



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL  
DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICIDAD**

**TEMA:**

**Análisis de calidad de energía mediante un medidor Sentron  
Pac 4200 para controlar magnitudes eléctricas y ahorro  
energético en Papelera Nacional.**

**AUTORES:**

**Pluas Manzo, Anthony Paul**

**Pluas Manzo, Cesar Antonio**

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de  
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TUTOR:**

**Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael. Msc.**

**Guayaquil, Ecuador**

**19 de febrero del 2024**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICIDAD**

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por los Sres. **Pluas Manzo, Anthony Paul y Pluas Manzo, Cesar Antonio** como requerimiento para la obtención del Título de **INGENIERÍA ELÉCTRICA**.

**TUTOR**

f. \_\_\_\_\_  
Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael. Msc.

**DIRECTOR DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_  
Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo. Msc,

Guayaquil, a los 19 días del mes de febrero del año 2024



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICIDAD**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, Pluas Manzo, Anthony Paul y Pluas Manzo, Cesar Antonio

**DECLARAMOS QUE:**

El Trabajo de Titulación: **Análisis de calidad de energía mediante un medidor Sentron Pac 4200 para controlar magnitudes eléctricas y ahorro energético en Papelera Nacional**, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electricidad, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 19 días del mes de febrero del año 2024

**LOS AUTORES**

f.   
Pluas Manzo, Anthony Paul

f.   
Pluas Manzo, Cesar Antonio



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO  
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Pluas Manzo, Anthony Paul y Pluas Manzo, Cesar Antonio**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de: **Análisis de calidad de energía mediante un medidor Sentron Pac 4200 para controlar magnitudes eléctricas y ahorro energético en Papelera Nacional**, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 19 días del mes de febrero del año 2024

**LOS AUTORES**

f.   
Pluas Manzo, Anthony Paul

f.   
Pluas Manzo, Cesar Antonio



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

**CERTIFICADO COMPILATE**


La Dirección de las Carreras Telecomunicaciones, Electricidad y Electrónica y Automatización revisó el Trabajo de Integración Curricular, **Análisis de calidad de energía mediante un medidor Sentron Pac 4200 para controlar magnitudes eléctricas y ahorro energético en Papelera Nacional**, presentado por los estudiantes **Pluas Manzo, Anthony Paul y Pluas Manzo, Cesar Antonio**, de la carrera de INGENIERÍA ELÉCTRICA, donde obtuvo del programa COMPILATE, el valor de 4% de coincidencias, considerando ser aprobada por esta dirección.



CERTIFICADO DE ANÁLISIS  
magister

**TESIS DE LOS SRS PLUAS  
MANZO**

**4%**  
Textos  
sospechosos



**3%** Similitudes  
< 1% similitudes entre comillas  
1% entre las fuentes  
mencionadas  
**1%** Idioma no reconocido

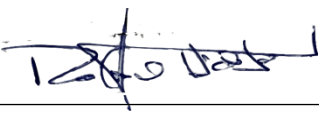
Nombre del documento: TESIS DE LOS SRS PLUAS MANZO.pdf  
ID del documento: b5728bef48ab525549d0b10842e855d06f693e8b  
Tamaño del documento original: 4,15 MB

Depositante: Ricardo Xavier Ubilla Gonzalez  
Fecha de depósito: 2/2/2024  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 2/2/2024

Número de palabras: 18.532  
Número de caracteres: 133.493

Ubicación de las similitudes en el documento:



f.   
Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael. Msc  
Revisor - COMPILATE

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecer a Dios por darnos salud que eso lo más importante para poder cumplir nuestras metas y propósitos en la vida. por darnos el conocimiento y la sabiduría a lo largo de esta carrera profesional para poder culminar con éxitos nuestros objetivos.

Agradecer a nuestros padres por el apoyo incondicional y por siempre estar ahí presente en cada una de las adversidades y guiarnos para hacer las cosas correctas y de la mejor manera posible.

Agradecer a los docentes de esta prestigiosa Universidad, por sus enseñanzas y por la paciencia brindada.

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de titulación se lo dedico a mis padres por el esfuerzo y perseverancia que tuvieron Jacinto Antonio Pluas Poveda y Dolly Nelly Manzo Andrade que han sido un pilar fundamental en nuestras vidas que yo sé que están muy orgulloso por esta meta cumplida



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO**  
**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo. Msc,**

**DECANO O DIRECTOR DE CARRERA**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Ubilla González, Ricardo Xavier. Msc.**

**COORDINADOR DEL ÁREA O DOCENTE DE LA CARRERA**

f. \_\_\_\_\_

**Ing. Vega Ureta, Nito Tello, Msc.**

**OPONENTE**



## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	XIV
ABSTRACT .....	XV
CAPÍTULO1.....	2
GENERALIZADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	2
1.1.    Introducción .....	2
1.2.    Planteamiento del Problema .....	3
1.3.    Justificación del Problema .....	3
1.4.    Objetivos.....	3
1.4.1.    Objetivo General.....	3
1.4.2.    Objetivos Específicos. ....	3
1.5.    Metodología .....	4
CAPÍTULO 2.....	5
MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Estado del Arte o Antecedentes .....	5
2.2. Sistema Eléctrico de Potencia .....	7
2.1    Sistema de Distribución Eléctrica.....	8
2.2. Análisis de Calidad de Energía .....	9
2.2.1. Calidad de Energía Eléctrica.....	9
2.2.2. Importancia del análisis de calidad de energía en la industria.....	10
2.2.3. Tipos de Cargas. ....	10
2.3. Clasificación de los fenómenos que intervienen en la red eléctrica ...	11
2.4. Fenómenos que afectan la calidad de energía en la red eléctrica .....	13
2.4.1. Transitorios.....	13
2.4.2. Variaciones de corta duración.....	14
2.4.3. Variaciones de larga duración.....	14

2.4.4. Desequilibrio de tensión.....	15
2.4.5. Distorsión de la forma de onda. ....	15
2.4.6. Fluctuación de tensión. ....	16
2.3. Resistencia a tierra.....	16
2.3.1. La Calidad de Energía y el Sistema de Puesta a Tierra .....	16
2.4. Fundamentos del Medidor Sentron PAC 4200.....	17
2.4.1. Descripción Técnica del PAC 4200.....	18
2.4.2. Funcionalidades clave para el análisis de calidad de energía. ....	20
2.5. Relevancia del Análisis de Calidad de Energía en el sector papelerero	22
2.5.1. Impacto de la calidad de energía en procesos industriales de papel. .....	22
2.5.2. Necesidades específicas de Control y Monitoreo en el sector papelerero. ....	24
2.6. Parámetros y Magnitudes Eléctricas Medibles por el PAC 4200.....	27
2.6.1. Voltaje, corriente y frecuencia eléctrica.....	29
2.6.2. Distorsión Armónica.....	31
2.6.3. Distorsión Armónica de la Corriente producida por el consumidor. .....	35
2.6.4. Normativa Internacional para la calidad de energía eléctrica. ....	37
2.6.5. Normativa Técnica del Ecuador para la calidad de energía eléctrica. .....	38
2.6.6. Normativa Internacionales de la calidad de energía eléctrica adaptadas en Ecuador.....	40
2.6.7. Potencia activa, reactiva y aparente. ....	41
CAPÍTULO 3.....	43
METODOLOGÍA.....	43
3.1. Características de la investigación.....	43
3.2. Tipo de Investigación.....	44

3.2.1. Investigación Cualitativa. ....	44
3.2.2. Investigación Cuantitativa. ....	48
3.3. Técnicas e Instrumentos de Investigación .....	49
3.4. Procedimiento del Tratamiento de Información.....	52
CAPÍTULO 4.....	54
DESARROLLO Y PROPUESTA DEL PROYECTO .....	54
4.1. Objetivo de la propuesta.....	54
4.2. Justificación.....	54
4.3. Diseño de la Propuesta .....	55
4.3.1. Montaje del Equipo. ....	55
4.3.2. Fase 2 - Instalación de Red Profibus entre Medidores hacia PCS- 7. ....	61
4.4. Fase 4 - Puesta en marcha y Análisis.....	71
4.4.1. Resultados.....	71
CAPÍTULO 5.....	77
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	77
4.1. Conclusiones.....	77
4.2. Recomendaciones.....	78
Bibliografía.....	79
Anexos .....	85

## ÍNDICE DE FIGURA

<b>Figura 1.</b> ....	<b>7</b>
<b>Figura 2.</b> ....	<b>8</b>
<b>Figura 3.</b> ....	<b>11</b>
<b>Figura 4.</b> ....	<b>17</b>
<b>Figura 5.</b> ....	<b>20</b>
<b>Figura 6.</b> ....	<b>22</b>
<b>Figura 7.</b> ....	<b>24</b>
<b>Figura 8.</b> ....	<b>31</b>
<b>Figura 9.</b> ....	<b>32</b>
<b>Figura 10.</b> .....	<b>46</b>
<b>Figura 11.</b> .....	<b>47</b>
<b>Figura 12.</b> .....	<b>48</b>
<b>Figura 13.</b> .....	<b>51</b>
<b>Figura 14.</b> .....	<b>52</b>
<b>Figura 15.</b> .....	<b>56</b>
<b>Figura 16.</b> .....	<b>57</b>
<b>Figura 17.</b> .....	<b>58</b>
<b>Figura 18.</b> .....	<b>59</b>
<b>Figura 19.</b> .....	<b>61</b>
<b>Figura 20.</b> .....	<b>63</b>
<b>Figura 21.</b> .....	<b>64</b>
<b>Figura 22.</b> .....	<b>66</b>
<b>Figura 23.</b> .....	<b>67</b>
<b>Figura 24.</b> .....	<b>68</b>
<b>Figura 25.</b> .....	<b>69</b>
<b>Figura 26.</b> .....	<b>70</b>
<b>Figura 27.</b> .....	<b>70</b>
<b>Figura 28.</b> .....	<b>72</b>
<b>Figura 29.</b> .....	<b>73</b>
<b>Figura 30.</b> .....	<b>74</b>
<b>Figura 31.</b> .....	<b>74</b>
<b>Figura 32.</b> .....	<b>75</b>

<b>Figura 33.....</b>	<b>75</b>
-----------------------	-----------

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Importantes fenómenos ocasionales de perturbaciones.....</i>	<i>12</i>
Tabla 2. <i>Funcionalidades del Medidor de energía SENTRON PAC 4200 para el análisis de calidad de energía.....</i>	<i>20</i>
Tabla 3. <i>Categorías de los parámetros y magnitudes eléctricas medibles por el PAC 4200 .....</i>	<i>27</i>
Tabla 4. <i>Límites admisibles para la distorsión armónica de voltaje .....</i>	<i>34</i>
Tabla 5. <i>Límites admisibles para la distorsión armónica de la corriente de carga .....</i>	<i>36</i>
Tabla 6. <i>Normativas internacionales para la calidad de la energía eléctrica..</i>	<i>38</i>
Tabla 7. <i>Normativa Técnica del Ecuador para la calidad de la energía eléctrica .....</i>	<i>39</i>
Tabla 8. <i>Normativa Internacional adaptada en Ecuador para evaluar la calidad de la energía eléctrica .....</i>	<i>72</i>
Tabla 9. <i>Variaciones de Tensión.....</i>	<i>73</i>

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal analizar la calidad de energía mediante un medidor Sentron Pac 4200 para controlar magnitudes eléctricas y ahorro energético en Papelera Nacional S.A., el cual se basa en medir en tiempo real el consumo de energía eléctrica y la demanda de potencia para tomar medidas de ahorro y optimización de la energía eléctrica usada en el proceso en la subestación 7 de la empresa. Además, el estudio se direccionó por una metodología de enfoque mixto, es decir, cualitativo y cuantitativo, de tipo descriptivo. Las técnicas empleadas fueron la revisión bibliográfica y documental interna y la observación directa. Los instrumentos requeridos se basaron en la ficha de registro de la calidad de energía y el medidor Sentron Pac 4200 que permitió obtener los datos para medirlos. Los resultados provienen de mediciones realizadas con el medidor Sentron PAC 4200 y el analizador de energía FLUKE 435 durante ocho días. Se evalúan variaciones de voltaje y de corriente, desbalance de tensión, frecuencia, armónicos y la cargabilidad del sistema. Estos indican cumplimiento con normativas como EN 50160 e IEEE519, con una cargabilidad del 82% en la subestación 7. Las conclusiones revelan que la implementación del medidor Sentron PAC 4200 ha sido fundamental para identificar y abordar áreas de ineficiencia energética, mejorando significativamente el rendimiento de equipos y procesos. Cabe mencionar que por el aporte del análisis continuo de magnitudes eléctricas se han tomado decisiones informadas que han llevado a una mayor eficiencia operativa y la reducción de pérdidas energéticas.

**Palabras Claves:** Calidad de Energía, Sentron Pac 4200, Magnitudes Eléctricas, Ahorro Energético, Rendimiento de Equipos y Procesos.

## ABSTRACT

The main objective of this research is to analyze the quality of energy using a Sentron Pac 4200 meter to control electrical magnitudes and energy savings in Papelera Nacional S.A., which seeks to optimize energy performance, identify inefficiencies and propose solutions to improve operational efficiency and energy savings in the company's substation 7. Furthermore, the study was guided by a mixed approach methodology, that is, qualitative and quantitative, of a descriptive type. The techniques used were bibliography and internal documentary review and direct observation. The required instruments were based on the power quality recording sheet and the Sentron Pac 4200 meter that allowed obtaining the data to measure them. The results come from measurements made with the Sentron PAC 4200 meter and the FLUKE 435 energy analyzer over eight days. Voltage variations, voltage unbalance, frequency, harmonics and system chargeability are evaluated. These indicate compliance with regulations such as EN 50160 and IEEE519, with a loadability of 82% at substation 7. The conclusions reveal that the implementation of the Sentron PAC 4200 meter has been fundamental in identifying and addressing areas of energy inefficiency, significantly improving the performance of equipment and processes. It is worth mentioning that due to the contribution of the continuous analysis of electrical magnitudes, informed decisions have been made that have led to greater operational efficiency and the reduction of energy losses.

**Keywords:** Power Quality, Sentron Pac 4200, Electrical Quantities, Energy Savings, Performance of Equipment and Processes.

# **CAPÍTULO 1**

## **GENERALIZADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **1.1. Introducción**

La calidad de energía es un factor fundamental en la operación segura y eficiente de los sistemas eléctricos y electrónicos en la actualidad, la demanda de energía eléctrica ha aumentado significativamente con el tiempo, y con ello la importancia de asegurar que la electricidad suministrada cumpla con ciertos estándares de calidad.

El PAC 4200 puede medir una amplia gama de parámetros eléctricos, incluyendo voltaje, corriente, potencia activa y reactiva, factor de potencia, energía activa y reactiva, frecuencia, armónicos, distorsión armónica total (THD), entre otros. Esto permite obtener una visión detallada del comportamiento de la red eléctrica.

La comprensión de la calidad de la energía eléctrica es esencial para empresas, industrias y usuarios finales, ya que puede tener un impacto directo en la eficiencia de los procesos, la vida útil de los equipos y la continuidad de las operaciones.

Para abordar los problemas de calidad de energía en Papelera Nacional S.A en Molino 2, se está realizando un estudio para identificar las áreas y equipos eléctricos más afectados a causa de la mala calidad de energía, implementando el medidor Sentron PAC 4200, el cual va ayudar en el monitoreo de eficiencia energética, en el análisis de armónicos, medición de parámetros eléctricos, supervisión de calidad de energía, comunicación de datos y cumplir con los estándares de calidad de energía establecidos.

Cabe resaltar que los armónicos son componentes de frecuencia no deseada en la señal eléctrica que pueden afectar la calidad de energía, los dispositivos no lineales, como los convertidores electrónicos, inversores, variadores de velocidad, computadoras y equipos de comunicaciones, pueden generar armónicos cuando alteran la forma de onda de la corriente o el voltaje.

A la vez, el ahorro energético, a menudo referido como eficiencia energética, se trata de usar menos energía para realizar la misma cantidad de trabajo o para obtener



el mismo resultado. El objetivo del ahorro energético es reducir el consumo de energía sin comprometer la calidad de vida o la producción, esto implica la adopción de tecnologías más eficientes, prácticas de conservación de energía y cambios en el comportamiento para utilizar la energía de manera más inteligente.

### **1.2. Planteamiento del Problema**

Las averías frecuentes en los equipos eléctricos y electrónicos, así como en las sobrecargas en la red de distribución, ruido, vibraciones y sobretensiones, que afectan negativamente el funcionamiento de la planta. Estos problemas reflejan una calidad deficiente en el suministro eléctrico, lo que genera un incremento significativo en los costos operativos de la empresa Papelera Nacional S.A.

### **1.3. Justificación del Problema**

Con este análisis de calidad de energía se pretende determinar el origen de las fallas eléctricas que se presentan en la empresa Papelera Nacional, asimismo, se producirá un ahorro energético, logrando así un mayor rendimiento en los equipos eléctricos y un menor costo de facturación en el sistema financiero de la empresa.

Con este medidor Sentron Pac 4200 se va a obtener medición precisa de las variables eléctricas críticas, esta precisión es esencial para comprender y controlar eficazmente el consumo de energía.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General.**

- Analizar la calidad de energía mediante un medidor Sentron Pac 4200 para que controle magnitudes eléctricas y ahorro energético en Papelera Nacional S.A.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

- Utilizar el Sentron PAC 4200 para tener un control del consumo de energía de diferentes equipos y sistemas dentro de una instalación con el fin de identificar áreas de ineficiencia energética.
- Analizar las magnitudes con el medidor Sentron PAC 4200 para que recopile datos a lo largo del tiempo y generar informes que muestren el consumo de energía y la calidad de la energía.

- Optimizar el rendimiento de equipos y procesos mediante la implementación del medidor Sentron PAC 4200.

### **1.5. Metodología**

Se aplican 3 métodos:

- Método descriptivo utilizado para conocer las características de la calidad de energía eléctrica, sus causas, funcionamiento de los equipos y maquinarias en Papelera Nacional SA.
- Método Exploratorio para medir y evaluar las diferentes magnitudes eléctricas como nivel de tensión, corriente, potencia activa, reactiva y aparente, factor de potencia, frecuencia en el sistema de distribución eléctrica.
- Método Comparativo para comparar resultados en base a las mediciones que se realicen y ejecutar un plan de mejora para garantizar un sistema eléctrico más fiable y optimizar el rendimiento de los equipos y proceso de la planta.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Estado del Arte o Antecedentes**

En la presente investigación se precisa describir un estado del arte comprendido de estudios previos con temas similares a las variables del tema vigente.

En la Universidad Politécnica Salesiana se registra una tesis con el tema “Adquisición Digital de Datos Aplicado a un Módulo de Pruebas Feedback para el Monitoreo de Parámetros Eléctricos en Máquinas en Corriente Alterna”, por los autores Zambrano & Anchundia (2020), los cuales mencionaron que el estudio se enfoca en mejorar la adquisición de datos de parámetros eléctricos en un Tablero de Pruebas de Motores Feedback. La implementación de medidores electrónicos modernos busca permitir una interacción más eficiente de los estudiantes de ingeniería con el sistema, ofreciendo una visión integral del comportamiento eléctrico, las tecnologías actuales y la integración con la Industria 4.0. Asimismo, el objetivo fue implementar una mejora en la adquisición de datos de parámetros eléctricos mediante el reemplazo de medidores analógicos por medidores electrónicos de última tecnología. Facilitar a estudiantes de ingeniería el aprendizaje de conceptos y principios de sistemas eléctricos a través de prácticas simuladas y la interacción con un software de adquisición de datos. La problemática indicó que los medidores analógicos actuales pueden limitar la comprensión integral de los estudiantes sobre los parámetros eléctricos. La falta de una interfaz moderna y software de adquisición de datos puede dificultar el aprendizaje práctico de conocimientos clave en ingeniería eléctrica.

La metodología aplicada fue cuantitativa con tipo de investigación descriptiva, donde se obtuvo datos eléctricos precisos por la implementación de medidores propuestos y el desarrollo del interfaz para estudiantes, posibilitando la interacción y comprensión de los parámetros del sistema. Los resultados obtenidos fueron sumamente satisfactorios y significativos para el proyecto en su totalidad. La implementación exitosa de los medidores electrónicos SENTRON PAC permitió una adquisición precisa y fiable de datos eléctricos, mejorando notablemente la calidad de

la información recopilada. El desarrollo del software de interfaz demostró ser una herramienta invaluable al facilitar la interacción de los estudiantes con el sistema, mejorando su comprensión de los parámetros eléctricos. Las conclusiones manifestaron que la implementación de medidores electrónicos y un software de adquisición de datos ha mejorado significativamente la interacción de los estudiantes con el Tablero de Pruebas Feedback. Esta sistemática ofrece una comprensión más profunda de los sistemas eléctricos y su aplicación en la Industria 4.0, preparando a los estudiantes para desafíos técnicos actuales (Zambrano & Anchundia, 2020).

Sin embargo, la Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC) expone una investigación con el tema “Implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real con simulación predictiva para sistemas de potencia.”, titulado por Shinji & Suenaga (2020), los cuales mencionan que la integración de componentes físicos y software de simulación permitió emular el comportamiento de sistemas eléctricos de potencia y analizar su operación en diferentes escenarios. El objetivo se direccionó en implementar un sistema de monitoreo en tiempo real con simulación predictiva para la gestión confiable, segura y eficiente de los Sistemas Eléctricos de Potencia. Cabe resaltar que la deficiencia rige la integración de componentes físicos y software de simulación requirió la comprensión detallada de direcciones, protocolos de comunicación y parámetros de diseño de los dispositivos. Además, se buscó evaluar la precisión del modelo simulado comparándolo con mediciones reales en diferentes condiciones de operación.

En este estudio se empleó la metodología fue experimental, ya que se realizaron modificaciones en distintos elementos de un sistema eléctrico de potencia, como cargas, interruptores y seccionadores, con el fin de anticipar y examinar cómo afecta el cambio en uno o más de estos componentes al comportamiento general de la red eléctrica. La técnica aplicada fue la simulaciones predictivas para el análisis del comportamiento de un sistema eléctrico de potencia en condiciones de variables eléctricas. Los experimentos se efectuaron en el Laboratorio de Energía Renovable y Smart Grid de la institución educativa. Los resultados revelaron la integración exitosa que permitió emular con precisión el comportamiento del sistema eléctrico de potencia

en el software de simulación. Los análisis en diferentes escenarios demostraron cómo los cambios en el estado de los componentes impactan en el sistema en términos de operatividad y estabilidad. La comparación entre los valores simulados y medidos en tiempo real informó el grado de precisión de la simulación predictiva aplicada, identificando el porcentaje de error en las mediciones y proporcionando información sobre la confiabilidad del modelo empleado. Las conclusiones describieron que la integración de componentes físicos con software de simulación demostró ser efectiva para emular el comportamiento de sistemas eléctricos de potencia. Los análisis realizados permitieron comprender mejor los efectos de cambios en el estado de operación de los componentes, proporcionando información valiosa para futuras implementaciones y mejoras en sistemas de energías renovables y Smart Grid. La evaluación de la precisión de la simulación predictiva establece una base sólida para su aplicación en la predicción y control de sistemas eléctricos en tiempo real (Shinji & Suenaga, 2020).

