análisis del factor de potencia, y se proponen medidas técnico-organizativas con el objetivo de suprimir problemas asociados al consumo energético y las penalizaciones por bajo factor de potencia en la subestación de 440 V de la Unidad Empresarial de Transporte Taller ESUNI de Moa.

Materiales y métodos

Para el desarrollo del trabajo se utilizó el Método de la Medición en las comprobaciones de las diferentes magnitudes de forma numérica, cuantitativa y gráfica en los equipos del sistema de distribución como motores y cargas en general.

El diagnóstico energético se desarrolló mediante una metodología de auditoría energética preliminar, basada en la norma ISO 50001, que combinó la inspección *in situ*, mediciones eléctricas y el análisis de datos de facturación. El trabajo se ejecutó en las siguientes etapas:

1. Inspección y levantamiento de campo: Se identificaron y caracterizaron todas las cargas eléctricas conectadas a la subestación de 440 V. Se recopiló la información de placa de los equipos principales (tornos, taladros, segueta, máquina de soldar) para registrar sus potencias nominales y condiciones de operación. Se realizó la verificación de la configuración del sistema de alimentación, identificando la existencia de dos subestaciones (440 V y 220 V) y la ausencia de un diagrama unifilar actualizado.

2. Mediciones eléctricas, donde se valoraron:

- Instrumentación: Se utilizó un analizador de redes eléctricas portátil de clase A (según IEEE Std 1159-2019), capaz de registrar valores promediados de tensión, corriente, potencia activa (P), potencia reactiva (Q), potencia aparente (S) y factor de potencia (FP).
- Procedimiento: Las mediciones se realizaron en la subestación de 440 V durante un período continuo de 2 horas, capturando datos en intervalos de 1 min. Este período fue seleccionado por ser representativo de la operación normal del taller, con el funcionamiento del torno activo y la eventual conexión esporádica de otras cargas.
- Parámetros medidos: Se registraron los valores mínimos, máximos y medios de las tensiones fase-fase (V_{ab} , V_{bc} , V_{ca}), las corrientes de línea (I_a , I_b , I_c), las potencias (P, Q, S) y el factor de potencia.

3. Análisis de datos de Facturación: Se analizaron las facturas eléctricas de un año para determinar el comportamiento histórico del consumo de energía activa (kWh) y reactiva (kVArh), la demanda máxima y el factor de potencia mensual calculado por la empresa eléctrica. También se calculó el porcentaje de penalización mensual en el importe total de la factura utilizando la fórmula establecida por la regulación nacional.

4. Cálculo de la compensación de energía reactiva: Partiendo de la potencia activa media (P) medida y del factor de potencia promedio obtenido de la facturación, se calculó la potencia reactiva (Qc) necesaria para elevar el factor de potencia a 0.92 y a 0.96, utilizando la metodología estándar.

El método de cálculo del factor de potencia ($\cos\phi$): Es el resultado de la aplicación del coseno ϕ , a 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, hasta el período de facturación. Para el cálculo del Factor de Potencia se utiliza la ecuación:

$$\text{Factor de Potencia} = \cos\left(\arctan\left(\frac{\text{kVArh}}{\text{kWh}}\right)\right)$$

La energía reactiva puede ser producida donde se consume, mediante bancos de capacitores, por lo que se penaliza o bonifica.

Bonificaciones por factor de potencia: Los clientes que registren un factor de potencia superior a 0,92 son bonificados. La facturación normal no incluye penalizaciones y el factor de potencia es el real del período hasta un valor máximo de 0,96 (González, 2018).

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

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

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

- 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.

Levantamiento de carga 440 v

Las cargas se caracterizan por un régimen de trabajo discontinuo y no coincidente, salvo en ocasiones que pueda ocurrir simultaneidades de equipos operando desde 440 V al unísono (Tabla 1).

