

**DISEÑO DE UN BANCO AUTOMÁTICO DE CONDENSADORES PARA LA
EMPRESA ASFALTADORA COLOMBIA SAS**

**JUAN DAVID HOYOS YEPES
DUVAN ALEXANDER PATIÑO CASTRILLON**

**INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA
TECNOLOGÍA EN SISTEMAS MECATRÓNICOS
MEDELLIN
2022-1**

**DISEÑO DE UN BANCO AUTOMÁTICO DE CONDENSADORES PARA LA
EMPRESA ASFALTADORA COLOMBIA SAS**

**JUAN DAVID HOYOS YEPES
DUVAN ALEXANDER PATIÑO CASTRILLON**

Trabajo de grado para optar al título de Tecnólogo en Sistemas Mecatrónicos

Asesor

Edgar Alberto Betancur Cataño

Especialista en administración de la informática educativa

Ignacio Calle Pérez

Especialista en administración de la informática educativa

INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA

TECNOLOGÍA SISTEMAS MECATRÓNICOS

MEDELLIN

2022-1

Contenido

| | Pág. |
|--------------------------------------|-----------|
| Lista de Figuras | 6 |
| Lista de tablas | 8 |
| Lista de Anexos | 9 |
| Resumen | 10 |
| Abstract | 11 |
| Glosario | 12 |
| Introducción | 13 |
| 1. Planteamiento del problema | 15 |
| 1.1 | |
| Descripción..... | ¡E |
| rror! Marcador no definido.5 | |
| 1.2 | |
| Formulación..... | ¡E |
| rror! Marcador no definido.5 | |
| 2. Justificación..... | 16 |
| 3. Objetivos..... | 17 |
| 3.1 Objetivo general..... | 17 |
| 3.2 Objetivos específicos..... | 17 |
| 4. Marco teórico..... | 18 |
| 4.1 Eergia y potencia electrica..... | 20 |
| 4.1.1 Potencia activa..... | 21 |
| 4.1.2 Potencia reactiva..... | 21 |
| 4.1.3 Potencia aparente..... | 21 |
| 4.1.4 Factor de potencia..... | 22 |
| 4.1.5 Triangulo de potencias..... | 23 |
| 4.1.6 Cargas resistivas..... | 24 |
| 4.1.7 Carga capacitiva..... | 25 |
| 4.1.8 Carga inductiva..... | 26 |
| 4.1.9 Distorsion armónica..... | 27 |

| | |
|--|----|
| 4.2 Normatividad y calidad de energia..... | 28 |
| 4.3 Sistema de correcion de factor de potencia..... | 32 |
| 4.3.1 Transformador de voltaje..... | 33 |
| 4.3.2 Transformador de corriente..... | 33 |
| 4.3.3 Bypass eléctrico..... | 34 |
| 4.3.4 Equipo medidor de corriente, potencia y analizador de redes..... | 36 |
| 4.3.5 Automata..... | 39 |
| 4.3.6 Gateway y comunicaciones..... | 41 |
| 4.3.7 Banco de condensadores..... | 42 |
| 4.3.8 Carga inductiva (Motores)..... | 44 |
| 4.4 Accesorios electricos..... | 46 |
| 4.4.1 Totalizador..... | 46 |
| 4.4.2 Interruptor termomagnetico..... | 46 |
| 4.4.3 Contactor..... | 47 |
| 4.4.4 Borneras..... | 48 |
| 4.4.5 Cableado..... | 49 |
| 4.4.6 Riel omega..... | 50 |
| 4.4.7 Gabinete eléctrico..... | 50 |
| 4.5 Software, aplicaciones y programacion..... | 51 |
| 4.5.1 Software analizador de redes..... | 51 |
| 4.5.2 Mgdmod..... | 52 |
| 4.5.3 Automata AMP1-E..... | 52 |
| 4.5.4 App MQTT para el celular..... | 53 |
| 5 Metodología..... | 55 |
| 5.1 Tipo de proyecto..... | 55 |
| 5.2 Método..... | 55 |
| 5.3 Instrumentos de recolección de información..... | 56 |
| 5.3.1 Fuentes primarias:..... | 56 |
| 5.3.2 Fuentes Secundarias..... | 56 |
| 6 Resultados..... | 57 |

| | |
|---|----|
| 6.1 Descripción característica de medición | 59 |
| 6.2 Resultados de las mediciones, punto 1-transformador 400 Kva 13.200/440-254 V..... | 60 |
| 6.3 Programación | 61 |
| 7 Conclusiones..... | 65 |
| 8 Recomendaciones | 65 |
| 9 Referencias Bibliográficas..... | 66 |
| 10 Anexos | 66 |

Lista de figuras

| | Pág. |
|--|------|
| <i>Figura 1.</i> Medición ángulo de desfase | 18 |
| <i>Figura 2.</i> Medición ángulo de desfase | 19 |
| <i>Figura 3.</i> Potencia activa y reactiva..... | 22 |
| <i>Figura 4.</i> Diagrama Senoidal de Carga Inductiva..... | 23 |
| <i>Figura 5.</i> Triangulo de potencias | 24 |
| <i>Figura 6.</i> Carga resistiva..... | 25 |
| <i>Figura 7.</i> Carga capacitiva..... | 26 |
| <i>Figura 8.</i> Carga inductiva | 27 |
| <i>Figura 9.</i> Calidad de energía defectuosa..... | 31 |
| <i>Figura 10.</i> Diagrama de bloques..... | 32 |
| <i>Figura 11.</i> Transformador de potencia | 33 |
| <i>Figura 12.</i> Transformador de corriente..... | 34 |
| <i>Figura 13.</i> Bypass eléctrico | 35 |
| <i>Figura 14.</i> Bypass eléctrico | 36 |
| <i>Figura 15.</i> Analizador de potencia Dranetz | 37 |
| <i>Figura 16.</i> Conexión eléctrica Dranetz | 37 |
| <i>Figura 17.</i> Analizador de redes..... | 38 |
| <i>Figura 18.</i> Autómata Amp1-E8u8Q | 39 |
| <i>Figura 19.</i> Conexiones..... | 40 |
| <i>Figura 20.</i> Gateway | 41 |
| <i>Figura 21.</i> Conexión | 42 |
| <i>Figura 22.</i> Banco de condensadores | 42 |
| <i>Figura 23.</i> Condensador..... | 43 |
| <i>Figura 24.</i> Motor trifásico..... | 44 |
| <i>Figura 25.</i> Tensión Motor trifásico..... | 45 |
| <i>Figura 26.</i> Conexión Motor trifásico | 45 |
| <i>Figura 27.</i> Totalizador | 46 |
| <i>Figura 28.</i> Interruptor | 47 |
| <i>Figura 29.</i> Contactor | 48 |

| | |
|--|----|
| <i>Figura 30.</i> Borneras | 49 |
| <i>Figura 31.</i> Cables eléctricos | 49 |
| <i>Figura 32.</i> Riel omega | 50 |
| <i>Figura 33.</i> Gabinete eléctrico | 51 |
| <i>Figura 34.</i> Plano pictórico | 58 |
| <i>Figura 35.</i> Plano esquemático tablero de control eléctrico banco capacitivo..... | 59 |
| <i>Figura 36.</i> Programación del AMP1 desde el MGDMOD máquinas de estado..... | 62 |
| <i>Figura 37.</i> Programación del AMP1 desde el MGDMOD lenguaje Ladder | 63 |
| <i>Figura 38.</i> Programación del AMP1 desde el MGDMOD lenguaje Ladder | 63 |
| <i>Figura 39.</i> Programación del Gateway desde el MGDMOD | 64 |

Lista de tablas

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 1 <i>Medición en transformador</i> | 59 |
| Tabla 1 <i>Resultados de medición en transformador 400 Kva</i> | 60 |

Lista de anexos

| | Pág. |
|---|------|
| Anexo A. Automata AMP1-E | 65 |
| Anexo B. Tecvolucion | 66 |
| Anexo C. Software MQTT..... | 67 |
| Anexo D. Instalación Mgdmod | 68 |
| Anexo E. Características de lenguaje Mgdmod | 69 |
| Anexo F. Características Mgdmod..... | 70 |
| Anexo G. Norma CREG | 71 |

Resumen

DISEÑO DE UN BANCO AUTOMÁTICO DE CONDENSADORES PARA LA EMPRESA ASFALTADORA COLOMBIA SAS

JUAN DAVID HOYOS YEPES
DUVAN ALEXANDER PATIÑO CASTRILLON

El factor de potencia, es un indicador regido bajo la norma CREG, el cual busca que las diferentes empresas que son abastecidas energéticamente por cualquier operador de red, en este caso EPM, tengan un buen control y manejo del consumo de la energía que emplean para las diferentes actividades. La empresa Asfaltadora Colombia SAS, de la ciudad de Medellín, produce mezcla asfáltica, para llevar a cabo esta tarea es alimentada por un transformador de 400 Kva, conectado a una línea primaria de 13.200 V, que provee la empresa EPM.

La empresa EPM por medio de sus mediciones en el consumo de energía de la empresa Asfaltadora Colombia, evidencio que hay un bajo factor de potencia, lo cual según la norma CREG, este problema debe ser penalizado económicamente, ya que si no es corregido, un bajo factor de potencia genera problemas en la red eléctrica que suministra EPM, caídas de tensiones, sobrecalentamientos, y también daños en los equipos de la misma empresa.

Por tal razón se hace la necesidad de implementar un plan de acción que nos ayude a corregir el factor de potencia para la empresa, donde se diseñara un control automático para el banco de condensadores, que nos permita tener un monitoreo y sea capaz de intervenir con los condensadores adecuados según sea el desfase detectado por el autómata, que esta operación sea en tiempo real y pueda ser visualizado desde cualquier dispositivo electrónico que cuente con la aplicación.

Palabras Claves: Factor de potencia, norma CREG, control automático, banco de condensadores.

Abstract

DESIGN OF AN AUTOMATIC CAPACITOR BANK FOR THE COMPANY ASFALTADORA COLOMBIA SAS

**JUAN DAVID HOYOS YEPES
DUVAN ALEXANDER PATIÑO CASTRILLON**

The power factor is an indicator governed under the CREG standard, which seeks that the different companies that are supplied with energy by any network operator, in this case EPM, have a good control and management of the energy consumption used for the different activities. The company Asfaltadora Colombia SAS, located in the city of Medellín, produces asphalt mix and is powered by a 400 Kva transformer connected to a 13,200 V primary line supplied by EPM.

EPM company through its measurements in the energy consumption of the company Asfaltadora Colombia, evidenced that there is a low power factor, which according to the CREG standard, this problem should be penalized economically, because if it is not corrected, a low power factor generates problems in the electrical network supplied by EPM, voltage drops, overheating, and also damage to the equipment of the same company.

For this reason it is necessary to implement an action plan that helps us to correct the power factor for the company, where an automatic control will be designed for the capacitor bank, which allows us to have a monitoring and is able to intervene with the appropriate capacitors according to the phase difference detected by the automaton, that this operation is in real time and can be viewed from any electronic device that has the application.

Keywords: Power factor, CREG standard, automatic control, capacitor bank.

Glosario

Acometida: Instalaciones, materiales y equipos eléctricos entre la red de distribución del operador y prestador del servicio y el punto de entrega para la conexión del servicio al usuario.

Alimentador de muy alta densidad: Alimentador cuya densidad lineal de carga es mayor a 1000 Kva/km.

Alta tensión: Nivel de tensión mayor o igual que 69 kV.

Amperio: Medida de la intensidad de la corriente. En física, se define como el paso de una carga de un 'coulomb' por segundo.

Calor: Energía producida por la vibración acelerada de las moléculas, que se manifiesta elevando la temperatura y dilatando los cuerpos, hasta el punto que llega a fundir los sólidos y evaporar los líquidos.

Capacidad nominal de transformación: Capacidad de transformación expresada en Kva, de acuerdo con los datos de placa de los equipos.

Consumo de energía: Cantidad de energía eléctrica en kWh, suministrada al usuario en un determinado lapso.

Electricidad: Conjunto de fenómenos físicos derivados del efecto producido por el movimiento y la interacción entre cargas eléctricas positivas y negativas. Forma de energía que puede traducirse en fenómenos mecánicos, luminosos, térmicos, fisiológicos y químicos.

Transformador: Dispositivo que, utilizando la inducción electromagnética, convierte una corriente alterna de un determinado voltaje, a otro.

Introducción

La empresa Asfaltadora Colombia SAS fue fundada en el año de 1949, esta empresa se dedica a la producción de mezcla asfáltica en la ciudad de Medellín, la empresa tiene un área de 25.000 metros cuadrados, se alimenta eléctricamente por un transformador de 400kva, conectado a una línea primaria de 13.200V.

La empresa suministradora de energía EPM por medio de la lectura mensual en los servicios públicos de la empresa Asfaltadora Colombia, evidencio que se está presentando un déficit en cuanto a la energía que consume la empresa, representado en un bajo factor de potencia, según el registro está en 0.86. EPM sugiere la corrección inmediata del factor de potencia, para evitar castigos económicos adicionales, bajar la saturación de energía reactiva en el circuito eléctrico y ayudar a la conservación de los equipos de la misma empresa.

Un estudio de calidad de la energía permite observar parámetros importantes que intervienen en las características de un buen suministro de energía eléctrica hacia todos los equipos y dispositivos eléctricos encontrados tanto en el sector industrial como en el residencial, identificar distorsiones armónicas y otros problemas que pueden ser la reducción de la calidad y la fiabilidad de su sistema de energía.

Los parámetros que afectan directamente a la calidad de la energía son:

Variaciones de frecuencia.

Variaciones de amplitud que pueden ocurrir en diferentes formas y rangos de duración que van desde transitorios de muy corta duración hasta condiciones de estado estable.

Variaciones en la forma de onda de tensión o corriente producidos por cargas no lineales, denominada distorsión armónica, siendo una condición de estado estable.

Desbalance entre las fases de un sistema polifásico causado principalmente por la operación de cargas monofásicas desiguales que afectan principalmente a máquinas rotatorias y circuitos rectificadores trifásicos.

