

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN
CIENCIAS ADMINISTRATIVAS

Influencia del inventario de medidor residencial en las pérdidas de energía de la Unidad de Negocio Manabí

Residential meter inventory influence on energy losses in the Manabí Business Unit

Manuel José Moreira Moreira ^I, Elisa Juverly Zambrano Zambrano ^{II}

^I. Maestría en Administración de Empresas, Facultad de Posgrado, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador

Email: mmoreira8000@utm.edu.ec, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-2272-5132>

^{II}. Facultad de Ciencias Administrativas y Económicas, Universidad Técnica de Manabí, Portoviejo, Manabí, Ecuador.

Email: elisa.zambrano@utm.edu.ec, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3268-1109>

Recibido: 10/07/2024

Revisado: 15/07/2024

Aprobado: 16/07/2024

Publicado: 01/10/2024

RESUMEN

La energía eléctrica es un factor esencial para lograr el desarrollo económico y social de cualquier país. Actualmente la sociedad tiene como objetivo hoy lograr un mayor rendimiento en el consumo de energía, lo que requiere de un aumento de la eficiencia. Uno de los factores influye directamente en ello son las pérdidas eléctricas. Existen dos tipos de pérdidas: las técnicas y las no técnicas o comerciales. Gran parte de las pérdidas no técnicas se debe a la poca efectividad de los sistemas de facturación y de la calidad de los instrumentos de medición. Un elemento que juega un papel imprescindible en la medición y facturación de energía es el medidor eléctrico. Por ende, es necesario llevar el control de los ingresos, egresos y utilización. El objetivo de la investigación es analizar la incidencia que tiene el inventario de medidores en las pérdidas de energía de la unidad de negocios de Manabí. Para ello se desarrolló una investigación con un enfoque mixto, de carácter descriptivo y correlacional y un diseño es no experimental. Durante el desarrollo del estudio se comprobó que el ingreso de medidores a CNEL EP unidad de negocio Manabí durante el periodo analizado ha sido fluctuante. Por lo que no se llega a cumplir las demandas de la población, influyendo en el aumento de las pérdidas eléctricas.

PALABRAS CLAVE: Electricidad; pérdidas; medidores eléctricos; pérdidas comerciales



ABSTRACT

Electrical energy is an essential factor to achieve the economic and social development of any country. Currently, society's objective is to achieve greater performance in energy consumption, which requires an efficiency increase. One of the factors that directly influences is electrical losses. There are two types of losses: technical and non-technical or commercial losses. A large part of the non-technical losses is due to the ineffectiveness on billing systems and the quality of the measuring instruments. An essential element in energy measurement and billing is the electric meter. Therefore, it is necessary to keep track of income, expenses and use. The objective of the research is to analyze the impact that the meter inventory has on the energy losses of the Manabí Business Unit. This research was developed with a mixed approach, descriptive and correlational in nature and a non-experimental design. During the development of the study, it was found that the income of meters to CNEL EP Manabí Business Unit during the period analyzed has been fluctuating. Therefore, the demands of the population are not met, influencing the increase in electrical losses.

KEYWORDS: Electricity; losses; electricity meters; commercial losses.

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es un factor esencial para lograr el desarrollo económico y social de cualquier país (Karthick et al., 2021). Los servicios energéticos se han tornando indispensables para la satisfacción de las necesidades humanas (Vogel et al., 2021). Con el desarrollo de la economía mundial la demanda de energía ha aumentado paulatinamente (Valdés González et al., 2020). Según estudios realizados el crecimiento del consumo de electricidad promedio anualmente debe aumentar alrededor del 1% durante el período 2019-2050 (Cascone et al., 2023).

La sociedad tiene como objetivo hoy lograr un mayor rendimiento en el consumo de energía, lo que requiere de un aumento de la eficiencia (Iturralde Carrera et al., 2021). Uno de los factores que influye directamente en la eficiencia de una red eléctrica es el porcentaje en que se pueden disminuir las pérdidas (Sigas Martínez et al., 2024).

