



**MONITOREO DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE UNA INSTALACIÓN TRIFÁSICA
ORIENTADO A LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA EMPLEANDO
MEDIDORES INTELIGENTES**

**Alfonso Rafael Ballestas Herrera
1007960892**

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA
TECNOLOGIA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO
BARRANCABERMEJA - SANTANDER
FECHA DE PRESENTACIÓN: 13-11-2020**



**MONITOREO DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS DE UNA INSTALACIÓN TRIFÁSICA
ORIENTADO A LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA EMPLEANDO
MEDIDORES INTELIGENTES.**

**Alfonso Rafael Ballestas Herrera
1007960892**

**Trabajo de Grado para optar al título de
Tecnólogo en Operación y Mantenimiento Electromecánico**

**DIRECTOR
Luis Omar Sarmiento Álvarez**

GRUPO DE INVESTIGACIÓN – DIANOIA

**UNIDADES TECNOLÓGICAS DE SANTANDER
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES E INGENIERIA
TECNOLOGIA EN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ELECTROMECHANICO
BARRANCABERMEJA - SANTANDER
FECHA DE PRESENTACIÓN: 13-11-2020**

Nota de Aceptación



Firma del Evaluador



Firma del Director

DEDICATORIA

Dedico este proyecto primeramente a Dios por todas aquellas bendiciones que derrama día a día sobre mí y toda mi familia. Por darme la capacidad y la sabiduría de afrontar esta carrera y poder culminar mi ciclo tecnológico.

A mi Tío Humberto Ballestas Moreno por ser mi ejemplo a seguir y por hacer de mi la persona que soy, gracias por ese gran esfuerzo y motivación diaria para ayudarme a salir adelante, por los valores y principios inculcados en mí, que me llevaron a forjar el carácter, empeño, perseverancia y coraje para lograr los objetivos propuestos.

Quiero dedicar también a mi Tía Tania Elena Zappa González quien me ha ayudado a ser mejor ser humano y llevar todo este proceso de la mejor manera basado siempre en la creencia en Dios, a mi abuela Soledad Moreno Cuentas que siempre creyó en mí desde que empecé esta carrera y que actualmente estoy culminando.

Alfonso Rafael Ballestas Herrera

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mis más sinceros agradecimientos:

A todos los docentes de las Unidades Tecnológicas de Santander sede Barrancabermeja, por su aporte invaluable de los conocimientos adquiridos en la trayectoria universitaria, por sembrar en mi la calidad y excelencia en la actividad académica, personal y profesional, orientada a la mejora continua de las competencias. Centrado en hacer bien las cosas en cualquier actividad intentando hacerlas de la mejor manera posible.

A mi Director de Proyecto de Grado el Ing. Luis Omar Sarmiento Álvarez, por su contribución como parte fundamental para el desarrollo de este proyecto, por las observaciones realizadas, por su amable atención y dedicación.

A la empresa Leo técnicas LTDA por contribuir de manera gratificante en la parte económica y en la prestación de sus instalaciones para realizar la ejecución de este proyecto, también a mi Supervisor de campo el Ing. José Ballesteros Puentes por aportar su conocimiento en la parte eléctrica para desarrollar esta Tesis.

Alfonso Rafael Ballestas Herrera

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	<u>11</u>
<u>INTRODUCCIÓN</u>	<u>12</u>
<u>1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....</u>	<u>13</u>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2 JUSTIFICACIÓN	15
1.3 OBJETIVOS	16
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	16
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
1.4 ESTADO DEL ARTE.....	17
<u>2. MARCO REFERENCIAL.....</u>	<u>21</u>
2.1 MARCO TEORICO	21
2.1.1 MEDIDORES INTELIGENTES.	21
2.1.2 MEDIDOR DE DISCO.	21
2.1.3 MEDIDOR ELECTRÓNICO.	22
2.1.4 MEDIDOR INTELIGENTE.	23
2.1.5 TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.....	24
2.1.6 POTENCIA.....	25
2.1.7 TRIANGULO DE POTENCIA.	25
2.1.8 EL ÁNGULO Φ	26
2.2 MARCO CONCEPTUAL	26
2.3 MARCO LEGAL.....	28
<u>3. DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO</u>	<u>30</u>
3.1 UBICACIÓN	30
3.2 TIPO DE ESTUDIO.....	31
3.2.3 FASE I: REALIZAR LA SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE Y UN MEDIDOR INTELIGENTE TRIFÁSICO QUE PERMITA MEDIR Y TRANSMITIR MEDIANTE EL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN RS-485 LAS PRINCIPALES VARIABLES ELÉCTRICAS DE UNA INSTALACIÓN INDUSTRIAL TRIFÁSICA.....	31
3.2.4 FASE II: IMPLEMENTAR UN SISTEMA DE COMUNICACIÓN MEDIANTE EL ESTÁNDAR RS-485 QUE PERMITA LA TRANSMISIÓN DE LOS DATOS ELÉCTRICOS MEDIDOS HASTA UN PC.	31

4. RESULTADOS.....	33
4.1 SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.....	33
4.1.1 SELECCIÓN DE MEDIDOR INTELIGENTE TRIFÁSICO.....	35
4.1.2 IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN.	37
4.1.3 ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO DE LOS EQUIPOS SELECCIONADOS.	40
4.2.1 VERIFICACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO ÓPTIMO DE LAS CONDICIONES ELÉCTRICAS REQUERIDA.	48
5. CONCLUSIONES.....	50
6. RECOMENDACIONES	52
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
8. ANEXOS	55

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Medidores inteligentes.....	21
Figura 2. Medidor de disco	22
Figura 3. Medidor electrónico	23
Figura 4. Distribución de arrollamientos	24
Figura 5. Triangulo de potencia	25
Figura 6. Imagen de la ubicación geográfica del área de interés.	30
Figura 7. Selección de transformadores de corriente	35
Figura 8. Analizador de red AHM1.	37
Figura 9. Puertos de conexión Analizador de Red AHM1.....	39
Figura 10. Conversor RS-485 – USB UTOR-4i	39
Figura 11. Sistema de comunicación RS-485.....	40
Figura 12. Interfaz del un software llamado AHM1 V1.0.....	43
Figura 13. Interfaz de configuración.	44

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Referencia de transformadores de corriente investigados.	34
Tabla 2. Ventajas y desventajas de los medidores inteligentes investigados.	36
Tabla 3. Comparación Técnico-Económica de los medidores inteligentes	41
Tabla 4. Comparación Técnico-Económica de transformadores de corrientes.....	42
Tabla 5. Verificación de los parámetros eléctricos medidos.	49

LISTAS DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico 1. Potencia registrada activa.....	45
Gráfico 2. Potencia registrada reactiva.....	46
Gráfico 3. Corrientes de línea.....	46
Gráfico 4 . Factor de potencia.	47
Gráfico 5. Tensión de línea.	48

RESUMEN EJECUTIVO

En este proyecto se empleó el método de investigación descriptivo y su desarrollo se encuentra distribuido en dos fases a saber, en la primera fase se realizó la selección de transformadores de corriente y de un medidor inteligente trifásico que permitió medir y transmitir mediante el protocolo de comunicación RS-485 las principales variables eléctricas de una instalación industrial trifásica; además este proceso se complementó con la segunda fase que consistió en implementar el sistema de comunicación mediante el estándar RS-485 y de esta manera permitir la transmisión de los datos eléctricos medidos hasta un PC donde finalmente se generaron reportes que permitieron analizar el comportamiento histórico de los parámetros eléctricos monitoreados empleando un software que permitió el despliegue de los datos tanto de forma gráfica como de forma tabulada para su posterior análisis.

PALABRAS CLAVE. Monitoreo, Instalación trifásica, Factor de potencia, Medidores inteligentes.

INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica se ha convertido en una de las fuentes energéticas más importantes del mundo, está directamente asociada al desarrollo de las diferentes actividades productivas que se realizan a diario en el mundo, ya que con el transcurrir del tiempo controlar el consumo de energía eléctrica se ha convertido en un factor fundamental principalmente para las empresas del sector industrial, basado en estudios la tasa de consumo para el sector industrial en los últimos años ha presentado un crecimiento exponencial.

En la actualidad para regular el consumo de energía eléctrica y controlar el factor de potencia en el sector industrial se ha venido implementando sistemas de monitoreo de parámetros eléctricos por medio analizadores de energía. Estos dispositivos brindan la facilidad de que las empresas tenga conocimiento del estado actual de las instalaciones eléctricas. Tener control de los parámetros eléctricos es de vital importancia para el funcionamiento correcto de todo el sistema eléctrico de una empresa, los motores eléctricos son las maquinas que con mayor frecuencia se encuentran en una compañía estos equipos son cargas de tipo inductivo y afectan directamente el Factor de potencia.

Para las empresas tener control del factor de potencia trae beneficios de orden económico y garantiza un mejor rendimiento de toda la maquinaria eléctrica. Ahora bien este proyecto de investigación no fue la excepción, ya que como objetivo implementó un sistema de monitoreo que permitiera registrar el histórico de los distintos parámetros eléctricos mediante el protocolo de comunicación RS-485 principalmente potencias y factor de potencia con la finalidad de dar un diagnóstico del estado actual una instalación eléctrica de una empresa, cabe resaltar que en este proyecto se empleó el método de investigación de tipo descriptivo, ya que se describen las especificaciones de parámetros, para establecer los requisitos y actividades necesarias que se deben cumplir en el trabajo.

1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente muchas empresas del sector industrial presentan problemas en sus instalaciones eléctricas y en el funcionamiento de sus máquinas en sus procesos de producción, muchos de estos equipos son cargas de tipo inductivo, motores eléctricos, transformadores y generadores, este efecto o problema es debido al bajo factor de potencia y que muchas compañías desconocen esta causa. Las compañías que obran con un bajo factor de potencia están expuestas a diversos inconvenientes en su sistema eléctrico como lo son pérdidas en las líneas de transmisión, sobre carga en los transformadores, incremento en la caída de voltaje resultando en un suministro inadecuado a las cargas, sucesivamente también se ven afectadas financieramente ya que un bajo factor de potencia implica multas de tipo económico por parte de las compañías suministradoras de energía eléctrica.