Tabla 1. Relación de equipos de 440 V y potencias

No.	Descripción	Potencia
1	Torno 1 (en mantenimiento)	3,6 kW
2	Torno 2 (activo)	3,6 kW
3	Taladro 1	3,5 kW
4	Taladro 2	3,2 kW
5	Segueta mecánica	3,7 kW
6	Máquina de soldar	10 kW

La potencia de cada equipo la definen los motores eléctricos y/o transformadores que lo conforman. El factor de potencia se asocia a cada equipo; mientras menos potencia activa demande el trabajo, menor será su valor. Así el torno activo tendrá un menor valor para cuando solo funciona la bomba de lubricación y será mayor para el barrenado.

Comportamiento general de las magnitudes de potencia activa (P), reactiva (Q) y aparente (S) para la subestación 440 V

En la subestación de 440 V se verificó la existencia de las conexiones para dar servicio trifásico. Se comprobó que las mediciones del registrador de energía y demanda instalada estaban correcto y sus mediciones se corresponden con lo que sucede en el circuito interno (la carga) (IEEE Std 1159-2019).

La figura 1 muestra el comportamiento general de las mediciones de potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia, realizadas durante dos horas. En este período el comportamiento del factor de potencia no superó el valor de 0,70. Las mediciones se realizaron con la instalación funcionando a carga normal y a la forma que se adapta el servicio. Durante las mediciones se encontraba en funcionamiento el torno y otras cargas esporádicas.

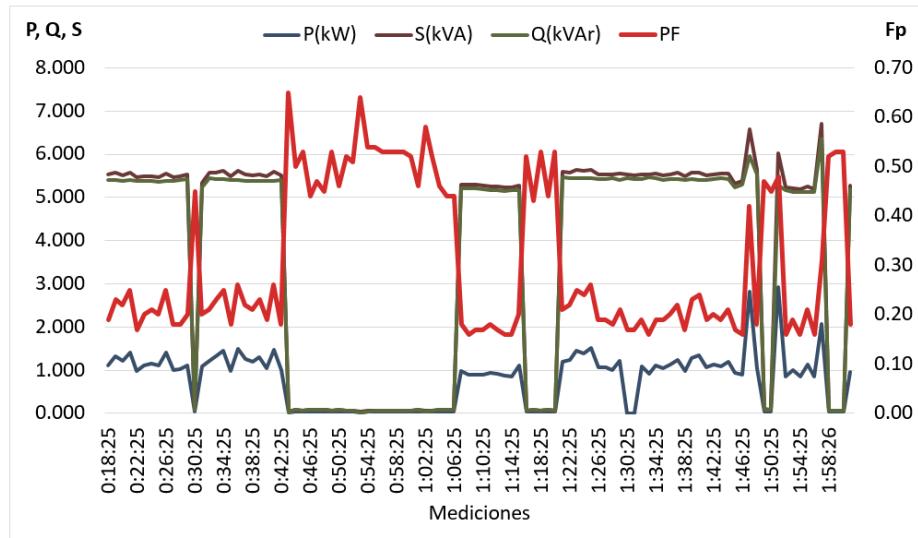


Figura 1. Comportamiento subestación 440 V.

De las mediciones realizadas y el comportamiento descrito en la figura 1 se deriva el trabajo discontinuo de la carga de 440 V. Las tensiones se ubican en los valores establecidos y las corrientes dependen de la potencia que se demande por cada equipo, de ahí que en ocasiones muestren valor cero, como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 2. Estadística general de las mediciones

	Vab (V)	Vbc	Vca	Ia (A)	Ib (A)	Ic (A)	P(kW)	S(kVA)	Q(kVAr)	PF
Mínimo	460,7	450,8	457,5	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
Medio	464,5	455,2	461,4	4,9	4,2	4,7	0,8	3,7	3,6	0,3
Máximo	468,5	459,5	463,8	10,3	8,5	8,0	2,9	6,7	6,4	0,7

La potencia activa máxima registrada fue de 2,9 kW. Sin embargo, la potencia reactiva fue de 6,4 kVAr, que condiciona el bajo factor de potencia, siendo superior a la potencia activa y casi igual a la potencia aparente o total (S).

El desbalance de tensión (DU): relación entre la máxima desviación de tensión con respecto al valor promedio, se expresa en % y las normas establecen, para motores eléctricos trifásicos asincrónicos, un valor que no excedan el 5 % (González, 2018).