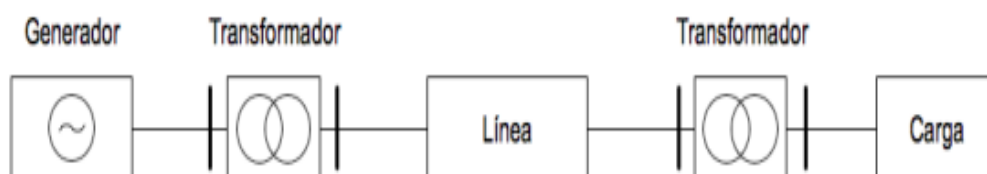
## 2.2. Sistema Eléctrico de Potencia

Un sistema eléctrico de potencia es el conjunto de subsistemas eléctricos que tiene como función efectuar procesos enfocándose en la generación, transmisión y distribución de la energía en condiciones para su consumo posterior, con parámetros de calidad de energía aceptables (Maxinez, 2023).

Existiendo una variedad enorme de sistemas eléctricos ya que pueden abarcar países, ciudades, industrias, y en este caso, universidades y todo aquello que requiera de energía eléctrica para funcionar. Como se aprecia en la figura 1.

**Figura 1.**

*Sistema eléctrico de potencia básico.*



*Nota:* En la imagen se observa un esquema unifilar de un sistema de potencia tradicional. Tomada de (Lasluisa, 2020)

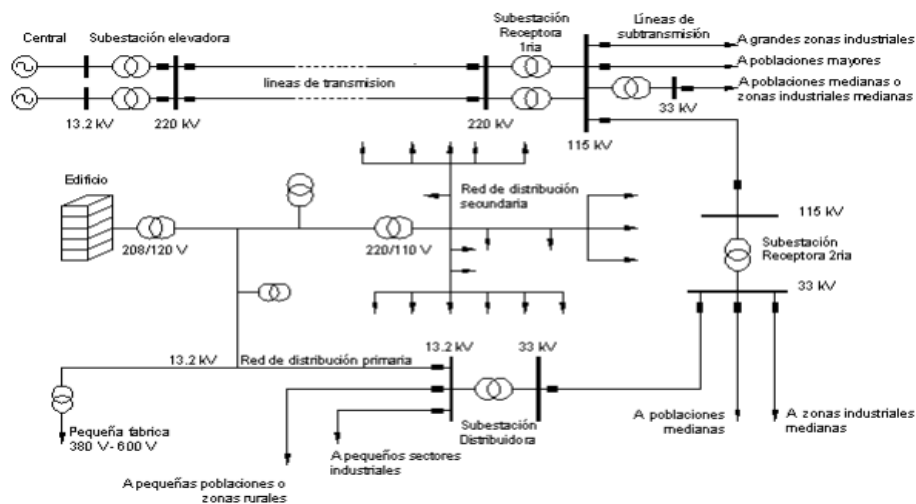
## 2.1 Sistema de Distribución Eléctrica

Un sistema de distribución de energía eléctrica es el conjunto de elementos encargados de conducir la energía desde una subestación de potencia hasta el usuario. Básicamente, la distribución de energía eléctrica comprende las líneas primarias de distribución, los transformadores de distribución, las líneas secundarias de distribución, las acometidas y medidores (Morón, 2021).

La distribución de la energía eléctrica debe realizarse de tal manera que el cliente reciba un servicio continuo, sin interrupciones, con un valor de tensión adecuado que le permita operar sus aparatos eficientemente, y que la onda senoidal sea pura, es decir que esté libre de armónicas. La distribución de energía eléctrica debe llevarse a cabo con redes bien diseñadas que soporten el crecimiento propio de la carga, y que además sus componentes sean de la mejor calidad para que resistan el efecto del campo eléctrico y los efectos de la intemperie a la que se verán sometida durante su vida útil. Las redes eléctricas deben ser llevadas y construidas de manera que tengan la flexibilidad suficiente para ampliarse progresivamente con cambios mínimos en las construcciones existentes, y así asegurar un servicio adecuado y continuo para la carga presente y futura al mínimo costo de operación (Morón, 2021)

Figura 2.

*Sistema eléctrico de distribución.*



Nota: Diagrama de bloques de un sistema eléctrico de potencia. Fuente: (Morón, 2021).

## **2.2. Análisis de Calidad de Energía**

El análisis de calidad de energía es esencial para entender y mejorar la eficiencia en el consumo eléctrico de industrias como el sector papelerero. El medidor Sentron PAC 4200 se destaca por su capacidad para controlar y monitorear las magnitudes eléctricas, permitiendo identificar problemas y tomar medidas para el ahorro energético (Dillana, 2023).

La calidad de energía se refiere a la conformidad de la energía eléctrica suministrada con los estándares requeridos para un funcionamiento adecuado de los equipos. Incluye aspectos como la fluctuación de voltaje, armónicos, interrupciones, flicker, entre otros (Carrasco, 2023).

### **2.2.1. Calidad de Energía Eléctrica.**

Las compañías eléctricas tienen como objetivo primordial garantizar un suministro eléctrico continuo, seguro y de calidad a sus consumidores. A pesar de los esfuerzos constantes por mantener estas condiciones ideales, los sistemas eléctricos pueden enfrentar problemas que causen interrupciones y una calidad deficiente en el suministro de energía, siendo este último aspecto esencial para el funcionamiento óptimo de equipos eléctricos y electrónicos conectados a la red (Velasco & Zurita, 2022).

La calidad de la energía eléctrica se refiere a la entrega de energía a los equipos y puntos de consumo con las condiciones necesarias para mantener su funcionamiento sin generar fallos en sus componentes. Desde la perspectiva del consumidor, la calidad de la energía se relaciona con la variación de tensión en los puntos de conexión de diversas cargas, influenciada por perturbaciones generadas por los equipos conectados a la red.

Según la normativa IEEE (2020) manifiesta una definición amplia de la calidad de energía, indicando “una variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente eléctrica en puntos específicos de la red” (p. 11).

La importancia de la calidad de energía radica en el incremento de la

productividad y la competitividad empresarial. Las empresas buscan optimizar sus procesos mediante la implementación de equipos de alta frecuencia, la automatización con dispositivos electrónicos y de computación, reducción de costos asociados a la continuidad del servicio y la calidad energética, minimización de pérdidas energéticas y la prolongación de la vida útil de sus equipos (Ramos, 2022).

En el contexto de la calidad de energía, se hace hincapié en la calidad de las señales de tensión y corriente, así como en la fiabilidad del suministro eléctrico en su conjunto. Esto es crucial para mantener la eficiencia y fiabilidad de los sistemas eléctricos y electrónicos en las industrias actuales.

### **2.2.2. Importancia del análisis de calidad de energía en la industria.**

Es fundamental garantizar una energía confiable al abordar problemas de voltaje en el lugar de uso y proponer soluciones para reducir las fallas en el sistema eléctrico de la compañía proveedora. Esto busca lograr un suministro eléctrico consistente y de alta calidad para los usuarios (Carugati, y otros, 2020).

### **2.2.3. Tipos de Cargas.**

En un sistema eléctrico, la presencia de diversas cargas provoca alteraciones en la calidad de energía. Por ejemplo, la utilización de equipos electrónicos genera perturbaciones causadas por fenómenos electromagnéticos que pueden ocasionar problemas de funcionamiento. Dentro de estos tipos de carga, se distinguen dos categorías principales (Jácome & Salgado, 2023):

#### **➤ Cargas Lineales:**

Estas cargas exhiben un comportamiento lineal, lo que significa que, al aplicar una tensión, la forma de onda de la corriente se mantiene constante (sinusoidal). Este tipo de corriente no presenta componentes armónicas. En condiciones estacionarias, estas cargas mantienen una impedancia constante con respecto a la fuente de energía, a lo largo del ciclo de voltaje aplicado. La carga lineal se caracteriza por tener una sola componente fundamental, que es la corriente (Jácome & Salgado, 2023).



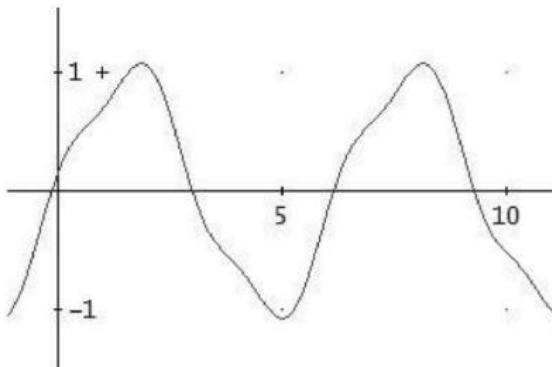
### ➤ Cargas No Lineales:

Las cargas no lineales se distinguen por tener una forma de onda de corriente que no es sinusoidal. Es decir, al aplicar un voltaje sinusoidal, la corriente no sigue la misma forma de onda. Este tipo de carga es responsable de generar perturbaciones en la red eléctrica.

Estas diferencias entre cargas lineales y no lineales son fundamentales para comprender cómo diferentes dispositivos eléctricos impactan en la calidad de la energía y cómo estas perturbaciones pueden afectar el funcionamiento general del sistema eléctrico (Jácome & Salgado, 2023).

**Figura 3.**

*Representación gráfica del flujo de corriente no lineal.*



*Nota:* Se visualiza el gráfico que representa la corriente generada por una carga no lineal en un sistema eléctrico. Fuente: (Arteaga, 2021).

### 2.3. Clasificación de los fenómenos que intervienen en la red eléctrica

Los fenómenos electromagnéticos que afectan a la calidad de la energía eléctrica se agrupan en diferentes categorías, según la normativa IEEE (2020). La Tabla 1, enumera los principales fenómenos que causan perturbaciones en la red eléctrica.

**Tabla 1***Importantes fenómenos ocasionales de perturbaciones.*

Fenómenos	Perturbaciones
	Armónicos, Interarmónicos
	Sistemas de señalización
	Fluctuaciones de tensión
Fenómenos de baja frecuencia trasladados	Bajas de tensión e interrupciones
	Desequilibrio de la tensión
	Variaciones de la frecuencia de energía
	Tensiones inducidas de baja frecuencia
Fenómenos de baja frecuencia radiada	Campos magnéticos
	Campos eléctrico
	Tensiones o corrientes inducidas de
Fenómenos de alta frecuencia trasladados	onda continua
	Transitorios unidireccionales
	Transitorios oscilantes
	Campos magnéticos
	Campos eléctricos
Fenómenos de alta frecuencia radiada	Campos electromagnéticos
	Ondas continuas
	Transitorios

*Nota:* Fenómenos eléctricos y sistemas de energía. Fuente: (IEEE, 2020).

La clasificación de fenómenos eléctricos, destacando aquellos asociados con baja y alta frecuencia, tanto en términos de traslado como de radiación. En el grupo de baja frecuencia trasladada, se abordan problemas como los armónicos e interarmónicos, que pueden distorsionar las formas de onda, así como fluctuaciones y desequilibrios en la tensión eléctrica. También se incluyen situaciones como bajas de tensión e interrupciones, que representan pérdidas temporales o completas de la energía eléctrica suministrada. Además, se mencionan tensiones inducidas de baja frecuencia, generadas por influencias externas (Chancusig , 2021).

En relación con la baja frecuencia radiada, se exploran campos magnéticos y campos eléctricos como manifestaciones de radiación electromagnética en sistemas

eléctricos. Pasando a la alta frecuencia trasladada, se detallan tensiones o corrientes inducidas de onda continua, así como transitorios unidireccionales y oscilantes, indicando cambios temporales y no continuos en las señales eléctricas.

Finalmente, en la categoría de alta frecuencia radiada, la tabla menciona campos magnéticos, campos eléctricos y campos electromagnéticos, así como ondas continuas y transitorios, todos estos fenómenos vinculados a la radiación de campos a alta frecuencia. Este análisis refleja la complejidad de los fenómenos eléctricos y destaca su diversidad en términos de frecuencia y modalidad de propagación, resaltando la importancia de comprender y gestionar estos aspectos para garantizar la calidad y confiabilidad de los sistemas eléctricos (Chancusig , 2021).

## **2.4. Fenómenos que afectan la calidad de energía en la red eléctrica**

Un sistema eléctrico puede experimentar diversos tipos de perturbaciones que pueden ocasionar problemas en el funcionamiento de los equipos e instalaciones conectadas a la red. Estas perturbaciones se relacionan con factores como la amplitud, frecuencia, la forma de onda y el rendimiento del sistema eléctrico o electrónico (Pánchez & Guillen, 2019).

La normativa IEEE (2020) categoriza estas perturbaciones en siete grupos distintos, que abarcan desde transitorios y variaciones de la tensión de corta y larga duración, hasta desequilibrios en la tensión, distorsiones en la forma de onda, fluctuaciones en la tensión y variaciones en la frecuencia de alimentación. Esta clasificación proporciona un marco estructurado para comprender y abordar las diversas perturbaciones que pueden afectar la estabilidad y operación eficiente de un sistema eléctrico. La identificación y comprensión de estas categorías son fundamentales para implementar medidas adecuadas de mitigación y protección.

### **2.4.1. Transitorios.**

Los efectos transitorios en un sistema eléctrico surgen debido a fenómenos momentáneos y se dividen en dos categorías: impulsivos y oscilatorios (Duarte, Freire, & Zambrano, 2021).

- **Transitorio impulsivo:** Este tipo de fenómeno se caracteriza por su rápida ocurrencia y una recuperación gradual, con una alta concentración de energía. Su duración puede extenderse hasta los 200 microsegundos.
- **Transitorio oscilatorio:** En este caso, se manifiesta de forma rápida con una caída exponencial, presentando una concentración de energía más baja en comparación con el transitorio impulsivo (Duarte, Freire, & Zambrano, 2021).

#### 2.4.2. Variaciones de corta duración.

Este fenómeno suele tener su origen cuando se activan cargas de gran tamaño en un sistema eléctrico, aunque también puede ocurrir debido a fallos en el propio sistema (Plata & Farfán, 2022).

- **Interrupción instantánea:** Se define como la completa ausencia de tensión en un sistema durante un período específico, siendo instantánea, su duración oscila entre 0.5 y 30 ciclos.
- **Hueco de tensión (SAG):** Es una variación de corta duración en la cual la tensión se reduce en intervalos de 0.5 ciclos; estas fluctuaciones en la tensión son más constantes que las interrupciones de potencia.
- **Salto de tensión (SWELL):** Se caracteriza por un aumento repentino en la tensión que puede persistir hasta 1 minuto. Los efectos de esta variación van desde la degradación hasta la falla completa del aislamiento de los componentes electrónicos (Plata & Farfán, 2022).

#### 2.4.3. Variaciones de larga duración.

Estos fenómenos involucran fluctuaciones en los niveles de tensión que persisten por más de un minuto (Velarde , 2022).

- **Interrupción Sostenida:** Consiste en la ausencia total de tensión en un sistema por un período que excede los dos minutos.
- **Subtensión:** Se refiere a la disminución del voltaje por más de dos minutos, a menudo relacionada con la conexión o desconexión de bancos de capacitores. Este fenómeno afecta principalmente aplicaciones con motores, aumentando

sus pérdidas.

- **Sobretensión:** Describe un aumento en el voltaje respecto a su nivel base que se prolonga por más de dos minutos, pudiendo ser ocasionado por bancos de capacitores o reguladores de voltaje presentes en transformadores (Velarde , 2022).

#### 2.4.4. Desequilibrio de tensión.

La relación entre las secuencias positivas y negativas del voltaje precisa esta medida. Las causas primarias suelen derivarse de daños en bancos de capacitores o la incorporación de cargas monofásicas en sistemas trifásicos (Maxinez, 2023).

El vínculo entre las secuencias positivas y negativas del voltaje es primordial para entender este parámetro. Normalmente, los daños en bancos de capacitores o la introducción de cargas monofásicas en sistemas diseñados para trifásicos suelen ser las razones principales detrás de esta medida. Es concluyente considerar esta relación para comprender los desequilibrios en los sistemas eléctricos (Maxinez, 2023).

#### 2.4.5. Distorsión de la forma de onda.

Este fenómeno se establece en sistemas eléctricos al relacionar la señal sinusoidal tanto de tensión como de corriente, debido a distorsiones presentes en estas ondas (Plata & Farfán, 2022).

- **Armónicos:** Surgen cuando las ondas senoidales de tensión y corriente en un sistema eléctrico no son ideales, provocando una distorsión debido a los armónicos generados en ambas señales. Para evaluar su nivel, se utiliza un factor de distorsión en ambos casos.
- **Cortes:** Se trata de una distorsión cíclica en la onda que ocurre periódicamente, generalmente cuando hay cambios entre elementos del sistema eléctrico. También se conoce como hendidura o notching.
- **Ruido:** Este fenómeno, aunque de baja intensidad, suele tener una frecuencia elevada que no supera los 200 kHz. A pesar de su intensidad, puede dañar

equipos sensibles y suele manifestarse entre los cables de línea y potencia (Plata & Farfán, 2022).

#### **2.4.6. Fluctuación de tensión.**

También reconocido como parpadeo o flicker, esta perturbación surge debido a una variación rápida y repetitiva en la tensión eléctrica. Es más común en dispositivos de iluminación, manifestándose como un parpadeo visible para el ojo humano. Por lo general, la amplitud de esta variación es menor al 1% (Duarte, Freire, & Zambrano, 2021).

### **2.3. Resistencia a tierra**

Guel (2021) define como “la oposición que enfrenta el suelo al flujo de corriente eléctrica, y la resistencia de un sistema de puesta a tierra se determina por su capacidad para disipar la corriente de falla”. Esta resistencia varía según la composición del suelo, incluyendo sus estratos y capas, que afectan la conductividad de los conductores involucrados.

En comparación con la resistencia del suelo, la resistencia del electrodo y su contacto con el suelo pueden considerarse insignificantes, ya que la tierra es virtualmente infinita en tamaño en relación con los sistemas de puesta a tierra. Esta perspectiva resalta la importancia de comprender y gestionar adecuadamente la resistencia del suelo en los sistemas de puesta a tierra para garantizar un funcionamiento eficaz y seguro (Usnayo & Mamani, 2020).

#### **2.3.1. La Calidad de Energía y el Sistema de Puesta a Tierra**

La relación entre la calidad de energía y los sistemas de puesta a tierra ha ganado un creciente interés en la investigación científica, como se evidencia en el estudio de Erazo & Arcos (2022). El estudio presenta una serie de recomendaciones de ingeniería dirigidas a mitigar las perturbaciones transitorias generadas por descargas a tierra de rayos. Estas perturbaciones, comúnmente manifestadas como sobretensiones y sobrecorrientes, tienen un impacto significativo en el funcionamiento de las instalaciones eléctricas de uso final. Las recomendaciones se basan en los estándares de puesta a tierra descritos en las normas IEC (IEC 62305-3 y 62305-4,

2010) y se enfocan en su implementación durante las fases de diseño y construcción de las instalaciones.

Los sistemas de puesta a tierra deben ser capaces de soportar corrientes de cortocircuito durante el intervalo entre la ocurrencia de la falla y la activación de los dispositivos de protección e interruptores que la contrarrestan, sin comprometer sus propiedades eléctricas o mecánicas. Además, deben tener la capacidad de disipar corrientes hacia la tierra, provenientes de eventos transitorios como descargas atmosféricas o la acción de pararrayos ante sobretensiones, sin generar diferencias de potencial significativas que puedan dañar equipos críticos en subestaciones, plantas industriales, edificaciones o líneas de transmisión (Ludeña & Galarza, 2023).

#### 2.4. Fundamentos del Medidor Sentron PAC 4200

La evolución constante de la tecnología de medición de energía ha llevado a la inclusión de un medidor de última generación, el Siemens SENTRON PAC4200, en el diseño de la nueva subestación eléctrica. Este medidor universal ofrece diversas interfaces de comunicación, texto multilingüe para indicaciones, control de calidad de red, capacidad de expansión con módulos opcionales, registro detallado del perfil de carga, precisión en la medición de la energía, generación de gráficos y otras ventajas significativas. A continuación se observa en la figura 4 el medidor de energía Siemens.

Figura 4.

Medidor de energía Siemens SENTRON PAC4200.



Nota: Diagrama esquemático de Medidor de energía Siemens SENTRON PAC4200. Fuente: (Manzanares, 2023).

El medidor universal Siemens SENTRON PAC4200 se utiliza para registrar y visualizar todos los parámetros concluyentes de la red en distribuciones de energía de baja tensión. Este medidor puede operar de forma independiente o integrarse en un sistema de gestión energética más amplio. Además de su función de registro de energía, el Siemens SENTRON PAC4200 permite un monitoreo continuo de la calidad de la red. Puede detectar armónicos hasta el 31º orden y proporcionar una indicación del nivel de distorsión mediante el factor THD. Los datos operativos y del sistema se almacenan en su memoria interna para evaluar el estado del sistema (Siemens, 2020).

También, este medidor puede registrar el perfil de carga durante extensos periodos, y los contadores de impulsos de gas, agua, aire comprimido u otros portadores de energía pueden conectarse a sus entradas y salidas digitales. Su integración en sistemas existentes es posible gracias a interfaces como Ethernet, RS-485 opcional, Profibus, y Gateway de Ethernet a RS-485. La operación del medidor se realiza a través de su panel frontal con cuatro teclas, y su pantalla grande de 72 x 54 mm ofrece varias opciones de visualización personalizables, como gráficos, listas o histogramas (Manzanares, 2023).

Su diseño con protección IP65 en la parte frontal permite su uso en entornos húmedos o polvorientos sin problemas. Además, el software SENTRON Power Manager incluido facilita la configuración rápida y sencilla del medidor. Asimismo, es posible observar los valores de medición actuales y seleccionar los datos almacenados (formato CSV) en su memoria interna con ayuda de este software (Siemens, 2020)

#### **2.4.1. Descripción Técnica del PAC 4200.**

El analizador de calidad de energía SENTRON PAC 4200 tiene la capacidad de medir diversas magnitudes eléctricas, como voltajes, corrientes, potencias y frecuencia en un amplio espectro. Esta herramienta simplifica la medición de parámetros eléctricos al consolidar todas estas magnitudes y presentarlas de manera organizada y clara, lo que facilita el manejo del proceso en curso (Zambrano & Anchundia, 2020).



