



Diagnóstico de la Calidad de Energía en la Planta de Procesamiento de Inversiones Eldorado SAS en la Ciudad de Duitama

**Jorge Luis Ballesteros Gómez
Anderson Ortiz Jaime**

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Tunja, Colombia
2023

Diagnóstico de la Calidad de Energía en la Planta de Procesamiento de Inversiones Eldorado SAS en la Ciudad de Duitama

**Jorge Luis Ballesteros Gómez
Anderson Ortiz Jaime**

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Electrónico

Director:
Ingeniero Leonel José Paredes Madrid

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Tunja, Colombia
2023

Agradecemos a los docentes de las diferentes materias que nos han fortalecido con sus conocimientos y enseñanzas. Dedicamos este proyecto a nuestras familias, por su apoyo y comprensión durante nuestro tiempo de formación.

Agradecemos a Inversiones Eldorado SAS por permitirnos aplicar nuestros conocimientos en pro de la mejora de sus procesos.

Resumen

El trabajo se centra en diagnosticar la calidad de la energía en la planta de procesamiento de Inversiones Eldorado SAS en Duitama, esta es una empresa dedicada a la producción y distribución de productos cárnicos, especialmente carne de pollo, con destacada trayectoria en el departamento de Boyacá. El proyecto pretende hacer un análisis de cargas que permita mejorar la eficiencia energética de las instalaciones corrigiendo el factor de potencia y evitando penalizaciones por consumo de energía reactiva. La planta enfrenta problemas con la calidad de la energía y podría incurrir en sanciones por el consumo de energía reactiva. La metodología se divide en tres fases: recopilar información sobre el estado actual de las redes y cargas eléctricas, instalar analizadores o medidores de redes eléctricas en los puntos de distribución y proponer soluciones técnicas a las causas del consumo energético. Los resultados esperados incluyen un diagnóstico del estado actual de las redes eléctricas y recomendaciones de intervenciones o renovaciones. El proyecto se enmarca en el campo de la energía y la electrónica de potencia y pretende beneficiar a la empresa reduciendo costes en los servicios de energía eléctrica. El trabajo se compromete a utilizar la información recopilada únicamente con fines académicos y a no divulgarla para otros fines.

Palabras clave: Calidad de la energía, Diagnóstico eléctrico, Energía reactiva, Factor de potencia, Penalización energética

Abstract

The work focuses on diagnosing the quality of energy at the processing plant of Inversiones Eldorado SAS in Duitama. The plant is a company dedicated to the production and distribution of meat products, especially chicken meat, with a prominent history in the Boyacá department. The project aims to improve the energy efficiency of the facilities by correcting the power factor and avoiding penalties for reactive power consumption. The plant faces issues with energy quality and is incurring substantial penalties for reactive power consumption. The methodology is divided into three phases: gathering information on the current state of the electrical networks, installing electrical network analyzers at distribution points, and proposing technical solutions to the causes of energy wastage. The expected results include a diagnosis of the current state of the electrical networks and recommendations for interventions or renovations. The project falls within the field of energy and power electronics and aims to benefit the company by reducing costs in electrical energy services. The work is committed to using the collected information solely for academic purposes and not disclosing it for other purposes..

Keywords: Energy quality, Electrical diagnosis, Energy penalty, Power factor, Reactive power

Contenido

	Pág.
Tabla de contenido	
1. Introducción	11
1.1 Problemática	13
1.2 Justificación	14
2. Objetivos	16
2.1 Objetivo General	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3. Marco Teórico	17
4. Diseño Metodológico	27
4.1 Diseño y tipo de investigación	27
5. Resultados	30
5.1 PARÁMETROS MEDIDOS	33
5.2 ANÁLISIS DE TENSIÓN Y CORRIENTE	33
5.2.1 Perfil de tensión	33
5.2.2 Registro de caídas de tensión (SAG's)	34
5.2.3 Perfil de corriente	35
5.2.4 Desbalance de tensión	37
5.2.5 Desbalance de corriente	38
5.3 ANÁLISIS DISTORSIÓN ARMÓNICA	39
5.3.1 Distorsión armónica total (THDv) en tensión	39
5.3.2 Distorsión de demanda total (TDD)	39
5.3.3 Armónicos de corriente	41
5.3.4 Perfiles de potencia (Activa, Reactiva y Aparente)	41
5.3.5 Factor de potencia	43
5.4 CONSUMO DE ENERGÍA Y PENALIZACIÓN DE REACTIVOS	45
5.4.1 Tarifa de energía activa	45
5.4.2 Penalización por demanda en exceso de reactivos	46
5.4.3 Desviación respecto a factura emitida por el Operador de Red (OR)	49
5.5 ANÁLISIS DE FRECUENCIA	50
5.6 ESCENARIOS DE OPERACIÓN DE BANCOS DE CONDENSADORES	51
6. Análisis y Discusión	53
6.1 SOLUCIÓN TÉCNICA A LAS POSIBLES CAUSAS DEL DESPERDICIO DE ENERGÍA	56
7. Conclusiones	58
8. Bibliografía	59
9. Anexos	62

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 - Planta de Proceso Pollos Eldorado Duitama - Boyacá	17
Figura 2 - Analizador de calidad eléctrica Fluke 438-II	26
Figura 3 - Instalación de equipo en tablero en celda de medida de alta tensión	28
Figura 4 - Analizador de redes en funcionamiento.....	29
Figura 5 - Perfil de tensión de línea	34
Figura 6 - Registro de SAG's.....	35
Figura 7 - Perfil de corriente promedio de fase.....	35
Figura 8 - Perfil de corriente promedio de fase.....	36
Figura 9 - Perfil de desbalance de tensión.....	37
Figura 10 - Perfil de desbalance de corriente	38
Figura 11 - Distorsión armónica de tensión THDv	39
Figura 12 Distorsión armónica de corriente TDD Armónicos de tensión	40
Figura 13 - Espectro armónico de tensión.....	40
Figura 14 - Espectro armónico de corriente.....	41
Figura 15 - Perfil de potencia activa total.....	42
Figura 16 - Perfil de potencia reactiva total.....	42
Figura 17 - Perfil de potencia aparente total.....	43
Figura 18 - Factor de potencia.....	44
Figura 19 - Energía acumulada durante el monitoreo.....	45
Figura 20 - Relación de demanda de potencia reactiva/activa.....	46
Figura 21 Metodología de cobro de reactivos en exceso.....	46
Figura 22 - Demanda horaria de reactivos en exceso.....	48
Figura 23 Resumen Factura de energía cliente Inversiones Eldorado S.AS.....	50
Figura 24 Perfil de frecuencia.....	51
Figura 25 - Perfil de potencia reactiva escenarios de operación.....	52

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Evaluación de Parámetros transformador 2000 kVA.	31
Tabla 2. Información del PCC.	33
Tabla 3. Valores registrados de tensión en frontera comercial	34
Tabla 4. Valores registrados de corriente en transformador 2000 kVA.....	36
Tabla 5. Valores registrados de desbalance de tensión	37
Tabla 6. Valores registrados de desbalance de corriente	38
Tabla 7. Valores registrados de potencia.	43
Tabla 8. Valores registrados de potencia.	44
Tabla 9. Estimación de tarifa de energía activa.	45
Tabla 10. Estimación de penalizaciones de energía reactiva.	49
Tabla 11. Valores de frecuencia en PCC.	51
Tabla 12. Escenarios de operación monitoreados.....	52

1.Introducción

La creciente preocupación ambiental y el inminente agotamiento de los combustibles fósiles han impulsado el desarrollo de políticas destinadas a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Una de las estrategias más destacadas para abordar esta problemática es la mejora de la eficiencia energética en la industria (Pradella, Loures, & Lima¹, 2019), un asunto de vital importancia, sobre todo en naciones en vías de desarrollo. La eficiencia energética se define como la relación entre la producción de servicios de un proceso y la energía consumida en ese proceso (Fanser, 2022). Su aplicación conlleva ventajas tanto a escala micro como macro, al permitir una optimización del desempeño industrial. Los indicadores de eficiencia energética se dividen en diversas categorías, que incluyen aspectos termodinámicos, termofísicos, termoeconómicos y económicos (Soto, 2015).