Dentro de la red eléctrica las pérdidas totales de energía se calculan como la diferencia entre la energía total de la red (subestaciones de distribución) y la energía facturada. Existen dos tipos de pérdidas: las técnicas y las no técnicas o comerciales (Toledo Orozco et al., 2021). Estas últimas dependen de la efectividad de los sistemas de facturación y de la calidad de los instrumentos de medición (Pérez García et al., 2019). Sus causas están dadas fundamentalmente por Glauner et al. (2017):

- Manipulación del medidor para registrar un menor consumo



- Robo de corriente de la red evadiendo los medidores.
- Incorrectas lecturas del medidor arreglados por medio de sobornos.
- Medidores defectuosos o rotos.
- Corriente no medida.
- Errores técnicos y humanos en las lecturas de medidores y facturación.

Como se analiza, gran parte de las pérdidas se deben a la manipulación del medidor y a la falta de supervisión de estos. El medidor es un equipo imprescindible en la cantidad de energía a facturar a los clientes, por ende, es necesario llevar el control de los ingresos, egresos y utilización del contador de energía. De esta forma, el uso de medidores parte por la atención de solicitudes de servicio nuevo y cambios de medidores.

La Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP gestiona la adquisición de medidores en compras corporativas, basadas en las necesidades de las Unidades de Negocio, estoqueando las bodegas de las unidades de negocio según su necesidad. La Unidad de Negocio Manabí (UN Manabí) gestiona el stock de medidores que ingresan a las bodegas para la atención de solicitudes de servicios nuevos y cambios de medidores por mantenimiento. Sin embargo, estos últimos años ha existido escasez de medidores, impidiendo la atención de solicitudes debido al bajo inventario de medidores residenciales, mermando la competitividad de la empresa eléctrica.

El objetivo de la investigación es analizar la incidencia que tiene el inventario de medidores en las pérdidas de energía de la Unidad de Negocios de Manabí.

MÉTODOS

La investigación tiene un enfoque mixto, que combina elementos cuantitativos y cualitativos, lo que permite conocer la estadística de los resultados anteriores y experiencias del personal inmerso en el área de control de energía.

El alcance de la investigación es correlacional al tratar de determinar si las variables están relacionadas (Romero Carazas et al., 2024), es decir, si el inventario de medidores tiene influencia sobre las pérdidas eléctricas. Con un diseño de investigación no experimental ya que se estudia y analiza las diferentes situaciones sin provocar cambios en ellas (Durán Seguel et al., 2020)

La variable independiente es el inventario de medidores y la dependiente las pérdidas eléctricas. A continuación, se plantea como hipótesis de la investigación: Existe relación entre el inventario de los medidores y las pérdidas eléctricas la Unidad de Negocio Manabí.

Se utilizaron métodos teóricos, empíricos y matemáticos para el desarrollo del marco teórico referencial, el estudio del problema científico, y la comprobación de la hipótesis.

Del nivel teórico, se utilizó:



- El histórico-lógico para el estudio crítico de trabajos anteriores, y utilizar estos como punto de referencia y comparación de los resultados alcanzados.
- El analítico-sintético que facilitó el procesamiento de la información teórica y los datos empíricos facilitando la descomposición del problema de investigación en distintos módulos, profundizando en el estudio de cada uno de ellos.
- El inductivo-deductivo que propició la determinación de inferencias y generalizaciones.

Del nivel empírico:

- La observación científica facilitó la obtención de información acerca del de los medidores y las pérdidas eléctricas.
- El análisis de documentos a partir de la información de la empresa eléctrica.

La triangulación metodológica permitió comparar la información obtenida a través de los diferentes métodos aplicados; facilitando el análisis del objeto de estudio y arribar a puntos de coincidencia y divergencia al respecto.

De los matemáticos, se utilizó la estadística descriptiva para el análisis de frecuencias y el cálculo porcentual. Se diseñaron tablas y figuras que permitieron una mejor visualización de los resultados.

RESULTADOS

Según el Plan Estratégico 2021-2025 de la Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP (CNEL EP, 2022), la energía disponible del sistema en ha crecido en un 21% los últimos 5 años, por desgracia, las pérdidas de energía también lo han hecho, aumentando desde un 14,46 % en el 2017 hasta un 16,30 en el 2021 (Tabla 1).