Ante esta situación señalada se diseñará un sistema de control automático para corregir el factor de potencia, según el desfase entre la potencia activa y reactiva que se presenta en el momento de la medición, se realizarán cálculos y análisis de la red eléctrica para poder hacer ajustes necesarios para lograr la corrección del factor de potencia, conmutando automáticamente bancos capacitivos.

1. Planteamiento del problema

1.1 Descripción

La empresa Asfaltadora Colombia para lograr cumplir con su objetivo de producción de asfalto, cuenta con un transformador, en el cual tiene en su primer bobina una conexión delta, el secundario es una estrella con una salida a 440V, EPM evidencia a través de diferentes medidas que hay un déficit en la reactancia y en los armónicos, como resultado obtenemos un factor de potencia por debajo de lo establecido por la norma CREG 108 de 1997, la cual indica que el factor de potencia ideal es de 1, o por lo menos estar siempre por encima del 0.9, en este caso es inferior la medida arrojada es de 0.86.

Esta situación se presenta debido a que la actual subestación eléctrica de la empresa cuenta con un banco de condensadores que no tienen la capacidad suficiente para contrarrestar el exceso de energía que hay en la red. La cantidad de cargas inductivas en la empresa producen una gran cantidad de potencia reactiva dentro de la potencia aparente, causando distorsiones en los armónicos y las reactancias, y dando como resultado un bajo factor de potencia.

Con la alerta emitida por la empresa EPM, se procederá a realizar la corrección del factor de potencia, para tal fin se diseñará un sistema que controle automáticamente el banco de condensadores y mantenga el factor de potencia por encima de 0.9.

1.2 Formulación

¿Cómo mejorar y obtener un factor de potencia adecuado para una subestación eléctrica de la empresa de mezcla asfáltica alimentada por un transformador de 400kva?

2. Justificación

Un estudio de calidad de la energía permite observar parámetros importantes que intervienen en las características de un buen suministro de energía eléctrica hacia todos los equipos y dispositivos eléctricos encontrados tanto en el sector industrial como en el residencial, identificar distorsiones armónicas y otros problemas que pueden ser la reducción de la calidad y la fiabilidad de su sistema de energía.

Al realizar diferentes cálculos y medidas en el transformador de 400 Kva que alimenta a la empresa Asfaltadora Colombia, nos encontramos con que hay una diferencia en las reactancias y armónicos de acuerdo a lo establecido en las normas CREG 108 de 1997 y CREG 047 de 2004 art 25, dando como resultado un factor de potencia bajo, que no es favorable desde el punto de vista de la energía que se utiliza para realizar determinado trabajo, produciendo pérdidas económicas para la empresa y poniendo en riesgo los equipos.

Por tal motivo, y aplicando los conceptos teóricos estudiados en la Tecnología en Sistemas Mecatrónicos en sus diferentes disciplinas, se realizara un diseño del banco de condensadores de la subestación eléctrica, actualizando estos equipos e implementando un control automático que pueda mejorar el factor de potencia; de esta manera se corregirá el déficit encontrado en las diferentes medidas realizadas. Al concluir con este procedimiento se obtendrá la regulación del factor de potencia logrando que se encuentre siempre por encima del 0.9 como lo indica la norma.

Con esta intervención se evitara pérdidas de energía, logrando optimizar su uso para poner a funcionar cualquier motor o máquina, sacando su mejor provecho con un consumo racional de la energía, aportando de esta manera al cuidado del medio ambiente, disminuyendo costos económicos por excesos de consumo de energía, contribuyendo con este desarrollo tecnológico en la empresa se lograra que esta sea más segura, competitiva y le permitirá así estar a la vanguardia en cuanto a los procesos de calidad, desarrollo y funcionamiento.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Mejorar la calidad de la energía consumida en la empresa Asfaltadora Colombia mediante la implementación de un sistema de monitoreo, control y comunicaciones, que active automáticamente la corrección del factor de potencia, utilizando bancos de condensadores.

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la planta de Asfaltadora Colombia, en cuanto a su sistema eléctrico para su disposición y obtención información de la calidad de la energía consumida; para la realización de las correcciones con un sistema de control y monitoreo.
- Diseñar el sistema de detección de corriente y voltaje, para su implementación, teniendo en cuenta las características de la carga conectada en la empresa y la posterior configuración del analizador de señales, que entregue la información de desfase al autómata, para la selección de los bancos capacitivos para corrección del factor de potencia.
- Implementar un sistema de comunicación que permita la obtención de la información de consumo eléctrico y desfase en un servidor para el análisis de consumos en la empresa y alertas al personal de mantenimiento, mediante la recolección de la información obtenida para observar las ventajas del sistema implementado.

4. Marco teórico

Todas las empresas suministradoras de energía eléctrica miden las diferentes variables del consumo de la energía en los diferentes sectores como residenciales, industriales, comerciales, etc.

Uno de los puntos más importantes a tener en cuenta en el sector industrial como lo es la empresa Asfaltadora Colombia, es el desfase corriente voltaje de las cargas inductivas, principalmente por el uso de motores eléctricos de diferentes Kw, para la producción de mezcla asfáltica.

Este desfase corriente voltaje inductivo también llamado déficit del factor de potencia, consiste en cuando se aplica un voltaje a una inductancia, esta se resiste al cambio en la corriente. La corriente se desarrolla más lentamente que el voltaje, retrasándose en tiempo y fase, esta situación es la que actualmente está sucediendo en la empresa.

Principio de la medición del Ángulo de Fase

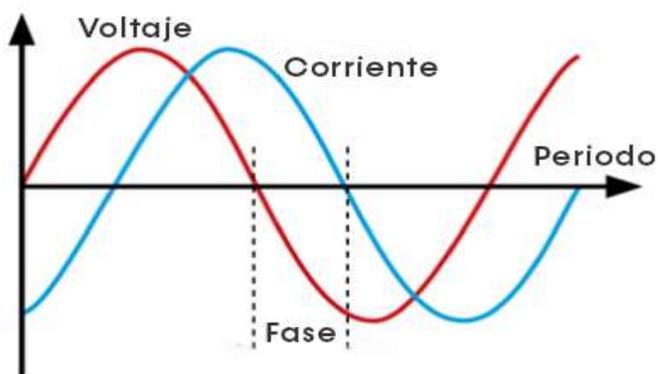


Figura 1. Medición ángulo de desfase

Fuente: <https://aminogram.com/bio-impedancemetrie/pha-angle-de-phase-et-ir-ratio-dimpedance/?lang=es>

Otro tipo de desfase corriente voltaje que también se presenta en las redes eléctricas es el capacitivo, este se da ya que el voltaje en un condensador es directamente proporcional a la carga en él, la corriente debe adelantar al voltaje en tiempo y fase para conducir la carga a las placas del condensador y elevar el voltaje.

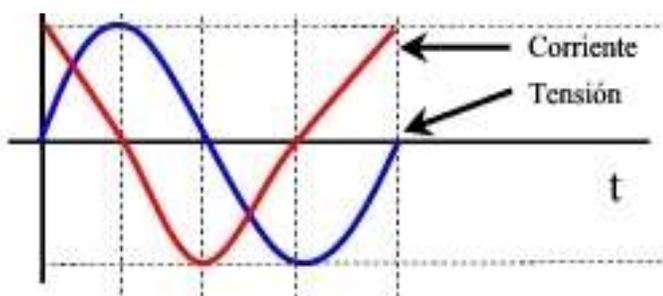


Figura 2. Medición ángulo de desfase

Fuente: <https://aminogram.com/bio-impedancemetrie/pha-angle-de-phase-et-ir-ratio-dimpedance/?lang=es>

Esta situación termina por afectar la buena calidad de la energía que suministra EPM y que es consumida por la empresa, causando caídas de tensiones en las líneas, sobrecalentándolas, saturándolas de energía reactiva, y también afecta directamente el rendimiento de los motores, acortando su vida útil.

Por tal motivo existe en Colombia la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), que entre sus diferentes artículos busca controlar y regular el consumo de la energía eléctrica, con la normatividad donde indica que un buen consumo de energía se ve representado con un valor por encima de 0.9, a esto se le conoce como factor de potencia, donde el valor ideal es de 1, o estar muy cerca a este.

Para corregir este desfase de corriente existen diferentes métodos, para el caso de este trabajo de grado se implementara un sistema de control automático, el cual básicamente lo que va a hacer es monitorear constantemente que tipo de cargas se están utilizando en cada proceso dentro de la empresa, con el fin de que accione automáticamente el condensador con la capacidad adecuada para mantener el factor de potencia estable y por encima de 0.9.

4.1 Energía y potencia eléctrica

La energía eléctrica que se consume en los diferentes sitios como: casas, empresas, universidades, edificios, plantas de producción, etc., es suministrada por las diferentes empresas de energía.

La potencia eléctrica se define como la capacidad que tiene un equipo eléctrico, para realizar un trabajo en una unidad de tiempo. Su unidad de medida es el Watt (W), sus múltiplos más empleados son el Kilowatt (KW) y el Mega watt (MW), mientras el submúltiplo corresponde a mili watt (mW).

En un circuito eléctrico la cantidad de potencia depende de la resistencia y la corriente:

$$P = I^2 * R \qquad P = \frac{V^2}{R}$$

$$P = V * I$$

En la industria se utilizan los Kilowatt (KW), caballos de vapor (cv) y caballos de fuerza (HP).

$$1 \text{ KW} = 1000 \text{ W}$$

$$1 \text{ HP} = 746 \text{ W} = 0.746 \text{ KW}$$

$$1 \text{ CV} = 735 \text{ W} = 0.735 \text{ KW}$$

Se debe tener en cuenta que toda la energía no siempre se convierte en trabajo útil, debido a que una parte se pierde en forma de calor, y es allí cuando se encuentra que la potencia puede dividirse en potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente.

4.1.1. Potencia Activa. La potencia activa es la energía consumida y convertida en trabajo útil, la cual debe ser muy cercana a la suministrada por la fuente. Se simboliza con la letra W y la unidad es el vatio (W).

$$P = \sqrt{3} * V_L * I_L * \cos\theta$$

4.1.2. Potencia Reactiva. La potencia reactiva es una parte de la energía que entrega la fuente y no se convierte en trabajo útil, pues la maquina por su funcionamiento pierde dicha energía. Se simboliza con la letra Q y la unidad es voltio amperio reactivo (VAR).

Esta clase de potencia se genera en equipos, máquinas y elementos que tienen inductancias (bobinas) en su funcionamiento como: motores, generadores, transformadores. En los hogares, la potencia reactiva en los electrodomésticos es mínima, pero en las empresas tiene un límite y si es superado empieza a generar un cobro por parte del operador de red. En estos casos es cuando se habla de mejorar el factor de potencia.

$$Q = \sqrt{3} * V_L * I_L * \sen\theta$$

4.1.3. Potencia Aparente. La potencia aparente (S) es la potencia total o aparente de la potencia activa y reactiva. Se simboliza con la letra S y la unidad de medida se expresa en voltio-amperios (VA).

$$S = \sqrt{3} * V_L * I_L$$



Figura 3. Potencia activa y reactiva

Fuente: <https://www.factorled.com/blog/es/factor-de-potencia-que-es-y-como-funciona/>

4.1.4. Factor de potencia Los artefactos eléctricos que consumen la energía eléctrica como lámparas, calentadores, motores; no aprovechan realmente el 100 % de la capacidad energética entregada por la empresa que la genera, siempre hay una pérdida, esto se conoce como factor de potencia.

El factor de potencia es, pues, una unidad de medida de la eficiencia eléctrica, sirve para determinar el nivel de rendimiento de un equipo eléctrico.

Como ejemplo de esas pérdidas de energía se tienen los motores eléctricos. En los motores existen las bobinas de cobre que generan un campo electromagnético, que al ser atravesados por una corriente eléctrica, mueve un eje que es el que produce la energía mecánica (energía útil en nuestro caso) que necesitamos; pero parte de la energía consumida se pierde en la creación de ese campo electromagnético. Esta energía no es útil porque no termina transformándose en energía mecánica.

Lo mismo ocurre en la iluminación mediante tubos fluorescentes, donde también hay una pérdida de energía que no se convierte en energía luminosa.

El factor de potencia se puede evidenciar por medio de la medición de las ondas sinusoidales en un tiempo y espacio determinado, y determinar si el desfase que existe es de adelantamiento o de atraso, y a partir de ahí saber que método utilizar para corregirlo

El ángulo de fase o ángulo de desfase ϕ , es la diferencia entre los ángulos de fase cero ϕ_1 y ϕ_2 de dos magnitudes alternas senoidales $G_1, 2 = \cos(\omega.t + \phi_{1,2})$ con la misma frecuencia. Se distingue entre: 1. $\phi_1 > \phi_2$; $\phi > 0$: la magnitud 1 adelanta frente a la magnitud 2 en $\phi = \phi_2$; $\phi = 0$: ambas magnitudes tienen concordancia de fases. 3. $\phi < \phi_2$; $\phi < 0$: la magnitud 1 se retrasa frente a la magnitud 2 en ϕ . El ángulo de fase de cero (ángulo de fase inicial) ψ es el ángulo de fase al comenzar el conteo del tiempo ($t=0$), es decir: $\psi = \psi(0)$. La medición del ángulo de fase se realiza, p.ej., por medio de la representación de ambos procesos de oscilación en un oscilógrafo.

Las cargas inductivas como motores, balastos, transformadores, etc., son el origen del bajo factor de potencia. En este tipo de equipos, la intensidad de corriente se atrasa en relación al voltaje. Al ser el factor de potencia el coseno del ángulo existente entre el voltaje y la corriente, si la corriente está atrasada al voltaje (como es común en prácticamente toda instalación eléctrica), se dice que el factor de potencia es atrasado. En dado caso de que el voltaje se atrase a la corriente se dice que el factor de potencia es adelantado.

