


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

## FACULTAD DE INGENIERIA E INDUSTRIA

### CARRERA DE ELECTRICIDAD

# ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL BANCO DE CAPACITORES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL TERMINAL CUENCA DE PETROECUADOR

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICO**

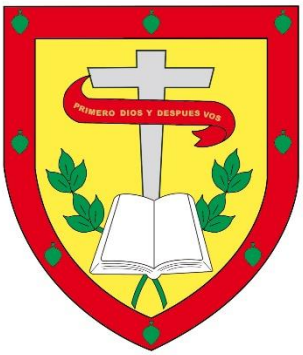
**AUTOR: DOMÍNGUEZ BANEGAS CHRISTIAN JESÚS**

**DIRECTOR: PABLO DANILO ARIAS REYES**

**CUENCA - ECUADOR**

**2026**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**




# UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

## FACULTAD DE INGENIERIA E INDUSTRIA

## CARRERA DE ELECTRICIDAD

ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA EN EL BANCO DE CAPACITORES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO DEL TERMINAL CUENCA DE PETROECUADOR

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRICO**

**AUTOR: DOMÍNGUEZ BANEGAS CHRISTIAN JESÚS**

**DIRECTOR: PABLO DANILO ARIAS REYES**

**CUENCA - ECUADOR**

**2026**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

**DECLARATORIA DE AUTORIA Y RESPONSABILIDAD**

Christian Jesús Dominguez Banegas portador de la cédula de ciudadanía Nº 0105214332. Declaro ser el autor de la obra: "Análisis de calidad de energía en el banco de capacitores en el sistema eléctrico del Terminal Cuenca de Petroecuador", sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 22 de octubre de 2026



F: ……..
Christian Jesús Dominguez Banegas
0105214332

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Christian Jesús Dominguez Banegas, bajo mi supervisión.

Validar únicamente en FirmaEC.
Firmado electrónicamente por:
PABLO DANILO ARIAS REYES

**Ing. Pablo Arias Reyes MsC.**

**DIRECTOR**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia por el apoyo y a la empresa por la apertura para poder realizar mi tesis

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tiene como objetivo principal determinar los requerimientos actuales de potencia reactiva del sistema eléctrico del Terminal de Productos Limpios Cuenca de EP Petroecuador, mediante el análisis de la calidad de energía bajo las condiciones reales de operación de la carga existente.

El estudio se realizó con un enfoque cuantitativo, descriptivo y analítico, empleando como instrumento de medición principal un analizador de calidad de energía Fluke 435 Serie II, con el que se registraron magnitudes eléctricas como tensión, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia y la distorsión armónica total de tensión (THDv).

Por otra parte, se examinó la información histórica facilitada y disponible de facturación eléctrica para valorar el comportamiento del factor de potencia y determinar las necesidades de compensación reactiva de la instalación. También se verificó que los niveles de distorsión armónica total de tensión se encuentren dentro de los límites estipulados por la norma IEEE 519-2022



**Palabras clave:** calidad de energía, potencia reactiva, banco de capacitores, factor de potencia, IEEE 519-2022, compensación reactiva

**ABSTRACT**

This research aimed to determine the current reactive power requirements of the electrical system at EP Petroecuador's Cuenca Clean Products Terminal by analyzing power quality under the actual operating conditions of the existing load. The study employed a quantitative, descriptive, and analytical approach. A Fluke 435 Series II Power Quality Analyzer was used as the primary measurement instrument to record electrical parameters, including voltage, current, active power, reactive power, apparent power, power factor, and total voltage harmonic distortion (THDv). Additionally, available historical electricity billing data were examined to assess power factor behavior and determine the facility's reactive power compensation requirements. Finally, compliance of total voltage harmonic distortion levels with the limits established by IEEE Standard 519-2022 was verified.

*Keywords*: power quality, reactive power, capacitor bank, power factor.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN ..... III
AGRADECIMIENTOS ..... IV
RESUMEN ..... V
ABSTRACT ..... VI
ÍNDICE DE CONTENIDO ..... VII
LISTA DE FIGURAS ..... IX
LISTA DE TABLAS ..... X
LISTA DE ANEXOS ..... XI
CAPITULO 1 ..... 13
INTRODUCCIÓN ..... 13
1.1 Objetivos ..... 13
1.2 Alcance ..... 13
1.3 Justificación ..... 14
CAPITULO 2 ..... 15
FUNDAMENTACION TEORICA ..... 15
2.1 Calidad de energía ..... 15
2.1.1 Concepto de calidad de la energía ..... 15
2.1.2 Analizadores de calidad de la energía ..... 15
2.1.3 Parámetro Voltaje ..... 16
2.1.4 Parámetro Corriente ..... 17
2.1.5 Parámetro potencia eléctrica ..... 17
2.1.6 Parámetro factor de potencia ..... 20
2.1.7 Distorsión Armónica Total de Tensión (THD-v) ..... 20
2.2 Sistema de compensación de potencia reactiva ..... 21
2.2.1 Bancos de capacitores automáticos ..... 21
2.2.2 Dimensionamiento ..... 22
2.2.3 Efectos de una compensación reactiva no optima ..... 24
2.3 Norma IEEE 519 ..... 25
2.4 Regulación ecuatoriana sobre el factor de potencia ..... 26
CAPITULO 3 ..... 27
METODOLOGIA Y CONDICIONES INICIALES DEL ANALISIS ..... 27
3.1 Enfoque y tipo de investigación ..... 27
3.2 Descripción y caracterización del sistema eléctrico de estudio ..... 28
3.2.1 Ubicación del proyecto ..... 28

3.2.2 Características técnicas....29
3.3 Procedimiento de análisis y criterios de evaluación....38
CAPITULO 4....38
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS....38
4.1 Análisis y medición de parámetros eléctricos....38
4.1.1 Condiciones de operación durante el monitoreo....38
4.1.2 Conexión del equipo FLUKE 435 y obtención de datos....39
4.1.3 Potencia activa analizada....41
4.1.4 Potencia reactiva analizada....41
4.1.5 Potencia aparente analizada....42
4.1.6 Factor de potencia analizado....43
4.1.7 Análisis de la Distorsión Armónica Total de voltaje THDv....45
4.1.8 Voltaje analizado....46
4.1.9 Corriente analizada....48
4.2 Determinación de la capacidad requerida del sistema de compensación de potencia reactiva....48
4.3 Cálculo de la potencia reactiva requerida....51
4.4 Evaluación de la distorsión armónica de tensión conforme a la IEEE 519-2022....53
CONCLUSIONES....53
RECOMENDACIONES....55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS....56
ANEXOS....58

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Analizador de calidad de energía Fluke 435-II Series. ..... 16
Figura 2. Diagramas fasoriales de circuitos resistivo, inductivo y capacitivo. ..... 20
Figura 3 Formación de una onda de tensión distorsionada por la superposición de componentes armónicas. ..... 21
*Figura 4. Esquema de funcionamiento de un banco de capacitores automático.* ..... 22
Figura 5. Representación gráfica del dimensionamiento de un banco de capacitores mediante el triángulo de potencias. ..... 23
Figura 6. Vista frontal de los tanques de almacenamiento de Productos Limpios TCU ..... 29
Figura 7. Diagrama unifilar del banco automático de capacitores del Terminal de Productos Limpios Cuenca. ..... 33
Figura 8. Vista frontal del Banco de capacitores KVAR-01 durante el proceso de medición. 34
Figura 9. Instalación del analizador de calidad de energía FLUKE 435 Serie II en el gabinete del banco de capacitores. ..... 40
Figura 10. Visualización de datos mediante el software PowerLog 5.9 ..... 40
Figura 12. Grafica estadística obtenida por el software POWER LOG 5.9 ..... 45

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Límites de distorsión armónica total de tensión (THD-V) en el punto de acoplamiento común (PCC) según IEEE 519-2022 ..... 26
Tabla 2. Criterios para la aplicación de penalización por bajo factor de potencia según la Regulación ARCONEL 006/25 ..... 26
Tabla 3. Características técnicas del Transformador TCU-XFMR-7200 ..... 29
Tabla 4. Listado de cargas diseñadas y que se encuentran deshabilitadas ..... 30
Tabla 5. Características técnicas del banco de capacitores ..... 31
Tabla 6. Características técnicas de los condensadores ..... 33
Tabla 7. Características técnicas de las protecciones ..... 35
Tabla 8. Características técnicas del contactor Siemens 3RT1647-1A ..... 36
Tabla 9. Características técnicas del controlador de factor de potencia EPCOS BR6000 ..... 37
Tabla 10. Resultados obtenidos con el analizador de calidad de energía en Potencia Activa ..... 41
Tabla 11. Resultados obtenidos con el analizador de calidad de energía en Potencia Reactiva ..... 41
Tabla 12. Resultados obtenidos con el analizador de calidad de energía en Potencia Aparente ..... 42
Tabla 13. Resultados obtenidos con el analizador de calidad de energía en Factor de Potencia ..... 43
Tabla 144. Resultados obtenidos con el analizador de calidad de energía en distorsión armónica total de tensión. ..... 45
Tabla 155. Resultados obtenidos con el analizador de calidad de energía en voltaje. ..... 46
Tabla 166. Resultados obtenidos con el analizador de calidad de energía en corriente ..... 48
Tabla 177. Resumen de los parámetros eléctricos obtenidos de las facturas de energía eléctrica ..... 49
Tabla 188. Resumen de los parámetros eléctricos obtenidos de la distorsión armónica total de voltaje ..... 53

## LISTA DE ANEXOS

**Anexo 1:** Registro Fotográfico, instalación de analizador de energía .....58
**Anexo 2:** Registro Fotográfico, medición de estado de capacitores .....59
**Anexo 3:** Registro Fotográfico, medición de parámetros eléctricos de banco de capacitores .....60
**Anexo 4:** Registro Fotográfico, controlador BR 6000 de banco de capacitores.....61
**Anexo 5:** Registro Fotográfico, vista lateral de condensador de capacitores.....62
**Anexo 6:** Registro Fotográfico, contactor SIEMENS banco de capacitores. .....63
**Anexo 7:** Registro Fotográfico, protecciones SIEMENS de pasos banco de capacitores. ....64
**Anexo 8:** Extracto 1 del plano PEQ001-07-OEP-0000-DE-E702-0021=2. Centro cargas emergente.....65
**Anexo 9:** Extracto 2 del plano PEQ001-07-OEP-0000-DE-E702-0021=2. Centro cargas emergente.....66
**Anexo 10:** Extracto del plano PEQ001-07-OEP-0000-DE-E702-0019=4.Distribucion eléctrica del Terminal TCU. .....67
**Anexo 11:** Extracto del plano PEQ001-07-OEP-0000-DE-E702-0019=4, distribución eléctrica hacia el centro de cargas de emergencia. .....68
**Anexo 15:** *Hoja grafica potencia tensión y corriente vs tiempo de datos obtenidos del analizador FLUKE 435 – II SERIES* .....70

# INTRODUCCIÓN

Los procesos industriales en las últimas décadas han estado sujetos al uso creciente de tecnologías digitales cada vez más eficientes e incluso capaces de solventar por si mismas defectos o fallos en las líneas de producción, que son características propias de una industria 4.0 en desarrollo.

Para que esto sea posible los equipos e instrumentación de campo han tenido que migrar sus características a una estructura electrónica dependiente del uso amplificado de convertidores, lo que ha llevado a una creciente demanda de energía dentro de los sistemas eléctricos industriales modernos, que se han visto inmersos en perturbaciones o distorsiones en la calidad de la energía.

La presencia de cargas no lineales, tales como variadores de velocidad, equipos electrónicos de potencia y sistemas automatizados, ha provocado la aparición de diversos problemas relacionados con la calidad de la energía eléctrica. Por esta razón, es fundamental la implementación de equipos de compensación que permitan mejorar las condiciones de operación del sistema eléctrico, contribuyendo al mantenimiento de niveles adecuados de factor de potencia y a la reducción de las perturbaciones presentes en la red.

Como solución técnica los bancos de capacitores cumplen ese criterio; al compensar la potencia reactiva y mejorar el factor de potencia. Sin embargo; si el mismo no funciona adecuadamente puede traer consigo problemas de bajo factor de potencia e incidencia de perturbaciones en la red al momento que los procesos de producción estén en marcha, sin mencionar las pérdidas económicas derivadas por penalizaciones por consumo de energía reactiva, como ocurre en el caso de estudio desarrollado en el presente trabajo.

De ahí la importancia de efectuar un análisis de la calidad de energía que permita tener un panorama real de las condiciones de operación del sistema eléctrico. En los siguientes capítulos se detalla el proceso técnico que se llevara a cabo para el análisis de los parámetros que afectan la calidad del servicio, mediante la utilización del equipo analizador Fluke 435 Series II Power Quality and Energy Analyzer con mediciones en tiempo real que permite evaluar el comportamiento del sistema bajo condiciones operativas reales.

# CAPITULO 1
# INTRODUCCIÓN

## 1.1 Objetivos

### 1.1.1 Objetivo general

Determinar los requerimientos actuales de potencia reactiva de las instalaciones del Terminal de Productos Limpios Cuenca de Petroecuador bajo las condiciones reales de operación de la carga existente, mediante el análisis de la calidad de energía del sistema eléctrico.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar las condiciones operativas del sistema eléctrico del Terminal de Productos Limpios Cuenca de Petroecuador, incluyendo tipo de cargas, configuración del banco de capacitores y condiciones de medición.
- Registrar y analizar parámetros eléctricos como voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, factor de potencia y distorsión armónica total de voltaje (THDv), mediante mediciones en campo en condiciones reales de operación.
- Analizar el comportamiento del banco de capacitores automático en función de la compensación de potencia reactiva, considerando su efecto sobre el factor de potencia y la calidad de energía.
- Comparar los resultados obtenidos con los límites establecidos en la norma IEEE 519, para determinar el nivel de cumplimiento en términos de distorsión armónica total de voltaje.
- Formular recomendaciones orientadas a optimizar la operación del banco de capacitores y mejorar la calidad de energía del sistema eléctrico.

## 1.2 Alcance

La investigación se realizó en el sistema eléctrico del Terminal de Productos Limpios Cuenca de EP Petroecuador, analizando los parámetros eléctricos de una medición de 7 días mediante un analizador de calidad de energía Fluke 435 Serie II. El estudio comprende la evaluación del comportamiento de voltaje, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia y distorsión armónica total de tensión (THDV), así como el análisis de desempeño del banco automático de capacitores existente.

Con base en los resultados obtenidos y en el análisis de la información histórica de facturación eléctrica, se determinará la capacidad de compensación requerida. La verificación

del cumplimiento de la IEEE 519-2022 se limitará a la evaluación de la distorsión armónica total de tensión (THDv), de acuerdo con la información disponible durante la investigación.

### 1.3 Justificación

El desarrollo de esta investigación se justifica por la necesidad de realizar un análisis técnico de los parámetros de calidad de la energía de los sistemas eléctricos del Terminal de Productos Limpios Cuenca debido a que actualmente se desconocen las condiciones reales de carga, causado por el desmantelamiento obligado de gran parte de la infraestructura por la existencia de problemas estructurales en la planta.

Estos cambios redujeron la demanda eléctrica respecto a la prevista en el diseño original modificando significativamente las condiciones de operación del sistema eléctrico ocasionando inconvenientes en el funcionamiento del banco de capacitores existente, derivando en eventuales penalizaciones por bajo factor de potencia.

De ahí la necesidad de efectuar un estudio de análisis de la calidad de la energía para establecer criterios técnicos que permitan optimizar la compensación de potencia reactiva, o dar recomendaciones que permitan realizar ajustes a los elementos existentes para de esa forma garantizar una operación adecuada del sistema eléctrico.

El equipo analizador Fluke 435 Series II Power Quality and Energy Analyzer, brinda una visión amplia de las condiciones actuales de funcionamiento y analiza variables clave de la calidad de energía, como la distorsión armónica total de voltaje (THDv), el factor de potencia y la potencia del sistema.

El resultado de este estudio permite evaluar el sistema con los criterios establecidos en la norma IEEE 519, considerando que las instalaciones requieren elevados niveles de confiabilidad y cumplimiento de los parámetros de calidad de energía.

En el ámbito académico, este trabajo aporta valor al integrar análisis de calidad de energía con mediciones reales en un entorno industrial, lo que fortalece el conocimiento aplicado en ingeniería eléctrica. Finalmente, desde una perspectiva empresarial, los resultados pueden servir como base para la toma de decisiones técnicas en la operación y mantenimiento del sistema eléctrico del Terminal de Productos Limpios Cuenca de Petroecuador.

# CAPITULO 2
# FUNDAMENTACION TEORICA

## 2.1 Calidad de energía

### 2.1.1 Concepto de calidad de la energía

La calidad de la energía eléctrica se relaciona con las características de la tensión, la corriente y la frecuencia del suministro, así como con las condiciones eléctricas necesarias para el funcionamiento adecuado de los equipos conectados. Su evaluación permite identificar variaciones y perturbaciones que pueden afectar el desempeño y la confiabilidad de los sistemas eléctricos (von Meier, 2024).

De forma complementaria, la calidad de la energía puede entenderse como la capacidad del sistema de suministro eléctrico para proporcionar las condiciones necesarias que permitan el funcionamiento continuo, seguro y eficiente de los equipos conectados. Cuando las características del suministro se ven perturbadas de los valores aceptables, pueden presentarse perturbaciones como interrupciones, distorsiones armónicas y fenómenos transitorios que afectan el desempeño de los equipos. (HIOKI E.E. Corporation, s. f.).

En este contexto, la calidad de la energía eléctrica está relacionada con las características del suministro y las condiciones necesarias para el funcionamiento adecuado de los equipos conectados.

### 2.1.2 Analizadores de calidad de la energía

Los analizadores de calidad de la energía son instrumentos diseñados para realizar mediciones y evaluaciones de los parámetros eléctricos que permiten determinar el estado de la calidad del suministro. Estos equipos registran variables como el voltaje, la corriente, la frecuencia, los armónicos, los eventos transitorios y otros indicadores eléctricos durante períodos prolongados de monitoreo, proporcionando información para identificar perturbaciones y evaluar el comportamiento del sistema eléctrico (HIOKI E.E. Corporation, s. f.).

En la actualidad se disponen de varios instrumentos de medición que se pueden utilizar al momento de recolectar datos, uno de ellos es el analizador de redes FLUKE 435 serie II, este equipo de medición facilita los datos para la investigación del problema planteado.

Los datos obtenidos brindan información que facilitara el diagnóstico de problemas relacionados con la calidad de la energía y la verificación del cumplimiento de normas técnicas

que permitan tomar medidas orientadas a mejorar el desempeño y la confiabilidad de las redes de suministro eléctrico.



*Figura 1* Analizador de calidad de energía Fluke 435-II Series.

Fuente: Adaptado de Analizadores de calidad eléctrica y energía 434/435 de Fluke, por Fluke Corporation, s. f., sitio web de Fluke

### 2.1.3 Parámetro Voltaje

El voltaje o tensión constituye uno de los parámetros fundamentales para evaluar la calidad de la energía eléctrica, ya que su estabilidad influye directamente en el funcionamiento de los equipos conectados al sistema. Para garantizar una operación adecuada, la tensión suministrada debe mantenerse próxima a su valor nominal y dentro de los límites establecidos por la normativa técnica. Las sobretensiones, subtensiones, fluctuaciones e interrupciones pueden afectar el desempeño de las cargas, reducir la vida útil de los equipos e incluso provocar fallas en el sistema eléctrico (Chonata Camacho & Yaguar Lalaleo, 2025).

