

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# **Intervención de la calidad de la energía reactiva en un transformador para equipos de ayudas diagnósticas en el Centro Oncológico Antioquia (COA)**

Alexander Gil Ramírez

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:  
Ingeniero Electromecánico

Santiago Gómez Arango  
Alejandra María Isaza López

Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM  
Facultad de Ingenierías  
Departamento de Ingenierías  
Medellín, Colombia  
2024

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## RESUMEN

---

La pasantía: “Intervención en la calidad de la energía reactiva en el transformador de ayudas diagnósticas en el Centro Oncológico Antioquia (COA)” se llevó a cabo en varias etapas. En primer lugar, se realizó un diagnóstico mediante el análisis de la facturación de consumo de la energía durante el primer trimestre del 2024, evidenciando un cobro por exceso de energía reactiva. En segundo lugar, se llevó a cabo un estudio de la infraestructura eléctrica, haciendo mediciones de voltaje, corriente y factor de potencia para evaluar la eficiencia energética y la estabilidad del sistema, se evaluó el transformador y la medición de energía reactiva mediante un analizador de red, identificando fluctuaciones en esta. En tercer lugar, para mejorar la calidad de la energía reactiva, se recomendó la instalación de un banco de condensadores de energía reactiva en el transformador.

El objetivo de esta intervención es compensar la energía reactiva excedente y mejorar el factor de potencia, lo que se reflejará en una mayor estabilidad en el suministro eléctrico, y en una mejora significativa en la precisión y confiabilidad de los equipos de diagnóstico. Dicha estrategia se reflejará en ahorros significativos en términos de eficiencia energética, lo que beneficia a la clínica en términos de costos operativos y al medio ambiente al reducir el consumo de energía.

En conclusión, la intervención en la calidad de la energía reactiva en un transformador de ayudas diagnósticas está determinada por la cantidad de la energía reactiva, los equipos y tecnología que dicho transformador soporta. La intervención puede ser a través de un banco de condensadores, como en el caso específico del COA, donde la cantidad de la energía reactiva no amerita intervenciones de mayor complejidad y costos como son los compensadores dinámicos.

*Palabras clave:* Energía reactiva, factor de potencia, transformador de potencia, banco de condensadores.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## RECONOCIMIENTOS

---

Agradezco a todas las personas que me brindaron su apoyo incondicional durante la realización de mi proceso formativo como Ingeniero Electromecánico, especialmente en la fase de desarrollo de la pasantía como trabajo de grado: Profesores, asesor de trabajo de grado, al Centro Oncológico Antioquia por abrirme sus puertas para el desarrollo de la pasantía y a la ingeniera Alejandra María Isaza López, Directora de infraestructura y área de biomédica del Centro Oncológico Antioquia, al Ingeniero Jhony Rincón de la empresa Proeléctrico por su disponibilidad y cooperación para la realización del trabajo de grado.

A mi familia, por su amor incondicional, comprensión y sacrificio, que siempre me han motivado a dar lo mejor de mí en cada paso que doy. Su apoyo emocional y su presencia constante han sido mi mayor fortaleza.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## ACRÓNIMOS

---

*BIT* Breaker Integrated Transformers - Transformadores con Disyuntor Integrado

*CA* Corriente Alterna

*CC* Corriente Continua

*CREG* Comisión de Regulación de Energía y Gas

*COA* Centro Oncológico Antioquia

*ICONTEC* Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación

*IEC* Comisión Electrotécnica Internacional

*IEEE* Institute of Electrical and Electronics Engineers

*kVA* Kilovoltiamperios

*NEC* Código Eléctrico Nacional

*NTC* Norma Técnica Colombiana

*RETIE* Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas

*TC's* Transformadores de corriente

*THD-I* Distorsión armónica total de corriente

*THD-V* Distorsión armónica total de voltaje

*TP's* Transformadores de potencia

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## TABLA DE CONTENIDO

---

1. INTRODUCCIÓN .....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	10
3. METODOLOGÍA.....	1026
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO .....	427
REFERENCIAS .....	429
ANEXOS.....	472

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

# 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1.1. Generalidades

El Centro Oncológico de Antioquia S.A.S fue fundado el 19 de agosto de 2008, por un grupo interdisciplinario en oncología e ingeniería, comprometidos en prestar su conocimiento y calidad humana a los pacientes con enfermedades neoplásicas. Para el año 2018, se construyó la sede propia en el municipio de Envigado, la cual permite ofrecer una atención integral mediante los servicios de: Consulta externa, Quimioterapia, Radioterapia, Braquiterapia de alta tasa, Cirugía, Hospitalización, Cuidados Intensivos e Intermedios, Cuidados Paliativos, Imagenología, Medicina Nuclear, Trasplante de Médula Ósea, Urgencias y Patología. El centro tiene como misión: “Cuidar de los pacientes oncológicos con un equipo de profesionales médico, asistencial y administrativo, comprometidos en brindar toda su capacidad técnica y científica de forma humanizada” (COA, 2024).

En los últimos años, el Centro Oncológico Antioquia ha experimentado un aumento significativo en la demanda de servicios oncológicos, lo cual ha generado desafíos en términos de equipos médicos y espacio físico. Así, por ejemplo, como parte de la política de mejoramiento y mantenimiento del área de infraestructura e ingeniería biomédica se detecta un exceso en la medida de la energía reactiva por parte del operador de red, Empresas Públicas de Medellín (EPM). Ante esta situación problemática, se ve la necesidad de realizar el análisis, diagnóstico e intervención de la calidad de la energía reactiva en el transformador de ayudas diagnósticas, que permita garantizar la precisión y confiabilidad de los equipos de diagnóstico.

En este contexto se abre la posibilidad, como estudiante de Ingeniería Electromecánica, de realizar una pasantía como modalidad de trabajo de grado, cuyo propósito es diseñar una propuesta de intervención para la calidad de la energía reactiva en un transformador para equipos de ayudas diagnósticas. Una oportunidad de aprendizaje y desarrollo de competencias en la línea de Ingeniería o tecnología aplicada.

Uno de los beneficios esperados con la propuesta es el mejoramiento de la calidad de la energía eléctrica para garantizar la fiabilidad y estabilidad del sistema, ya que este es un aspecto fundamental en el diseño y operación de sistemas eléctricos, y la gestión eficiente de la energía reactiva en transformadores.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Adicionalmente, otro aspecto fundamental en la operación de los sistemas eléctricos, son los transformadores que juegan un papel crucial en la distribución y transformación de la energía eléctrica. La energía reactiva, que surge de la interacción de elementos inductivos y capacitivos en los circuitos eléctricos, puede afectar significativamente la calidad y eficiencia del suministro eléctrico.

Dentro de las justificaciones para el desarrollo de una propuesta de intervención de la calidad de la energía reactiva en un transformador para equipos de ayudas diagnósticas para la institución están:

- Comprender y abordar los problemas relacionados con la energía reactiva es esencial para garantizar el funcionamiento óptimo de los sistemas eléctricos y minimizar pérdidas de energía. “Pero si hay exceso de energía reactiva también es malo porque se pueden presentar altas tensiones, las cuales pueden ocasionar problemas en el aislamiento de equipos, saturación de transformadores, problemas de confiabilidad y en la estabilidad de los generadores” (Energía Estratégica, 2019).
- Garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos en el proceso de diagnóstico médico, realizado con equipos de ayudas diagnósticas derivados del circuito de alimentación del transformador eléctrico.
- En Colombia, como en muchos otros países, las empresas de distribución de energía eléctrica suelen aplicar penalizaciones por el consumo de energía reactiva excesiva o por mantener un factor de potencia bajo. Estas penalizaciones se implementan para incentivar a los usuarios a mejorar la eficiencia energética y optimizar el uso de la red eléctrica. Las normativas y tarifas específicas pueden variar según la regulación de cada empresa de servicios públicos y las disposiciones establecidas por los entes reguladores del sector energético en el país, como la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) en Colombia.
- Para determinar el consumo de energía reactiva y calcular las penalizaciones correspondientes, las empresas de servicios públicos suelen instalar equipos de medición adecuados, como medidores de energía reactiva y medidores de factor de potencia. Estos dispositivos registran el consumo de energía activa y reactiva, así como el factor de potencia, para su posterior facturación.
- Las empresas de servicios públicos en Colombia suelen establecer un valor mínimo para el factor de potencia que los usuarios deben mantener. Este valor puede variar según el tipo de usuario y la potencia contratada. Cuando el factor de potencia cae por debajo del umbral (0.85-1) se aplican penalizaciones. Asimismo, se establece un límite para el factor de potencia, algunas empresas de distribución de energía

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

aplican tarifas adicionales por el consumo de energía reactiva excedente. Estas tarifas suelen ser proporcionales a la cantidad de energía reactiva consumida por encima de ciertos límites predefinidos.

Las acciones e intervenciones destinadas a mejorar la calidad de la energía reactiva en transformadores pueden contribuir significativamente a la eficiencia energética, reduciendo pérdidas y optimizando el rendimiento de los equipos eléctricos conectados al sistema.

Además de los beneficios que tiene para la institución el desarrollo de acciones para mejorar la calidad de la energía, se contemplan la relevancia práctica y aplicada de la pasantía en la formación como Ingeniero Electromecánico:

- El trabajo permite aplicar conocimientos teóricos en un contexto práctico y aplicado. La investigación y análisis de la calidad de la energía reactiva en transformadores proporciona una visión más amplia de los desafíos y soluciones en la operación de sistemas eléctricos reales.
- La pasantía permite profundizar conocimientos teóricos y prácticos relacionados con las siguientes áreas: Transformadores, condensadores, energía eléctrica, regulación energética, variables eléctricas, normatividad vigente sobre Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) y Norma Técnica Colombiana (NTC) 2050. Adicionalmente, desarrolla competencias relacionadas con la interpretación de variables eléctricas y datos nominales de operación para la formulación de diagnósticos del sistema eléctrico en tiempo real como insumo para el diseño de una propuesta de intervención basada en la evidencia.
- Con el diseño de una propuesta de intervención de la calidad de la energía reactiva en un transformador para equipos de ayudas diagnósticas se espera impactar en la eficiencia energética. Los resultados y conclusiones del trabajo tienen aplicaciones relacionadas con la gestión de la calidad de la energía.

## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Proponer una estrategia de intervención para mejorar la calidad de la energía reactiva en un transformador utilizado para equipos de ayudas diagnósticas, con el fin de optimizar su

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

rendimiento, aumentar su eficiencia y garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos en el proceso de diagnóstico médico.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- Medir la calidad de la energía reactiva en un transformador de equipos de ayudas diagnósticas, utilizando herramientas y técnicas adecuadas de medición y análisis.
- Diagnosticar a partir de los resultados obtenidos de la medición, la calidad de la energía reactiva en el transformador.
- Diseñar medidas correctivas y preventivas en el transformador, acordes con el diagnóstico de la calidad de la energía reactiva.
- Sistematizar las actividades realizadas, resultados obtenidos, recomendaciones, lecciones aprendidas y posibles áreas de mejora futura.

### **1.3. Organización**

El informe de la pasantía realizada como trabajo de grado, se estructura de manera lógica y secuencial para facilitar la comprensión del lector. En primer lugar, presenta el marco teórico que aborda conceptos fundamentales relacionados con la calidad de la energía eléctrica y su importancia en entornos médicos. En el ámbito de la atención médica especializada, la calidad de la energía eléctrica es un factor crítico que influye directamente en la operación de equipos de diagnóstico y, por ende, en la precisión y eficacia de los tratamientos.