Principales especificaciones del dispositivo:

- Soporta voltajes de entrada de hasta 690 VAC en sistemas trifásicos; para voltajes más altos se requiere el uso de transformadores de voltaje.
- Las entradas de corriente están definidas en proporciones de 1 a 5 amperios y sus múltiplos mediante transformadores de corriente.
- Realiza cálculos y mediciones de valores como voltaje fase-neutro, voltaje fase-fase, corriente fase-neutro y factor de potencia (FP) en sus valores mínimos, máximos y promedio.
- Mide valores reales RMS (Root Mean Square) de voltaje y corriente con una precisión no superior al 2%.
- Puede registrar magnitudes eléctricas durante un máximo de 40 días y tiene la opción de utilizar la memoria de otros dispositivos Siemens.
- Todos los datos registrados incluyen información de fecha, hora y nombre. Adicionalmente, se puede configurar el nombre del registro guardado mediante un software adicional (Zambrano & Anchundia, 2020).

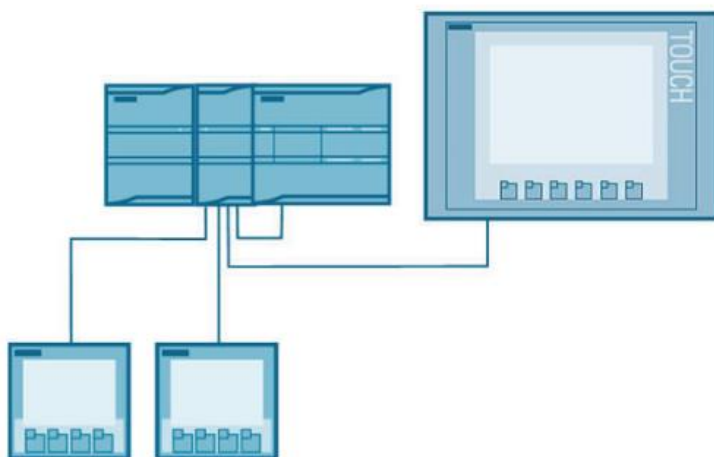
Características fundamentales de comunicación del SENTRON PAC 4200 se basan en protocolos establecidos en la industria para comunicaciones industriales. Algunas de sus especificaciones incluyen:

- Integración de una interfaz Ethernet de 10/100 Mbit/s.
- Disponibilidad de los protocolos Modbus RTU y Modbus TCP para comunicación a través de Ethernet.
- Posibilidad de comunicación serial mediante la adición de un módulo externo (Zambrano & Anchundia, 2020).

En la fig 5, se observa la interfaces de conexión del PLCs , HMI, y los diferentes medidores que podemos agregar.

**Figura 5.**

*Interfaces SENTRON PAC 4200*



*Nota:* Tablero del Medidor de energía SENTRON PAC 4200. Fuente: (Zambrano & Anchundia, 2020)

#### **2.4.2. Funcionalidades clave para el análisis de calidad de energía.**

El Medidor de energía SENTRON PAC 4200 es un dispositivo de medición de energía eléctrica de última generación que ofrece una amplia gama de funcionalidades para el análisis de calidad de energía (PQ) (Manzanares, 2023). Algunas de las funcionalidades clave del PAC 4200 para el análisis de PQ incluyen:

**Tabla 2**

*Funcionalidades del Medidor de energía SENTRON PAC 4200 para el análisis de calidad de energía.*

<b>Funcionalidades de Análisis de PQ</b>	<b>Descripción</b>
Medición de parámetros de PQ	<ul style="list-style-type: none"><li>• Distorsión armónica total (THD)</li><li>• Distorsión armónica de tensión (THDv)</li><li>• Distorsión armónica de corriente (THDi)</li><li>• Interrupciones de tensión</li><li>• Picos de tensión</li></ul>

---

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Picos de corriente</li> <li>• Distorsión de fase</li> <li>• Flicker</li> <li>• Factor de potencia</li> </ul>
Almacenamiento de datos de PQ	El PAC 4200 permite almacenar datos de PQ hasta por un año para análisis a largo plazo.
Visualización de datos de PQ	El PAC 4200 ofrece herramientas variadas como gráficos, tablas y alarmas para interpretar los datos.
Gestión de alarmas de PQ	El PAC 4200 configura alarmas para notificar eventos de PQ y prevenir daños a equipos.

---

*Nota:* Medición de parámetros de PQ: El PAC4200 mide una amplia gama de parámetros de PQ.  
Fuente: (Siemens AG, 2020).

El PAC 4200 es una herramienta valiosa para los profesionales de la energía que necesitan analizar la calidad de la energía. Las funcionalidades clave del PAC 4200 permiten a los usuarios:

- **Identificar problemas de calidad de energía:** Los datos de PQ proporcionados por el PAC 4200 pueden ayudar a los usuarios a identificar problemas de calidad de energía, como distorsiones armónicas, interrupciones de tensión y picos de tensión.
- **Evaluar el impacto de los problemas de calidad de energía:** El análisis de los datos de PQ puede ayudar a los usuarios a evaluar el impacto de los problemas de calidad de energía en los equipos y las operaciones.
- **Tomar medidas para mejorar la calidad de la energía:** Los datos de PQ pueden ayudar a los usuarios a tomar medidas para mejorar la calidad de la energía, como la instalación de filtros de armónicos o la corrección de factor de potencia (Manzanares, 2023).

## 2.5. Relevancia del Análisis de Calidad de Energía en el sector paplero

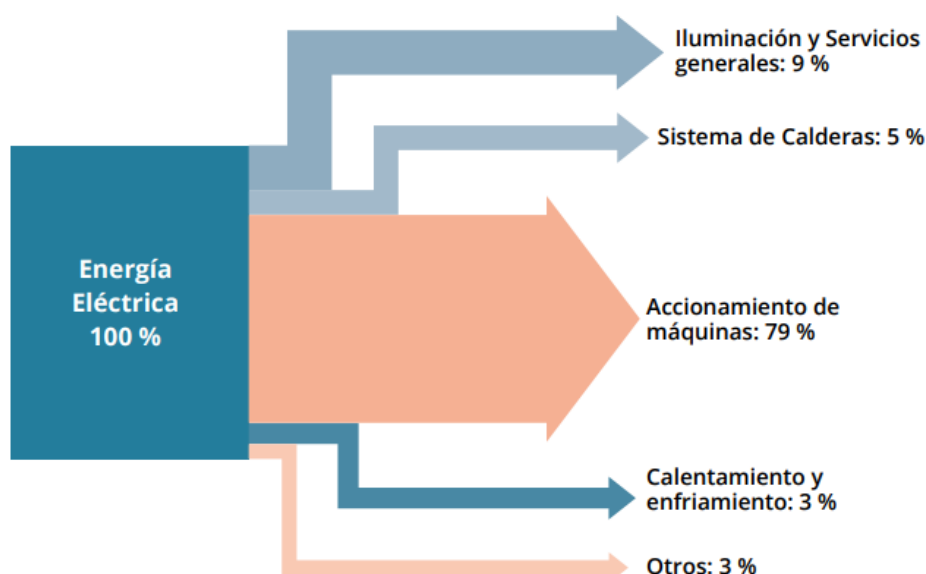
### 2.5.1. Impacto de la calidad de energía en procesos industriales de papel.

Según Ministerio de Energía y Minas (2020) informa que la industria papelera consume electricidad para alimentar maquinarias como bombas, motores y para el calor, especialmente en las máquinas de papel y calderas para generar vapor necesario en la planta. Mejorar la eficiencia energética en este sector industrial conlleva una reducción significativa en el consumo específico de energía, es decir, la cantidad de energía necesaria para producir una unidad del producto final.

La eficiencia energética se presenta como una herramienta valiosa para disminuir el consumo energético y optimizar los procesos de producción. En otras palabras, se trata de producir igual o más, utilizando una cantidad menor de energía. Esto brinda a los empresarios la oportunidad de aumentar su productividad y competitividad, llevando a cabo sus operaciones de manera sostenible.

**Figura 6.**

*Consumo de energía eléctrica en una industria papelera.*



*Nota:* Estadísticas de consumo de energía en el sector paplero. Fuente: (Ministerio de Energía y

Minas, 2020).

La distribución del consumo de energía eléctrica en la industria papelera se muestra en la Figura 6, donde el 79 % se destina al accionamiento de maquinarias, el 9 % a iluminación y servicios generales, el 5 % al sistema de calderas, el 3 % al calentamiento y enfriamiento, y otro 3 % a otros usos.

Por ende, el análisis de PQ puede ayudar a las empresas del sector papelero a:

- **Identificar los problemas de PQ:** El análisis de PQ puede ayudar a las empresas a identificar los problemas, como las distorsiones armónicas, las interrupciones de tensión y los picos de tensión.
- **Evaluar el impacto de los problemas de PQ:** El análisis de PQ puede aportar a las empresas a evaluar el impacto de los problemas, tales como los equipos y las operaciones.
- **Tomar medidas para mejorar la calidad de la energía:** El análisis de PQ puede contribuir a las empresas a tomar medidas para mejorar la calidad de la energía, como la instalación de filtros de armónicos o la corrección de factor de potencia (Velarde , 2022).

Los beneficios potenciales del análisis de PQ para el sector papelero incluyen:

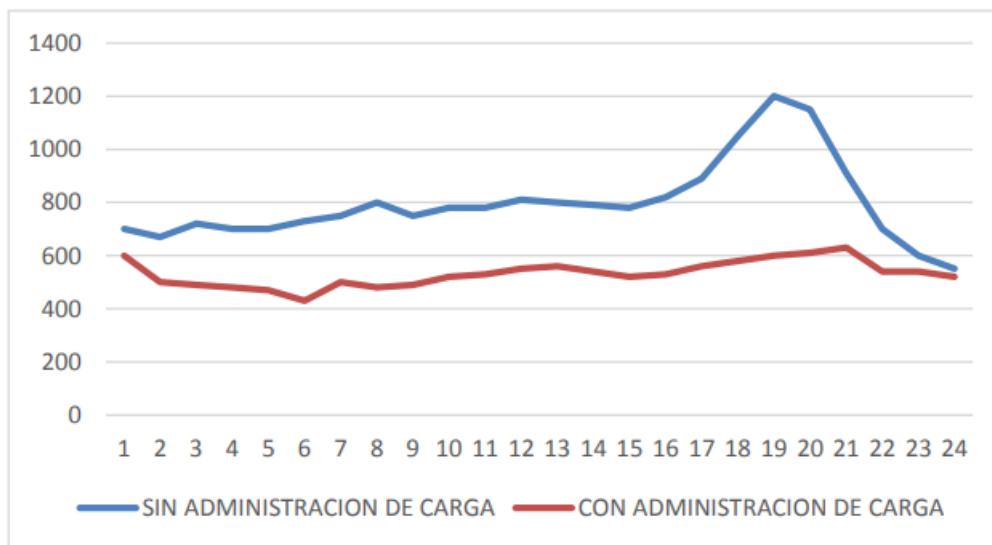
- **Reducción de los costes de energía:** El análisis de PQ puede ayudar a las empresas a identificar y abordar los problemas que están provocando un aumento de los costes de energía.
- **Aumento de la fiabilidad de los equipos:** El análisis de PQ puede retribuir a las empresas a identificar y abordar los problemas que están provocando daños en los equipos.
- **Mejora de la calidad del producto:** El análisis de PQ puede proporcionar a las empresas a identificar y abordar los problemas que están afectando a la calidad del producto (Velarde , 2022).

## 2.5.2. Necesidades específicas de Control y Monitoreo en el sector papelero.

Un plan de gestión de la demanda es una estrategia global orientada a la conservación de energía. Se trata de un proceso que involucra la planificación, ejecución y evaluación de actividades por parte de las empresas eléctricas para influir en el consumo de electricidad por parte de los usuarios. En lugar de invertir en la construcción de nuevas plantas de generación o ampliación de instalaciones, se busca modificar las costumbres de los clientes en su uso de la energía eléctrica, lo cual resulta más económico. El objetivo principal es alterar la forma y la magnitud de la curva de carga de la empresa en términos de tiempo y cantidad (Matamoros, 2021).

**Figura 7.**

*Comparación entre curvas con gestión y sin gestión de carga.*



*Nota:* Diferencia de la demanda de energía con y sin la gestión de demanda. Fuente: (Juna , 2019).

Las razones para implementar acciones de gestión de la demanda incluyen:

- Reducción de costos en la generación de energía.
- Consideraciones medioambientales.
- Las compañías eléctricas tienen información única para ayudar a los usuarios a mejorar la eficiencia en el uso de la electricidad, al conocer sus perfiles de consumo.

Los programas de gestión de la demanda tienen como metas:

- Ajustar la curva de carga sin comprometer el nivel del servicio ofrecido.
- Fomentar la eficiencia energética.
- Postergar inversiones en nuevas instalaciones.
- Reducir las pérdidas en líneas y transformadores, así como sus costos asociados.
- Mejorar la utilización general del sistema eléctrico.
- Minimizar el impacto ambiental.
- Aumentar la flexibilidad y la confiabilidad del sistema con las instalaciones existentes (Matamoros, 2021).

#### **2.5.2.1. Monitoreo de la demanda de energía.**

El inicio fundamental en la mejora de cualquier proceso es la medición; solo lo que se evalúa puede ser gestionado y, por ende, mejorado. La reducción y el uso eficiente de la energía no son factibles sin una fuente fiable de datos (CEPAL, 2018).

Un sistema de monitoreo se compone de una red de medidores interconectados a un servidor central. Su objetivo principal radica en la gestión efectiva de la energía, y para lograr una administración óptima, la información que proporciona es fundamental. Esto implica la transformación de datos brutos en información útil para el usuario (CEPAL, 2018).

#### **2.5.2.2. Sectores en donde se realiza el monitoreo.**

Las aplicaciones del monitoreo varían según las necesidades individuales de cada usuario, pero generalmente involucran la instalación de medidores en los alimentadores principales, sub-medición por zonas y en equipos críticos.

La medición en los alimentadores principales permite comparar los datos con la compañía proveedora del servicio. La sub-medición por áreas analiza y contrasta el

consumo de energía por zonas según los horarios de operación. Por otro lado, la medición en cargas críticas facilita información específica sobre el consumo en equipos particulares (Matamoros, 2021).

#### **2.5.2.3. Importancia del monitoreo.**

Un sistema de monitoreo proporciona información fundamental sobre el funcionamiento de la red eléctrica, lo que contribuye a prevenir posibles fallos que podrían resultar en cortes parciales o prolongados en áreas críticas. También permite mejorar la infraestructura eléctrica utilizando los datos recopilados. Además, este sistema ayuda a gestionar eficientemente las cargas y a reducir los costos asociados a su consumo. Un sistema de monitoreo eficaz revela dónde se está utilizando la energía, de qué manera y con qué posibilidades reales de ahorro se cuenta (Rojas, 2019).

#### **2.5.2.4. Control de la demanda energía.**

Regular la demanda implica la interrupción programada y periódica de ciertas cargas eléctricas que tienen un impacto directo en el nivel de consumo de energía, con el objetivo principal de reducir o limitar los niveles de utilización de energía.

Es importante resaltar que el control de la demanda energética representa una oportunidad significativa para ahorrar energía, aunque requiere una atención cuidadosa, tiempo y comprensión de las necesidades del consumidor. Para que esta estrategia sea viable, es necesario asegurarse de que estas acciones no afecten negativamente esas necesidades (Nevárez, 2020).

#### **2.5.2.5. Estrategias para el control de la demanda de energía.**

Según Gómez, Hernández, & Rivas (2018) manifiesta que existen diversas estrategias para gestionar la demanda de energía eléctrica. Estas estrategias incluyen:

- **Incentivos tarifarios:** Esta estrategia promueve ciertos patrones de consumo de energía al ofrecer incentivos tarifarios. Los usuarios enfrentan tarifas más altas durante los periodos de alta demanda, lo que fomenta actividades



energéticas fuera de esos momentos para acceder a tarifas más bajas.

- **Tecnología Smart Metering:** Los sistemas de medición inteligente brindan a los usuarios información en tiempo real sobre los costos de la electricidad. Esta información permite ajustes en el consumo durante los periodos de alta demanda, utilizando dispositivos inteligentes que facilitan este proceso.
- **Programas de eficiencia energética:** Estos programas educan a los usuarios sobre los beneficios de un uso eficiente de la electricidad, destacando los ahorros económicos y el impacto ambiental positivo. Incluyen prácticas como la adopción de iluminación eficiente y la actualización de equipos para maximizar la eficiencia energética.
- **Control directo de cargas:** Esta estrategia es ampliamente utilizada, permitiendo la activación o desactivación de cargas eléctricas, a menudo de manera remota. Esta gestión flexible permite ajustes parciales o temporales en función de las necesidades del usuario, priorizando momentos de alta demanda para reducir picos de consumo (Gómez, Hernández, & Rivas, 2019).

## 2.6. Parámetros y Magnitudes Eléctricas Medibles por el PAC 4200

El Medidor de Energía SENTRON PAC4200 es un dispositivo de medición de energía eléctrica de última generación que ofrece una amplia gama de funcionalidades para el análisis de calidad de energía (Manzanares, 2023). El PAC4200 puede medir una amplia gama de parámetros y magnitudes eléctricas, que se pueden clasificar en las siguientes categorías:

**Tabla 3**

*Categorías de los parámetros y magnitudes eléctricas medibles por el PAC 4200.*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Descripción</b>
Tensión RMS	Voltios	Valor eficaz de la tensión
Tensión pico	Voltios	Valor máximo de la tensión
Tensión de cresta	Voltios	Valor máximo instantáneo de la tensión
Tensión de valle	Voltios	Valor mínimo instantáneo de la tensión
Tensión de armónicos	Voltios	Tensión de los armónicos de la tensión

Tensión de interarmónicos	Voltios	Tensión de los interarmónicos de la tensión
Tensión de flicker	Voltios	Tensión del flicker
Corriente RMS	Amperios	Valor eficaz de la corriente
Corriente pico	Amperios	Valor máximo de la corriente
Corriente de cresta	Amperios	Valor máximo instantáneo de la corriente
Corriente de valle	Amperios	Valor mínimo instantáneo de la corriente
Corriente de armónicos	Amperios	Corriente de los armónicos de la corriente
Corriente de interarmónicos	Amperios	Corriente de los interarmónicos de la corriente
Corriente de flicker	Amperios	Corriente del flicker
Potencia activa	Vatios	Potencia que se convierte en trabajo
Potencia reactiva	Var	Potencia que almacena energía
Potencia aparente	VA	Potencia total
Factor de potencia		Relación entre la potencia activa y la potencia aparente
Potencia de armónicos	Vatios	Potencia de los armónicos
Potencia de interarmónicos	Vatios	Potencia de los interarmónicos
Frecuencia RMS	Hertzios	Valor eficaz de la frecuencia
Frecuencia pico	Hertzios	Valor máximo de la frecuencia
Frecuencia de armónicos	Hertzios	Frecuencia de los armónicos de la frecuencia
Frecuencia de interarmónicos	Hertzios	Frecuencia de los interarmónicos de la frecuencia
Índice de flicker		Medida de la severidad del flicker
Cresta de flicker		Valor máximo del índice de flicker
Factor de flicker		Relación entre el índice de flicker y el valor pico de la tensión
Duración de la interrupción	Segundos	Tiempo durante el cual se interrumpe la tensión
Número de interrupciones	Número	Número de veces que se interrumpe la tensión
Valor pico	Voltios	Valor máximo de la tensión durante la interrupción
Duración del pico	Segundos	Tiempo durante el cual la tensión permanece en su valor pico durante la interrupción
Distorsión armónica total (THD)		Porcentaje de la potencia total que se debe a los armónicos

Distorsión armónica de tensión (THDv)		Porcentaje de la potencia de tensión que se debe a los armónicos
Distorsión armónica de corriente (THDi)		Porcentaje de la potencia de corriente que se debe a los armónicos
Armónicos individuales		Valor de los armónicos individuales
Temperatura	Grados Celsius	Temperatura del aire
Humedad	%	Humedad relativa del aire
Condición de carga		Descripción de la carga eléctrica

*Nota:* El PAC4200 ofrece mediciones variadas de parámetros eléctricos en diversas categorías. Fuente: (Siemens AG, 2020).

El PAC4200 también ofrece una serie de funcionalidades adicionales que permiten a los usuarios realizar un análisis más completo de la calidad de la energía, como:

- **Almacenamiento de datos:** puede almacenar datos durante un período de hasta 1 año. Esto permite realizar un análisis de tendencias a largo plazo de la calidad de la energía.
- **Visualización de datos:** El PAC4200 ofrece una variedad de herramientas de, incluidos gráficos, tablas y alarmas. Esto facilita la interpretación de los datos de PQ.
- **Gestión de alarmas:** El PAC4200 permite configurar alarmas para notificar a los usuarios de los eventos de PQ. Esto puede ayudar a prevenir daños a los equipos y a garantizar la continuidad del negocio (Manzanares, 2023).

### 2.6.1. Voltaje, corriente y frecuencia eléctrica.

El voltaje, la corriente y la frecuencia son tres parámetros eléctricos fundamentales que definen la calidad de la energía eléctrica.

- **Voltaje**

El voltaje es la diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos. Se mide en voltios (V). El voltaje es una fuerza que impulsa la corriente eléctrica a través de un circuito. El voltaje normal en las redes eléctricas domésticas y comerciales es de 220 V en corriente alterna (CA) a 50 Hz (Chirinos , 2020).

- **Corriente**

La corriente es el flujo de electrones a través de un circuito. Se mide en amperios (A). La corriente es causada por el voltaje. Además, la corriente normal en las redes eléctricas domésticas y comerciales es de 10 A en CA a 50 Hz (Chirinos , 2020).

- **Frecuencia**

La frecuencia es el número de veces que el voltaje cambia de polaridad en un segundo. Se mide en hertzios (Hz). La frecuencia es una medida de la velocidad a la que la corriente fluye a través de un circuito.