En condiciones normales de operación, la norma ANSI C84.1 establece que el voltaje de suministro debe permanecer dentro de un rango de ±5 % respecto a su valor nominal. Mantener la tensión dentro de este intervalo permite garantizar el correcto funcionamiento de los equipos y la estabilidad del sistema eléctrico.

En cambio, si se sobrepasan estos límites pueden surgir problemas como el sobrecalentamiento de los equipos, el funcionamiento inadecuado de los sistemas de protección, la reducción de la vida útil de los componentes y las interrupciones de servicio. Por ello, uno de los principales criterios para valorar la calidad del suministro eléctrico es el estudio del nivel de tensión.

### 2.1.4 Parámetro Corriente

En el contexto de la calidad de la energía, el análisis de la corriente permite evaluar el comportamiento de las cargas conectadas al sistema e identificar la presencia de perturbaciones que pueden afectar su funcionamiento.

En instalaciones industriales, el comportamiento de la corriente está relacionado con las características y condiciones de operación de las cargas. Asimismo, las cargas no lineales pueden generar componentes armónicas de corriente que contribuyen a las perturbaciones eléctricas y deben considerarse al evaluar la interacción entre los equipos y la red de alimentación (IEC, 2024).

El análisis de las corrientes de línea en sistemas trifásicos constituye una actividad fundamental para evaluar el estado operativo de la red, ya que, bajo condiciones normales de funcionamiento, las corrientes de las tres fases deben presentar valores similares.

La presencia de desbalances de corriente puede ocasionar sobrecalentamiento en motores y conductores, incremento de las pérdidas eléctricas, vibraciones mecánicas y una disminución de la vida útil de los equipos. Además, estas diferencias pueden ser indicativas de una distribución inadecuada de las cargas o de problemas en las conexiones eléctricas, por lo que su verificación permite identificar oportunamente condiciones que afectan la confiabilidad y eficiencia del sistema eléctrico (Fluke Corporation, s. f.).

### 2.1.5 Parámetro potencia eléctrica

#### *2.1.5.1 Potencia Activa*

La potencia activa representa la potencia eléctrica media que se transfiere y se transforma en otras formas de energía durante el funcionamiento de una instalación. Su unidad de medida es el vatio (W), y en instalaciones industriales se expresa habitualmente en kilovatios (kW). Su determinación se basa en las mediciones de tensión y corriente, a partir de las cuales se calcula la potencia eléctrica consumida por las cargas (National Electrical Manufacturers Association [NEMA], 2024)

Para calcular la potencia activa en un sistema trifásico, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$P = \sqrt{3} * V * I * Cos\ \Phi \quad (1)$$

Dónde:

P: Potencia Activa (KW).

V: Voltaje (voltios).

I: Corriente (amperios)

Cos Φ: coseno de fi

#### *2.1.5.2 Potencia Reactiva*

La medición de la potencia reactiva permite caracterizar el comportamiento de las cargas y evaluar las necesidades de compensación del sistema eléctrico. De acuerdo con la guía NEMA C12.31G TR-2024, esta magnitud forma parte de las cantidades eléctricas cuya medición se define a partir de muestras de tensión y corriente, junto con la potencia activa, la potencia aparente y el factor de potencia (NEMA, 2024).

Se calcula de la siguiente manera:

$$Q = \sqrt{3} * V * I * Sen\ \theta \quad (2)$$

Donde:

Q: Potencia Reactiva

V: Voltaje Nominal

I: Intensidad Nominal

$Sen\ \theta$: Seno de fi

#### *2.1.5.3 Potencia Aparente*

La potencia aparente representa la combinación de la potencia activa y la potencia reactiva en un sistema eléctrico de corriente alterna. Se representa mediante la letra (S) y se expresa en voltamperios (VA) o kilovoltamperios (kVA). Esta magnitud permite caracterizar la demanda total del sistema eléctrico y determinar los requerimientos de capacidad de los equipos de alimentación (Salam, 2025)

La potencia aparente es un parámetro fundamental para el dimensionamiento de equipos eléctricos, como transformadores, generadores y conductores, ya que considera tanto la energía que realiza trabajo útil como la energía necesaria para mantener los campos electromagnéticos de los elementos reactivos (Alexander & Sadiku, 2017).

Se calcula de la siguiente manera:

$$S = \sqrt{3} * V * I \quad (3)$$

Donde:

S: Potencia Aparente

V: Voltaje Nominal

I: Intensidad Nominal

#### *2.1.5.4 El ángulo*

El ángulo del factor de potencia representa la diferencia de fase entre las señales de tensión y corriente en un circuito de corriente alterna. Este ángulo se relaciona con el factor de potencia mediante el coseno de su valor. Cuando el ángulo es cercano a cero, la tensión y la corriente presentan una mayor coincidencia de fase y el factor de potencia se aproxima a la unidad. En cambio, un ángulo mayor indica un mayor desfase entre ambas señales, lo que influye en la relación entre la potencia activa y la potencia aparente (Camara, 2024).

En una carga resistiva, la corriente y el voltaje se encuentran en fase, por lo que el ángulo de desfase es igual a cero. En este tipo de cargas no existe adelanto ni retraso entre ambas magnitudes, siendo las lámparas incandescentes un ejemplo representativo.

En una carga inductiva, la corriente fluye retrasada con respecto al voltaje a un determinado ángulo $\varphi$, cuando entran en operación transformadores, motores, bobinas, los cuales demandan potencia reactiva para su funcionamiento.

Por el contrario, en una carga capacitiva, la corriente se adelanta con respecto al voltaje. Este comportamiento es propio de los bancos de capacitores utilizados para suministrar potencia reactiva al sistema y mejorar el factor de potencia.

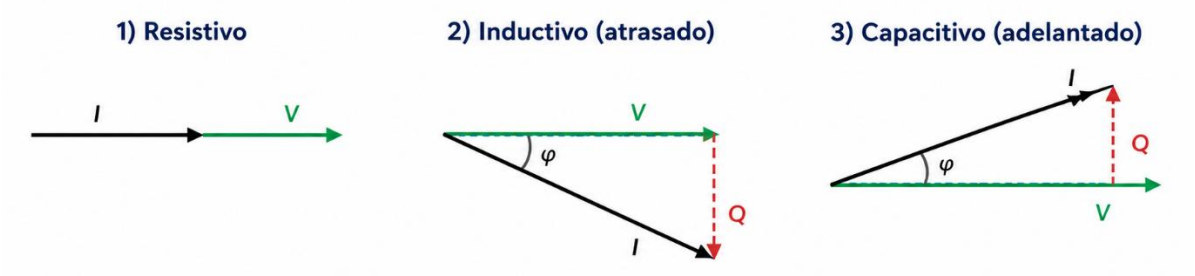



*Figura 2. Diagramas fasoriales de circuitos resistivo, inductivo y capacitivo.*

Fuente: Elaboración propia a partir de la teoría de diagramas fasoriales presentada por OpenStax (2025)

### 2.1.6 Parámetro factor de potencia

Para Vásquez, (2024) el factor de potencia es un indicador de la relación entre la potencia activa y la potencia aparente de una instalación eléctrica. Su valor permite evaluar qué proporción de la potencia suministrada se transforma en trabajo útil. En condiciones sinusoidales, corresponde al coseno del ángulo de desfase entre la tensión y la corriente. Un factor de potencia cercano a la unidad indica una mayor proporción de potencia activa respecto de la potencia aparente.

Su valor está determinado por el ángulo de desfase entre la tensión y la corriente, expresándose matemáticamente como el coseno de dicho ángulo (FP = cos $\varphi$). Un factor de potencia cercano a la unidad indica un uso eficiente de la energía, mientras que valores bajos evidencian una mayor demanda de potencia reactiva y un incremento de las pérdidas en el sistema eléctrico.

$$F.P. = \frac{P(Potencia\ activa)}{S(Potencia\ aparente)} \tag{4}$$

### 2.1.7 Distorsión Armónica Total de Tensión (THD-v)

La tasa de distorsión armónica de voltaje (THD-v) es un indicador que permite cuantificar la distorsión de la señal de tensión respecto de su componente fundamental. Se expresa como porcentaje y se calcula a partir de la relación entre el valor eficaz de las componentes armónicas y el valor eficaz de la componente fundamental. Este indicador permite evaluar qué tan alejada se encuentra la forma de onda de tensión de una señal sinusoidal ideal (Alawasa & Al-Badi, 2024)

En esta investigación, la THD-v fue obtenida directamente mediante el analizador de calidad de energía FLUkE durante las mediciones realizadas en el Terminal de Productos Limpios Cuenca.

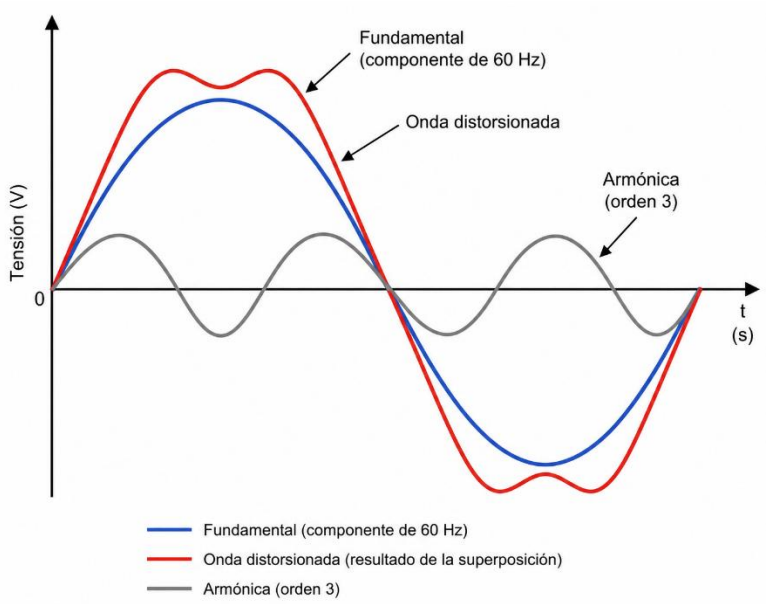



*Figura 3 Formación de una onda de tensión distorsionada por la superposición de componentes armónicas.*

*Fuente: Adaptado de SECOVI – Distorsión armónica de corriente vs. distorsión armónica de voltaje*

## 2.2 Sistema de compensación de potencia reactiva

La compensación de potencia reactiva consiste en suministrar localmente la potencia reactiva demandada por las cargas inductivas mediante la instalación de bancos de capacitores u otros dispositivos de compensación. Esta técnica disminuye la cantidad de potencia reactiva que debe ser transportada por la red eléctrica, permitiendo mejorar el factor de potencia y optimizar el funcionamiento del sistema eléctrico (Schneider Electric, 2024).

### 2.2.1 Bancos de capacitores automáticos

Estos sistemas se especializan en la compensación de potencia reactiva diseñados para mantener el factor de potencia dentro de un rango previamente establecido mediante la conexión y desconexión automática de pasos o etapas capacitivas, de acuerdo con las variaciones de la carga eléctrica.

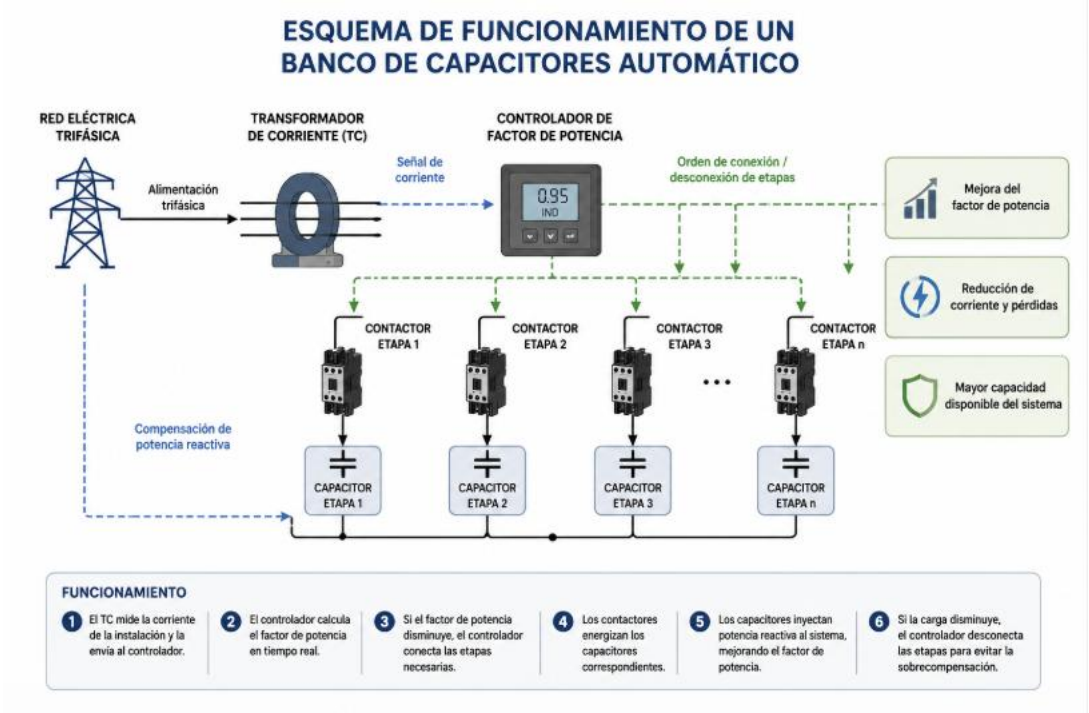



*Figura 4. Esquema de funcionamiento de un banco de capacitores automático.*

Fuente: Elaboración propia, con base en IEEE Std 1036-2013 y Schneider Electric (2024).

El funcionamiento de los bancos de capacitores automáticos se basa en un controlador de factor de potencia que supervisa las condiciones eléctricas de la instalación mediante señales de tensión y corriente. A partir de estas mediciones, el controlador determina cuándo conectar o desconectar las diferentes etapas de capacitores, generalmente mediante contactores electromagnéticos, con el propósito de ajustar la compensación de potencia reactiva a las variaciones de la carga y mantener el factor de potencia próximo al valor establecido (Popa & Diniș, 2024).

Una batería está compuesta por condensadores normalmente trifásicos alojados en la misma caja. Estos pueden estar agrupados ya sea en unidades en paralelo, en serie y combinadas con contactores, a estos se los denomina escalones.

### 2.2.2 Dimensionamiento

El dimensionamiento de un banco de capacitores consiste en determinar la capacidad de compensación de potencia reactiva requerida por una instalación eléctrica, considerando las características de la carga y sus variaciones durante la operación. Una selección adecuada permite mejorar el factor de potencia, reducir las pérdidas eléctricas y contribuir al mantenimiento de niveles apropiados de tensión. Por ello, la capacidad del banco debe establecerse en función de las condiciones de funcionamiento del sistema, procurando evitar tanto una compensación insuficiente como una compensación excesiva (Basu et al., 2024).

Para obtener los kVAR necesarios para una instalación con bajo factor de potencia se realiza mediante el método de cálculo numérico.

La siguiente ecuación muestra la formula general para obtener los kVAR necesarios:

$$Qc = P(tan\phi 1 - tan\phi 2) \quad (5)$$

Donde:

$Q_c$: Potencia reactiva requerida del banco de capacitores (kVAR).

$P$: Potencia activa de la instalación (kW).

$\phi_1$: Ángulo correspondiente al factor de potencia inicial.

$\phi_2$: Ángulo correspondiente al factor de potencia deseado.

Para realizar el dimensionamiento es necesario conocer la potencia activa de la instalación y el factor de potencia existente, además del factor de potencia objetivo que se desea alcanzar. A partir de estos parámetros se calcula la potencia reactiva requerida para la compensación, la cual representa la capacidad nominal del banco de capacitores que deberá instalarse (Schneider Electric, 2024).

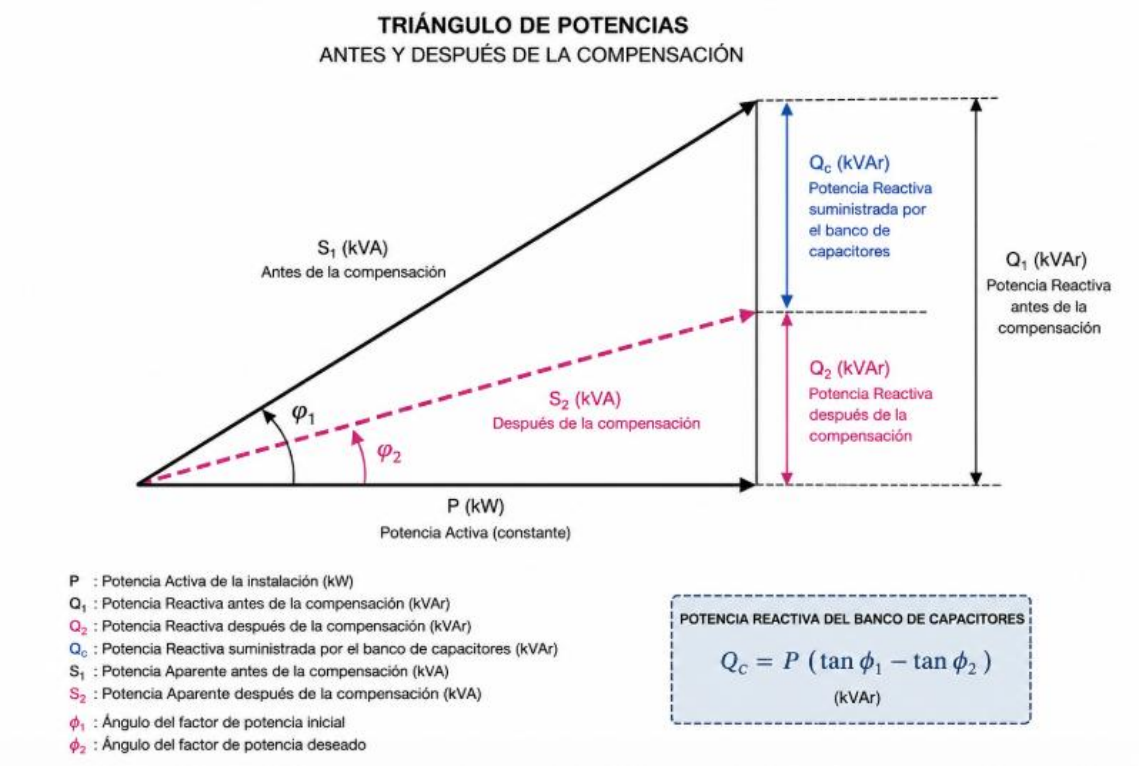



*Figura 5. Representación gráfica del dimensionamiento de un banco de capacitores mediante el triángulo de potencias.*

Fuente: Elaboración propia, con base en IEEE Std 1036-2013 y Schneider Electric (2024).

Una vez obtenida la potencia reactiva requerida, se selecciona el banco de capacitores considerando las capacidades comerciales disponibles y la forma de operación de la instalación.