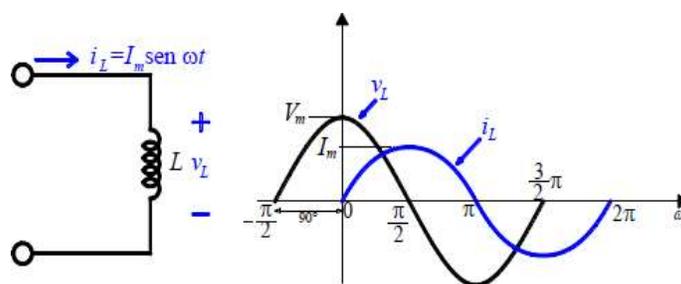


Figura 4. Diagrama Senoidal de Carga Inductiva

Fuente: https://www.ecorfan.org/handbooks/Ciencias%20de%20la%20Ingenieria%20y%20Tecnologia%20T-V/Articulo_4.pdf

4.1.5. Triángulo de potencias. El triángulo de potencias es una forma de representar y entender de manera fácil que es el factor de potencia o también llamado coseno de “fi” ($\cos \Phi$) y su estrecha relación en los restantes tipos de potencias presentes en un circuito eléctrico de

corriente alterna.

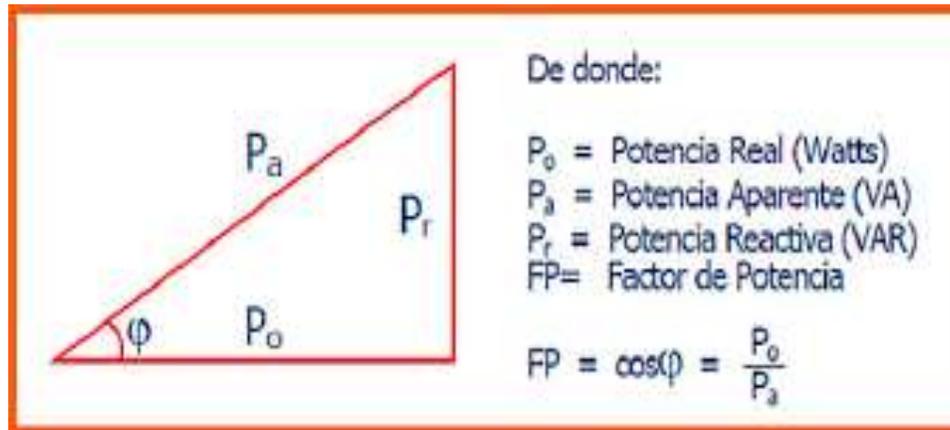


Figura 5. Triangulo de potencias

Fuente: <https://www.prolyt.com/factor-de-potencia/>

4.1.6. Cargas resistivas. Toda la energía se transforma en energía lumínica o calorífica, no en movimiento. La corriente, a su paso por la resistencia, está en fase con la tensión; es decir, ambas tienen el mismo ciclo y pasan por los mismos puntos en el mismo momento. El ángulo entre tensión y corriente es 0.

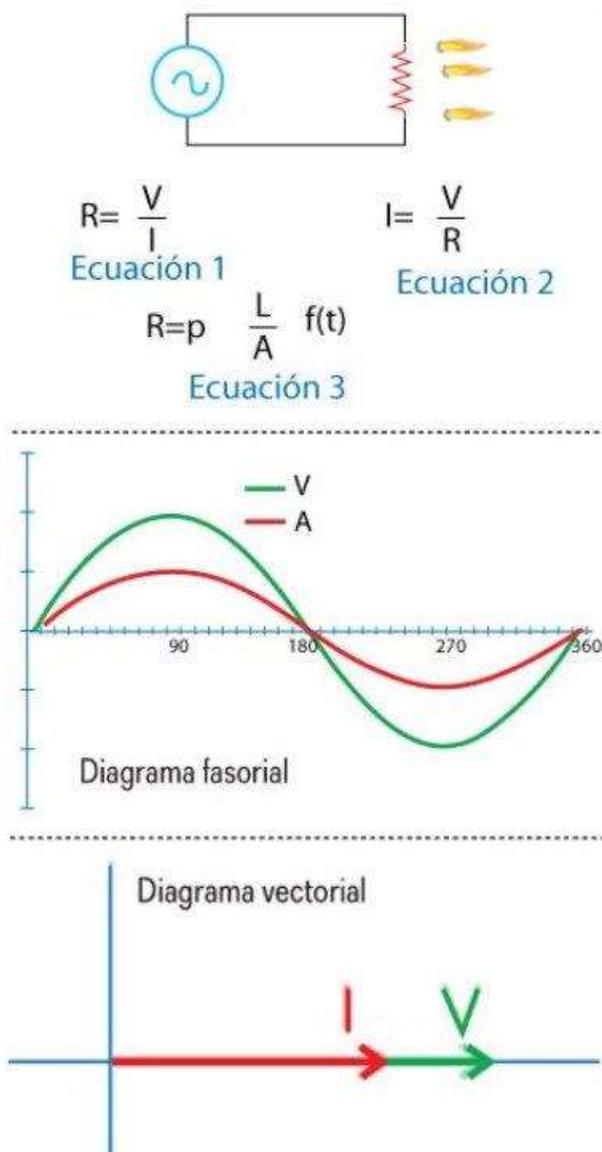


Figura 6. Carga resistiva.

Fuente: <https://sites.google.com/site/maquinaselectricascarlos/clients/--cargas-inductivas-capacitivas-y-resistivas>

4.1.7. Carga capacitiva. La potencia que toma la carga en el primer medio ciclo de la fuente de corriente alterna la convierte en campo eléctrico, que en el siguiente medio ciclo regresa la potencia a la fuente. Es decir, que el capacitor se carga y descarga (toma potencia de la fuente, la usa y la regresa, pero no la consume).

En este caso no se habla de una resistencia (R), sino de una reactancia capacitiva (X_c), la cual depende de sus características físicas. La corriente depende de la tensión (V) y de la reactancia capacitiva (X_c), pero no se podría decir que la reactancia depende de la tensión y de la corriente.

Si se eleva la tensión de ésta, también se eleva la reactancia y permanece constante.

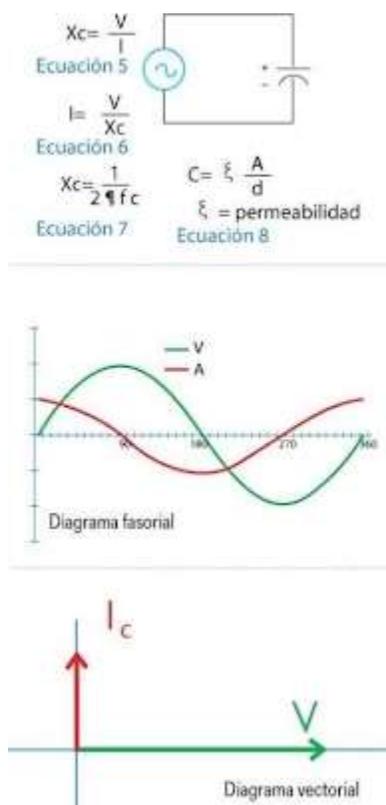


Figura 7. Carga capacitiva.

Fuente: <https://sites.google.com/site/maquinaselectricascarlos/clients/--cargas-inductivas-capacitivas-y-resistivas>

4.1.8. Carga inductiva. La potencia, que toma la carga en el primer medio ciclo de la fuente de corriente alterna, la convierte en campo magnético variable que, de acuerdo con las leyes de Faraday y Lenz, producen una tensión en la bobina que se opone a la fuente que la produce. De tal forma que en el siguiente medio ciclo regresa la potencia a la fuente. Al igual que en el capacitor, la inductancia (bobina) toma potencia de la fuente, la usa y posteriormente la regresa y no la consume.

En este caso, en lugar de la resistencia (R), se tiene una reactancia inductiva, la cual depende del número de espiras (N), de la frecuencia (f) y del flujo.

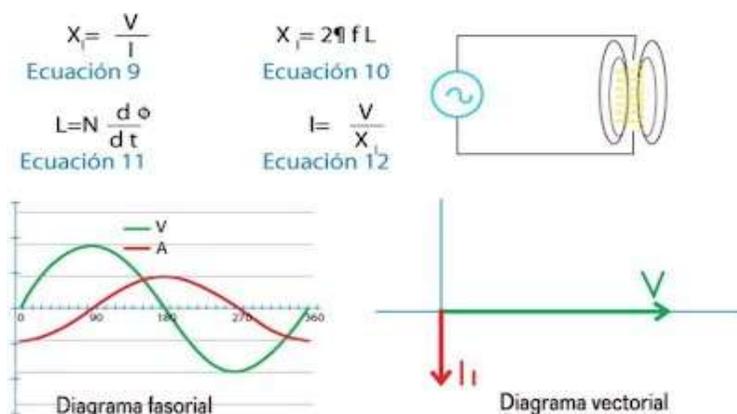


Figura 8. Carga inductiva.

Fuente: <https://sites.google.com/site/maquinaselectricascarlos/clients/--cargas-inductivas-capacitivas-y-resistivas>

4.1.9. Distorsión armónica. Casi todas las cargas no lineales crean armónicos. Ejemplos de estos tipos de cargas incluyen la iluminación no incandescente, computadoras, suministros de energía ininterrumpida, equipos de telecomunicaciones, fotocopiadoras, cargadores de baterías y dispositivos con un convertidor de energía de CA a CC de estado sólido. Distorsiones en la corriente provocan distorsión en el voltaje.

La presencia de armónicos en una instalación, o red de distribución eléctrica puede acarrear innumerables problemas, tales como:

- Sobrecalentamientos en los conductores especialmente en el neutro de las instalaciones, debido al efecto pelicular.
- Disparos intempestivos de Interruptores Automáticos y Diferenciales.
- Disminución del factor de potencia de una instalación y envejecimiento e incluso destrucción de las baterías de condensadores utilizadas para su corrección debido a fenómenos de resonancia y amplificación.
- Vibraciones en cuadros eléctricos y acoplamientos en redes de telefonía y de datos.
- Deterioro de la forma de onda de la tensión, y consiguiente malfuncionamiento de los aparatos eléctricos.
- Calentamientos, degradaciones en los aislamientos, embalamientos y frenados en motores asíncronos.

- Degradaciones del aislamiento de los transformadores, pérdida de capacidad de suministro de potencia en los mismos.

4.2. Normatividad y calidad de energía

En Colombia existe una norma que rige las empresas suministradoras de energía, y que controlan particularmente el factor de potencia.

La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), es una Unidad Administrativa Especial, con autonomía administrativa, técnica y financiera, sin personería jurídica, adscrita al Ministerio de Minas y Energía.

Se creó en 1994, cuando el congreso de la República, mediante las leyes 142 y 143, creó las comisiones de regulación, con el fin de regular las actividades de los servicios públicos domiciliarios

La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) tiene por objeto regular los monopolios en la prestación de los servicios públicos domiciliarios de energía eléctrica y gas combustible, cuando la competencia no sea, de hecho, posible; y, en los demás casos, la de promover la competencia entre quienes presten servicios públicos, para que las operaciones de los monopolistas o de los competidores sean económicamente eficientes, no impliquen abusos de la posición dominante, y produzcan servicios de calidad.

El mejoramiento del factor de potencia se debe realizar tal y como lo explica norma CREG 108 de 1997 artículo 24, y la CREG 047 de 2004 artículo 25.

Artículo 24°. De la medición individual. La medición de los consumos de los suscriptores o usuarios se sujetará a las siguientes normas:

- a. Con excepción de los inquilinatos, y de los usuarios incluidos en planes especiales de normalización del servicio, todo suscriptor o usuario deberá contar con equipo de medición individual de su consumo.

b. Cuando un inmueble cuente con una sola acometida y un solo equipo de medida y el servicio se utilice por varias personas naturales o jurídicas, se entenderá que existe un único suscriptor frente a la empresa. Por tanto, en estos casos, el costo de prestación del servicio deberá dividirse en cuotas partes entre los usuarios finales del mismo, y los derechos y obligaciones del contrato de condiciones uniformes serán exigibles o se harán efectivos por ese único suscriptor. No obstante, cualquier usuario que se encuentre ubicado dentro de un inmueble con tales características, tiene derecho a exigir a la empresa la medición individual de sus consumos, siempre y cuando asuma el costo del equipo de medición, caso en el cual a ese usuario se le tratará en forma independiente de los demás.

c. En las condiciones uniformes del contrato, la empresa determinará las características técnicas que deberá cumplir el equipo de medida, teniendo en cuenta lo que establezcan los Códigos de Distribución y/o Medida, y el mantenimiento que debe dárseles, con el fin de que los suscriptores o usuarios puedan escoger libremente al proveedor de tales bienes y servicios.

d. Los equipos de medición que la empresa exija a los suscriptores o usuarios deberán permitir que puedan hacer uso de las opciones tarifarias y estar en un todo de acuerdo con las que la empresa ofrezca a cada tipo de suscriptor o usuario. En todo caso, tratándose del servicio de energía eléctrica, la empresa no podrá exigir la instalación de equipos de medición de potencia, o con diferenciación horaria de energía, a los suscriptores o usuarios residenciales conectados al nivel de tensión uno (1).

e. La empresa podrá ofrecer la instalación de medidores de prepago a los suscriptores o usuarios que no sean beneficiarios de subsidios en los servicios públicos de energía y/o gas.

f. De acuerdo con lo dispuesto por el artículo 144 de la ley 142 de 1994, cuando el contrato de condiciones uniformes exija al suscriptor o usuario adquirir los instrumentos necesarios para la medición y éste no lo haga dentro de un plazo de seis meses contados a partir de la fecha de la conexión al servicio, la empresa podrá suspender el servicio o terminar el contrato, sin perjuicio de que determine el consumo en la forma dispuesta por el artículo 146 de la ley 142 de 1994.

g. Cuando, según el contrato de condiciones uniformes, la instalación de los instrumentos de medición corresponda a la empresa, y transcurra un plazo de seis meses sin que ésta cumpla tal obligación, se entenderá que existe omisión de la empresa en la medición.

h. A partir de la vigencia de la presente resolución, las empresas tendrán un plazo máximo de tres (3) años para elevar los niveles de macro y micro medición, de modo que cubran por lo menos el noventa y cinco por ciento (95%) del total de sus usuarios para lo cual deberán dar prelación a los usuarios residenciales de los estratos 1, 2 y 3. El incumplimiento de lo aquí dispuesto constituye omisión imputable a la empresa en la colocación de medidores y, en consecuencia, le hará perder el derecho a recibir el precio, por parte de aquellos usuarios en defecto del 95%, de acuerdo con lo dispuesto por el artículo 146 de la ley 142 de 1994.