En particular, las fábricas industriales se destacan como grandes consumidores de energía y, por lo tanto, representan una oportunidad para las empresas de servicios eléctricos, lo que les permite gestionar adecuadamente el consumo de electricidad (Soto, 2015). Las iniciativas de eficiencia energética permiten a las grandes industrias reducir su consumo y, a su vez, mejorar su producción, lo que se traduce en beneficios económicos (Ibargue, Angulo, & Prías, 2017). No obstante, es importante tener en cuenta que los procesos industriales suelen ser rígidos debido a las limitaciones de producción en las plantas, lo que desanima a algunas industrias a adoptar estas iniciativas (Ruiz, 2017) .

Entre otras industrias, la alimentaria ha sido objeto de creciente atención. En este sector, la intensidad energética es significativa, y los costos energéticos representan entre el 20% y el 50% de los costos totales de producción (J. Bundschuh, 2015). Además, la industria alimentaria es responsable de aproximadamente el 12% del consumo total de electricidad en el sector industrial (European Commission, 2017). Sin embargo, a menudo se observa un uso ineficiente de la energía en las tecnologías de procesamiento de alimentos.

La industria alimentaria también genera emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), principalmente debido a la quema de combustibles fósiles para la generación de energía. Estas emisiones se dividen en emisiones directas e indirectas. Las emisiones directas se relacionan con las operaciones en la producción de materias primas y durante varias etapas de los procesos de fabricación, mientras que las emisiones indirectas se vinculan al almacenamiento, transporte y uso de electricidad en la industria alimentaria (Chakabarti, 2019).

Existen oportunidades para reducir el consumo de energía en la industria alimentaria en todas sus etapas, pero el éxito de las medidas de eficiencia energética depende en gran medida de los cambios en el comportamiento. En la industria alimentaria, el consumo de energía está distribuido en diversos procesos de tratamiento de alimentos.

Específicamente este trabajo, se enfocará en la empresa Inversiones Eldorado S.A.S dedicada a la cría, levante, engorde, procesamiento y comercialización de carne de pollo, esta Compañía productora de alimentos de origen avícola que lleva realizando su actividad económica desde el año 1984 en el departamento de Boyacá (Pollos Eldorado, 2022) y se ha extendido comercialmente a departamentos como Casanare y Cundinamarca; su planta de procesamiento cuenta con una infraestructura física para el beneficio de aproximadamente 1.500.000 aves/mes así como para almacenar 550 toneladas de producto refrigerado y congelado, desde allí se hace distribución por distintos canales de comercialización, garantizando la seguridad alimentaria y la calidad de sus productos.

La compañía cuenta con una política energética en la que manifiesta como objeto “mejorar de forma continua el desempeño energético en cada una de las áreas que hacen parte de la misma, para esto se implementa la cultura del ahorro y uso eficiente de la energía, asegurando la disponibilidad de las fuentes energéticas actuales” (Inversiones Eldorado SAS, 2017)

El propósito de este proyecto es realizar un diagnóstico de calidad de energía en la planta de procesamiento de Inversiones Eldorado en la ciudad de Duitama a través del levantamiento de información sobre el estado de las redes eléctricas, además, se instalará

un analizador de redes eléctricas en los 4 puntos de distribución y así identificar las posibles causas del hiperregistro de consumo. Finalmente, con la información obtenida se propondrán soluciones a implementar.

1.1 Problemática

La calidad de la energía se refiere a la continuidad y estabilidad de la tensión y la frecuencia eléctrica suministrada a las instalaciones industriales. Cualquier perturbación en la calidad de la energía, como picos de tensión, caídas de voltaje o armónicos, puede afectar negativamente las operaciones de la industria de alimentos.

Según datos de la Agencia Internacional de Energía (AIE), se estima que las perturbaciones en la calidad de la energía eléctrica pueden causar pérdidas económicas de más de \$150 mil millones de dólares anuales a nivel mundial en todas las industrias, incluida la de alimentos (Agencia Internacional de Energía (AIE, 2019)). A nivel mundial, la industria de alimentos es una de las mayores consumidoras de energía, esta industria representa aproximadamente el 30% del consumo total de energía en el sector industrial (Agencia Internacional de Energía (AIE, 2019)). Gran parte de esta energía se utiliza para procesar, cocinar, refrigerar y transportar alimentos.

En Colombia, la industria de alimentos también enfrenta desafíos significativos en términos de eficiencia energética. Según el informe "Evaluación del Uso de Energía en la Industria Manufacturera de Colombia" publicado por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en 2019, el sector industrial, que incluye la industria de alimentos, representaba el 45% del consumo total de energía en el país (Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), 2019). La calidad de la energía también es un tema relevante para la industria de alimentos. Las fluctuaciones en la calidad de la energía pueden provocar interrupciones en la producción y daños a los equipos de procesamiento de alimentos.

Específicamente, en el centro de distribución de Pollos en la ciudad de Duitama se está presentando problema de calidad de la energía y además se está pagando penalizaciones por consumo de potencia reactiva al operador de red, se identifica un sobre costo de 27

millones de pesos aproximados en lo que lleva del 2023. Los costos anuales que se generan por energía reactiva superan los 35 millones de pesos e incrementan el riesgo de penalizaciones por parte de la Empresa de Energía de Boyacá al continuar con la generación de energía no productiva, de esta manera, el objetivo de este proyecto está orientado a realizar un diagnóstico de calidad de energía en la planta de procesamiento Inversiones Eldorado y proponer acciones que mitiguen los hallazgos que lo requieran.

1.2 Justificación

El desarrollo de un estudio de diagnóstico de la calidad de energía en la Planta de Procesamiento de Inversiones Eldorado SAS en la ciudad de Duitama es de vital importancia en el contexto actual, en el que la industria avícola se enfrenta a desafíos significativos en términos de eficiencia energética y sostenibilidad. A nivel mundial, el sector avícola es uno de los principales consumidores de energía en la industria alimentaria. Según informes de la Agencia Internacional de Energía (AIE), las perturbaciones en la calidad de energía pueden provocar pérdidas económicas considerables, superando los \$150 mil millones de dólares anuales en todas las industrias, incluyendo la alimentaria (Agencia Internacional de Energía (AIE, 2019). Además, el desperdicio de energía en la industria avícola y alimentaria es una preocupación común, lo que subraya la necesidad de abordar eficazmente estos problemas para mejorar la competitividad y la sostenibilidad del sector avícola.

La industria avícola en Colombia no está exenta de estos desafíos. Según la asociación de Avicultores, los costos asociados a la electricidad representan una parte fundamental de los gastos presupuestarios considerados por todas las compañías dedicadas a la producción avícola a nivel nacional. La disminución de su consumo sin que esto influya negativamente en la productividad, en muchas ocasiones, se percibe como un desafío sumamente complicado de alcanzar (Fenavi, 2020). La calidad de energía también es un tema relevante, ya que fluctuaciones en la calidad de energía pueden provocar interrupciones en la producción y daños a los equipos de procesamiento. En el caso específico de la Planta de Procesamiento de Inversiones Eldorado SAS en Duitama, se

ha identificado un sobre costo significativo por consumo de potencia reactiva, lo que resalta la urgencia de un diagnóstico y la implementación de medidas para mitigar estos hallazgos y mejorar la eficiencia energética.