### 2.2.3 Efectos de una compensación reactiva no optima

Cuando la capacidad de compensación reactiva instalada es insuficiente, la red continúa suministrando una parte importante de la potencia reactiva demandada por las cargas, lo que puede mantener un factor de potencia bajo e incrementar la corriente que circula por los conductores. Esta condición contribuye al aumento de las pérdidas eléctricas y a una mayor utilización de la capacidad de los equipos de distribución. Por otra parte, una compensación inadecuada también puede generar efectos desfavorables en la instalación, por lo que el dimensionamiento del banco debe considerar las condiciones reales de operación y las características de las cargas conectadas (Blasco et al., 2024)

Por el contrario, para Arrillaga & Watson, (2003) una sobrecompensación ocurre cuando el banco de capacitores suministra una potencia reactiva superior a la requerida por la carga. Suelen aparecer algunos de los siguientes efectos:

- **Factor de potencia adelantado:** Se presenta cuando la potencia reactiva suministrada por el banco de capacitores supera la demanda reactiva de la carga, provocando que la instalación opere con un factor de potencia capacitivo.
- **Elevación de la tensión del sistema:** El exceso de potencia reactiva puede ocasionar incrementos en el nivel de tensión, especialmente en condiciones de baja carga.
- **Conmutación frecuente de las etapas del banco:** El controlador del factor de potencia conecta y desconecta repetidamente las etapas del banco al intentar mantener el factor de potencia dentro del rango de consigna, generando un funcionamiento inestable.
- **Activación recurrente de las protecciones:** Las maniobras frecuentes de conexión y desconexión pueden ocasionar disparos repetitivos de los dispositivos de protección, afectando la continuidad de operación del sistema de compensación.
- **Desgaste prematuro de los equipos de maniobra:** El incremento en el número de operaciones reduce la vida útil de contactores, relés, capacitores y demás componentes asociados al banco.

- **Mayor probabilidad de fenómenos de resonancia:** La interacción entre la reactancia capacitiva del banco y la inductancia del sistema puede generar condiciones favorables para la resonancia eléctrica.
- **Amplificación de armónicos:** En presencia de cargas no lineales, la resonancia puede incrementar la distorsión armónica de tensión o corriente, deteriorando la calidad de la energía.

Por ello, un banco de capacitores sobredimensionado puede introducir nuevas condiciones de operación que comprometan la estabilidad, la calidad de la energía y la confiabilidad de la instalación.

### 2.3 Norma IEEE 519

La IEEE 519-2022, sobre las prácticas recomendadas y requisitos para el control de armónicos en sistemas de energía eléctrica, establece los criterios y límites recomendados para el control de las distorsiones armónicas en los sistemas eléctricos de potencia. Su propósito es minimizar los efectos adversos que los armónicos pueden ocasionar sobre el funcionamiento de los equipos eléctricos, promoviendo la compatibilidad entre las instalaciones de los usuarios y la red de suministro.

La norma define límites para la distorsión armónica de tensión (THD-V) en el punto de acoplamiento común (PCC), los cuales varían en función del nivel de tensión del sistema eléctrico. Estos criterios permiten evaluar si los niveles de armónicos presentes en el sistema se encuentran dentro de valores aceptables para garantizar una adecuada calidad de la energía (IEEE, 2022).

En la presente investigación, la IEEE 519-2022 se emplea como referencia técnica para evaluar los niveles de distorsión armónica de tensión medidos en el Terminal de Productos Limpios Cuenca. Debido al alcance del estudio y a las variables disponibles durante la medición, el análisis se centra en la evaluación de la Distorsión Armónica Total de Tensión (THD-V), comparando los valores registrados con los valores de referencia establecidos por esta norma.

Si bien la IEEE 519-2022 establece adicionalmente límites para componentes armónicas individuales en el punto de acoplamiento común, estos no forman parte del alcance de la presente investigación, cuya delimitación y objetivos se encuentran orientados específicamente a la evaluación de la Distorsión Armónica Total de Tensión (THD-V). Por consiguiente, la comparación normativa presentada se limita al criterio de THD-V correspondiente al nivel de tensión analizado

Tabla 1. Límites de distorsión armónica total de tensión (THD-V) en el punto de acoplamiento común (PCC) según IEEE 519-2022

| Tensión nominal en el PCC | THD-V referencia |
|---|---|
| **≤ 1 kV** | 8 % |
| **> 1 kV y ≤ 69 kV** | 5 % |
| **> 69 kV y ≤ 161 kV** | 2,5 % |
| **> 161 kV** | 1,5 % |

Fuente: Elaboración propia con base en IEEE. (2022). *IEEE Std 519-2022: IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. Institute of Electrical and Electronics Engineers

De acuerdo con la clasificación establecida en la IEEE 519-2022, el sistema eléctrico del Terminal de Productos Limpios Cuenca opera en un nivel de tensión de 480 V, por lo que el valor máximo de referencia para la distorsión armónica total de tensión (THD-V) es del 8 %. Este criterio será utilizado en el Capítulo 4 para comparar los resultados obtenidos durante las mediciones de calidad de energía y determinar el cumplimiento de la normativa vigente.

### 2.4 Regulación ecuatoriana sobre el factor de potencia

En el Ecuador, el control del factor de potencia forma parte de la regulación del servicio eléctrico con el propósito de promover un uso eficiente de la energía y disminuir la demanda innecesaria de potencia reactiva sobre el Sistema Nacional Interconectado.

La Resolución Nro. ARCONEL 006/25, en el artículo 1, establece "… Modificar a 0.94 el umbral para la determinación de la Penalización por bajo factor de potencia …". El cumplimiento del umbral evita penalizaciones además de mejorar la eficiencia de las instalaciones eléctricas y reducir la demanda de potencia reactiva sobre la red de distribución.

Tabla 2. Criterios para la aplicación de penalización por bajo factor de potencia según la Regulación ARCONEL 006/25

| **Parámetro** | **Valor** |
|---|---|
| Factor de potencia sujeto a penalización | **FP < 0,94** |
| Medio de evaluación | Promedio mensual |

| | |
|---|---|
| Aplicación | Consumidores con medición de energía reactiva |

Fuente: Elaboración propia con base en el Pliego Tarifario ARCONEL

# CAPITULO 3
# METODOLOGIA Y CONDICIONES INICIALES DEL ANALISIS

## 3.1 Enfoque y tipo de investigación

La presente investigación se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, ya que se fundamentó en la obtención, medición y análisis de parámetros eléctricos del sistema de compensación de potencia reactiva instalado en el Terminal de Productos Limpios Cuenca de EP Petroecuador. Para ello, se recopilaron datos de operación del sistema eléctrico mediante mediciones en campo y se empleó información histórica de facturación eléctrica para complementar el análisis de la demanda y del comportamiento del factor de potencia.

La investigación es de tipo descriptiva y analítica. Es descriptiva porque permitió caracterizar las condiciones actuales de operación del sistema eléctrico mediante el análisis de variables como tensión, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia y distorsión armónica total de tensión (THDv). Asimismo, es analítica porque los resultados obtenidos fueron interpretados para evaluar el desempeño del banco automático de capacitores, determinar los requerimientos actuales de compensación reactiva y establecer recomendaciones para las condiciones reales de operación de la instalación.

La fase experimental consistió en la ejecución de mediciones eléctricas durante un período de 7 días mediante un analizador de calidad de energía Fluke 435 Series II, instalado en el punto de alimentación de las celdas de cargas esenciales, con el propósito de registrar parámetros representativos del comportamiento del sistema bajo condiciones normales de operación.

El procedimiento metodológico comprendió las siguientes fases: revisión bibliográfica, caracterización del sistema eléctrico, recopilación de datos en campo, procesamiento y análisis de la información, evaluación del cumplimiento de la normativa aplicable, determinación de la capacidad requerida del banco de capacitores, así como de las conclusiones y recomendaciones.

## 3.2 Descripción y caracterización del sistema eléctrico de estudio

Para la ejecución del estudio es necesario poner en contexto las características y condiciones base del sistema eléctrico objeto de análisis. La caracterización se limita a proporcionar una descripción de la configuración existente y de las características técnicas de los elementos que conforman el sistema de compensación de potencia reactiva, sin considerar procesos de rediseño, actualización o sustitución de sus componentes, debido a que estos aspectos no forman parte del alcance ni de los objetivos establecidos para el presente proyecto. A continuación, se detallan las características técnicas de los elementos que intervienen en el sistema analizado.

### 3.2.1 Ubicación del proyecto

El proyecto desarrollado se encuentra ubicado en el Terminal de Productos Limpios de Cuenca, en la provincia del Azuay, cantón Cuenca, sector Challuabamba en la Antigua Panamericana Norte Km 13, este lugar es una sucursal de la Empresa Pública de Hidrocarburos del Ecuador EP Petroecuador, su función principal es recibir, almacenar y despachar combustibles (gasolinas y diésel) para abastecer a las provincias de Azuay, Cañar, Morona Santiago y Zamora Chinchipe.

El Terminal de Productos Limpios de Cuenca cuenta con su propia subestación que emplea voltajes de 22kV/4,16kV en media tensión desde el alimentador Nro. 1221, y voltaje de red primaria interna. Los equipos y sistemas eléctricos con cargas esenciales ocupan bajo voltaje de 480 V, 208V en trifásica y 110V en red monofásica para cargas no esenciales. El sistema eléctrico se encuentra diseñado con transformadores intermedios que brindan diversos voltajes de uso específicos para equipos especiales y con ramificaciones que dividen el suministro en cargas esenciales y no esenciales que requieren estar conectadas a la red de energía de respaldo de la planta. Para nuestro caso de estudio nos centraremos exclusivamente en la red cargas esenciales o centro de cargas emergentes.



*Figura 6. Vista frontal de los tanques de almacenamiento de Productos Limpios TCU*

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2 Características técnicas

#### *3.2.2.1 Transformador*

El sistema eléctrico del Terminal de Productos Limpios Cuenca es alimentado mediante el transformador de distribución trifásico TCU-XFMR-7200, de 350 kVA, el cual suministra energía al Tablero General de Baja Tensión (TGBT) del centro de cargas de emergencia. Desde este tablero se alimentan las diferentes cargas de la instalación, entre ellas el banco automático de capacitores Siemens de 150 kVA objeto del presente estudio.

Tabla 3. Características técnicas del Transformador TCU-XFMR-7200

| **Transformador TCU-XFMR-7200** | |
|---|---|
| **Parámetro** | **Especificación técnica** |
| **Fases** | 3Ø |
| **Potencia nominal** | 350 kVA |
| **Alimentador MT externo Terminal** | 22 kV Nro. 1221 |
| **Tensión interna de subestación** | 4,16 kV |
| **Tensión primaria** | 4,16 kV |
| **Tensión secundaria** | 0,48 kV (480 V) |
| **Frecuencia nominal** | 60 Hz |

| | |
|---|---|
| **Configuración** | Dyn5 |

Fuente: Elaboración propia con base a información obtenida del equipo.

#### *3.2.2.2 Cargas conectadas*

La Tabla 4 presenta las principales cargas eléctricas alimentadas desde el Tablero General de Baja Tensión (TGBT) del Terminal de Productos Limpios Cuenca, de acuerdo con la información consignada en los planos unifilares del proyecto original. Estas cargas corresponden al diseño original de la instalación, cuando la infraestructura y la demanda eléctrica eran significativamente mayores a las actuales.

En consecuencia, las potencias indicadas representan la capacidad de diseño considerada para el dimensionamiento del sistema eléctrico, incluido el transformador de distribución y el banco automático de capacitores, constituyendo la base de comparación para el análisis del estado actual desarrollado en esta investigación.

Las potencias corresponden a la capacidad nominal de los equipos considerados en el diseño original del Terminal de Productos Limpios Cuenca. La suma de estas potencias no representa la demanda máxima del sistema, debido a que la operación de las cargas está sujeta a criterios de simultaneidad y condiciones operativas consideradas durante el dimensionamiento del sistema eléctrico.

Tabla 4. Listado de cargas diseñadas y que se encuentran deshabilitadas

| N.º | Equipo / Carga | Potencia (kVA) | Estado |
|---|---|---|---|
| 1 | Banco de capacitores TCU-KVAR-01*(Carga capacitiva) | 150 kVAR | Operativo (Instalado en el tablero de cargas emergentes) |
| 2 | Compresor de aire TCU-C-7170B | 50.0 | Operativo |
| 3 | Compresor de aire TCU-C-7170A | 50.0 | Fuera de servicio |
| 4 | Bomba de captación de agua TCU-B-7431 (150 HP) | 138.2 | Fuera de servicio |
| 5 | Transformador TCU-XFMR-TDE1 | 150.0 | Operativo |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 6 | Tablero TDMOV | 84.0 | Parcialmente operativo |
| 7 | Bomba de agua Jockey TCU-B-7410D (10 HP) | 9.2 | Operativo |
| 8 | UPS TCU-UPS | 60.0 | Operativo |
| 9 | Tablero Sistema de Protección Catódica (TCU-SPC) | 25.0 | Parcialmente operativo |
| 10 | Skid hidroneumático de agua TCU-B-7430 | 5.0 | Fuera de servicio |
| 11 | Bomba carga GLP TCU-B-7320 (30 HP) | 27.6 | Fuera de servicio |
| 12 | Bomba carga extra TCU-B-7340 (40 HP) | 36.8 | Fuera de servicio |
| 13 | Bomba carga Súper TCU-B-7345 (40 HP) | 36.8 | Operativo |
| 14 | Bomba carga Diésel TCU-B-7350 (40 HP) | 36.8 | Fuera de servicio |
| 15 | Bomba carga GLP TCU-B-7310 (7,5 HP) | 6.9 | Fuera de servicio |
| Potencia Total de diseño | | **716.3 kVA** | |
| Potencia Total actual estimada | | **411 KVA** | El 57% de la carga total se encontraría operativa y un 43% correspondería a la carga desconectada. |

Fuente: Elaboración propia con base en los planos unifilares del Terminal de Productos Limpios Cuenca (EP Petroecuador). Las potencias de las cargas expresadas en HP fueron convertidas a kVA mediante cálculo propio

#### *3.2.2.3 Banco de Capacitores*

El Terminal de Productos Limpios Cuenca dispone de un banco automático de capacitores identificado como TCU-KVAR-01, instalado en el Tablero General de Baja Tensión (TGBT) del Centro de Cargas de Emergencia. Este equipo fue diseñado para suministrar una potencia reactiva nominal de 150 kVAR a una tensión de 480 V. Su operación se realiza mediante un sistema automático de conexión y desconexión por etapas, permitiendo adaptar la compensación a las variaciones de la carga del sistema.

Tabla 5. Características técnicas del banco de capacitores

| Parámetro | Valor |
|---|---|
| **Código del equipo** | TCU-KVAR-01 |
| **Descripción** | Banco automático de capacitores |
| **Potencia nominal** | 150 kVAR |
| **Tensión nominal** | 480 V |
| **Frecuencia nominal** | 60 Hz |
| **Sistema eléctrico** | Trifásico |
| **Ubicación** | Centro de cargas emergente |
| **Tipo de compensación** | Automática por cinco etapas |

Fuente: Elaboración propia con base en la documentación técnica del banco de capacitores del Terminal de Productos Limpios Cuenca.

En el diagrama unifilar del banco de capacitores instalado, se observa la configuración eléctrica del sistema, incluyendo la alimentación desde el Tablero General de Baja Tensión (TGBT), el interruptor principal de protección, el controlador automático de factor de potencia EPCOS BR6000, los contactores de maniobra y las cinco etapas de compensación conformadas por condensadores trifásicos.

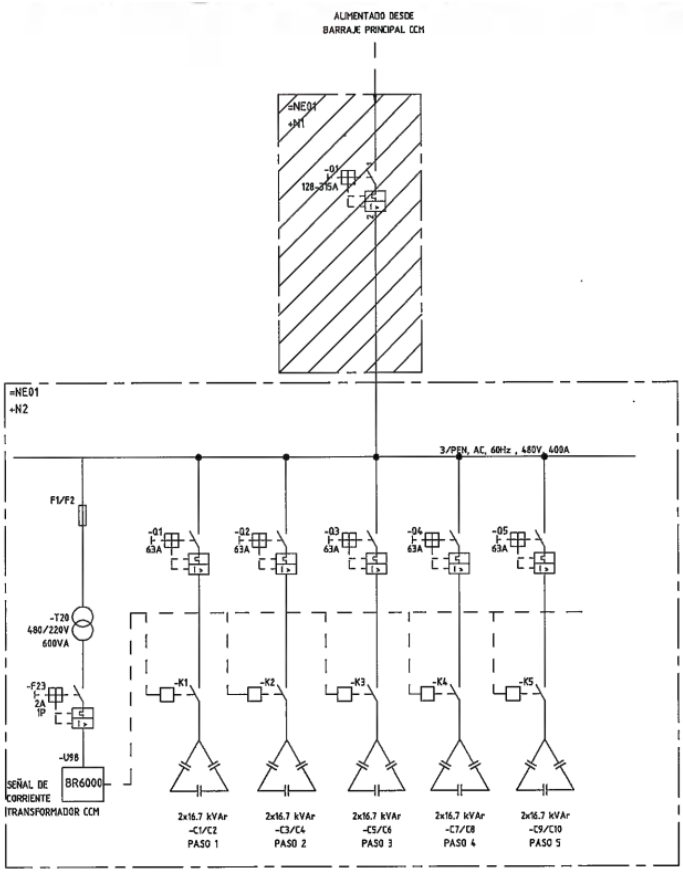



*Figura 7. Diagrama unifilar del banco automático de capacitores del Terminal de Productos Limpios Cuenca.*

Fuente: Siemens. (2015). *Plano eléctrico del banco automático de capacitores de 150 kVAr, 480 V* (Documento N.º PEQ001-07-OEP-0000-DE-E702-0019, Rev. 4). Documentación técnica del proyecto Terminal de Productos Limpios Cuenca, EP Petroecuador.

- **Características de los condensadores**

Los condensadores trabajan como baterías agrupadas en secciones de dos botellas individuales de 15KVAR, con las siguientes características:

Tabla 6. Características técnicas de los condensadores

| **Parámetro** | **Valor** |
|---|---|
| Fabricante | Siemens |
| Modelo | 4RB2167-3FC50 |
| Conexión interna | Delta (Δ) |
| Tensión nominal | **525 V AC** |

| | |
|---|---|
| Tensión recomendada de instalación | **480 V AC** |
| Frecuencia nominal | 50/60 Hz |
| Potencia reactiva a 60 Hz (480 V) | 16,7 kVAr |
| Capacitancia | 3 × 64 µF |
| Tolerancia de capacitancia | −5 % / +10 % |

Fuente: Elaboración propia con base en la ficha técnica del condensador Siemens PHICAP™, modelo 4RB2167-3FC50

Como parte del desarrollo de la investigación se procedió a revisar el estado individual de las botellas, midiendo las capacitancias y que estas estén dentro de los rangos de tolerancia admisibles, durante este proceso no se encontraron hallazgos que nos permitan presuponer que un supuesto estado de obsolescencia infiera en que el sistema de compensación entre en fallos recurrentes o activaciones constantes de las protecciones.



*Figura 8. Vista frontal del Banco de capacitores KVAR-01 durante el proceso de medición.*

Fuente: Documentación técnica del proyecto Terminal de Productos Limpios Cuenca, EP Petroecuador.

- **Características de las protecciones**

Las protecciones de cada sección o bloque del banco automático de capacitores está constituida por un interruptor automático en caja moldeada (MCCB) Siemens En la Tabla 7 se presentan las principales características técnicas del interruptor automático instalado, las cuales fueron verificadas mediante la placa de identificación del equipo y corroboradas con la documentación técnica del fabricante.