En base a estos conocimientos las relaciones entre ellos es que el voltaje, la corriente y la frecuencia están relacionados entre sí por la ley de Ohm. Esta ley establece que la corriente es igual al voltaje dividido por la resistencia (Chirinos , 2020).

$$I = \frac{V}{R} \quad 1$$

Donde:

- I es la corriente (en amperios)
- V es el voltaje (en voltios)
- R es la resistencia (en ohmios)

La frecuencia también afecta la corriente. La corriente es mayor a frecuencias más altas.

$$I = \frac{V}{R \sqrt{2\pi f}} \quad 2$$

Donde:

- f es la frecuencia (en hertzios)

La medición de la calidad de la energía mediante los medidores es fundamental

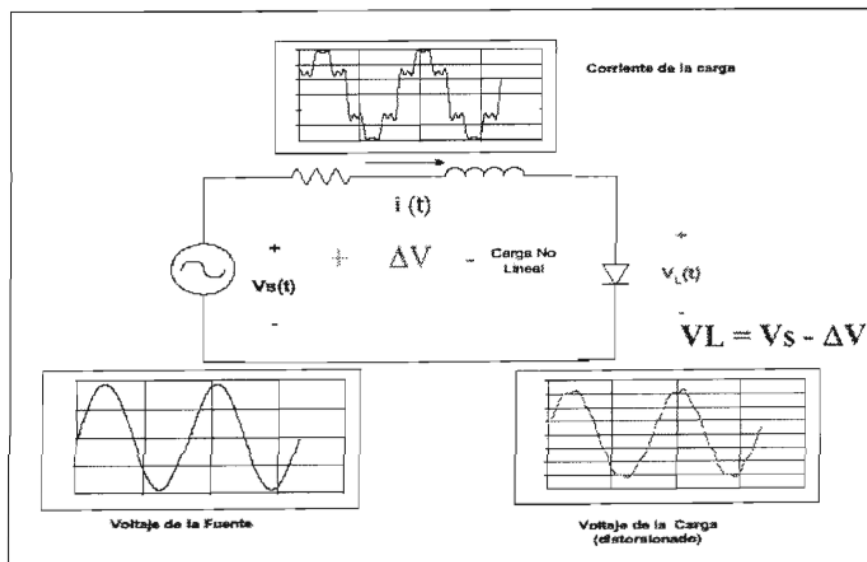
para asegurar la fiabilidad y eficiencia de los sistemas eléctricos. Estos dispositivos son capaces de evaluar diversos aspectos como voltaje, corriente, frecuencia, sobretensiones, subtensiones, interrupciones de tensión y distorsiones armónicas. La medición de la calidad de la energía es importante para garantizar la fiabilidad y la eficiencia de los sistemas eléctricos (Zambrano, 2022).

### 2.6.2. Distorsión Armónica.

La aparición de armónicos se debe a la presencia de dispositivos o cargas no lineales en el sistema eléctrico. Un dispositivo no lineal es aquel en el que la corriente no guarda una proporción directa con el voltaje aplicado. La figura 8 ilustra un ejemplo de esta característica (Pérez, 2023).

**Figura 8.**

*Distorsión del voltaje.*



*Nota:* Distorsión del voltaje generada por cargas no lineales. Fuente: (Rincón, 2022).

Cuando una carga lineal se somete a una onda sinusoidal de voltaje, la corriente generada sigue la misma frecuencia que la del voltaje aplicado, es decir, a la frecuencia base de la onda. En el caso de una onda de voltaje de 60 Hz aplicada a una carga lineal, la corriente resultante será también de 60 Hz. No obstante, esta relación cambia significativamente cuando la carga es no lineal. Debido a su naturaleza no lineal, la aplicación de una onda de voltaje de 60 Hz a través de esta

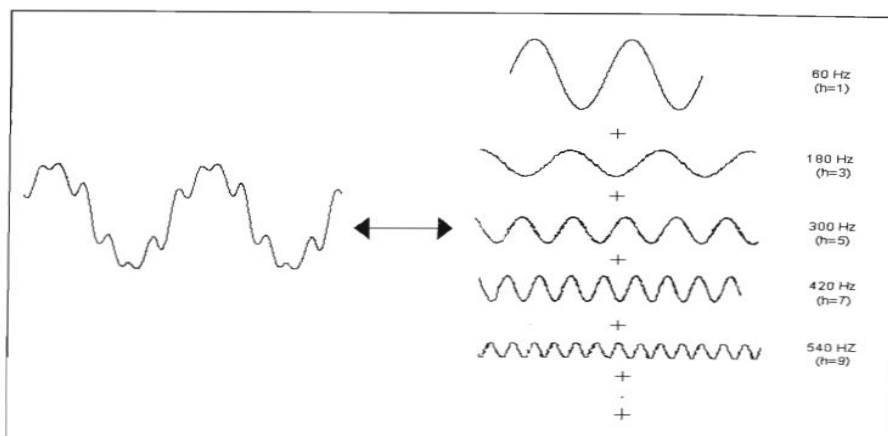
carga genera corrientes a más de una frecuencia. Estas frecuencias adicionales son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental (60 Hz en este caso) (Cárdenas, 2023).

En un sistema eléctrico con una carga no lineal conectada, es posible que se produzcan corrientes simultáneas y reales a 60 Hz, 180 Hz, 300 Hz, y así sucesivamente. Estas corrientes se denominan corrientes armónicas. Cada múltiplo de la onda fundamental se identifica como un "orden de la armónica". La corriente fundamental o base (60 Hz) se conoce como de primer orden, y una corriente armónica de tercer orden tiene una frecuencia tres veces mayor que el valor de la onda fundamental, es decir, 180 Hz (Portillo, 2022).

Cualquier forma de onda que presente distorsión puede ser descompuesta en la suma algebraica de ondas armónicas mediante las series de Fourier, utilizando las amplitudes y desfases correspondientes, como se ilustra en la figura 3.2. En consecuencia, un voltaje sinusoidal puede originar la circulación de corriente con frecuencias diferentes a la fundamental (60 Hz). Aunque las corrientes y voltajes armónicos no son perceptibles por sí mismos y se requieren instrumentos especializados para su medición, sus efectos son tangibles y, en ocasiones, se presentan fallos inesperados relacionados con voltajes y corrientes armónicas (Portillo, 2022).

**Figura 9.**

*Distorsión del voltaje en onda*



*Nota:* Ilustración de las Series de Fourier que representan una forma de onda distorsionada. Fuente: (Rincón, 2022).

### **2.6.2.1. Distorsión Armónica de Voltaje.**

El cálculo del Indicador de Evaluación de la Distorsión Armónica del Voltaje se realiza empleando las fórmulas que se detallan a continuación (Cruz , 2022):

$$DATV (\%) = \sqrt{\sum \frac{(V_i)^2}{V_1^2}} * 100 \quad 3$$

$$DATV \text{ DATV } (\%) = \sqrt{\sum \frac{(V_i)^2}{V_1^2}} * 100$$

$$DATV (\%) = \sqrt{\frac{V_i}{V_1}}$$

$$(\%) = \sqrt{\frac{V_i}{V_1}}$$

En donde:

DATV: es la distorsión armónica total de voltaje.

DAIV: distorsión armónica individual de voltaje.

$V_i$ : elemento de voltaje de la armónica de orden  $i$ .

$V_1$ : elemento de voltaje de la frecuencia esencial (60 Hz)

### **2.6.2.2. Tolerancias admisibles.**

Se considera que una medición de Distorsión Armónica de Voltaje está fuera de los límites permitidos cuando supera tanto el valor de la Distorsión Armónica Individual como el valor de la Distorsión Armónica Total (Silva , 2022).

**Tabla 4***Límites admisibles para la distorsión armónica de voltaje.*

Orden de la Armónica (n)	Distorsión Armónica Individual de Voltea DAIV (%)	
	Bajo y medio voltaje V≤40 kV	Alto voltaje V>40 kV
Impares no Múltiples de 3		
5	6.0	2.0
7	5.0	2.0
11	3.5	1.5
13	3.0	1.5
17	2.0	1.0
19	1.5	1.0
23	1.5	0.7
25	1.5	0.7
>25	$0,2 + 1.3*25/n$	$0.1 + 0.6*25/n$
Impares Múltiplos de 3		
3	5.0	2.0
9	1.5	1.0
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
>21	0.2	0.2
PARES		
2	2.0	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.5	0.4
10	0.5	0.4
12	0.2	0.2
<12	0.2	0.2
Distorsión Armónica Total de Voltaje DATV. En %	8	3

Fuente: (Silva , 2022).



### 2.6.3. Distorsión Armónica de la Corriente producida por el consumidor.

El parámetro para supervisar se determina mediante la evaluación de la Distorsión Armónica en la corriente de carga, medida en el punto de conexión. Esto es aplicable a voltajes superiores a 0,6 kV y potencias de carga que excedan los 10 kW. Donde se aplica:

$$DATI (\%) = \sqrt{\sum \frac{(I_i)^2}{I_1^2}} * 100 \quad 4$$

$$DAII = \frac{I_i}{I_1} * 100$$

En donde:

DATI: es la distorsión armónica total de corriente.

DAII: distorsión armónica individual de corriente.

$I_i$ : elemento de la intensidad de corriente de la armónica de orden  $i$ .

$I_1$ : elemento de la intensidad de corriente de la frecuencia esencial (60 Hz).

Para Voltajes menores de 1kV y potencias de carga menores de 10kW, se aplica:

$$Ali = (I_i \text{ carga} - I_i \text{ límite}) \quad 4$$

Donde:

$I_i$  límite es igual a la intensidad armónica límite admisible.

### 2.6.3.1. Tolerancias para la distorsión armónica de la corriente de carga.

La distorsión armónica del voltaje generada por una fuente de corriente armónica variará según la potencia del consumidor, el nivel de voltaje al que esté conectado y el orden de la armónica. Por lo tanto, en la Tabla 5 adjunta se especifican los límites de corrientes armónicas individuales para diferentes niveles de voltaje, potencia máxima demandada y orden de armónica (Olivera & Alvarez , 2023).

**Tabla 5**

*Límites admisibles para la distorsión armónica de la corriente de carga.*

Orden de la Armónica (n)	P ≤ 10 kW V ≤ 0,6 kV Intensidad Armónica Máxima (A)	P ≤ 10 kW 0,6 kV < V ≤ 40kV Distorsión Armónica Individual de Corriente DAII, en %	P > 50 kW v > 40kV
<b>Impares no Múltiples</b>			
de 3			
5	2.28	12.0	6.0
7	1.54	8.5	5.1
11	0.66	4.3	2.9
13	0.42	3.0	2.2
17	0.26	2.7	1.8
19	0.24	1.9	1.7
23	0.20	1.6	1.1
25	0.18	1.6	1.1
>25	4.5/n	0.2 + 0.8*25/n	0.4
<b>Impares Múltiplos de</b>			
3			
3	4.60	16.6	7.5
9	0.80	2.2	2.2
15	0.30	0.6	0.8
21	0.21	0.4	0.4
>21	4.5/n	0.3	0.4
<b>PARES</b>			
2	2.16	10.0	10.0
4	0.86	2.5	3.8

6	0.60	1.0	1.5
8	0.46	0.8	0.5
10	0.37	0.8	0.5
12	0.31	0.4	0.5
<12	3.68/n	0.3	0.5
Distorsión Armónica			
Total de Corriente	--	20	12
DATI. En %			

Fuente: (Olivera & Alvarez , 2023).

Se considerará que el consumidor incumple cuando, durante un periodo de tiempo que excede el cinco por ciento del utilizado en las mediciones durante el período de medición, los resultados indican que la Distorsión Armónica de la Corriente supera los límites de tolerancia establecidos. Las mediciones deben seguir las pautas de la Norma IEC 61000-4-7 y registrar la Distorsión Armónica de Voltaje y Corriente, junto con la Distorsión Armónica Individual y la corriente de carga, durante un mínimo de siete días con intervalos de diez minutos (Olivera & Alvarez , 2023).

#### **2.6.4. Normativa Internacional para la calidad de energía eléctrica.**

La presencia de perturbaciones armónicas en la red ha causado un impacto económico significativo en diversos sectores industriales, resultando en paradas de máquinas. Ante este desafío, diversas organizaciones, en colaboración con profesionales e investigadores de empresas, institutos y universidades, han establecido estándares. Estos estándares buscan asegurar la integridad del sistema eléctrico, permitiendo a los usuarios y distribuidores de electricidad aplicar recomendaciones, pautas y limitaciones para garantizar la calidad de energía en todo el sistema.

Es importante destacar que las empresas encargadas de la distribución eléctrica tienen la obligación de proporcionar a los usuarios una tensión y corriente con la menor contaminación armónica posible. Al mismo tiempo, se espera que los usuarios limiten la magnitud de la contaminación en el sistema eléctrico, estableciendo así un compromiso conjunto para mantener la calidad de energía (Velarde , 2022).

**Tabla 6***Normativas internacionales para la calidad de la energía eléctrica.*

<b>Normativa</b>	<b>Organización</b>	<b>Descripción</b>
IEC 61000-3-2	Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)	Límites para los armónicos de tensión en sistemas de alimentación de baja tensión.
IEC 61000-3-4	Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)	Límites para los armónicos de corriente en sistemas de alimentación de baja tensión.
IEEE Std 1100-2010	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)	Límites para la calidad de la energía eléctrica en sistemas de alimentación de baja tensión.

Fuente: (Velarde , 2022).

En la búsqueda de establecer parámetros y estándares para garantizar la calidad de la energía eléctrica a nivel internacional, diversas normativas han sido desarrolladas por organizaciones reconocidas. Entre ellas, la IEC 61000-3-2 de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) establece límites para los armónicos de tensión en sistemas de alimentación de baja tensión. Asimismo, la norma IEC 61000-3-4 de la misma organización define límites para los armónicos de corriente en sistemas de alimentación de baja tensión (Velarde , 2022).

Por otro lado, la normativa IEEE Std 1100-2010, proveniente del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), se suma a los esfuerzos internacionales al establecer límites para la calidad de la energía eléctrica en sistemas de alimentación de baja tensión. Esta norma, en sintonía con las normas IEC, contribuye a la armonización de estándares y prácticas en el ámbito de la ingeniería eléctrica (Velarde , 2022).

### **2.6.5. Normativa Técnica del Ecuador para la calidad de energía eléctrica.**

La Norma Técnica INEN 2047:2020, vigente en Ecuador, define límites para la calidad de la energía eléctrica en sistemas de alimentación de baja tensión. Estos límites, en términos de distorsión total armónica (THD), se especifican como un 8% en general y un 4% para cargas sensibles en cuanto a la tensión. En relación con la

corriente, se establece un límite general del 12%, reduciéndose al 5% para cargas sensibles (Merino & Tarco, 2023).

Adicionalmente, la norma detalla límites específicos para armónicos individuales, estableciendo un 2% en general y un 1% para cargas sensibles para los armónicos de orden 5, 7, 11 y 13. Para el resto de los armónicos, se establece un límite del 5% en general y un 2,5% para cargas sensibles.

Estos límites guardan similitud con las normativas internacionales IEC 61000-3-2 e IEC 61000-3-4. La norma INEN 2047 se aplica a dos tipos de cargas: las generales, que no requieren condiciones especiales de calidad de energía, y las sensibles, que son susceptibles a las perturbaciones de la calidad de energía (Merino & Tarco, 2023).

Los límites establecidos por la norma se aplican bajo condiciones específicas, incluyendo una temperatura ambiente de 20 °C, una altitud de 0 m sobre el nivel del mar y una humedad relativa del 50%. Es responsabilidad de las empresas distribuidoras de energía eléctrica cumplir con estos límites, y los usuarios tienen el derecho de exigir el cumplimiento de dichos estándares por parte de las empresas distribuidoras.

**Tabla 7**

*Normativa Técnica del Ecuador para la calidad de la energía eléctrica.*

<b>Normativa</b>	<b>Organización</b>	<b>Descripción</b>
IEC 61000-3-2	Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)	Límites para los armónicos de tensión en sistemas de alimentación de baja tensión.
IEC 61000-3-4	Comisión Electrotécnica Internacional (IEC)	Límites para los armónicos de corriente en sistemas de alimentación de baja tensión.
IEEE Std 1100-2010	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE)	Límites para la calidad de la energía eléctrica en sistemas de alimentación de baja tensión.

Fuente: (Valera, 2023)

## 2.6.6. Normativa Internacionales de la calidad de energía eléctrica adaptadas en Ecuador.

En Ecuador, la normativa para la calidad de energía eléctrica es regida por el Consejo Nacional de Normalización y Certificación (CONAC), destacando la norma actual NTE INEN 2086:2019, que establece los requisitos para sistemas de distribución de baja tensión.

A nivel internacional, la norma EN50160, de origen europeo, fija estándares para la calidad de la energía eléctrica en sistemas de baja tensión, siendo reconocida y referenciada por diversas normativas nacionales e internacionales.

Asimismo, la norma estadounidense IEEE519 es importante al definir requisitos para la calidad de la energía eléctrica en sistemas de distribución de baja tensión. Utilizada por empresas de servicios públicos en Estados Unidos y otros países, la IEEE519 contribuye a la estandarización de la calidad eléctrica.

**Tabla 8**

*Normativa Internacional adaptada en Ecuador para evaluar la calidad de la energía eléctrica.*

Parámetro	EN50160	IEEE519	NTE INEN 2268-1
Tensión de fase-fase	±10%	±5%	±10%
Tensión de fase-neutro	±6%	±3%	±6%
Desbalance de tensión	2%	3%	2%
Frecuencia	±1%	±0.5%	±1%
THD	8%	5%	8%
Armónico 5	6%	5%	6%
Armónico 7	4%	5%	4%

---

Fluctuaciones de tensión	1%	0.5%	1%
Flicker	1%	0.4%	1%

---

Fuente: (Medina, 2021)

### 2.6.7. Potencia activa, reactiva y aparente.

En el ámbito de los circuitos eléctricos, es posible obtener propiedades eléctricas al analizar simultáneamente las señales de voltaje y corriente. A continuación, se detalla el significado de algunas de estas propiedades físicas (Cañarte , 2019).

- **Potencia Activa (P)**

Es la potencia efectiva consumida por una carga eléctrica, es decir, la potencia capaz de realizar un trabajo. Esta magnitud se puede calcular de forma general en sistemas eléctricos utilizando la ecuación (Cañarte , 2019):

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) * i(t) dt \quad 5$$

- **Potencia Reactiva (Q)**

Es la potencia necesaria para crear campos eléctricos o magnéticos en componentes inductivos o capacitivos, pero no genera trabajo útil, ya que oscila entre la fuente y la carga. Esta potencia se puede calcular utilizando la ecuación siguiente (Cañarte , 2019):

$$Q = \sum_{n=1}^{\infty} V_n I_n (\phi_{V_n} - \phi_{I_n}) \quad 6$$

Donde  $\phi$  representa el ángulo de fase entre los armónicos de voltaje y corriente.

- **Potencia Aparente (S)**

La potencia aparente es la magnitud resultante de la suma vectorial de todas

las formas de potencia presentes en una carga eléctrica, incluyendo la potencia activa, reactiva y de distorsión. Se puede calcular utilizando la siguiente ecuación (Cañarte , 2019):

$$S^2 = P^2 + Q^2 + D^2 \quad 7$$

- **Factor de potencia**

El factor de potencia es un indicador que revela la eficiencia con la que una carga eléctrica utiliza la energía suministrada. Según esta definición, se puede representar el factor de potencia mediante la siguiente fórmula:

$$fp = \frac{P}{S} \quad 8$$



## CAPÍTULO 3

### METODOLOGÍA

#### 3.1. Características de la investigación

Según Bedoya (2020) manifiesta que la investigación científica es “un proceso sistemático, empírico, racional, reproducible, objetivo, provisional y original con el objetivo de generar nuevos conocimientos”. Esta sistemática se acopla de manera integral al estudio actual sobre el análisis de calidad de energía con el medidor Sentron PAC 4200 en la Papelera Nacional.S.A. Este enfoque metodológico y sus características esenciales respaldan la validez y la solidez de los resultados obtenidos, asegurando un estudio científico robusto y relevante para la comprensión de la calidad de la energía en dicho contexto.

Por ende, la investigación realizada en la Papelera Nacional S.A., mediante el medidor Sentron PAC 4200 cumple con las siguientes características de la investigación científica:

- **Sistemática:** El estudio se realizó siguiendo un protocolo establecido, que incluyó la recolección de datos, el análisis de los datos y la elaboración de conclusiones.
- **Empírica:** Los datos se recopilieron mediante comprobaciones realizadas con el medidor Sentron PAC 4200.
- **Racional:** El estudio se basó en la lógica y la razón, utilizando métodos científicos para analizar los datos.
- **Reproducible:** Los resultados se reprodujeron bajo las mismas condiciones por otros investigadores.
- **Abarca problemas cotidianos:** Presenta en un problema real que afecta a la empresa Papelera Nacional S.A.: la calidad de la energía.
- **Objetiva:** Se realizó de forma objetiva, evitando sesgos personales del investigador.
- **Provisional:** Los resultados del estudio se pueden modificar a medida que se

disponga de nueva información.

- **Original:** El estudio es original, ya que no se había realizado antes en la Papelera Nacional S.A.

### **3.2. Tipo de Investigación**

Según Pérez, Miñoso, & Machado (2019) indica que, “se emplea una metodología de enfoque mixto que combina perspectivas cuantitativas y cualitativas en un solo estudio”. Esta dirección se considera especialmente relevante para el análisis de la calidad de energía en Papelera Nacional S.A., ya que permite abordar preguntas de investigación complejas con mayor profundidad.

La utilización de métodos cuantitativos y cualitativos se presenta como fundamental para comprender las características y el comportamiento del fenómeno en estudio, permitiendo medir de manera integral la relación entre las variables involucradas en la gestión de la energía en la empresa en curso.

#### **3.2.1. Investigación Cualitativa.**

Para Zúñiga, Cedeño, & Palacios (2023)

La investigación cualitativa es un método para recoger y evaluar datos no estandarizados. En la mayoría de los casos se utiliza una muestra pequeña y no representativa con el fin de obtener una comprensión más profunda de sus criterios de decisión y de su motivación.

En la empresa Papelera Nacional, se llevó a cabo una evaluación de la calidad de energía a través del análisis cualitativo de documentos internos. Para identificar las deficiencias y comprender en profundidad el problema, se requirió caracterizar los fenómenos asociados presentes en la empresa. Este enfoque permitió explorar detalladamente las particularidades y matices que rodean la calidad de energía en la organización, ofreciendo una racionalización más profunda de los desafíos específicos que enfrenta actualmente la empresa manufacturera.

### **3.2.1.1. Cuarto de Control de Motores, Molino 2, Subestación 7 de Papelera Nacional S.A.**

El Cuarto de Control de Motores en la Subestación 7 de Papelera Nacional S.A., específicamente asociado al funcionamiento del Molino 2, representa un componente esencial para la operatividad de la planta. Esta zona sirve como punto centralizado desde el cual se gestionan y supervisan todos los equipos y maquinarias que dependen principalmente de energía eléctrica para su funcionamiento.