En Colombia según la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG), las empresas se ven obligadas a operar con un factor de potencia mayor a 0.9 inductivo, de no ser así implica recargos económicos y legales según lo estipulado por la norma. Esto también afecta directamente a las compañías generando altos consumos de energía eléctrica, ineficiencia operacional en sus procesos de producción y mayores gastos en planes de mantenimiento para los equipos.

En la ciudad de Barrancabermeja muchas empresas desconocen la problemática que les implica tener un factor de potencia bajo o menor a 0.9 inductivo debido a que en su gran mayoría no cuentan con las tecnologías adecuadas para corregir este inconveniente, de tal manera lo que se propone a esta situación es implementar un sistema de monitoreo mediante un medidor inteligente que registre en un periodo de tiempo los distintos

parámetros eléctricos en una instalación trifásica orientado a la corrección del factor de potencia. Según esta problemática el autor plantea la siguiente pregunta de investigación ¿Cuáles son las características de los equipos para monitorear los parámetros eléctricos de una instalación trifásica mediante el estándar de comunicación RS-485?

1.2 JUSTIFICACIÓN

Con base a la problemática que actualmente presentan las empresas del sector industrial en Barrancabermeja por tener un bajo factor de potencia, las empresas se ven implicadas a diversas consecuencias como los altos consumos de energía eléctrica, la ineficiencia operacional en sus procesos de producción y la reducción de la vida útil de los equipos. Como posible alternativa de solución se plantea esta idea de investigación que básicamente se trata de implementar un sistema de monitoreo de los principales parámetros eléctricos tensión, corriente eléctrica, potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente por medio de un medidor inteligente que tenga como característica salida RS-485 para la transmisión de los datos registrado en un periodo de tiempo para su posterior análisis.

Mediante esta investigación se busca instruir a las empresas del sector industrial de Barrancabermeja que desconocen el estado del factor de potencia en su sistema eléctrico, seguidamente proponer la implementación de un sistema de monitoreo de las principales variables eléctrica con la finalidad brindar una orientación técnica para corregir el factor de potencia. La corrección del factor de potencia o mantener un valor por encima de 0.9 inductivo como lo indica la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG) trae efectos muy favorables tanto económicos como productivos, a su vez también se contribuye con el ahorro de energía, a la disminución de pérdidas en las líneas de transmisión por efecto Joules y prolongar la vida útil de las distintas maquinas eléctricas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Monitorear los parámetros eléctricos de una instalación trifásica mediante el estándar de comunicación RS-485 para la corrección del factor de potencia.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar la selección de transformadores de corriente y un medidor inteligente trifásico que permita medir y transmitir mediante el protocolo de comunicación RS-485 las principales variables eléctricas de una instalación industrial trifásica
- Implementar un sistema de comunicación mediante el estándar RS-485 que permita la transmisión de los datos eléctricos medidos hasta un PC.
- Generar reportes que permitan analizar el comportamiento histórico de los parámetros eléctricos monitoreados empleando software que permita el despliegue de los datos tanto de forma gráfica como de forma tabulada para su posterior análisis.

1.4 ESTADO DEL ARTE

A continuación, se presentan tesis y artículos científicos relacionados a la presente investigación los cuales fueron de gran aporte para el desarrollo de la misma.

A nivel internacional se encontró una Tesis de Maestría titulado **“Monitorización y análisis del consumo energético de la ETSEIB”** tiene como objetivo general **“Evaluar el sistema de monitorización y analizar los consumos energéticos de la escuela, centrándose únicamente en la energía eléctrica”** (Álvarez Pérez, 2018) Resumen: En esta investigación de maestría se pretende sacar partido y ventajas del software de monitorización energética establecido en el edificio del Campus Sud ETSEIB. Por medio de este software se busca analizar el consumo de energía eléctrica, la potencia activa actualmente demanda y los diferentes parámetros eléctricos correspondiente que intervienen en la calidad de la red de suministro.

Antes del análisis, se han estudiado las diferentes herramientas de gestión medioambiental para edificios, así como todo lo referente con su marco legal. Seguidamente se hace la documentación de los distintos equipos de medidas para la monitorización de los distintos parámetros eléctricos, su proceso de instalación y las distintas funcionalidades que caracterizan a cada, con la finalidad de reducir los costes por consumo de energía eléctrica.

A nivel internacional se encontró una Tesis de grado titulado **“Diseño de un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa Banchisfood S.A”** tiene como objetivo general **“Diseñar un banco de condensadores para la corrección del factor de potencia de la empresa Banchisfood S.A basado en un estudio técnico económico”** (LLumiQuinga Loya, 2012). Esta investigación aporta los diferentes conceptos teóricos como potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente y factor de potencia. Seguidamente de manera muy explícita presenta las consecuencias de tener un bajo factor de potencia debido a las cargas no lineales que contaminan la red como lo son: Motores eléctricos, transformadores, balastos etc.

También las consecuencias que implica tener un bajo factor de potencia, como finalidad lo que se busca es realizar la implementación de un banco de capacitores que actualmente es la técnica más utilizada en la industria para orientar a las empresas a corregir el factor de potencia.

A nivel internacional se encontró una Tesis de grado titulado **“Diseño e implementación de un sistema de monitoreo remoto de parámetros eléctricos”** tiene como objetivo general **“Diseñar e implementar un sistema de monitoreo remoto que permita obtener un análisis completo de los parámetros eléctricos de la red de suministro de energía.”** (Janneth Lucía Lucio Anaguano, 2013). Esta tesis presenta un gran aporte teórico acerca del monitoreo de parámetros eléctricos voltaje, corriente, potencia, armónicos y todo lo referente con adquisición de datos implantado en el sector de las comunicaciones. También genera aporte como las características de un sistema de monitoreo a la hora de realizar su implementación y los beneficios del mismo. Para la transmisión de datos se implementa el protocolo MODBUS RS 485, también se describen los conceptos básicos según la norma TIA/EIA-485-A y las características principales de este estándar de comunicación. Cabe resaltar que el estándar RS-485 es el sistema de comunicación para realizar la transmisión de datos de este proyecto de investigación.

A nivel nacional se encontró una Tesis de Maestría titulado **“Prototipo de analizador de consumo de energía eléctrica trifásica utilizando almacenamiento en nube y monitoreo remoto”** (Sensor, 2019). Resumen: El ahorro y uso adecuado de la energía eléctrica es una demanda económica, social e incluso cultural hoy en día. Según los últimos estudios realizados la demanda de energía eléctrica viene creciendo proporcionalmente con el pasar de los años, por eso es de suma importancia contribuir con el ahorro de energía que a su vez protege al medio ambiente. Para lograr el objetivo de esta investigación, la primera tarea consiste en la medición de los consumos actuales para saber, con datos concretos y reales, cuáles son las actividades, horas o máquinas

que mayor influencia tienen en el desempeño energético de los hogares, edificios y fábricas.

A nivel nacional se encontró un artículo científico titulado **“Identificación y localización de fallas en sistemas de distribución con medidores de calidad del servicio de energía eléctrica”** (Gómez et al., 2012). Resumen: En este artículo los autores proponen una metodología nueva con el objetivo de identificar y localizar las fallas que se presentan en sistemas de distribución de energía eléctrica, todo esto por medio de la instalación de medidores electrónicos para registrar la continuidad en el servicio eléctrico.

A nivel nacional se encontró una Tesis de grado titulado **“Diseño de técnicas de control para corrección del factor de potencia en lámparas fluorescentes compactas y lámparas de Leds”** (Javier & Fuelag, n.d.). Resumen: En esta tesis de grado los autores presentan un diseño de tres novedosas técnicas de control, destinadas a mejorar el Factor de potencia en lámparas de fluorescencia compactas y lámparas Leds.

A nivel nacional se encontró una Tesis de grado titulado **“Diseño de una metodología de selección de equipos de medición del consumo de energía eléctrica para “Smart Metering” en los diferentes estratos sociales de Cali”** (Rojas & Jaramillo, 2016). Resumen: En este trabajo los autores presentan un método para la selección de los medidores inteligentes teniendo en cuenta los estratos sociales de la ciudad de Cali. Este trabajo se desglosó a través de tres capítulos a saber, en donde en el primero se enfocan en describir ciertos numerales que relacionados con la temática principal, en el segundo se exponen los distintos estratos sociales de la ciudad de Cali y ciertos criterios de selección, y en el tercero se ahonda en los pasos que se deben seguir para la correcta selección de los medidores.

A nivel internacional se encontró una Tesis de grado titulado **“Implementación de un sistema de medición inteligente en la universidad politécnica salesiana sede**

cuencia” (La & On, n.d.). Resumen: Los avances tecnológicos de los últimos años en la electrónica, la computación, las comunicaciones, etc. Han generado de manera significativa un gran desarrollo en los sistemas de medición inteligentes y la modernización en el manejo de los sistemas eléctricos, enfocado al uso racional y eficiente de la energía eléctrica. En este periodo de innovación han aparecido nuevos conceptos tales como Smart Meter, Smart Grid, Distributed Generation entre otros. Muchos países en el mundo han venido adoptando e implementando estas nuevas tecnologías que con el paso del tiempo permitirán ahorros significativos de energía eléctrica y uso eficiente de la misma.

2 MARCO REFERENCIAL

2.1 MARCO TEORICO

2.1.1 Medidores inteligentes. Al transcurrir de los años diferentes compañías de electricidad han implementado algunos tipos de medidores de consumo eléctrico, entre los más implementados se pueden citar a dos de ellos (Ver figura 1) (Medición Avanzada & Andrés Armijos Abril Álvaro Daniel Pesántez Alvarado, 2016).

