



ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA EN LA PLANTA RECICLADORA RIORECICLE RECYPRO

Kevin Stalin Bajaña Lliquin
ksbajanal@istx.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6606-0569>
Instituto Superior Universitario Cotopaxi-Ecuador

Darwin Geovanny Betancur Lavanda
dgbetancurl@istx.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5467-814X>
Instituto Superior Universitario Cotopaxi-Ecuador

Klever Iván Toapanta Morejón
kitoapantam@istx.edu.ec

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0031-6045>
Instituto Superior Universitario Cotopaxi-Ecuador

Recibido: 14/10/25

Aceptado: 24/11/25

Publicado: 01/01/26

RESUMEN

El presente estudio evalúa la capacidad eléctrica instalada de la microempresa recicladora Riorecicle Recypro ubicada en Pastaza, Ecuador. Mediante levantamiento de campo y el análisis del transformador trifásico de 30 KVA, se identificó una sobrecarga del 229% respecto a la demanda real. Se simularon escenarios operativos y se comparó con otras recicladoras del país, demostrando la necesidad de repotenciación del sistema eléctrico. Los resultados evidencian problemas críticos de caída de voltaje, disparo de protecciones y deterioro prematuro de equipos. Se propone la sustitución del transformador por uno de 125 KVA y adecuaciones en conductores y protecciones. El estudio aporta al fortalecimiento y eficiencia de la infraestructura eléctrica en microempresas recicladoras, contribuyendo a la economía circular y el desarrollo sostenible.

Palabras clave: reciclaje, transformador, demanda eléctrica, eficiencia energética.

POWER QUALITY ANALYSIS AT THE RIORECICLE RECYPRO RECYCLING PLANT

ABSTRACT

This study evaluates the installed electrical capacity of the micro-recycling company Riorecicle Recypro located in Pastaza, Ecuador. Through field surveys and analysis of the 30 KVA three-phase transformer, an overload of 229% was identified with respect to actual demand. Operating scenarios were simulated and compared with other recycling companies in the country, demonstrating the need to upgrade the electrical system. The results show critical problems of voltage drops, protection tripping, and premature equipment deterioration. The replacement of the transformer with a 125 KVA unit and adjustments to conductors and protections are proposed. The study contributes to the strengthening and efficiency of the electrical infrastructure in micro-recycling companies, contributing to the circular economy and sustainable development.

Key words: recycling, transformer, electrical demand, energy efficiency.

Correo principal para contacto: mfkb19062016@gmail.com

1. INTRODUCCIÓN

El reciclaje de plásticos en Ecuador ha cobrado gran relevancia debido al aumento de residuos sólidos y la necesidad de soluciones sostenibles. Las microempresas recicadoras representan una alternativa viable, pero enfrentan limitaciones en su infraestructura eléctrica y en la gestión eficiente de sus recursos energéticos (Hernández Alomía et al., 2025).

Diversos estudios han demostrado que la implementación de medidas correctivas y el monitoreo constante de los parámetros eléctricos pueden optimizar la operación y reducir pérdidas energéticas. Entre estos, Mackliff y Sánchez (2019) destacan “la importancia de una adecuada gestión de la calidad de energía en plantas industriales, subrayando que una red mal dimensionada puede afectar la productividad y acortar la vida útil de los equipos eléctricos” (p. 45-46).

La calidad de la energía eléctrica se ha convertido en un indicador clave para la sostenibilidad industrial. Según Achilie y Molina (2024), la distorsión armónica, las caídas de voltaje y las sobrecargas del transformador son los factores más recurrentes que comprometen la eficiencia energética en instalaciones industriales ecuatorianas.

De forma similar, Salgado y Ruiz (2020) evidencian que una correcta planificación de redes eléctricas en baja y media tensión garantiza una mayor estabilidad operativa y reduce fallos técnicos, a nivel latinoamericano. Fernández y Quiroz (2023) afirman que el control de calidad de energía en pequeñas y medianas empresas es determinante para mejorar la competitividad industrial y cumplir con estándares ambientales y normativos.