Tabla 1. Balance energético.

Balance Energético	Energía disponible sistema (GWh)	Energía facturada (GWh)	Pérdidas de energía (GWh)	Pérdidas de energía (GWh)
2017	14.305,95	12.238,01	2.067,94	14,46%
2018	15.045,32	12920,87	2.124,45	14,12%
2019	16.093,97	13713,49	2.380,48	14,79%
2020	16.310,13	13696,51	2.613,62	16,02%
2021	17.253,15	14440,90	2.812,25	16,30%

Fuente: CNEL EP (2022).

CNEL Manabí tiene un área de servicio que representa el 9,4 % del total nacional y brinda servicios a 337.497 clientes (Figura 1). El suministro de energía lo recibe a través de seis puntos de conexión del Sistema Nacional Interconectado (S.N.I), más dos pequeñas centrales de generación térmica inmersas en las redes de distribución (17.34 MW) y de dos minicentrales de generación fotovoltaica particulares por un total de 1.5 MW.





Figura 1. CNEL Manabí, clientes y territorio.

Fuente: (CNEL EP, 2024).

A partir de enero de 2011, la facturación de venta al usuario final corresponde al mes de consumo y no al mes de emisión (con esto se consigue comparar pérdidas con el mismo mes de compra al Ministerio de Energía y Minas).

- Las pérdidas totales de energía a diciembre 2021 fueron de 503.89 GWh, lo que representa un 24,90% de la energía disponible (8,64% pérdidas técnicas y 16,26% no técnicas) (CNEL EP UN Manabí, 2022).
- Las pérdidas totales de energía del 2022 fueron de 548.78 GWh, lo que representa un 25.29% de la energía disponible (8.58% pérdidas técnicas y 16.71% no técnicas) (CNEL EP UN Manabí, 2023).
- Las pérdidas totales de energía a enero de 2024 fueron de 690.23 GWh, lo que representa un 27.57% de la energía disponible (8.44% pérdidas técnicas y 19.17% no técnicas) (CNEL EP UN Manabí, 2024).

Se espera que, con el fortalecimiento de los procesos comerciales, se pueda revertir la tendencia del alza de las pérdidas de energía en la UN Manabí (Figura 2).

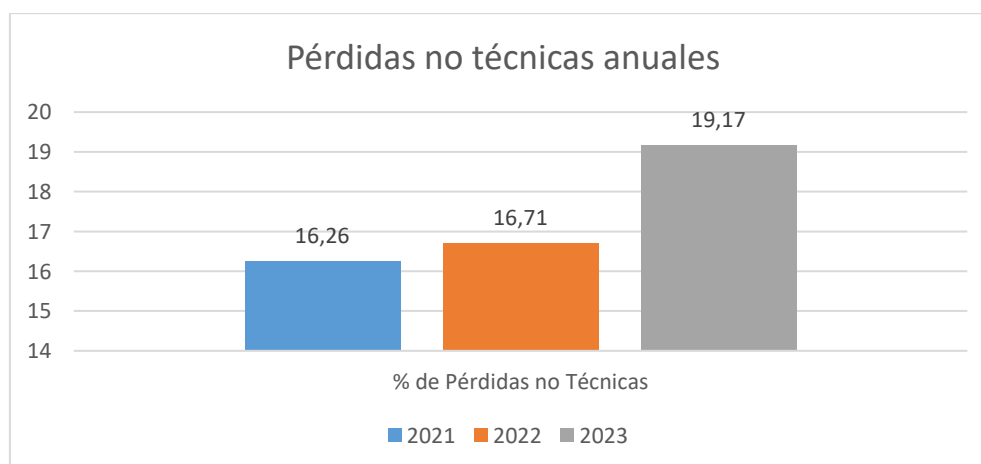


Figura 2. Pérdidas no técnicas anuales.