Este estudio de diagnóstico de calidad de energía no solo beneficiará a Inversiones Eldorado SAS al reducir costos y riesgos de penalizaciones, sino que también contribuirá a promover prácticas más sostenibles en el sector avícola, alineándose con los objetivos de reducción de desperdicio energético y mejora de la calidad de energía. Además, servirá como referencia para otras empresas del sector que enfrentan desafíos similares. La inversión en este diagnóstico es un paso clave hacia la competitividad, sostenibilidad y rentabilidad a largo plazo de la industria avícola en Duitama y más allá.

2. Objetivos

2.1 Objetivo General

- Realizar un diagnóstico de calidad de energía en la planta de procesamiento Inversiones Eldorado SAS en la ciudad de Duitama.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento de información sobre el estado actual de las redes eléctricas del centro de distribución y realizar una verificación de cumplimiento RETIE y la capacidad actual de la red eléctrica.
- Instalar un analizador de redes eléctricas en los cuatro puntos de distribución con el fin de identificar las posibles causas del desperdicio de energía.
- Proponer una solución técnica a las posibles causas del desperdicio de energía y entregar un informe técnico a la gerencia general con la finalidad de informar el estado actual del sistema eléctrico de la empresa.

3.Marco Teórico

Son muchas las industrias productoras de alimentos que por sus características requieren del uso constante de energía eléctrica para sus procesos productivos, así como para mantener una cadena de frío que permita la conservación de los mismos. Una de esas industrias es Inversiones Eldorado S.A.S dedicada a la cría, levante, engorde, procesamiento y comercialización de carne de pollo, esta Compañía productora de alimentos de origen avícola que lleva realizando su actividad económica desde el año 1984 en el departamento de Boyacá y se ha extendido comercialmente a departamentos como Casanare y Cundinamarca; su planta de procesamiento cuenta con una infraestructura física para el beneficio de aproximadamente 1.700.000 aves/mes, así como para almacenar 550 toneladas de producto refrigerado y congelado; desde allí se hace distribución por distintos canales de comercialización, garantizando la seguridad alimentaria y la calidad de sus productos.



Figura 1 - Planta de Proceso Pollos Eldorado Duitama - Boyacá

La compañía cuenta con una política energética en la que manifiesta como objeto “mejorar de forma continua el desempeño energético en cada una de las áreas que hacen parte de la misma, para esto se implementa la cultura del ahorro y uso eficiente de la energía, asegurando la disponibilidad de las fuentes energéticas actuales”, todo ello como parte de su programa de Sostenibilidad que conlleva a que su infraestructura física cumpla condiciones adecuadas para el funcionamiento de todos los equipos que operan para el proceso de beneficio, empaque y almacenamiento del producto.

Con el paso del tiempo, las instalaciones eléctricas pueden sufrir daños debidos a la exposición a las condiciones climáticas y la falta de mantenimiento preventivo. Estos daños incluyen aflojamiento de empalmes, calentamiento, deterioro del forro de los conductores y pérdida de la capacidad de aislamiento. Además, se acumulan polvo, partículas y óxido en interruptores, tableros y tomacorrientes, lo que puede dar lugar a "fugas" de corriente, a menudo representando un riesgo significativo de descarga eléctrica para las personas que manejan estos componentes y, en última instancia, pueden provocar incidentes en los lugares donde se encuentran estas conexiones (Ministerio de Minas y Energía, 2012)

Por otro lado, los dispositivos electrónicos utilizados en procesos industriales y comerciales pueden contaminar la energía, causando perturbaciones como distorsiones en las ondas de tensión y corriente, que afectan el funcionamiento de los sistemas eléctricos (Perez, Ramos, & Canasi, 2021). El concepto de calidad de la energía (también llamado calidad de la potencia) puede variar según diversas definiciones proporcionadas por distintos autores. Según el Estándar IEEE 1100-2005, la calidad de la potencia eléctrica se refiere a la adecuación de la alimentación y puesta a tierra de dispositivos electrónicos, asegurando su correcto funcionamiento y compatibilidad con el sistema eléctrico local y otros equipos conectados.

Calidad de la energía

La calidad de la energía eléctrica puede tener un impacto económico directo, especialmente en consumidores industriales y comerciales, debido a la creciente proliferación de dispositivos electrónicos que son más sensibles a las fluctuaciones en el voltaje de alimentación. Estos dispositivos energéticamente eficientes y controlados electrónicamente son más susceptibles a variaciones en el voltaje en comparación con sus

predecesores electromecánicos, lo que se traduce en un mayor consumo energético y, por lo tanto, en mayores costos de energía. Este aumento en los costos de energía afecta directamente la eficiencia de los nuevos equipos diseñados para el ahorro energético. Por lo tanto, es fundamental llevar a cabo un estudio de la calidad de la energía para identificar y evaluar las variaciones energéticas que pueden impactar negativamente las instalaciones eléctricas. Con este propósito, el Gobierno Nacional, a través del Ministerio de Minas y Energía, ha establecido directrices con diversas regulaciones y requisitos para garantizar que las instalaciones eléctricas cumplan con las normas de calidad (Ministerio de Minas y Energía, 2022).

La calidad del suministro de energía es muy importante en cualquier red eléctrica, especialmente para los consumidores de electricidad, abarca la disponibilidad del suministro, la frecuencia y la magnitud del voltaje, así como las características de la forma de onda del suministro de energía. La energía se describe como de buena calidad si el suministro de electricidad es constante a valores aceptables y constantes de voltaje y frecuencia; y tiene una forma de onda sinusoidal suave (IECOR, 2022). Sin embargo, en la práctica, la demanda variable de electricidad, ciertos equipos y las fallas provocan perturbaciones en el sistema de energía, lo que lo hace desviarse de las características normales. La calidad de la energía es deficiente cuando ocurre al menos una de las siguientes situaciones: la provisión no es constante (interrupción o corte de suministro), el voltaje suministrado es menor o mayor de lo aceptable, la frecuencia del sistema de energía está fluctuando y la forma de onda sinusoidal de la corriente y el voltaje suministrados está distorsionada (Fanser, 2022). Por lo tanto, la calidad de la energía puede definirse como el grado de desviación de los valores nominales de frecuencia, corriente y magnitud del voltaje suministrado (Polo & Pacheco, 2017) . La desviación también puede ser en términos de la forma de la onda. La calidad de la energía también se puede explicar como el grado en que la energía suministrada es compatible con el funcionamiento adecuado de equipos eléctricos (Bernard Black a, 2022).

En las industrias, la mala calidad de la energía es problemática para las maquinarias de producción automatizadas cada vez más sensibles. Ha habido un aumento constante en la investigación y publicaciones sobre la calidad de la energía en las últimas dos décadas debido a la preocupación significativa y al aumento de los problemas de calidad de la energía, en su mayoría causados por la proliferación de equipos electrónicos, como

electrónica de potencia, iluminación eficiente en energía, equipos de tecnología de la información, etc (Hassan, 2017).