Artículo 25°. Control al factor de potencia en el servicio de energía eléctrica. En la prestación del servicio público domiciliario de energía eléctrica, se controlará el factor de potencia de los suscriptores o usuarios no residenciales, y de los residenciales conectados a un nivel de tensión superior al uno (1).

Parágrafo 1°. 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 2°. 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 3°. 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.

El factor de potencia es la unión existente entre la potencia aparente y la potencia activa, lo ideal de la potencia activa se acerque lo más posible a la potencia aparente. Lo ideal para el circuito es a mayor potencia activa y menor potencia reactiva tendremos un factor de potencia más cercano a 0.98 o 1.

Gracias a este tipo de normas también se asegura una buena calidad de energía eléctrica, que se debe suministrar al usuario, entendiéndose por calidad de energía como un indicador donde se garantice un buen funcionamiento de sus cargas, como se puede observar en la siguiente figura son algunos de los defectos que se pueden presentar en una red eléctrica, desmejorando la calidad de la energía.

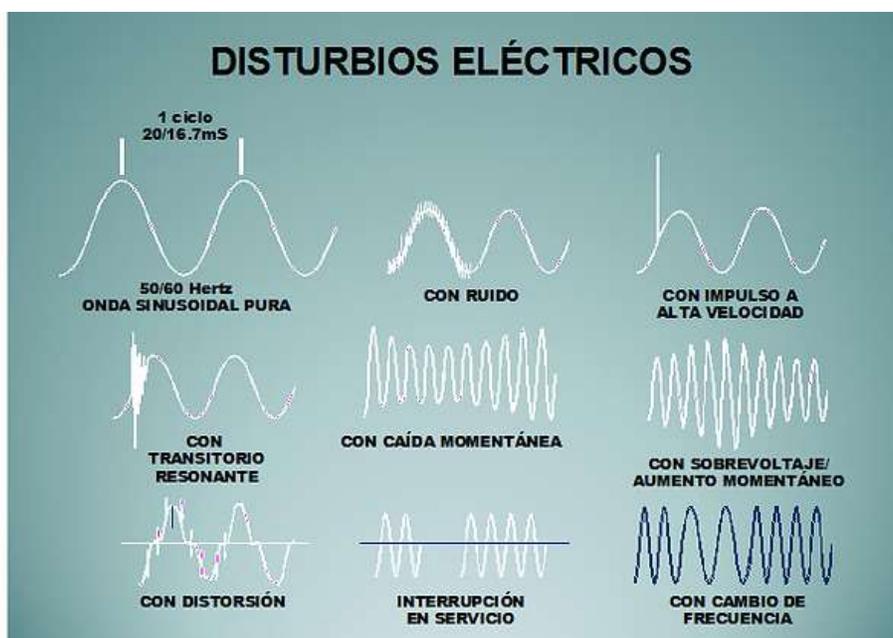


Figura 9. Calidad de energía defectuosa.

Fuente: <https://www.grupoenergosa.com/calidad-energia>

El análisis de la calidad de energía en la empresa se debe realizar por diferentes motivos, entre ellos podemos mencionar motivos de seguridad de la misma red eléctrica y de los equipos de la empresa, ahorros en costos energéticos, mayor precisión en la factura eléctrica, incentivos

energéticos.

4.3. Sistema de corrección de Factor de Potencia

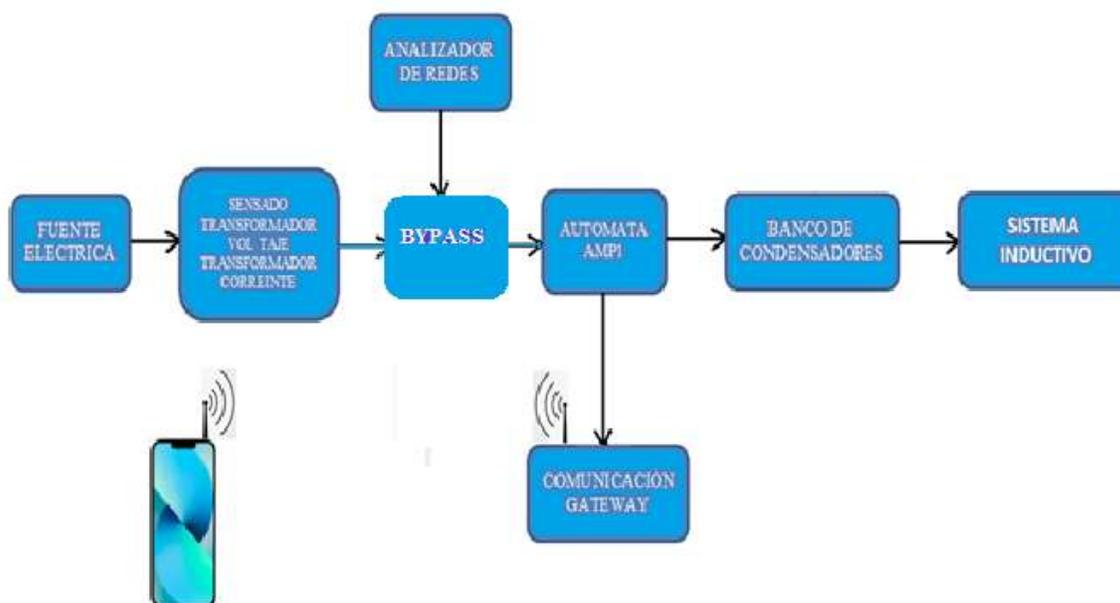


Figura 10. Diagrama de bloques.

Fuente: Propia

Se diseñará un sistema de control automático para la corrección del factor de potencia, de la empresa Asfaltadora Colombia que actualmente está en un valor de 0.86.

Se iniciará conectando los sensores de corriente y voltaje a las acometidas de alto voltaje dentro de la subestación, estos sensores están conectados al analizador de redes eléctricas donde se verifican entradas de energía y su consumo, y también analiza el factor de potencia, estos datos son llevados al automático, el cual está programado para que tome la decisión y envíe la información que puede ser visualizada a través del Gateway y la app MQTT, en tiempo real de lo que está sucediendo, y al mismo tiempo le dé la orden al banco de condensadores de cual línea debe ingresar y cual debe salir para poder estabilizar y controlar el desfase y el factor de potencia quede sobre 0.9.

4.3.1. Transformador de voltaje. El transformador de potencial funciona de acuerdo al mismo principio de otros transformadores. Convierte voltajes de mayor a menor. Tomará los miles de voltios detrás de los sistemas de transmisión de energía y disminuirá el voltaje hacia algo que los medidores puedan manejar. Estos transformadores funcionan para sistemas monofásicos y trifásicos, y están unidos en un punto donde es conveniente medir el voltaje.



Figura 11. Transformador de potencia.

Fuente: Propia

4.3.2. Transformador de corriente. Los transformadores de corriente se utilizan en la práctica, para medir la corriente sin interrumpir a las líneas de corriente. Por lo tanto la medición de la corriente con la ayuda de los transformadores de corriente es muy segura. Los transformadores de corriente utilizan el campo magnético natural del conductor activo para determinar la corriente. El rango de corriente medible es de unos pocos mA. hasta varios mil amperios. Así es fácil y seguro medir corrientes en el rango de 1 mA. a 20 mA. y también corrientes grandes de hasta 10000 A.

Hay diferentes tipos de transformadores de corriente: Transformadores de corriente flexibles para la corriente alterna, pinzas de corriente para la corriente alterna y pinzas de corriente para

corriente continua y alterna. Los transformadores de corriente pueden ser conectados a diferentes dispositivos. Por lo tanto, es posible conectar las pinzas de corriente con un conector BNC a un osciloscopio para visualizar la corriente en la pantalla. También es posible adaptar todos los transformadores de corriente a multímetros. Debido a los diferentes tipos, los transformadores de corriente son de uso universal. Por lo tanto, los transformadores de corriente flexibles se usan en lugares de medición de acceso difícil o si la línea tiene un diámetro demasiado grande para la aplicación de las pinzas de corriente.

Especialmente se usan los transformadores de corriente flexibles en carriles conductores o grandes paquetes de cable. Los convertidores de corriente se usan en la industria para trabajos de mantenimiento y servicios. Debido al gran ancho de banda en el rango de frecuencia, los transformadores de corriente se utilizan también en el campo de la investigación, donde las frecuencias altas a menudo se producen en el desarrollo de los circuitos eléctricos.



Figura 12. Transformador de corriente.

Fuente: <https://energiayredes.com/producto/transformador-de-corriente-para-medicion-rel-4005-600-v-arteche/>

4.3.3. Bypass eléctrico. Un selector de línea by-pass permite la selección manual o automática entre diferentes líneas eléctricas, permite la integración de diferentes servicios adicionales como:

En caso de corte de energía permite la selección automática de una planta de emergencia de

tal manera que el flujo eléctrico es suministrado de manera permanente en los equipos protegidos.

En casos en que es preciso dejar fuera de servicio a un transformador, regulador de voltaje, o cualquier otro equipo eléctrico similar por causas de mantenimiento permite una desconexión segura y evita cualquier tipo de interrupción del servicio eléctrico, permitiendo el funcionamiento permanente de todos los equipos eléctricos conectados.

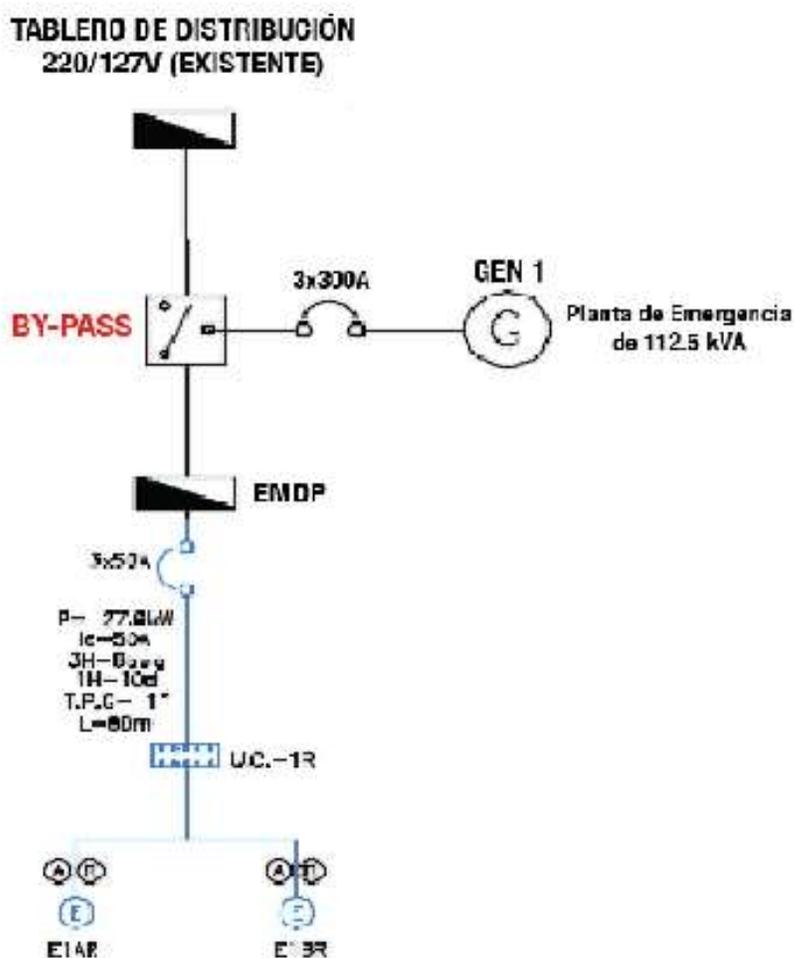


Figura 13. Bypass eléctrico.

Fuente: <https://corpnewline.com/by-pass.htm>

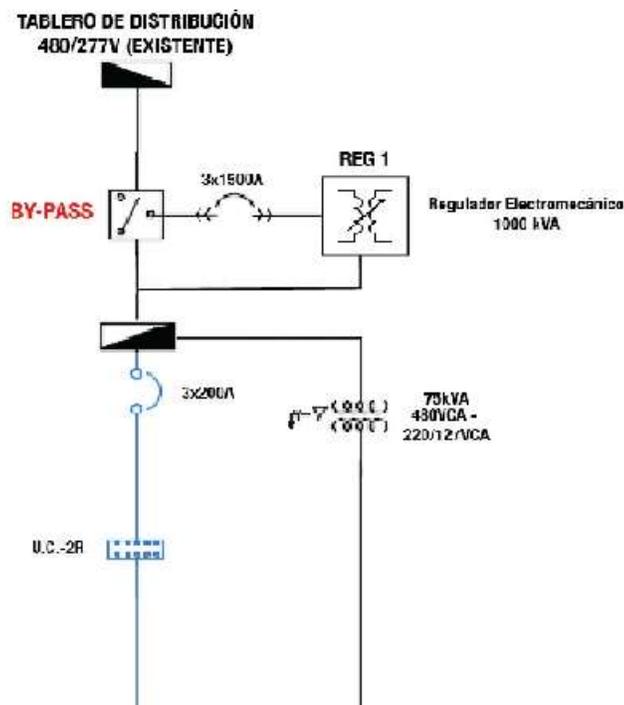


Figura 14. Bypass eléctrico.