En segundo lugar, se describe la metodología utilizada para llevar a cabo los objetivos formulados, incluyendo la selección de equipos de medición, los procedimientos de muestreo y análisis de datos. Se centra en el análisis de la calidad de la energía reactiva en un transformador de ayudas diagnósticas, con el objetivo de comprender su impacto en la confiabilidad y exactitud de los diagnósticos médicos.

En el tercer lugar, se presentan y discuten los resultados obtenidos, comparándolos con estándares internacionales y recomendaciones específicas para entornos médicos. Finalmente, se ofrecen conclusiones y recomendaciones basadas en los hallazgos del estudio.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 2. MARCO TEÓRICO

---

Este marco teórico proporciona una comprensión detallada de los conceptos clave relacionados con la calidad de la energía y su impacto en los transformadores de ayudas diagnósticas.

La gestión adecuada de la energía reactiva en los transformadores de un centro oncológico es esencial para mantener la eficiencia operativa y la calidad del suministro eléctrico. Los equipos médicos, como aceleradores lineales y escáneres de resonancia magnética, requieren un suministro eléctrico estable, y la presencia excesiva de energía reactiva puede reducir la eficiencia energética y aumentar los costos operativos. Para mitigar estos efectos, se deben implementar estrategias como la compensación de energía reactiva mediante condensadores y reactores, invertir en transformadores de alta eficiencia, y utilizar sistemas de monitoreo en tiempo real para detectar y corregir problemas proactivamente. El mantenimiento regular de los equipos es crucial para identificar y resolver problemas antes de que se conviertan en fallos significativos.

### 2.1. Transformadores

El transformador estático no es un dispositivo de conversión energética, es un componente significativo en los sistemas de potencia de corriente alterna que logra generar energía eléctrica a partir del generador de voltaje, consigue a su vez la transferencia de potencia con el voltaje de transmisión más económica, así como, la utilización de la potencia con el voltaje más adecuado para el dispositivo de uso en particular. El transformador también se utiliza de manera amplia en circuitos de control de baja potencia y en circuitos electrónicos de baja corriente, los cuales desempeñan funciones como la igualación de las impedancias de una fuente y su carga para la máxima transferencia de potencia, al separar un circuito de otro o al aislar corriente directa mientras se mantiene la continuidad de corriente alterna entre dos circuitos.

El transformador es uno de los dispositivos más sencillos, está formado por dos o más circuitos eléctricos acoplados por medio de un circuito magnético en común. Si uno de estos devanados, el principal, se conecta a una fuente de voltaje alterna, se producirá un flujo alterno cuya amplitud dependerá del voltaje principal, de la frecuencia del voltaje aplicado y del número de vueltas. El flujo mutuo se vinculará con el otro devanado, el secundario, e

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

inducirá un voltaje dentro del mismo cuyo valor dependerá del número de vueltas en el devanado secundario, así como de la magnitud del flujo mutuo y de la frecuencia. Al proporcionar de forma adecuada el número de vueltas en el devanado primario y secundario, es posible obtener casi cualquier relación de voltaje o relación de transformación (Fitzgerald, Kingsley, & Umas, 2003).

Los transformadores funcionan mediante bobinas de alambre aislado alrededor de un núcleo de acero, donde un voltaje aplicado a una bobina primaria crea un voltaje inducido en una bobina secundaria, con una relación de voltaje que depende de la proporción de vueltas entre ambas bobinas. Son fundamentales en diversas aplicaciones energéticas, como en edificios comerciales, escuelas, hospitales, y más.

Existen dos tipos principales: tipo seco y lleno de líquido, diferenciados por el aislamiento que contienen. De acuerdo con EATON (2024), empresa de administración de energía global, los transformadores de tipo seco difieren de los llenos de líquido, ya que no usan líquido para enfriarse, sino que emplean aislamiento gaseoso o seco. Hay tres tipos principales:

- Ventilados: usan aire natural o forzado para controlar la temperatura.
- Encapsulados: encierran las bobinas en materiales sólidos como resina o epoxi para disipar el calor.
- No ventilados: tienen un diseño cerrado para protegerse de ambientes dañinos y disipan el calor a través del gabinete.

Los transformadores ventilados de uso general son comunes en aplicaciones comerciales e industriales, disponibles en configuraciones monofásicas y trifásicas. Varían de 15 a 1000 kVA, con voltajes primarios de 11.4 a 13.2 kV y secundarios de 120 a 240 V. Utilizan conductores de aluminio o cobre y aislamiento para 220 °C, operando en un rango de temperatura de 150 °C a 80 °C y a 60 o 50 Hz. Los gabinetes suelen tener clasificaciones Tipo 1, 2 o 3R. Tipo 1, Para propósitos generales. Tipo 2, A prueba de goteos. Tipo 3, Resistente al clima. Tipo 3R, Sellado contra la lluvia.

Los transformadores secos encapsulados se usan en aplicaciones industriales y están compuestos de dos bobinas, encapsuladas en arena y grava con epoxi. Varían de 0.05 a 75 kVA, con voltajes primarios de 11.14 a 13.2 kV y secundarios de 120 a 240 V. Operan en un rango de temperatura de 115 °C a 80 °C y frecuencias de 60 o 50 Hz, con gabinetes clasificados NEMA tipo 3R o 4X.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Los transformadores no ventilados totalmente cerrados son ideales para entornos con materiales dañinos. No tienen aberturas y disipan el calor a través del gabinete. Estos varían de 15 a 300 kVA, con voltajes primarios de 11.4 a 13.2 kV y secundarios de 120 a 240 V, funcionando en un rango de temperatura de 150 °C a 80 °C y a frecuencias de 60 o 50 Hz, con gabinetes clasificados NEMA tipo 3R, 4X o 12.

Los centros de energía pequeños combinan un transformador encapsulado con disyuntores principales en un solo ensamblaje, lo que reduce costos y complejidad. Varían de 3 a 30 kVA, con voltajes primarios de 11.4 a 13.2 kV y secundarios de 120/240 V (monofásico) o 120/208 V (trifásico), ideales para suministrar 120 voltios en lugares remotos como estacionamientos o sitios de construcción.

Los transformadores de tipo seco de factor K están diseñados para resistir el sobrecalentamiento por armónicos de cargas no lineales como computadoras y equipos electrónicos. No son solo transformadores más grandes; su núcleo y bobinas minimizan la inducción y las pérdidas por dispersión. Aunque no reducen los armónicos, soportan sus efectos calóricos, con neutros sobredimensionados (200%) y blindaje electrostático como características estándar.

Las corrientes armónicas pueden afectar negativamente los sistemas eléctricos, sobrecargando transformadores, generadores y conductores. Se recomienda el uso de transformadores de mitigación de armónicos para contrarrestar este problema al cancelar las corrientes armónicas y mantener las cargas operando según lo previsto por el fabricante, así como para mantener el sistema eléctrico libre de distorsiones de voltaje. Se menciona específicamente que estos transformadores son adecuados para instalaciones con cargas armónicas, como escuelas, edificios gubernamentales, oficinas comerciales, instalaciones médicas y centros de llamadas.

Los transformadores con disyuntor integrado (BIT), ofrecen una solución simple y económica para reducir el riesgo de arco eléctrico y aumentar la flexibilidad en la colocación de paneles secundarios. Estos transformadores integran el interruptor de caja moldeada secundaria en el paquete del transformador de distribución tipo seco de bajo voltaje, lo que reduce significativamente los valores de energía incidente de arco eléctrico. Esto permite una mayor flexibilidad en la colocación de paneles secundarios, reduciendo las longitudes de los conductores y la caída de voltaje, y eliminando la necesidad de cumplir con los requisitos de distancia del Código Eléctrico Nacional (NEC). Los BIT pueden venir con

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

disyuntores primarios, secundarios o ambos integrados, proporcionando flexibilidad para satisfacer necesidades específicas de desconexión y protección de sobre corriente.

Los transformadores de aislamiento de mando de motor, diseñados para perfiles de carga de motor de velocidad variable trifásica, están reforzados para soportar tensiones mecánicas asociadas con accionamientos de velocidad variable de Corriente Alterna (CA) o Corriente Continua (CC). Proporcionan aislamiento eléctrico, conversión de voltaje, minimizan interrupciones de línea y reducen corrientes de cortocircuito y transitorios de voltaje. Pueden ser ventilados o encapsulados, con sensor de temperatura en los ventilados. Los transformadores reductor-elevador ajustan ligeramente el voltaje disponible, disponibles en combinaciones de tres voltajes. Se aplican para producir el nivel de voltaje deseado y se utilizan para cargas de hasta cientos de kVA, con tamaños que van desde 0,05 kVA hasta 7,5 kVA.

Los transformadores de ayudas diagnósticas son dispositivos críticos utilizados en aplicaciones médicas para proporcionar alimentación eléctrica a equipos de diagnóstico como resonancias magnéticas, tomografías computarizadas, equipos de rayos X y otros dispositivos médicos avanzados. Estos transformadores están diseñados para garantizar un suministro de energía eléctrica estable y confiable, fundamental para la precisión y la seguridad de los diagnósticos médicos.

## **2.2. Calidad de la Energía Eléctrica**

El análisis de la calidad de la energía en transformadores de ayudas diagnósticas es fundamental para garantizar un funcionamiento eficiente y seguro de estos equipos, que desempeñan un papel crucial en diversas aplicaciones médicas, industriales y de investigación.

La calidad de la energía eléctrica se refiere a la capacidad del suministro eléctrico para cumplir con los requisitos de tensión, frecuencia y forma de onda necesarios para el funcionamiento adecuado de los equipos eléctricos y electrónicos. Esta calidad puede verse afectada por una variedad de fenómenos, como variaciones de tensión, armónicos, fluctuaciones de frecuencia, interrupciones y transitorios (Enríquez Harper, 2006).

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 2.2.1. Variables eléctricas

Los diferentes componentes que tiene la energía y que inciden en la calidad energética son:

**2.2.1.1. Frecuencia:** la frecuencia nominal de un sistema de potencia está relacionada directamente con la frecuencia de operación de las máquinas síncronas encargadas de la generación de energía eléctrica, que en Colombia operan a 60Hz. Existen valores tolerables y duración de variaciones de manera que no afecten ni produzcan interrupciones en las funciones de los equipos. Se definen tres regiones: la región prohibida, donde no es posible la explotación; la zona de protección sin interrupciones y la región donde no deben suceder daños permanentes a sus equipos ante variaciones de la magnitud mostrada. Los valores de referencia en Colombia están dados en la norma NTC 1340 de 2013 cuyo objeto es establecer los valores nominales y rangos permisibles que caracterizan la tensión de alimentación suministrada en cuanto a amplitud y frecuencia y es aplicable a sistemas de transmisión, subtransmisión, distribución y al uso final de la energía eléctrica de corriente alterna.

La norma NTC 1340 de 2013 establece lo siguiente en cuanto a las características de la frecuencia:

- La frecuencia nominal de la tensión suministrada debe ser 60 Hz.
- En condiciones normales de suministro, el valor medio de la frecuencia fundamental medida durante 10 s en redes de distribución debe estar de acuerdo con lo establecido en la siguiente tabla.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Tabla 1**

*Frecuencia aceptable NTC 1340 de 2013*

Tipo de red	Frecuencia aceptable durante el 95 % de una semana	Frecuencia aceptable durante el 100 % de una semana
Redes acopladas por enlaces síncronos a un sistema interconectado	Desde 59,8 Hz Hasta 60,2 Hz	Desde 57,5 Hz Hasta 63 Hz
Redes sin conexión síncrona a un sistema interconectado (redes de distribución en regiones no interconectadas e islas)	Desde 58,8 Hz Hasta 61,2 Hz	Desde 51 Hz Hasta 69 Hz

*Fuente:* Norma NTC 1340.