La complejidad de un sistema de energía para transportar energía eléctrica desde el punto de generación hasta los centros de carga, combinada con variaciones en la demanda, condiciones climáticas, carga desequilibrada en las fases de los transformadores de distribución y el uso de equipos complejos y electrónicos por parte de los consumidores, entre otros factores, permite muchas oportunidades para la reducción de la calidad de la energía entregada (Faqih Rofii, 2020). Una serie de problemas causan que la calidad de la energía sea deficiente. Cualquier evento en los sistemas de energía que provoque cambios en los valores nominales del voltaje suministrado, que distorsione la forma de onda senoidal, que afecte la estabilidad de la frecuencia, degradará la calidad de la energía. Algunos de estos se enumeran a continuación (Barros, Archetti, Monteiro, & Oliveira, 2022)

- Variación del Voltaje

Los problemas comunes de voltaje tienen que ver con sus magnitudes. La variación de voltaje ocurre en muchas formas y cada forma tiene una terminología apropiada. La variación de voltaje es una desviación del valor nominal del voltaje que puede ser de muy corta duración (milisegundos a segundos) o de larga duración (más de un minuto). La variación de voltaje de corta duración ocurre principalmente como caídas, picos o sobretensiones, aumentos o hinchazones, mientras que la variación de voltaje de larga duración ocurre como parpadeo (fluctuación de voltaje), subtensión, sobretensión e interrupción. Estos causan que el voltaje de línea sea más alto o más bajo que la magnitud del voltaje nominal durante un período determinado. Las variaciones de voltaje ocurren como resultado de fallas en la línea, arranque de un motor eléctrico o conexión de una carga pesada, sobrecarga excesiva, arranque de un aerogenerador, etc (Brito, 2023).

- Armónicos

Los armónicos son múltiplos integrales de la frecuencia fundamental de CA. Por ejemplo, en un sistema de 50 Hz, el segundo armónico es $2 \times 50 = 100$ Hz, el tercer armónico es 3×50 Hz = 150 Hz y el séptimo armónico es 350 Hz. Los interarmónicos son frecuencias que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental de energía. Cuando se suman armónicos y la frecuencia fundamental, resulta en una forma de onda distorsionada única.

Normalmente, en un sistema trifásico, solo ocurren armónicos impares (3ro, 5to, 7mo, etc.). Las frecuencias armónicas en los sistemas de energía son una causa común de problemas de calidad de la energía. Los armónicos distorsionan la forma de onda de corriente y voltaje del suministro. Las causas de los armónicos suelen ser cargas eléctricas no lineales que incluyen fuentes de alimentación ininterrumpida, rectificadores, inversores, variadores de frecuencia variable, hornos de arco, soldadores, controladores de voltaje y convertidores de frecuencia. El horno eléctrico de arco es un gran culpable de la degradación de la calidad de la energía en un sistema de distribución conectado, ya que introduce armónicos, propaga el parpadeo y causa desequilibrio en las corrientes y tensiones. Las cargas no lineales producen armónicos en un sistema de distribución de energía. Cuando se conectan al suministro, su impedancia cambia con el voltaje suministrado y dibuja una corriente no sinusoidal incluso si el suministro es sinusoidal. La corriente no sinusoidal tiene contenido armónico que interactúa con el sistema de distribución de energía para crear distorsión de voltaje en la red. Por lo tanto, cualquier otra carga conectada a la red de distribución se ve afectada por esta distorsión de voltaje (Barros, Archetti, Monteiro, & Oliveira, 2022).

- Fluctuación de Frecuencia

La variación o fluctuación de frecuencia es la desviación de la frecuencia del sistema de energía de los valores nominales aceptables (generalmente 50 o 60 Hz). En cualquier momento, la generación de energía en el sistema de energía debe ser igual a la demanda de energía. Si hay más demanda que generación, la frecuencia tiende a disminuir, pero si la demanda es menor que la generación, la frecuencia tiende a aumentar. Las fallas en la línea de transmisión, la desconexión de cargas grandes, el apagado o apagado de generadores grandes también pueden provocar fluctuaciones de frecuencia. Las fluctuaciones de frecuencia fuera del valor de tolerancia de $\pm 5\%$ no son saludables para el sistema de energía, lo que puede provocar un colapso del sistema (Brito, 2023).

- Interrupciones de Suministro

La inestabilidad o el suministro de energía epiléptica sigue siendo una preocupación socioeconómica importante, especialmente en los países en desarrollo. De hecho, es el principal problema de calidad de la energía en estos países. Esto se debe a la escasez aguda en la red para satisfacer la demanda de electricidad, debido a la falta de inversión

adecuada en el sector de la energía. Las instalaciones de energía envejecidas y el mantenimiento deficiente de las existentes contribuyen en gran medida al problema de la calidad de la energía (Faqih Rofii, 2020).

Gestión energética

La gestión energética se refiere a un enfoque analítico tanto cualitativo como cuantitativo que permite evaluar la efectividad con la cual una empresa administra y utiliza diversos tipos de energía necesarios para sus operaciones. Además, sirve como un medio para identificar las debilidades en el sistema de gestión de la energía, así como medir la eficiencia y las pérdidas, entre otros indicadores energéticos. También, se convierte en una herramienta valiosa para la alta dirección, ya que facilita la evaluación de la administración de la empresa en lo que se refiere a los cambios en los hábitos de consumo. Esto incluye la identificación y establecimiento de índices de eficiencia, la fijación de objetivos para reducir las pérdidas y la caracterización del desempeño energético de la empresa a través de indicadores que relacionan la producción con el consumo de energía. Asimismo, permite identificar y tomar medidas para disminuir la tendencia del consumo improductivo (UPME, 2018)

Por lo tanto, la implementación de buenas prácticas operativas en la gestión y operación de equipos, la planificación de la producción, el mantenimiento y otros factores vinculados a la productividad se convierte en un factor clave para aumentar la competitividad de las empresas. Asimismo, impulsa la identificación de oportunidades y responsabilidades en la adquisición de equipos según su desempeño y consumo de energía. La gestión eficaz de los recursos humanos en relación con los cambios en los hábitos de consumo y la creación de una cultura organizacional que abarque desde la junta directiva hasta el nivel operativo son elementos esenciales para asegurar la implementación de las acciones necesarias para optimizar el uso de la energía. La reducción de los costos de producción y la competencia en los mercados nacionales e internacionales son metas fundamentales para las empresas. Mediante el ahorro de energía, se pueden lograr diversos objetivos como la reducción de costos, la disminución de la contaminación ambiental, la conservación de los recursos naturales, la adopción de nuevas tecnologías en productos y fuentes alternativas de energía, y el aumento de la productividad y competitividad de las empresas (AChEE, 2018).

Análisis de tensión y corriente

El análisis de tensión y corriente es una parte fundamental en la evaluación de la calidad de energía eléctrica y en la comprensión del comportamiento de un sistema eléctrico. Este análisis implica la medición y evaluación de las características de la tensión eléctrica y la corriente en un punto específico del sistema eléctrico durante un período de tiempo determinado (Cabeza, 2023).

El análisis de tensión implica la medición y evaluación de la magnitud de la tensión eléctrica en un circuito o sistema eléctrico. Esto incluye la determinación de los valores de voltaje instantáneo, voltaje rms (valor eficaz), frecuencia y la forma de onda de la tensión. Las fluctuaciones en la tensión, como picos, caídas de voltaje, armónicos y otras irregularidades, son de particular interés en el análisis de tensión, ya que pueden afectar el funcionamiento de los equipos eléctricos y electrónicos conectados al sistema (Quitian, 2014).