- Medidor de disco
- Medidor inteligente

Figura 1. Medidores inteligentes.



Fuente: <https://www.blog.atec-energy.com/2019/05/que-considerar-seleccion-medidor-energia.html>

2.1.2 Medidor de disco. El funcionamiento de este equipo está basado en la inducción magnética, y contiene un núcleo de material ferromagnético en el cual se realiza la instalación de un par de bobinas, La bobina primaria va conectada en serie con el

conductor principal con la finalidad de permitir la circulación de la corriente hacia el medidor. La bobina secundaria se instala en derivación sobre los dos conductores, por lo tanto, las dos bobinas producen flujos magnéticos desfasados entre sí, actuado sobre un disco giratorio. Las interacciones entre los dos flujos generan pares de giros que permiten realizar un movimiento rotativo en el disco con una velocidad angular la cual es directamente proporcional a la potencia consumida (Ver figura 2), (Medición Avanzada & Andrés Armijos Abril Álvaro Daniel Pesántez Alvarado, 2016).

Figura 2. Medidor de disco



Fuente: <https://www.sodimac.cl/sodimac-cl/product/293350/medidor-monofasico-220-v>

2.1.3 Medidor electrónico. Este medidor se singulariza inicialmente por la capacidad de medir el consumo a través de tecnologías digitales. El objetivo principal de estas tecnologías es realizar un proceso de digitalización las distintas señales de tensión y corriente de manera que se pueda hacer un proceso de análisis por medio de instrumentos digitales como lo son los microprocesadores o circuitos integrados dedicados a este fin. En algunos casos las señales digitalizadas son utilizadas para generar la información de la energía consumida y una variedad de valores de las magnitudes eléctricas. Cabe resaltar que estos equipos cuentan con la opción de transferir datos de consumo eléctrico a partir de la implementación de un sistema de

comunicación (Ver figura 3), (Medición Avanzada & Andrés Armijos Abril Álvaro Daniel Pesántez Alvarado, 2016).

Figura 3. Medidor electrónico

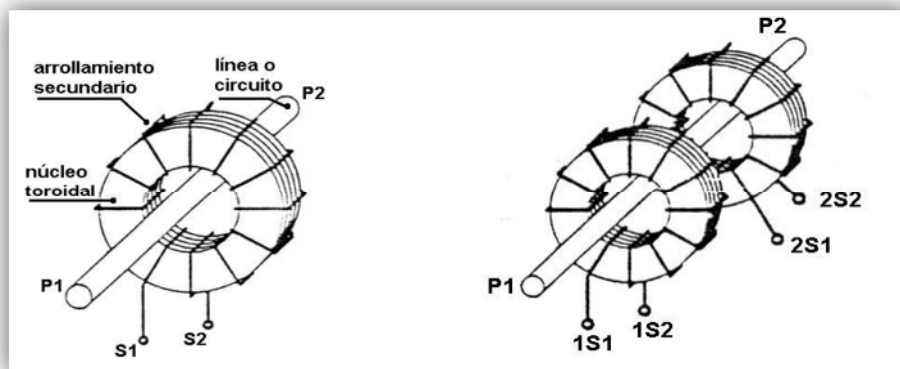


Fuente: <http://www.eletraenergy.com/es/productos/54-metros/medidores-residenciales/linha-cronos/94-cronos-6021/>

2.1.4 Medidor inteligente. Los medidores inteligentes se describen como una mejora de los medidores electrónicos, los cuales poseen mejores características e implementan nuevas funciones. El objetivo fundamental de estos principalmente es permitir una comunicación en ambos sentidos, esto quiere decir interacción entre el usuario, por medio del medidor y la compañía que se encarga de brindar el servicio eléctrico. Este intercambio de información en ambos genera la aparición de nuevos servicios (Medición Avanzada & Andrés Armijos Abril Álvaro Daniel Pesántez Alvarado, 2016).

2.1.5 Transformadores de corriente. Son dispositivos que permiten el aumento o la disminución de la corriente alterna. De manera que la corriente secundaria es prácticamente proporcional a la corriente primaria en una condición de operación óptima, aunque ligeramente se encuentran desfasada. Estos desarrollan dos tipos de función: La función primera es realizar la transformación de la corriente la cual permite aislar de manera segura las protecciones eléctricas los instrumentos de medición conectados de manera directa a los circuitos de alta tensión. El devanado primario del CT, el cual tiene pocas espiras, va conectado en serie con el circuito al cual se le realiza la medición de corriente y el devanado secundario se conecta de manera similar con las bobinas de corriente de los instrumentos de medición de variables y de protecciones eléctricas que requieran ser energizados (Ver figura 4), (Marcombo, 1994).

Figura 4. Distribución de arrollamientos



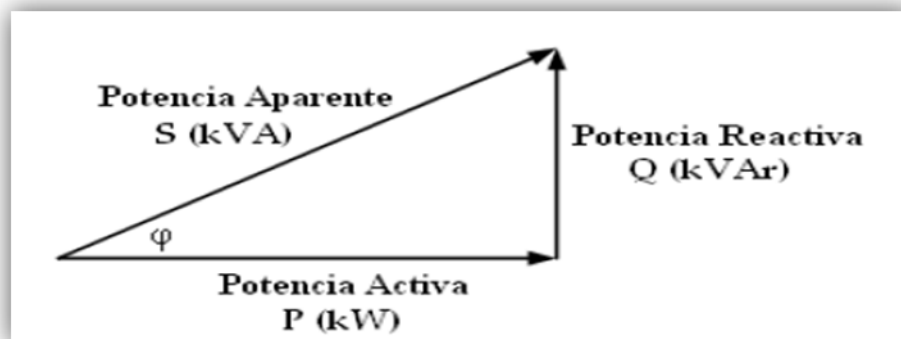
Fuente: <http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/tydee/moduloii.pdf>

2.1.6 Potencia. La potencia se define como la capacidad de producir o demandar energía de una máquina eléctrica, equipo o instalación por unidad de tiempo. Cabe resaltar que en toda máquina o circuito eléctrico que se encuentre en operación generalmente están presente las distintas potencias (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, n.d.).

- Potencia Aparente
- Potencia Activa
- Potencia Reactiva

2.1.7 Triangulo de potencia. La figura 5 es una ilustración que explica las diferentes formas de potencia eléctrica, en donde se puede observar la representación fasorial del triángulo de potencias. El Angulo formado entre la potencia aparente y la potencia activa es conocido como el $FP = \cos\phi$ (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, n.d.).

Figura 5. Triangulo de potencia



Fuente: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1888/12/UPS%20-%20KT00020.pdf>

Donde:

P (kW) = Potencia activa. Es la potencia que se transforma en trabajo

Q (kVAr) = Potencia reactiva, no produce trabajo, pero si hay que pagar por ella. Se encuentra principalmente en motores eléctricos y transformadores

S (kVA) = Potencia aparente, potencia total requerida para alimentar la carga.

2.1.8 El ángulo Φ . El ángulo ϕ indica si las señales de voltaje y corriente se encuentran en fase, (UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, n.d.). Dependiendo del tipo de carga, el factor de potencia ($F.P = \cos \phi$) puede ser:

- Igual a 1 (carga resistiva)
- Retrasado (carga inductiva)
- Adelantado (carga capacitiva)

2.2 MARCO CONCEPTUAL

- **Protocolo RS 485:** Este protocolo se define como un sistema de bus diferencial multipunto que es ideal para transmitir información a altas velocidades sobre largas distancias (35 Mbit/s hasta 10 metros y 100 kbit/s en 1200 metros) por medio de canales ruidosos, ya que el par trenzado reduce los ruidos que se inducen en la línea de transmisión (*Protocolo RS-485*, n.d.).
- **Corriente alterna:** Esta corriente es un tipo de corriente eléctrica que tiene la característica de cambiar a lo largo del tiempo, ya sea en intensidad o en sentido, a intervalos regulares (*Corriente Alterna*, n.d.).
- **Sistema de medición:** El sistema de medición se define como la colección de procedimientos, operaciones, instrumentos de medición y otro equipo, software y

personal establecido para asignar un número a la característica que está siendo medida (Cap, n.d.).

- **Parámetro:** Los parámetro son considerado esenciales en todas las áreas, ya que son un indicativo bien marcado para lograr, evaluar o valorar una situación particular (*Parámetro*, n.d.).
- **Monitoreo:** El término monitoreo deriva su definición en la acción o el efecto de monitorear, de describir un proceso mediante el cual se reúne, observa, estudia y emplea información para luego poder realizar un seguimiento de un programa en particular (*¿Qué Es Monitoreo? » Su Definición y Significado [2019]*, n.d.).
- **Armónicos:** Los armónicos son el resultado de cargas no lineales, las cuales ante una señal de tipo sinusoidal presentan una respuesta no sinusoidal (Dariel Arcila, n.d.).
- **Registrador de datos RS485 Modbus:** La solución dedicada, Modbus Sniffer, permite leer y registrar los datos Modbus transferidos a través de los puertos RS485/RS422/RS232. El software proporciona soporte completo para los protocolos Modbus RTU y Modbus ASCII. Una exclusiva funcionalidad de la aplicación permite registrar y filtrar los datos Modbus comunicados por los dispositivos serie especializados (*Protocolo RS-485*, n.d.).

2.3 MARCO LEGAL

El congreso de Colombia, decreta

Ley 142 de 1994.

Artículo 1o. ámbito de aplicación de la ley. Esta ley decretada por el congreso de Colombia se aplica a los servicios públicos domiciliarios de acueducto, alcantarillado, aseo, energía eléctrica, distribución de gas combustible, telefonía (fija) pública básica conmutada y la telefonía local móvil en el sector rural*; a las actividades que realicen las personas prestadoras de servicios públicos de que trata el artículo 15 de la presente Ley, y a las actividades complementarias definidas en el Capítulo II del presente título y a los otros servicios previstos en normas especiales de esta Ley ([LEY_0142_1994],” n.d.).