En Ecuador, Vera et al. (2022) señalan que las microempresas recicadoras presentan altos niveles de pérdidas técnicas por sobrecargas en transformadores de baja capacidad, lo que deriva en mayores costos energéticos. Asimismo, Tobar y Ordóñez (2021) destacan que la sustitución de transformadores subdimensionados, no solo mejora la eficiencia del sistema, sino que reduce la tasa de fallas y optimiza el factor de potencia. Por otro lado, García y Molina (2023) enfatizan que los estudios de demanda eléctrica deben ser un componente esencial en la planificación energética de microindustrias, ya que permiten definir escenarios de crecimiento y prever la necesidad de repotenciación.

La transición hacia sistemas eléctricos más eficientes y sostenibles está directamente vinculada con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 7 (ODS 7) de las Naciones Unidas, que promueve el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos (ONU, 2023). En este sentido, las microempresas recicadoras desempeñan un papel estratégico, ya que su actividad contribuye tanto a la reducción de residuos como al uso racional de la energía en sus procesos productivos.

El fortalecimiento de la infraestructura eléctrica en estas industrias, no solo mejora su eficiencia operativa, sino que impulsa el cumplimiento de metas globales relacionadas con la energía limpia y la sostenibilidad ambiental (Pérez & Gómez, 2022). Por ello, resulta necesario integrar criterios de eficiencia energética en el diseño y operación de sistemas eléctricos industriales, garantizando el uso responsable de los

recursos y minimizando las emisiones indirectas de carbono derivadas de pérdidas energéticas.

A su vez, la actividad de reciclaje se enmarca dentro del paradigma de la economía circular, que busca cerrar los ciclos de materiales y energía dentro de los procesos productivos. Según Hernández Alomía et al. (2025), la aplicación de principios circulares en PYMES recicladoras potencia la sostenibilidad económica y ambiental, generando un impacto positivo en la gestión energética local y contribuyendo al cumplimiento del ODS 12 (producción y consumo responsables) y el ODS 13 (acción por el clima).

En consecuencia, el presente estudio sobre la calidad de energía en la planta recicladora Riorecicle Recypro se orienta también a demostrar cómo las mejoras en la infraestructura eléctrica pueden fortalecer la sostenibilidad energética y ambiental del sector reciclaror ecuatoriano, aportando evidencia técnica alineada con los objetivos del desarrollo sostenible.

El presente estudio se centra en la recicladora Riorecicle Recypro, ubicada en Puyo, Ecuador, cuya planta opera con un transformador de 30 KVA insuficiente para cubrir la demanda instalada. Por ende, el objetivo principal es analizar la relación entre la carga eléctrica instalada y la capacidad del sistema, identificando deficiencias y proponiendo soluciones técnicas que mejoren la eficiencia y garanticen la sostenibilidad operativa.

2. ESTRATEGIAS METODOLÓGICAS / MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación aplicó un enfoque cuantitativo y descriptivo, basado en la recolección de datos en campo, simulaciones de carga y comparación con parámetros normativos nacionales, se registraron mediciones en puntos estratégicos del sistema, incluyendo el transformador y equipos críticos. El diseño metodológico incluyó el cálculo de demanda, los factores de simultaneidad y el dimensionamiento de conductores: el primero permite estimar la potencia requerida por un sistema en condiciones normales de operación, garantizando la eficiencia y seguridad del suministro (Jiménez & López, 2020); el segundo representa la probabilidad que varios equipos funcionen al mismo tiempo y se utiliza para evitar sobredimensionamientos en la red (Mora & Castillo, 2019); finalmente, el tercero consiste en determinar la sección adecuada de los cables para soportar la corriente eléctrica, minimizar caídas de tensión y cumplir con normas técnicas de seguridad (IEEE, 2018).

Tabla 1

Porcentaje de simultaneidad según el tipo de instalación.

Tipo de instalación	Factor de simultaneidad (Fs)	Porcentaje
Viviendas familiares	0.30-0.50	30%-50%
Edificios residenciales	0.40-0.60	40%-50%
Industrias ligeras	0.70-0.90	70%-90%
Plantas industriales grandes	0.80-1.0	80%-100%
Alumbrado público	1.0	100%

Fuente: autoría propia.