Tabla 7. Características técnicas de las protecciones

| **Parámetro** | **Valor** |
|---|---|
| Fabricante | Siemens |
| Serie | SENTRON 3VL |
| Modelo | VL160 |
| Tipo | Interruptor automático en caja moldeada (MCCB) |
| Número de polos | 3 |
| Corriente nominal (In) | 63 A |
| Frecuencia | 50/60 Hz |
| Tensión máxima de operación (Ue) | Hasta 690 V AC |
| Tensión de aislamiento (Ui) | 800 V |
| Tensión soportada al impulso (Uimp) | 8 kV |
| Norma IEC | IEC 60947-2 |
| Norma europea | EN 60947-2 |
| País de fabricación | Alemania |

Fuente: Elaboración propia con base en la ficha técnica de las protecciones

- **Características de los contactores**

El accionamiento de cada etapa del banco automático de capacitores se realiza mediante un contactor Siemens SIRIUS, diseñado específicamente para la conmutación de cargas capacitivas. Este equipo pertenece a la categoría de empleo AC-6b, incorporando contactos de reinserción con resistencias de amortiguamiento que limitan la corriente transitoria generada durante la energización de los condensadores, reduciendo el esfuerzo eléctrico sobre los contactos y prolongando la vida útil tanto del contactor como de los condensadores.

En la Tabla 8 se presentan las principales características técnicas del dispositivo instalado.

Tabla 8. Características técnicas del contactor Siemens 3RT1647-1A

| **Parámetro** | **Valor** |
|---|---|
| Fabricante | Siemens |
| Modelo | 3RT1647-1ª |
| Categoría de empleo | AC-6b |
| Corriente nominal (Ie) | 76 A |
| Número de polos | 3 |
| Potencia máxima para condensadores | 50 kVAR a 400 V |
| Frecuencia | 50/60 Hz (según la bobina instalada) |
| Contactos auxiliares | 1 NA (43-44) |
| Sistema de maniobra | Contactos de pre-inserción con resistencias amortiguadoras |
| Función principal | Limitar la corriente transitoria durante la conexión de los condensadores |
| Norma aplicable | IEC 60947-4-1 |

| | |
|---|---|
| Estado del producto | Descontinuado; reemplazado por la serie Siemens SIRIUS 3RT26 |

Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento de información en campo y de la ficha técnica del contactor Siemens SIRIUS 3RT1647-1ª

- **Características del controlador**

El banco automático de capacitores dispone de un controlador de factor de potencia EPCOS BR6000, encargado de supervisar continuamente el estado eléctrico del sistema y determinar la conexión o desconexión de las diferentes etapas de compensación para mantener el factor de potencia dentro del valor programado.

Este controlador incorpora funciones de medición, supervisión y diagnóstico, permitiendo visualizar en tiempo real parámetros como tensión, corriente, potencia, frecuencia, factor de potencia y contenido armónico.

Actualmente el controlador se encuentra trabajando con forma de escalonamiento en cinco pasos, en un periodo de activación de 10 segundos que determina la necesidad de inyectar potencia reactiva a la red.

Tabla 9. Características técnicas del controlador de factor de potencia EPCOS BR6000

| **Parámetro** | **Valor** |
|---|---|
| Fabricante | EPCOS (TDK Electronics) |
| Modelo | BR6000 |
| Pantalla | LCD alfanumérica retroiluminada (2 × 16 caracteres) |
| Número máximo de etapas | Hasta 12 etapas |
| Modos de operación | Automático, Manual y Servicio |
| Tensión de medición | 30–525 V AC (L-L o L-N) |
| Frecuencia nominal | 50/60 Hz |

| | |
|---|---|
| Entrada de transformador de corriente | TC de 1 A o 5 A |
| Parámetros monitoreados | Tensión, corriente, potencia activa (kW), potencia reactiva (kVAr), potencia aparente (kVA), factor de potencia, frecuencia, temperatura y armónicos |
| Norma de referencia | IEC 61010 |

Fuente: Elaboración propia a partir del levantamiento de información en campo y de la ficha técnica del controlador EPCOS BR6000

### 3.3 Procedimiento de análisis y criterios de evaluación

Para la evaluación del sistema de compensación de potencia reactiva se emplearon dos fuentes de información complementarias. La primera correspondió a las mediciones en campo realizadas mediante un analizador de calidad de energía, utilizadas para caracterizar el comportamiento eléctrico instantáneo del sistema y verificar los valores de referencia establecidos por la norma IEEE 519. La segunda correspondió a los registros históricos disponibles de facturación eléctrica, los cuales permitieron analizar el comportamiento del factor de potencia, la energía reactiva y la demanda máxima durante períodos mensuales completos, sirviendo como base para el cálculo de la capacidad requerida del banco de capacitores.

## CAPITULO 4
## ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

### 4.1 Análisis y medición de parámetros eléctricos

#### 4.1.1 Condiciones de operación durante el monitoreo

El analizador de calidad de energía fue instalado el 20 de septiembre de 2026 a las 10:41:26: y permaneció registrando información de manera continua hasta el 27 de septiembre de 2026 a las 10:41:16, completando un período de monitoreo de 7 días. Durante este intervalo se registraron 1008 mediciones, con un tiempo de integración de 10 minutos entre cada muestra.

El período de medición fue seleccionado debido a que corresponde a jornadas normales de operación del Terminal de Productos Limpios Cuenca, en las cuales se desarrollan actividades de despacho de combustibles, operación de equipos de bombeo, funcionamiento

de sistemas auxiliares e instrumentación, así como labores administrativas. De esta manera, los datos obtenidos representan el comportamiento eléctrico habitual de la instalación bajo condiciones reales de servicio.

Durante el monitoreo no se registraron eventos inusuales, mantenimientos programados ni condiciones operativas atípicas que pudieran alterar significativamente el comportamiento del sistema eléctrico. Por ello, los parámetros analizados reflejan en esencia el comportamiento normal de operación del terminal permitiendo así evaluar el desempeño del sistema de compensación de potencia reactiva de manera adecuada.

El análisis desarrollado en las siguientes secciones considera los principales parámetros eléctricos registrados por el analizador, incluyendo tensión, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia y distorsión armónica total de tensión (THDv). Estos parámetros permiten caracterizar el comportamiento eléctrico instantáneo del sistema.

### 4.1.2 Conexión del equipo FLUKE 435 y obtención de datos

#### a. Instalación del equipo

De acuerdo con la información técnica disponible, el transformador que alimenta el sistema presenta una configuración Dyn5, con el devanado secundario conectado en estrella y punto neutro accesible. Sin embargo, en el gabinete del banco de capacitores donde se realizó el monitoreo no se disponía de un conductor neutro distribuido. Por esta razón, el analizador de calidad de energía se configuró para un sistema trifásico sin neutro, empleando las tres fases como referencias de tensión y el conductor de protección (PE) para la conexión de tierra del instrumento, de acuerdo con las condiciones existentes en el punto de medición.

La conexión del equipo se realizó en el lado de las cargas, después de la conexión paralela del banco de capacitores, de manera que las mediciones correspondieran a las condiciones reales de operación de la instalación y a la energía suministrada a las cargas del terminal.

Se procede en primer lugar, a instalar las sondas amperimétricas alrededor de los conductores correspondientes a las fases A (L1), B (L2), C (L3), verificando el sentido de fluctuación de la corriente, respetando las flechas de referencia impresas en el sensor, ya que una instalación incorrecta puede generar inversiones en el sentido de la corriente y afectar la interpretación de los resultados.

Posteriormente, se efectuaron las conexiones de tensión del analizador, conectando los terminales correspondientes a Tierra (PE) y a las fases A (L1), B (L2) y C (L3), manteniendo la misma secuencia de fases del sistema eléctrico.




*Figura 9. Instalación del analizador de calidad de energía FLUKE 435 Serie II en el gabinete del banco de capacitores.*

Fuente: Elaboración Propia.

### b. Obtención de datos

Finalizado el periodo de medición, la información registrada fue descargada y procesada mediante el software PowerLog 5.9. A través de este software fue posible revisar la evolución temporal de las variables eléctricas registradas. Para ello, se emplearon las estadísticas que provee el software a fin de facilitar el procesamiento de datos, tal como se muestra en la Figura 10.

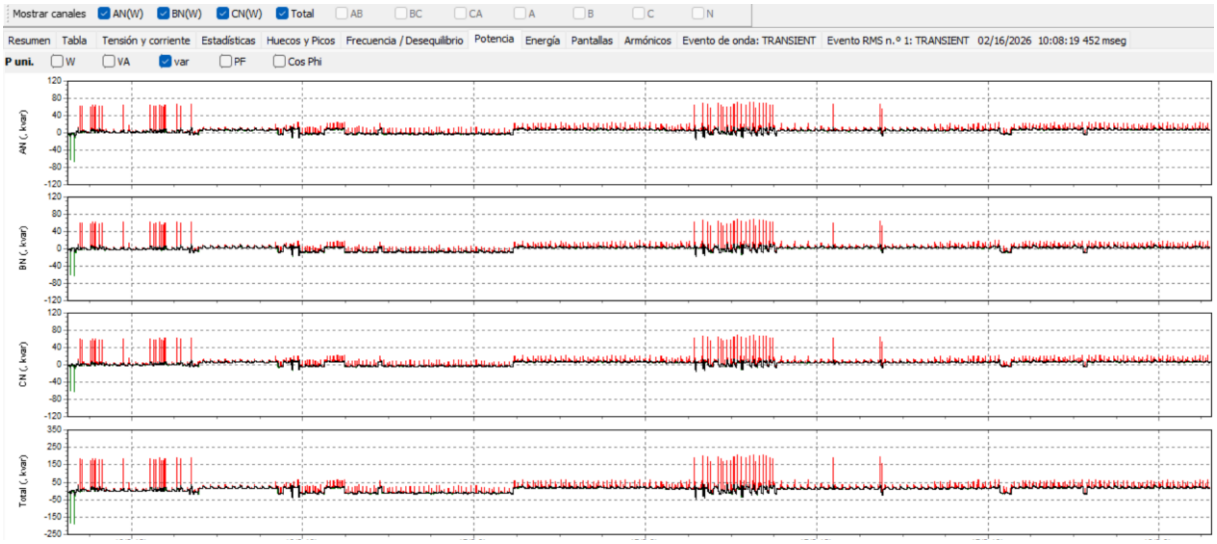



*Figura 10. Visualización de datos mediante el software PowerLog 5.9*

Fuente: Elaboración Propia.

### 4.1.3 Potencia activa analizada

En términos generales, los resultados evidencian que la instalación presenta una demanda de potencia variable durante su operación, con incrementos asociados a la conexión de equipos de mayor consumo.

Tabla 10. Resultados obtenidos con el analizador de calidad de energía en Potencia Activa

| **Medidas totales promedio en Potencia Activa (kW)** | |
|---|---|
| **Desde:** | 20/09/2026 10:41:26 |
| **Hasta:** | 27/09/2026 10:41:16 |
| **Intervalo de mediciones:** | 10 min |
| **Número de mediciones:** | 1008 |
| **POTENCIA TOTAL** | kW |
| Mínima | 25,691 |
| Media | 42,378 |
| Máxima | 66,698 |

Fuente: Elaboración propia

El valor medio registrado fue de 42,378 kW, mientras que el máximo alcanzó 66,698 kW. Esto significa que el máximo de los intervalos de 10 minutos fue aproximadamente 57,4 % superior al valor medio. A su vez, el mínimo fue de 25,691 kW, equivalente aproximadamente al 60,6 % del valor medio. Por tanto, existe una diferencia apreciable entre las condiciones de menor y mayor demanda.

### 4.1.4 Potencia reactiva analizada

En conjunto, los resultados muestran que la potencia reactiva del sistema presentó un comportamiento variable, con predominio de valores positivos, pero con determinados intervalos en los que se observó comportamiento capacitivo.

Tabla 11. Resultados obtenidos con el analizador de calidad de energía en Potencia Reactiva

| **Medidas totales promedio en Potencia Reactiva (kVAR)** | |
|---|---|
| **Desde:** | 20/09/2026 10:41:26 |
| **Hasta:** | 27/09/2026 10:41:16 |
| **Intervalo de mediciones:** | 10 min |
| **Número de mediciones:** | 1008 |
| **POTENCIA REACTIVA** | |
| Mínima | -1,836 |

| | |
|---|---|
| Media | 4,997 |
| Máxima | 31,282 |

Fuente: Elaboración propia

El valor máximo representa aproximadamente 6,26 veces la potencia reactiva media, lo que evidencia que la demanda no permaneció constante, sino que presentó variaciones importantes según las condiciones de operación de las cargas conectadas. Por otra parte, el valor mínimo negativo de -1,836 kVAR indica que durante determinados intervalos se produjo un comportamiento de potencia reactiva en sentido contrario en los que existió aporte al sistema.

Realizando una comparación entre la potencia reactiva registrada y la capacidad nominal del banco de capacitores se observa que la demanda de potencia reactiva de la instalación fue considerablemente inferior a la capacidad de compensación disponible. El valor máximo registrado fue de 31,282 kVAR, equivalente aproximadamente al 20,9 % de los 150 kVAR nominales del banco, mientras que el valor medio de 4,997 kVAR representó aproximadamente el 3,3 % de dicha capacidad.

### 4.1.5 Potencia aparente analizada

Durante los siete días de monitoreo, la potencia aparente presentó un valor medio de 43,132 kVA, con un valor mínimo de 25,967 kVA y un máximo de 73,414 kVA.

Tabla 12. Resultados obtenidos con el analizador de calidad de energía en Potencia Aparente

| **Medidas totales promedio en Potencia Aparente (kVA)** | |
|---|---|
| **Desde:** | 20/09/2026 10:41:26 |
| **Hasta:** | 27/09/2026 10:41:16 |
| **Intervalo de mediciones:** | 10 min |
| **Número de mediciones:** | 1008 |
| **POTENCIA APARENTE** | |
| Mínima | 25,967 |
| Media | 43,132 |
| Máxima | 73,414 |

Fuente: Elaboración propia

El valor máximo representa aproximadamente 1,70 veces el valor medio, mientras que el mínimo corresponde aproximadamente al 60,2 % del valor medio. La diferencia entre el máximo y el mínimo alcanza 47,447 KVA. La demanda presentó variaciones durante el período de medición, aunque sin alcanzar valores cercanos a la capacidad nominal total de las cargas consideradas en el diseño original.

Este resultado puede contrastarse con la tabla de cargas levantada anteriormente. En ella se establece una potencia total de diseño de 716,3 kVA, correspondiente a la capacidad nominal considerada originalmente para las cargas de la instalación. También se estableció una potencia total actual estimada de 411 kVA, considerando las cargas que permanecen operativas.

Frente a estos valores, la potencia aparente media medida de 43,132 kVA representa aproximadamente:

- 6,0 % de los 716,3 kVA de potencia total de diseño.
- 10,5 % de los 411 kVA de potencia actual estimada.

Incluso el máximo medido de 73,414 kVA representa solamente:

- 10,2 % de la potencia total de diseño de 716,3 kVA.
- 17,9 % de la potencia actual estimada de 411 kVA.

Por tanto, los resultados obtenidos mediante el FLUKE muestran que la demanda aparente real durante el período de monitoreo fue considerablemente inferior a la capacidad nominal de las cargas consideradas en el diseño original. Esto es coherente con la información levantada en campo, donde varias de las cargas originalmente contempladas aparecen fuera de servicio y otras presentan operación parcial.

Este contraste es importante porque permite diferenciar claramente entre capacidad instalada y demanda efectivamente registrada. Los 716,3 kVA corresponden a las condiciones nominales de diseño, mientras que los 43,132 kVA de promedio y 73,414 kVA de máximo corresponden al comportamiento real registrado durante los siete días de monitoreo.

En consecuencia, los datos experimentales evidencian una utilización considerablemente menor de la capacidad originalmente prevista, aspecto que resultara relevante para el análisis de la capacidad del banco de capacitores.

### 4.1.6 Factor de potencia analizado

Los resultados demuestran que el sistema se encuentra trabajando en compensación permanente de potencia reactiva a las cargas, sin embargo, varios aspectos y eventos puntuales sugieren exceso en la capacidad de corrección.

Tabla 13. Resultados obtenidos con el analizador de calidad de energía en Factor de Potencia

| Medidas totales promedio en Factor de Potencia | |
|---|---|
| **Desde:** | 20/09/2026 10:41:26 |
| **Hasta:** | 27/09/2026 10:41:16 |
| **Intervalo de mediciones:** | 10 min |
| **Número de mediciones:** | 1008 |
| **FACTOR DE POTENCIA TOTAL** | |
| Mínima | **0,909** |
| Media | **0,985** |
| Máxima | **0,998** |

Fuente: Elaboración propia

El valor medio de 0,985 indica que la instalación operó mayormente con un factor de potencia elevado durante el período analizado, por otro lado, la diferencia entre el valor medio y el máximo es reducida, aproximadamente 0,013 lo que confirma que una parte importante de los intervalos presentó condiciones próximas a la unidad.

El valor mínimo de 0,909 presenta un escenario en el que durante determinados intervalos se presentan condiciones de menor factor de potencia, asociadas a una mayor participación relativa de potencia reactiva respecto de la potencia activa. Sin embargo, este valor mínimo corresponde a una condición puntual dentro del conjunto de 1.008 intervalos y no representa el comportamiento medio de la instalación, no obstante, este aspecto es importante por que sugiere que hay periodos en los cuales la corrección del factor de potencia esta por debajo del umbral mínimo de penalizaciones de la empresa distribuidora.

Considerando además los resultados obtenidos anteriormente, donde la potencia reactiva media fue de 4,997 kVAR y la máxima de 31,282 kVAR, el factor de potencia medio de 0,985 es coherente con una instalación que, durante la mayor parte del período monitoreado, presentó una demanda reactiva relativamente baja respecto de su potencia activa.

Un aspecto particularmente relevante para el estudio del banco de capacitores es que se alcanzaron valores de factor de potencia muy próximos a 1, mientras que simultáneamente se registraron intervalos con potencia reactiva negativa. Esto evidencia que las condiciones de operación y compensación variaron durante el período de monitoreo, por lo que la capacidad del banco debe analizarse no solamente frente a la condición máxima de potencia reactiva, sino también frente a las condiciones de baja demanda reactiva.

En conjunto, los resultados muestran que el comportamiento predominante de la instalación durante los siete días fue de un factor de potencia alto (0,985), aunque existieron intervalos con valores considerablemente menores.

### 4.1.7 Análisis de la Distorsión Armónica Total de voltaje THDv

Los resultados muestran un comportamiento homogéneo entre las tres fases, evidenciándose variaciones muy similares durante todo el período de monitoreo. La distorsión armónica permanece estable, con pequeñas fluctuaciones propias de la operación normal de la instalación, sin observar diferencias significativas entre las fases analizadas.