**2.2.1.2. Tensiones:** las caídas de tensión son responsables de hasta un 80% de todos los problemas de calidad eléctrica. Una caída ocurre cuando la tensión del sistema disminuye hasta un 90% o menos de la tensión nominal del sistema durante un periodo de entre medio ciclo y un minuto (3600 ciclos).

Las interrupciones de la tensión pueden durar entre dos y cinco segundos o más. Los picos o subidas de tensión tienen una frecuencia de tan sólo el 35% en comparación con las caídas. Sin embargo, el aumento de la tensión del sistema durante breves periodos y hasta un ciclo o más, pueden causar problemas de aislamiento hasta quema de tarjetas electrónicas. Los transitorios de tensión pueden causar síntomas que varían desde el bloqueo de equipos de cómputo y equipos electrónicos dañados, hasta diferencias de potencial y aislamientos dañados en el equipo de distribución.

Los transitorios, a veces denominados "picos", son incrementos notables de la tensión, en cuestión de microsegundos. Para estas situaciones de transitorios, se debe controlar los cambios súbitos en la carga y se debe correlacionar los problemas o fallos operativos de los equipos con los eventos provenientes del sistema de alimentación conectado a un sistema de distribución externo.

Se pueden presentar sobretensiones sostenidas igualmente por

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

sobrecompensación de la energía reactiva cuando se tienen bancos de condensadores estáticos o con pasos automáticos demasiado grandes, los cuales inyectan grandes bloques de energía de compensación. Igualmente, se pueden presentar sobretensiones en alimentadores de gran longitud en condiciones sostenidas de baja carga en las cuales la reactancia capacitiva empieza a pesar más que la inductiva.

En la Tabla siguiente se muestran los valores máximos y mínimos para los niveles de tensión estandarizados en Colombia por la Norma NTC 1340 (ICONTEC, 2013).

**Tabla 2**

*Clasificación, denominación y valores de la tensión nominal*

Clasificación	Nivel	Tensión Nominal (V)		Tensión Máxima (% de la nominal)	Tensión mínima (% de la nominal)
		Sistemas trifásicos de 3 ó 4 conductores	Sistemas monofásicos de 3 ó 4 conductores		
Baja Tensión Vn < 1 kV	Nivel 1 Vn < 1 kV	-	120	+5	Clientes Urbanos: -8  Clientes rurales: -10
		120/208	-		
		-	120/240		
		127/220	-		
		220	-		
		277/480	-		
		480	-		

Fuente: Norma NTC 1340.

**2.2.1.3. Corrientes:** el desbalance de corrientes puede ocurrir en cualquier punto del sistema de distribución. Las cargas deben dividirse de manera equitativa en todas las fases de un circuito. En caso de que una fase esté muy cargada en comparación con las otras, la tensión será inferior en dicha fase. Los transformadores y los motores trifásicos alimentados por dicho circuito pueden presentar sobrecalentamiento, ruidos anómalos, vibraciones excesivas e incluso averías prematuras.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**2.2.1.4. Potencias:** la potencia activa se mide en vatios (W). Representa la potencia eléctrica real utilizada por un dispositivo o sistema de una red eléctrica para realizar un trabajo. En otras palabras, es la potencia útil que acciona un motor, genera luz o hace funcionar aparatos eléctricos. La potencia reactiva es la potencia requerida por las corrientes que son necesarias para establecer los campos magnéticos de las bobinas o los campos electrostáticos en los capacitores para su correcto funcionamiento.

La potencia reactiva inductiva: aquella potencia reactiva que no se consume ni se genera. La potencia reactiva capacitiva: es aquel tipo de potencia reactiva desarrollada, como su nombre indica, dentro de un circuito capacitivo, es decir, aquel que ofrece una resistencia a la corriente alterna.

### **2.3. Normativas y Estándares**

Existen normativas y estándares internacionales (Comisión Electrotécnica Internacional, 2024) que establecen los requisitos mínimos para la calidad de la energía eléctrica, así como directrices específicas para transformadores utilizados en aplicaciones médicas. Estos incluyen normativas como la IEC 60601 para equipos electromédicos y la IEC 61558 para transformadores de seguridad. La norma IEC 60601 y la norma IEC 61558 son estándares internacionales que establecen requisitos específicos para equipos electromédicos y transformadores de seguridad, respectivamente. A continuación, se describe brevemente en qué consisten cada una de estas normas:

- IEC 60601 - Equipos Electromédicos: titulada "Equipos Electromédicos - Requisitos Generales para Seguridad Básica y Funcionamiento Esencial" (IEC, 2024), es un estándar internacional que establece los requisitos generales de seguridad y desempeño esencial para equipos electromédicos utilizados en entornos médicos. Esta norma se aplica a una amplia gama de equipos médicos, como dispositivos de diagnóstico, terapia y monitorización, entre otros. Algunos aspectos importantes cubiertos por la norma IEC 60601 incluyen:

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Requisitos de seguridad eléctrica: especifica los criterios para garantizar la seguridad eléctrica de los equipos, incluyendo aislamiento, protección contra descargas eléctricas, y requisitos para cables y conectores.
- Seguridad mecánica: establece requisitos para la construcción física de los equipos, incluyendo la resistencia estructural, la estabilidad y la prevención de riesgos mecánicos.
- Rendimiento esencial: define los criterios para el funcionamiento esencial de los equipos, asegurando que cumplan con los requisitos mínimos para su uso médico previsto.

La norma IEC 60601 se revisa y actualiza regularmente para mantenerse al día con los avances tecnológicos y las mejores prácticas en seguridad y rendimiento de equipos médicos.

- IEC 61558 - Transformadores de Seguridad: titulada "Transformadores para Uso en Equipos Electrónicos y Equipos Electromédicos" (IEC, 2021), establece requisitos específicos para transformadores utilizados en equipos electrónicos y equipos electromédicos, garantizando su seguridad y desempeño adecuado. Algunos aspectos clave cubiertos por esta norma son:
  - Requisitos de seguridad: define los criterios para el diseño y la construcción de transformadores, incluyendo aislamiento, protección contra cortocircuitos y sobrecargas, y prevención de riesgos térmicos.
  - Parámetros eléctricos: especifica los requisitos para los parámetros eléctricos de los transformadores, como tensión nominal, corriente nominal y características de carga.
  - Clasificación y marcado: establece pautas para la clasificación y marcado de transformadores, proporcionando información sobre su capacidad, características de rendimiento y compatibilidad con equipos específicos.

La norma IEC 61558 garantiza que los transformadores utilizados en equipos electrónicos y electromédicos cumplan con los estándares de seguridad y desempeño necesarios para su uso en entornos médicos y otros entornos críticos.

En resumen, tanto la norma IEC 60601 como la norma IEC 61558 son fundamentales para garantizar la seguridad y el rendimiento adecuado de los equipos médicos y los transformadores utilizados en entornos de atención médica. Estas normas proporcionan pautas claras y específicas para el diseño, la construcción y la evaluación de equipos

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

médicos y transformadores, contribuyendo así a la calidad y la seguridad de la atención médica.

Teniendo en cuenta que el transformador que se evalúa es trifásico, se tomarán como referencia la norma IEEE 1159-2019, del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, asociación mundial de ingenieros dedicada a la normalización y el desarrollo y la estandarización en áreas técnicas. Esta norma permite el monitoreo de las características eléctricas empezando con las fases monofásicas y polifásicas en sistemas de potencia AC. Y la norma IEEE 519-1992 utilizada para el tratamiento de los temas concernientes al manejo de armónicos.

En Colombia existen las siguientes normas (ICONTEC):

- NTC 1340 -2013 “Tensiones y frecuencias nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público” (ICONTEC, 2013): esta norma establece los valores nominales y rangos permisibles que caracterizan la tensión de alimentación suministrada en cuanto a amplitud y frecuencia.
- NTC 3654-2023 “Transformadores de potencia tipo seco” (ICONTEC, 2023): esta norma se aplica a los transformadores de potencia tipo seco (incluyendo los autotransformadores) con valores máximos de tensión para el equipo de hasta 72,5 kV y al menos un devanado que funciona a más de 1,1 kV. Los transformadores tipo seco cubiertos por esta norma son los siguientes: transformador tipo seco con devanados encapsulados en resina, transformador tipo seco con devanados impregnados en resina y transformador tipo seco con devanados expuestos o abiertos.
- NTC 3445-2019 “Transformadores trifásicos autorrefrigerados, tipo seco abiertos y encapsulados en resina. Corriente sin carga, eficiencia y tensión de cortocircuito” (ICONTEC, 2019): esta norma establece los valores máximos declarados permisibles de corriente sin carga ( $I_0$ ), tensión de cortocircuito  $U_z$  y establece los valores mínimos de eficiencia para transformadores trifásicos autorrefrigerados, tipos secos abiertos y encapsulados en resina. Se aplica a transformadores de 15 kVA a 2 000 kVA, serie AT; 15 kV, serie BT; 1,2 kV; de 10 kVA a 1 000 kVA, serie AT; 1,2 kV, serie BT.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

#### **2.4. Metodologías de Análisis de Calidad de Energía**

El análisis de la calidad de la energía en transformadores de ayudas diagnósticas es esencial para garantizar un suministro eléctrico confiable y seguro para equipos médicos críticos, contribuyendo así a la precisión y la eficacia de los procedimientos de diagnóstico y tratamiento. Para evaluar la calidad de la energía en estos transformadores, se utilizan diversas técnicas y herramientas de análisis, que pueden incluir el monitoreo continuo de parámetros eléctricos, la realización de pruebas de carga y descarga, así como el análisis de datos mediante software especializado.

Las metodologías de medición en estudios de la calidad de energía en un transformador seco pueden incluir:

- 1. Análisis de Armónicos:** los armónicos eléctricos son distorsiones que afectan las ondas senoidales de tensión y/o corriente en los sistemas eléctricos. Estas distorsiones se producen debido a cargas con impedancia no lineal, la presencia de materiales ferromagnéticos y el uso de equipos que requieren conmutaciones en su funcionamiento normal.

La aparición de corrientes y tensiones armónicas en el sistema eléctrico puede generar diversos problemas, como:

- Aumento de pérdidas de potencia activa: los armónicos incrementan las pérdidas en el sistema.
  - Sobretensiones en los condensadores: los componentes del sistema pueden experimentar sobretensiones debido a los armónicos.
  - Errores de medición: las mediciones pueden verse afectadas por las distorsiones armónicas.
  - Mal funcionamiento de protecciones: los dispositivos de protección pueden no operar correctamente.
  - Daño en los aislamientos y dieléctricos: los armónicos pueden debilitar los materiales aislantes.
  - Disminución de la vida útil de los equipos: la presencia constante de armónicos puede acortar la vida útil de los dispositivos.
- 2. Registro de Variaciones de Tensión:** una variación de voltaje es un cambio en la línea eléctrica que se manifiesta como inestabilidad del voltaje. Empleando registradores

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

de eventos para monitorear y registrar las variaciones de tensión, como picos y caídas de voltaje, que pueden afectar el funcionamiento del transformador y los equipos conectados. Las fluctuaciones de voltaje son la causa de más del 85% de las fallas en los sistemas eléctricos y electrónicos.