Artículo 2o. intervención del estado en los servicios públicos. Este artículo le da libertad al estado para que intervenga en los servicios públicos, conforme a las reglas de competencia de que trata esta Ley, todo lo anterior en el marco de lo dispuesto en los artículos 334, 336, y 365, a 370 de la Constitución Política, para los siguientes fines:

Artículo 25º de la Resolución CREG 108 de 1997 expresa:

Artículo 25º. Control al Factor de Potencia en el Servicio de Energía Eléctrica. En este artículo se puede observar que en la prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica, se controlará el factor de potencia de los usuarios no residenciales, y de los residenciales conectados a un nivel de tensión superior al uno.

Parágrafo 1º. El factor de potencia inductiva (coseno phi inductivo) de las instalaciones deberá ser igual o superior a punto noventa (0.90). La empresa exigirá a aquellas instalaciones cuyo factor de potencia inductivo viole este límite, que instalen equipos apropiados para controlar y medir la energía reactiva.

Parágrafo 2º. Para efectos de lo establecido en el parágrafo anterior, la exigencia podrá

hacerse en el momento de aprobar la conexión al servicio, o como consecuencia de una revisión de la instalación del usuario.

Parágrafo 3º. A partir de la vigencia de la presente resolución, y hasta tanto la Comisión reglamente el suministro y consumo de energía reactiva en el Sistema Interconectado Nacional, en caso de que la energía reactiva sea mayor al cincuenta por ciento (50%) de la energía activa (kWh) consumida por un suscriptor o usuario, el exceso sobre este límite se considerará como consumo de energía activa para efectos de determinar el consumo facturable.”

Ley 697 de 2001. Mediante esta ley se busca que Colombia fomente el uso racional y eficiente de la energía, además se promueve la utilización de energías alternativas y se dictan otras disposiciones para la implementación de medidores inteligentes y así fomentar el uso racional de energía (Ley 697 de 2001 - Gestor Normativo Función Pública, n.d.).

Artículo 1º. Declárase el Uso Racional y Eficiente de la Energía (URE) como un asunto de interés social, público y de conveniencia nacional, fundamental para asegurar el abastecimiento energético pleno y oportuno, la competitividad de la economía colombiana, la protección al consumidor y la promoción del uso de energías no convencionales de manera sostenible con el medio ambiente y los recursos naturales.

Artículo 2º. El Estado debe establecer las normas e infraestructura necesarias para el cabal cumplimiento de la presente ley, creando la estructura legal, técnica, económica y financiera necesaria para lograr el desarrollo de proyectos concretos, URE, a corto, mediano y largo plazo, económica y ambientalmente viables asegurando el desarrollo sostenible, al tiempo que generen la conciencia URE y el conocimiento y utilización de formas alternativas de energía.

3 DESARROLLO DEL TRABAJO DE GRADO

3.1 UBICACIÓN

A continuación, se muestra en la figura 7 la ubicación geográfica del municipio donde se desarrolló este proyecto investigativo.

Figura 6. Imagen de la ubicación geográfica del área de interés.



Fuente: Elaborado por el autor basado en Google Earth.

3.2 TIPO DE ESTUDIO

El alcance que presenta este proyecto es de tipo descriptivo, ya que se describen las especificaciones de parámetros, para establecer los requisitos y actividades necesarias que se deben cumplir en el trabajo, de modo que se conozca el desarrollo de las actividades.

A continuación, se presentan las actividades que se implementaron para el logro de los objetivos propuestos.

3.2.3 Fase I: Realizar la selección de transformadores de corriente y un medidor inteligente trifásico que permita medir y transmitir mediante el protocolo de comunicación RS-485 las principales variables eléctricas de una instalación industrial trifásica.

Actividad 1: Recopilación de información. Para dar cumplimiento a esta actividad, se realizó una revisión literaria, recopilación de información a través de fuentes primaria y fuentes secundarias como tesis Doctorales, tesis de Magister y artículos científicos con el propósito de alimentarla información base para el desarrollo de este proyecto.

3.2.4 Fase II: Implementar un sistema de comunicación mediante el estándar RS-485 que permita la transmisión de los datos eléctricos medidos hasta un PC.

Actividad 2: Selección de técnicas de comunicación. En esta actividad se seleccionaron las diferentes métricas de rendimiento que permitieron evaluar apropiadamente la aplicación que se implementó, teniendo en cuenta las necesidades y el entorno de desarrollo, se realizó el diseño de la red de comunicaciones para la micro red considerando equipos de medición y de comunicación y el centro de gestión.

Actividad 3: Análisis técnico económico de los equipos seleccionados. Para la selección de equipo se estudió el factor económico y las principales características eléctricas que debían cumplir los equipos para el desarrollo de esta investigación, dentro de los parámetros a resaltar se exigió para el medidor inteligente un nivel de tensión 110/230 V.

Fase III: Generar reportes que permitan analizar el comportamiento histórico de los parámetros eléctricos monitoreados empleando software que permita el despliegue de los datos de forma gráfica para su posterior análisis. Para dar cumplimiento a esta fase se realizaron actividades que se describen a continuación con el objetivo de generar reportes que permitieran analizar el comportamiento histórico de los parámetros eléctricos monitoreados.

Actividad 4: Procesamiento y análisis de datos. Para dar cumplimiento esta actividad se corroboró la veracidad de los datos obtenidos, a través de la clasificación de datos de manera ordenada y sistemática.

Actividad 5: Verificación del funcionamiento óptimo de las condiciones eléctricas requeridas. En el desarrollo de esta actividad se tuvieron en cuenta los niveles de tensión y corriente a los cuales fueron sometidos los instrumentos, así como también la capacidad de transmisión de datos por medio del protocolo de comunicación RS-485.

4 RESULTADOS

En el capítulo 4, el lector comprenderá el proceso que se llevó a cabo para realizar la selección de los transformadores de corrientes y medidor inteligente que se emplearon para medir las variables eléctricas tales como potencia, corrientes de línea, tensión de línea y factor de potencia. Se requirió analizar las especificaciones técnicas y hacer un estudio económico de cada equipo para la selección y ejecución de este proyecto.

4.1 SELECCIÓN DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE

Como bien se sabe la relevancia de los transformadores radica en que, gracias a ellos ha sido posible el desarrollo de la industria eléctrica. La implementación de los mismos hizo posible la realización práctica y económica del transporte de energía eléctrica a grandes distancias. Además, cabe resaltar que los dispositivos eléctricos ayudan a regular la intensidad o el voltaje en un circuito de corriente alterna de manera que la frecuencia y la potencia se mantengan estables convirtiendo la electricidad que reciben de una fuente externa a través del devanado primario que es transformado en electricidad nuevamente en el devanado secundario o de salida.

Existen variedad de transformadores y se pueden clasificar en dos tipos principales: los de potencia y los de medida. Los de potencia tienen la capacidad de modificar la tensión de un circuito de corriente eléctrica, conservando la potencia inicial. Los de medida convierten los valores de gran tensión o intensidad con el fin de medirlas sin representar ningún peligro. Ahora bien, para efectos de este proyecto se investigaron las características, ventajas y desventajas de transformadores tales como transformadores de corriente DIY STORE, transformadores de corriente ZDKCT38M y transformadores de corriente MSQ, llegando a la conclusión de que el transformador de corriente idóneo para implementar en este proyecto fue el transformador de corriente MSQ, el cual cumple con las características técnicas necesarias para el desarrollo de los objetivos propuestos. (Ver tabla 1 y figura 7).

Tabla 1. Referencia de transformadores de corriente investigados.

REFERENCIA DE TRANSFORMADORES DE CORRIENTE	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Transformadores de corriente DIY STORE	<ul style="list-style-type: none"> • Precisión 1.0 • Escalas de 50A/5A, 100A/5A y 200A/5A • Facilidad en la instalación 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiempo de entrega • No disponibles en Colombia • Se requiere desconectar la red eléctrica para su instalación
Transformadores de corriente ZDKCT38M	<ul style="list-style-type: none"> • Transformadores abiertos y cerrados • Fácil instalación • No hay necesidad de desconectar la red eléctrica para su instalación • Escala de corriente 100A/5A 	<ul style="list-style-type: none"> • Escala de corriente muy baja • Precio • Tiempo de envío • No disponibilidad en el País
Transformadores de corriente MSQ	<ul style="list-style-type: none"> • Transformadores de corriente con gran variedad en la escala de corriente • Fácil instalación • Bajo costo • Transformadores cerrados • Disponibles en Colombia para entrega inmediata • Escala de corriente 200/5 A 	<ul style="list-style-type: none"> • Se requiere desconectar la red eléctrica para realizar la respectiva instalación

Fuente: Tabla elaborada por el autor

Figura 7. Selección de transformadores de corriente



Fuente: Figura elaborado por el autor

4.1.1 Selección de medidor inteligente trifásico. Los medidores inteligentes son de suma importancia para la industria ya que estos permiten mantener un registro del consumo eléctrico, pero además cuentan con la capacidad de obtener la información del consumo y también de lo producido e inyectado a la red, en tiempo real. En este proyecto se indagó en el estudio de distintos medidores inteligentes tales como el Medidor inteligente DTS238-7, medidor de energía eléctrica DTM-D120Y, analizador de energía DISPROEL, analizador de energía AHM1; este análisis se hizo con el fin de seleccionar un medidor que estuviera acorde con las necesidades del proyecto. (Ver tabla 2 y figura 8).

Tabla 2. Ventajas y desventajas de los medidores inteligentes investigados.