En este espacio estratégico, se realiza la interconexión y monitorización de los motores y dispositivos eléctricos asociados al Molino 2. Los paneles de control presentes en el Cuarto de Control de Motores permiten la supervisión en tiempo real de las magnitudes eléctricas, así como la implementación de ajustes y controles necesarios para mantener un rendimiento eficiente.

El personal especializado en este cuarto realiza tareas de monitoreo continuo, así como mantenimiento preventivo, asegurando la confiabilidad y calidad del suministro eléctrico para los equipos conectados. Este espacio no solo cumple con la función de garantizar la alimentación eléctrica necesaria, sino que también representa un punto central para la toma de decisiones y la respuesta inmediata ante cualquier eventualidad.

**Figura 10.**

*Cuarto de Control de Motores, Molino 2, Subestación 7 de Papelera Nacional S.A.*



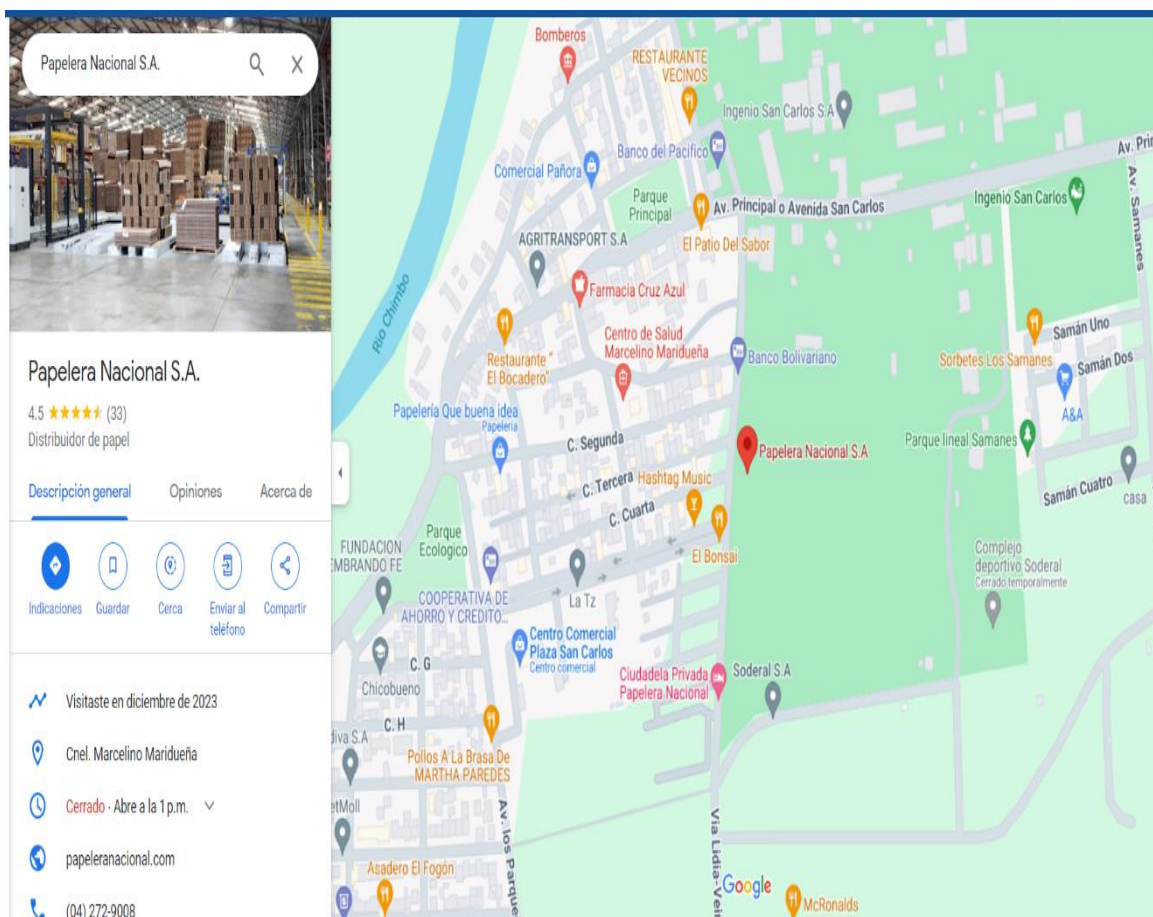
*Nota:* Central para la supervisión y gestión eficiente de los motores asociados al Molino 2. Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

### 3.2.1.1.1. Ubicación.

La empresa Papelera Nacional S.A., está ubicada en el cantón Marcelino Maridueña, perteneciente a la provincia del Guayas. Cabe mencionar que la localización de la planta industrial está en la 2da calle de la ciudadela que lleva el mismo nombre en honor a la empresa en curso.

**Figura 11.**

*Ubicación satelital de la empresa Papelera Nacional S.A.*



*Nota:* Papelera Nacional S.A. Fuente: Google Maps.

Papelera Nacional S.A., establecida legalmente el 28 de febrero de 1961, fue fundada por las compañías estadounidenses W.R. Grace INC. e International Paper CO., junto con Sociedad Agrícola e Industrial San Carlos S.A. y la Organización Noboa. Las operaciones comenzaron en 1968 con una producción inicial de 10.000 toneladas métricas de papel kraft anuales y la instalación de una planta de pulpa de



bagazo de caña de azúcar. A lo largo del tiempo, la fábrica experimentó expansiones y mejoras tecnológicas, y en la actualidad, su producción anual de papel kraft alcanza las 165.000 toneladas métricas.

**Figura 12.**

*Empresa Papelera Nacional S.A.*



Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

### **3.2.2. Investigación Cuantitativa.**

Según Chaves (2018) describe que la metodología cuantitativa se basa “en recopilar y analizar datos para abordar preguntas de investigación, verificar hipótesis predefinidas y se apoya en la medición numérica, el conteo y, con frecuencia, el empleo de estadísticas para identificar patrones de comportamiento en un fenómeno de manera precisa”.

En el contexto del estudio en curso, centrado en el análisis de calidad de energía mediante un medidor Sentron PAC 4200 en Papelera Nacional, la aplicación de la metodología cuantitativa es primordial, ya que permitirá la recopilación de datos medibles sobre magnitudes eléctricas y ahorro energético, facilitando la verificación objetiva de hipótesis y la identificación de patrones de comportamiento en la

distribución y consumo de energía específicos de la empresa. La medición precisa y la aplicación de estadísticas brindarán una base sólida para evaluar cuantitativamente los aspectos clave relacionados con la calidad de energía en Papelera Nacional.

### **3.3. Técnicas e Instrumentos de Investigación**

Para Reyes (2022) manifiesta que “las técnicas de investigación se refieren a las herramientas e instrumentos utilizados durante el proceso de investigación para abordar el fenómeno de estudio, facilitando la obtención, análisis y presentación de datos”.

En consecuencia, el presente estudio empleará las siguientes técnicas de investigación específicas para abordar el análisis de calidad de energía mediante el medidor Sentron PAC 4200 en Papelera Nacional:

- Observación detallada de los sistemas eléctricos y dispositivos conectados.
- Revisión bibliográfica exhaustiva sobre el uso del medidor Sentron PAC 4200 y sus aplicaciones en el control de magnitudes eléctricas y ahorro energético.

Según Acuña (2015) define que “las técnicas de observación son procedimientos que utiliza el investigador para presenciar directamente el fenómeno que estudia, sin actuar sobre él. Es decir, sin modificarlo o realizar ningún tipo de operación que permita manipularlo”.

En este caso, la observación se empleó de manera directa a la ficha de registro (instrumento de recolección) que contiene la información o datos de la capacidad de los equipos y máquinas conectadas y la potencia de la subestación eléctrica que mantiene la empresa. Se considera que se acopla a la revisión documental interna de la compañía.

**Tabla 9**

*Ficha de Registro de la Subestación 7, empresa Papelera Nacional S.A*

Código	Descripción subestación	Capacidad KVA	Temperatura °C		Aceite		Factor Potencia	Corriente entre fases			Voltaje entre fases			Voltaje a tierra			Observaciones
			Max Rag	Actual	Nivel %	Presión		la	lb	lc	Vab	Vbc	Vca	Van	Vbn	Vcn	
486E105	MAQUINA PAPEL S.E. #1	2.500	60	60	+2.5	1	0,97	-	-	-	446	445	446	257	257	258	1020 KWA (3,2%, 6,6%, 5,4%)
25E101	PREPARACIÓN PASTA S.E. #2	2.500	65	55	+2.5	1	0,96	135	138	138	45	-	-	-	-	-	1081 KWA (6.5% 5,8%, 5,7%)
45E210	EQUIPOS ALDOLIARES S.E. #3	300	70	90	+2.5	0	0,77	10	10	10	44	44	448	258	25	258	9,8 KWA
153E104	PLNTA FUERZA S.E. #4	1.500	50	44	+2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
48E10	SERVICIO GENERALES S.E #5	225	50	50	-2.5	1	1	343	266	394	20	20	205	118	11	119	186 KWA
489E31	ADMINISTRACIÓN-2 S-3 #7	225	60	40	2.5	-1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	MEDIDOR DAÑADO
102E101	CLARIFICADOR S.E. #8	225	65	60	+2.5	-	0.88	200	206	206	43	43	434	-	-	-	153.4 KWA (4.6%, 5,2%, 4,6%)
107E 101-1	LAGUNA OXIDACIÓN	500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)



Además, Yerovi (2021) manifiesta que la revisión bibliográfica es:

La elección de documentos disponibles relacionados con el tema implica la búsqueda y recopilación de información, ideas, datos y pruebas escritas que expresan un punto de vista específico y se alinean con los objetivos de la investigación. Este proceso también incluye la evaluación efectiva de dichos documentos en relación con los objetivos planteados para la investigación propuesta.

La opción y revisión de documentos disponibles desempeñan un papel necesario en el análisis de calidad de energía mediante el medidor Sentron PAC 4200 en Papelera Nacional. Al buscar información, datos y evidencias relacionadas con el control de magnitudes eléctricas y ahorro energético, se busca garantizar que los documentos seleccionados no solo estén alineados con los objetivos de la investigación, sino que también proporcionen una base sólida para abordar eficazmente los aspectos específicos del estudio. La evaluación cuidadosa de estos documentos es importante para asegurar la calidad y relevancia de la información recopilada en el contexto de la investigación propuesta.

En la figura 14, se presenta el instrumento para medir y recolectar datos de la carga eléctrica en la subestación 7 de la empresa Papelera Nacional S.A., donde en la continuidad del proyecto se presentará los resultados de la eficiencia del equipo.

**Figura 13.**

*Medidor SENTRON PAC4200 de la Subestación 7, empresa Papelera Nacional S.A*



Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

El software de ingeniería SIMATIC Manager, esencial en la automatización industrial, se destaca por su compatibilidad con los sistemas SIMATIC S7-300. En el marco del análisis de calidad de energía en Papelera Nacional con el medidor Sentron PAC 4200, el SIMATIC Manager puede ofrecer una interfaz eficaz para la configuración y supervisión de magnitudes eléctricas. Su capacidad para abordar tareas complejas lo convierte en una herramienta básica para optimizar el rendimiento energético y garantizar el funcionamiento óptimo de los equipos conectados.

**Figura 14.**

*Software de ingeniería SIMATIC STEP 7 Prof. V14 SP1 Floating License.*



Fuente: Programa Siemens STEP 7.

### **3.4. Procedimiento del Tratamiento de Información**

Para llevar a cabo el estudio en la empresa en cuestión, se obtuvo la aprobación de la alta gerencia para realizar la investigación vigente, además de analizar documentos internos, tales como la ficha de registro que proporciona información detallada sobre la carga eléctrica y la calidad de energía, así como detalles operativos de las máquinas conectadas a la subestación 7 de la empresa. El enfoque central del estudio es evaluar la eficacia del medidor Sentron PAC 4200.

La solicitud de autorización y permisos se gestionó a través del jefe de

Departamento Eléctrico, quien supervisa el centro de control de la subestación 7 de la empresa del sector papelerero en estudio. La recopilación directa de información fue mediante la revisión minuciosa de documentos internos, lo que proporciona una visión más precisa y específica de la situación. Este enfoque basado en la revisión de documentos clave como la ficha de registro permite una evaluación más directa de las condiciones de carga eléctrica y calidad de energía en Papelera Nacional S.A., proporcionando una base sólida para la posterior evaluación del medidor Sentron PAC 4200.

## **CAPÍTULO 4**

### **DESARROLLO Y PROPUESTA DEL PROYECTO**

#### **4.1. Objetivo de la propuesta**

Desarrollar un análisis integral de la calidad de energía en Papelera Nacional mediante la implementación y evaluación del medidor Sentron PAC 4200, con el fin de optimizar el rendimiento energético y proponer soluciones que contribuyan a la eficiencia operativa y al ahorro energético en la subestación 7 eléctrica de la empresa. Esta dirección busca proporcionar una base sólida para la toma de decisiones informadas, mejorando la sostenibilidad y eficacia del sistema eléctrico de Papelera Nacional S.A.

#### **4.2. Justificación**

La propuesta de análisis de calidad de energía y optimización con el medidor Sentron PAC 4200 en Papelera Nacional S.A., se fundamenta en la urgencia que tienen las empresas de adoptar prácticas energéticas eficientes y sostenibles. Este estudio se revela importante debido a su potencial impacto directo en el rendimiento y la sostenibilidad de la empresa.

La introducción del medidor Sentron PAC 4200 posibilitará una supervisión minuciosa de las magnitudes eléctricas, suministrando datos en tiempo real sobre la calidad de la energía. Este análisis será clave para identificar posibles mejoras en la eficiencia operativa, optimizando el rendimiento de las maquinarias y reduciendo potenciales pérdidas energéticas.

La detección de oportunidades de ahorro energético constituirá uno de los impactos más significativos de esta propuesta. Se podrán diseñar estrategias específicas para disminuir el consumo de energía eléctrica, generando beneficios tanto para la rentabilidad de la empresa como para la reducción de su huella

ambiental.

El enfoque en la eficiencia y el ahorro energético fomenta prácticas empresariales sostenibles. La reducción del consumo de energía conlleva una disminución de las emisiones de carbono y otros impactos ambientales, alineándose con los estándares de responsabilidad social corporativa. Asimismo, la identificación de áreas de mejora en la calidad de energía permitirá optimizar los recursos disponibles, evitando pérdidas innecesarias y mejorando la confiabilidad de los sistemas eléctricos en Papelera Nacional S.A.

Por otro lado, la implementación de prácticas eficientes mediante esta propuesta no solo genera beneficios inmediatos, sino que establece un marco sólido para la sostenibilidad y el crecimiento futuro de la empresa. Este enfoque estratégico proyecta a la empresa como un referente en prácticas sostenibles y eficientes en el uso de la energía eléctrica, generando impactos positivos tanto a nivel operativo como medioambiental.

### **4.3. Diseño de la Propuesta**

El diseño de la propuesta se centra en la implementación del análisis de calidad de energía en Papelera Nacional S.A., mediante la utilización del medidor Sentron PAC 4200. Este proceso abarcará diversas etapas fundamentales que garantizarán el correcto funcionamiento del sistema eléctrico de la empresa. A continuación, se detallan los pasos esenciales que constituyen el diseño planteado:

#### **4.3.1. Montaje del Equipo.**

El primer paso esencial en la implementación del análisis de calidad de energía en Papelera Nacional es el montaje del equipo medidor Sentron PAC 4200. Este proceso implica la instalación física del medidor en la subestación eléctrica de la empresa, asegurando una posición estratégica que permita capturar datos representativos de toda la red eléctrica. (Ver en la figura 16)

- **Selección de Ubicación:**

Identificar y seleccionar la ubicación óptima para el montaje del medidor Sentron PAC 4200. Considerar factores como la accesibilidad, visibilidad y proximidad a los puntos clave de conexión eléctrica. En este caso, el medidor Sentron PAC 4200 fue ubicado en el cuarto de control de la subestación de electricidad 7 de la empresa Papelera Nacional S.A.

**Figura 15.**

*Montaje del Medidor Sentron PAC 4200.*

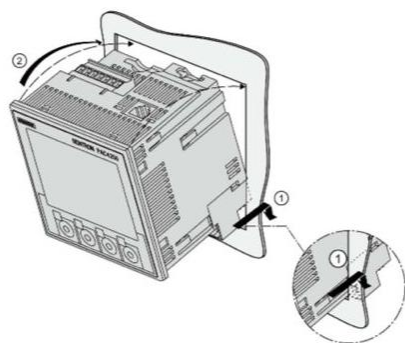
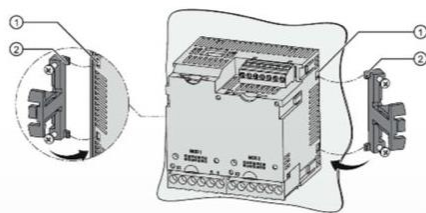


Figura 3-4 Paso de montaje A, modelo con conexiones para terminales de ojal



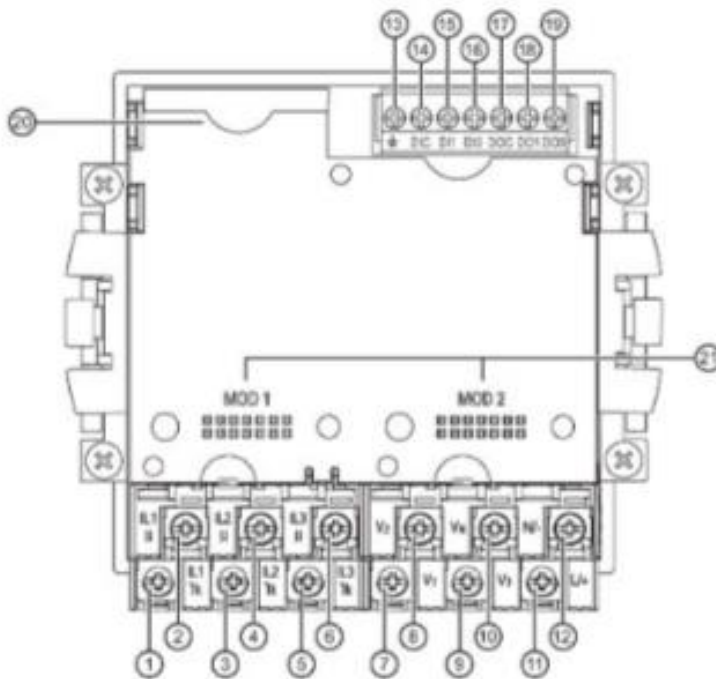
Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

#### 4.3.2. Fase 1- Instalación de medidores Sentron Pac 4200.

Según el informe provisto por la empresa Papelera Nacional S.A., describe que la primera fase comprende de la instalación de medidores de potencia Sentron Pac 4200 en las diferentes Subestaciones que alimentan los MCC (Centro de Control de Motores) de los molinos, separados por áreas y procesos. Para la instalación efectiva se necesitan los CT que son los que miden la corriente y los medidores de voltajes, los cuales ya están instalados y listos para ser conectado. Es necesario indicar que en la presente propuesta se realizará el análisis de la calidad de energía sólo en la subestación 7.

**Figura 16.**

*Conexión del Medidor Sentron PAC 4200 a las subestaciones.*



Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

- **Conexión a la Alimentación:**

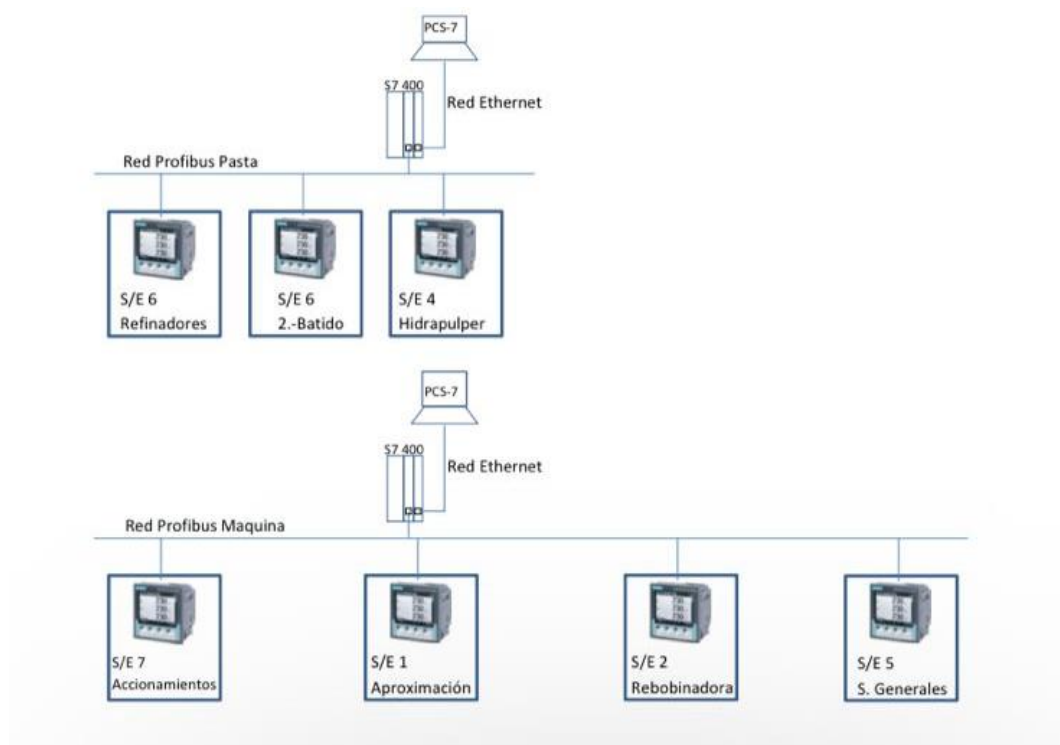
Conectar el medidor a la fuente de alimentación eléctrica de la subestación. Verificar que la conexión sea segura y cumpla con las especificaciones eléctricas del equipo.



#### 4.3.2.1. Topología de Red de Medidor SENTRO PAC 4200.

Figura 17.

Topología de Red de Medidor



Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

En la figura 17, se evidencia las comunicaciones de red Ethernet y Profibus de los diferentes medidores SENTRO PAC 4200 instalados en el molino 2 de la empresa en estudio.

**Figura 18.**

*Conexiones de las barras principales del medidor Sentron PAC 4200 en la subestación 7, Molino 2.*



Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

La figura 18 se observa a los TC (transformadores de corriente) conectados a las barras principales de del cuarto de control de la subestación 7, en el cual, permite obtener datos de tensión, corriente, potencias y demás magnitudes eléctricas que se verán reflejado en el medidor SENTRO PAC 4200.