3. **Medición de Flicker:** utilizando equipos de medición de Flicker para evaluar la variación de la luminosidad en sistemas de iluminación conectados al transformador seco, lo que puede afectar el confort visual y la operación de equipos sensibles.
4. **Análisis de Desbalance de Cargas:** el desbalance en las cargas implica una diferencia de voltaje en las fases del sistema trifásico, por lo que, para mejorar la eficiencia en el uso y transporte de la energía en las redes de baja tensión, una alternativa es mantener los consumos equilibrados en cada fase. Realizando mediciones de corriente en las fases del transformador para identificar desbalances de carga, que pueden generar pérdidas de energía y afectar la eficiencia del sistema.
5. **Monitoreo de Factor de Potencia:** evaluando el factor de potencia del transformador y los equipos conectados para asegurar una operación eficiente y evitar penalizaciones por parte de la compañía eléctrica.
6. **Medición de Sobretensiones y Subtensiones:** la subtensión y la sobretensión ocurren cuando la tensión en la carga cae por debajo de una tensión nominal mínima o sube por encima de una tensión nominal máxima durante más de un minuto. Utilizando equipos de medición especializados para detectar y registrar sobretensiones y subtensiones, que pueden dañar equipos sensibles y afectar la continuidad del suministro eléctrico.

Estas metodologías de medición en estudios de la calidad de energía permiten evaluar el comportamiento del transformador seco en términos de estabilidad, fiabilidad y cumplimiento de estándares de calidad eléctrica, lo que contribuye a garantizar un suministro eléctrico seguro y eficiente.

## **2.5. Estudios Relacionados con la Temática y Objetivos**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Algunos estudios relacionados con el análisis de la calidad de la energía, que se encuentran en indagación realizada en bases de datos como Taylor and Francis Online, ICONTEC, Science Direct se resumen a continuación:

**Tabla 3**

*Cuadro comparativo artículos indexados*

<b>Título</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Metodología</b>	<b>Conclusiones</b>
Estudio y diagnóstico de la calidad de la energía de un campus universitario en la costa norte de Colombia. <sup>a</sup>	Estudio y diagnóstico de la calidad de energía de la red de distribución interna en las instalaciones de una Universidad en la región caribe colombiana, a través del análisis de parámetros tales como distorsiones de la forma de onda (Armónicos), fluctuaciones de tensión y factor de potencia, teniendo en cuenta para ello los lineamientos normativos nacionales e internacionales.	Diagnóstico general de las instalaciones eléctricas y el estudio de la calidad de la energía de la Institución Universitaria.	El análisis de la calidad de la energía en la universidad revela que la frecuencia y la distorsión armónica de la tensión cumplen con los límites normativos. Sin embargo, el factor de potencia está por debajo de los límites permitidos el 45% del tiempo en la subestación del bloque administrativo y el 89% en el bloque de laboratorios. Predomina la reactancia inductiva, indicando que la corriente está retrasada respecto al voltaje. La distorsión armónica en corriente supera el 12% permitido por la IEEE 519 en aproximadamente el 50% de los registros. Para mejorar la calidad de la energía, se recomienda realizar estudios detallados, seguimiento continuo y adquirir

			equipos como filtros activos para estabilizar las fluctuaciones.
<p>Calidad de la energía del suministro eléctrico del transformador seco del área de caldera de 630 kVA en una industria alimenticia. <sup>b</sup></p>	<p>Indagar las condiciones de la calidad de la energía del suministro eléctrico industrial de una empresa alimenticia y de aseo después de la instalación de nuevos equipos.</p>	<p>1. Obtención de los gráficos del comportamiento del transformador:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tensiones de línea.</li> <li>• Variación de tensión.</li> <li>• Desequilibrio de tensión.</li> <li>• Corriente de línea.</li> </ul> <p>Desequilibrio de corriente</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia</li> <li>• Factor de potencia</li> <li>• Armónicos de tensión y corriente.</li> </ul> <p>2. Interpretación de los resultados.</p> <p>3. Identificación de problemas.</p> <p>4. Propuestas de soluciones.</p>	<p>El transformador tiene una sobre tensión permanente por encima de su tensión nominal, por lo cual se recomienda ajustar el TAP del transformador para corregir este inconveniente.</p> <p>Se observa que existe un problema de armónicos principalmente en los armónicos individuales de orden 5 y 7 que sobrepasan los valores de referencia de la norma IEEE 519, cabe destacar que el transformador tiene conectado cinco variadores de frecuencia de los cuales, dos son de 100HP.</p> <p>Los valores están por encima de los valores de tolerancia del transformador, en este caso se recomienda un nuevo análisis luego de aplicar las correcciones del filtrado de armónicos de corriente, ya que estos son generados por los variadores de frecuencia.</p>

Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra. <sup>c</sup>	Análisis exploratorio de los datos históricos de un caso particular del sistema eléctrico Venezolano.	Caso de estudio se analizó la línea Tigre I-Barbacoa I, perteneciente al estado Anzoátegui, es una línea de 230 kV doble terna, con 1 conductor por fase y dos cables de guarda, tiene una longitud de 142 km y está conformada por 368 torres.	Se demuestra que alrededor del 30% de los problemas de interrupciones y perturbaciones en las líneas de transmisión son producto de las altas resistencias en los sistemas de puesta a tierra o por la falta de continuidad entre los sistemas de protección contra descargas atmosféricas.
Gestión de la calidad de la energía eléctrica. <sup>d</sup>	Presentar la mejora del sistema de monitoreo y control de la Tecnología de Gestión Total de la Eficiencia Energética, desde la perspectiva del ciclo del conocimiento, con el fin de favorecer la sostenibilidad de los resultados.	Para el caso en estudio los estándares utilizados son los referidos en las normas cubanas, para las tensiones y la distorsión armónica total. El factor de potencia se contrasta con lo establecido en la Resolución No.311.200 1 del Ministerio de Finanzas y Precios, relacionado con la bonificación y/o penalización por el comportamiento del mismo.	Se propusieron cambios al sistema de monitoreo y control para mejorar la gestión de la eficiencia energética. Evaluados mediante indicadores de calidad de la energía. El factor de potencia mejoró de 0,65 a 0,96, reduciendo el costo de la factura eléctrica anual en un 4%. Además, se reportó una disminución en las emisiones de CO2 en el primer cuatrimestre de los últimos tres años.

*Nota:* <sup>a</sup> Churio Silvera, Vanegas Chamorro, & Valencia Ochoa (2018). <sup>b</sup> Reyes Martínez, Suaza Moreno, & Torres Polo (2021). <sup>c</sup> Mercado Polo, Bernardo Peña, & Pacheco (2017). <sup>d</sup> Berenguer Ungaro, Hernández Rodríguez, Conde García, Arias Gilart, & Deás Yero (2018). *Fuente:* elaboración propia.

De los anteriores estudios se extrae como elementos relevantes para la pasantía “Intervención de la calidad de la energía reactiva en un transformador para equipos de

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ayudas diagnósticas en el Centro Oncológico Antioquia (COA), Medellín 2024” los siguientes aspectos:

1. A nivel temático las áreas de interés coinciden en la evaluación de la calidad de la energía en diversos ámbitos. En general contemplan las variables que inciden en la calidad energética.
2. En cuanto a la metodología se observa que a nivel general todos parten por la realización del diagnóstico de la calidad de la energía, la interpretación de los resultados y la recomendación de intervenciones de acuerdo con las variables encontradas.
3. Llama la atención que en la indagación realizada en las bases de datos citadas se encontraron pocos estudios en el ámbito del área de la salud y valoraciones de la energía reactiva.

	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

### 3. METODOLOGÍA

---

#### *a. Análisis facturas del operador de red*

Esta investigación se inició con un diagnóstico del Centro Oncológico de Antioquia, con el fin de intervenir la problemática evidenciada en las facturas del operador de red (EPM), identificando condiciones actuales y operacionales que pueden causar el deterioro del transformador de ayudas diagnósticas del COA. Para el análisis de la información se realiza análisis documental teniendo como fuente de información las facturas del operador de red (EPM) durante el primer trimestre del año 2024.

Para la medición y evaluación de la calidad de la energía reactiva en el transformador de ayudas diagnóstica se procede de la siguiente manera:

#### *b. Instalación del Analizador de Red*

- Selección del Punto de Medición: se identifica el punto de conexión del analizador de red en el sistema eléctrico del transformador de ayudas diagnósticas. Se ubica de manera estratégica para capturar con precisión la medición de la calidad de la energía suministrada al equipo.

**Figura 1**

*Selección del punto de medición*



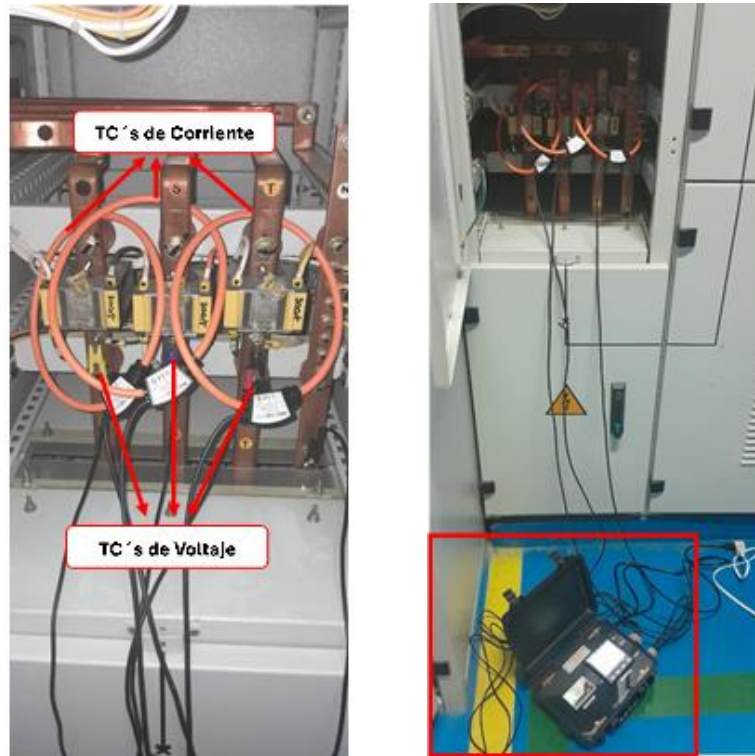
*Fuente:* elaboración propia.

- **Instalación Física del Analizador:** se ubica el analizador de red en un lugar seguro y accesible, preferiblemente cerca del punto de medición seleccionado. Una conexión eléctrica adecuada es asegurada y respaldada por un generador eléctrico para garantizar mediciones precisas.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 2**

*Instalación Física del Analizador*



*Fuente:* elaboración propia.

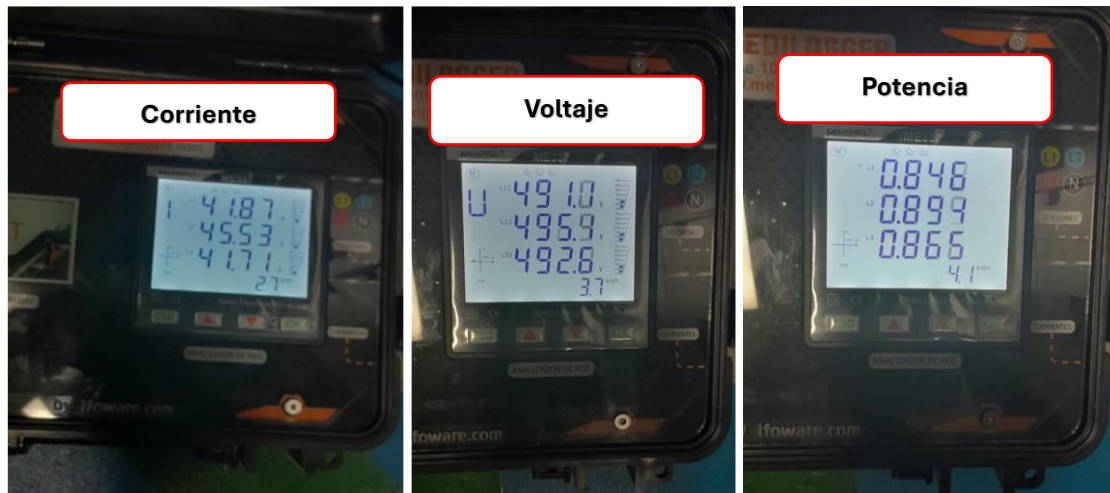
- Configuración del Analizador: los parámetros del analizador de red son configurados de acuerdo con voltaje (V), corriente (A), factor de potencia ( $\text{Cos}\phi$ ), energía(kWh) y potencia contratada (kW). El intervalo de medida debe ser mínimo de una semana. Los valores de frecuencia tomados cada 5 min se agrupan para el intervalo de medida, de tal forma que el 95% y el 100% de todos los datos registrados, se encuentre dentro de los rangos permisibles.