MEDIDORES INTELIGENTES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Medidor inteligente DTS238-7</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Medidor multifuncional tipo WIFI • Medición remota de los diferentes parámetros eléctricos • Cuenta con protocolo MODBUS-RTU • Alta capacidad de carga, baja pérdida de energía • Tasa de frecuencia de 50 o 60 Hz 	<ul style="list-style-type: none"> • No admite Red de 5 GHz • No cuenta con alimentación Aux. de 110V AC • Software de exportación de datos independiente • Tiempo de entrega
<p>Medidor de Energía Eléctrica DTM-D120Y</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Medición en tiempo real de parámetros eléctricos • Análisis de calidad de energía • Comunicación RS-485 	<ul style="list-style-type: none"> • Alimentación trifásica de 450V AC • No permite exportación de datos • Alimentación auxiliar de 220V AC
<p>Analizador de energía DISPROEL</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Medición, Control y gestión de las principales variables eléctricas de forma remota • Protocolo de comunicación RS-485 • Software gratuito para registro de datos • Tensión de alimentación aux. 80-300V AC • Tensión de alimentación trifásica 220-440V AC 	<ul style="list-style-type: none"> • No permite realizar exportación de datos implementando el software • No cuenta con capacidad de registro interno • Tiempo de entrega • Garantía
<p>Analizador de energía AHM1</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo en línea de variables eléctricas • Comunicación Ethernet • Comunicación RS-485 integrada • Memoria interna de 8MB para el registro de datos • Tensión de alimentación aux. 80-270V AC • Tensión de alimentación trifásica 220-690V AC • Software integrado, permite exportación y manipulación de los datos 	<ul style="list-style-type: none"> • No presenta desventajas ante la comparación respecto a los medidores anteriores

Fuente: Tabla elaborada por el autor

De acuerdo a lo anteriormente planteado se seleccionó el analizador de red AHM1 de la marca SACI teniendo en cuenta que este, está diseñado para el cálculo y la medida de las variables eléctricas de una red, tales como tensión, corriente, frecuencia, potencia, factor de potencia, energía, y que además cuenta con una memoria de 8 MB incorporada, un software gratuito que permite la captura y exportación de datos para su respectivo análisis. Cabe resaltar que este analizador posee corriente y tensión programable, entradas y salidas digitales, medida en 4 cuadrantes, máximos y mínimos, comunicación RS-485, por último, pero no menos importante una salida puerto ethernet TCP-IP.

Figura 8. Analizador de red AHM1.

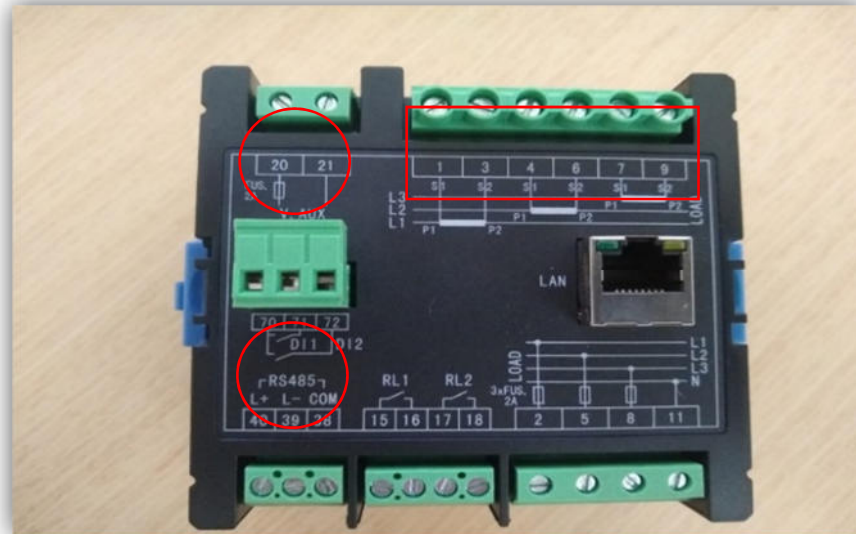


Fuente: Esquema elaborado por el autor

4.1.2 Implementación del sistema de comunicación. En esta sección se analizaron aspectos de la comunicación de datos en la industria. Refiriéndose a datos sensibles al proceso y que hacen el mejor desempeño de la maquinaria y la labor en general dentro de estos ámbitos. Además, se muestra una breve introducción a las redes de sensores. Planteándose los objetivos del trabajo.

En la actual industria las comunicaciones de los datos entre diferentes sistemas, procesos e instalaciones suponen uno de las columnas fundamentales para que estas se encuentren en un nivel de competitividad acorde a la exigida en los procesos productivos de la actualidad. Por lo tanto se dice que un sistema de comunicación de datos industrial es tanto más exigente cuanto más cerca del proceso nos encontramos y es ahí donde se encuentran los sensores y actuadores. Si comparamos las principales características que determinan el tipo de aplicación de las diferentes redes de comunicación, para el desarrollo de este proyecto se seleccionó e implementó un sistema de comunicación basado en el estándar RS-485 que permitió la comunicación de forma cableada entre el analizador de energía AHM1 y el PC, una vez establecida la comunicación entre emisor (Analizador de red) y receptor (PC) los datos fueron transmitidos y descargados por medio de un software para un posterior análisis. Este sistema de comunicación consistió en conectar el puerto RS-485 integrado del analizador de red AHM1 a un conversor aislado USB – RS485 cuya salida fué un puerto USB el cual va conectado al PC. En la figura 14 se puede observar el puerto de conexión utilizado en este proceso, en la figura 15 el conversor RS-485 – USB UTOR-4i y en la figura 16 se evidencia el montaje de los transformadores de corriente de la referencia MSQ donde la relación de transformación de estos equipos es de 150/5 A, por los devanados primario de cada CT circula la corriente de entrada de cada fase del tablero de principal de distribución de la empresa LEOTECNICAS LTDA, la conexión de los CT al analizador de red AHM1 se realizó cableando la salida del devanado secundario de cada CT por fase. CT de la fase 1 se conecta al punto de entrada L1 (1 – 3), CT de la fase 2 se conecta al punto de entrada L2 (4 – 6), CT de la fase 3 se conecta al punto de entrada L3 (7 – 9). De forma similar se realizó la conexión de la tensión de alimentación trifásica 440V AC en los puertos de entrada L1-L2-L3-N (2 – 5 – 8 -11) del analizador de red. La toma de datos se realizó por un periodo de 4 horas con un intervalo de medición de 1 minuto. Y por último para el encendido del analizador de RED AHM1 se requirió alimentar con un nivel de tensión de 110V AC en el puerto de entrada V.AUX (20-21), este último requerimiento fue esencial para la selección de este equipo.

Figura 9. Puertos de conexión Analizador de Red AHM1



Fuente: Esquema elaborado por el autor

Figura 10. Conversor RS-485 – USB UTOR-4i



Fuente: Esquema elaborado por el auto

Figura 11. Sistema de comunicación RS-485



Fuente: Esquema elaborado por el autor

4.1.3 Análisis técnico económico de los equipos seleccionados. Para la selección de los equipos utilizados, se estudió el factor económico y las principales características eléctricas que debían cumplir los equipos para el desarrollo de esta investigación, dentro de los parámetros a resaltar se exigió para el medidor inteligente que contara con un nivel de tensión de 110/230 V para la alimentación.

En la tabla 3, se puede apreciar la comparación de los medidores inteligentes respecto a sus características técnicas-económicas, con base a estas y otros criterios enunciados a continuación se seleccionó el medidor inteligente: se tuvo en cuenta que fuera un medidor trifásico que trabajara con niveles de tensión 110 VAC L-N y 220 – 440 VAC L-L, que contara con un protocolo de comunicación RS-485 en donde se pudieran medir los principales parámetros eléctricos como la tensión, corriente, potencia activa, reactiva y aparente, incluyendo que tuviera un costo económico, y que contara con un software compatible con el equipo que permitiera la exportación y manipulación de los datos.

Por lo tanto, de acuerdo a los requerimientos técnicos y económicos el medidor Inteligente que cumple con estas características es el analizador de energía AHM1 de la marca SACI y fué el seleccionado para el desarrollo de esta investigación.

Una vez seleccionado el medidor inteligente, se realizó el mismo procedimiento de la investigación técnico-económica para la selección de los transformadores de corriente. Para los cuales se tuvieron en cuenta las siguientes especificaciones: Costos, tiempo de entrega, relación de corriente, diámetro o calibre del conductor y sus respectivas dimensiones

A partir de las especificaciones anteriormente mencionadas se seleccionaron para implementar en esta investigación los transformadores de corrientes MSQ, modelo MSQ-40 cuya relación de corriente es de 200A / 5A ideal para el tablero de distribución eléctrica de la empresa Leotécnicas LTDA lugar donde se desarrolló el montaje. (Ver tabla 3).

Tabla 3. Comparación Técnico-Económica de los medidores inteligentes .