Fuente: <https://corpnewline.com/by-pass.htm>

4.3.4. Equipo medidor de corriente, potencia y analizador de redes. Los medidores de corriente y potencia portátiles son instrumentos de medición que sirven para tomar datos de las líneas monofásicas o trifásicas con un alto grado de precisión y exactitud. Los analizadores de calidad de energía pueden monitorear y registrar anomalías en el suministro de energía, lo que permite investigar rápidamente sus causas, y también para evaluar problemas de suministro de energía como caídas de voltaje, parpadeo, armónicos y otros problemas eléctricos. Este equipo se utilizó en la empresa para realizar el análisis de la energía, y por medio de este se detectó el bajo factor de potencia que se presenta en ella.

| ANALIZADOR DE POTENCIA | | |
|------------------------|--|---|
| PUNTO | DESCRIPCIÓN | EQUIPO (CARACTERÍSTICAS) |
| 1 | <ol style="list-style-type: none"> Equipo Analizador de Calidad de la energía. Marca: Dranetz Serie: HDPQ Modelo: VISA PLUS |  <ul style="list-style-type: none"> - Clase A. - Exactitud tensión: 0.005% del rango + 0.075% de la lectura. - Exactitud corriente: (Clamp) 0.05% del rango + 0.5% de la lectura. (Flex) 0.05% del rango + 0.5% de la lectura + error de posición Flex. - Consumos de energía, perfil de carga. - Potencia activa, reactiva y aparente. |

Figura 15. Analizador de potencia Dranetz

Fuente: <https://www.dranetz.com/>

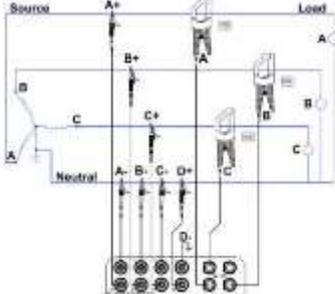
| CONEXIÓN ELÉCTRICA | | |
|--------------------|---|--|
| PUNTO | EQUIPO | 3P-4W |
| 1 |  <p>DRANETZ</p> |  |

Figura 16. Conexión eléctrica Dranetz

Fuente: <https://www.dranetz.com/>

El analizador de redes es una herramienta básica para un auditor o técnico eléctrico que desee ejecutar un plan de medidas para un estudio energético completo de una instalación o proceso.

Estos equipos pueden ser fijos o portátiles, y permiten tomar medidas de energía, potencia y calidad de señal, sirve para verificar la capacidad de carga, conocer el consumo, detectar problemas en los armónicos y controlar el voltaje y la sobre tensión en máquinas eléctricas, subsistemas aislados, o bien, de la red completa. Por lo tanto su uso permite solucionar cualquier problema que haya en la red eléctrica, evitar riesgos realizando un mantenimiento periódico y promover un ahorro energético.



Figura 17. Analizador de redes

Fuente: Propia

Es un medidor de potencia de red trifásico con pantalla LCD digital inteligente multifuncional con función de comunicación RS48512003222.

Interfaz de comunicación: soporta 1 circuito de comunicaciones RS-485 protocolo modbus-rtu, velocidad en baudios: 1200 ~ 9600bps, por defecto: 2400bps.

Valor de conmutación de entrada: soporta bucles de conmutación de entrada de 4 valores, Junta seca (Función personalizada, necesita cargo adicional).

Valor de salida de conmutación: 3 bucles de salida de relé admite, capacidad: ca 250V /5A, CC 30V / 5A (Función personalizada, necesita cargo adicional).

Salida de transmisión: soporta 1 bucle de salida analógica: 0/4 ~ 20mA o 0 ~ 5/10 V(Función personalizada, necesita cargo adicional).

Salida de pulso de energía: soporta 2 bucles de salida de pulso de energía, constante: 4000imp/KWh (Kvarh).

Forma de Cableado: trifásico de cuatro cables o trifásico de tres hilos.

Tensión nominal: 380 V CA.

Corriente nominal: ca 5A.

Sobrecarga: voltaje: 1,2 veces (sostenido); 2 veces/1s (instantáneo); Corriente: 1,2 veces (sostenido); 10 veces/5S (instantáneo).

Consumo de energía: voltaje: menos de 1VA (por fase); Corriente: menos de 0,4va (por fase).

Impedancia: voltaje: más de 300Kohm corriente: menos de 20m ohm.

Frecuencia: 45 ~ 65Hz.

4.3.5. Autómata. Para este diseño se trabajará con el autómata AMP1 Los autómatas basados en microcontrolador de la línea Microgrades se denominan AMPx (Autómata Micro-controlado Programable), son dispositivos microelectrónicos versátiles y de alto grado de conectividad, El autómata programable AMP1-E 8U8Q es un dispositivo micro electrónico orientado a la implementación de múltiples aplicaciones de control.



Figura 18. Autómata Amp1-E8u8Q

Fuente: <https://www.tecvolucion.net/wp/amp1-e-8u8q/>

Power + Vd. Power Gnd = Alimentación del autómatas entre 12 y 24 VDC. Se enciende el LED verde al energizar.

Bus B Rt-, Bus A Rt+ = Bus de comunicación RS485 para programación y enlace con SCADA.

8U = Universales. Quiere decir que las entradas son opto acopladas, fundamentalmente digitales, sus valores serán 0 a 1023 y requieren fuente externa. También pueden recibir señales analógicas de 1 a 10 voltios, de 4 a 20 mA., termistores de 10k o buses de dispositivos.

Refer 0 – 3, Refer 4 -7 = Las entradas están agrupadas en dos bloques de 4 con su respectiva terminal de referencia.

8Q = Transistor NPN. Significa que tiene 8 salidas opto aisladas por transistor del tipo NPN con capacidad de carga de 1 amperio, hasta 30 VDC, por lo que la carga debe ir entre la fuente positiva y la salida. Puede modular PWM, tren de ondas, tren de pulsos y disparo por ángulo de fase.

Común 0 – 3, Común 4 -7 = Las salidas están agrupadas en dos bloques de 4 con su respectiva terminal de común. Se conectan al terminal negativo de la fuente.

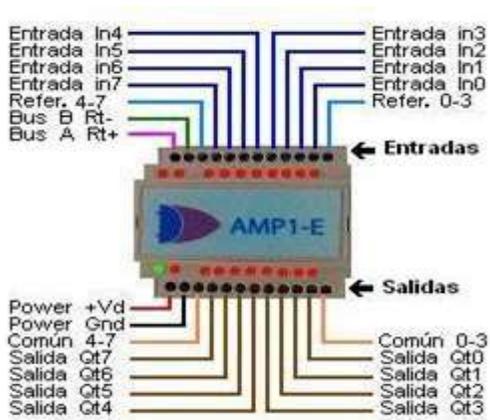


Figura 19. Conexiones

Fuente: <https://www.tecvolucion.net/wp/amp1-e-8u8q/>

4.3.6. Gateway y comunicaciones. Gateway es de enlace Wifi Modbus Mqtt, dispositivo electrónico que permite realizar enlaces entre autómatas programables, medidores de energía y equipamiento de campo, con servidores tipo bróker MQTT, mediante los protocolos de comunicaciones Modbus RTU y MQTT.



Figura 20. Gateway

Fuente: <https://www.tecvolucion.net/wp/amp1-e-8u8q/>

El gateway de enlace wifi Modbus Mqtt, es un dispositivo micro electrónico orientado a la implementación de múltiples aplicaciones de comunicaciones para dispositivos de medición y control en el ámbito del internet de las cosas IoT.

En la figura anterior se puede observar la conexión de un autómata programable al Gateway VMQ, el cual tiene las siguientes conexiones:

Power Gnd = Conexión al negativo de la fuente de alimentación externa, la cual puede ser la misma que alimenta al autómata programable.

Power +Vd = Conexión al terminal positivo de la fuente de alimentación. El voltaje de la fuente debe estar en el rango entre 10 y 30 VDC.

RTX +, A* = Terminal positivo del bus de comunicación tipo Modbus RTU.

RTX-, B- = Terminal negativo del bus de comunicación tipo Modbus RTU. Este bus de comunicaciones permite la conexión de hasta 10 dispositivos de campo en el mismo bus para el

enlace con servidores remotos y aplicaciones del internet de las cosas IoT.

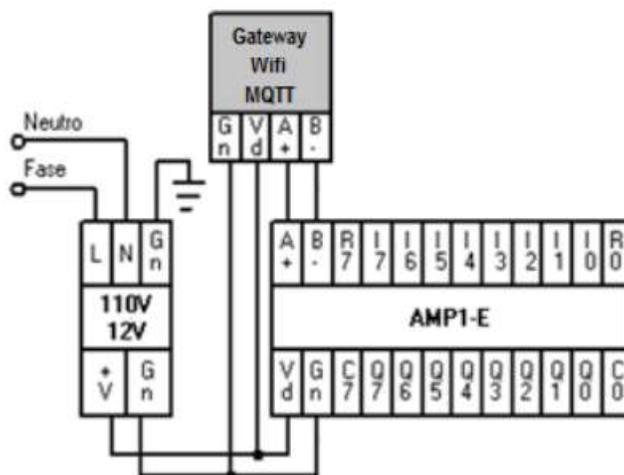


Figura 21. Conexión

Fuente: <https://www.tecvolucion.net/wp/amp1-e-8u8q/>

4.3.7. Banco de condensadores. Un banco de condensadores automático debe tener la capacidad de analizar las variaciones de potencia reactiva de la instalación; y así lograr mantener el factor de potencia de la instalación entre el rango permitido por la norma.



Figura 22. Banco de condensadores.

Fuente: Propia.

Un condensador es un elemento utilizado en electricidad y electrónica, con dos terminales, capaz de almacenar energía eléctrica. Está formado por dos superficies conductoras separadas por un aislante. La cantidad de carga eléctrica que puede acumular es proporcional al tamaño de estas superficies e inversamente proporcional a la separación entre ellas. La carga que almacenan se mide en Faradios (F), unidad del Sistema Internacional de Unidades (SI).

El interior de un condensador cuenta con dos placas conductoras que se encuentran separadas entre sí por un material aislante, un dieléctrico. Al conectar el condensador a una fuente de voltaje, la corriente empieza a circular por el circuito y una de estas placas se carga negativamente mientras que la otra se carga positivamente. Cuando la fuente de voltaje se apaga y se conecta alguna carga al condensador, como por ejemplo una resistencia, la corriente comenzará a circular desde el condensador a la carga hasta que se descargue.



Figura 23. Condensador.

Fuente: <https://ple.vn/tu-bu/tu-bu-enerlux/enerlux-prt-4150-detail.html>

4.3.8. Carga inductiva (motores). El motor trifásico es una máquina eléctrica que transforma energía eléctrica en energía mecánica por medio de interacciones electromagnéticas. Algunos de los motores eléctricos son reversibles, pueden transformar energía mecánica en energía eléctrica funcionando como generadores. Funcionan a través de una fuente de potencia trifásica. Son impulsados por tres corrientes alternas de la misma frecuencia, los cuales alcanzan sus valores máximos de forma alternada. Poseen una potencia de hasta 300KW y velocidades entre 900 y 3600 RPM.

Para transmitirse se utilizan líneas de 3 conductores, pero para utilización final se utilizan líneas de 4 hilos, que son las 3 fases y el neutro.



Figura 24. Motor trifásico.

Fuente: <https://continenteferretero.com/content/que-son-los-motores-trifasicos>

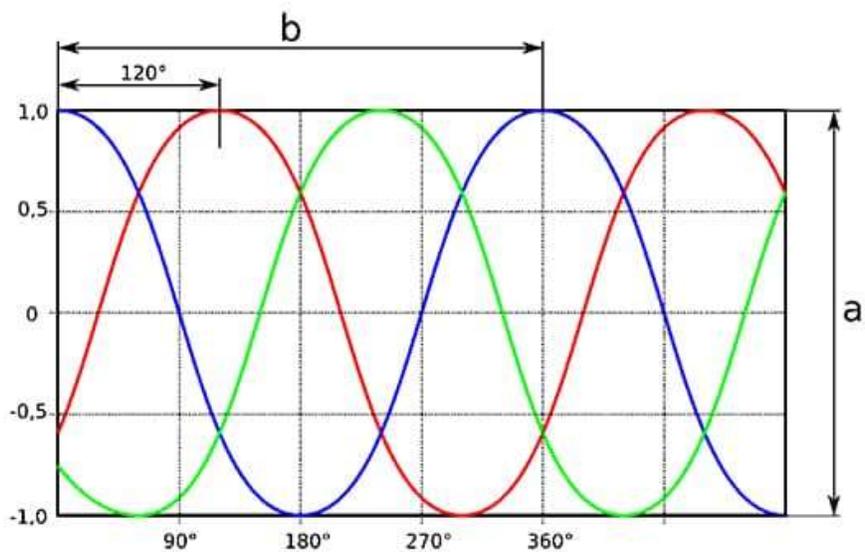


Figura 25. Tensión Motor trifásico.

Fuente: <https://continenterferretero.com/content/que-son-los-motores-trifasicos>

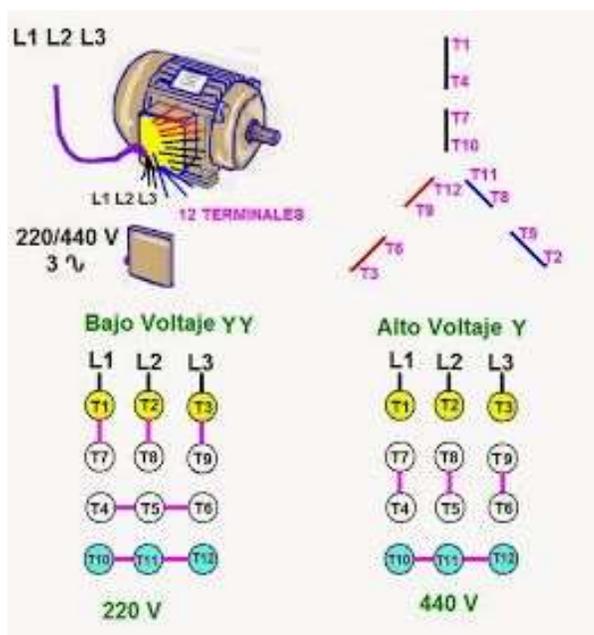


Figura 26. Conexión Motor trifásico.

Fuente: <https://www.pinterest.com.mx/pin/616500636461283147/>

4.4. Accesorios eléctricos.

Son dispositivos de alimentación de una instalación eléctrica, los cuales permiten la fácil, correcta y segura distribución de la energía eléctrica que será transformada en calor, luz o movimiento según sea el caso.

4.4.1. Totalizador. El Totalizador es un dispositivo para sumar la corriente de conductores individuales, (también las de un sistema de varios conductores) con ayuda de un convertidor de corriente total, considerando la dirección de la corriente.



Figura 27. Totalizador.