Activación de alarmas o notificaciones por sobre tensiones o caídas de tensión del 10%.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Figura 3**

*Configuración del Analizador*



Fuente: elaboración propia.

### ***c. Medición de la Calidad de la Energía***

- Registro Continuo de Parámetros: el analizador de red registra continuamente una serie de parámetros eléctricos clave, como voltaje, corriente, frecuencia, armónicos, fluctuaciones de tensión, interrupciones de energía y transitorios. Estos datos proporcionan una visión completa de la calidad de la energía suministrada al transformador de ayudas diagnósticas.
- Período de Medición: durante un período de siete días, las 24 horas del día, fue realizada medición de la operación del transformador, lo que puede incluir períodos de carga normal, carga máxima y condiciones de carga ligera. Esto permite identificar cualquier variación en la calidad de la energía en diferentes situaciones operativas.
- Análisis de Datos: se utiliza software especializado para visualizar y procesar los datos registrados por el analizador de red.
- Informe de Resultados: presentación de los resultados del estudio en un informe detallado que incluye una descripción de los parámetros medidos, análisis de tendencias, interpretación de los hallazgos y recomendaciones para mejorar la calidad de la energía y la fiabilidad del sistema eléctrico del transformador de ayudas diagnósticas.

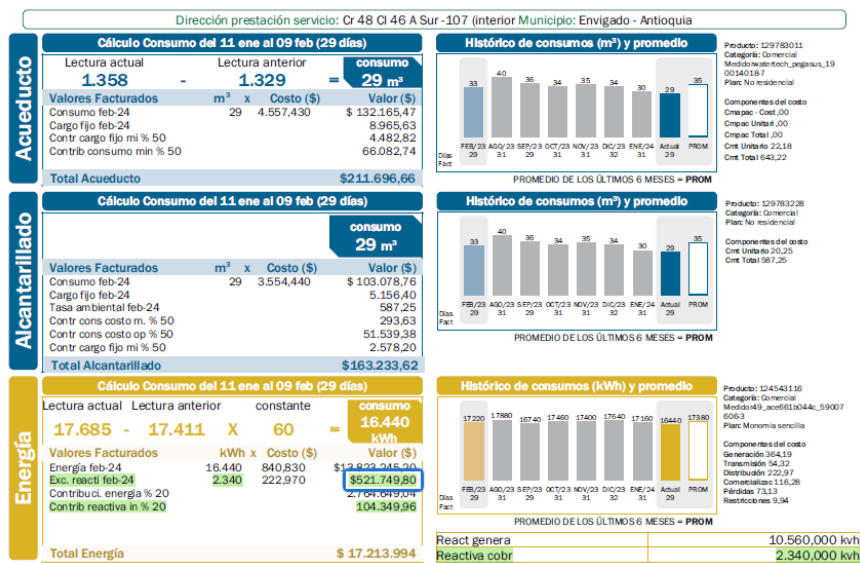
## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Análisis Facturas del Operador de Red

De acuerdo con la facturación del periodo Enero-febrero de 2024, es evidente un exceso de energía reactiva de 2.34 kWh, un sobre costo de \$521.749 pesos para este mes.

**Figura 4**

*Facturas del operador de red (EPM) consumo Enero-Febrero 2024*

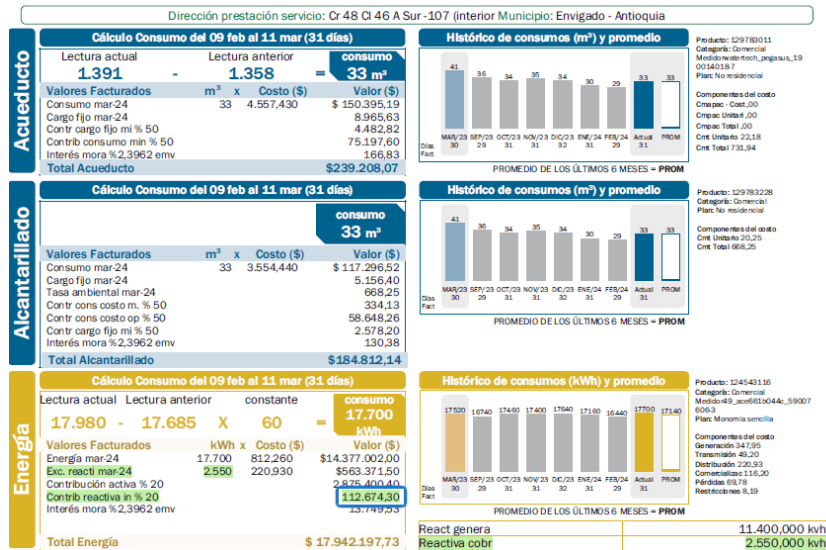


Fuente: elaboración propia.

La facturación del periodo febrero-marzo de 2024, demuestra un exceso de energía reactiva de 2.55 kWh, indicando un incremento 0.21 kWh al mes, un sobre costo en la facturación de \$563.371 pesos para este mes.

Figura 5

Facturas del operador de red (EPM) consumo Febrero-marzo 2024

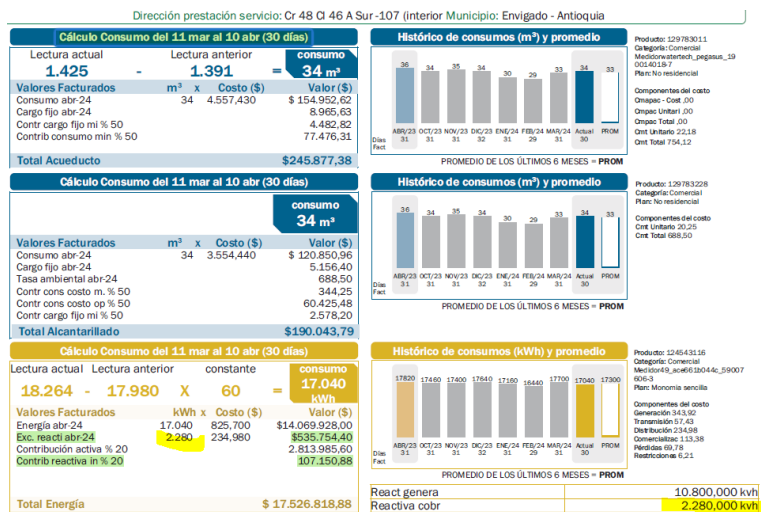


Fuente: elaboración propia.

En la facturación del periodo Marzo-abril de 2024, se indica un exceso de energía reactiva de 2.28 kWh, siendo este un descenso de 0.27 kWh al mes, un sobre costo en la facturación de \$535.754 pesos para este mes.

Figura 6

Facturas del operador de red (EPM) consumo Marzo-Abril 2024



	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Fuente: elaboración propia.

Es de señalar que la Resolución CREG 015 de 2018 (Comisión de Regulación de Energía y Gas, 2018) establece que se dará la penalización por consumo excesivo de energía reactiva inductiva cuando el consumo de energía reactiva inductiva en un período horario sea mayor al 50% de la energía activa del mismo período.

#### **4.2. Resultados de la Medición de la Calidad de la Energía**

La recolección de datos se realizó con el analizador de redes MEDIALOGGER, el cual se instaló en TRAFO 300KVA 480V imágenes diagnósticas del COA. La medida de las variables inició el 16-05-2024 a las 06:45:00 a.m. y terminó el 23-05-2024 a las 07:16:00 a.m. Obteniendo el registro de las variables durante 7 días, con intervalos para la toma de muestras de cinco minutos:

**Tabla 4**  
*Características de las Mediciones Realizadas*

<b>VARIABLE</b>	<b>FASE</b>	<b>TRIFÁSICO</b>
Frecuencia	X	
Tensión	X	X
Corriente	X	
Potencia activa	X	X
Potencia reactiva	X	X
Potencia aparente	X	X
Factor de potencia	X	X

Fuente: Centro Oncológico de Antioquia-Proelétrico.

##### **4.2.1. Resultados de Frecuencia**

A continuación, se muestran los datos estadísticos mínimo, medio y máximo de la frecuencia registrados durante el período de medición:

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Tabla 5**

*Resultados valores de frecuencia*

Variable	Fase	Mínimo	Promedio	Máximo	Cumple 95% y 100%	
					Si	No
<b>Frecuencia [Hz]</b>	<b>N/A</b>	59.91	59.99	60.09	<b>X</b>	

Fuente: Centro Oncológico de Antioquia-Proeléctrico.

La frecuencia nominal de la tensión suministrada debe ser 60Hz (ICONTEC, 2013). Los valores de frecuencia tomadas cada 5 minutos muestran que el 95% de los datos están dentro del rango permitido por la norma, que es entre 59,8 y 60,2 Hz y que el 100% de los datos están en el rango permitido entre 57,5 y 63 Hz.

Se evidencia un adecuado comportamiento de esta variable en los rangos permitidos por la norma NTC 1340 de 2013.

#### 4.2.2. Tensión

El voltaje primario del transformador de ayudas diagnósticas es de 13.200v y el voltaje secundario es de 480v.

**Figura 7**

*Placa Celda de Transformador de Ayudas Diagnósticas 300kVA*



 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Fuente: elaboración propia.

Se presentan los datos estadísticos mínimo, medio y máximo de la tensión registrados durante el período de medición.

**Tabla 6**

*Resultados valores de tensión*

Tensiones [V]	Fase	Mínimo	Promedio	Máximo	Cumple	
					Si	No
<b>Tensión Fase-Fase [V]</b> <b>480.0</b>	<b>FASE 1-2</b>	481.36	494.69	506.19		X
	<b>FASE 2-3</b>	486.0	499.24	510.87		X
	<b>FASE 3-1</b>	482.47	495.44	506.67		X
<b>Tensión Fase-N [V]</b> <b>Nominal: 277.0v</b>	<b>FASE 1</b>	277.4	285.0	291.38		X
	<b>FASE 2</b>	279.48	287.28	293.85		X
	<b>FASE 3</b>	280.07	287.6	294.42		X

Fuente: Centro Oncológico de Antioquia-Proelétrico.

La tensión fase-fase debe estar +5 y -8 % de 480v que corresponde a un máximo 504v, se aprecia que el nivel de tolerancia sobrepasa los valores máximos permitidos.

La tensión fase- Neutro debe estar +5 y -8 % de 277v que corresponde a un máximo 290.85v se aprecia que el nivel de tolerancia sobrepasa los valores máximos permitidos.

Las tensiones de Línea se encuentran FUERA de los rangos permitidos por la norma NTC 1340 de 2013.