Medidores inteligentes	Especificaciones técnicas	Precio del equipo
Medidor inteligente DTS238-7	<ul style="list-style-type: none"> Tasa de frecuencia: 50 o 60Hz Corriente nominal: 1,5 (6) un 5A/CT 5 (60) A 10 (80) Tipo de tensión: 3x120/208 V 3x220/380 V 3x230/400 V 3x240/415 V KWh de precisión: Clase 1 R.M.S precisión: Clase 0,5 RS485 puerto: Protocolo de MODBUS-RTU, ninguno paridad, predeterminado 9600bps 	\$ 350.000 COP
Medidor de Energía Eléctrica DTM-D120Y	<ul style="list-style-type: none"> Frecuencia: 45-65Hz Voltaje de la fuente de alimentación: CA 220V Comunicación: RS-485 Consumo de energía: <5VA Voltaje de aislamiento: 2kV/1min (rms) entre alimentación/entrada/salida 	\$ 550.000 COP
	<ul style="list-style-type: none"> Dimensiones 96 x 96 mm Tensión nominal 80-380 VAC Frecuencia de trabajo 45/65 Hz Salida de comunicación RS-485 	\$ 480.000 COP

<p>Analizador de energía DISPROEL</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rango de medición de tensión (Vrms L-N) 1-300 • Rango de medición de tensión (Vrms L-L) 2-500 	
<p>Analizador de red AHM1</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Din 96 x 96 mm. • Memoria 8 Mb • Thd en v e i. • Armónicos rms (1-31). • Entradas y salidas digitales • Máxima demanda, a, kW, kva, kvar. • Corriente y tensión programables. • Medida en 4 cuadrantes. • Salida serie RS-485 • Máximos y mínimos • Puerto ethernet TCP-IP (opcional) 	<p>\$ 628.000 COP</p>

Fuente: Tabla elaborado por el autor

Tabla 4. Comparación Técnico-Económica de transformadores de corrientes

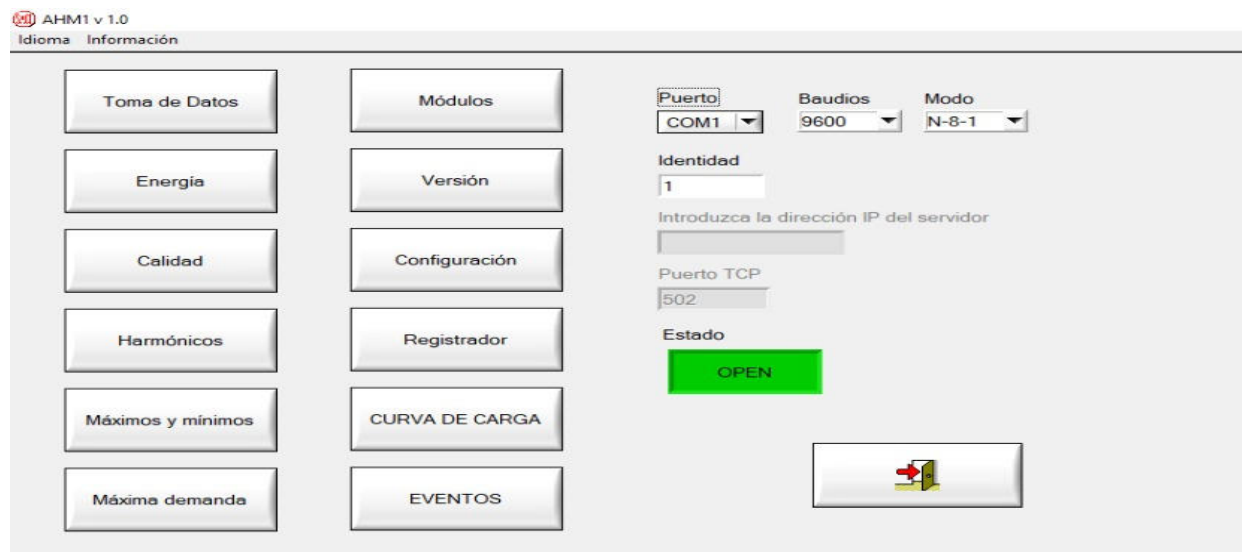
Transformadores de corriente	Especificaciones técnicas	Precio
<p>Transformadores de corriente DIY STORE</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente de salida: 5A • Precisión: 1,0 • Aplicación: Electricidad de medición • Material de sellado: Resina epoxi • Temperatura de funcionamiento: -40 °C ~ + 70°C 	<p>\$ 141.030 COP</p>
<p>Transformadores de corriente ZDKC T38M</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de artículo: transformador de corriente • Corriente de entrada nominal: 100A • Corriente de salida nominal: 5A • Soportar voltaje: ≥6kV • Potencia: ≤1. 5 W • Temperatura ambiente: -12 °C ~ 45 °C 	<p>\$ 180.000 COP</p>
<p>Transformadores de corriente MSQ</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Corriente de entrada nominal: 200A • Corriente nominal de salida: 5A • Frecuencia: 50/60 HZ • Temperatura de trabajo: -25 °C ~ + 50 °C 	<p>\$ 108.000 COP</p>

Fuente: Tabla elaborado por el autor

4.2 REPORTE DEL COMPORTAMIENTO HISTÓRICO DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS MONITOREADOS.

Para dar cumplimiento a este objetivo se implementó un sistema de monitoreo de parámetros eléctricos usando un analizador de energía AHM1 de la marca SACI y un sistema de comunicación y recolección de datos por medio del protocolo RS-485, este analizador cuenta con un software llamado AHM1 V1.0 que permitió realizar el registro y la exportación de los datos obtenidos. Se realizó la medición del tablero principal de distribución eléctrica de la empresa Leotécnicas LTDA por un periodo de 4 horas y un intervalo de muestreo de 1 minuto recolectando así 242 datos de las distintas variables eléctricas. En la figura 17 se evidencia la interfaz principal y los diferentes módulos de medición del software y en la figura 18 se evidencia la configuración de la relación de tensión y corriente suministrada por la red, puerto serial, número de fases, intervalos de registro y variables extras.

Figura 12. Interfaz del un software llamado AHM1 V1.0



Fuente: Esquema elaborado por el autor

Figura 13. Interfaz de configuración.

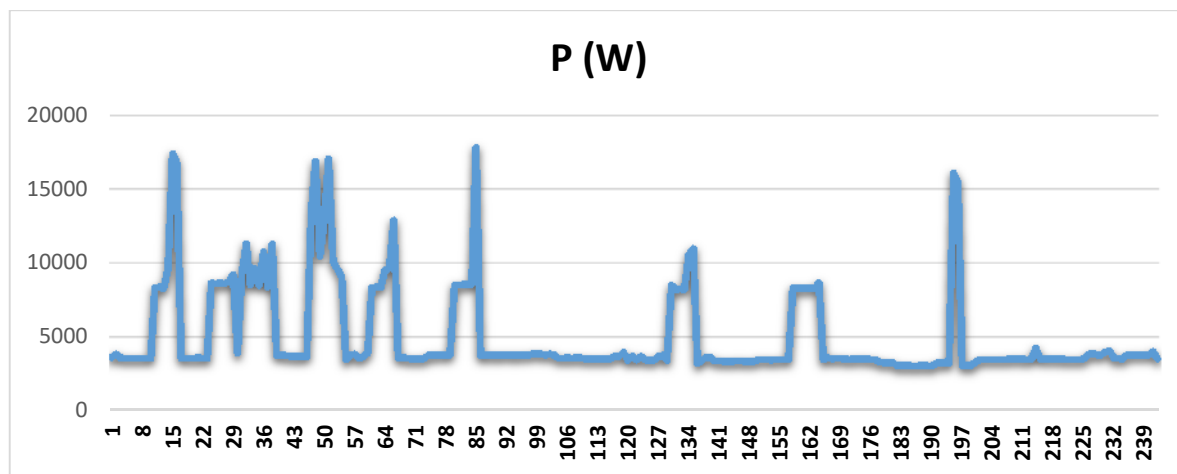
Fuente: Esquema elaborado por el autor

4.2.1 Procesamiento y análisis de datos. Para dar cumplimiento a esta actividad se realizó el análisis de los gráficos de las variables eléctricas medidas. Donde se puede evidenciar que los valores de potencia activa y reactiva tienden a ser similares en distintos intervalos de tiempo, esto sucede debido a la gran cantidad de equipos inductivos que se encuentran en la empresa Leotécnicas LTDA que en su mayoría son motores eléctricos. Respecto al gráfico de corrientes de línea se puede evidenciar un desequilibrio en las fases al no circular la misma cantidad de corriente por las 3 líneas, esto trae efectos desfavorables como sobrecalentamientos en los receptores, cables de alimentación y protecciones que incluso se pueden llegar a disparar. El factor de potencia es la relación que existe entre la potencia activa y aparente que sirve como referencia para medir la eficiencia del consumo eléctrico a la hora de convertirlo en potencia útil.

Según las mediciones realizadas el FP de la empresa Leotécnicas LTDA es de 0.79 y se encuentra por debajo del valor mínimo que establece la Comisión Reguladora de Energía y GAS (CREG) que es 0.9, este valor en el FP es ocasionado principalmente por las cargas inductivas que están en operación, cabe resaltar también que un bajo factor de potencia puede representar graves consecuencias como aumentos en la intensidad de la corriente, pérdida en los conductores y fuertes caída de tensión, incremento de potencia en las plantas, transformadores y la reducción de su vida útil, aumentos en las facturas por alto consumo eléctrico.

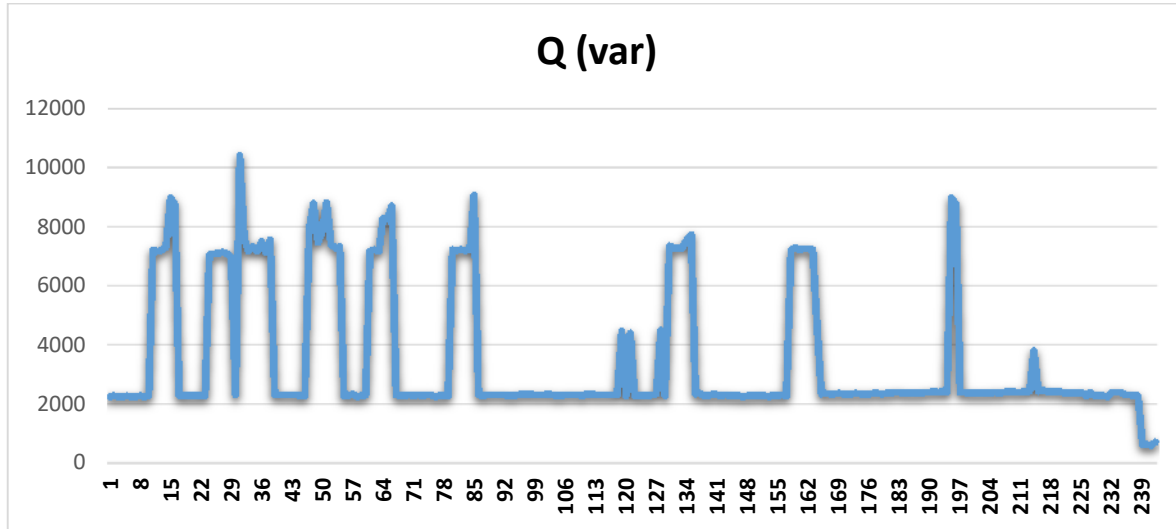
Para la empresa Leotécnicas LTDA una posible solución para la corrección del FP 0.79 es la compensación de la energía reactiva ya que este proceso reduce la demanda de energía reactiva presente en un sistema eléctrico mediante la instalación de un banco de condensadores.