El cálculo de demanda eléctrica permite estimar la potencia total requerida por una instalación en condiciones de operación normales, considerando la carga conectada y los factores de utilización, con el fin de garantizar la eficiencia energética y la capacidad del sistema (Jiménez & López, 2020).

El factor de simultaneidad (F_s) es un parámetro que expresa la probabilidad que varios equipos eléctricos funcionen de manera concurrente y se obtiene de la relación entre la demanda máxima registrada y la suma de las potencias individuales de los aparatos conectados. Su correcta aplicación evita el sobredimensionamiento y optimiza los costos de la instalación (Mora & Castillo, 2019).

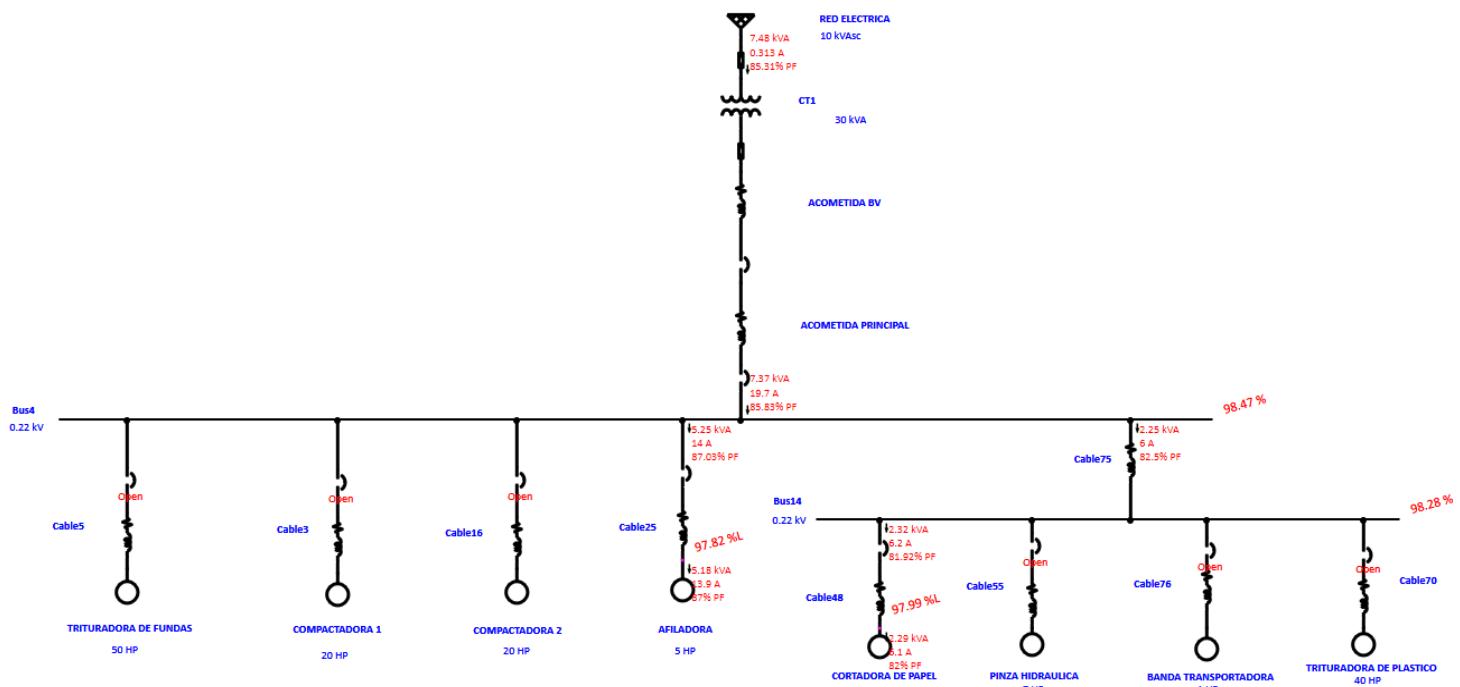
Finalmente, el dimensionamiento de conductores consiste en determinar la sección transversal adecuada de los cables que transportan la corriente eléctrica, tomando en cuenta la capacidad de conducción, la caída de tensión y las condiciones de instalación según las normas técnicas vigentes (IEEE, 2018; NEC, 2023).