El desbalance de tensión se encuentra dentro de los límites establecidos por la norma IEEE 1159-2019:

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

**Tabla 7**

*Desbalance de tensión*

Desbalance Tensión 1	Desbalance Tensión 2	Desbalance Tensión 3
<b>0.36%</b>	<b>0.56%</b>	<b>0.2%</b>

*Fuente:* Centro Oncológico de Antioquia-Proelétrico.

#### 4.2.3. Corrientes

En la tabla se muestran los hallazgos relacionados con las corrientes máxima, media y mínima.

**Tabla 8**

*Resultados valores de corriente*

	Corrientes [A]				Cumple	
	Fase	Mínimo	Promedio	Máximo	Si	No
<b>Corriente</b>	<b>Fase 1</b>	7.11	32.29	75.07	X	
	<b>Fase 2</b>	7.68	34.39	79.05	X	
	<b>Fase 3</b>	8.48	34.34	77.2	X	
	<b>Neutro</b>	0.0	0.0	0.0	-	

*Fuente:* Centro Oncológico de Antioquia-Proelétrico.

La medición de corrientes refleja:

- Para las tres fases los valores pico, medio y mínimos, no son coincidentes, lo cual puede deberse a desbalance en las cargas conectadas en cada fase y también al desbalance en las tensiones de fase, los cuales producen corrientes de fase diferentes y estas se reflejan en las corrientes de línea.
- El desbalance de corriente está dentro de los límites establecidos por la norma IEEE 1159 – 2019 (IEEE SA, 2019) que expresa que el desbalance máximo en corrientes es del 30 %, pero a nivel de la ingeniería de proyectos, se acepta como desbalance máximo entre fases un máximo del 10%.

#### 4.2.4. Potencias

La medición obtenida de la energía reactiva en el transformador de equipos de ayudas diagnósticas muestra el siguiente comportamiento de las potencias:

**Tabla 9**

*Valores de los resultados de las potencias*

Potencias							Cumple		
	Fase	Mínimo	Promedio	Máximo			Si	No	
<b>Potencia Activa [kW]</b>	Fase 1	1,74	7,66	16,59			-		
	Fase 2	1,88	8,26	19,05					
	Fase 3	2,14	8,35	21,72					
	<b>Total</b>	<b>5,43</b>	<b>24,32</b>	<b>57,54</b>					
<b>Potencia Reactiva [kVAR]</b>	Fase 1	0,59	4,89	7,39			-	X	
	Fase 2	0,87	5,20	8,27					
	Fase 3	0,79	4,98	7,11					
	<b>Total</b>	<b>2,26</b>	<b>15,12</b>	<b>27,16</b>					
<b>Potencia Aparente [kVA]</b>	<b>Total</b>	<b>6,74</b>	<b>28,92</b>	<b>70,74</b>			-		
Factor de Potencia							Cumple		
	Fase	Mínimo	Promedio	Máximo			Si	No	
<b>Factor de Potencia</b>	Fase 1	0,62	IND	0,83	IND	0,94	IND	-	X
	Fase 2	0,59	IND	0,84	IND	0,96	IND		
	Fase 3	0,63	IND	0,85	IND	0,97	IND		
	<b>Total</b>	<b>0,71</b>	<b>IND</b>	<b>0,84</b>	<b>IND</b>	<b>0,95</b>	<b>IND</b>		
Energía Activa Total [kW-h]							Cumple		
							Si	No	
<b>Trifásico</b>	<b>4076</b>						-	X	
<b>Energía Reactiva Total [kVAR-h]</b>									
<b>Trifásico</b>	<b>2531</b>								

Fuente: Centro Oncológico de Antioquia-Proelétrico.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

La Tabla 9 evidencia:

- Potencia Activa en [kW]: la Potencia Activa es imprescindible para poder compararla con la potencia reactiva y poder calcular el Factor de Potencia en una instalación eléctrica. El valor máximo de la potencia activa hallado es 57.54kW.
- La potencia reactiva (kVAR): *los valores de la potencia* reactiva positiva indican que el sistema es inductivo y el factor de potencia está en atraso. El valor máximo de potencia reactiva inductiva hallado fue de 27,16 kVAR
- Potencia Activa y Reactiva Totales: la comparación de estas dos potencias es el punto de partida para poder atender las exigencias planteadas por la resolución CREG 015-2018.

La Resolución CREG 015 de 2018, establece que se dará la penalización por consumo excesivo de energía reactiva inductiva cuando el consumo de energía reactiva inductiva en un período horario sea mayor al 50% de la energía activa del mismo período. Los resultados evidencian un porcentaje del 62% que supera lo establecido por la normativa.

**Tabla 10**

*Evaluación energía reactiva inductiva*

Energía Activa Total [kW-h]	Límite De Energía Reactiva kVAR-h	% de Energía Activa	Cumple	
			Si	No
<b>4076.0</b>	<b>2.531</b>	<b>62%</b>		<b>X</b>

Fuente: Centro Oncológico de Antioquia-Proelétrico.

#### **4.3. *Diseño de medidas correctivas y preventivas en el transformador, acordes con el diagnóstico de la calidad de la energía reactiva***

De acuerdo con los resultados de las mediciones, se propone diseñar medidas correctivas y preventivas para controlar la energía reactiva y evitar posibles problemas relacionados con los armónicos que afectan la calidad de la energía de la red de suministro eléctrico.

La medición de Potencias y Factor de Potencia evidencia un máximo de exceso de reactiva inductiva (valor mayor al 50% de la activa en la fecha 18-05-2024 01:21:00

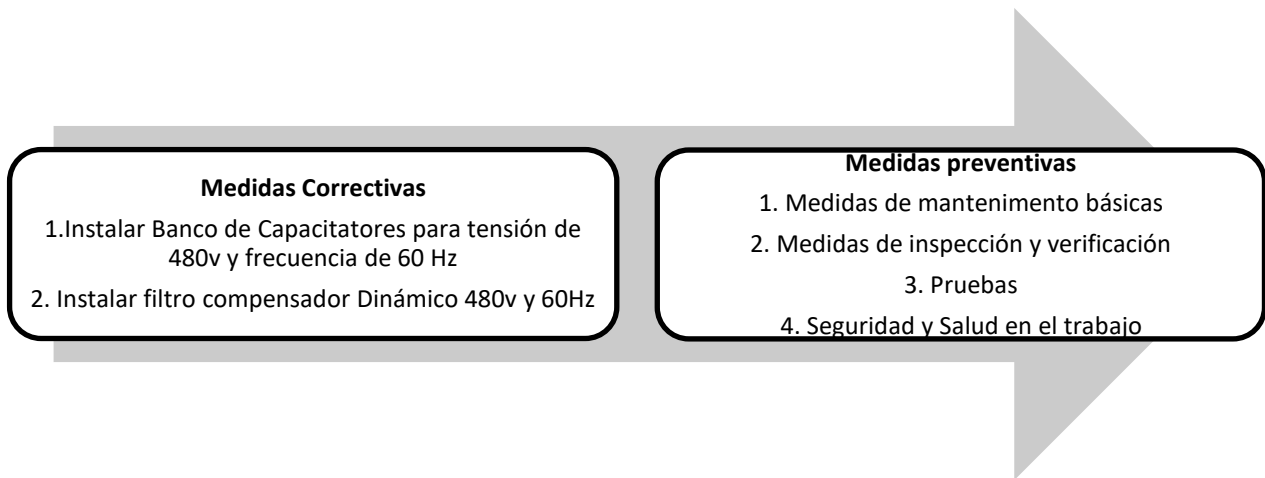
 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

registrando un valor de 17.06KVAR instantáneos). Se registra un consumo de Energía Activa en el periodo medido desde 16-05-2024 06:45:00 hasta 23-05-2024 07:16:00 de 4076.0KWh, un consumo de Energía Inductiva de 2531.0KVARh, una inyección de Energía Capacitiva de 0.0KVARh y una generación de Energía Activa de 0.0KWh.

Estos hallazgos requieren un diseño de medidas correctivas y preventivas que contemplen:

### Figura 8

*Diseño medidas correctivas y preventivas*



#### 4.3.1. *Medidas correctivas*

4.3.1.1. **Instalar un banco de capacitores para tensión de 480v y frecuencia de 60 Hz:** que permita tomar la energía eléctrica de la red principal y guardarla a modo de un campo eléctrico. Una vez se haya completado su ciclo de carga, se descarga entregando una corriente capacitiva, la cual se emplea para compensar la energía reactiva.

Al reducir la energía reactiva que los motores piden a la red eléctrica y suplirla con la entregada por los capacitores, se evitan altos costos en la facturación mensual. Del mismo modo, los bancos capacitores son muy efectivos para regular el voltaje, disminuyendo las caídas que se originan por las cargas inductivas y afectan el funcionamiento de los equipos diagnósticos que dependen del circuito, con el fin de optimizar

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

su rendimiento, aumentar su eficiencia y garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos en el proceso de diagnóstico médico.

**4.3.1.2. Instalar filtro compensador Dinámico 480v y 60Hz:** para mejorar la calidad de la energía, la compensación activa de potencia reactiva, el balanceo de carga y alargar la vida útil de los dispositivos conectados a la red con filtro. La instalación de este filtro permite generar o consumir la energía reactiva sin el riesgo de la resonancia por armónicos. No disminuyen la cantidad de armónicos presentes, pero compensan la energía reactiva.

**4.3.2. Medidas preventivas**

**4.3.2.1. Medidas de mantenimiento básicas (realización mensual):**

- Revisar el exterior del transformador: Verificar que no haya signos de daños físicos, corrosión o contaminación.
- Inspeccionar la estructura de soporte: Confirmar que el soporte y las fijaciones estén en buen estado y firmes.
- Limpieza externa: Utilizar un paño seco y limpio para quitar el polvo y la suciedad acumulados en la carcasa del transformador.
- Monitorear la temperatura: Comprobar regularmente la temperatura de funcionamiento utilizando termómetros infrarrojos o sensores integrados. Comparar con los valores nominales especificados en la placa del transformador.
- Revisar los ventiladores y sistemas de enfriamiento: verificar que los ventiladores funcionen correctamente y que los sistemas de enfriamiento no estén obstruidos.
- Limpiar los conductos de ventilación: Mantener los conductos de ventilación libres de polvo y obstrucciones.
- Mantener registros detallados: Documentar todas las inspecciones, mediciones y acciones de mantenimiento realizadas.

**4.3.2.2. Medidas de Inspección y verificación (Realización semestral):**

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Verificar las conexiones: Asegurarse de que todas las conexiones eléctricas estén bien ajustadas y no presenten signos de sobrecalentamiento.
- Limpieza de conexiones: Si es necesario, limpiar las conexiones con productos adecuados para asegurar un buen contacto eléctrico.
- Medir la resistencia de aislamiento: Utilizar un megóhmetro para comprobar la resistencia de aislamiento entre los devanados y entre los devanados y la tierra.
- Comprobar la relación de transformación: Asegurarse de que la relación de transformación esté dentro de los valores especificados por el fabricante (27.5).
- Medir la corriente de carga y el voltaje: Verificar que los valores estén dentro de los límites operativos normales.
- Analizar las tendencias: Revisar los registros periódicamente para identificar posibles tendencias y planificar acciones preventivas adicionales.

**4.3.3.3. Pruebas (Realización anualizada):**

- Relación de transformación en todas las fases y posiciones del conmutador (TTR).
- Probar los dispositivos de protección: Verificar el funcionamiento de los dispositivos de protección como los relés de sobrecorriente y los disyuntores.
- Medición de la resistencia de aislamiento (Sistema de puesta a tierra).
- Medición de la resistencia óhmica en devanados.
- Medición de factor de potencia.
- Medición de corriente de excitación.
- Análisis de respuesta en frecuencia.