Gráfico 1. Potencia registrada activa.



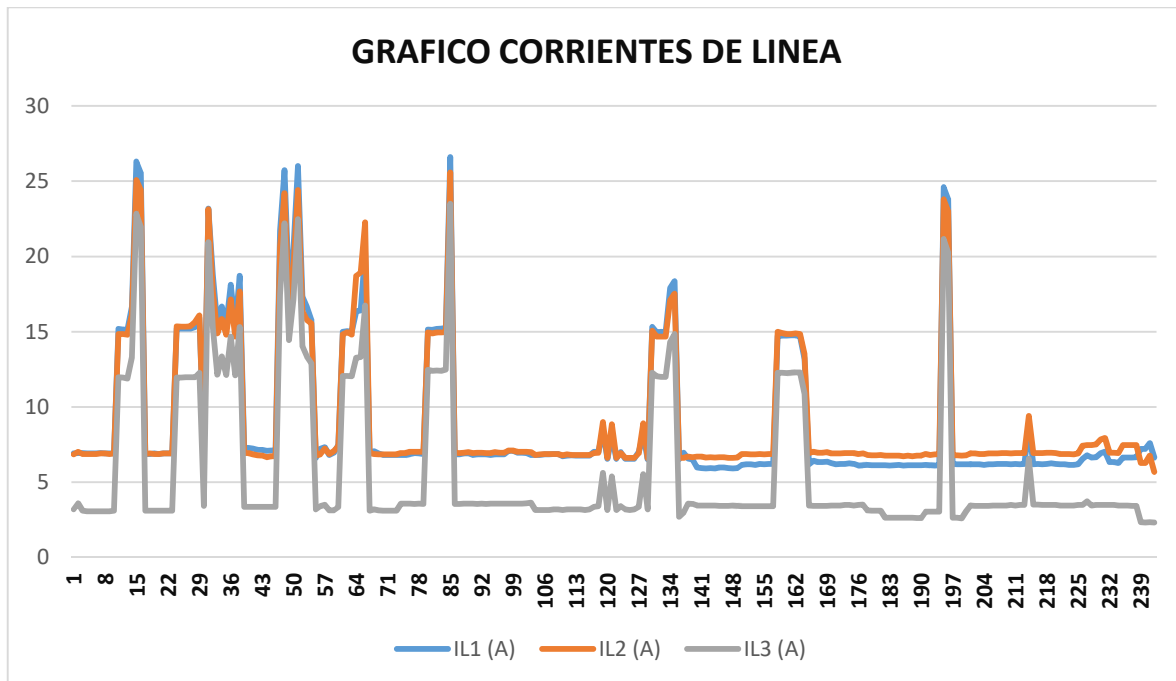
Fuente: Gráfico elaborado por el autor

Gráfico 2. Potencia registrada reactiva.



Fuente: Gráfico elaborado por el autor

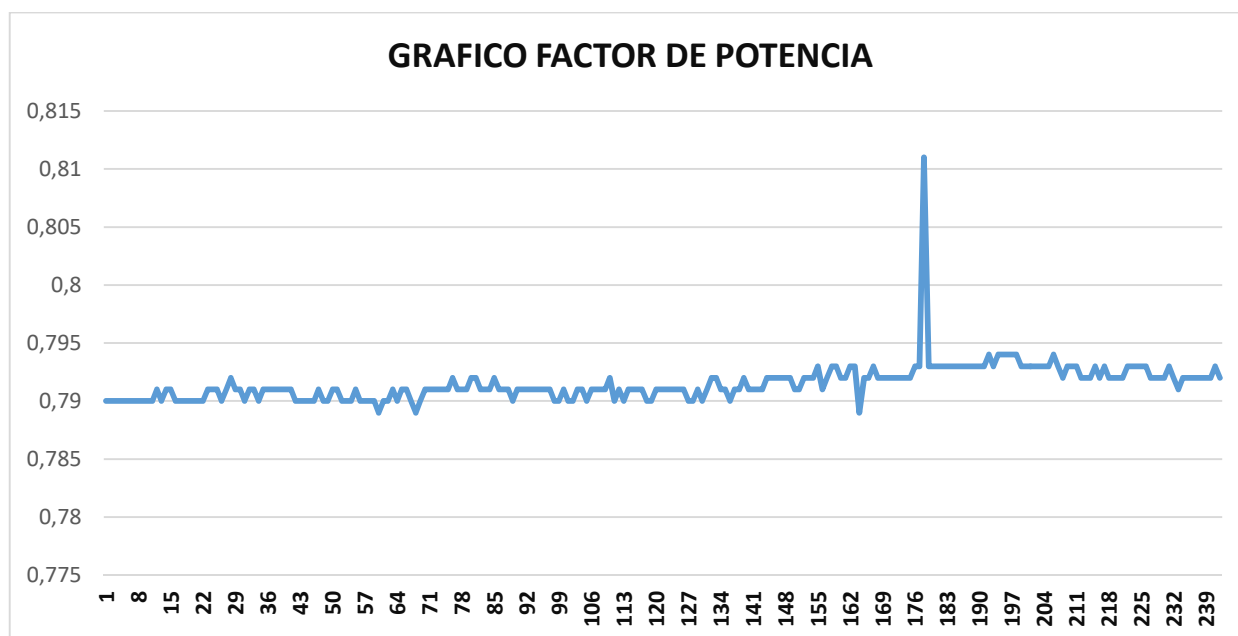
Gráfico 3. Corrientes de línea



Fuente: Gráfico elaborado por el autor

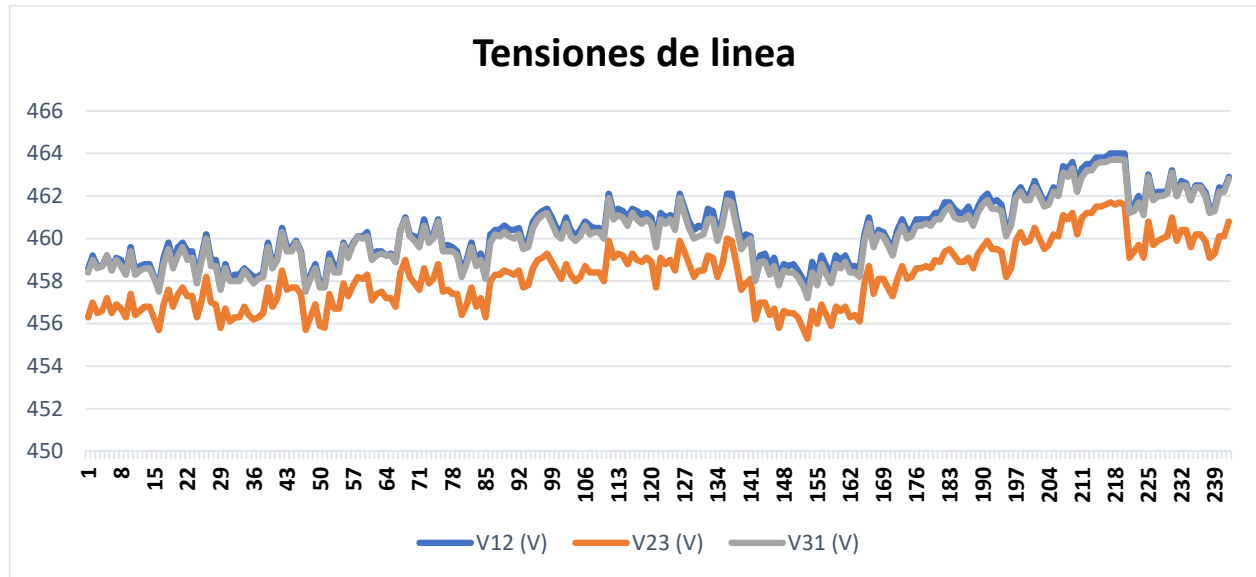
Mediante un análisis del gráfico se observa que las líneas 1 y 2 están más cargadas que la línea 3, por tal motivo se sugiere hacer un balance de cargas ya que se evidencia un desbalance de entre líneas.

Gráfico 4 . Factor de potencia.



Fuente: Gráfico elaborado por el autor

Gráfico 5. Tensión de línea.



Fuente: Gráfico elaborado por el autor

4.2.1 Verificación del funcionamiento óptimo de las condiciones eléctricas requeridas. Basado en la recolección de datos de los parámetros eléctricos estudiados, se pudo evidenciar que los niveles de tensión y corriente suministrados por el tablero de distribución principal de la empresa Leotécnicas LTDA se encuentran acorde a los parámetros de operación requeridos por el analizador de red AHM1, garantizando así un óptimo funcionamiento, a continuación, se evidencia la verificación de las distintas variables monitoreadas en tiempo real, así como también la capacidad de transmisión de datos por medio del protocolo de comunicación RS-485 (Ver tabla 5).

Tabla 5. Verificación de los parámetros eléctricos medidos.