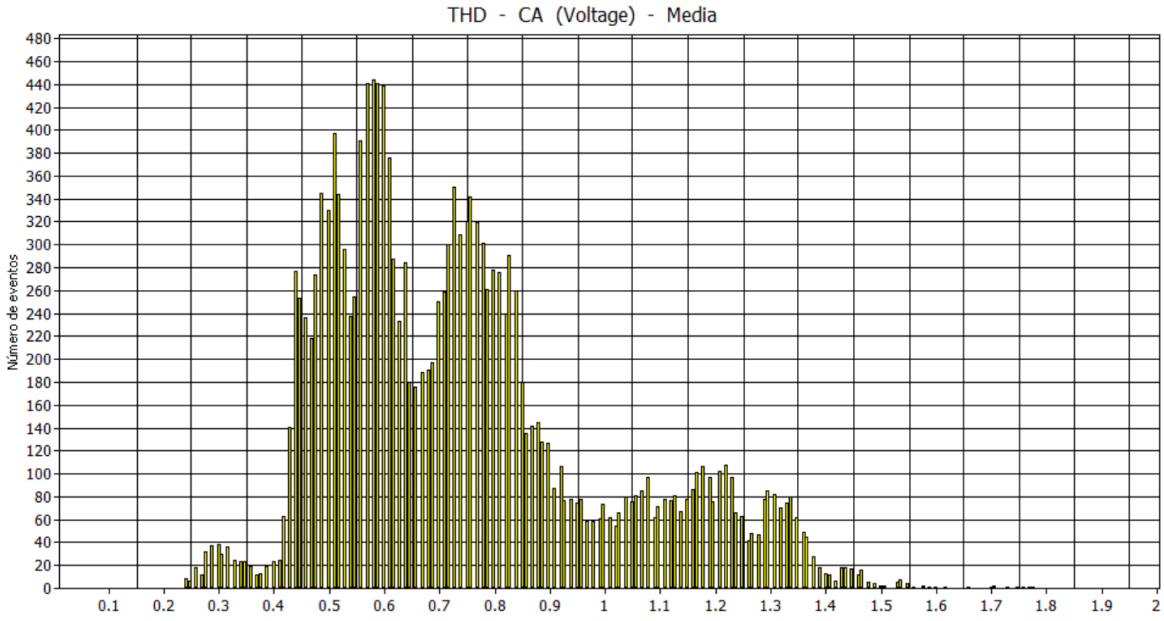



*Figura 112. Grafica estadística obtenida por el software POWER LOG 5.9*

Fuente: Elaboración propia

El análisis corresponde a las tensiones entre fases (AB, BC y CA), las cuales permiten evaluar el comportamiento de la distorsión armónica, al comparar las tres secuencias de tensión, se observa que los valores medios de THD-V se mantuvieron en un intervalo reducido, comprendido entre 0,75 % y 0,81 %, lo que evidencia un comportamiento relativamente similar de la distorsión armónica total entre las tensiones. El valor máximo registrado durante la medición correspondió a la tensión B-C, con 2,25 %, seguido de A-B con 2,20 % y C-A con 1,97 %.

Tabla 144. Resultados obtenidos con el analizador de calidad de energía en distorsión armónica total de tensión.

| Medidas totales promedio THD V | | | |
|---|---|---|---|
| Desde: | | | 20/09/2026 10:41:26 |
| Hasta: | | | 27/09/2026 10:41:16 |
| Intervalo de mediciones: | | | 10 min |
| Numero de mediciones: | | | 1008 |
| **SECUENCIA** | **% MINIMA** | **% MEDIA** | **% MAXIMA** |
| AB | 0,34 | 0,77 | 2,20 |
| BC | 0,37 | 0,81 | 2,25 |
| CA | 0,24 | 0,75 | 1,97 |

Fuente: Elaboración propia

Para la evaluación normativa considerada en esta investigación, estos valores se comparan con el límite de 8 % de THD-V correspondiente al nivel de tensión analizado. Los máximos registrados en las tres tensiones se encuentran por debajo de dicha referencia, por lo que durante el período de medición no se evidenció una superación del límite de distorsión armónica total de tensión establecido como criterio de evaluación.

### 4.1.8 Voltaje analizado

Estos resultados permiten caracterizar las condiciones reales de tensión en el punto de conexión del banco de capacitores.

Tabla 155. Resultados obtenidos con el analizador de calidad de energía en voltaje.

| Medidas totales promedio Voltaje (v) | | | |
|---|---|---|---|
| Desde: | | | 20/09/2026 10:41:26 |
| Hasta: | | | 27/09/2026 10:41:16 |
| Intervalo de mediciones: | | | 10 min |
| Numero de mediciones: | | | 1008 |
| **SECUENCIA** | **MINIMA** | **MEDIA** | **MAXIMA** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| AB | 413,90 | 473,83 | 491,22 |
| BC | 423,36 | 468,59 | 487,62 |
| CA | 418,10 | 468,85 | 487,22 |

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con IEEE Std 141-1993, se considera una caída de tensión del 5 % como referencia para el cableado de planta. Considerando una tensión nominal de 480 V y una tolerancia de ±5 %, el rango de operación esperado se encuentra entre 456 V y 504 V. Al comparar los resultados obtenidos durante el período de monitoreo, se observa que las tensiones medias de las tres secuencias (473,83 V en AB, 468,59 V en BC y 468,85 V en CA) se encuentran dentro de dicho rango.

Sin embargo, los valores mínimos registrados se encuentran por debajo del límite inferior de 456 V. La secuencia AB alcanzó 413,90 V, BC 423,36 V y CA 418,10 V. Esto evidencia la presencia de intervalos de subtensión durante el período de monitoreo.

En contraste, los valores máximos de 491,22 V (AB), 487,62 V (BC) y 487,22 V (CA) permanecieron dentro del límite superior de 504 V, por lo que no se evidencian sobretensiones superiores al margen establecido.

Por tanto, el principal comportamiento que debe destacarse en la tensión es la existencia de eventos de subtensión, particularmente en los valores mínimos, mientras que los valores medios y máximos se mantienen dentro del rango de ±5 % respecto de los 480 V nominales.

Respecto a los eventos de subtensión, la norma indica que ante una condición de tensión anormalmente baja se debe realizar primero un estudio de carga, verificando la corriente de los equipos afectados, del circuito que los alimenta y de la fuente durante condiciones de máxima carga, para determinar si existe sobrecarga. Si se descarta la sobrecarga, recomienda realizar un estudio de tensión para determinar si el problema proviene del sistema de distribución de la planta o del suministro. Si la caída excesiva se debe al cableado de planta y supera el 5 %, se requieren modificaciones del cableado.

Por lo que, en conclusión, se determina condiciones de subtensión en el sistema eléctrico que requieren de un estudio detallado de tensión, para verificar la necesidad de efectuar un aumento en la sección de los conductores.

### 4.1.9 Corriente analizada

Los resultados obtenidos confirman que la instalación opera gran parte del tiempo con niveles de corriente moderados, considerablemente inferiores a los valores máximos registrados de manera ocasional. Este comportamiento resulta consistente con la disminución de la carga instalada en el Terminal de Productos Limpios Cuenca.

Tabla 166. Resultados obtenidos con el analizador de calidad de energía en corriente

| **Medidas totales promedio Corriente (A)** | | | |
|---|---|---|---|
| Desde: | | | 20/09/2026 10:41:26 |
| Hasta: | | | 27/09/2026 10:41:16 |
| Intervalo de mediciones: | | | 10 min |
| Numero de mediciones: | | | 1008 |
| **FASE** | **MINIMA** | **MEDIA** | **MAXIMA** |
| A | 32,02 | 56,28 | 97,01 |
| B | 30,35 | 51,21 | 89,79 |
| C | 30,87 | 52,20 | 86,64 |

Fuente: Elaboración propia

En términos generales, las corrientes medias de las tres fases presentan un comportamiento relativamente uniforme, no hay evidencia de un desbalance de cargas importante, no se observa una condición severa que comprometa la operación del sistema.

## 4.2 Determinación de la capacidad requerida del sistema de compensación de potencia reactiva

Con el fin de determinar una capacidad de compensación representativa de las condiciones reales de operación del terminal, se complementó la información obtenida mediante el análisis de los registros históricos de facturación eléctrica correspondientes a los meses de enero, a agosto de 2026, los cuales fueron facilitados por la empresa.

El acceso a información eléctrica adicional y a registros históricos de mayor detalle se encontró limitado debido a las restricciones administrativas y de autorización establecidas por la empresa para la entrega de dicha información. En consecuencia, el análisis histórico se

realizó con base en las planillas eléctricas que pudieron ser facilitadas durante el desarrollo de la investigación.

Esta condición constituye una limitación en cuanto a la disponibilidad de información complementaria, sin afectar el análisis efectuado a partir de los registros proporcionados y de las mediciones realizadas durante el monitoreo.

Tabla 177. Resumen de los parámetros eléctricos obtenidos de las facturas de energía eléctrica

| Mes | Demanda máxima (kW) | Energía reactiva (kVArh) | Factor de potencia | Penalización por bajo factor de potencia (USD) |
|---|---|---|---|---|
| **Enero 2026** | 421 | 5 335 | 0,9902 | 0,00 |
| **Febrero 2026** | 419 | 10 491 | 0,9572 | 0,00 |
| **Marzo 2026** | 414 | 16 409 | 0,9223 | 83,76 |
| **Abril 2026** | 289 | 16 770 | 0,9052 | 143,40 |
| **Mayo 2026** | 433 | 18 767 | 0,8841 | 259,71 |
| **Junio 2026** | 415 | 13 419 | 0,9335 | 28,08 |
| **Julio 2026** | 259,80 | 12 333 | 0,9523 | 0,00 |
| **Agosto 2026** | 319 | 12 048 | 0,9524 | 0,00 |
| **Promedio** | 371,23 | 13.196,50 | 0,93715 | 64,37 |

Fuente: Elaboración propia con base en las facturas de la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur.

La Tabla 17 presenta los principales parámetros registrados en las facturas emitidas por la Empresa Eléctrica Regional Centro Sur durante los meses de enero a agosto de 2026. Estos registros permiten evaluar el comportamiento del sistema de compensación de potencia reactiva bajo condiciones normales de operación durante períodos mensuales completos.

**Comportamiento de la demanda máxima**

La demanda máxima registrada durante el período analizado presentó un comportamiento variable, con un promedio de 371,23 kW. En enero y febrero se registraron valores de 421 kW y 419 kW, respectivamente, mientras que en marzo alcanzó 414 kW. Posteriormente, en abril se produjo una disminución hasta 289 kW, seguida de un incremento significativo en mayo, cuando se registró el valor máximo del período con 433 kW.

Durante junio la demanda alcanzó 415 kW, mientras que en julio disminuyó hasta 259,8 kW, para posteriormente incrementarse a 319 kW en agosto. En términos generales, los registros evidencian que la demanda de la instalación no se mantiene constante y presenta variaciones importantes entre períodos de facturación, lo que refleja cambios en las condiciones de operación y en el nivel de carga del Terminal.

**Comportamiento de la energía reactiva**

La energía reactiva presentó una tendencia creciente durante los primeros meses, pasando de 5.335 kVARh en enero a 10.491 kVARh en febrero y 16.409 kVARh en marzo. Posteriormente, alcanzó 16.770 kVARh en abril y el máximo del período, de 18.767 kVARh, en mayo. A partir de junio se observa una reducción, con 13.419 kVARh, seguida de valores de 12.333 kVARh en julio y 12.048 kVARh en agosto. El promedio de los ocho meses fue de 13.196,50 kVARh.

Este comportamiento evidencia que el consumo de energía reactiva fue variable y alcanzó sus mayores niveles entre marzo y mayo, período que coincide además con una disminución del factor de potencia. Por tanto, los registros históricos muestran que la demanda reactiva no permanece constante y que existen períodos en los cuales la instalación requiere una mayor compensación de potencia reactiva.

**Comportamiento del factor de potencia**

El factor de potencia presentó una variación significativa durante los ocho meses analizados, con un promedio de 0,93715. En enero se registró un valor de 0,9902, seguido de una disminución a 0,9572 en febrero y 0,9223 en marzo. La reducción continuó durante abril y mayo, alcanzando 0,9052 y 0,8841, respectivamente, siendo este último el valor más bajo del período.

En junio se observa una recuperación hasta 0,9335, mientras que en julio y agosto el factor de potencia volvió a superar 0,95, con valores de 0,9523 y 0,9524. Este comportamiento demuestra que el factor de potencia no permanece en una condición constante: durante

algunos meses presenta valores adecuados, mientras que durante otros disminuye hasta niveles que generan penalización por bajo factor de potencia. La evolución observada guarda relación con el comportamiento de la energía reactiva, ya que los meses con mayor consumo de energía reactiva —particularmente marzo, abril y mayo— coinciden con los valores más bajos de factor de potencia.

### 4.3 Cálculo de la potencia reactiva requerida

Para determinar la capacidad requerida del banco de capacitores se empleó el método basado en el factor de potencia, utilizando la demanda máxima registrada en la facturación del mes de mayo de 2026, correspondiente a la condición de menor factor de potencia observada durante el período analizado.

Para el dimensionamiento de la compensación reactiva se adoptó un factor de potencia objetivo de 0,98, considerado como criterio técnico de diseño para mantener el factor de potencia de la instalación por encima del límite de 0,94 utilizado como referencia para la evaluación de penalizaciones. Este valor permite establecer una condición de operación con un margen respecto del límite de penalización y constituye el valor objetivo empleado para determinar la capacidad de compensación requerida.

Los datos utilizados fueron:

- Potencia activa máxima:

$$P = 433 \text{ kW}$$

- Factor de potencia inicial:

$$FP_1 = 0.8841$$

- Factor de potencia objetivo:

$$FP_2 = 0.98$$

La potencia reactiva de compensación se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$Q_c = P(\tan \varphi_1 - \tan \varphi_2) \quad (6)$$

donde:

- $P$= Potencia activa (kW)

- $\varphi_1 = \cos^{-1}(FP_1)$
- $\varphi_2 = \cos^{-1}(FP_2)$

**a. Cálculo del ángulo actual:**

$$\varphi_1 = \cos^{-1}(0.8841) \quad (7)$$
$$\varphi_1 = 27{,}86°$$

**b. Cálculo del ángulo final**

$$\varphi_2 = \cos^{-1}(0.98) \quad (8)$$
$$\varphi_2 = 11.48°$$

**c. Obtención de las tangentes**

$$\tan\varphi_1 = \tan(27.86°) = 0.5285 \quad (9)$$
$$\tan\varphi_2 = \tan(11.48°) = 0.2031 \quad (10)$$

**Potencia reactiva requerida**

Sustituyendo en la ecuación:

$$Q_c = 433(0.5285 - 0.2031) \quad (11)$$
$$Q_c = 433(0.3254)$$
$$Q_c = 140{,}95 \text{ kVAr}$$

Por lo tanto,

$$\boxed{Q_c = 140{,}95 \text{ kVAr}}$$

La instalación dispone actualmente de un banco automático de:

$$Q_{inst} = 150 \text{ kVAr}$$

La diferencia entre ambas capacidades es:

$$\Delta Q = 150 - 140{,}95 \quad (12)$$
$$\Delta Q = 9{,}05 \text{ kVAr}$$

Si calculamos el porcentaje de utilización tenemos:

$$\%\text{Utilizacion} = \frac{150-140,95}{140,95} \times 100 \quad (13)$$
$$= \mathbf{6,42}\%$$

Los resultados obtenidos indican que la capacidad de compensación requerida para las condiciones actuales de operación es aproximadamente 140,95 kVAR, mientras que el banco instalado posee una capacidad de 150 kVAR. La capacidad nominal instalada está por encima de los requerimientos de potencia reactiva.

### 4.4 Evaluación de la distorsión armónica de tensión conforme a la IEEE 519-2022

Una vez analizados los parámetros eléctricos y determinada la capacidad de compensación requerida, se procede a evaluar la Distorsión Armónica Total de Tensión (THDv).

Tabla 188. Resumen de los parámetros eléctricos obtenidos de la distorsión armónica total de voltaje

| Variable | THDv mínimo (%) | THDv medio (%) | THDv máximo (%) | Límite IEEE 519-2022 | Aceptable |
|---|---|---|---|---|---|
| THDv AB | 0,34 | 0,77 | 2,20 | ≤ 8.0 % | Sí |
| THDv BC | 0,37 | 0,81 | 2,25 | ≤ 8.0 % | Sí |
| THDv CA | 0,24 | 0,75 | 1,97 | ≤ 8.0 % | Sí |

Fuente: Elaboración propia

La Tabla 18 presenta los valores mínimo, medio y máximo de la distorsión armónica total de tensión (THDv) registrados durante el período de monitoreo. De acuerdo con la IEEE 519-2022, para sistemas con tensión nominal igual o inferior a 1 kV, a la referencia recomendado para la distorsión armónica total de tensión es del 8 % en el Punto de Acoplamiento Común (PCC).

En todos los casos, los valores permanecieron considerablemente por debajo del límite establecido, evidenciando bajos niveles de distorsión armónica total de tensión entre las líneas analizadas.

## CONCLUSIONES

**1.** Los resultados obtenidos evidencian la existencia de una condición de operación que debe ser verificada en el sistema de compensación de potencia reactiva. Si bien la capacidad nominal instalada del banco de capacitores es de 150 kVAR y, bajo el escenario de mayor exigencia analizado mediante la facturación eléctrica, la compensación requerida se aproxima

a dicho valor, se registraron períodos con factores de potencia inferiores a 0,94 y, consecuentemente, penalizaciones por bajo factor de potencia.

Debido a que el alcance del estudio estuvo orientado a determinar los requerimientos actuales de potencia reactiva mediante el análisis de calidad de energía y facturación, no es posible establecer de manera concluyente una deficiencia en la capacidad nominal del banco, por lo que se recomienda verificar el funcionamiento de sus etapas de compensación, incluyendo la actuación del controlador, conexión y desconexión de los pasos, estado de los contactores y capacitores, así como las condiciones de operación de la carga. Esta verificación permitiría determinar si la compensación disponible está siendo efectivamente conectada de acuerdo con los requerimientos de la instalación.

**2.** A partir del análisis realizado, se determinó que las condiciones actuales de carga del Terminal de Productos Limpios Cuenca son menores a la configuración original de la instalación; sin embargo, los resultados obtenidos a partir de la información histórica de facturación evidencian que, bajo determinadas condiciones de operación, el requerimiento de compensación reactiva puede aproximarse a la capacidad nominal de 150 kVAR actualmente instalada.

No obstante, con la información disponible no es posible establecer que el dimensionamiento original del banco haya sido incorrecto, debido a que ello requeriría conocer las condiciones de diseño y operación consideradas al momento de su implementación.

**3.** Se identificaron períodos con condiciones de subtensión en las tres tensiones fase-fase, cuyos valores mínimos se encontraron por debajo del límite inferior de referencia establecido para una variación del ±5 % respecto de la tensión nominal de 480 V. Estos resultados evidencian la presencia de variaciones de tensión que requieren ser analizadas para determinar su origen, sin que los datos obtenidos permitan atribuirlas directamente a una causa específica

**4**. Los resultados obtenidos evidencian un adecuado estado de la distorsión armónica total de tensión (THDv), debido a que los valores registrados se mantuvieron dentro de los límites establecidos por la IEEE 519-2022 para sistemas con tensión nominal igual o inferior a 1 kV, cuyo valor de referencia es del 8 %. Por tanto, durante el período de monitoreo no se identificaron condiciones significativas de distorsión armónica de tensión que pudieran afectar la calidad de energía del sistema eléctrico analizado.

**5.** Los resultados obtenidos mediante el analizador de calidad de energía evidenciaron un comportamiento estable de la potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente, sin

registrarse anomalías significativas durante el período de monitoreo. En cuanto al factor de potencia, se mantuvo en condiciones favorables, con un valor medio cercano a 0,98; sin embargo, se identificó un evento puntual en el que disminuyó hasta aproximadamente 0,90, evidenciando una condición temporal de bajo factor de potencia.