La interpretación es la siguiente:

- El equipo medidor Sentron PAC 4200 es un dispositivo utilizado para medir la tensión, la corriente y la frecuencia de la red eléctrica.
- El equipo está instalado en un panel de distribución, que es un armario que contiene los equipos eléctricos de una instalación.
- Las conexiones del equipo se realizan a los conductores de tensión y corriente de la red eléctrica.
- Los datos de medición del equipo se transmiten a un ordenador, donde pueden ser visualizados y analizados.

Cabe mencionar que el medidor Sentron PAC 4200 contribuye con el control de magnitudes eléctricas y ahorrar energía.

- **Verificación de Conexiones Externas:**

Revisar y verificar las conexiones externas del medidor. Asegurarse de que todos los cables y conexiones estén correctamente instalados y sin daños.

- **Configuración de Parámetros Iniciales:**

Realizar la configuración inicial del medidor Sentron PAC 4200 según las necesidades específicas de Papelera Nacional S.A. Esto puede incluir ajustes relacionados con la frecuencia de muestreo, unidades de medida y otros parámetros relevantes.

- **Pruebas Iniciales:**

Realizar pruebas iniciales para asegurar que el medidor esté funcionando correctamente. Verificar la lectura de magnitudes eléctricas y confirmar que los datos se estén registrando de manera adecuada.

- **Documentación del Montaje:**

Documentar el proceso de montaje, incluyendo fotografías y registros de las conexiones realizadas. Esta documentación será útil para futuras referencias y para el mantenimiento del equipo.

#### 4.3.2. Fase 2 - Instalación de Red Profibus entre Medidores hacia PCS-7.

Para esta fase que puede ser en paralelo a la fase 1, se requiere el cable profibus y los conectores, también es necesaria la instalación de tubos de 1" para el mismo. En los siguientes apartados se indicará de manera detallada la instalación de la red mencionada.

##### 4.3.2.1. Implementación del medidor Sentron PAC 4200 con PLC y Profibus.

Figura 19.

PLC está conectado al medidor Sentron PAC 4200 mediante un cable Profibus.



Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

La figura 19, muestra un PLC con un medidor Sentron PAC 4200 conectado a través de Profibus, siendo controlado por el programa STEP 7. Este sistema permite que el PLC acceda a la información recopilada por el medidor Sentron PAC 4200, la cual se transmite a través de la red Profibus.

#### **4.3.2.2. Conexión y Dispositivos.**

- **PLC:** El Controlador Lógico Programable es el dispositivo principal encargado de controlar procesos industriales mediante la programación a través de STEP 7.
- **Medidor Sentron PAC 4200:** Este medidor trifásico mide la tensión, corriente y potencia de tres fases en el sistema eléctrico.
- **Cable Profibus:** Se utiliza para conectar dispositivos a la red Profibus, facilitando la comunicación eficiente entre el PLC y el medidor.
- **Enchufe Profibus:** Actúa como conector para vincular el cable Profibus a los dispositivos.

#### **4.3.2.3. Conexiones y Programación.**

- **Conexión PLC-Medidor:** El PLC y el medidor están conectados mediante el cable Profibus, permitiendo la transmisión de datos entre ambos.
- **Conexión PLC-Enchufe:** El PLC se conecta al enchufe Profibus mediante un cable, estableciendo la conexión a la red.
- **Conexión Enchufe-Medidor:** El enchufe Profibus se conecta al medidor mediante un cable, completando la red de comunicación.

#### **4.3.2.4. Funcionalidad del Sistema.**

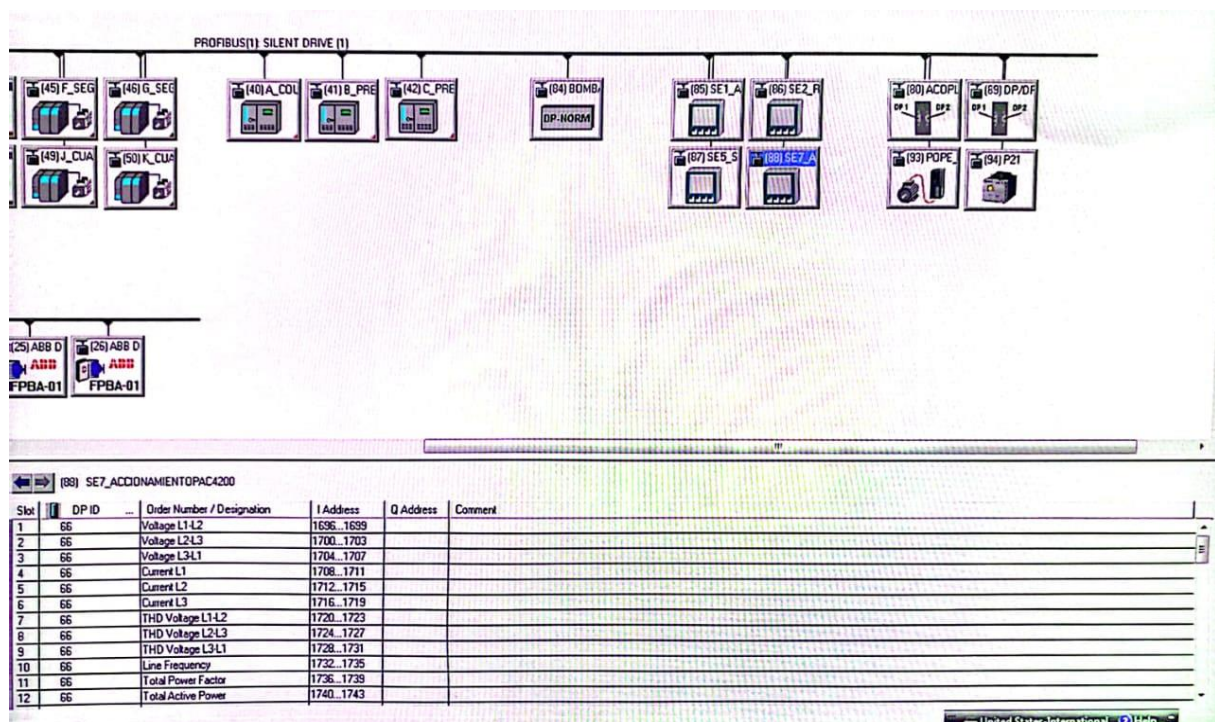
- **Programación STEP 7:** Utilizando el lenguaje de programación de alto nivel STEP 7, el PLC se configura para controlar el arranque y funcionamiento de un motor, basándose en la información proporcionada por el medidor Sentron PAC 4200.
- **Control de Variables:** El PLC puede controlar la velocidad, dirección y potencia del motor utilizando la información del medidor.

- **Ventajas de Implementación:** La combinación de medidor Sentron PAC 4200, PLC y Profibus ofrece flexibilidad, confiabilidad y eficiencia en la automatización industrial.

Esta implementación presenta una solución eficaz para diversas aplicaciones de automatización, donde la comunicación a través de Profibus asegura un intercambio confiable de datos entre el PLC y el medidor, permitiendo un control preciso y eficiente de procesos industriales.

Figura 20.

Programación de Profibus.



Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

#### 4.3.3. Fase 3 - Programación de PLC y Monitoreo de Sistema Scada.

Para programar el PLC, se deben seguir los siguientes pasos:

- Abrir el software de ingeniería Simatic Manager.
- Crear un nuevo proyecto.
- Agregar los módulos de entrada y salida que se utilizarán.



- Escribir el programa.

**Figura 21.**

*Conexión al PLC.*



Fuente: (Papelería Nacional S.A. , 2023)

La figura 21 exhibe el tablero de distribución, en el cual, se observa como el elemento principal, el PLC y S7 400, fuente de alimentación, breaker de protección, tarjeta ET, relay, switch ethernet, entre otros.

En la representación visual, se observa la conexión entre el PLC y el medidor Sentron PAC 4200 mediante una red Profibus, estableciendo una comunicación eficiente. La interfaz de entrada/salida (E/S) del PLC actúa como el punto de conexión con el medidor Sentron PAC 4200, permitiendo la transmisión de información relevante del proceso.

El medidor Sentron PAC 4200 facilita la recopilación de datos del proceso y transferirlos al PLC. Este intercambio de información capacita al PLC para tomar decisiones en tiempo real y controlar el proceso de manera efectiva.

En el contexto de la ilustración, indica el PLC utilizándose para supervisar y regular el arranque y funcionamiento de un motor. El PLC se programa a través de STEP 7 para realizar diversas funciones, como:

- **Control de la Velocidad del Motor:** Utilizando la información del medidor Sentron PAC 4200, el PLC puede ajustar la velocidad del motor según las necesidades del proceso.
- **Dirección del Motor:** La dirección del flujo de corriente en el motor puede ser controlada por el PLC basándose en los datos proporcionados por el medidor.
- **Potencia del Motor:** Con la información del medidor, el PLC puede determinar la potencia consumida por el motor y regularla según los parámetros establecidos.

La programación del PLC incluiría criterios para arrancar el motor solo cuando la tensión y la corriente estén dentro de los límites definidos, deteniéndolo si alguno de estos parámetros se excede. Es decir, esta representa una implementación típica del medidor Sentron PAC 4200 en conjunto con un PLC, destacando su utilidad en el control preciso de procesos de la producción de papel.



#### 4.3.3.1. Programa STEP 7 - Software de Ingeniería Simatic Manager.

La figura 22 muestra el procedimiento principal del software de ingeniería Simatic Manager. Cabe resaltar que este software se utiliza para programar el PLC.

**Figura 22.**

*Integración Siemens SIMATIC STEP 7.*



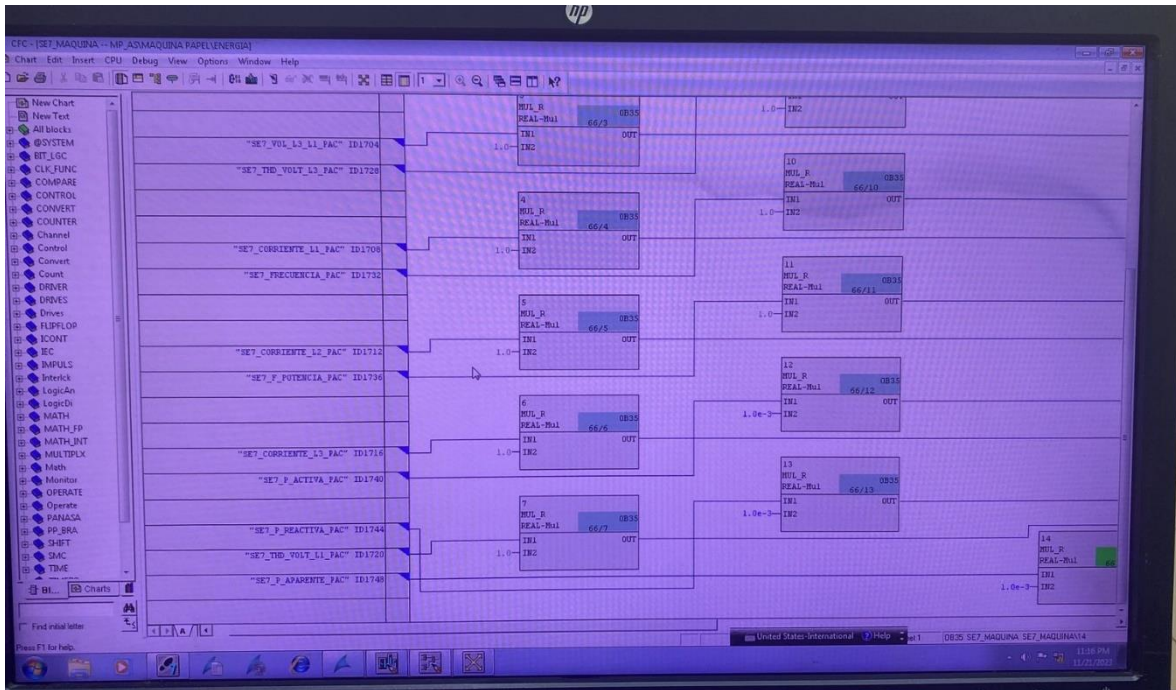
Fuente: (Siemens SIMATIC STEP 7, 2019)

En la fase 3, se lleva a cabo la programación de medidores, la configuración de red y el diseño de la pantalla de monitoreo utilizando el programa Step 7. Se enfoca en definir la lógica de los medidores, configurar la comunicación de red y crear una interfaz visual con WinCC. La fase implica la optimización de programas, la configuración de direcciones IP, y pruebas exhaustivas de comunicación entre PCS7

y WinCC. Con la finalidad de establecer un sistema eficiente con una interfaz intuitiva para el monitoreo en tiempo real.

**Figura 23.**

*Programación de STEP 7.*

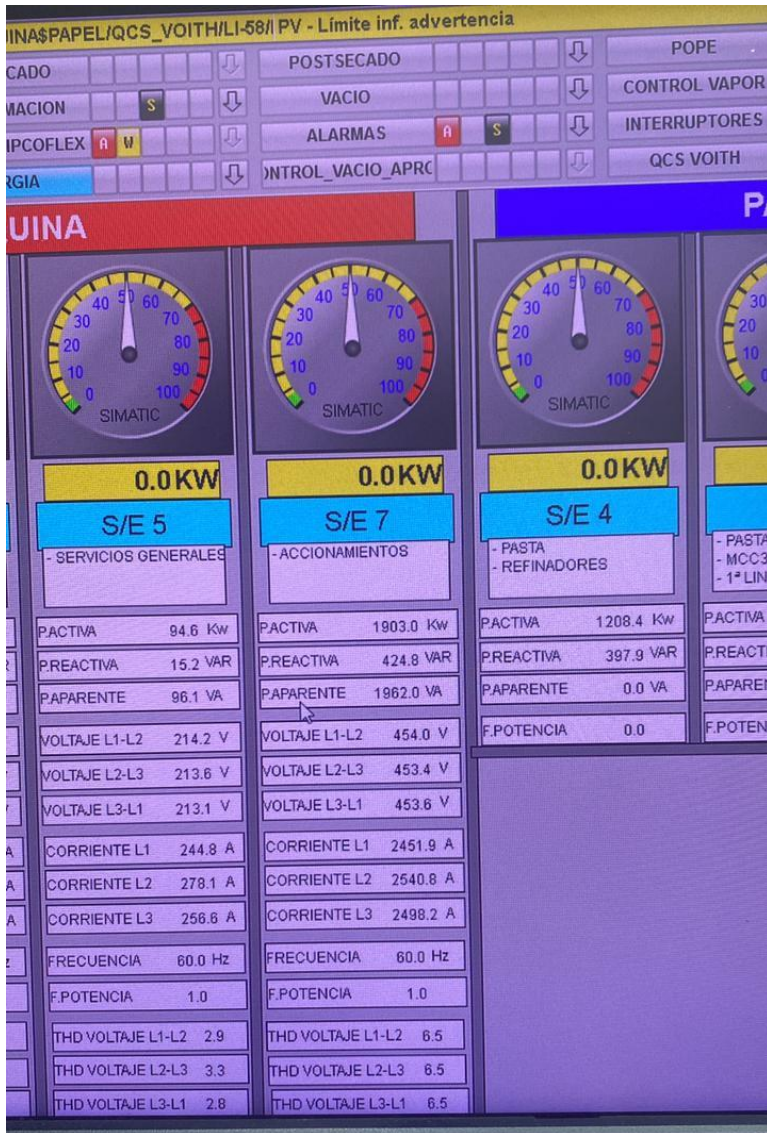


Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

Se analiza en la figura 23, el uso de lenguaje de programación en bloque, donde se direcciona las distintas magnitudes eléctricas del medidor.

**Figura 24.**

*Magnitudes eléctricas visualizadas en línea del medidor Sentron PAC 4200.*

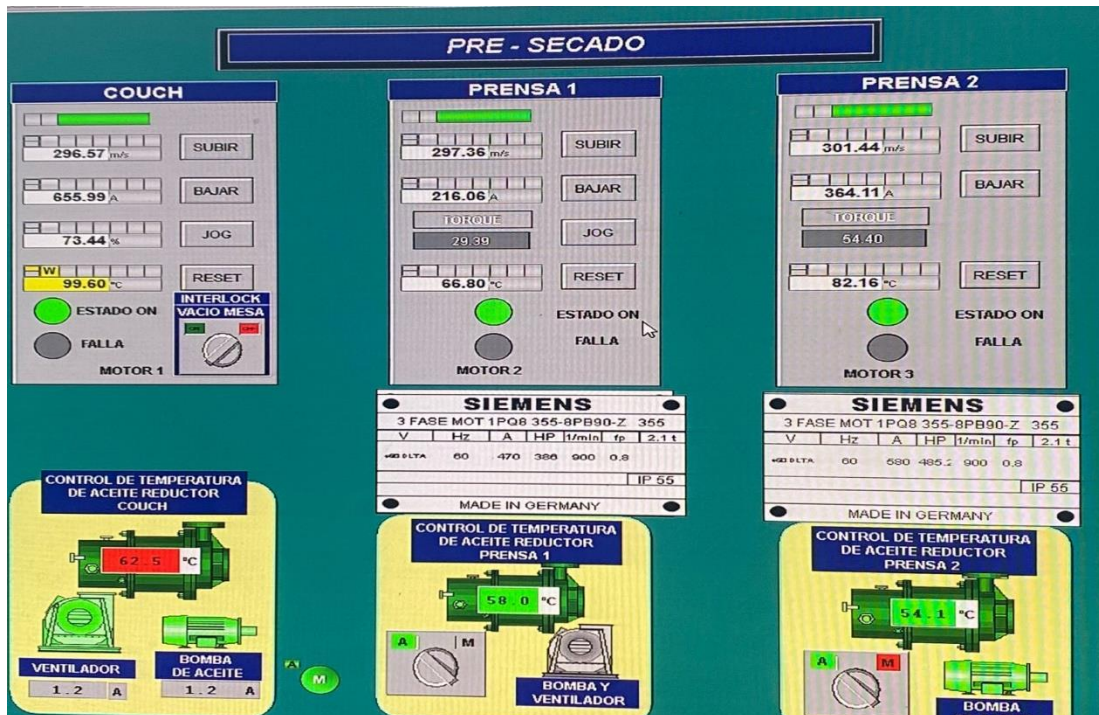


Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

En la figura 24 presenta las mediciones de voltaje que emite el medidor SENTRO PAC 4200 con respecto al S/E 7, siendo este el centro del estudio actual.

Figura 25.

Monitoreo de Pre-secado.



Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

En esta representación se expone que dentro del proceso de producción se tiene el área de pre-secado, en el cual se posee un control de temperatura de aceite reductor de couch, prensa 1 y 2.



Figura 26.

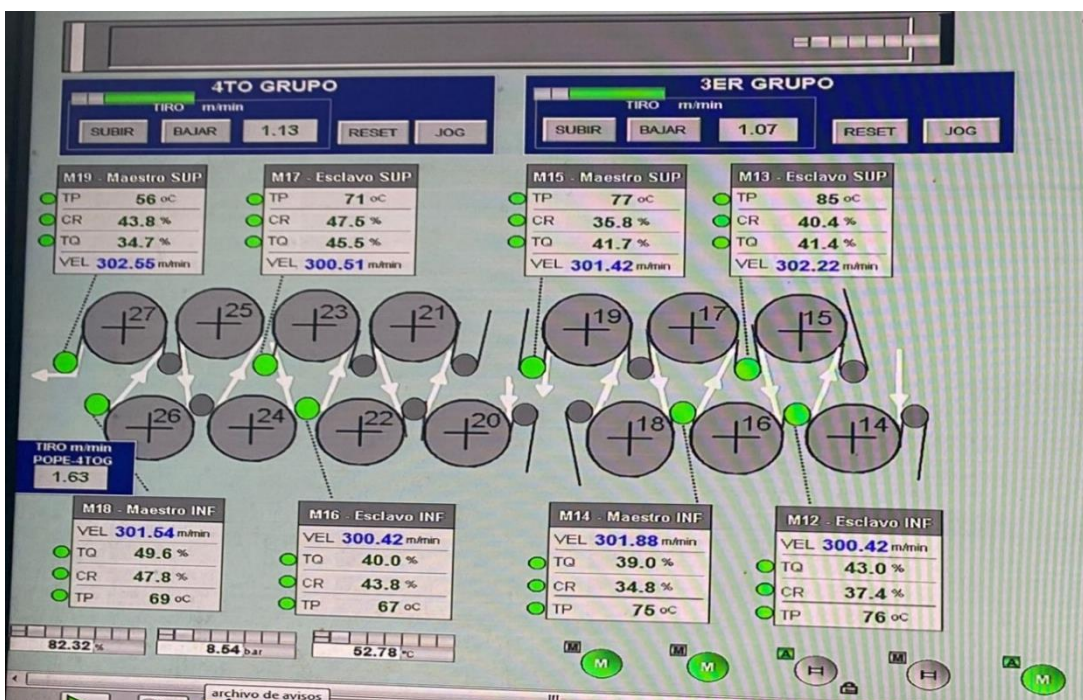
Grupos de secadores 1 y 2.



Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

Figura 27.

Grupos de secadores 3 y 4.



Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

En la figura 26 y 27, se ilustra que dentro del proceso de producción se tiene el área de secado, el cual compone de cuatro grupos de secadores.

#### **4.4. Fase 4 - Puesta en marcha y Análisis**

En el informe de calidad de energía de la empresa Papelera Nacional S.A., se registró el siguiente análisis:

Durante el mantenimiento preventivo realizado el 02/10/2023, se detectó la presencia de chapas abiertas en el núcleo del transformador seco de la Subestación. Como respuesta a esta situación, el 22/10/2023 se procedió a reemplazar el transformador de la Subestación 7.

Una posible razón detrás del deterioro de las chapas del núcleo podría ser la presencia de armónicos, por lo que es necesario evaluar la calidad de energía en el suministro, específicamente en el lado secundario del transformador de aislamiento.

Además, en respuesta a una sugerencia técnica, se requiere evaluar la capacidad de carga del transformador de aislamiento debido a la planificación de implementar un nuevo cuerpo impresor en el futuro.

##### **4.4.1. Resultados.**

- **Calidad de energía**

Las mediciones fueron llevadas a cabo utilizando el analizador de Energía FLUKE 435 a lo largo de un periodo de 8 días, desde el 24/10/2023 hasta el 01/11/2023, con un intervalo de agregación de 5 minutos. El propósito de estas mediciones fue evaluar las condiciones de la energía suministrada en la salida del transformador de aislamiento, conforme a lo establecido en la norma EN 50160.