Entre las causas del incremento de las pérdidas eléctricas destacan (CNEL EP, 2022):

- Deficiencia en la adquisición de medidores electrónicos bifásicos, lo que ha derivado a la escasez de este material, priorizando solamente la instalación de nuevos servicios.
- Poca ampliación de la estructura de medición inteligente (AMI por sus siglas en inglés). en los clientes de mayor consumo tanto masivo como especial.

Para solucionar todos estos problemas la Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad CNEL EP, presenta el “Plan Nacional de Eficiencia energética 2016-2035” con el fin de dar cumplimiento a los objetivos organizacionales y dar cumplimiento a la misión de la organización con eficiencia y calidad (Martínez Quiñonez, 2023).

Al cierre del año 2021 se instalaron en la UN Manabí un total de 22.344 medidores AMI (Infraestructura de Medición Avanzada), lo que representa el 6,68 % de los medidores totales instalados en esta unidad de negocio (Tabla 2).

Tabla 2. Medidores AMI instalados con corte a diciembre de 2021.

Unidad de Negocio	Cantón	Medidores AMI Instalados				
		Por tipo de Cliente				
		Residenciales	Comerciales	Industriales	Otros	Totales
CNEL-Manabí	Manta	6.549	804	13	352	7.718
	Bolívar	27	107	-	-	134
	Sucre	85	602	-	48	735
	Portoviejo	12.010	1.245	26	476	13.757
CNEL - EP		18.671	2.758	39	876	22.344

Fuente: (CNEL EP UN Manabí, 2022).

El ingreso de medidores a las bodegas de CNEL EP de la UN Manabí ha sido fluctuante (Figura 3), socavando el accionar que pueda tener la unidad en el inventario excesivo o desabastecimiento que se puede manejar por años, en función a los planes anuales y utilización de materiales.

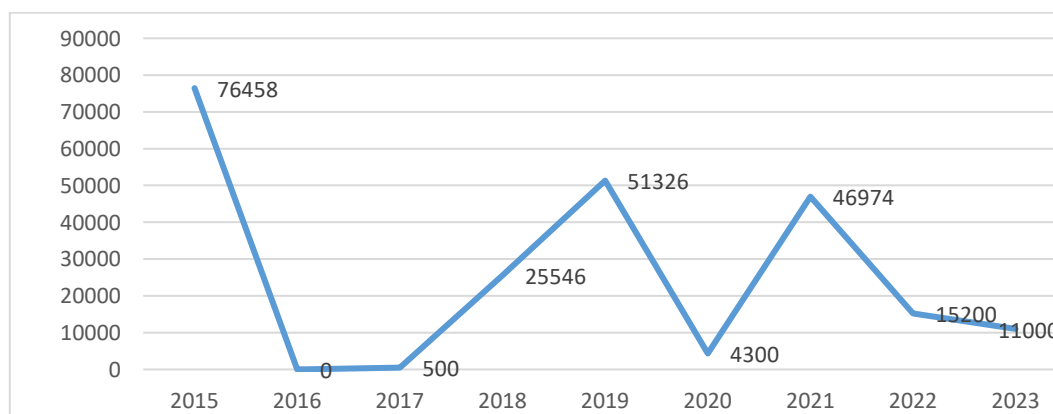


Figura 3. Ingreso de medidores residenciales a bodega de la UN Manabí.

Siendo el medidor un equipo imprescindible en la facturación a los clientes, es necesario llevar el control de los ingresos, egresos y utilización de cada de uno de ellos. Estudiando estos tres aspectos se analiza el uso de medidores en la atención de solicitudes de servicio nuevo y cambios de medidores.

Como primer punto se analizan las solicitudes de nuevos servicios. La figura 4 denota que el pico más alto de atención de solicitudes de servicios nuevos fue en el 2017, y que esta fue descendiendo hasta el 2023.