Por otra parte, las corrientes registradas mantuvieron un comportamiento normal entre las fases, sin evidenciar condiciones anómalas relevantes. En términos generales, a excepción de las variaciones de tensión y del evento puntual de bajo factor de potencia, los parámetros analizados mantuvieron un comportamiento dentro de condiciones normales de operación.

## RECOMENDACIONES

**1.** Se recomienda realizar un estudio complementario que considere de manera detallada las cargas actualmente existentes, las condiciones de operación y las cargas futuras previstas para la instalación, con el fin de determinar si resulta técnicamente conveniente incrementar la capacidad de compensación mediante la incorporación o modificación de etapas del banco, evitando condiciones de bajo factor de potencia y las penalizaciones asociadas.

**2.** Se recomienda realizar una evaluación técnica más detallada del banco de capacitores, considerando el comportamiento observado en el quinto paso de compensación y la antigüedad de sus componentes. Si bien durante la inspección realizada los capacitores, conductores, resistencias y contactores presentaron condiciones adecuadas, el disparo recurrente del breaker del quinto paso requiere una revisión específica para determinar su causa. En función de los resultados de dicha evaluación, se recomienda considerar el reemplazo de los componentes que presenten deterioro por antigüedad y analizar la conveniencia de un rediseño del banco que permita garantizar una compensación adecuada y confiable de la potencia reactiva.

**3.** Resultará importante ampliar el análisis de la calidad de energía mediante la determinación de la Distorsión Total de Demanda (TDD) y de la relación entre la corriente de cortocircuito y la corriente de carga en el Punto de Acoplamiento Común (PCC), lo que permitirá realizar una evaluación integral del cumplimiento de la norma IEEE 519-2022 en lo referente a la distorsión armónica de corriente.

**4.** Se recomienda realizar un estudio específico de regulación y caída de tensión que permita determinar el origen de la subtensión identificada, considerando la tensión de suministro, los ajustes del transformador (taps), la sección, longitud y capacidad de los conductores, las

conexiones y empalmes, así como las condiciones de carga durante los períodos de mayor demanda. Con base en este análisis, se deberán establecer las medidas correctivas que correspondan, tales como ajustes en la fuente de alimentación, adecuación de conductores o mejoras en el sistema de distribución.

**5.** Se recomienda extender este tipo de investigaciones a otras instalaciones que hayan experimentado modificaciones significativas en su demanda eléctrica, con el propósito de verificar si los sistemas de compensación reactiva continúan siendo adecuados para sus condiciones actuales de operación.

**6.** Se recomienda complementar futuras investigaciones mediante el desarrollo de estudios de simulación eléctrica que permitan analizar diferentes escenarios de crecimiento o reducción de carga y su influencia sobre el dimensionamiento óptimo de los sistemas de compensación de potencia reactiva.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2025, 30 de junio). *Resolución Nro. ARCONEL-006/25: Pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica — codificado, año 2025*. https://arconel.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2025/07/Resolucion-06-25-Pliego-tarifario-SPEEE-2025.pdf

Alawasa, K. M., & Al-Badi, A. H. (2024). *Investigation and analysis of the power quality in an academic institution's electrical distribution system. Energies*, 17(16), artículo 3998. https://doi.org/10.3390/en17163998

Alexander, C. K., & Sadiku, M. N. O. (2017). *Fundamentals of Electric Circuits* (6th ed.). McGraw-Hill Education

Arrillaga, J., & Watson, N. R. (2003). *Power System Harmonics* (2nd ed.). John Wiley & Sons

Basu, M., Jena, C., Khan, B., Ali, A., & Khurshaid, T. (2024). *Optimal sizing and placement of capacitors in the isolated microgrid throughout the day considering the demand response program*. Frontiers in Energy Research, 12, artículo 1346330. https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1346330

Blasco, P. A., Montoya-Mira, R., Diez, J. M., & Montoya, R. (2024). *Algorithm for passive reactive power compensation of an unbalanced three-phase four-wire system using capacitors ensuring minimum line losses*. Electric Power Systems Research, 227, artículo 109972. https://doi.org/10.1016/j.epsr.2023.109972

Camara, J. A. (2024). *AC Electrical 101+.* PDH Academy. https://pdhacademy.com/wp-content/uploads/2024/07/538-AC-Electrical-101-Part-I.pdf

Chonata Camacho, J. K., & Yaguar Lalaleo, K. A. (2025). *Análisis de la calidad de energía en el área de aserradero perteneciente a la Empresa Aglomerados Cotopaxi S. A.* [Trabajo de titulación de ingeniería, Universidad Técnica de Cotopaxi]. Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Fluke Corporation. (s. f.). *Analizadores de calidad eléctrica y energía 434/435 de Fluke*. Fluke. https://www.fluke.com/es-mx/producto/comprobacion-electrica/calidad-electrica/434-435

Fluke Corporation. (s. f.). *Desequilibrio de tensión*. https://www.fluke.com/es-us/informacion/blog/motores-sistemas-de-impulsion-bombas-compresores/desequilibrio-de-tension

HIOKI E.E. Corporation. (s. f.). *Power quality*. HIOKI. Recuperado el 18 de julio de 2026, de https://www.hioki.com/us-es/learning/electricity/power-quality.html

IEEE. (2022). *IEEE Std 519-2022: IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems*. Institute of Electrical and Electronics Engineers.

International Electrotechnical Commission. (2024a). *IEC TS 63222-3:2024 Power quality management—Part 3: User characteristics modelling*. https://standards.iteh.ai/catalog/standards/iec/c0546383-7fc3-4480-9925-7ad2ebf1d165/iec-ts-63222-3-2024

National Electrical Manufacturers Association. (2024). *NEMA C12.31G TR-2024: Guide for the measurement of voltage, current, power, energy, and power factor.* ANSI Webstore. https://webstore.ansi.org/standards/nema/nemac1231gtr2024

OpenStax. (2025). *University Physics Volume 2* (Sección 15.2: Simple AC Circuits). Rice University. https://openstax.org/books/university-physics-volume-2/pages/15-2-simple-ac-circuits

Popa, G. N., & Diniș, C. M. (2024). *Low-cost system with transient reduction for automatic power factor controller in three-phase low-voltage installations*. Energies, 17(6), 1363. https://doi.org/10.3390/en17061363

Salam, M. A. (2025*). Analysis of electrical power. En M. A. Salam (Ed.), Electrical machines: Fundamentals and analysis*. Wiley. https://doi.org/10.1002/9781394231201.ch1

Schneider Electric. (2024). *Electrical Installation Guide*. Schneider Electric.

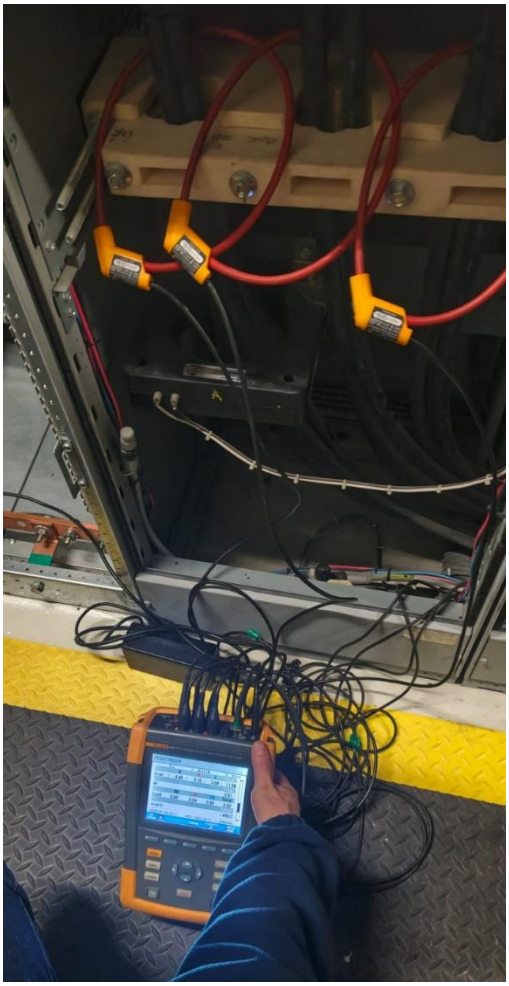
SECOVI. (s. f.). *Distorsión armónica de corriente vs. distorsión armónica de voltaje*. https://secovi.com/blog/3/

Vásquez, W. A. (2024). *Evaluación del factor de potencia en usuarios con equipos de generación para autoabastecimiento*. Revista Técnica «energía», 21(1), 77–83. https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v21.n1.2024.655

von Meier, A. (2024). *Power quality. En Electric power systems*: A conceptual introduction (2.ª ed., cap. 5). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781394241033.ch5

## ANEXOS

**Anexo 1:** Registro Fotográfico, instalación de analizador de energía



**Anexo 2:** Registro Fotográfico, medición de estado de capacitores



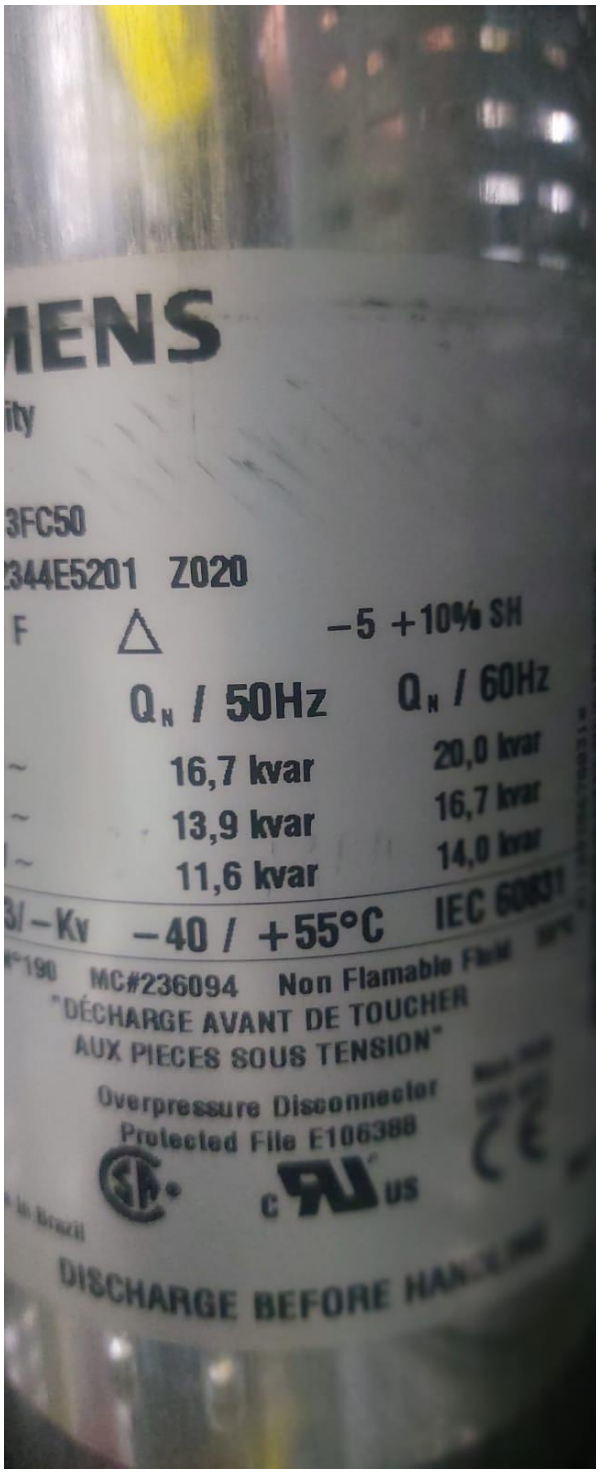
**Anexo 3:** Registro Fotográfico, medición de parámetros eléctricos de banco de capacitores



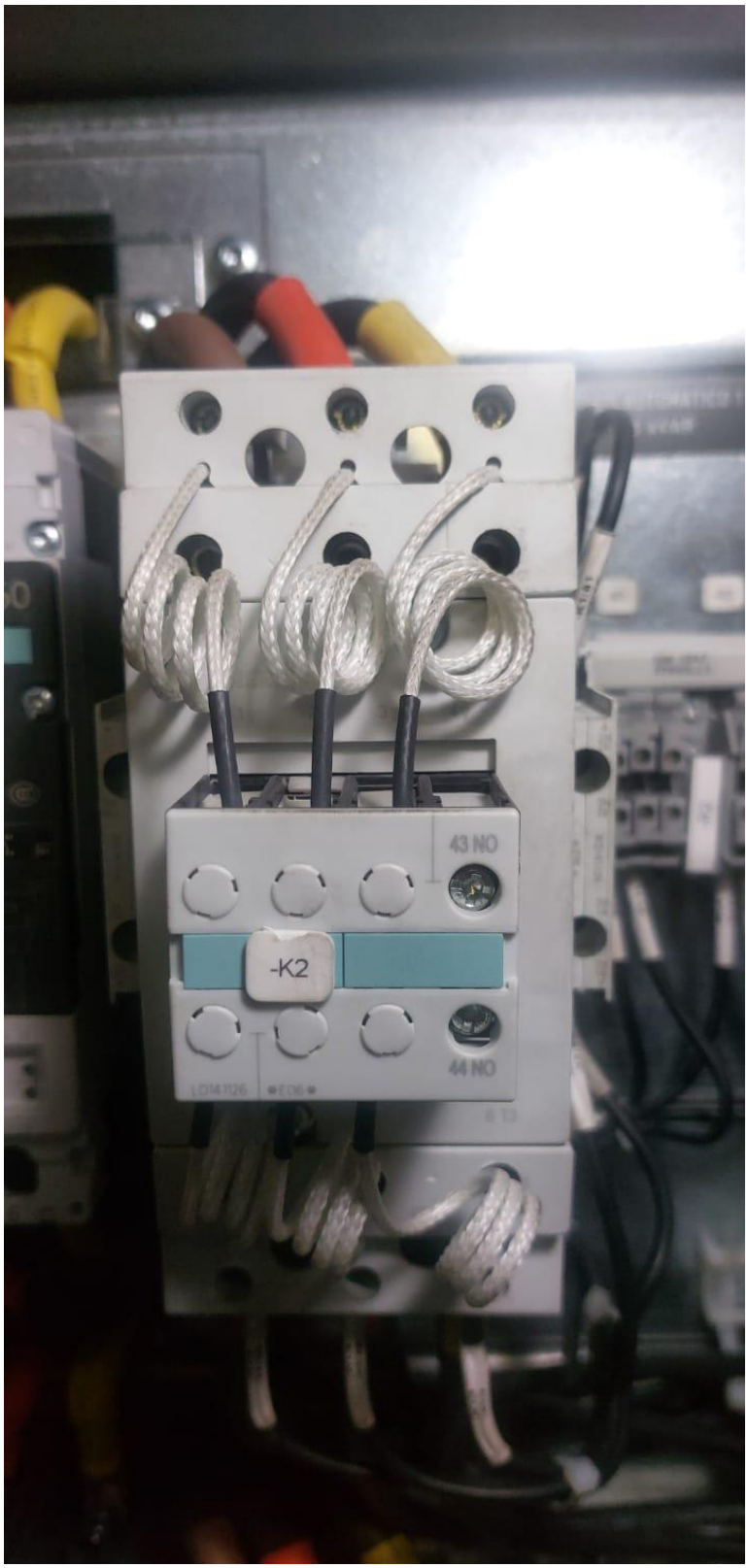
**Anexo 4:** Registro Fotográfico, controlador BR 6000 de banco de capacitores



**Anexo 5:** Registro Fotográfico, vista lateral de condensador de capacitores.



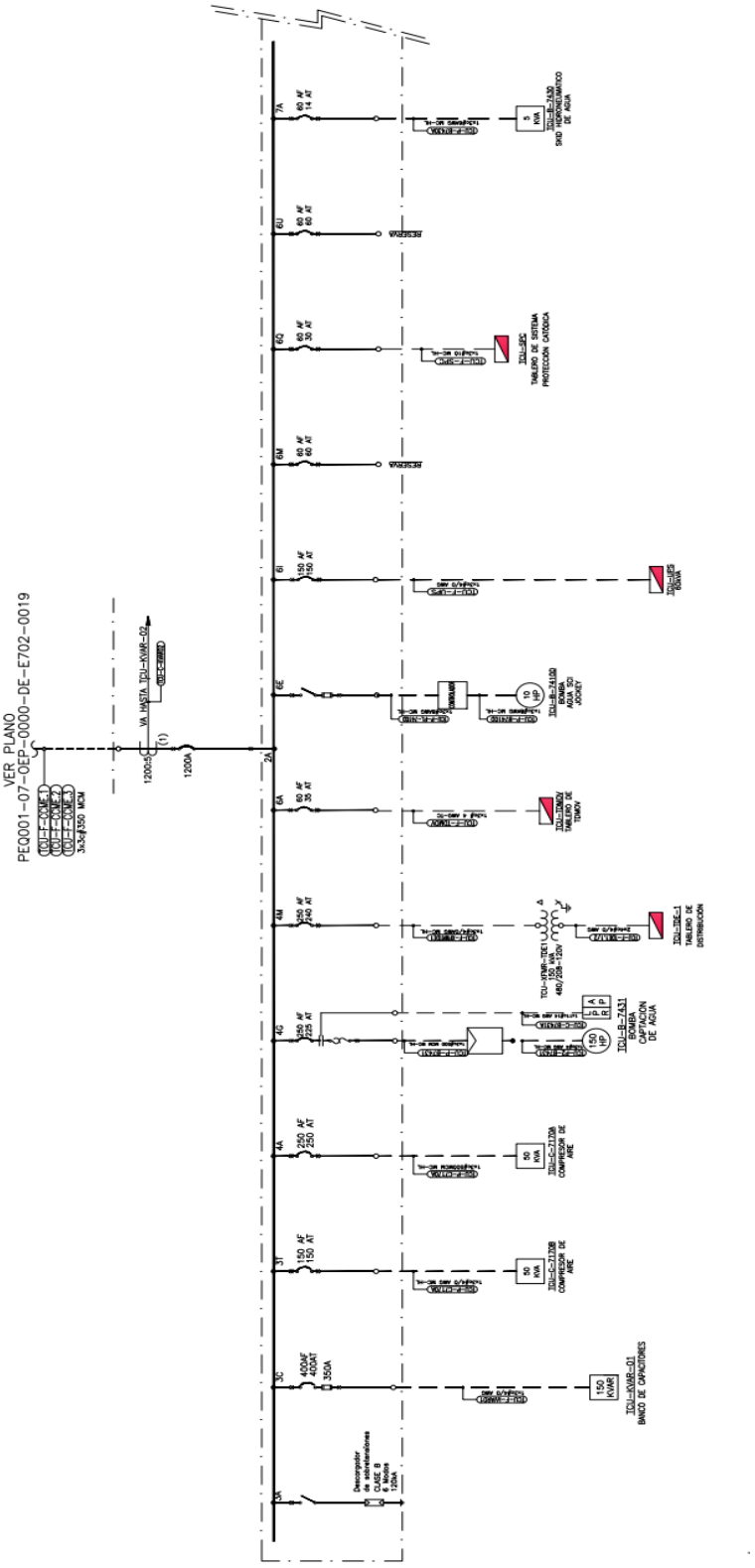
**Anexo 6:** Registro Fotográfico, contactor SIEMENS banco de capacitores.