3. RESULTADOS

Los resultados evidencian una sobrecarga del 229% en el transformador actual, donde existen escenarios operativos que muestran demandas de hasta 79.4 KVA, superando en un 165% la capacidad nominal del transformador.

Figura 1

Escenario de operación de carga.



Fuente: autoría propia.

Los registros eléctricos obtenidos durante la medición evidencian una sobrecarga del 229 % en el transformador principal de la planta recicladora Riorecicle Recypro. Durante los períodos de mayor actividad productiva, se registraron demandas máximas de hasta 79,4 KVA, superando la capacidad nominal del equipo instalado.

El factor de simultaneidad aplicado (0,85) y el factor de utilización real (0,92) muestran una condición de operación exigente, con un uso intensivo de la potencia instalada. Asimismo, las caídas de tensión entre 7 % y 9 % detectadas durante los picos de operación exceden el límite del 5 % establecido por la norma NTE INEN 2480:2018, confirmando la necesidad de redimensionamiento de conductores y repotenciación del transformador.

Estos resultados reflejan una problemática estructural del sistema eléctrico, donde la infraestructura actual no responde adecuadamente a la demanda energética operativa ni a un posible crecimiento de la planta. Esta situación se traduce en caídas de voltaje, desconexiones involuntarias de protecciones y desgaste prematuro de componentes eléctricos, lo que compromete la confiabilidad del sistema.

Como se pudo apreciar en la Tabla 1, para la determinación de la demanda se han considerado parámetros importantes como: Potencia nominal (Pn), Carga Instalada (CI), Factor de Uniformidad (FFUn), Carga Instalada Representativa (CIR), Factor de Simultaneidad (FSn) y la Demanda Máxima Unitaria (DMU).

Figura 2

Determinación de la demanda.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Pn [W]	CI [W]	FFUn [%]	CIR [W]	FSn [%]	DMU [W]																														
1	Motor de 50HP	1	37.290,00	37.290,00	70%	26.103	100%	26.103,0																														
2	Motor de 20HP	1	14.310,00	14.310,00	50%	7.455	70%	5.218,5																														
9	Motor de 20HP	1	1500,00	1500,00	50%	750	40%	300,0																														
3	Motor de 5HP	1	3.730,00	3.730,00	15%	560	25%	139,9																														
4	Motor de 2HP	1	1.490,00	1.490,00	50%	745	10%	74,5																														
5	Motor de 7HP	1	5.220,00	5.220,00	50%	2.610	25%	652,5																														
6	Motor de 1HP	1	745,00	745,00	50%	373	100%	372,5																														
7	Motor de 40HP	1	29.830,00	29.830,00	70%	20.881	100%	20.881,0																														
8	Motor de 50HP	1	37.290,00	37.290,00	100%	37.290	100%	37.290,0																														
9	Resistencia	1	5.000,00	5.000,00	100%	5.000	100%	5.000,0																														
10	Peletizador de 5HP	1	3.730,00	3.730,00	100%	3.730	100%	3.730,0																														
TOTAL CARGAS ESPECIALES					140.735		105.496,00	99.761,88																														
<table border="1"> <tr> <td>NUMERO DE CARGAS ESPECIALES</td> <td></td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>DEMANDA MAX. DE LAS CARGAS ESPECIALES [W]</td> <td></td> <td>99761,88</td> </tr> <tr> <td>FACTOR DE POTENCIA DE LAS CARGAS ESPECIALES</td> <td></td> <td>0,82</td> </tr> <tr> <td>DEMANDA DE CARGAS ESPECIALES [KVA]</td> <td></td> <td>121,66</td> </tr> <tr> <td> </td> <td></td> <td> </td> </tr> <tr> <td>NUMERO DE USUARIOS (N)</td> <td></td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>FACTOR DE DIVERSIDAD (FD)</td> <td></td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>DEMANDA DE DISEÑO (DD) [KVA]</td> <td></td> <td>121,66</td> </tr> <tr> <td> </td> <td></td> <td> </td> </tr> <tr> <td>TRANSFORMADOR RECOMENDADO [KVA]</td> <td></td> <td>125,00</td> </tr> </table>									NUMERO DE CARGAS ESPECIALES		1,00	DEMANDA MAX. DE LAS CARGAS ESPECIALES [W]		99761,88	FACTOR DE POTENCIA DE LAS CARGAS ESPECIALES		0,82	DEMANDA DE CARGAS ESPECIALES [KVA]		121,66				NUMERO DE USUARIOS (N)		1,00	FACTOR DE DIVERSIDAD (FD)		1,00	DEMANDA DE DISEÑO (DD) [KVA]		121,66				TRANSFORMADOR RECOMENDADO [KVA]		125,00
NUMERO DE CARGAS ESPECIALES		1,00																																				
DEMANDA MAX. DE LAS CARGAS ESPECIALES [W]		99761,88																																				
FACTOR DE POTENCIA DE LAS CARGAS ESPECIALES		0,82																																				
DEMANDA DE CARGAS ESPECIALES [KVA]		121,66																																				
NUMERO DE USUARIOS (N)		1,00																																				
FACTOR DE DIVERSIDAD (FD)		1,00																																				
DEMANDA DE DISEÑO (DD) [KVA]		121,66																																				
TRANSFORMADOR RECOMENDADO [KVA]		125,00																																				