El análisis de corriente, por otro lado, involucra la medición y evaluación de la magnitud y dirección de la corriente eléctrica en un circuito o sistema eléctrico. Esto incluye la determinación de los valores de corriente instantánea, corriente rms y la forma de onda de la corriente. Al igual que con la tensión, las fluctuaciones en la corriente, como armónicos, sobrecorriente y otros problemas, son de interés en el análisis de corriente, ya que pueden indicar problemas en el sistema eléctrico o afectar el funcionamiento de los equipos (Quitian, 2014).

El análisis de tensión y corriente es esencial para comprender y solucionar problemas de calidad de energía, como sobretensiones, caídas de voltaje, desequilibrios de corriente, armónicos, distorsiones en la forma de onda, entre otros. Estos análisis son valiosos para identificar la causa de problemas eléctricos, diseñar soluciones efectivas y garantizar un funcionamiento confiable de los sistemas eléctricos y electrónicos. Además, ayudan a cumplir con las regulaciones y normativas relacionadas con la calidad de la energía eléctrica y garantizar la seguridad de las instalaciones y las personas (Quitian, 2014).

Análisis de Distorsión armónica

Las distorsiones armónicas son variaciones comunes en el voltaje y la corriente debido a cambios en las frecuencias dentro de los sistemas de distribución eléctrica. En particular, se producen desviaciones de las variaciones sinusoidales típicas en voltajes o corrientes. Las distorsiones armónicas son causadas principalmente por cargas no lineales, como las asociadas con convertidores electrónicos de potencia, incluidos variadores de frecuencia variable (VFD) instalados en ventiladores y bombas que sirven a sistemas de aire acondicionado de edificios (Krarti, 2018). Específicamente, estos convertidores generan una corriente/voltaje no sinusoidal e introducen cargas no lineales en todo el sistema de distribución eléctrica. Los problemas debidos a las distorsiones armónicas son comunes en la actualidad en edificios, ya que se utilizan ampliamente computadoras y otros dispositivos electrónicos de potencia. En particular, las distorsiones armónicas pueden causar diversas perturbaciones y daños, como el sobrecalentamiento de los cables y la pérdida de potencia (Kularatna & James, 2019).

Análisis de Potencia

El análisis de sistemas de potencia es una parte esencial del diseño de sistemas de energía eléctrica. Se realizan cálculos y simulaciones para verificar que el sistema eléctrico, incluidos los componentes del sistema, estén correctamente especificados para funcionar según lo previsto, resistir el estrés esperado y estar protegidos contra fallos (Bernard Black a, 2022).

Las normas internacionales y regulaciones locales se utilizan como base para diseños de sistemas robustos. Incluyen requisitos y recomendaciones para la protección del personal y equipos, la respuesta del sistema y el rendimiento del equipo. Junto con las clasificaciones de equipos, las regulaciones y normas constituyen la base para la evaluación de los resultados de cálculos y simulaciones (Bruno Veiga, 2023). Los análisis incluyen:

- Análisis de flujo de carga
- Análisis de cortocircuito y fallas
- Coordinación y configuración de dispositivos de protección
- Análisis armónico
- Análisis dinámico y transitorio

- Estudios de puesta a tierra
- Sobretensiones de conmutación y coordinación de aislamiento

Análisis de frecuencia

El análisis de frecuencia de energía eléctrica se refiere a la evaluación de las variaciones en la frecuencia de la corriente eléctrica suministrada a una red eléctrica. La frecuencia eléctrica se mide en hertzios (Hz) y es importante que se mantenga dentro de un rango específico para garantizar un suministro de energía confiable (Brito, 2023).

En las redes eléctricas, la frecuencia típica es de 50 o 60 Hz, dependiendo del país y su sistema de generación de energía. Las fluctuaciones en la frecuencia pueden deberse a diversos factores, como cambios en la carga eléctrica, variaciones en la generación de energía o perturbaciones en la red (Barros, Archetti, Monteiro, & Oliveira, 2022).

El análisis de frecuencia se utiliza para monitorear y evaluar la estabilidad del sistema eléctrico. Las variaciones significativas en la frecuencia pueden afectar negativamente los equipos eléctricos y electrónicos, lo que a su vez puede provocar interrupciones en el suministro de energía. Por lo tanto, es fundamental realizar un seguimiento de la frecuencia eléctrica y tomar medidas para mantenerla dentro de los límites aceptables (Brito, 2023).

Equipo analizador de calidad de energía

Un equipo analizador de calidad eléctrica es un equipo multifunción que hace una medición y análisis de diferentes parámetros a nivel de medida de potencias y reparto de cargas, tales como medida de tensiones. Medida de corrientes. Potencia activa, reactiva, aparente.

Existen diversas marcas comerciales de equipos analizadores de calidad de energía, entre ellos se encuentra el Fluke 437-II, este permite, pronosticar, localizar, solucionar y prevenir problemas de calidad eléctrica a 50 Hz, 60 Hz y 400 Hz. El sistema de medida de consumo eléctrico incorporado realiza análisis especificados en la norma militar MIL-STD 1399, ofreciendo automáticamente una evaluación completa de tensión, corriente y consumo permitiendo un estudio o análisis del estado de la calidad de energía eléctrica reportando datos en tiempo real.

4. Diseño Metodológico

4.1 Diseño y tipo de investigación

Este proyecto de diagnóstico en particular es considerado un estudio de investigación aplicada, ya que su objetivo principal es evaluar y comprender la calidad de energía en una planta de procesamiento específica en Duitama. Los resultados de este estudio se utilizarán para abordar problemas o necesidades prácticas en esa planta. El diseño de investigación es principalmente descriptivo y *expost facto*. En otras palabras, se recopilarán datos para describir y evaluar retrospectivamente la calidad de energía en la planta de procesamiento de Inversiones Eldorado SAS. No se realizarán manipulaciones experimentales, sino que se observarían y analizarían datos pasados y actuales.

Para la ejecución de las mediciones, se empleó un equipo analizador de calidad de energía digital marca FLUKE 438II, equipado con ocho (8) canales de entrada: cuatro (4) para tensiones y cuatro (4) para corrientes. El instrumento permite medir todos los parámetros de interés en un circuito eléctrico, tales como tensión, corriente, frecuencia, factor de potencia, potencias (aparente, activa y reactiva) y energías consumidas, entre otros. El equipo cuenta con sistema de memoria que permite el manejo y almacenamiento de la información para luego ser transmitida a un computador personal para su procesamiento y análisis. En el anexo F se presenta el diagrama unifilar de la planta.

Para llevar a cabo este diagnóstico, se recopilaron datos históricos y actuales sobre la calidad de energía en la planta mediante las siguientes fases:

- FASE 1: Se realizó el levantamiento de información sobre el estado actual de las redes eléctricas de la planta de procesamiento, así como un inventario de equipos y redes eléctricas actuales que se encontraban en la planta, con esto se buscaba conocer la capacidad de potencia instalada. En esta primera fase se verificó la potencia instalada de cada tablero de distribución y se realizó una actualización de planos eléctricos unifilares (anexo F).

- FASE 2: Se adquiere el equipo analizador de calidad de energía digital marca FLUKE 438II mediante la modalidad de arrendamiento una vez se verifica la ficha técnica del mismo y el cumplimiento de las características necesarias para la medición, esta verificación se realiza con el acompañamiento del proveedor de servicios de mantenimiento Eléctricos González SAS. (Figura 3)

Con el fin de analizar los datos e identificar las posibles causas del desperdicio de energía se procedió a instalar el analizador de redes eléctricas en la celda de medida de la subestación eléctrica de la planta, puesto que allí se encuentra el consumo total de energía de la planta y donde se puede identificar la zona donde podría presentarse algún sobre consumo de energía o pérdida de la misma (anexo E).