**4.3.3.4. Seguridad y Salud en el trabajo (Permanentes):**

- Capacitación del personal: Asegurar que el personal encargado del mantenimiento esté debidamente capacitado y actualizado en las prácticas y procedimientos.
- Utilización de equipos de protección personal (EPP): Garantizar que el personal utilice el EPP adecuado durante todas las actividades de mantenimiento.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

- Plan de contingencia: Tener un plan de contingencia en caso de fallas o emergencias para minimizar el tiempo de inactividad y los riesgos asociados.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## 5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

---

1. La utilización de un analizador de red que permite monitorear un espectro amplio de datos de las variables eléctricas de la calidad energética afina la medición de la calidad de la energía reactiva en un transformador de equipos de ayudas diagnósticas, afinando y optimizando el diagnóstico sobre su funcionamiento.
2. Para la interpretación de los resultados es necesaria la utilización de los estándares y normativas nacionales e internacionales, que permiten la comparación de los datos obtenidos y el establecimiento del diagnóstico sobre la calidad de la energía.
3. Al analizar los resultados de las mediciones se puede dar cuenta que los resultados de tensión evidencian la necesidad de revisar el estado de conductores, TAP de transformador, sobrecargas o estado del sistema contra sobretensiones. Las tensiones de Fase se encuentran FUERA de los rangos permitidos por la norma NTC 1340 de 2013. Se recomienda revisar el neutro y sus puntos de conexión para detectar un posible neutro flotante.

Por otro lado, se evidencia con la evaluación capacitiva de las energías el cumplimiento de la norma CREG 101 035 de 2024.

4. Con la implementación de un banco de capacitores se espera reducir y controlar el exceso de energía reactiva inductiva.
5. Para la corrección de las distorsiones armónicas de corriente THD-I que se encuentran FUERA de los límites establecidos por la norma IEEE519 (MaxTHD-I = 23.03%), se recomienda instalar un filtro compensador dinámico, para compensación simultánea del factor de potencia y armónicos.
6. Para asegurar el buen funcionamiento y la durabilidad del transformador, la calidad de la energía, el control de la energía reactiva, minimizando el riesgo de fallas

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

inesperadas y optimizando la eficiencia operativa, se recomienda la implementación rutinaria y el seguimiento de las medidas preventivas.

7. Una vez se implementen las recomendaciones y correctivos sugeridos, se debe evaluar la facturación posterior a la intervención para identificar si las medidas implementadas corrigen las novedades evidenciadas en el análisis de la calidad de la energía. Adicionalmente se recomienda realizar nueva medición de la calidad energética, dando un tiempo prudencial para la estabilización del sistema.

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## REFERENCIAS

---

- Berenguer Ungaro, M., Hernández Rodríguez, N., Conde García, R., Arias Gilart, R., & Deás Yero, D. (2018). Gestión de la calidad de la energía eléctrica. 39(1). Ingeniería Energética. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1815-59012018000100009&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59012018000100009&lng=es&tlng=es).
- Churio Silvera, O., Vanegas Chamorro, M., & Valencia Ochoa, G. (2018). Estudio y diagnóstico de la calidad de la energía de un campus universitario en la costa norte de Colombia. (1), 15, 271-285. INVESTIGACION EN INGENIERIA. doi:<https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.4739>
- COA. (2024). Misión. Obtenido de <https://coa.com.co/nosotros/>
- CREG. (2018). Resolución 15 de 2018. Colombia. Obtenido de [https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion\\_creg\\_0015\\_2018.htm](https://gestornormativo.creg.gov.co/gestor/entorno/docs/resolucion_creg_0015_2018.htm)
- EATON. (2024). Transformadores de baja tensión: Conceptos fundamentales de los transformadores de tipo seco. Obtenido de <https://www.eaton.com/ar/es-mx/products/low-voltage-power-distribution-control-systems/transformers/transformer-fundamentals-.html>
- Energía Estratégica. (Diciembre de 2019). Energía reactiva: oportunidad y riesgos para los generadores de energías renovables en Colombia. Obtenido de <https://www.energiaestrategica.com/energia-reactiva-oportunidad-y-riesgos-para-los-generadores-de-energias-renovables-en-colombia/>
- Enríquez Harper, G. (2006). El ABC de la calidad de la energía eléctrica. Limusa S.A. De C.V. Obtenido de [https://books.google.com.co/books/about/El\\_ABC\\_de\\_la\\_calidad\\_de\\_la\\_energ%C3%ADa\\_el%C3%A9.html?id=6mygLAlz2CEC&redir\\_esc=y](https://books.google.com.co/books/about/El_ABC_de_la_calidad_de_la_energ%C3%ADa_el%C3%A9.html?id=6mygLAlz2CEC&redir_esc=y)
- Fitzgerald, A., Kingsley, C., & Umas, S. (2003). Máquinas Eléctricas. 6. Obtenido de [https://www.academia.edu/29572756/MAQUI\\_AS\\_EL%89CTRICAS](https://www.academia.edu/29572756/MAQUI_AS_EL%89CTRICAS)

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

ICONTEC. (2008). Calidad de la potencia eléctrica. Límites y metodología de evaluación en punto de conexión común. 51. Obtenido de <https://tienda.icontec.org/gp-calidad-de-la-potencia-electrica-limites-y-metodologia-de-evaluacion-en-punto-de-conexion-comun-ntc5001-2008.html>

ICONTEC. (2013). Norma Técnica Colombiana. Norma NTC 1340. Colombia.

ICONTEC. (2013). Tensiones y frecuencias nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público. 4, 5. Obtenido de <https://tienda.icontec.org/gp-electrotecnia-tensiones-y-frecuencias-nominales-en-sistemas-de-energia-electrica-en-redes-de-servicio-publico-ntc1340-2013.html>

ICONTEC. (2019). Transformadores trifásicos autorrefrigerados, tipo seco abiertos y encapsulados en resina. Corriente sin carga, eficiencia y tensión de cortocircuito. 3, 9. Obtenido de <https://tienda.icontec.org/gp-electrotecnia-transformadores-trifasicos-autorrefrigerados-tipo-seco-abiertos-y-encapsulados-en-resina-corriente-sin-carga-eficiencia-y-tension-de-cortocircuito-ntc3445-2019.html#:~:text=Esta%20norma%20establece%20los%20valor>

ICONTEC. (2023). Transformadores de potencia tipo seco. 4, 56. Obtenido de <https://tienda.icontec.org/gp-ntc-transformadores-de-potencia-tipo-seco-ntc3654-2023.html>

IEC. (2002). IEC 61000-2-2:2002. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 2-2: Environment - Compatibility levels for low-frequency conducted disturbances and signalling in public low-voltage power supply systems. Obtenido de <https://webstore.iec.ch/publication/4133>

IEC. (2021). IEC 61558. Safety of transformers, reactors, power supply units and combinations thereof - Part 2-16: Particular requirements and tests for switch mode power supply units and transformers for switch mode power supply units for general applications. Obtenido de <https://webstore.iec.ch/publication/65385>

IEC. (2024). IEC 60601. Equipos electrodomésticos - Requisitos Generales para Seguridad Básica y funcionamiento Esencial. Obtenido de <https://webstore.iec.ch/publication/2603>

IEEE SA. (2019). IEEE 1159-2019. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. Obtenido de <https://standards.ieee.org/ieee/1159/6124/#:~:text=1159%2D2009->

	<b>INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

,IEEE%20Recommended%20Practice%20for%20Monitoring%20Electric%20Power%20Quality,phenomena%20occurring%20on%20power%20systems.

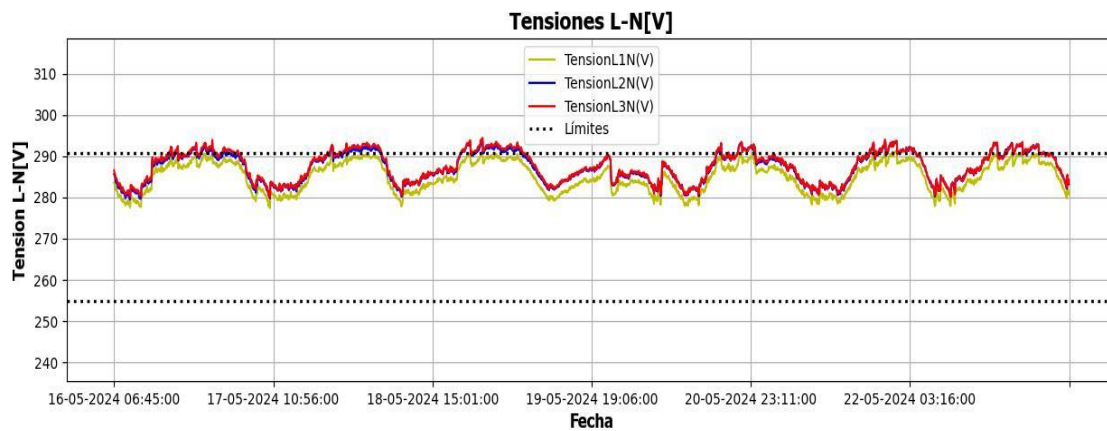
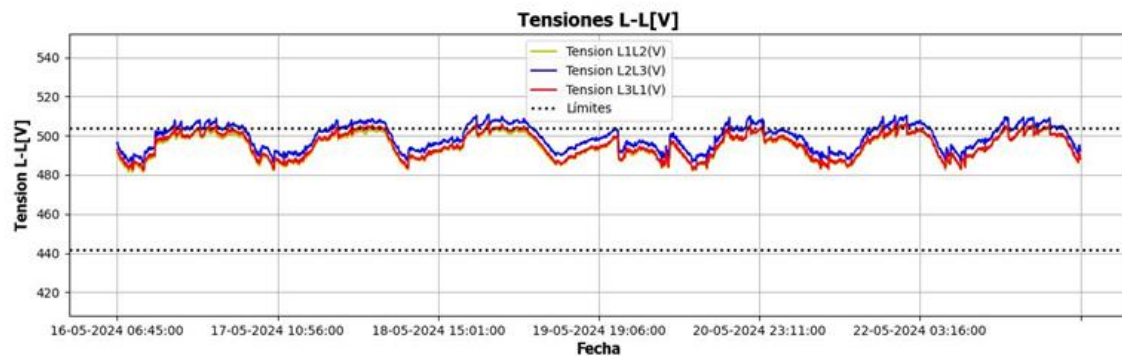
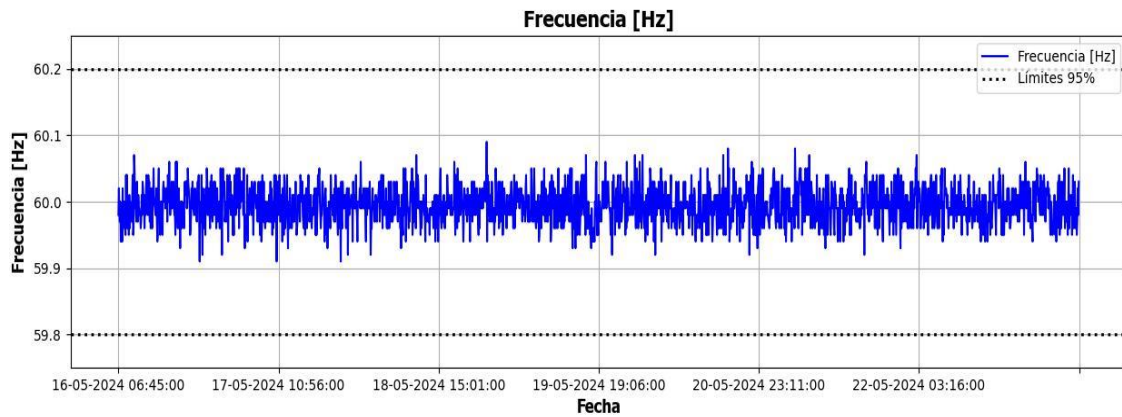
Mercado Polo, V., Bernardo Peña, J., & Pacheco, L. (2017). Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra. 38(2), 167-176. Ciencia e Ingeniería. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/5075/507555007009/html/>