**Tabla 10**

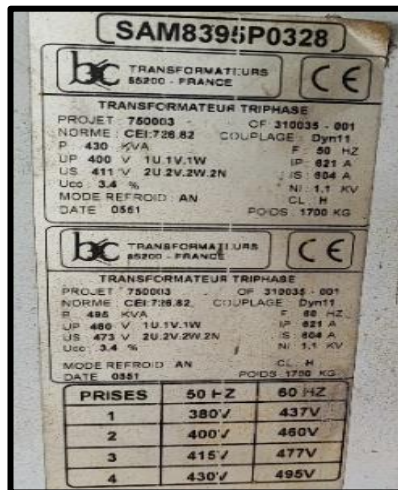
*Norma en 50160*

Perturbación	Medida	Límites	Intervalos de evaluación	Porcentaje de medidas dentro de límites durante el intervalo
Frecuencia	Promedio de la frecuencia de cada ciclo durante 10 s	±1%	al año	99,5%
		+4%/-6%		100,0%
Variaciones de la tensión	Promedio de la VAC de cada ciclo durante 10 min	±10%	cada semana	99,5%
		+10%/-15%		100,0%
Variaciones rápidas de tensión	Número de eventos tipo escalón de tensión de hasta el 10% de $U_N$	Indicación 1		
Severidad del parpadeo	$P_{II}$ (2 horas)	<1	cada semana	95%
Huecos de tensión	Número de eventos (con $U < 0,9U_N$ )	Indicación 2	al año	
Interrupciones breves de la tensión	Número de eventos (con $U < 0,01U_N$ y $t < 3$ min)	Indicación 3	al año	
Interrupciones largas de la tensión	Número de eventos (con $U < 0,01U_N$ y $t > 3$ min)	Indicación 4	al año	
Sobretensiones (50 Hz)	Número de eventos (con $U > 1,1U_N$ y $t > 10$ ms)	Indicación 5		
Sobretensiones transitorias	Número de eventos (con $U > 1,1U_N$ y $t < 10$ ms)	Indicación 6		
Desequilibrio de la tensión	Promedio de la $U_{inv}/U_{dir}$ de cada ciclo durante 10 min	<2%	cada semana	95%
Tensiones armónicas	Para cada armónico $i$ , promedio de la $U_i/U_N$ en cada ciclo durante 10 min	Ver tabla	cada semana	95%
	Promedio del THD de la tensión referido a $U_N$ en cada ciclo durante 10 min	<8%	cada semana	95%
Tensiones interarmónicas	Por estudiar			
Transmisión de señales	Tensión eficaz de la señal transmitida promediado en 3 s	Ver tabla	cada día	99%

Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

**Figura 28.**

*Transformador trifásico de 430 VA con una potencia de entrada de 400 V y una potencia de salida de 411 V.*



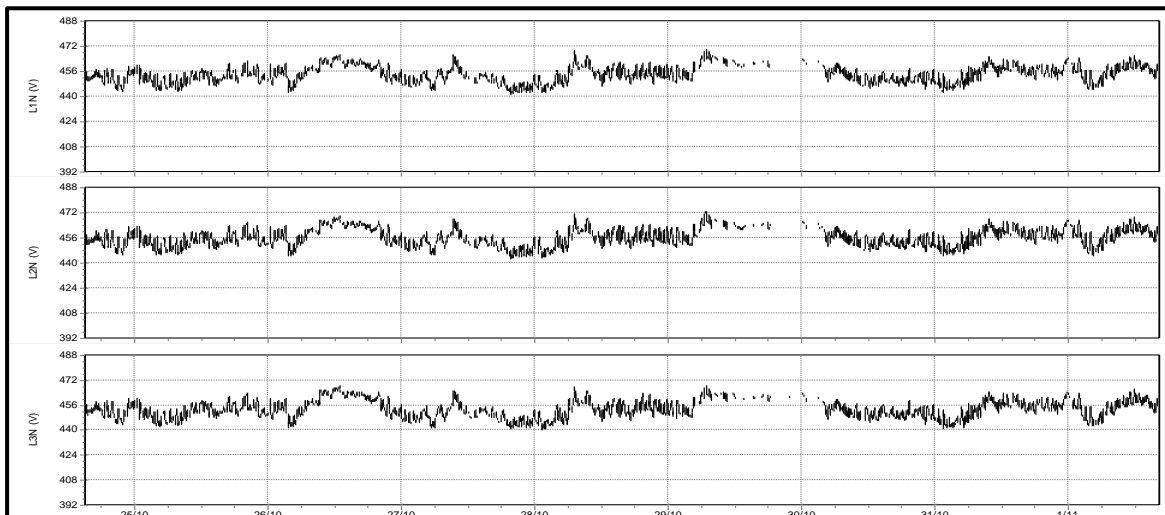
Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

La configuración de conexión del transformador es Dyn11, y su ajuste de toma de derivación se encuentra en el terminal 2, generando un voltaje nominal de 460V a 60Hz en el lado secundario.

- **Variaciones de voltajes**

**Figura 29.**

*Resultados del análisis de la calidad de energía.*



Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

Con base en la información anterior no se observa ninguna novedad relevante dado que el valor promedio de las tensiones de fase – fase varía entre 440V a 472 V el cual representa +2% y -4.3% con respecto al valor nominal (460V). (Ver tabla 8).

**Tabla 11**

*Variaciones de Tensión*

Tensión residual u [%]	Duración t [ms]						
	t < 10	10 <= t <= 200	200 < t <= 500	500 < t <= 1000	1000 < t <= 5000	5000 < t <= 60000	60000 < t
90 > u >= 80	0	0	0	0	0	0	0
80 > u >= 70	0	0	0	0	0	0	0
70 > u >= 40	0	0	0	0	0	0	0
40 > u >= 5	0	0	0	0	0	0	0
5 > u	0	0	0	0	0	0	0

Tensión de pico u [%]	Duración t [ms]				
	t < 10	10 <= t <= 500	500 < t <= 5000	5000 < t <= 60000	60000 < t
u >= 120	0	0	0	0	0
120 > u > 110	0	0	0	0	0

Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

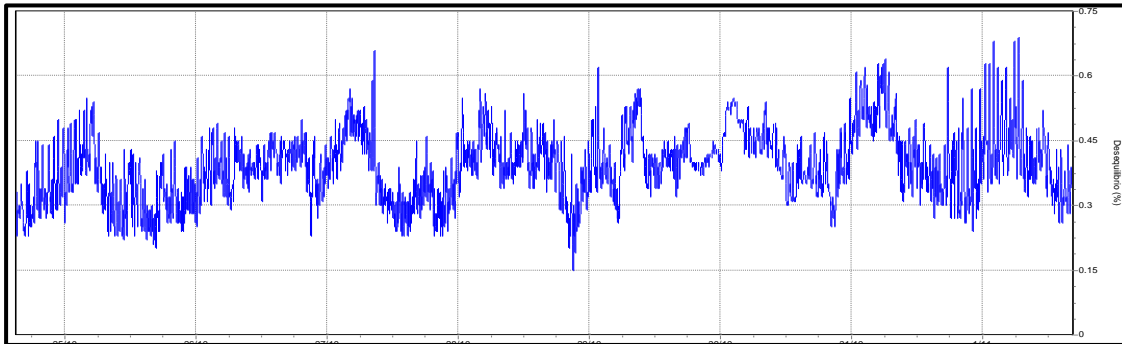
En la tabla 9, no se presentan variaciones de tensión (huecos, sobretensión o interrupciones).



- **Desbalance Tensión**

**Figura 30.**

*Resultados de la variación de voltaje promedio.*



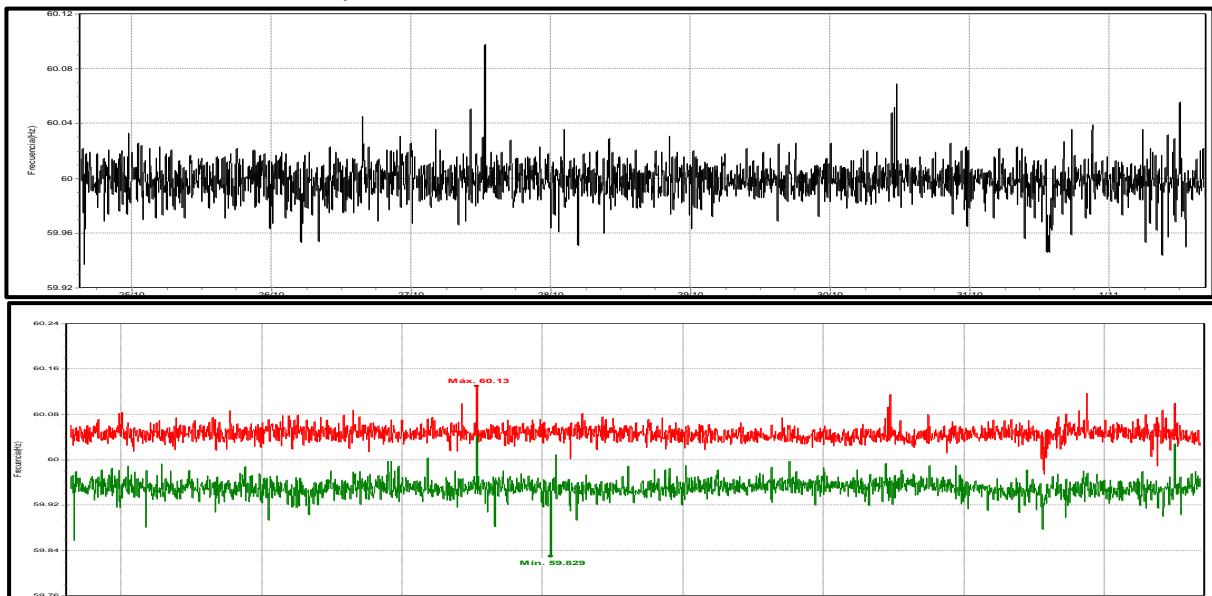
Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

La variación de voltaje promedio varía entre 0.15% y 0.68% el cual es menor al 2% que indica la norma EN50160 (ver tabla 1), por tanto, no se evidencia novedad relevante.

- **Frecuencia**

**Figura 31.**

*Resultados de la frecuencia promedio.*



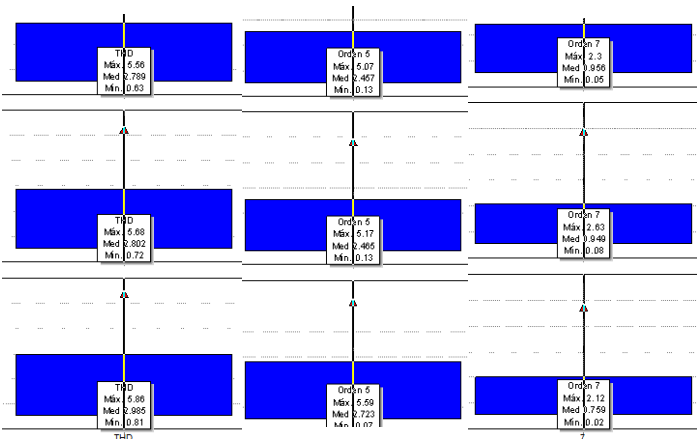
Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

La frecuencia promedio del sistema varía entre 60.1 Hz a 59.9 Hz el cual representa  $\pm 0.17\%$  con respecto al valor nominal. Por tanto, el 100% de las mediciones se encuentran dentro del rango  $\pm 1\%$  que indica la norma EN50160.

- **Armónicos**

**Figura 32.**

*THD, 5to armónico y 7mo armónico*



Fuente: (Papelera Nacional S.A. , 2023)

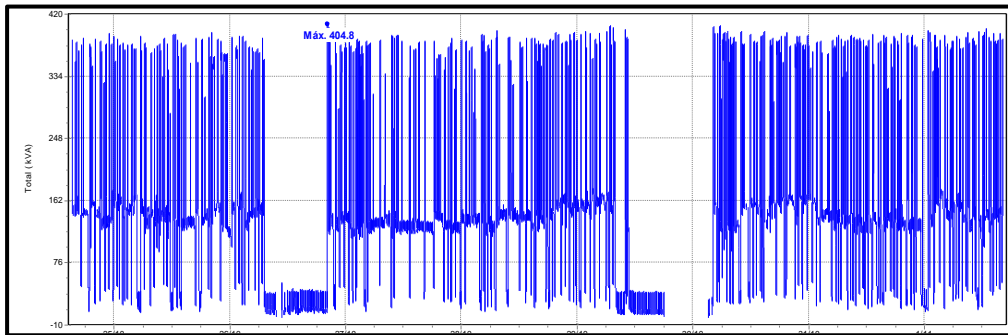
Con respecto a los valores promedios de las líneas L12, L23, L31 no se evidencian novedades relevantes ya que el THD es de 2.8%, 2.8% y 3% respectivamente, siendo menor al indicado por la norma EN50160 o IEEE519 (8%). Por otro lado, el 5to armónico causado por los VFD también cumple. EN50160 (6%) - IEEE519 (5%).

- **Cargabilidad**

**Potencia aparente**

**Figura 33.**

*Resultados de la potencia máxima*



Fuente (Papelera Nacional S.A. , 2023)

La potencia máxima medida durante la semana del 24 de octubre al 1 de noviembre es de 405 KVA lo que equivale al 82% de la potencia nominal del transformador de aislamiento seco de la subestación 7, (495KVA).

### **Derivaciones finales**

- ✓ No se evidencia novedades relevantes en el suministro de energía de la subestación 7, en el lado secundario del transformador de aislamiento cumpliendo con las recomendaciones que indica la norma EN50160 y IEEE519.
- ✓ La cargabilidad de la subestación 7 es del 82% de la potencia nominal del transformador el cual se encuentra en el límite recomendado.

### **Sugerencias finales**

- ✓ Se recomienda colocar el equipo de medición al menos 3 o 4 semanas para tener una mejor precisión de la cargabilidad obtenida en la máquina dado que depende de varios parámetros como velocidad de la máquina, tipo de producto, paradas imprevistas, etc.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En este capítulo se exponen las conclusiones extraídas del análisis de calidad de energía mediante el empleo del medidor Sentron PAC 4200, con el propósito de supervisar las magnitudes eléctricas y fomentar prácticas de ahorro energético en la empresa.

#### **4.1. Conclusiones**

La aplicación del Sentron PAC 4200 en la Subestación 7 de Papelera Nacional S.A. ha sido fundamental para controlar y dar seguimiento al suministro de energía eléctrica y evitar daños en los equipos. Durante el análisis del consumo de energía en esta subestación, se identificaron vibraciones y perturbaciones en la red eléctrica, específicamente en la salida del transformador de aislamiento, como lo indican las mediciones realizadas con el analizador de energía FLUKE 435 a lo largo de un periodo de 8 días. Aunque no se observaron variaciones significativas en el voltaje, frecuencia o desbalance en la tensión, se evidenció que la potencia máxima medida durante la semana del 24 de octubre al 1 de noviembre representó el 82% de la potencia nominal del transformador de aislamiento seco de la subestación 7.

El análisis exhaustivo realizado con el medidor Sentron PAC 4200 fue fundamental para evaluar el consumo y la calidad del suministro eléctrico en la Subestación 7 de Papelera Nacional S.A. Durante 8 días, se recopilaron datos detallados que ofrecieron una visión completa de la dinámica energética en la instalación. Los informes resultantes revelaron patrones de consumo, variaciones en las magnitudes eléctricas y posibles problemas de calidad en el suministro eléctrico. Se observó, que las tensiones fluctuaron entre 440V y 472V, dentro de los límites establecidos por la normativa. Estos hallazgos permitieron identificar áreas de mejora, como extender el periodo de monitoreo para una evaluación más precisa de la cargabilidad y considerar parámetros adicionales.

La implementación del medidor Sentron PAC 4200 ha sido fundamental para

optimizar el rendimiento de equipos y procesos en la instalación. Al monitorear de cerca las magnitudes eléctricas y proporcionar datos en tiempo real, el medidor ha permitido ajustar y mejorar el funcionamiento de los equipos, lo que se traduce en una mayor eficiencia operativa, reducción de pérdidas energéticas y un rendimiento más efectivo de los procesos. Además, esta aplicación ha sentado las bases para prácticas sostenibles y decisiones estratégicas en la gestión de la energía, contribuyendo así a la mejora continua del entorno operativo.

#### **4.2. Recomendaciones**

Para identificar áreas de ineficiencia energética, se sugiere continuar el monitoreo constante de estos puntos críticos. Implementar medidas correctivas específicas en estas áreas puede resultar en mejoras significativas en la eficiencia general del sistema. Además, considerar la posibilidad de realizar auditorías periódicas utilizando el medidor para asegurar una gestión continua y proactiva de la eficiencia energética.

Dado el valor evidenciado en el análisis de magnitudes y la generación de informes a lo largo del tiempo, se solicita mantener una estrategia continua de recopilación y análisis de datos. La implementación de un programa de monitoreo regular utilizando el Sentron PAC 4200 permitirá una supervisión continua de la calidad de la energía y proporcionará alertas tempranas sobre posibles problemas. Esto facilitará la toma de decisiones proactivas para abordar cualquier variación o inconveniente en el suministro eléctrico.

Considerando la contribución significativa del medidor Sentron PAC 4200 a la optimización del rendimiento de equipos y procesos, se recomienda expandir su implementación a otras áreas críticas de la instalación. Explorar oportunidades para integrar el medidor en sistemas adicionales y equipos relevantes puede mejorar aún más la eficiencia operativa global. Además, fomentar la capacitación del personal para utilizar plenamente las capacidades del medidor y garantizar un mantenimiento adecuado para un rendimiento continuo. La experiencia adquirida puede servir como modelo para iniciativas similares en otras instalaciones.

## Bibliografía

- Acuña, B. P. (2019). *La observación como herramienta científica*. ACCI (Asociación Cultural y Científica Iberoamericana).
- Arteaga, D. J. (2021). *Sistema de entrenamiento de realidad virtual para el monitoreo de indicadores de calidad de la energía en subestación eléctrica*. Obtenido de <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/2797>
- Arteaga, R. A. (2021). *Modelo Smart Grid para la calidad de energía eléctrica del Hospital II-1 Santa Gema de Yurimaguas*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/94825>
- Bedoya, V. H. (2020). Tipos de justificación en la investigación científica. *Espíritu emprendedor TES*, 3(4), 65-76. Obtenido de <http://espirituemprededort.es.com/index.php/revista/article/view/207>
- Cañarte, C. E. (2019). *Diseño e implementación de un analizador espectral de señales de voltaje y corriente para la obtención de valores DC, RMS, THD, factor de potencia, potencia activa, reactiva, aparente (Bachelor's thesis, Quito, 2019.)*. Obtenido de <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20306>
- Cárdenas, J. M. (2023). *Calidad de la energía eléctrica en edificaciones con generación solar fotovoltaica (Doctoral dissertation, Ingeniería)*. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/2416>
- Carrasco, M. D. (2023). *Calidad de la energía eléctrica suministrada al elevador del edificio 36b de la facultad de ciencias químicas e ingeniería*. Obtenido de <http://riaa.uaem.mx/handle/20.500.12055/3321>
- Carugati, I., Funes, M. A., Donato, P. G., Strack, J. L., Orallo, C. M., & Hadad, M. (2020). Calidad de Energía en Ciudades Inteligentes: primeros resultados en la ciudad de Mar del Plata. In *2020 IEEE Congreso Bienal de Argentina (ARGENCON)*, pp. 1-6. doi:<https://doi.org/10.1109/ARGENCON49523.2020.9505326>
- CEPAL. (2018). *Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de México, 2018*. Obtenido de <https://repositorio.cepal.org/items/6b949522-84a2-4bea-b40e-e3ecb155904c>
- Chancusig, K. G. (2021). *Determinación de procedimientos para la localización de*

- fallas en redes eléctricas soterradas de medio voltaje utilizando el sistema Megger Centrix 2.0 de la Empresa Eléctrica Quito (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi).* Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/7959>
- Chaves , A. (2019). *La utilización de una metodología mixta en investigación social.* Obtenido de <https://rabida.uhu.es/dspace/handle/10272/15178>
- Chirinos , E. R. (2020). *Análisis de la direccionalidad armónica a nivel tensión de 60 KV para optimizar el funcionamiento de la sub estación Chiclayo Oeste de 220/60 KV.* Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/45810>
- Cruz , V. A. (2022). *Propuesta de disminución de la distorsión armónica total de voltaje en los alimentadores primarios x1 y x2 de la subestación el Chota (Bachelor's thesis).* Obtenido de <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/12430>
- Dillana, A. (2023). *Proyecto de un sistema de monitorización del consumo eléctrico de una instalación mediante interfaz HTML y alertas vía mensajería instantánea.* Obtenido de <https://riunet.upv.es/handle/10251/197226>
- Duarte, F. F., Freire, C. A., & Zambrano, R. X. (2021). *Evaluación de las Normativas de Calidad de Energía para Consumidores en Baja y Media Tensión en la Región (Doctoral dissertation, ESPOL. FIEC).* Obtenido de <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/56350/1/T-112730-Duarte-Freire.pdf>
- Erazo, J. J., & Arcos, H. N. (2022). Dimensionamiento de un Transformador tipo Zig-Zag para Puesta a Tierra en la Central de Generación Illuchi 1 de ELEPCO. *Revista Técnica energía*, 19(1), 1-12. doi:<https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v19.n1.2022.504>
- Gómez, V. A., Hernández, C., & Rivas, E. (2019). Visión General, Características y Funcionalidades de la Red Eléctrica Inteligente (Smart Grid). *Información tecnológica*, 29(2), 89-102. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000200089>
- Guel , M. M. (2021). *Reconfiguración del sistema de puesta a tierra del edificio de carrera de electricidad (Bachelor's thesis).* Obtenido de