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

$$DU\% = \frac{\max[abs(464,5 - 460,4); abs(455,2 - 460,4); abs(461,4 - 460,4)]}{460,4} \cdot 100\% = 1,12\%$$

El desbalance de tensión 1,12% cumple según lo establecido en las normas (hasta 5%).

La figura 2 muestra el comportamiento de las potencias. Se observa la no existencia de cargas o valores ceros; sin embargo, durante el trabajo “normal” la potencia activa siempre resulta menor que la potencia reactiva, eso se justifica porque los motores que accionan el torno (en el momento de la medición) tiene una potencia inferior a la que tiene por diseño. Los motores asincrónicos tienen por defecto bajo factor de potencia y operando a baja carga se acrecienta este aspecto.

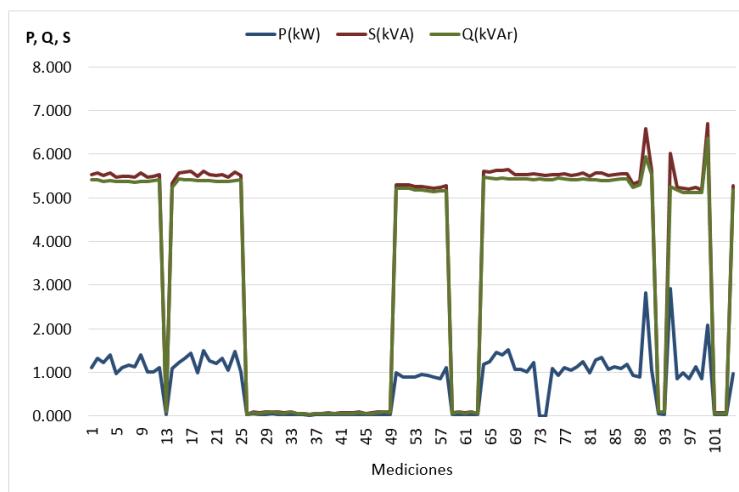


Figura 2. Potencia activa, reactiva y aparente para 440 V.

El factor de potencia tiene una variación que caracteriza la carga. De acuerdo con la facturación eléctrica serán penalizado por sus bajos valores. Según las mediciones realizadas, la potencia media que demanda el sistema es de 1 kW con un factor de potencia de 0,3. De ello se puede deducir que el factor de potencia es variable con el estado de carga de los transformadores y la forma en que sucede, lo cual puede arrojar en determinados momentos valores altos y en otros valores bajos; sin embargo, por la expresión de cálculo de la Unión Nacional Eléctrica puede resultar por debajo de 0,9 para el mes que se factura y resultar la unidad empresarial penalizada (Figura 3).

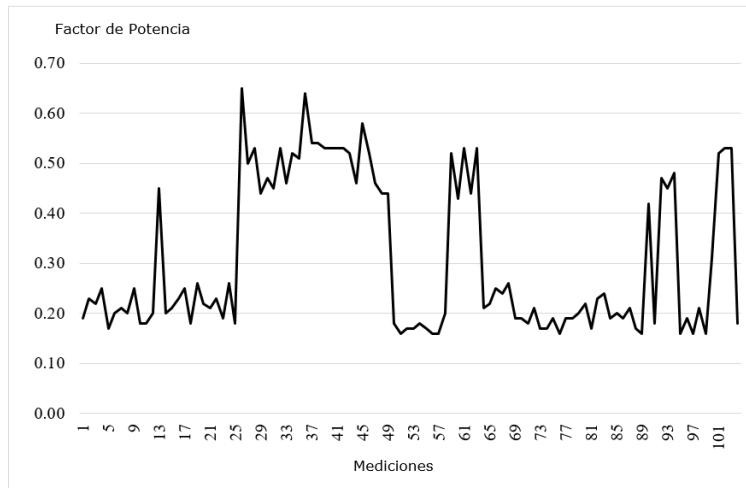


Figura 3. Factor de potencia subestación 440 V.