Figura 3 - Instalación de equipo en tablero en celda de medida de alta tensión

Figura 4 - Analizador de redes en funcionamiento



FASE 3: Se obtienen los datos para análisis del cumplimiento respecto del marco normativo con el fin de determinar el nivel de cumplimiento de los requerimientos exigidos por la CREG, se procedió con el análisis del contenido armónicos en base a los estándares IEEE Std 18-2012 e IEEE Std 1036-2020. Análisis de Datos: El análisis de datos se centrará en evaluar la calidad de energía en la planta, identificar problemas, tendencias y patrones, y determinar si se cumplen con las normativas y estándares establecidos.

Se organizan los datos en tablas par análisis de la calidad de energía y sus efectos en la planta. Los datos recopilados a través de los analizadores de redes eléctricas son revisados para identificar problemas de calidad de energía, como armónicos, fluctuaciones de voltaje, sobretensiones o caídas de voltaje

Se realiza un comparativo respecto del rendimiento de la planta con las normativas y estándares establecidos, como los definidos por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) y las normas IEEE para la calidad de energía.

5. Resultados

De acuerdo con los registros tomados en la frontera, se tiene la siguiente tabla resumen y comentarios más relevantes de la medición:

Parámetros eléctricos PCC	Resultados Obtenidos			Valores de Referencia	Evaluación
	Min	Prom	Max		
Tensión de línea Fase A [V]	30726,00	34218,44	35097,00	± 10% Vn 31050 V - 37950 V	NORMAL
Tensión de línea Fase B [V]	32196,00	34074,90	35025,00		
Tensión de línea Fase C [V]	31803,00	33977,70	34911,00		
Desbalance de tensión [%]	0,42	0,49	0,70	2,0%	NORMAL
Corriente Fase A [A]	4,80	12,89	17,47	34 A	NORMAL
Corriente Fase B [A]	4,68	12,89	17,72		
Corriente Fase C [A]	4,85	13,08	17,82		
Desbalance de corriente [%]	0,25	1,47	327,67	20%	NORMAL
Frecuencia [Hz]	59,74	60,00	60,17	59,8 Hz - 60,2 Hz	NORMAL
Factor de Potencia	0,99	1,00	1,00	0.9 - 1.0 (Inductivo)	ALERTA
THDv Percentil 95% [%]	4,24%			5,0%	ALERTA
TDD Percentil 95% [%]	8,84%			8,0%	NO CUMPLE
Flicker Plt [p.u]	0,92			1,0	ALERTA

Flicker Pst [p.u]	1,09	1,0	NO CUMPLE
-------------------	------	-----	-----------

Tabla 1. Evaluación de Parámetros transformador 2000 kVA.

La tabla 1, muestra la evaluación de los principales parámetros eléctricos de la calidad de potencia eléctrica de la planta Inversiones Eldorado, se presenta incumplimiento en los parámetros de factor de potencia generando penalización por reactivos capacitivos, armónicos de corriente y flicker de corta duración debidos a las cargas propias de la planta. Los demás parámetros se encuentran dentro de los rangos permitidos por la NTC 5001, IEEE 519, IEEE 1159 y demás normativa aplicable.

En la Tabla 2 se presentan los datos asociados al punto de medición, así como la fecha, el intervalo de medida y los periodos de captura en el punto medido.

Punto de conexión	Fecha y Hora de Inicio	Fecha y Hora de Finalización	Tiempo de Monitoreo	Intervalo de medición
FRONTERA COMERCIAL 34,5 kV	09/05/2023 12:08:07 PM	16/05/2023 09:01:07 AM	7 días	1,00 min

Tabla 2. Información del PCC.

5.1 PARÁMETROS MEDIDOS

Los resultados de las mediciones se presentan a continuación, relacionando el comportamiento de cada uno de los parámetros de interés, como tensiones, corrientes, potencias, factor de potencia, distorsión armónica, frecuencia.

5.2 ANÁLISIS DE TENSIÓN Y CORRIENTE

5.2.1 Perfil de tensión

Los datos presentados en la Figura 5 y Tabla 3 muestran que en general, la tensión eléctrica en el sistema se encuentra dentro de los límites aceptables del +/-10% de la tensión nominal. Sin embargo, se observan fluctuaciones en la tensión, con algunas caídas y aumentos en el valor de la tensión con respecto a la nominal. La mayoría del tiempo, el sistema cumple con los límites de calidad de la energía eléctrica. Estos datos son importantes para evaluar la estabilidad y la calidad del suministro eléctrico en el sistema en cuestión.

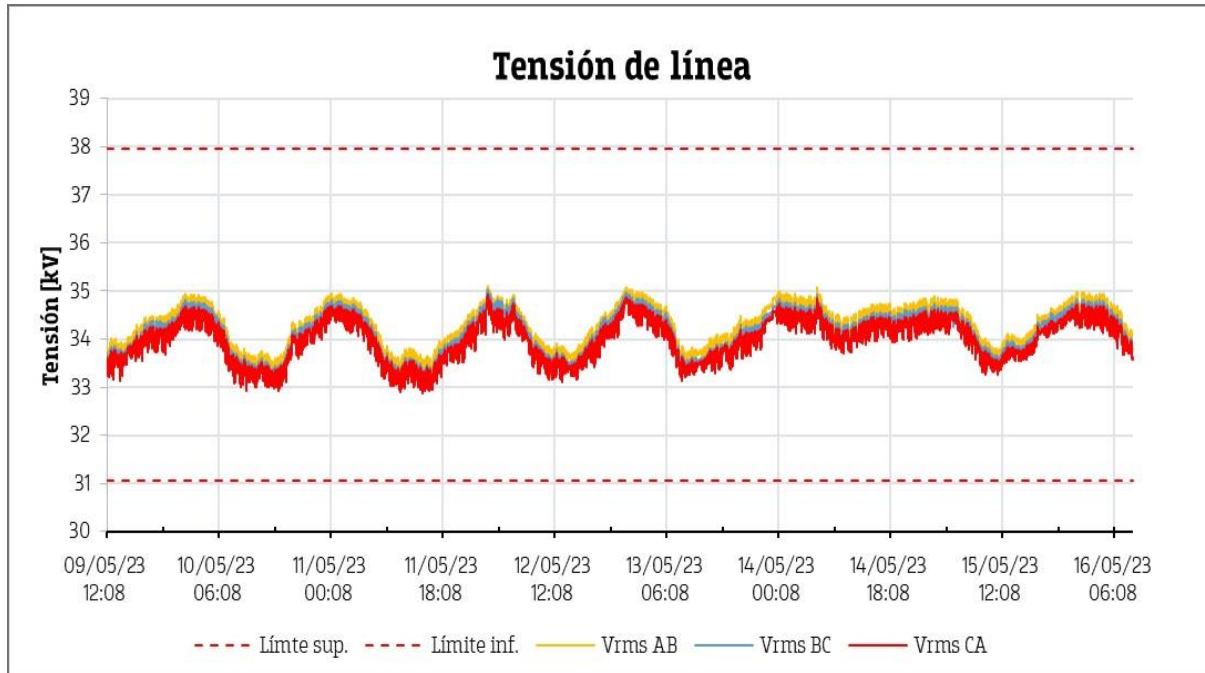


Figura 5 - Perfil de tensión de línea

CRITERIO	Tensión de línea [V]			Variación de Tensión [%]			Límites		% de tiempo que cumple
	Vrms A-B	Vrms B-C	Vrms C-A	A-B	B-C	C-A	Tensión máxima.	Tensión mínima	
Mínima	30726	32196	31803	-10,94%	-6,68%	-7,82%	+10%	-10%	99,99%
Promedio	34218	34075	33978	-0,82%	-1,23%	-1,51%			
Máxima	35250	35151	35007	2,17%	1,89%	1,47%			
Percentil 95%	34842	34698	34588	0,99%	0,57%	0,26%			

Tabla 3. Valores registrados de tensión en frontera comercial

5.2.2 Registro de caídas de tensión (SAG's)

Durante el periodo de monitoreo se registró en total 1 caída de tensión por abajo del 90% de la tensión nominal, las cual es atribuida principalmente al operador de red y no afectó la continuidad de la operación de la planta, la tensión mínima registrada fue de 30.72 kV, correspondiente a una caída del 10.94%. La figura 6 muestra las caídas de tensión registradas fuera de los límites establecidos por la NTC-5001.