Fuente: autoría propia.

Con los parámetros indicados en la Figura 2, se puede finalmente conocer la demanda de diseño del transformador a requerir. Para el caso de la recicladora Riorecicle Recypro es de 121.66 KVA, es decir, se requiere un transformador de 125KVA, 13.8/0.22-0.127 KV, 60 Hz, trifásico.

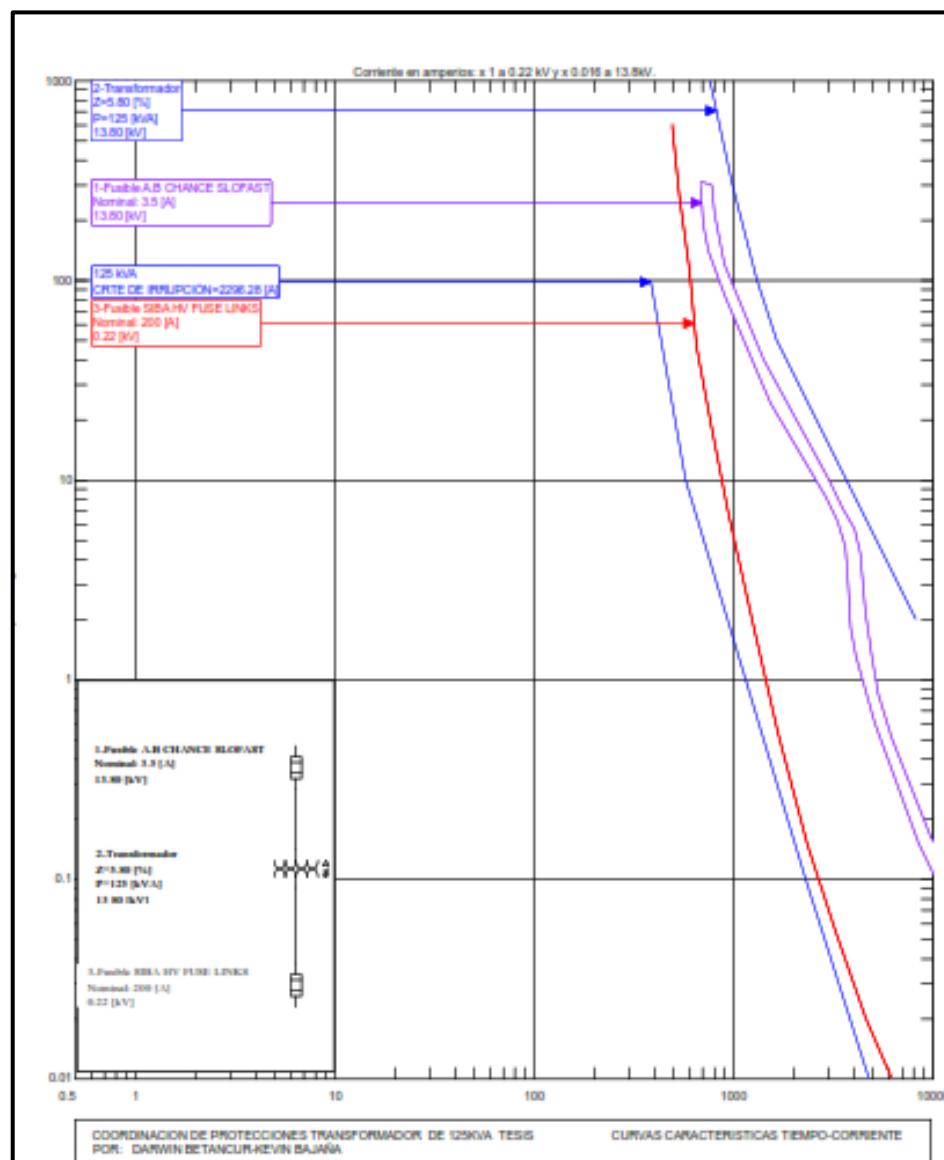
Las curvas de protección de los fusibles del primario del transformador deben ser proporcionales a las corrientes del mismo, dados en su placa característica. Los fusibles deben ser dimensionados para que den protección al transformador ante una sobrecarga, dejando pasar las corrientes inrush. De la misma forma, la curva de ruptura