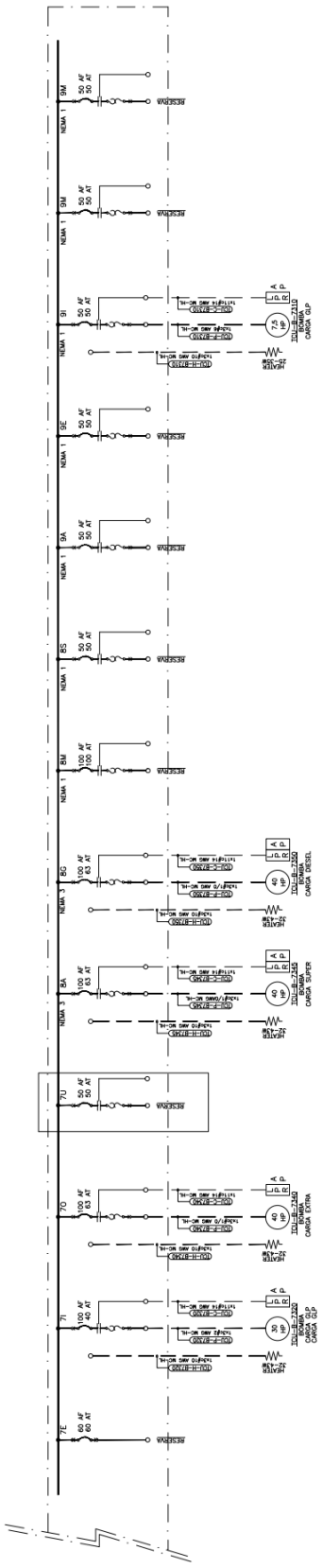
**Anexo 7:** Registro Fotográfico, protecciones SIEMENS de pasos banco de capacitores.



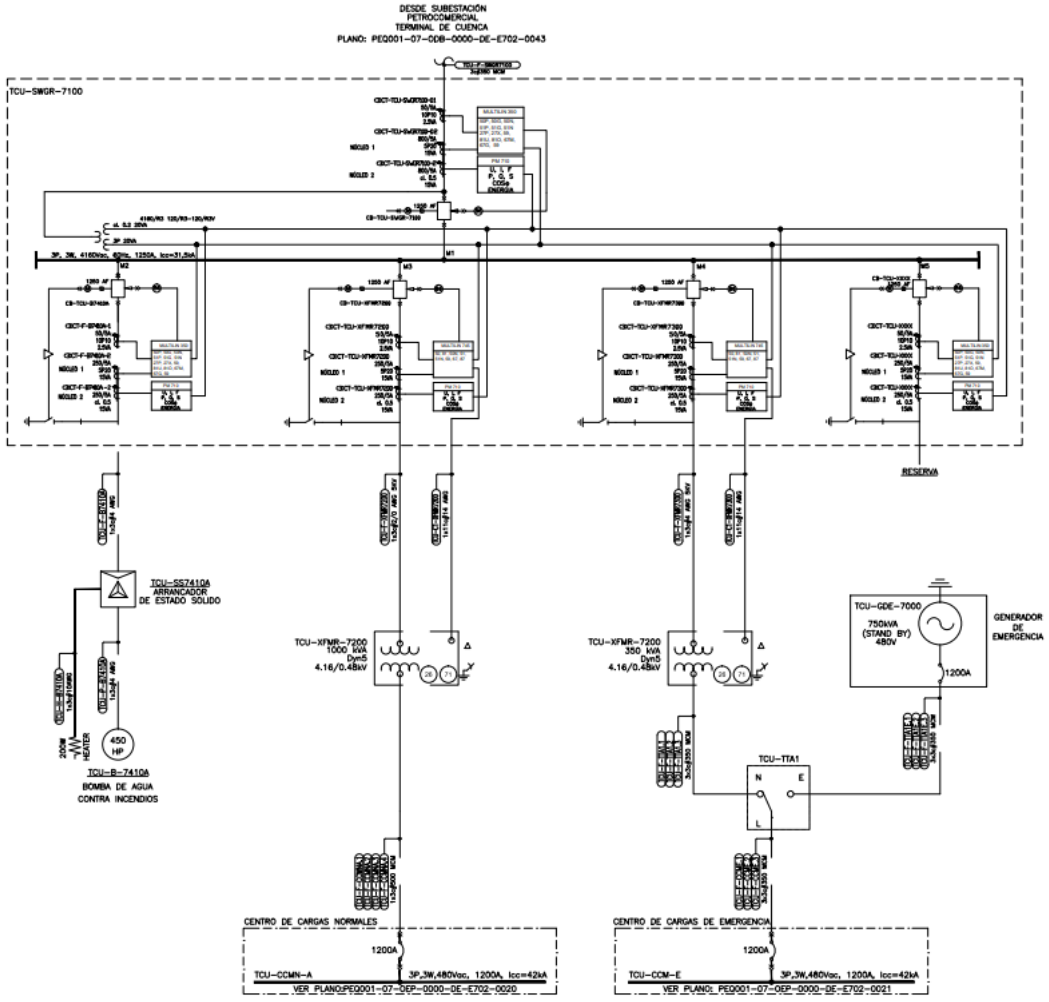
**Anexo 8:** Extracto 1 del plano PEQ001-07-OEP-0000-DE-E702-0021=2. Centro cargas emergente.



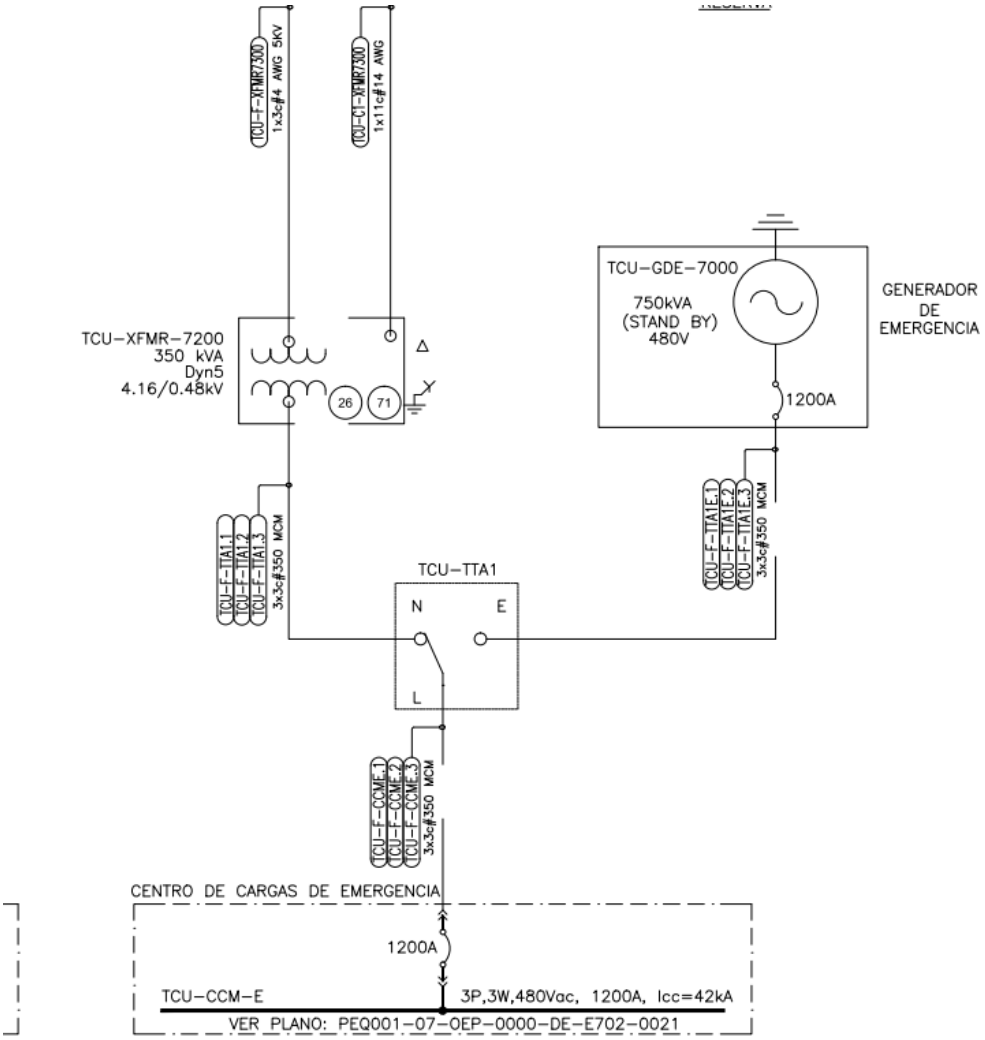
**Anexo 9:** Extracto 2 del plano PEQ001-07-OEP-0000-DE-E702-0021=2. Centro cargas emergente.



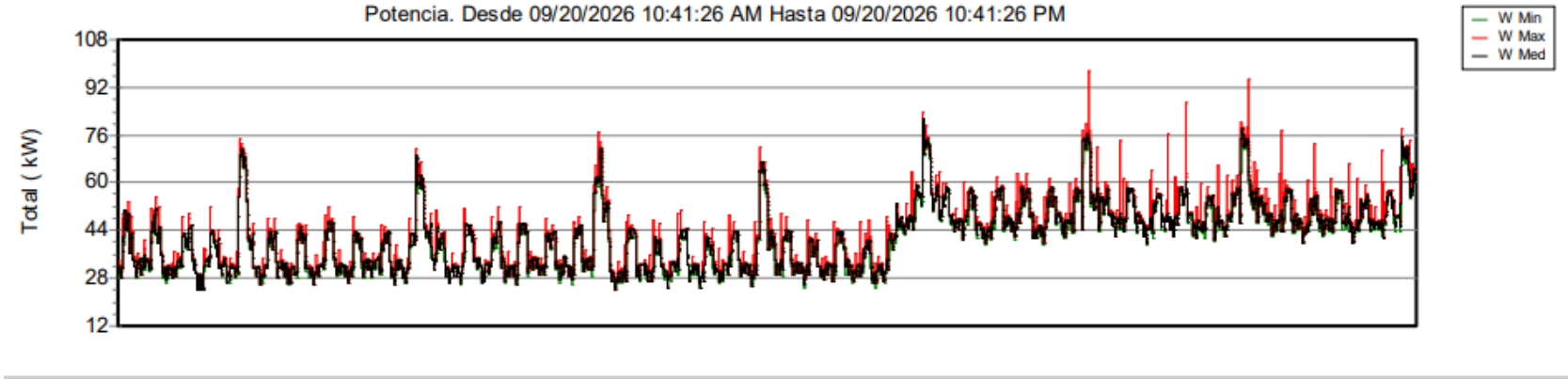
**Anexo 10:** Extracto del plano PEQ001-07-OEP-0000-DE-E702-0019=4.Distribucion eléctrica del Terminal TCU.



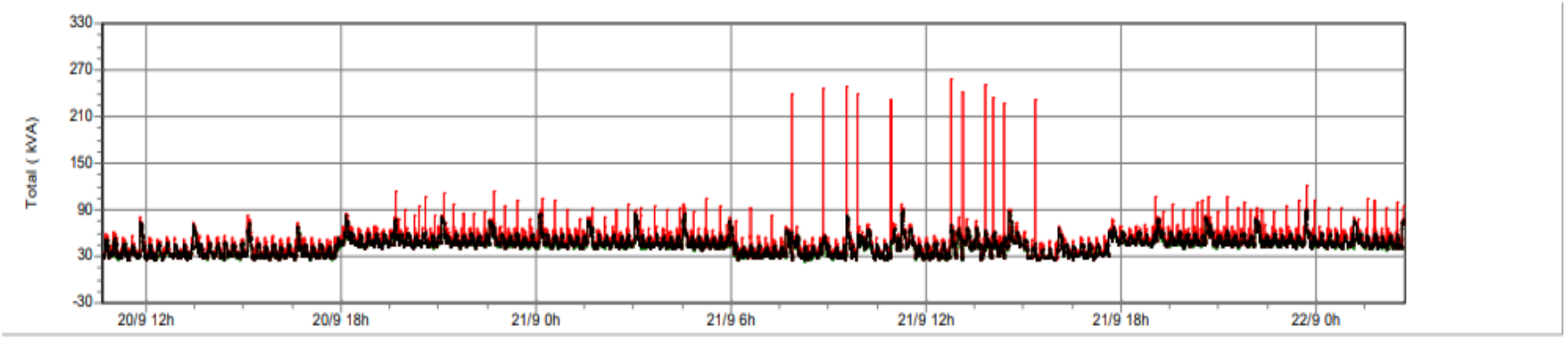
**Anexo 11:** Extracto del plano PEQ001-07-OEP-0000-DE-E702-0019=4, distribución eléctrica hacia el centro de cargas de emergencia.



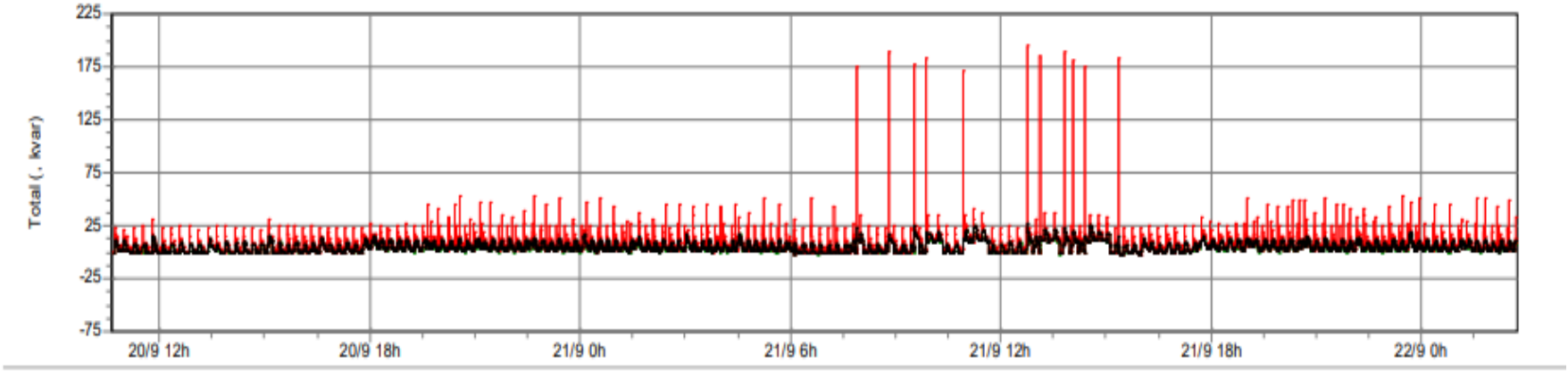
**Anexo 12:** Hoja grafica potencia activa vs tiempo de datos obtenidos del analizador FLUKE 435 – II SERIES



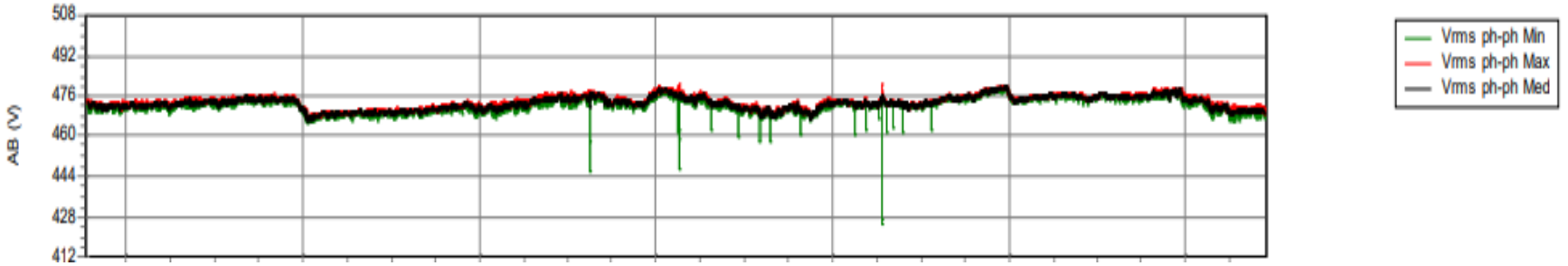

**Anexo 13:** Hoja grafica potencia aparente vs tiempo de datos obtenidos del analizador FLUKE 435 – II SERIES

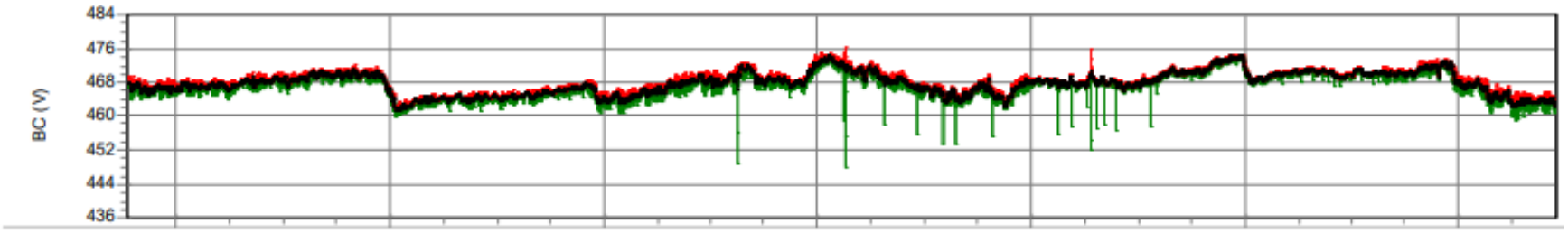


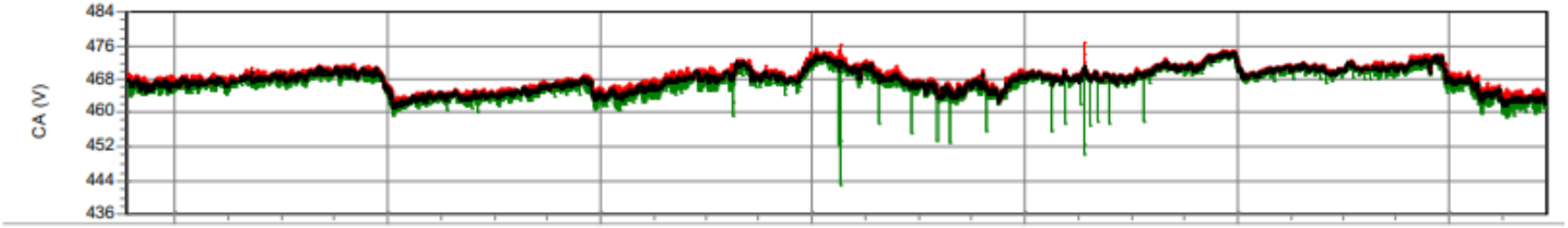
**Anexo *14*:** *Hoja grafica potencia reactiva vs tiempo de datos obtenidos del analizador FLUKE 435 – II SERIES*