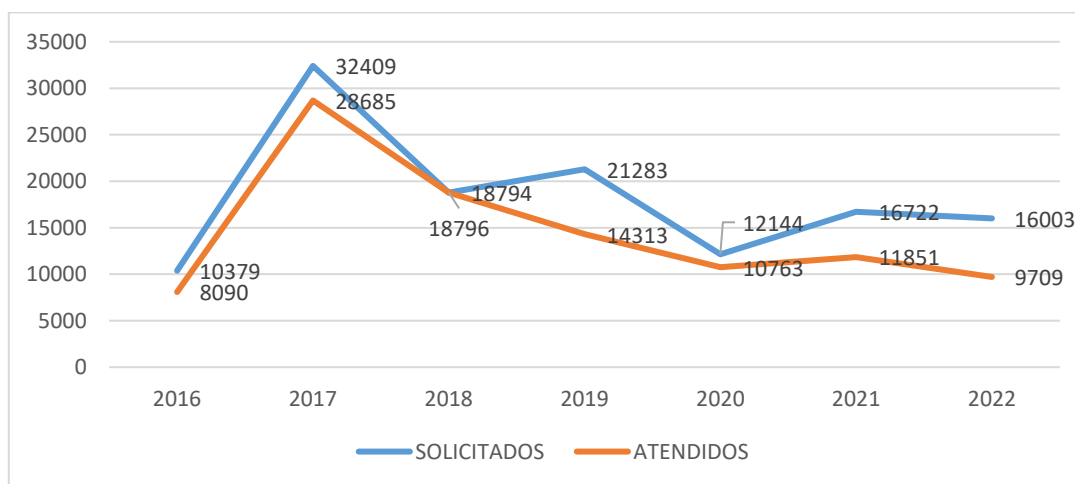


Figura 4. Solicitud de nuevos servicios versus atención UN Manabí.

El mantenimiento es imprescindible para la reducción de pérdidas de energía por lo que se analiza el uso de manera independiente, debido a las solicitudes atendidas de cambios de medidor (Figura 5).

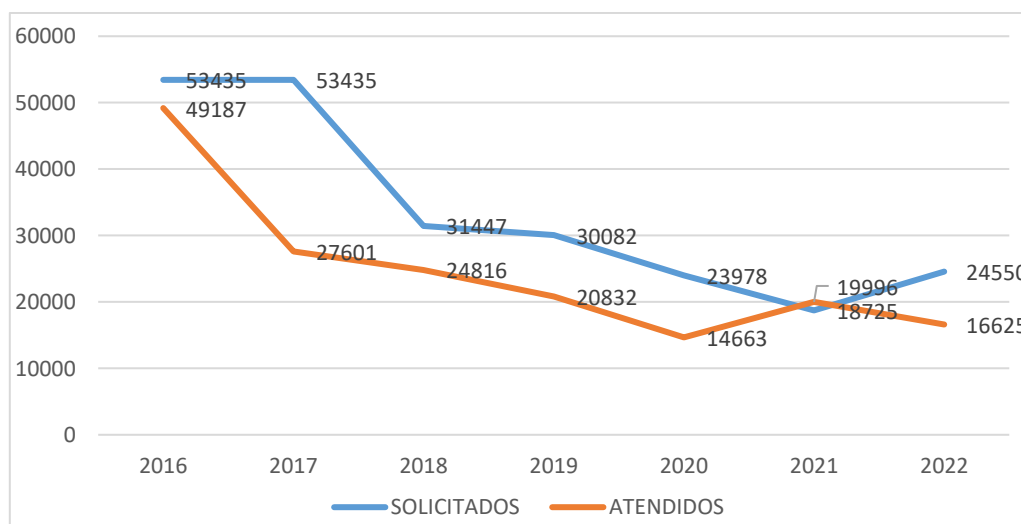


Figura 5. Solicitud de cambio de medidores versus atención UN Manabí.

En la figura 6 se muestra la demanda y uso de los medidores, unificando los datos de atención en los servicios nuevos y cambios de medidores.