de los fusibles del secundario del transformador debe estar dimensionada acorde a la corriente nominal de la red de baja del mismo, dato que entrega el fabricante.

Como se puede evidenciar, en la Figura 3 se muestran las curvas características termo-corriente y la coordinación de protecciones del transformador de usuario, obtenidas mediante simulación en ETAP 19.0.1. En esta, se puede observar la selectividad entre las protecciones del primario y secundario, garantizando la protección oportuna de los devanados ante sobrecargas y cortocircuitos.

Figura 3

Curvas características termo-corriente y coordinación de protecciones del transformador de usuario.



Fuente: autoría propia en ETAP 19.0.1 a partir del estudio experimental realizado.

En definitiva, las curvas de ruptura de las protecciones, tanto en el primario como el secundario, deben ser calculadas y dimensionadas para salvaguardar los devanados del transformador de sobrecargas de forma oportuna.

4. DISCUSIÓN

Los resultados en la planta recicladora Riorecicle Recypro permiten evidenciar una problemática estructural en su sistema eléctrico, específicamente, en cuanto a la relación entre la carga instalada y la capacidad del transformador actualmente en uso. Esto evidencia que la infraestructura eléctrica no responde adecuadamente a las necesidades energéticas actuales, mucho menos a un posible crecimiento de la planta.

Este desbalance energético tiene implicaciones técnicas relevantes, entre ellas las caídas de voltaje, la desconexión involuntaria de protecciones y el desgaste prematuro de los componentes eléctricos. Según Fernández y Quiroz (2023), este tipo de condiciones afectan directamente la confiabilidad del sistema y la seguridad del personal.

La evidencia empírica del estudio también respalda lo planteado por García y Molina (2023), quienes destacan que la planificación del crecimiento de la demanda eléctrica es crucial para evitar sobrecargas recurrentes y pérdidas económicas a largo plazo. Además, Tobar y Ordóñez (2021) indican que la repotenciación del transformador debe ir acompañada de una revisión integral de los calibres de conductores, protecciones y tableros de distribución, con el fin de garantizar una operación segura y eficiente.

En este sentido, los resultados de esta investigación refuerzan la importancia de aplicar principios de eficiencia energética en el sector del reciclaje industrial ecuatoriano. La implementación de un nuevo transformador de 125 KVA, acompañado de una adecuada selección de protecciones, permitirá reducir las pérdidas técnicas y los costos operativos, alineándose con los objetivos de sostenibilidad planteados por Hernández Alomia et al. (2025).

En este sentido, se vuelve fundamental efectuar una estrategia de redimensionamiento del sistema eléctrico. Esto incluye no solo la sustitución del transformador actual por uno de mayor capacidad, ya que en este caso es un modelo de 125kVA trifásico, sino también las adecuaciones los conductores, protecciones y tableros de distribución, todo conforme a la normativa técnica ecuatoriana vigente.