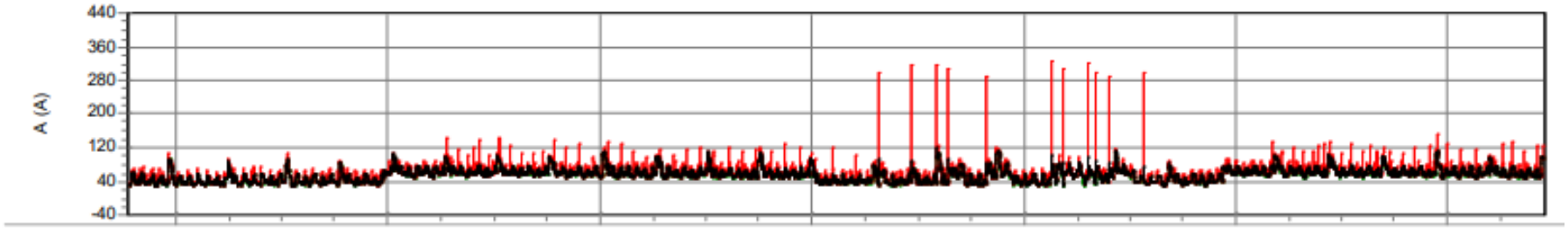


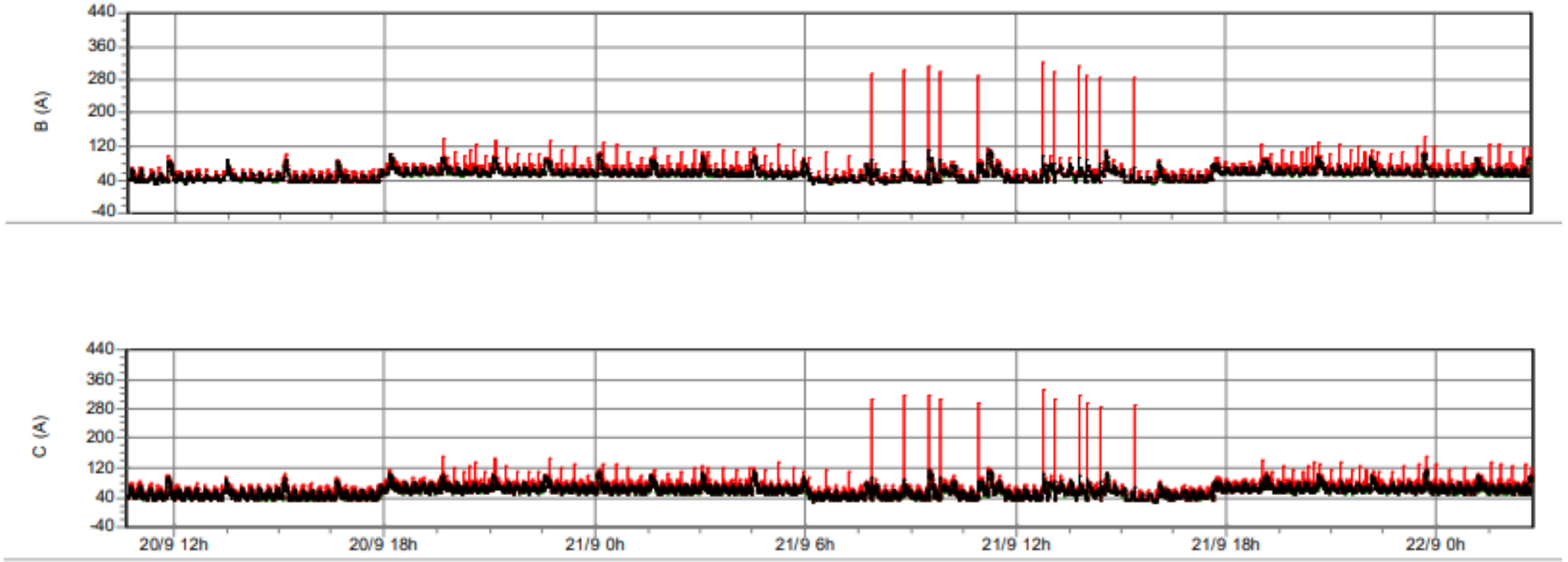

**Anexo 12:** *Hoja grafica potencia tensión y corriente vs tiempo de datos obtenidos del analizador FLUKE 435 – II SERIES*




BC (V)
484
476
468
460
452
444
436


CA (V)
484
476
468
460
452
444
436


A (A)
440
360
280
200
120
40
-40


B (A)
440
360
280
200
120
40
-40
C (A)
440
360
280
200
120
40
-40
20/9 12h
20/9 18h
21/9 0h
21/9 6h
21/9 12h
21/9 18h
22/9 0h

**Anexo 16:** Facturas eléctricas mes enero a agosto 2026, Terminal Productos limpios EP PETROECUADOR. No se muestran los datos de la empresa por protección de la confidencialidad.

ENERO

**1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Número de medidor** | 1504A08802 | | | | |
| **Tipo de consumo** | leído | **Días facturados** | 31 | **Fac Gest de la Demanda** | 0,6000 |
| **Fecha desde** | 02-01-2026 | **Fecha hasta** | 01-02-2026 | **Factor de potencia (FP)** | 0,9902 |
| | | | | **Penalización bajo FP** | 0,0000 |

| Descripción | Fecha Hasta | Lectura Actual | Lectura Anterior | Diferencia Consumo | Consumo Subtotal | Consumo interno Transformador | Consumo Total | Unidad Medida | Monto ($) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Energía act. hor. A (08h00-18h00) | 01-02-2026 | 2847032,00 | 2830872,00 | | 16160,00 | 0,00 | 16160,00 | kWh | 1405,92 |
| Energía act. hor. B (18h00-22h00) | 01-02-2026 | 1000763,00 | 994049,00 | | 6714,00 | 0,00 | 6714,00 | kWh | 584,12 |
| Energía act. hor. C (22h00-08h00) | 01-02-2026 | 2234970,00 | 2219993,00 | | 14977,00 | 0,00 | 14977,00 | kWh | 1123,28 |
| Energía reactiva total | 01-02-2026 | 2751801,00 | 2746466,00 | | 5335,00 | 0,00 | 5335,00 | kVarh | |
| Demanda máx. hor. A (08h00-18h00) | 01-02-2026 | 421,00 | | | 421,00 | 0,00 | 421,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. B (18h00-22h00) | 01-02-2026 | 84,00 | | | 84,00 | 0,00 | 84,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. C (22h00-08h00) | 01-02-2026 | 421,00 | | | 421,00 | 0,00 | 421,00 | kW | |
| Demanda facturable | 01-02-2026 | 421,00 | | | 421,00 | 0,00 | 421,00 | kW | 1155,90 |

FEBRERO

**1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Número de medidor** | 1504A08802 | | | | |
| **Tipo de consumo** | leído | **Días facturados** | 28 | **Fac Gest de la Demanda** | 0,6000 |
| **Fecha desde** | 02-02-2026 | **Fecha hasta** | 01-03-2026 | **Factor de potencia (FP)** | 0,9572 |
| | | | | **Penalización bajo FP** | 0,0000 |

| Descripción | Fecha Hasta | Lectura Actual | Lectura Anterior | Diferencia Consumo | Consumo Subtotal | Consumo interno Transformador | Consumo Total | Unidad Medida | Monto ($) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Energía act. hor. A (08h00-18h00) | 01-03-2026 | 2862012,00 | 2847032,00 | | 14980,00 | 0,00 | 14980,00 | kWh | 1303,26 |
| Energía act. hor. B (18h00-22h00) | 01-03-2026 | 1006799,00 | 1000763,00 | | 6036,00 | 0,00 | 6036,00 | kWh | 525,13 |
| Energía act. hor. C (22h00-08h00) | 01-03-2026 | 2248638,00 | 2234970,00 | | 13668,00 | 0,00 | 13668,00 | kWh | 1025,10 |
| Energía reactiva total | 01-03-2026 | 2762292,00 | 2751801,00 | | 10491,00 | 0,00 | 10491,00 | kVarh | |
| Demanda máx. hor. A (08h00-18h00) | 01-03-2026 | 419,00 | | | 419,00 | 0,00 | 419,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. B (18h00-22h00) | 01-03-2026 | 67,00 | | | 67,00 | 0,00 | 67,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. C (22h00-08h00) | 01-03-2026 | 419,00 | | | 419,00 | 0,00 | 419,00 | kW | |
| Demanda facturable | 01-03-2026 | 419,00 | | | 419,00 | 0,00 | 419,00 | kW | 1150,41 |

MARZO

**1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Número de medidor** | 1504A08802 | | | | |
| **Tipo de consumo** | leído | **Días facturados** | 31 | **Fac Gest de la Demanda** | 0,6000 |
| **Fecha desde** | 02-03-2026 | **Fecha hasta** | 01-04-2026 | **Factor de potencia (FP)** | 0,9223 |
| | | | | **Penalización bajo FP** | 0,0192 |

| Descripción | Fecha Hasta | Lectura Actual | Lectura Anterior | Diferencia Consumo | Consumo Subtotal | Consumo interno Transformador | Consumo Total | Unidad Medida | Monto ($) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Energía act. hor. A (08h00-18h00) | 01-04-2026 | 2879379,00 | 2862012,00 | | 17367,00 | 0,00 | 17367,00 | kWh | 1510,93 |
| Energía act. hor. B (18h00-22h00) | 01-04-2026 | 1013443,00 | 1006799,00 | | 6644,00 | 0,00 | 6644,00 | kWh | 578,03 |
| Energía act. hor. C (22h00-08h00) | 01-04-2026 | 2263780,00 | 2248638,00 | | 15142,00 | 0,00 | 15142,00 | kWh | 1135,65 |
| Energía reactiva total | 01-04-2026 | 2778701,00 | 2762292,00 | | 16409,00 | 0,00 | 16409,00 | kVarh | |
| Demanda máx. hor. A (08h00-18h00) | 01-04-2026 | 414,00 | | | 414,00 | 0,00 | 414,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. B (18h00-22h00) | 01-04-2026 | 68,00 | | | 68,00 | 0,00 | 68,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. C (22h00-08h00) | 01-04-2026 | 414,00 | | | 414,00 | 0,00 | 414,00 | kW | |
| Demanda facturable | 01-04-2026 | 414,00 | | | 414,00 | 0,00 | 414,00 | kW | 1136,68 |

ABRIL

**1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Número de medidor** | 1504A08802 | | | | |
| **Tipo de consumo** | leído | **Días facturados** | 30 | **Fac Gest de la Demanda** | 0,6000 |
| **Fecha desde** | 02-04-2026 | **Fecha hasta** | 01-05-2026 | **Factor de potencia (FP)** | 0,9052 |
| | | | | **Penalización bajo FP** | 0,0384 |

| Descripción | Fecha Hasta | Lectura Actual | Lectura Anterior | Diferencia Consumo | Consumo Subtotal | Consumo interno Transformador | Consumo Total | Unidad Medida | Monto ($) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Energía act. hor. A (08h00-18h00) | 01-05-2026 | 2894757,00 | 2879379,00 | | 15378,00 | 0,00 | 15378,00 | kWh | 1337,89 |
| Energía act. hor. B (18h00-22h00) | 01-05-2026 | 1019823,00 | 1013443,00 | | 6380,00 | 0,00 | 6380,00 | kWh | 555,06 |
| Energía act. hor. C (22h00-08h00) | 01-05-2026 | 2277734,00 | 2263780,00 | | 13954,00 | 0,00 | 13954,00 | kWh | 1046,55 |
| Energía reactiva total | 01-05-2026 | 2795471,00 | 2778701,00 | | 16770,00 | 0,00 | 16770,00 | kVarh | |
| Demanda máx. hor. A (08h00-18h00) | 01-05-2026 | 289,00 | | | 289,00 | 0,00 | 289,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. B (18h00-22h00) | 01-05-2026 | 81,00 | | | 81,00 | 0,00 | 81,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. C (22h00-08h00) | 01-05-2026 | 289,00 | | | 289,00 | 0,00 | 289,00 | kW | |
| Demanda facturable | 01-05-2026 | 289,00 | | | 289,00 | 0,00 | 289,00 | kW | 793,48 |

MAYO

**1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

**Número de medidor** 1504A08802
**Tipo de consumo** leído
**Fecha desde** 02-05-2026
**Días facturados** 31
**Fecha hasta** 01-06-2026
**Fac Gest de la Demanda** 0,6000
**Factor de potencia (FP)** 0,8841
**Penalización bajo FP** 0,0632

| Descripción | Fecha Hasta | Lectura Actual | Lectura Anterior | Diferencia Consumo | Consumo Subtotal | Consumo interno Transformador | Consumo Total | Unidad Medida | Monto ($) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Energía act. hor. A (08h00-18h00) | 01-06-2026 | 2909583,00 | 2894757,00 | | 14826,00 | 0,00 | 14826,00 | kWh | 1289,86 |
| Energía act. hor. B (18h00-22h00) | 01-06-2026 | 1026376,00 | 1019823,00 | | 6553,00 | 0,00 | 6553,00 | kWh | 570,11 |
| Energía act. hor. C (22h00-08h00) | 01-06-2026 | 2291855,00 | 2277734,00 | | 14121,00 | 0,00 | 14121,00 | kWh | 1059,08 |
| Energía reactiva total | 01-06-2026 | 2814238,00 | 2795471,00 | | 18767,00 | 0,00 | 18767,00 | kVARh | |
| Demanda máx. hor. A (08h00-18h00) | 01-06-2026 | 433,00 | | | 433,00 | 0,00 | 433,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. B (18h00-22h00) | 01-06-2026 | 68,00 | | | 68,00 | 0,00 | 68,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. C (22h00-08h00) | 01-06-2026 | 433,00 | | | 433,00 | 0,00 | 433,00 | kW | |
| Demanda facturable | 01-06-2026 | 433,00 | | | 433,00 | 0,00 | 433,00 | kW | 1188,84 |

JUNIO

**1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

**Número de medidor** 1504A08802
**Tipo de consumo** leído
**Fecha desde** 02-06-2026
**Días facturados** 30
**Fecha hasta** 01-07-2026
**Fac Gest de la Demanda** 0,6000
**Factor de potencia (FP)** 0,9335
**Penalización bajo FP** 0,0070

| Descripción | Fecha Hasta | Lectura Actual | Lectura Anterior | Diferencia Consumo | Consumo Subtotal | Consumo interno Transformador | Consumo Total | Unidad Medida | Monto ($) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Energía act. hor. A (08h00-18h00) | 01-07-2026 | 2923982,00 | 2909583,00 | | 14399,00 | 0,00 | 14399,00 | kWh | 1252,71 |
| Energía act. hor. B (18h00-22h00) | 01-07-2026 | 1032910,00 | 1026376,00 | | 6534,00 | 0,00 | 6534,00 | kWh | 568,46 |
| Energía act. hor. C (22h00-08h00) | 01-07-2026 | 2305853,00 | 2291855,00 | | 13998,00 | 0,00 | 13998,00 | kWh | 1049,85 |
| Energía reactiva total | 01-07-2026 | 2827657,00 | 2814238,00 | | 13419,00 | 0,00 | 13419,00 | kVARh | |
| Demanda máx. hor. A (08h00-18h00) | 01-07-2026 | 415,00 | | | 415,00 | 0,00 | 415,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. B (18h00-22h00) | 01-07-2026 | 76,00 | | | 76,00 | 0,00 | 76,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. C (22h00-08h00) | 01-07-2026 | 415,00 | | | 415,00 | 0,00 | 415,00 | kW | |
| Demanda facturable | 01-07-2026 | 415,00 | | | 415,00 | 0,00 | 415,00 | kW | 1139,42 |

JULIO

**1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

**Número de medidor** 1504A08802
**Tipo de consumo** leído
**Fecha desde** 02-07-2026
**Días facturados** 31
**Fecha hasta** 01-08-2026
**Fac Gest de la Demanda** 0,6000
**Factor de potencia (FP)** 0,9523
**Penalización bajo FP** 0,0000

| Descripción | Fecha Hasta | Lectura Actual | Lectura Anterior | Diferencia Consumo | Consumo Subtotal | Consumo interno Transformador | Consumo Total | Unidad Medida | Monto ($) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Energía act. hor. A (08h00-18h00) | 01-08-2026 | 2940086,00 | 2923982,00 | | 16104,00 | 0,00 | 16104,00 | kWh | 1401,05 |
| Energía act. hor. B (18h00-22h00) | 01-08-2026 | 1040062,00 | 1032910,00 | | 7152,00 | 0,00 | 7152,00 | kWh | 622,22 |
| Energía act. hor. C (22h00-08h00) | 01-08-2026 | 2321079,00 | 2305853,00 | | 15226,00 | 0,00 | 15226,00 | kWh | 1141,95 |
| Energía reactiva total | 01-08-2026 | 2839990,00 | 2827657,00 | | 12333,00 | 0,00 | 12333,00 | kVARh | |
| Demanda máx. hor. A (08h00-18h00) | 01-08-2026 | 230,00 | | | 230,00 | 0,00 | 230,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. B (18h00-22h00) | 01-08-2026 | 72,00 | | | 72,00 | 0,00 | 72,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. C (22h00-08h00) | 01-08-2026 | 230,00 | | | 230,00 | 0,00 | 230,00 | kW | |
| Demanda facturable | 01-08-2026 | 259,80 | | | 259,80 | 0,00 | 259,80 | kW | 713,31 |

AGOSTO

**1. Información Servicio Eléctrico y Alumbrado Público**

**Número de medidor** 1504A08802
**Tipo de consumo** leído
**Fecha desde** 02-08-2026
**Días facturados** 31
**Fecha hasta** 01-09-2026
**Fac Gest de la Demanda** 0,6000
**Factor de potencia (FP)** 0,9524
**Penalización bajo FP** 0,0000

| Descripción | Fecha Hasta | Lectura Actual | Lectura Anterior | Diferencia Consumo | Consumo Subtotal | Consumo interno Transformador | Consumo Total | Unidad Medida | Monto ($) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Energía act. hor. A (08h00-18h00) | 01-09-2026 | 2955441,00 | 2940086,00 | | 15355,00 | 0,00 | 15355,00 | kWh | 1335,89 |
| Energía act. hor. B (18h00-22h00) | 01-09-2026 | 1047095,00 | 1040062,00 | | 7033,00 | 0,00 | 7033,00 | kWh | 611,87 |
| Energía act. hor. C (22h00-08h00) | 01-09-2026 | 2336339,00 | 2321079,00 | | 15260,00 | 0,00 | 15260,00 | kWh | 1144,50 |
| Energía reactiva total | 01-09-2026 | 2852038,00 | 2839990,00 | | 12048,00 | 0,00 | 12048,00 | kVARh | |
| Demanda máx. hor. A (08h00-18h00) | 01-09-2026 | 319,00 | | | 319,00 | 0,00 | 319,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. B (18h00-22h00) | 01-09-2026 | 71,00 | | | 71,00 | 0,00 | 71,00 | kW | |
| Demanda máx. hor. C (22h00-08h00) | 01-09-2026 | 319,00 | | | 319,00 | 0,00 | 319,00 | kW | |
| Demanda facturable | 01-09-2026 | 319,00 | | | 319,00 | 0,00 | 319,00 | kW | 875,85 |

**AUTORIZACION DE PUBLICACION EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

Yo, Christian Jesús Dominguez Banegas portador de la cédula de ciudadanía N.º 0105214332. En calidad de autor/a y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Análisis de calidad de energía en el banco de capacitores en el sistema eléctrico del Terminal Cuenca de Petroecuador” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 22 de octubre de 2026



F. ……..

Christian Jesús Dominguez Banegas

0105214332