Reyes Martínez, J., Suaza Moreno, C., & Torres Polo, J. (2021). Calidad de la energía del suministro eléctrico del transformador seco del área de caldera de 630 kVA en una industria alimenticia. Obtenido de <https://repositorio.cuc.edu.co/bitstream/handle/11323/7794/Calidad%20de%20la%20energía%20del%20suministro%20eléctrico%20del%20transformador%20seco%20del%20área%20de%20caldera%20de%20630%20kVA.pdf?sequence=4&isAllowed=y>

# ANEXOS

## Anexo A

### Tablas y gráficas Resultados mediciones



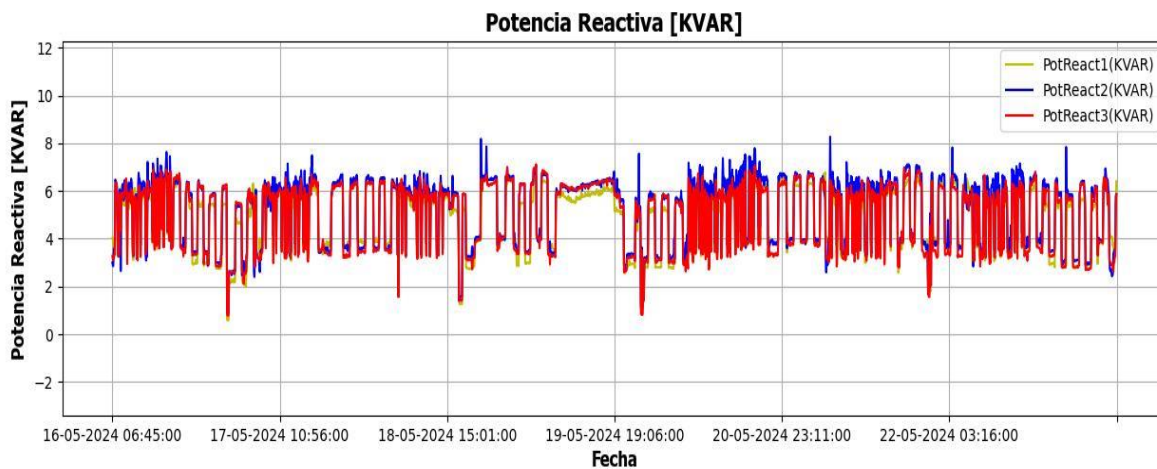
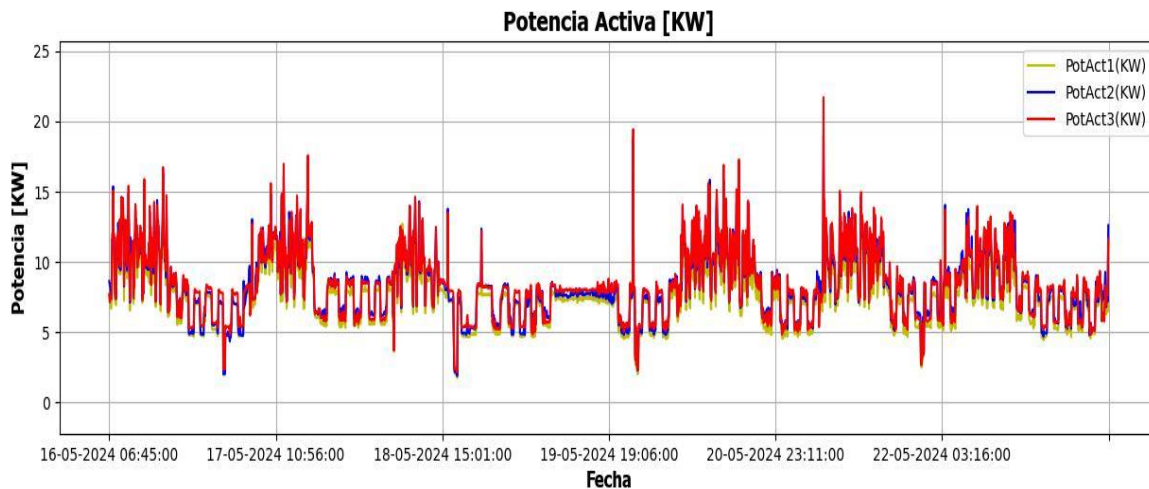
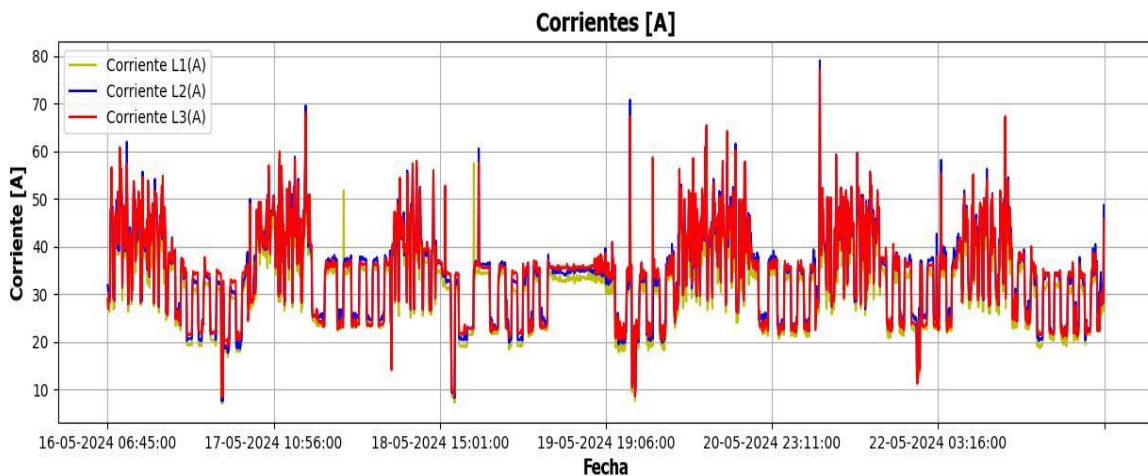


TABLA DE ENERGÍA REACTIVA INDUCTIVA EN [KVAR-h]																									
Día	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
16-05-2024								16	15	16	15	16	16	17	18	18	17	16	15	14	14	14	14	13	
17-05-2024	13	14	9	12	12	12	14	15	16	15	17	15	16	17	16	17	18	15	15	15	15	15	15	16	
18-05-2024	15	15	15	16	15	15	15	15	16	16	16	16	17	14	16	14	13	12	10	14	14	17	15	16	15
19-05-2024	17	16	14	15	14	15	17	15	15	14	15	14	15	15	15	15	15	15	16	13	13	13	13	7	
20-05-2024	13	14	13	13	13	13	14	16	16	17	17	16	15	16	18	16	18	17	18	17	15	16	15	16	
21-05-2024	15	16	16	16	16	15	15	16	16	14	16	17	15	17	16	17	16	16	15	16	16	16	16	11	
22-05-2024	15	15	15	16	15	14	14	15	16	16	15	16	16	16	17	16	15	16	15	14	14	14	13	13	
23-05-2024	13	14	13	13	15	16	13																		

TABLA DE ENERGÍA ACTIVA EN [KW-h]																								
Día	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
16-05-2024								30	32	31	32	33	30	31	33	33	28	24	22	21	19	19	19	21
17-05-2024	20	19	16	18	19	19	25	30	31	31	33	30	30	33	33	32	33	25	22	22	22	22	22	22
18-05-2024	22	21	22	22	21	23	22	29	30	29	31	31	25	27	24	21	17	15	19	19	20	21	21	21
19-05-2024	19	21	20	19	18	19	20	20	21	21	20	19	20	20	20	19	20	20	20	19	22	19	19	14
20-05-2024	19	19	19	20	19	22	23	31	30	34	33	34	28	33	33	30	32	28	30	28	22	21	22	21
21-05-2024	20	20	19	20	20	19	25	31	31	29	33	33	31	32	33	33	31	25	22	21	20	20	21	16
22-05-2024	21	21	21	23	21	22	25	31	30	31	30	31	29	30	34	27	23	23	22	19	19	20	21	20
23-05-2024	19	19	21	20	19	20	26																	

TABLA DE ENERGÍA ACTIVA GENERADA EN [KW-h]																								
Día	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
16-05-2024								0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-05-2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-05-2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-05-2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-05-2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-05-2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-05-2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-05-2024	0	0	0	0	0	0	0																	

TABLA DE ENERGÍA REACTIVA CAPACITIVA EN [KVAR-h]																								
Día	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
16-05-2024								0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17-05-2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18-05-2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19-05-2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20-05-2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21-05-2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22-05-2024	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23-05-2024	0	0	0	0	0	0	0																	

TRANSFORMADOR	
KVA	41,65
%	14%
DISPONIBILIDAD	
KVA	258,35
%	86%

 Institución Universitaria	INFORME FINAL TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

## Anexo B

### Soportes y evidencias instalación analizador de red



Foto 1. Levantamiento de sellos. Fuente: elaboración propia.



Foto 2. Transformador. Fuente: elaboración propia.



Foto 3. Análisis sitio Instalación. Fuente: elaboración propia.



Foto 4. Configuración de Parámetros. Fuente: elaboración propia.



Foto 5. Archivos del analizador de red. Fuente: elaboración propia.

 Institución Universitaria	<b>INFORME FINAL  TRABAJO DE GRADO</b>	Código	FDE 089
		Versión	04
		Fecha	24-02-2020

Centro  
Oncológico  
**Antioquia**

Envigado 28 de mayo de 2024

**Ingeniero**  
**Santiago Gómez Arango**  
Instituto Tecnológico Metropolitano - ITM  
Departamento de Ingenierías

|

Cordial saludo,

Por medio de la presente doy constancia de que el Señor Alexander Gil Ramírez identificado con CC: 71273278 realizó pasantía en el Centro Oncológico Antioquia, desde el mes de febrero y hasta el mes de mayo con el objetivo de *"Proponer estrategia de intervención para mejorar la calidad de la energía reactiva en un transformador utilizado para equipos de ayudas diagnósticas, con el fin de optimizar su rendimiento, aumentar su eficiencia y garantizar la fiabilidad de los resultados obtenidos en el proceso de diagnóstico médico"*.

Durante la pasantía El señor Alexander, desarrollo valoración de la situación que se venía presentando con el transformador de Ayudas Diagnosticas, apoyo y participó en las mediciones de calidad de la energía, realizo interpretación de datos arrojados en las mediciones y presentó informe con propuesta para intervenir la energía reactiva. Se destaca la experticia y el manejo conceptual que tiene el estudiante y se agradece el apoyo que ofreció al área. El informe presentado y la propuesta de intervención es clara y cumple con las expectativas expuestas en el proyecto de pasantía.

Cordialmente,



**Alejandra Maria Isaza Lopez**  
CC 1.017.215.048  
Directora de infraestructura | Centro Oncológico Antioquia  
Teléfono: 3008208154  
E-Mail: alejandra.isaza@quironsalud.com