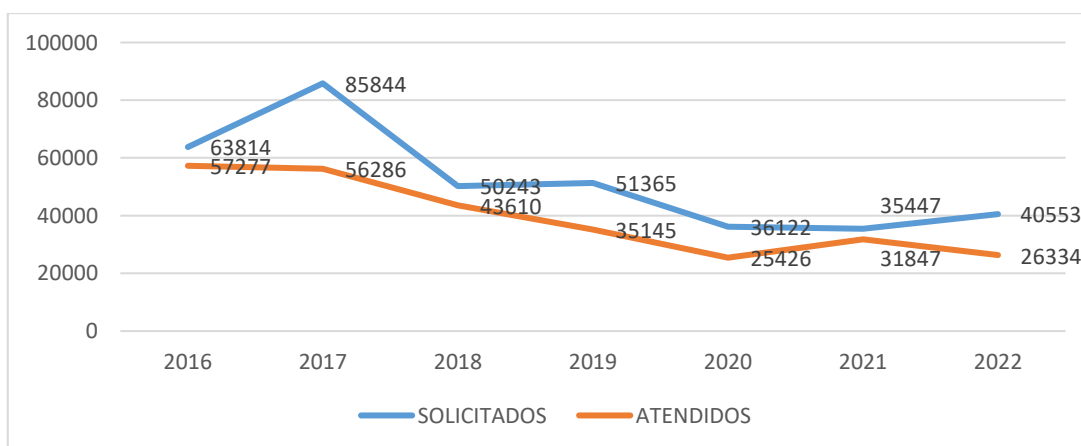


Figura 6. Demanda de medidores versus utilización en la UN Manabí.

Para analizar la incidencia que tiene el inventario de medidores en las pérdidas de energía de la Unidad de Negocios de Manabí, se utiliza el coeficiente de correlación de Pearson. Para realizar la comprobación se toman los datos aportados por los informes de rendición de cuentas de CNEL EP Unidad de Negocio Manabí desde el 2021 al 2023 (Tabla 3).

Tabla 3. Datos de inventario y pérdidas del 2021 al 2023.

Años	% de Pérdidas no Técnicas	Inventario
2021	16,26	46974,00
2022	16,71	15200,00
2023	19,17	11000,00

Se toman en el estudio la variable independiente: Medidores (X) y la variable dependiente: Pérdidas (Y). Para la obtención del coeficiente de correlación se calcula los valores de la tabla 4 para la evaluación de las variables y el cálculo de las sumatorias.

Tabla 4. Tabla auxiliar.

	Medidores	Pérdidas	X·Y	X ²	Y ²
	46974.00	16.26	763797.24	2206556676	264.3876
	15200.00	16.71	253992	231040000	279.2241
	11000.00	19.17	210870	121000000	367.4889
Suma =	73174	52.14	1228659.24	2558596676	911.1006

Tomando como base la tabla anterior se procede a evaluar el coeficiente.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{73174}{3} = 24391.33$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i = \frac{52.14}{3} = 17.38$$

$$SS_{xx} = \sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 = 2558596676 - \frac{73174^2}{3} = 7773785250.67$$



$$SS_{yy} = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right)^2 = 911.1006 - 52.14^2/3 = 4.91$$

$$SS_{xy} = \sum_{i=1}^n X_i Y_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Y_i \right) = -43104.88$$

$$r = \frac{SS_{xy}}{\sqrt{SS_{xx} * SS_{yy}}} = -0.7$$

Los resultados demuestran que existe una correlación negativa alta entre las variables. Lo que indica que entre menor sea el inventario de medidores mayor serán las pérdidas eléctricas y viceversa.

DISCUSIÓN

Las pérdidas no técnicas o pérdidas comerciales son causadas principalmente por conexiones ilegales, fraude y robo de energía. Además, los problemas con los medidores de energía, como retrasos en la instalación o errores de lectura, equipos de medición contaminados o defectuosos, estimaciones válidas bajas, conexiones defectuosas y clientes ignorados, contribuyen a estas pérdidas (Ventura et al., 2023).

El robo de corriente eléctrica es un problema común en todos los países, debido al alto precio de la energía aumentando las pérdidas no técnicas. La forma más común y sencilla de consumo ilegal de energía es la conexión directa de los consumidores a la línea aérea de distribución y la segunda es la manipulación ilegal de medidores (Bula et al., 2016).