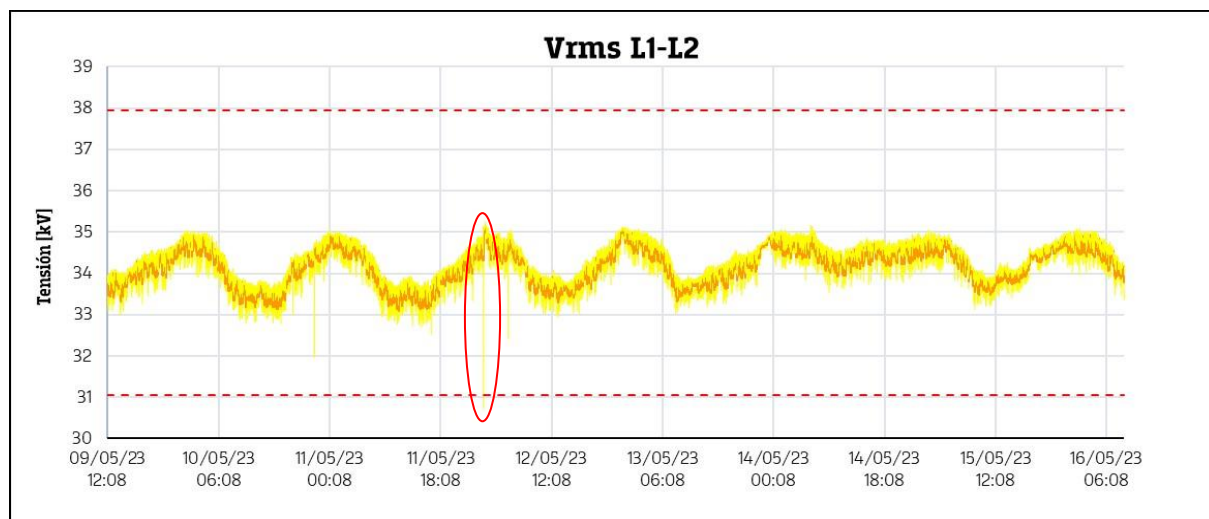


Figura 6 - Registro de SAG's

5.2.3 Perfil de corriente

En la figura 7 se presenta el perfil de corriente promedio de fase, en general se observa un comportamiento homogéneo a excepción de un intervalo.

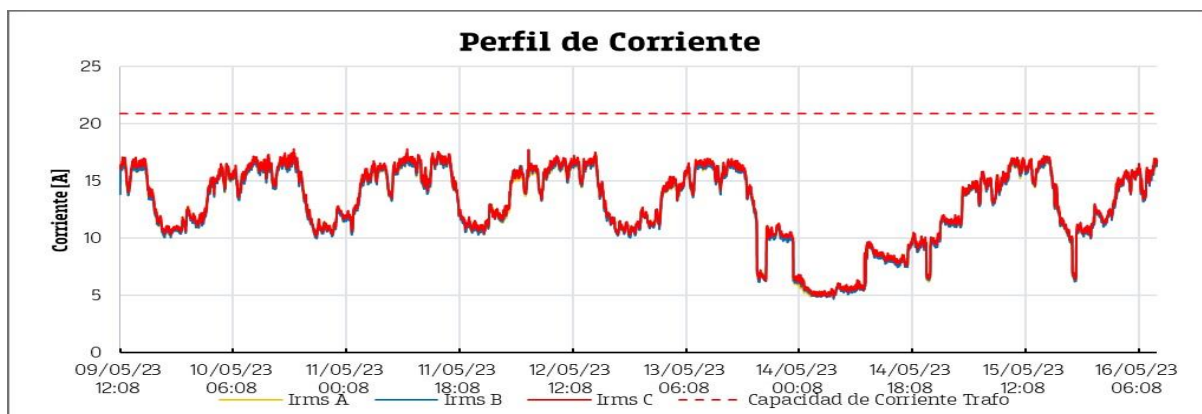


Figura 7 - Perfil de corriente promedio de fase.

La figura 8, muestra el perfil de corriente promedio para cada fase del sistema y la figura 8 evidencia una demanda máxima de la corriente máxima de 23 A, correspondiente a picos de corta duración, lo que corresponde al 68% de cargabilidad del transformador y la corriente de carga del sistema es de 17 A correspondiente al 50 % de la capacidad del transformador.

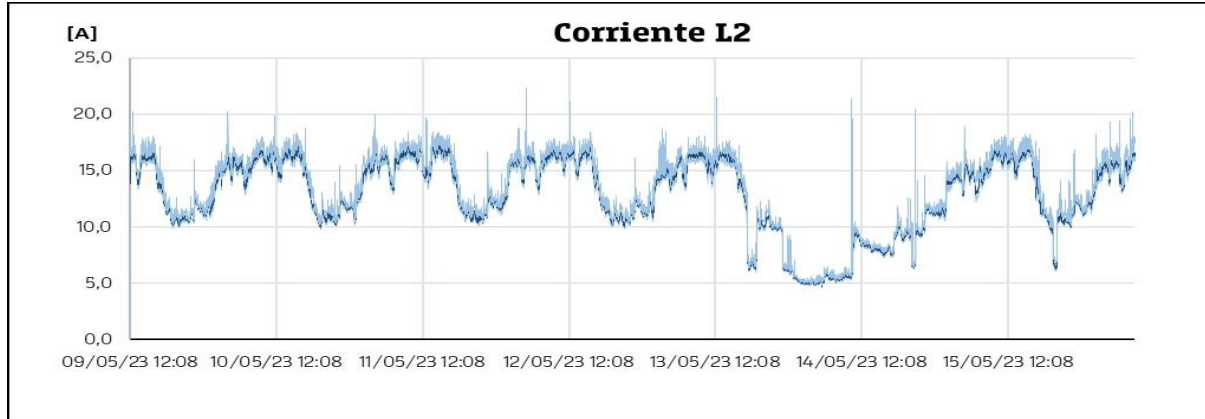


Figura 8 - Perfil de corriente promedio de fase.

La tabla 4 muestra los valores registrados de corriente y se evidencia que el consumo no supera la capacidad de conducción de la acometida instalada, con una cargabilidad máxima del 10%. Adicionalmente, la figura 5, muestra los picos de corriente registrados durante el monitoreo, con un valor máximo de 23 A, sin embargo, se trata de un valor instantáneo que no afecta el transformador y acometida del sistema, esto debido a que son eventos esporádicos de corta duración atribuidos principalmente al arranque de grandes máquinas existentes en la planta.