Fuente: <https://www.ecured.cu/Totalizador>

4.4.2. Interruptor termomagnético. Los interruptores termomagnéticos contienen dos mecanismos de conmutación diferentes: un interruptor bimetal y un electroimán. Acá explicamos cómo funcionan y para qué sirven.

Los interruptores termomagnéticos son dispositivos cuya función es interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando detecta valores mayores a ciertos límites.

En resumen, es un dispositivo de protección de instalaciones eléctricas y sus receptores frente a sobrecargas y cortocircuitos eléctricos. El interruptor cortará la corriente en un tiempo lo

suficientemente corto como para no perjudicar la instalación ni los aparatos conectados a ella.



Figura 28. Interruptor.

Fuente: <https://como-funciona.co/un-interruptor-termomagnetico/>

4.4.3. Contactores. Los contactores son dispositivos de conmutación eléctricos, similares a un relé. Los contactores pueden manejar niveles de corriente mucho más altos que los relés estándar, lo que los hace útiles para aplicaciones de equipos móviles. El contactor funciona aplicando un voltaje a la bobina, esto crea un campo magnético que mueve los contactos a la posición cerrada y completa el circuito. Una vez que se elimina el voltaje de la bobina, los contactos se abrirán nuevamente y desconectarán el circuito. La gran superficie de contacto y la gran cantidad de presión de contacto permiten que el contactor maneje las corrientes de entrada más altas que se ven típicamente en los mercados de equipos móviles.



Figura 29. Contactor.

Fuente: <https://motores-electricos.com.ar/contactores-que-son-y-para-que-sirven/#:~:text=El%20Contactor%20es%20un%20dispositivo,cierre%20de%20instalaciones%20de%20motores.>

4.4.4. Borneras. Las borneras eléctricas y Los conectores eléctricos son dispositivos para unir circuitos eléctricos.

Están compuestos generalmente de un enchufe (macho) y una base (hembra).

Se caracterizan por su patillaje y construcción física, tamaño, resistencia de contacto, aislamiento entre los pines, robustez y resistencia a la vibración, resistencia a la entrada de agua u otros contaminantes, resistencia a la presión, fiabilidad, tiempo de vida (número de conexiones/desconexiones antes de que falle), y facilidad de conexión y desconexión.

Pueden estar hechos para impedir que se conecten de manera incorrecta, conectando los pines equivocados donde van otros, y tener mecanismos de bloqueo para asegurar que están completamente conectados y no puedan soltarse o salirse.

Algunos conectores eléctricos están diseñados de tal manera que ciertos pines hagan contacto antes que otros hayan sido insertados, evitando así su rotura durante la desconexión; de esta manera se protegen los circuitos que suelen tener conectores eléctricos de alimentación, por

ejemplo, conectando la tierra común primero, y secuenciando las conexiones correctamente en aplicaciones de intercambio en caliente.

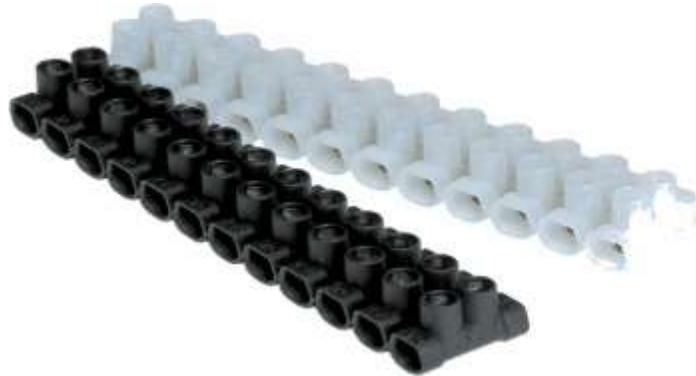


Figura 30. Borneras.

Fuente: <https://idelectricos.com.co/las-bornas-electricas/>

4.4.5. Cableado. Los cables de alimentación de los capacitores, deben dimensionarse teniendo en cuenta que su corriente nominal puede verse incrementada hasta un 50%. Entonces para dimensionar los conductores se utilizará la corriente nominal de cada capacitor y también la corriente total del banco de capacitores.

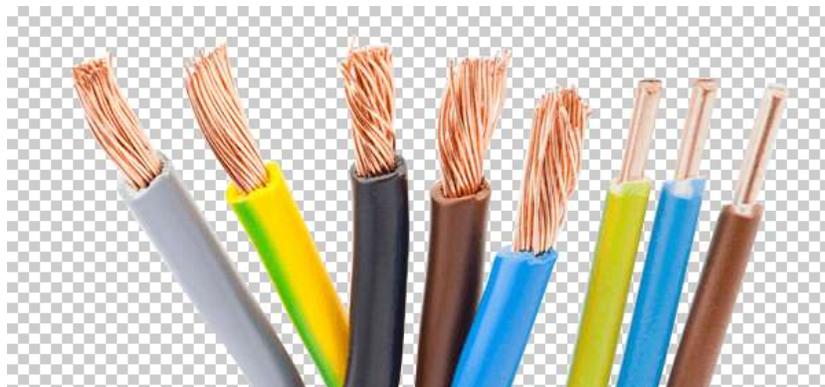


Figura 31. Cables eléctricos.

Fuente: <https://www.faradayos.info/2014/01/colores-cables-electricos-normas.html>

4.4.6. Riel omega. Fabricado en lámina de acero calibre 20 con tratamiento de galvanizado e irisado. Se utilizan en el interior de los tableros para el montaje de regletas, relés contactores, breakers o cualquier tablero modular que permita montaje en riel.

Apto para montaje en aparatos eléctricos de protección y mando, tanto en aplicaciones industriales como residenciales.

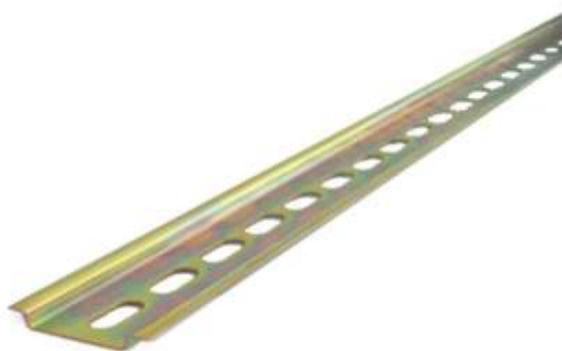


Figura 32. Riel omega.

Fuente: <https://interelectricos.com.co/breakers/216/riel-din-omega-perforado-x-1-metro>

4.4.7. Gabinete eléctrico. En una instalación eléctrica, el tablero eléctrico es imprescindible para la protección de equipos críticos. En los tableros eléctricos se encuentran los dispositivos de seguridad y los mecanismos de maniobra de dicha instalación.

En términos generales, un tablero eléctrico es un gabinete en el que se concentran los dispositivos de conexión, control, maniobra, protección, medida, señalización y distribución, todos estos dispositivos permiten que una instalación eléctrica funcione adecuadamente.

Dos de los constituyentes de los tableros eléctricos son: el medidor de consumo (mismo que no se puede alterar) e interruptor, que es un dispositivo que corta la corriente eléctrica una vez que se supera el consumo contratado. Es importante mencionar que el interruptor no tiene funciones de seguridad, solamente se encarga de limitar el nivel del consumo.

Para fabricar los tableros eléctricos se debe cumplir con una serie de normas que permitan su funcionamiento de forma adecuada cuando ya se le ha suministrado la energía eléctrica.

El cumplimiento de estas normas garantiza la seguridad tanto de las instalaciones en las que haya presencia de tableros eléctricos como de los operarios.



Figura 33. Gabinete eléctrico.

Fuente: <https://www.acdistrielectricas.com.co/encerramientos-o-gabinetes-metalicos-para-alojarse-eletrico/>

4.5. Software, aplicaciones y programación.

De los diferentes equipos que se han mencionado todos tienen un software, aplicaciones y programaciones diferentes, aun así, gracias a los diferentes protocolos de comunicación existentes es posible ponerlos a trabajar simultáneamente, por ejemplo, el analizador de redes lee los diferentes voltajes y convierte este dato en valores que le transfiere vía Modbus al autómata AMP1, el cual previamente fue programado bajo unos parámetros con la ayuda del software MGDMOD, a partir de ahí el autómata ejecuta las salidas para que se active el grupo de condensadores que sea indicado para realizar la compensación del desfase, a su vez el autómata se conecta a un dispositivo llamado GATEWAY el cual permite que se comunique en tiempo real con dispositivos electrónicos donde se puede visualizar y monitorear el sistema de control de factor de potencia con la aplicación MQTT.

4.5.1. Software Analizador de redes. Este dispositivo convierte las medidas de voltaje y corriente obtenidas en la red eléctrica en valores reconocidos por el autómata, estos dos

dispositivos se comunican por medio de un protocolo de comunicación Modbus. El protocolo Modbus es un protocolo de comunicación basado en una arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor. El principal objetivo del protocolo es facilitar la comunicación fiable y rápida entre dispositivos de automatización y campo.

Los modos operativos de transmisión de datos son los siguientes:

- MODBUS TCP: comunicación ETHERNET TCP/IP basada en un modelo cliente/servidor
- MODBUS RTU: transmisión asincrónica en serie a través de RS-232 o RS-485
- MODBUS ASCII: similar al protocolo RTU excepto por un formato de datos distinto; relativamente poco usado.

Interfaz de comunicación: soporta 1 circuito de comunicaciones RS-485 protocolo modbus-rtu, velocidad en baudios: 1200 ~ 9600bps, por defecto: 2400bps.

4.5.2. Mgdmod. Es un recurso de software destinado a la programación de autómatas programables AMPx. Está basado en el uso de máquinas de estado y código textual en lenguaje C. La aplicación Mgdmod opera bajo sistemas operativos Windows (TM) versión XP y superiores, esto permite abrir y editar aplicativos de automatización *.mgr, los cuales luego de ser compilados serán transmitidos al autómata AMPX.

Los autómatas AMPx operan bajo el sistema operativo MgdRtos, el cual funciona en el dominio de la frecuencia con tareas cooperativas con muestreo multifrecuencial, estas tareas son llamadas periódicamente en forma colaborativa, por lo tanto no deben contener ciclos de espera de eventos infinitos (loop, while, for, etc). Los resultados funcionales de las soluciones creadas con Mgdmod son de responsabilidad del integrador más no del entorno de desarrollo, siendo una herramienta de desarrollo rápido, lo cual implica la realización de trabajos de calidad en forma eficiente.

4.5.3. Autómata AMP1-E. Este tipo de autómata se puede programar desde un computador con la aplicación MGDMOD, con el concepto de máquinas de estados, donde se agregan los estados correspondientes y sus transiciones, controlando y agregando condiciones según sea

necesario, también se puede programar con lenguaje ladder. Este dispositivo se comunica vía Modbus con el analizador de corrientes, permitiéndole tomar decisiones previamente establecidas en el programa para controlar el disparo del condensador indicado.

El diagrama de aplicación permite crear tareas, agregarles variables en interconectarlas. Una aplicación está compuesta por bloques que pueden ser de interfaz y tareas. La ventana de aplicación es el fondo del programa y no se puede cerrar. Las interfaces al lado izquierdo son entradas físicas, de red y eventos. Para cada proyecto, su nombre puede ser editado. Las interfaces al lado derecho son salidas físicas, de red y atributos. Para cada proyecto, su nombre puede ser editado. Para agregar tareas o abrir otras ventanas, se pulsa click derecho sobre el fondo gris de la ventana de aplicación. Para realizar acciones sobre las interfaces de entrada y de salida, así como sobre las variables de las tareas, se pulsa click-derecho sobre la respectiva casilla. El diagrama de estados permite agregar estados, agregarles maniobras y transiciones. Para agregar, editar y retirar elementos de la secuencia, se debe pulsar click derecho sobre el elemento respectivo (título de estado, operando, comparador, argumento, enlace, destino, asignación, complemento, fondo de secuencia).

4.5.4. App MQTT para el celular. MQTT es un estándar OASIS para conectividad IoT. Es un protocolo de mensajería de publicación/suscripción, extremadamente simple y liviano, diseñado para dispositivos restringidos y redes de bajo ancho de banda, alta latencia o poco confiables.

Los principios de diseño son minimizar el ancho de banda de la red y los requisitos de recursos del dispositivo al mismo tiempo que intentan garantizar la confiabilidad y cierto grado de garantía de entrega.

Estos principios también hacen que el protocolo sea ideal para el mundo de los dispositivos conectados del "Internet de las cosas", y para las aplicaciones móviles donde el ancho de banda y la energía de la batería son escasos.

MQTT, es un protocolo que permite publicación y suscripción de mensajes, comunicación bidireccional y acuses de recibo de dichos mensajes, por medio del dispositivo Gateway es posible conectar el autómata a la aplicación donde se puede visualizar en tiempo real lo que está sucediendo, en este caso sobre el factor de potencia.

5. Metodología

5.1 Tipo de Proyecto

Este tipo de proyecto es experimental, ya que se realizarán mediciones y cálculos reales para después obtener comparativos y proponer la solución.

5.2 Método

Se iniciará con mediciones en los diferentes dispositivos eléctricos como motores trifásicos y transformador, se asentarán los resultados obtenidos inicialmente, se procederá a realizar cálculos para analizar las diferencias en armónicos, reactancias y el factor de potencia, y a partir de los resultados, implementar el plan de acción que consiste en diseñar el control automático del banco de condensadores, que nos pueda corregir el factor de potencia. Para tal fin se realizarán las siguientes actividades:

Hacer un levantamiento del sistema eléctrico de la planta de asfaltos. Caracterizar la planta de Asfaltos Colombia, en cuanto a su sistema eléctrico. Obtener información de la calidad de la energía consumida. Revisar las facturas de consumo de energía eléctrica y establecer la línea base de consumo.

Diseñar el sistema de detección de corriente y voltaje. Diseñar el sistema de medición, control y monitoreo, a partir de la caracterización. Implementar el sistema, teniendo en cuenta las características de la carga conectada en la empresa. Configurar el analizador de señales, que entregue la información de desfase al autómata. Seleccionar los bancos capacitivos para corrección del factor de potencia. Probar el funcionamiento del sistema de control y monitoreo, para su validación.