La UN Manabí en el 2017 se atendieron 56286 medidores y en el 2022 la cantidad de 26334, reduciendo el uso de medidores un 53.21%. El ingreso de medidores de CNEL EP a la UN Manabí durante el periodo analizado ha sido fluctuante, existiendo una deficiencia en la adquisición de medidores electrónicos, generando una escases de estos.

A partir de los datos analizados se puede argumentar que las solicitudes de medidores eléctricos están por encima de los casos atendidos, priorizando solamente las nuevas solicitudes, por lo que no se llega a cumplir las demandas de la población. Estos aspectos influyen directamente en las pérdidas no técnicas, por lo que se aprecia un aumento de ellas. Uno de los aspectos que pude contribuir a la disminución de las pérdidas es la instalación de medidores AMI. Estos medidores inteligentes, integran capacidades avanzadas de medición, registro de datos, permiten transferir la información de forma remota para su monitoreo y la facturación (Echeverría y García Echeverría, 2022).

Para analizar la incidencia que tiene el inventario de medidores en las pérdidas de energía de la UN Manabí, se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson. (Apaza Zúñiga et al, 2022).



Con un resultado de $r = -0.7$ se determina la existencia de una correlación negativa alta, que coincide con lo planteado en el Plan Estratégico 2021-2025 (CNEL EP, 2022) donde se da como una de las causas del incremento sostenido de las pérdidas la deficiencia en la adquisición de medidores electrónicos bifásicos.

CONCLUSIONES

El análisis del marco teórico permitió conocer y analizar las causas de las pérdidas eléctricas no técnicas, la importancia de los medidores eléctricos y la utilidad de la instalación de medidores AMI para la disminución de las pérdidas.

Durante el desarrollo del estudio se comprobó que el ingreso de medidores a CNEL EP unidad de negocio Manabí durante el periodo analizado ha sido fluctuante. Por lo que no se llega a cumplir las demandas de la población influyendo en el aumento de las pérdidas.

Se determinó que retrasos en la instalación o errores de lectura en los medidores, equipos de medición contaminados o defectuosos, estimaciones válidas bajas, conexiones defectuosas y clientes ignorados, contribuyen a las pérdidas no técnicas.

El coeficiente de correlación de Pearson arrojó que existe una correlación negativa alta con $r=-0.7$ entre el inventario de medidores y las pérdidas de energía de la Unidad de Negocios de Manabí. Lo que indica que entre menor sea el inventario de medidores mayor serán las pérdidas eléctricas y viceversa.

REFERENCIAS

- Apaza Zúñiga, E., Cazorla Chambi, S., Condori Carbajal, C., Arpasi Meléndez, F. R., Tumi Figueroa, I., Yana Viveros, W., & Quispe Coaquira, J. E. (2022). La Correlación de Pearson o de Spearman en caracteres físicos y textiles de la fibra de alpacas. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 33(3). <http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v33i3.22908>
- Bula, I., Hoxha, V., Shala, M., & Hajrizi, E. (2016). Minimizing non-technical losses with point-to-point measurement of voltage drop between “SMART” meters. *IFAC-PapersOnLine*, 49(29), 206-211. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.11.103>
- Cascone, L., Sadiq, S., Ullah, S., Mirjalili, S., & Siddiqui, H. R. (2023). Predicting Household Electric Power Consumption Using Multi-step Time Series with Convolutional LSTM. *Big Data Research*, 31(C), 100360. <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2022.100360>
- CNEL EP. (2022). *Plan Estratégico 2021-2025*. <https://n9.cl/bilng>
- CNEL EP. (15 de junio de 2024). *CNEL EP*. Obtenido de Unidad de Negocio Manabí: <https://www.cnelep.gob.ec/unidad-de-negocio-manabi/>