Análisis de la factura eléctrica

La factura muestra la irregularidad del comportamiento del consumo de energía a lo largo del año, con valores arbitrarios de 442 kWh hasta un máximo de 658 kWh en meses, lo que incluye las pérdidas por transformador ($208 \div 424$ kWh sin pérdidas por transformador). La demanda real siempre es inferior a la contratada. Es destacable el bajo factor de potencia y la relación promedio de 57 % del importe por penalización, con respecto al importe total, que se paga por factura, como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3. Resumen de facturación

	kWh	Importe	kVAh	Fp	Penalización	Imp. Total	Pen/ImpTotal	kWhreal
Mínimo	442,00	3475,40	527,00	0,30	3089,51	7723,77	0,40	208,00
Medio	532,86	3830,44	779,29	0,39	5177,43	9007,88	0,57	298,86
Máximo	658,00	4634,26	1057,00	0,54	7206,90	10810,35	0,67	424,00

El factor de potencia se determina a partir de los kWh reales, no incluye las pérdidas por transformación, por ello su valor es más reducido (Figura 4).

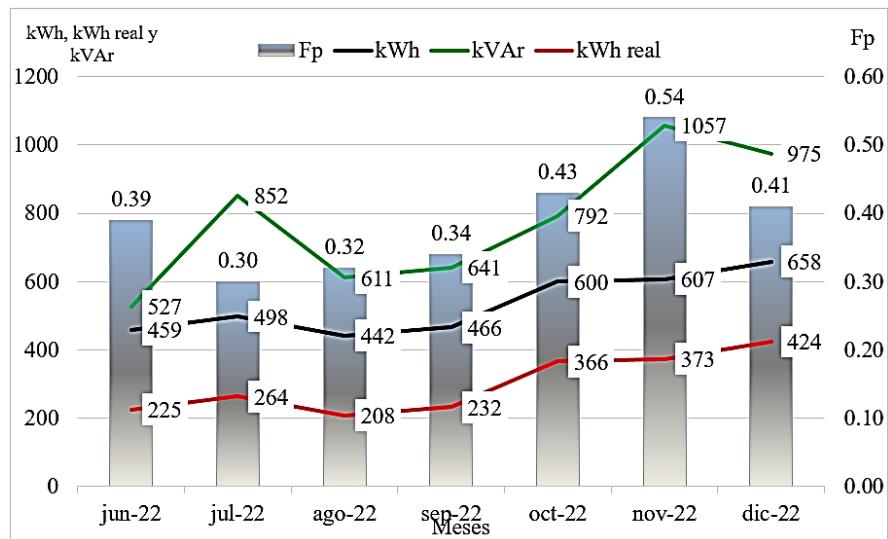


Figura 4. Recopilación factura eléctrica (2022). Consumo y factor de potencia.

Una representación visual del importe pagado por factura y su desglose en total, por penalización se muestra en la figura 5. El bajo factor de potencia radica en la potencia instalada.