Implementar un sistema de comunicación que permita la obtención de la información de consumo eléctrico y desfase. Definir el servidor a utilizar para recolectar los datos de consumo y operación. Realizar la captura remota de los datos. Analizar los consumos en la empresa y

generar alertas al personal de mantenimiento, mediante la recolección de la información obtenida. Establecer las ventajas del sistema implementado.

5.3 Instrumentos de recolección de información

5.3.1. Fuentes Primarias. Consultas al personal de mantenimiento eléctrico de la empresa.

5.3.2. Fuentes Secundarias. Consultas en páginas web.

6. Resultados

En el gabinete eléctrico como muestra la figura a continuación se puede apreciar que la conexión inicia con el totalizador principal, este se energiza con las líneas principales de la red eléctrica de la empresa a 440 V. de este salen dos líneas para dos contactores que alimentan cada uno de ellos un grupo de condensadores.

El analizador de red está conectado desde las líneas del totalizador principal, de igual manera está conectado a tres transformadores de corriente uno en cada línea, estos transformadores de corriente se encargan de medir el consumo de energía para el control del factor de potencia, el analizador se conecta vía Modbus al autómata Amp1-e, pasándole la información que obtiene de la lectura del factor de potencia, con el fin de que el autómata que se encuentra conectado a los relés de cada contactor, active la salida indicada según fue programado para cada situación.

El Gateway se comunica también vía Modbus con el autómata para poder compartir la información de manera inalámbrica y a distancia a los dispositivos electrónicos que tengan la aplicación MQTT y el código de acceso.

Los componentes electrónicos de control como el Autómata y el Gateway se alimentan de una fuente de 12V. y la fuente a 220V o 110V.

El motor trifásico está conectado a la línea de 440V, cada vez que el motor está en funcionamiento este genera un consumo de energía eléctrica, que es detectado por los transformadores de corriente y estos valores son leídos por el analizador de redes, por ser una carga inductiva genera potencia reactiva en la red eléctrica, ocasionando desfases que terminan por afectar el factor de potencia, para esto se realiza el montaje automático que pueda controlar según sea la necesidad la entrada o salida de los dos grupos de condensadores y así compensar el desfase.

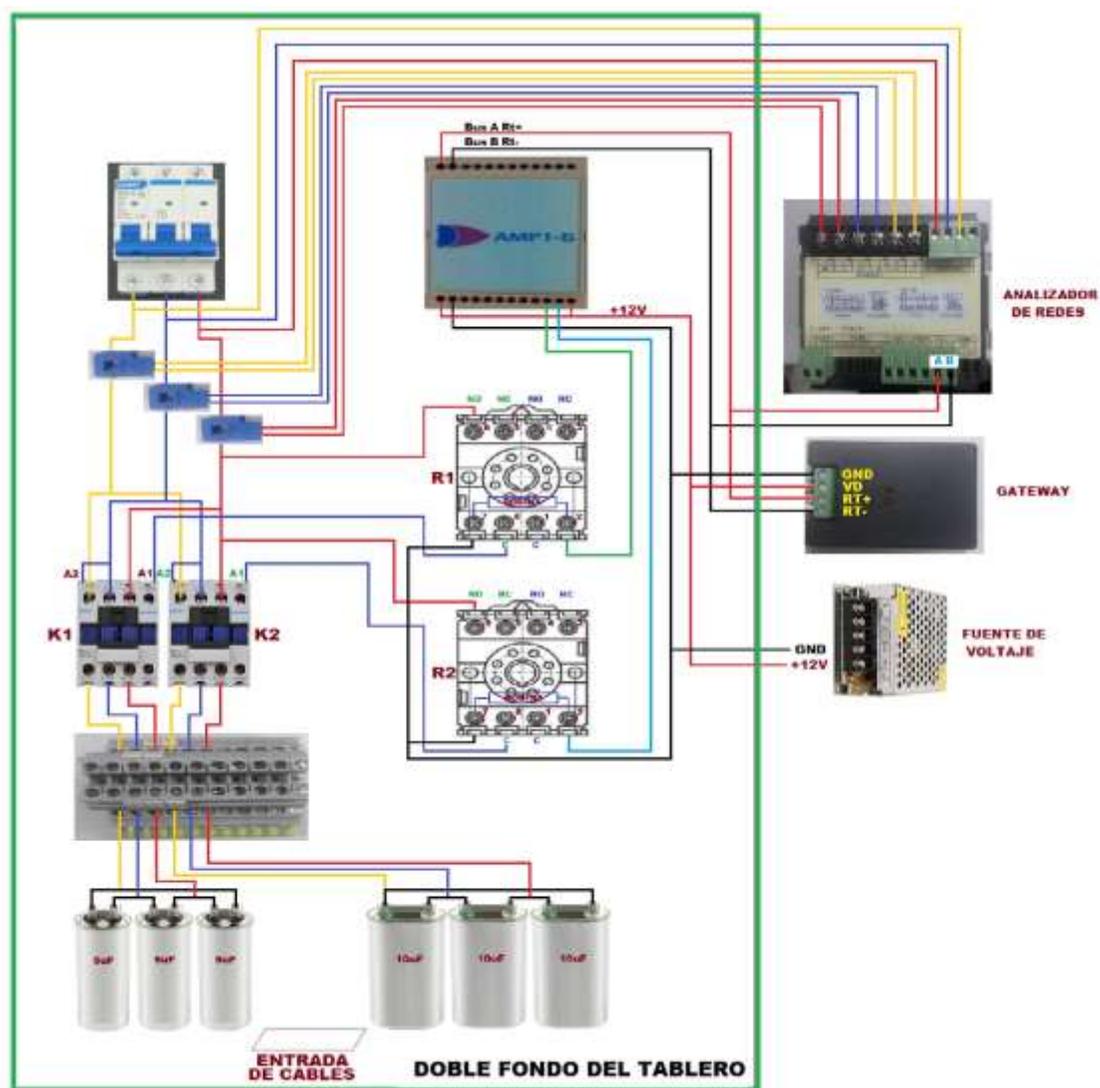


Figura 34. Plano pictórico.
Fuente: Propia.

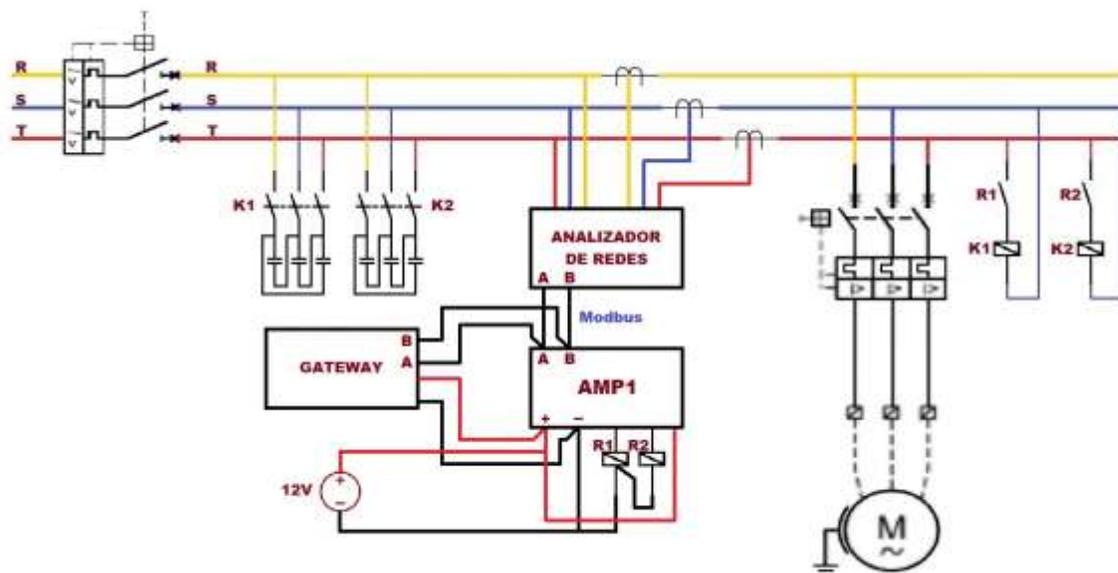


Figura 35. Plano esquemático tablero de control eléctrico banco capacitivo.
Fuente: Propia.

En base a las mediciones realizadas por el personal de EPM, se realiza un reporte indicando que existe un bajo factor de potencia, el cual debe ser corregido lo más pronto posible, para evitar sanciones económicas como lo establece la norma CREG. Por tal motivo la empresa Asfaltadora Colombia SAS realiza mediciones y análisis por su cuenta para poder tomar acciones correctivas.

6.1. Descripción característica de medición

Tabla 1

Medición en transformador

| Punto | Nombre de la Carga y Punto de Instalación Equipo | Equipo instalado | Tipo Conexión | Duración | Intervalo Lectura |
|-------|--|------------------|--|---|-------------------|
| 1 | Transformador N°1 (400KVA) | Dranetz | Estrella 3F 4H,4 pinzas, Tipo Fija, Conectores de Tensión | Inicio: 09-10-2021 15:20:00 Final: 16-10-2021 14:50:00 | 10 min |

Fuente. Propia

Se realizaron pruebas en la subestación eléctrica de la empresa, donde se utilizó un equipo analizador de redes eléctricas Dranetz, conectado al transformador de 400 Kva, para tomar estas medidas se debe dejar ocho días conectado al transformador, realizando mediciones en alta, media y baja tensión.

Una vez terminado el tiempo de las pruebas, se retira el analizador y se lleva al laboratorio eléctrico de la empresa contratista, allí evalúan los resultados, parámetros y finalmente obtienen el resultado de las diferentes variables, entre ellas el factor de potencia, arrojando como resultado un bajo factor de potencia, en 0.86.

Debido a esta situación, se evidencia que el banco de condensadores actual no está trabajando correctamente, y se requiere que sea intervenido lo más pronto posible, y como solución se propone un sistema automático que lo controle, y a partir de ahí corrija el factor de potencia en alta, media y baja tensión, según sea el caso.

6.2 Resultados de las mediciones, punto 1-transformador 400 Kva 13.200/440-254 V

Se realizó el estudio de los parámetros obtenidos luego de las mediciones, considerando 3 escenarios:

Tabla 2

Resultados de medición en transformador 400 Kva

| | Fecha Inicio | Hora Inicio | Fecha Fin | Hora Fin | Descripción |
|--------------------|--------------|-------------|------------|----------|-----------------|
| ESCENARIO 1 | 11-10-2021 | 6:10 | 11-10-2021 | 17:00 | Plena Carga |
| | 12-10-2021 | 6:00 | 12-10-2021 | 15:10 | |
| | 13-10-2021 | 6:00 | 13-10-2021 | 10:50 | |
| | 14-10-2021 | 6:00 | 14-10-2021 | 9:30 | |
| ESCENARIO 2 | 09-10-2021 | 15:20 | 11-10-2021 | 6:00 | Baja Carga |
| | 11-10-2021 | 17:10 | 12-10-2021 | 5:50 | |
| | 12-10-2021 | 15:20 | 13-10-2021 | 5:50 | |
| | 13-10-2021 | 11:00 | 14-10-2021 | 5:50 | |
| | 15-10-2021 | 11:40 | 16-10-2021 | 14:50 | |
| ESCENARIO 3 | 14-10-2021 | 9:40 | 15-10-2021 | 11:10 | Capacitores Off |

Fuente. Propia

6.3. Programación.

El autómata AMP1-E es un dispositivo electrónico programable, el cual por medio de la aplicación Mgdmod se le carga la información deseada, en este caso se programa con la ayuda del programa con máquinas de estados, a través del protocolo de comunicación Modbus se comunica con el analizador de redes y según el dato que le pase este analizador con respecto al valor del factor de potencia este da la orden y activa el condensador apropiado para regular el desfase presentado.

El diagrama de aplicación permite crear tareas, agregarles variables en interconectarlas. Una aplicación está compuesta por bloques que pueden ser de interfaz y tareas. La ventana de aplicación es el fondo del programa y no se puede cerrar. Las interfaces al lado izquierdo son entradas físicas, de red y eventos. Para cada proyecto, su nombre puede ser editado. Las interfaces al lado derecho son salidas físicas, de red y atributos. Para cada proyecto, su nombre puede ser editado. Para agregar tareas o abrir otras ventanas, se pulsa click derecho sobre el fondo gris de la ventana de aplicación. Para realizar acciones sobre las interfaces de entrada y de salida, así como sobre las variables de las tareas, se pulsa click derecho sobre la respectiva casilla. El diagrama de estados permite agregar estados, agregarles maniobras y transiciones.

Para agregar, editar y retirar elementos de la secuencia, se debe pulsar click derecho sobre el elemento respectivo (título de estado, operando, comparador, argumento, enlace, destino, asignación, complemento, fondo de secuencia).

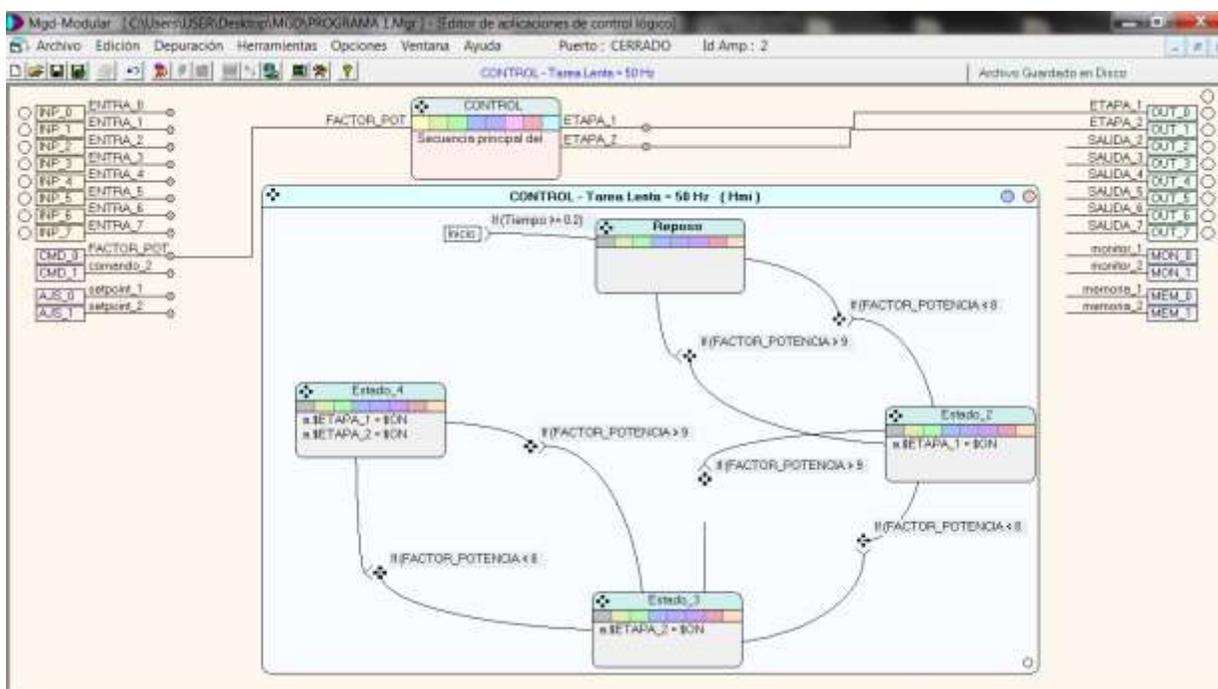


Figura 36. Programación del AMP1 desde el MGDMOD máquinas de estado.
Fuente: propia.