- CNEL EP Unidad de Negocio Manabí. (2022). *Rendición de Cuentas 2021. Informe Unidad de Negocio Manabí*. <https://n9.cl/z62bk>
- CNEL EP Unidad de Negocio Manabí. (2023). *Rendición de Cuentas 2022*. <https://n9.cl/loh9a>
- CNEL EP Unidad de Negocio Manabí. (2024). *Rendición de Cuentas 2023*. <https://n9.cl/wz8lf>
- Durán Seguel, I. M., Gallegos, M. E., Dauvin, G. A., & Rojas, J. A. (2020). Valoración de los factores que determinan la atracción laboral de las empresas desde la perspectiva de los futuros colaboradores. *Formación universitaria*, 13(5), 15-26. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062020000500015>
- Echeverría, J. S., & García Echeverría, J. (2022). Medición avanzada inteligente, retos al consumo responsable del servicio público domiciliario de energía en Colombia. *Revista chilena de derecho y tecnología*, 11(2), 47-62. <http://doi.org/10.5354/0719-2584.2021.64167>
- Glauner, P., Meira, J. A., Valtchev, P., State, R., & Bettinger, F. (2017). The Challenge of Non-Technical Loss Detection Using Artificial Intelligence: A Survey. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 10(1), 760–775. <https://doi.org/10.2991/ijcis.2017.10.1.51>
- Iturralde Carrera, L. Á., Monteagudo Yanes, J. P., & Castro Perdomo, N. A. (2021). La eficiencia energética y la competitividad empresarial en América del norte. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(5), 479-489. <https://n9.cl/kem06>
- Karthick, T., Charles Raja, S., Jeslin Drusila Nesamalar, J., & Chandrasekaran, K. (2021). Design of IoT based smart compact energy meter for monitoring and controlling the usage of energy and power quality issues with demand side management for a commercial building. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 26, 100454. <https://doi.org/10.1016/j.segan.2021.100454>
- Martínez Quiñonez, D. F. (2023). Entrenamiento profesional a ingenieros y tecnólogos administrativos en el uso de energías renovables. *Luz*, 22(2), 84-95. <https://n9.cl/mkru0>
- Pérez García, D., García Reina, F., & Hernández Eduardo, D. (2019). Disminución de las pérdidas de energía eléctrica por distribución usando una tecnología novedosa de mediciones y control para la toma de decisiones. *Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada (RCTA)*, 2(34), 144-150. <https://doi.org/10.24054/16927257.v34.n34.2019.3875>
- Romero Carazas, R., La Cruz Arango, O. D., Torres Sánchez, J. A., Torres Cheje de Manchego, V., Suclla Revilla, J. L., Gutiérrez Monzón, S. G., . . . Bernedo Moreira, D. H. (2024). Gestión del conocimiento y capital intelectual según variables sociodemográficas en docentes Universitarios. *Encontros Bibli*, 29, 1-29. <https://doi.org/10.5007/1518-2924.2024.e96253>



- Sigas Martínez, C., Torres Breffe, O. E., Espinosa Domínguez, J., & Perez Baluja, O. (2024). Propuesta de reconfiguración del esquema de distribución de la Zona Especial de Desarrollo Mariel. *Ingeniería Energética*, 45(1), 34-42. <https://n9.cl/emug17>
- Toledo Orozco, M., Arias Marin, C., Álvarez Bel, C., Morales Jadan, D., Rodríguez García, J., & Bravo Padilla, E. (2021). Innovative methodology to identify errors in electric energy measurement systems in power utilities. *Energies*, 14(4), 958. <https://doi.org/10.3390/en14040958>
- Valdés González, G. D., Rodríguez Ponce, E. R., Miranda Visa, C., & Lillo Sotomayor, J. (2020). Estudio de viabilidad de sistemas fotovoltaicos como fuentes de energía distribuida en la ciudad de Arica, Chile. *Información tecnológica*, 31(3), 249-256. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642020000300249>
- Ventura, L., Felix, G. E., Vargas, R., Faria, L. T., & Melo, J. D. (2023). Estimation of non-technical loss rates by regions. *Electric Power Systems Research*, 223, 109685. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109685>
- Vogel, J., Steinberger, J. K., O'Neill, D. W., Lamb, W. F., & Krishnakumar, J. (2021). Socio-economic conditions for satisfying human needs at low energy use: An international analysis of social provisioning. *Global Environmental Change*, 69, 102287. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2021.102287>