- <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11565>
- Hernandez, M. (21 de 02 de 2019). *Sistema eléctrico de potencia*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/402880627/Sistemas-electricos-de-potencia-unidad-1>
- IEEE. (2020). Power Quality in Microgrids Including Supraharmonics: Issues, Standards, and Mitigations. *IEEE access*, 8, 127104-127122. doi:<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9136692>
- Jácome, J. V., & Salgado, D. A. (2023). *Evaluación de los criterios de la calidad de energía eléctrica en la empresa Induplaes (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC))*. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11413>
- Juna , E. A. (2019). *Eficiencia energética mediante sistemas scada para el control de la demanda de una residencia (Bachelor's thesis)*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/8088>
- Lasluisa, J. P. (2020). Resiliencia de Sistemas Eléctricos de Potencia mediante la Conmutación de Líneas de Transmisión–Estado del arte. *I+ D Tecnológico*, 16(2), 67-77. doi:<https://doi.org/10.33412/idt.v16.2.2834>
- Ludeña, D. A., & Galarza, J. D. (2023). *Propuesta del mejoramiento del sistema de puesta a tierra de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca (Bachelor's thesis)*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/26334>
- Manzanares, C. M. (2023). *Diseño de una sub estación eléctrica transformadora reductora, con transferencia automática para planta industrial Novem, Honduras*. Obtenido de <https://repositorio.unitec.edu/handle/123456789/11693>
- Matamoros, V. M. (2021). *Estado del arte de la gestión de la energía eléctrica desde el lado de la demanda*. Obtenido de <https://idus.us.es/handle/11441/128756>
- Maxinez, U. (2023). *Análisis del comportamiento dinámico del sistema eléctrico de potencia considerando almacenamiento de energía*. Obtenido de <http://www.riaa.uaem.mx/xmlui/handle/20.500.12055/3385>
- Medina, S. X. (2021). *Calidad y gestión de energía en centros de carga para vehículos eléctricos considerando tipos de cargabilidad (Master's thesis)*. Obtenido de



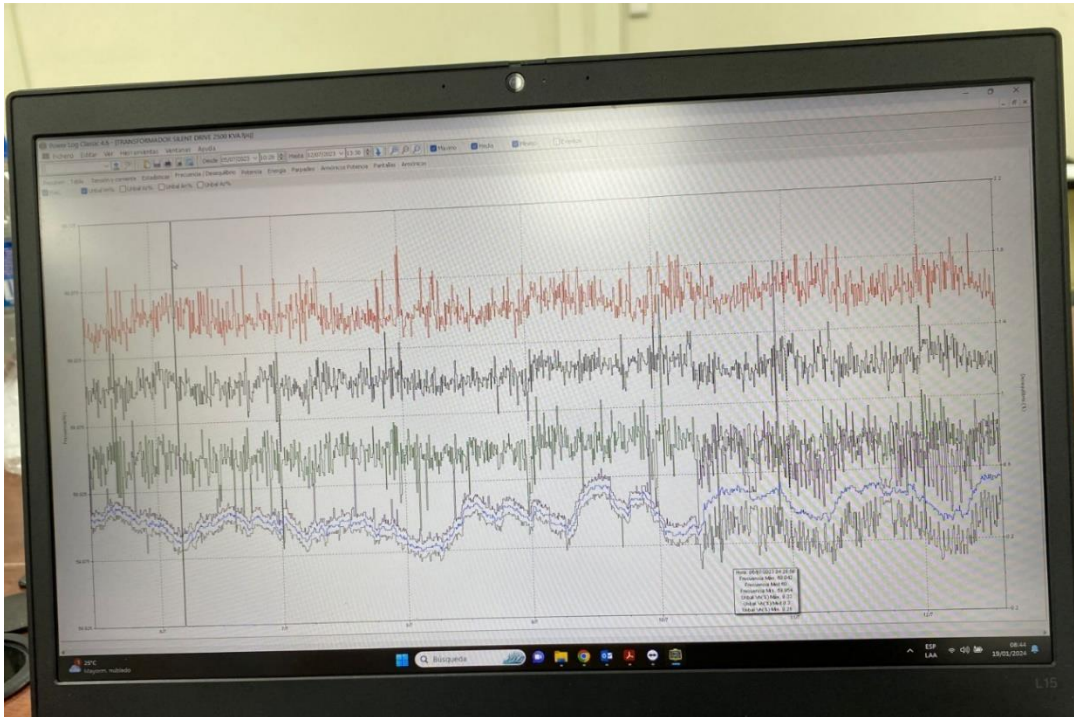
- <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/21558>
- Merino, B. A., & Tarco, G. R. (2023). *Evaluación de los criterios de calidad de energía eléctrica en la Empresa Induce del Ecuador (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC))*. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10373>
- Ministerio de Energía y Minas. (2020). *Guía de Orientación del Uso Eficiente de la Energía y de Diagnóstico Energético*. Perú: Dirección General de Eficiencia Energética. Obtenido de [https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGEE/eficiencia-energetica/publicaciones/guias/16\\_guia-industria-papelera-DGEE.pdf](https://www.minem.gob.pe/minem/archivos/file/DGEE/eficiencia-energetica/publicaciones/guias/16_guia-industria-papelera-DGEE.pdf)
- Morón, J. A. (2021). *Sistemas eléctricos de distribución*. Reverté.
- Nevárez, M. R. (2020). Redes Inteligentes y Energías Renovables. *Polo del Conocimiento*, 5(8), 1253-1263. Obtenido de <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/1657>
- Olivera, F., & Alvarez, J. C. (2023). *Estudio y mitigación de la contaminación armónica en la subestación de distribución 0010191-Teatro Municipal Cusco de la empresa eléctrica ELSE SAA*. Obtenido de <https://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/20.500.12918/7981>
- Pánchez, Á. F., & Guillen, F. P. (2019). *Análisis de la calidad de la energía eléctrica en las redes de bajo voltaje de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca por la cargabilidad de vehículos eléctricos (Bachelor's thesis)*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17750>
- Papelera Nacional S.A. . (2023). *La empresa* . Obtenido de <https://papelera nacional.com/>
- Pérez, J. E. (2023). *Análisis de las cargas no lineales y su incidencia en la generación de armónicos de la nave de soldadura de la empresa Ciauto cía. Ltda. en el 2022 (Master's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi,(UTC))*. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/10775>
- Pérez, J. I., Miñoso, H., & Machado, T. (2019). *La medición de la subjetividad como vía para la mejora de los informes académicos*. Obtenido de

- <https://dspace.uclv.edu.cu/handle/123456789/11286>
- Plata, E. A., & Farfán, A. J. (2022). *Sistemas eléctricos en régimen no sinusoidal*. Universidad Nacional de Colombia.
- Portillo, F. (2022). *Parámetros de Calidad Eléctrica y Exposición Humana a Campos Magnéticos Mediante el Análisis de la Radiación Armónica de la Red Eléctrica*. Obtenido de <https://repositorio.ual.es/handle/10835/14095>
- Ramos, J. R. (2022). *Aplicación de un sistema de control de energía eléctrica en la optimización energética de un industria ligera, Lima, Perú*. Obtenido de <http://repositorio.uigv.edu.pe/handle/20.500.11818/5856>
- Reyes, E. (2022). *Metodología de la investigación científica*. Page Publishing Inc.
- Rincón, M. D. (2022). *Diagnóstico y recomendaciones para el mejoramiento de la distorsión armónica en una línea de 230 kV que alimenta un sistema industrial*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/entities/publication/e9faa3ae-166f-4c34-bed7-63f2c41a1ff9>
- Rojas, J. S. (2019). El rol del nuevo Coordinador Eléctrico Nacional en su misión de monitorear las condiciones de competencia en el mercado eléctrico. *Revista de Derecho Administrativo Económico*, 26, 95-115. Obtenido de <http://www.cuadernos.info/index.php/REDAE/article/view/3450>
- Shinji, S., & Suenaga, L. (2020). *Implementación de un sistema de monitoreo en tiempo real con simulación predictiva para sistemas de potencia*. Obtenido de [https://cris.utec.edu.pe/ws/portalfiles/portal/21792735/Salvador\\_Shinji\\_Tesis](https://cris.utec.edu.pe/ws/portalfiles/portal/21792735/Salvador_Shinji_Tesis).
- Siemens. (2020). *Medidor universal Siemens Sentron PAC4200*. Obtenido de <https://www.pce-iberica.es/hoja-datos/hoja-datos-pac4200.pdf>
- Siemens AG. (2020). *SENTRON Multímetro SENTRON PAC4200. Manual de sistema*. Obtenido de [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/595/34261595/att\\_90272/v1/manual\\_sentron\\_pac4200\\_03\\_es-MX.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/595/34261595/att_90272/v1/manual_sentron_pac4200_03_es-MX.pdf)
- Siemens SIMATIC STEP 7. (2019). *Siemens SIMATIC Step 7*. Obtenido de [https://my.auvesy-mdt.com/tl\\_files/versiondog\\_info/es/versiondog-info.htm#tutorials/simatics7/simatics7\\_10.htm](https://my.auvesy-mdt.com/tl_files/versiondog_info/es/versiondog-info.htm#tutorials/simatics7/simatics7_10.htm)
- Silva, J. A. (2022). *Análisis para mejorar la calidad del suministro eléctrico del Centro Comercial Open Plaza-Trujillo*. Obtenido de

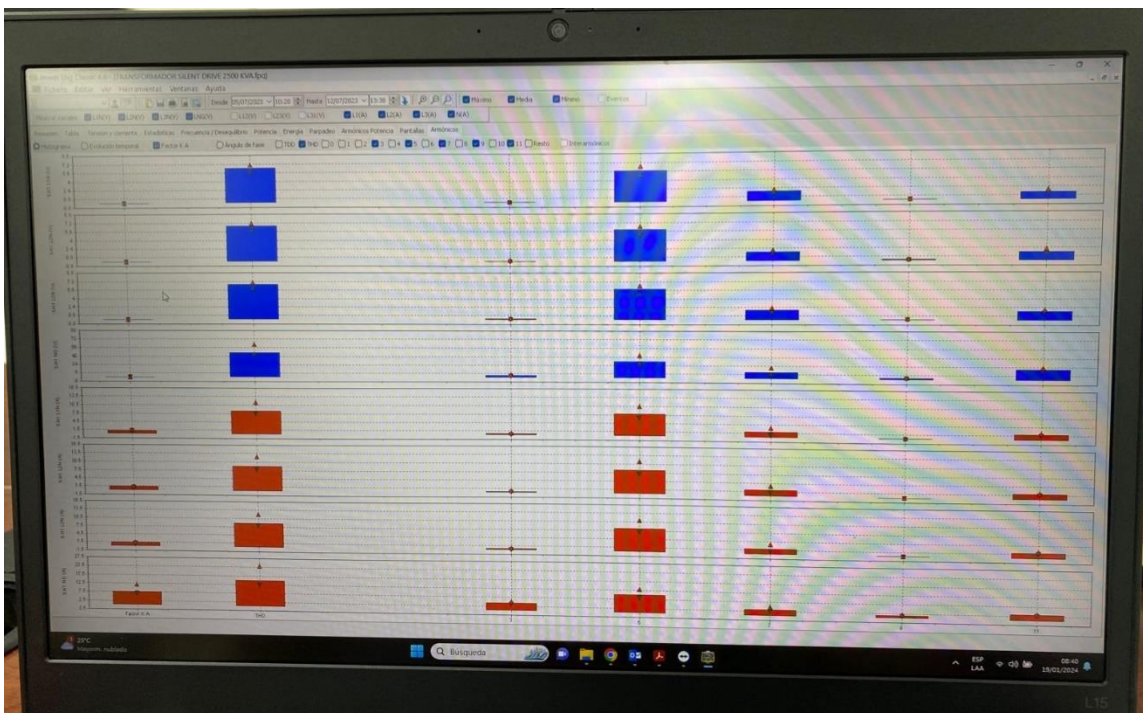
- <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/113358>
- Usnayo, E. A., & Mamani, E. (2020). *Diseño de un sistema de puesta a tierra para la línea de transmisión de 60 KV desde la SE María Jiray hasta la unidad minera Contonga*. Obtenido de <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/8564>
- Valera, C. B. (2023). *Análisis de calidad de energía en tablero de distribución TDA YA TT3 en la tienda Tottus Mall Plaza Trujillo*. Obtenido de <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/127844>
- Velarde , G. (2022). *Estudio de las perturbaciones armónicas en la calidad de energía eléctrica en la Universidad de Piura-campus Lima*. Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe/items/c0148e81-d8da-41dd-9606-1a7f99fb89b9>
- Velasco , B. M., & Zurita, M. E. (2022). *Análisis de calidad de energía en el sistema de servicios auxiliares de las Unidades de Generación de la Central Hidroeléctrica Pucará (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC))*. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/9341>
- Yebra, J. (2021). *Sistema electrico de distribucion*.
- Yerovi , A. M. (2021). *La resiliencia en el teletrabajo: revisión bibliográfica sistemática (Bachelor's thesis, Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica)*. Obtenido de <https://repositorio.uti.edu.ec/handle/123456789/2466>
- Zambrano, A. F. (2022). *Procedimiento para la evaluación de la calidad de la energía en industrias con cargas eléctricas variables no lineales (Doctoral dissertation, Corporación Universidad de la Costa)*. Obtenido de <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/9654>
- Zambrano, Á. J., & Anchundia, V. M. (2020). *Adquisición Digital de Datos Aplicado a un Módulo de Pruebas Feedback para el Monitoreo de Parámetros Eléctricos en Máquinas en Corriente Alterna (Bachelor's thesis)*. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/19486>
- Zúñiga, P. I., Cedeño, R. J., & Palacios, I. A. (2023). Metodología de la investigación científica: guía práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723-9762. doi:[https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v7i4.7658](https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7658)

## Anexos

### Anexo 1. Mediciones de la carga eléctrica en los transformadores.

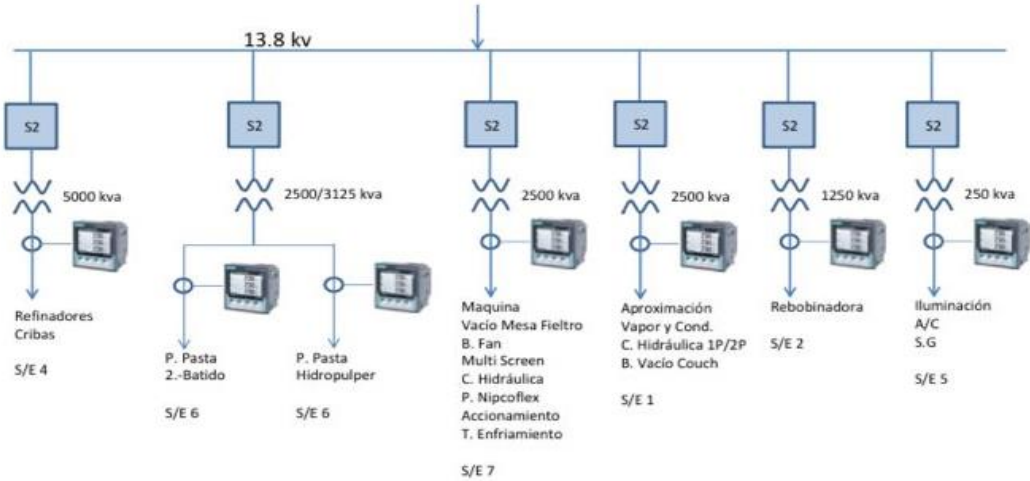


Fuente (Papelera Nacional S.A. , 2023)



Fuente (Papelera Nacional S.A. , 2023)

Anexo 2. Diagrama Unifilar – Molino 2.



Fuente (Papelera Nacional S.A. , 2023)

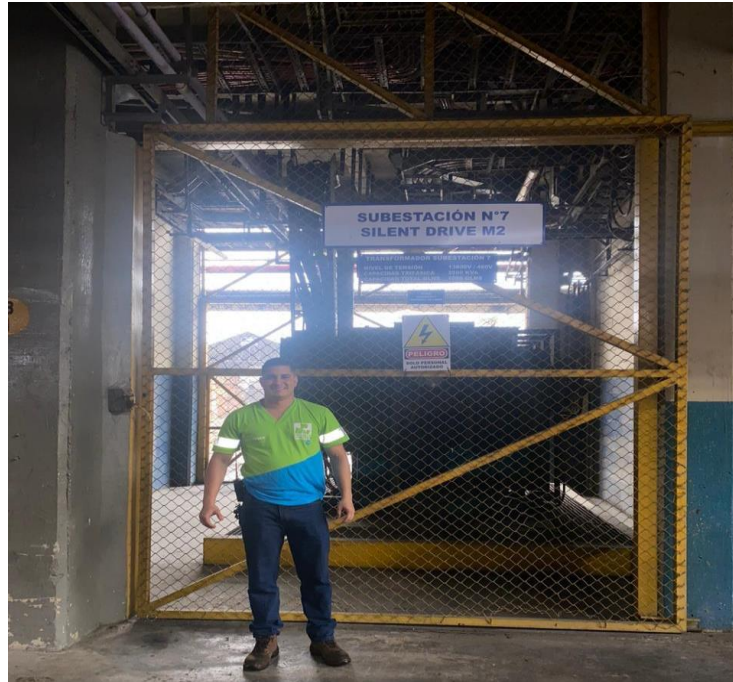
Anexo 3. Cuarto de control -Sala de accionamiento – Molino 2.



Fuente (Papelera Nacional S.A. , 2023)

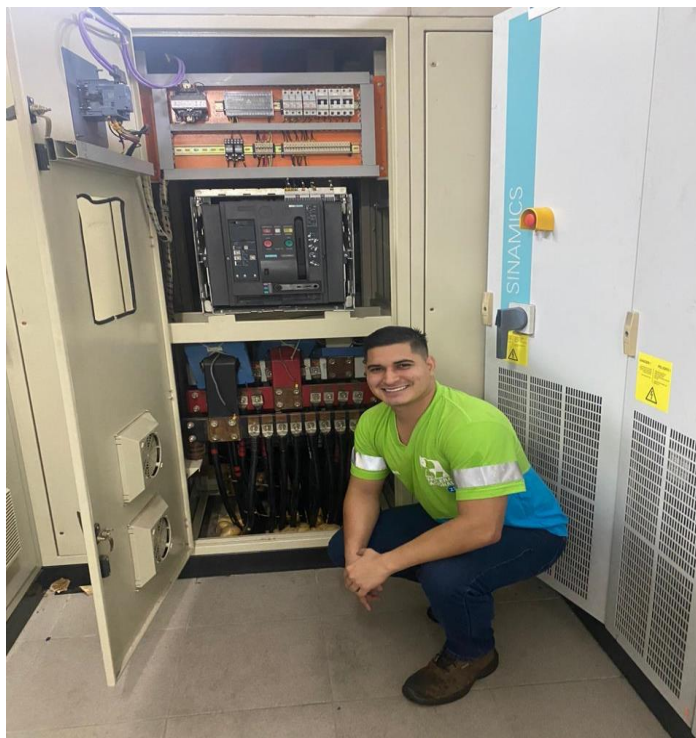


Anexo 4. Transformador Subestación 7 – Molino 2.



Fuente (Papelera Nacional S.A. , 2023)

Anexo 5. Tablero eléctrico de conexión de Sentron Pac 4200 – Molino 2.



Fuente (Papelera Nacional S.A. , 2023)

Anexo 6. Pre-Secado- Prensa 1-2 – Molino 2.



Fuente (Papelera Nacional S.A. , 2023)

#### Anexo 7. Pre-Secado- Rodillo Couch– Molino 2.



Fuente (Papelera Nacional S.A. , 2023)

#### Anexo 8. Grupo de Secadores – Molino 2.



Fuente (Papelera Nacional S.A. , 2023)



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Pluas Manzo, Anthony Paul**, con C.C: # **0940812571** autor del trabajo de titulación: **Análisis de calidad de energía mediante un medidor Sentron Pac 4200 para controlar magnitudes eléctricas y ahorro energético en Papelera Nacional**, previo a la obtención del título de **INGENIERÍA ELÉCTRICA** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, a los 19 días del mes de febrero del año 2024

f.



Pluas Manzo, Anthony Paul  
C.C: 0940812571

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Pluas Manzo, Cesar Antonio**, con C.C: # **0940812555** autor del trabajo de titulación: **Análisis de calidad de energía mediante un medidor Sentron Pac 4200 para controlar magnitudes eléctricas y ahorro energético en Papelera Nacional**, previo a la obtención del título de **INGENIERÍA ELÉCTRICA** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, a los 19 días del mes de febrero del año 2024

f.



Pluas Manzo, Cesar Antonio  
C.C: 094081255

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Análisis de calidad de energía mediante un medidor Sentron Pac 4200 para controlar magnitudes eléctricas y ahorro energético en Papelera Nacional		
<b>AUTOR(ES)</b>	Pluas Manzo, Anthony Paul y Pluas Manzo, Cesar Antonio		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael. Msc.		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	<b>Universidad Católica de Santiago de Guayaquil</b>		
<b>FACULTAD:</b>	<b>Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo</b>		
<b>CARRERA:</b>	<b>Ingeniería en Electricidad</b>		
<b>TITULO OBTENIDO:</b>	<b>Ingeniero en Electricidad</b>		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	19 de febrero del 2024	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	89
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Calidad de energía, Papelera Nacional		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Calidad de Energía, Sentron Pac 4200, Magnitudes Eléctricas, Ahorro Energético, Rendimiento de equipos y procesos		
<b>RESUMEN:</b>	<p>La presente investigación tiene como objetivo principal analizar la calidad de energía mediante un medidor Sentron Pac 4200 para controlar magnitudes eléctricas y ahorro energético en Papelera Nacional S.A., el cual se basa en medir en tiempo real el consumo de energía eléctrica y la demanda de potencia para tomar medidas de ahorro y optimización de la energía eléctrica usada en el proceso en la subestación 7 de la empresa. Además, el estudio se direccionó por una metodología de enfoque mixto, es decir, cualitativo y cuantitativo, de tipo descriptivo. Las técnicas empleadas fueron la revisión bibliografía y documental interna y la observación directa. Los instrumentos requeridos se basaron en la ficha de registro de la calidad de energía y el medidor Sentron Pac 4200 que permitió obtener los datos para medirlos. Los resultados provienen de mediciones realizadas con el medidor Sentron PAC 4200 y el analizador de energía FLUKE 435 durante ocho días. Se evalúan variaciones de voltaje y de corriente, desbalance de tensión, frecuencia, armónicos y la cargabilidad del sistema. Estos indican cumplimiento con normativas como EN 50160 e IEEE519, con una cargabilidad del 82% en la subestación 7. Las conclusiones revelan que la implementación del medidor Sentron PAC 4200 ha sido fundamental para identificar y abordar áreas de ineficiencia energética, mejorando significativamente el rendimiento de equipos y procesos. Cabe mencionar que por el aporte del análisis continuo de magnitudes eléctricas se han tomado decisiones informadas que han llevado a una mayor eficiencia operativa y la reducción de pérdidas energéticas.</p>		
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR:</b>	<b>Teléfono:</b> +593 985611935-+593 961633401	<b>E-mail:</b> antony_pluas97@hotmail.com pluasmanzocesar@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN(COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre:</b> Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo PHD		
	<b>Teléfono:</b> +593- 995147293		
	<b>E-mail:</b> celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			

**DIRECCIÓN URL (tesis en la web):**