5. CONCLUSIONES / CONSIDERACIONES FINALES

Las mediciones realizadas confirman que la falta de planificación en el crecimiento de la demanda eléctrica provoca caídas de tensión, disparos frecuentes de protecciones y un deterioro acelerado de los componentes. Esto limita el rendimiento y la confiabilidad de los procesos industriales.

La aplicación de parámetros eléctricos como el factor de simultaneidad, el factor de uniformidad y la demanda máxima unitaria ha sido esencial para establecer la necesidad de redimensionar el sistema eléctrico, proponiendo soluciones concretas como la instalación de un transformador de 125 KVA, adaptado al perfil real de carga de la planta. El análisis del sistema eléctrico de la recicladora Riorecicle Recypro revela una clara desproporción entre la carga instalada y la capacidad del transformador existente. Esto genera sobrecargas de hasta un 229%, comprometiendo la operatividad segura y eficiente de los equipos.

Se recomienda sustituir el transformador actual por uno de mayor capacidad y actualizar los componentes asociados como acometidas, tableros y protecciones, considerando las condiciones operativas actuales y el crecimiento proyectado de la planta. Además, es indispensable revisar la sección de los conductores y el calibre de las protecciones de acuerdo con la normativa técnica ecuatoriana (NTE INEN), asegurando que se mantenga dentro de los límites de caída de tensión permitidos y evitando riesgos eléctricos.

Finalmente, se concluye que la eficiencia energética en este tipo de industrias dedicadas a la economía circular, como el reciclaje, promueven el desarrollo sostenible, evitando el desperdicio de energía, con un consumo responsable y no contaminando el ambiente.

9

6. REFERENCIAS

- Achilie, L. C. A., & Molina, A. C. N. (2024). *Análisis de Calidad de La Energía Orientado a Distorsiones Armónicas en el Bloque E de la Universidad Politécnica Salesiana* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27451>
- Fernández, D.; Quiroz, M. (2023). Evaluación de la calidad de energía eléctrica en pymes manufactureras del sur de América Latina. *Revista Ingeniería y Sociedad*, 15(2), 45–56. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7654210>
- García, R.; Molina, P. (2023). Planificación eléctrica y eficiencia energética en microindustrias de reciclaje. *Revista Técnica de Energía y Desarrollo*, 7(1), 33–49.
- Hernández Alomia, O. G., Curvelo Hassán, J. O., & Guevara Torrecillas, D. O. (2025). Modelo circular para el desarrollo sostenible en PYMES recicadoras de plásticos: una revisión sistemática. En *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinaria* (Vol. 8, Número 6). https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15601
- Mackliff, J., & Sánchez, F. (2019). *Estudio de la calidad de energía y rediseño del sistema eléctrico de la planta de cacaos finos ecuatorianos Cafiesa*. 149. https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17344/1/UPS-GT002626.pdf?utm_source
- Naciones Unidas. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible: Energía asequible y no contaminante (ODS 7)*. <https://sdgs.un.org/es/goals/goal7>
- Pérez, L. & Gómez, M. (2022). Energías limpias y eficiencia eléctrica en microempresas latinoamericanas: una aproximación sostenible. *Revista Latinoamericana de Energía y Sociedad*, 5(2), 45–58.
- Salgado, V., & Ruiz, W. (2020). Diseño De Redes Eléctricas En Medio Voltaje, Bajo Voltaje Y Alumbrado Público Para Urbanizaciones. En *Revista EIA, ISSN 1794-1237: Vol. Volumen 17*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10070>
- Tobar, D.; Ordóñez, P. (2021). Repotenciación de transformadores en sistemas industriales de baja tensión: evaluación técnica y económica. *Revista Energía y Tecnología*, 6(2), 21–32.

Vera, C., Gómez, L. & Páez, R. (2022). Análisis del rendimiento eléctrico en microempresas recicadoras de Ecuador. *Revista Latinoamericana de Energía Sostenible*, 9(3), 60–71.