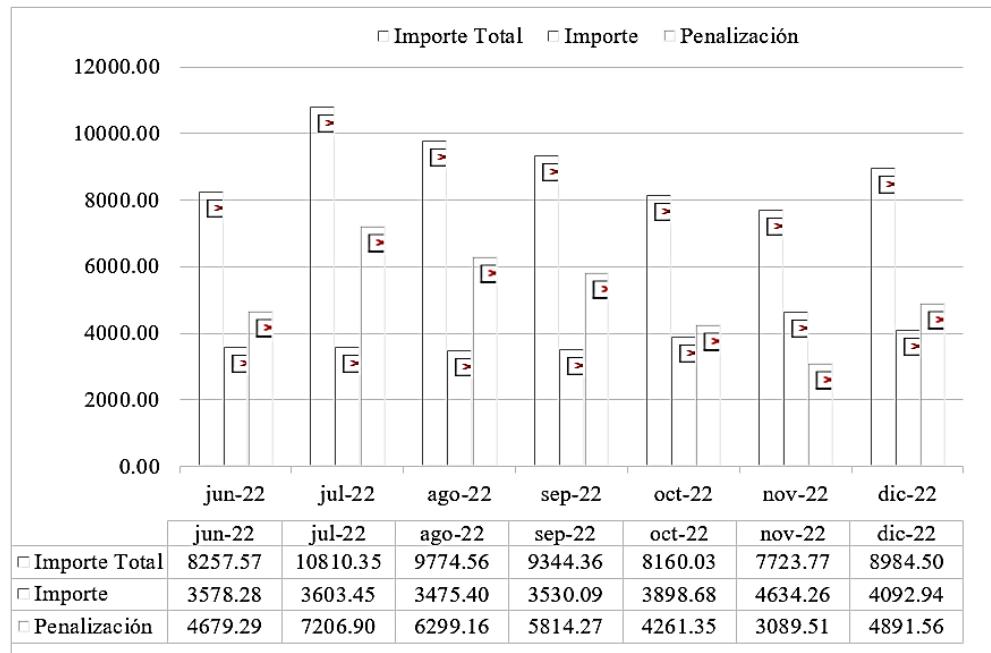


Figura 5. Recopilación factura eléctrica (2022). Importe.

El análisis de compensación del factor de potencia con banco de capacitor, se refleja en la Tabla 4.

Tabla 4. Cálculo de la capacidad a instalar

	Valor	Áng. Grado	Tangente	Q = P(tg1-tg2) kVArC
Factor de potencia por factura	0,30	72,542	3,179	
Factor de potencia deseado	0,92	23,074	0,426	2,754 kVArC
Factor de potencia deseado	0,96	16,260	0,292	2,888 kVArC

Potencia del banco de capacitor a instalar por cálculo para factor de potencia 0,92

$$qcap_{0,92} = P_{real} (\tan \varphi_{real} - \tan \varphi_{deseado}) = 1(\tan 72,542 - \tan 23,074) = 2,754 kVArc$$

Potencia del banco de capacitor a instalar por cálculo para factor de potencia 0,96

$$qcap_{0,96} = P_{real} (\tan \varphi_{real} - \tan \varphi_{deseado}) = 1(\tan 72,542 - \tan 16,26) = 2,888 kVArc$$

Medidas técnico-organizativas para mejorar la eficiencia energética

Para el logro de la eficiencia energética en la Unidad Empresarial de transporte Taller ESUNI de Moa se propone mejorar la impermeabilización del techo como medida para evitar accidentes y preservar el equipamiento eléctrico de la empresa.

De igual manera es necesario actualizar el diagrama monolineal, especificando las cargas conectadas a 440 V y a 220 V, lo cual facilitará el análisis del uso de la energía en el área y la posibilidad de definir con exactitud las causas que provocan anomalías en el comportamiento de las variables energéticas como el factor de potencia y el grado de carga de cada equipamiento.

Conclusiones

El factor de potencia del sistema eléctrico está definido por el trabajo de los equipos principales, los cuales son de un bajo valor, por tanto, siempre existirá la posibilidad de penalización.

La potencia instalada en los transformadores, excede en mucho la carga trifásica.

La existencia de dos servicios trifásicos (440 V y 220 V) y monofásicos (220 V y 110 V) complejiza el sistema interno de distribución del consumo.

Se debe analizar posibilidad de brindar esos servicios con otro sistema o subestación, 440 V directamente y transformadores secos de 440 a 220 V trifásicos, así no es necesario dos líneas de alimentación.

La compensación con bancos automáticos se puede realizar en pizarra principal con valor de entre 2,75 y 2,88 kVArC.

Referencias bibliográficas

- Alvarez, J.V. & Concha, J.A. (2025). Incidencia de la crisis energética en los costos de producción en empresas manufactureras. *Revista científica Zambos*, 4(1), 226-248. <https://revistaczambos.utelvtsd.edu.ec/index.php/home/article/view/88>
- Bermejo, F.A., Cabello, J.J., & Correa, J. (2022). Diagnóstico energético como elemento de la gestión energética municipal en Colombia: caso estudio municipio de Sabanalarga. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(6), 378-387. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2218-36202022000600378&script=sci_arttext
- Calla, M.A. & Maldonado, R.A. (2023). Diagnóstico energético como elemento de gestión energética: caso de estudio Empresa Industrial Tapia SAC. ÑAWPARISUN *Revista de Investigación Científica de Ingenierías*, 4(3), 67-75. <https://doi.org/10.47190/nric.v4i3.261>
- Fazendeiro, L.M., & Simões, S.G. (2021). Historical variation of IEA energy and CO₂ emission projections: Implications for future energy modeling. *Sustainability*, 13(13), 7432. <https://doi.org/10.3390/su13137432>
- Fernández Gómez, J. (2021). Eficiencia energética en el sector industrial. *Cuadernos Orkestra*, 1(1), 1-12.
- 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. <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.