En la figura anterior se puede observar como por medio del software MGDMOD se programa el AMP1, utilizando el concepto de máquinas de estado, se emplean 4 estados con 8 transiciones en las cuales se agregan las condiciones deseadas para el control del factor de potencia. Con una sola entrada llamada factor de potencia y dos salidas, etapa 1 y etapa 2.

Otra manera de visualizar la programación de este autómata es por medio del lenguaje ladder, donde por medio de estados y contactos abiertos o cerrados se define el programa y como debe funcionar el autómata a la hora de activar algún grupo de condensadores según sea necesario.

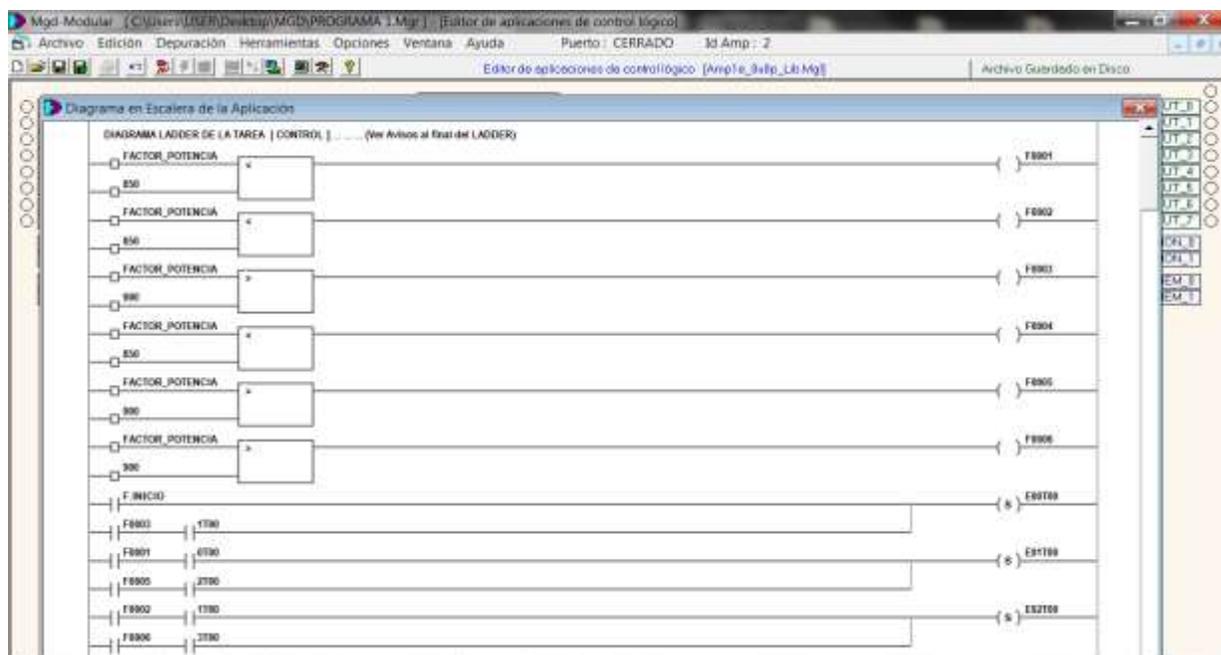


Figura 37. Programación del AMP1 desde el MGDMOD lenguaje Ladder.
Fuente: propia.

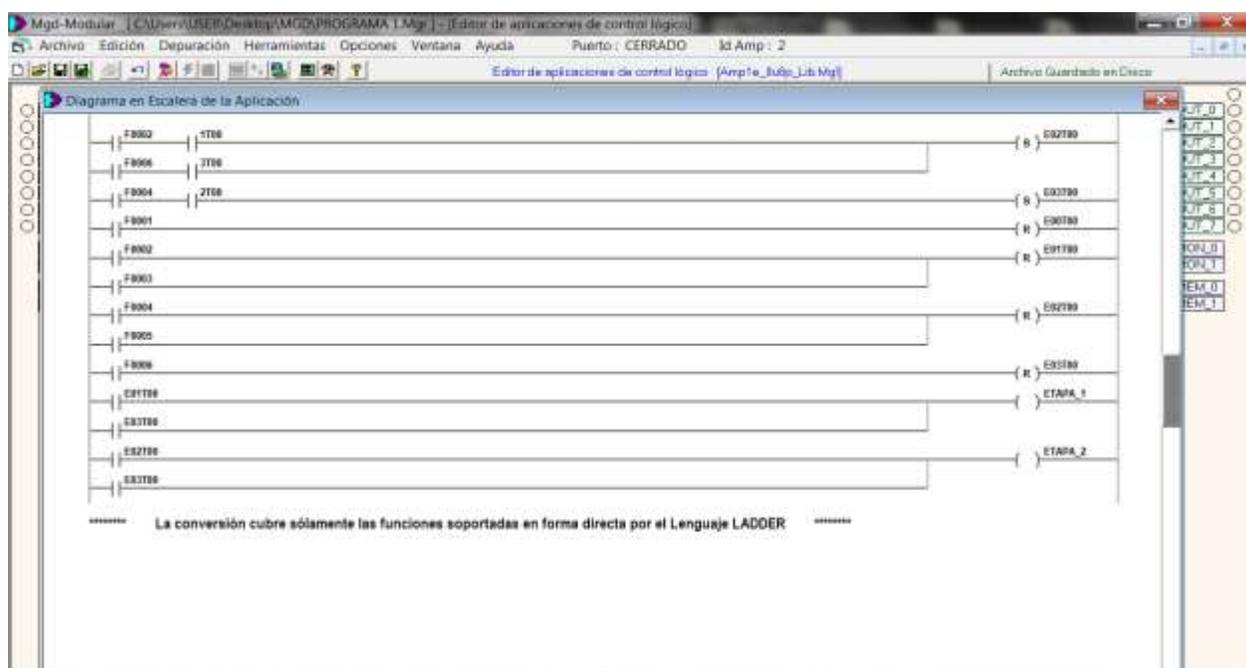


Figura 38. Programación del AMP1 desde el MGDMOD lenguaje Ladder.
Fuente: propia.

Después de programar el autómata se procede a compilar la información y se hace la debida conexión con el Gateway, desde el mismo programa MGDMOD en el menú de herramientas, se selecciona configurar Gateway, se busca el dispositivo MQTT que es la aplicación que permitirá visualizar el comportamiento del factor de potencia.

Se diligencian los campos requeridos para generar la conexión y compartir la información entre el autómata y la app, finalmente el tópicos será el código que se debe ingresar desde la aplicación MQTT del celular o dispositivo móvil para poder finalizar toda la conexión y poder interactuar con la app.

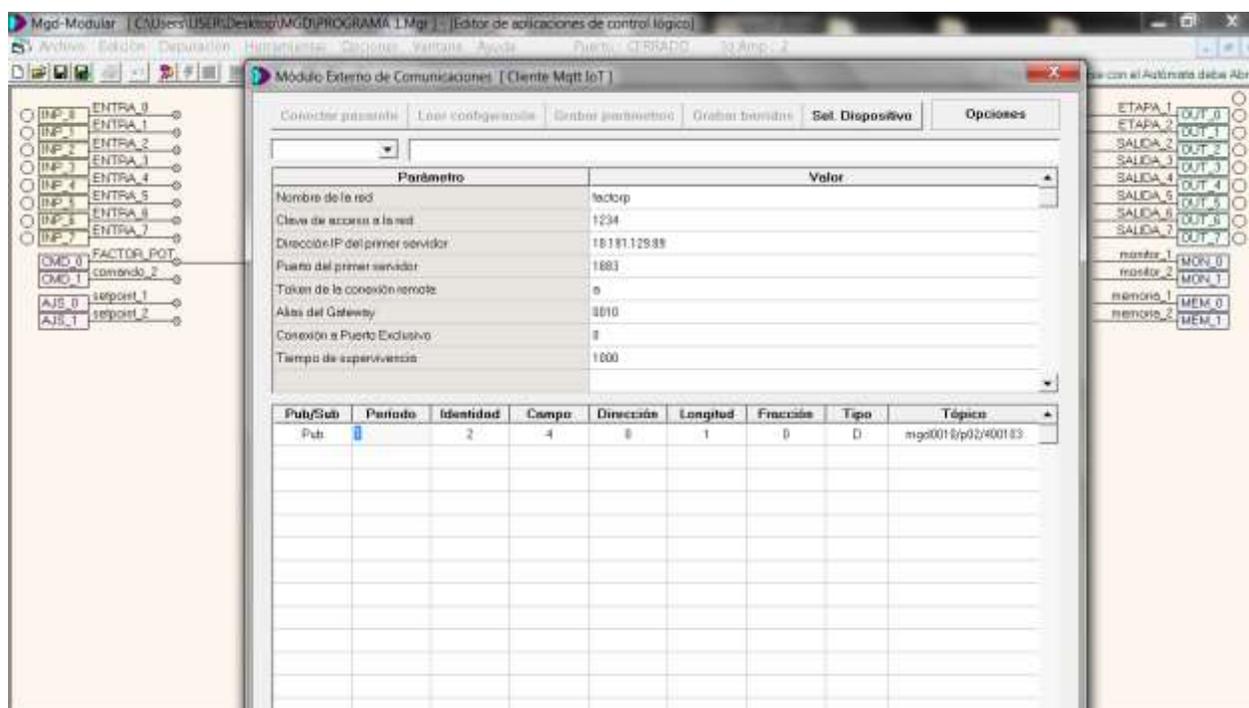


Figura 39. Programación del Gateway desde el MGDMOD.

Fuente: propia

7. Conclusiones

Para lograr tener un buen sistema eléctrico se debe contar con una buena instalación, soportado con cálculos y sistemas que ayuden a la correcta eficiencia de la energía.

Disponer de un sistema de control automático que controle el desfase y el factor de potencia facilita y agiliza los procesos de mantenimiento en la empresa, ya que se evitan paros imprevistos y acorta el tiempo de los paros programadas por algún mantenimiento.

Innovar, aplicar y capacitar al personal de la empresa sobre el uso de nuevas herramientas que ayudaran al mejoramiento del proceso, es muy importante, ya que a la vez también se evitan castigos económicos por parte de la red que suministra el servicio.

8. Recomendaciones

- Se debe tener en cuenta el preoperacional de la planta cada vez que se inicia producción.
- Se requiere la inspección de las partes mecánicas y eléctricas de cada componente de la planta.
- Iniciar el SCADA de la planta, ingresar códigos de acceso para la operación del proceso.
- Los componentes eléctricos de la planta se inspeccionan y se toman muestras de corriente y voltaje según el tiempo de producción en la planta.
- Capacitar al personal de mantenimiento sobre el sistema que se está implementando.
- La manipulación de la subestación eléctrica y banco de condensadores solo debe ser operada por personal calificado.

9. Referencias Bibliográficas

- *apolocreg.gov.co*. (03 de 07 de 1997). Obtenido de *apolocreg.gov.co*:
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-1997-CR108-97#:~:text=Art%C3%ADculo%2024%C2%BA.&text=La%20medici%C3%B3n%20de%20los%20consumos,medici%C3%B3n%20individual%20de%20su%20consumo>

- *apolocreg.gov.co*. (26 de 07 de 2005). Obtenido de *apolocreg.gov.co*:
<http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-2004-CREG047-2004>

- *funcionpublica.gov.co*. (17 de 06 de 2013). Obtenido de *funcionpublica.gov.co*:
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=65468>

- *Hgingenieria*. (08 de 05 de 2019). Obtenido de *Hgingenieria*:
<https://hgingenieria.com.co/banco-de-condensadores-que-es-y-para-que-sirve/>

- *RISOUL*. (05 de 02 de 2021). Obtenido de:
<https://www.risoul.com.mx/blog/que-es-el-factor-de-potencia-y-en-que-me-beneficia>

- *Tecvolucion*. (15 de 01 de 2018). Obtenido de *Tecvolucion*:
<https://www.tecvolucion.net/wp/>

10. Anexos

Anexo A: Autómata AMP1-E

<http://www.tecvolucion.net/mgdr/Manual%20de%20usuario%20AMP1-E%20U8Q.pdf>

Anexo B: Tecvolucion.

<https://www.tecvolucion.net/wp/>

Anexo C: Software MQTT.

<http://www.tecvolucion.net/mgdr/Manual%20de%20usuario%20Enlace%20Amp-Mqtt.pdf>

Anexo D: Instalación Mgdmod.

<http://www.tecvolucion.net/mgdr/Guia%20de%20instalacion%20del%20software%20MgdMod.pdf>

Anexo E: Características de lenguaje Mgdmod.

<http://www.tecvolucion.net/mgdr/Lenguajes%20del%20Mgdmod.pdf>

Anexo F: Características. Mgdmod

<http://www.tecvolucion.net/mgdr/Lenguajes%20del%20Mgdmod.pdf>

Anexo G: Norma CREG.

<https://www.creg.gov.co/>