V1 (V)	V2 (V)	V3 (V)	V12 (V)	V23 (V)	V31 (V)	IL1 (A)	IL2 (A)	IL3 (A)
266	263,5	263,299988	458,600006	456,299988	458,399994	6,9000001	6,84000015	3,18000007
266,299988	263,899994	263,700012	459,200012	457	459	6,92999983	7,01999998	3,5999999
266	263,600006	263,5	458,700012	456,5	458,600006	6,92999983	6,86999989	3,08999991
266	263,600006	263,5	458,700012	456,600006	458,700012	6,9000001	6,86999989	3,05999994
266,299988	264	263,899994	459,200012	457,200012	459,200012	6,9000001	6,86999989	3,05999994
265,899994	263,600006	263,399994	458,600006	456,5	458,5	6,9000001	6,86999989	3,05999994
266,299988	263,799988	263,700012	459,100006	456,899994	459	6,92999983	6,9000001	3,05999994
266,100006	263,799988	263,5	459	456,700012	458,700012	6,9000001	6,9000001	3,05999994
265,799988	263,399994	263,399994	458,399994	456,299988	458,299988	6,9000001	6,86999989	3,05999994
266,5	264,100006	264	459,600006	457,399994	459,399994	6,9000001	6,9000001	3,08999991
265,799988	263,600006	263,399994	458,5	456,399994	458,299988	15,1800003	14,8500004	11,9700003
265,799988	263,700012	263,5	458,700012	456,600006	458,5	15,1499996	14,8500004	11,9399996
266	263,799988	263,600006	458,799988	456,799988	458,600006	15,0900002	14,79	11,8800001
265,899994	263,899994	263,600006	458,799988	456,799988	458,600006	16,6200008	16,1100006	13,29
265,700012	263,399994	263,299988	458,200012	456,200012	458,100006	26,3099995	25,0799999	22,8299999
265,299988	263,200012	262,899994	457,799988	455,700012	457,5	25,5599995	24,4200001	21,9899998
266,100006	263,899994	263,700012	459,100006	456,899994	458,799988	6,86999989	6,86999989	3,08999991
266,5	264,299988	264	459,799988	457,600006	459,5	6,86999989	6,9000001	3,08999991
266	263,899994	263,5	458,899994	456,799988	458,600006	6,9000001	6,86999989	3,08999991

Fuente: Tabla elaborado por el autor

5 CONCLUSIONES

- Analizar las especificaciones técnicas de cada uno de los equipos y hacer un estudio económico basado en el coste, tiempo de entrega y facilidad de instalación fue de gran importancia para realizar la selección del medidor inteligente y transformadores de corriente para la ejecución de este proyecto y dar cumplimiento con el objetivo planteado.
- El analizador de energía RED AHM1 seleccionado para esta investigación fue ideal para monitorear las distintas variables estudiadas, teniendo en cuenta que este está diseñado para el cálculo y la medida de las variables eléctricas de una red, tales como tensión, corriente, frecuencia, potencia, factor de potencia y energía, además este cuenta con una memoria de 8 MB incorporada, posee corriente y tensión programable, entradas y salidas digitales que complementan todo el proceso de monitoreo.
- La implementación de un sistema de comunicación basado en el protocolo RS-485 fue de vital importancia para dar cumplimiento al segundo objetivo. Este sistema facilitó la transmisión de los datos de manera muy práctica usando un conversor aislado RS-485 – USB y de forma cableada fue conectado al analizador de red AHM1. Cabe resaltar la importancia de estos protocolos de transmisión de datos al momento de ejecutar un proyecto relacionado con el monitoreo de variables eléctricas.
- Mediante la instalación de un software de monitoreo en tiempo real se pudo realizar el registro y la exportación en formato Excel de los distintos parámetros eléctricos, con base a estos se realizó un análisis y un informe técnico basado en la condición del factor de potencia de la empresa Leotecnicas LTDA, a su vez también se dio con el cumplimiento del objetivo 3.

- Mediante la intervención de la UTS sede Barrancabermeja en convenio con la empresa LEOTECNICAS LTDA se realizó una consultoría técnica con el objetivo de analizar el estado eléctrico de la compañía, este análisis está dirigido al comportamiento histórico de los principales parámetros eléctricos, como lo son Potencia activa, potencia reactiva, corrientes de línea. También se hizo un análisis detallado del FP y se planteó una posible solución para la corrección del mismo.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda que la empresa Leotécnicas LTDA implemente un sistema de monitoreo remoto, estableciendo un protocolo de comunicación RS-485, que permita ver en tiempo real las magnitudes y el comportamiento de las variables eléctricas, ya que en la actualidad no se cuenta con un sistema de este tipo.

Sería interesante que en un futuro las empresas implementen comunicación Ethernet con el objetivo de que distintos usuarios desde cualquier lugar tengan acceso a los datos monitoreados en tiempo real por medio de una nube.

Es de vital importancia que la empresa Leotécnicas LTDA realice la compensación de energía reactiva implementando un banco de capacitores para la corrección del factor de potencia en un futuro no muy lejano.

Analizando el gráfico de corrientes de línea se evidencia que la línea 1 y 2 están más cargadas que la línea 3. Se sugiere hacer un balance de cargas

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ¿Qué es Monitoreo? » *Su Definición y Significado [2019]*. (n.d.).
(No Title). (n.d.). Retrieved November 12, 2020, from
<http://www.frlp.utn.edu.ar/materias/tydee/moduloii.pdf>
- Cap, S. S. (n.d.). *Definición De Los Modelos De Medición*. 98–107.
Corriente alterna. (n.d.).
- Dariel Arcila, J. (n.d.). *ieb S. Armónicos En Sistemas Eléctricos*, 1–26.
- Gómez, V. A., Peña, R. A., & Hernández, C. (2012). *Identificación y Localización de Fallas en Sistemas de Distribución con Medidores de Calidad del Servicio de Energía Eléctrica Identification and Location of Distribution Systems Failures Through Service Quality Meters of Electric Power*. 23(2), 109–116. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000200013>
- Janneth Lucía Lucio Anaguano. (2013).
- Javier, E., & Fuelag, R. (n.d.). *Diseño de técnicas de control para corrección del factor de potencia en lámparas fluorescentes compactas y lámparas de LEDs*.
- La, P. A., & On, O. (n.d.). *Carrera de ingeniería eléctrica*.
- Ley 697 de 2001 - Gestor Normativo Función Pública*. (n.d.).
- Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [LEY_0142_1994]*. (n.d.).
- Medición Avanzada, D., & Andrés Armijos Abril Álvaro Daniel Pesántez Alvarado, J. (2016). *UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE INGENIERÍA ESCUELA DE ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES DISEÑO DE UN MEDIDOR INTELIGENTE CON FUNCIONES DE RESPUESTA A LA DEMANDA EN INFRAESTRUCTURAS Autores: CUENCA-ECUADOR*.
- Parámetro*. (n.d.).
- Protocolo RS-485*. (n.d.).
- Rene, R. P. A. (2016). No Title肯定・否定表現における日本語程度副詞について. *IOSR*

F-DC-125

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE PROYECTO
DE INVESTIGACIÓN, DESARROLLO TECNOLÓGICO, MONOGRAFÍA,
EMPREDIMIENTO Y SEMINARIO

VERSIÓN: 1.0

Journal of Economics and Finance, 3(1), 1–217.

<https://doi.org/https://doi.org/10.3929/ethz-b-000238666>

Sensor, F. R. (2019). No Title. *ペインクリニック学会治療指針 2*, 1–9.

<https://doi.org/10.1037/0033-2909.126.1.78>

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO. (n.d.).

8. ANEXOS

ANEXO A. Registro de potencia.

N° de registros	P (W)	Q (var)	S (VA)
1	3630	2250	4470
2	3840	2280	4650
3	3600	2250	4470
4	3570	2250	4440
5	3570	2280	4470
6	3570	2250	4440
7	3570	2250	4470
8	3570	2280	4470
9	3570	2250	4440
10	3570	2280	4470
11	8340	7200	11100
12	8370	7170	11100
13	8250	7200	11040
14	9630	7320	12180
15	17400	8970	19620
16	16800	8760	18990
17	3570	2280	4440
18	3570	2280	4470

Fuente: Anexo elaborado por el autor

ANEXO B. Registro de corriente en línea

N° de registros	IL1 (A)	IL2 (A)	IL3 (A)
1	6,9000001	6,84000015	3,18000007
2	6,92999983	7,01999998	3,5999999
3	6,92999983	6,86999989	3,08999991
4	6,9000001	6,86999989	3,05999994
5	6,9000001	6,86999989	3,05999994
6	6,9000001	6,86999989	3,05999994
7	6,92999983	6,9000001	3,05999994
8	6,9000001	6,9000001	3,05999994
9	6,9000001	6,86999989	3,05999994
10	6,9000001	6,9000001	3,08999991
11	15,1800003	14,8500004	11,9700003
12	15,1499996	14,8500004	11,9399996
13	15,0900002	14,79	11,8800001
14	16,6200008	16,1100006	13,29
15	26,3099995	25,0799999	22,8299999
16	25,5599995	24,4200001	21,9899998
17	6,86999989	6,86999989	3,08999991
18	6,86999989	6,9000001	3,08999991

Fuente: Anexo elaborado por el autor

ANEXO C. Factor de potencia.

N° de registros	FP
1	0,79
2	0,79
3	0,79
4	0,79
5	0,79
6	0,79
7	0,79
8	0,79
9	0,79
10	0,79
11	0,79
12	0,791
13	0,79
14	0,791
15	0,791
16	0,79
17	0,79
18	0,79

Fuente: Anexo elaborado por el autor

ANEXO D. Conversor USB-RS-485.



Fuente: Anexo elaborado por el autor

ANEXO E. Medición de tensión L-L



Fuente: Anexo elaborado por el autor