Giler-Sarmiento, J.A., & Sandoya-Sánchez, F.F. (2022). Análisis sobre un modelo matemático aplicado al reparto óptimo de carga eléctrica. *Revista Científica Multidisciplinaria Arbitrada Yachasun*, 6(11), 34-70.
<http://editorialibkn.com/index.php/Yachasun/article/view/265>

González, C.A. (2018). *Calidad de Energía Eléctrica: Armónicas, Factor de Potencia y Filtros Activos*. Editorial Reverté.

IEEE Std 1159-2019. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.

ISO 50001:2018. *Sistemas de Gestión de la Energía. Requisitos con orientación para su uso*.

Kumar, S., & Patel, D.R. (2020). *Impact of Low Power Factor on Electricity Cost in Industrial Sectors: A Case Study and Mitigation Strategies*. *Energy Reports*, 6.
<https://doi.org/10.1016/j.egyr.2020.05.018>

Ladeuth, Y.M., López, D.D., & Socarrás, C.A. (2021). Diagnóstico del consumo de energía eléctrica en la planificación de un sistema de gestión y norma técnica de calidad ISO 50001:2011. *Información Tecnológica*, 32(1), 101-112
<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642021000100101>

López, R., & Vega, J.M. (2017). *Auditorías Energéticas en Instalaciones Industriales*. Paraninfo.

Maldonado, V., Pérez-Rodríguez, J., & Rodríguez-Borges, C. (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>

Martínez, F. (2025). Metodología para disminuir el consumo energético en empresas y activos industriales. *Revista Cubana de Educación Superior*, 44(2), 258-276.
<https://revistas.uh.cu/rces/article/view/11248>

Masapanta, E.A., Pazuña, W.P., & Corrales, J.I. (2025). Análisis de la eficiencia energética de las instalaciones del Edificio Académico del Bloque A de la UTC, Extensión La Maná. *Journal of Economic and Social Science Research*, 5(3), 63- 77.
https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v5/n3/2_06

Pérez, M. &, López, J., Fernández, G. (2022). *Techno-Economic Analysis of Automatic Capacitor Banks for Reactive Power Compensation in Industrial Facilities*. Revista: IEEE Transactions on Industry Applications, 58(2).
<https://doi.org/10.1109/TIA.2022.3142370>

Piñeres, A., Cabello, J.J., & Hinojosa, M. (2022). Factores determinantes para la evaluación de la eficiencia energética en las organizaciones: una visión desde las condiciones de Colombia. *Revista Universidad y Sociedad*, 14(2), 509-520.
<https://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus/article/view/2732>

Prado-Díaz, J.F., Pérez-Lobaina, Y., Bolaño-Rodríguez, Y., & González-Cañedo, A. (2023). Diagnóstico de la Capacidad de Gestión Energética de la Empresa. *Ingeniería Industrial*, XLIV(2), 1-19. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1815-59362023000200175&script=sci_arttext

Silva, B.O., Santos, A. M., & Oliveira, L.C. (2018). *Operational Efficiency Improvement in Industrial Motors through Power Factor Correction: Experimental Validation*. Revista: Electric Power Systems Research, 163.
<https://doi.org/10.1016/j.epsr.2018.06.008>

Villamarín-Tapia, E. R., Pérez-Rodríguez, J. A., & Rodríguez-Borges, C. G. (2023). Solar panels as an energy saving alternative in the Monteverde maritime dock, Santa Elena, Ecuador. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies*, 4(1).
<https://doi.org/10.51798/sijis.v4i1.623>