CRITERIO	Corriente de fase [A]			Calibre Acometida [AWG o kcmil] y Capacidad de Corriente [A]	Cargabilidad acometida [%]
	Irms A	Irms B	Irms C		
Mínimo	4,80	4,68	4,85	2/0 AWG 175,00 A	3%
Promedio	12,89	12,89	13,08		7%
Máximo	17,47	17,72	17,82		10%
Perc. 95%	16,61	16,64	16,89		10%

Tabla 4. Valores registrados de corriente en transformador 2000 kVA

5.2.4 Desbalance de tensión

El desbalance de tensión registrado durante el monitoreo de calidad de potencia eléctrica presenta un valor máximo de 4.58 (ver figura 9), valor que se encuentra fuera del límite recomendado por la NTC-5001 (2%), pero dicho valor corresponde a evento instantáneo, el percentil 95% es de 0.49%, por tanto, este parámetro cumple con lo exigido por la regulación. La tabla 5, muestra los valores registrados.

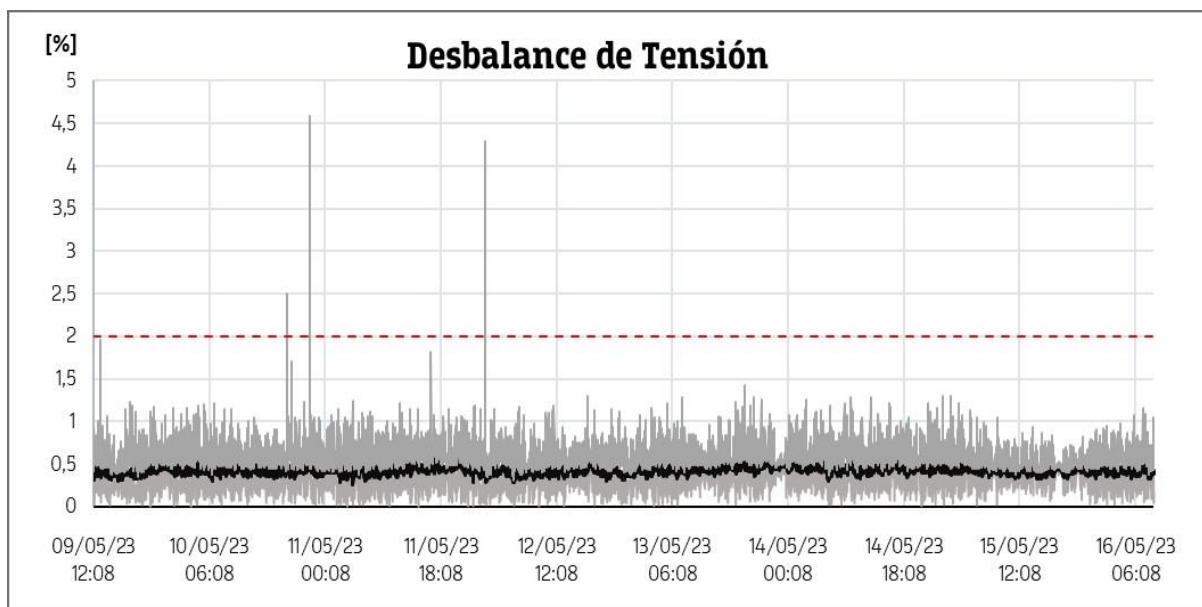


Figura 9 - Perfil de desbalance de tensión

Criterio	Desbalance de tensión [%]	Límite [%]	% de tiempo que cumple
Mínimo	0,25	2,00	100,00%
Promedio	0,42		
Máximo	4,58		
Perc. 95%	0,49		

Tabla 5. Valores registrados de desbalance de tensión

5.2.5 Desbalance de corriente

La figura 10 y tabla 6 muestran el desbalance de corriente registrado durante el monitoreo, se evidencian picos fuera de norma (20%), no obstante, se trata de periodos de corta duración y baja carga, el percentil 95% corresponde a un desbalance de 2,34%, valor que se encuentra dentro del límite recomendado por la NTC5001.

CRITERIO	Desbalance de Corriente [%]	Límite [%]	% de tiempo que cumple
Mínimo	0,17	20,00	99,99%
Promedio	1,47		
Máximo	8,06		
Perc. 95%	2,34		

Tabla 6. Valores registrados de desbalance de corriente

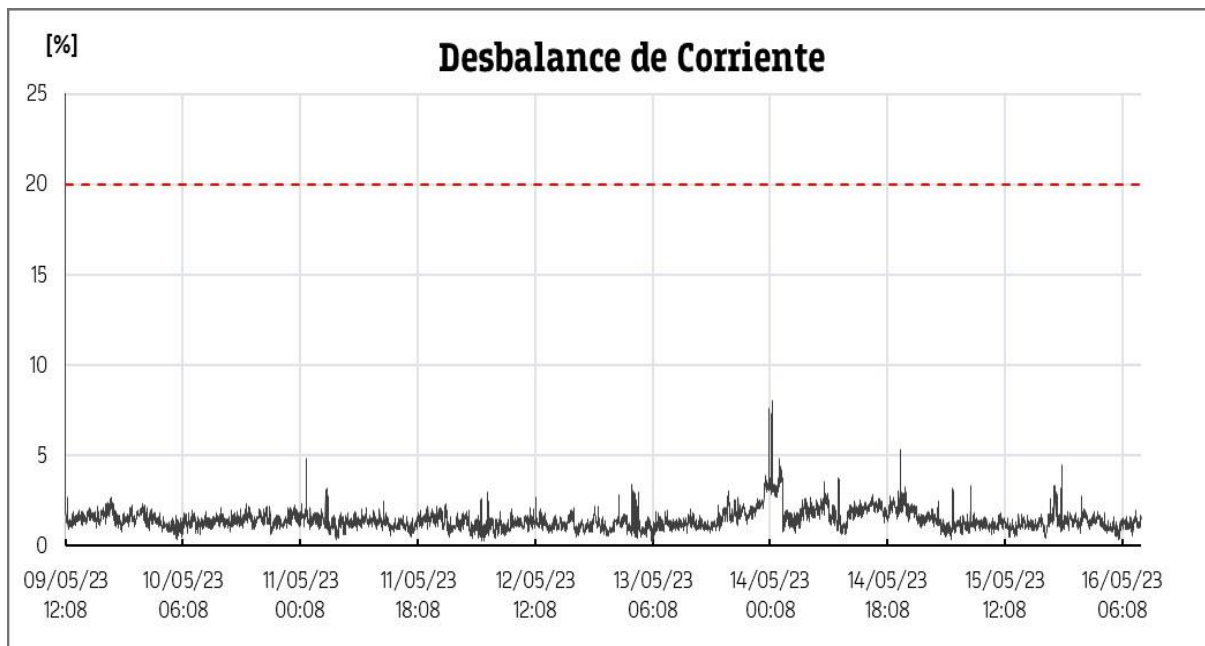


Figura 10 - Perfil de desbalance de corriente

5.3 ANÁLISIS DISTORSIÓN ARMÓNICA

5.3.1 Distorsión armónica total (THDv) en tensión

La figura 11 muestra el contenido armónico de tensión existente en la planta, se logra evidenciar que los mayores valores de distorsión armónica registrados se presentan en condiciones de menor carga, lo cual podría atribuirse a la línea de MT donde se alimenta el cliente, con valores máximos registrados de hasta 5.04 %, estando en el límite de acuerdo con lo exigido en la norma IEEE 519, por tanto, este parámetro cumple este requisito, con valor de percentil 95% de 4.24% en la fase 1.

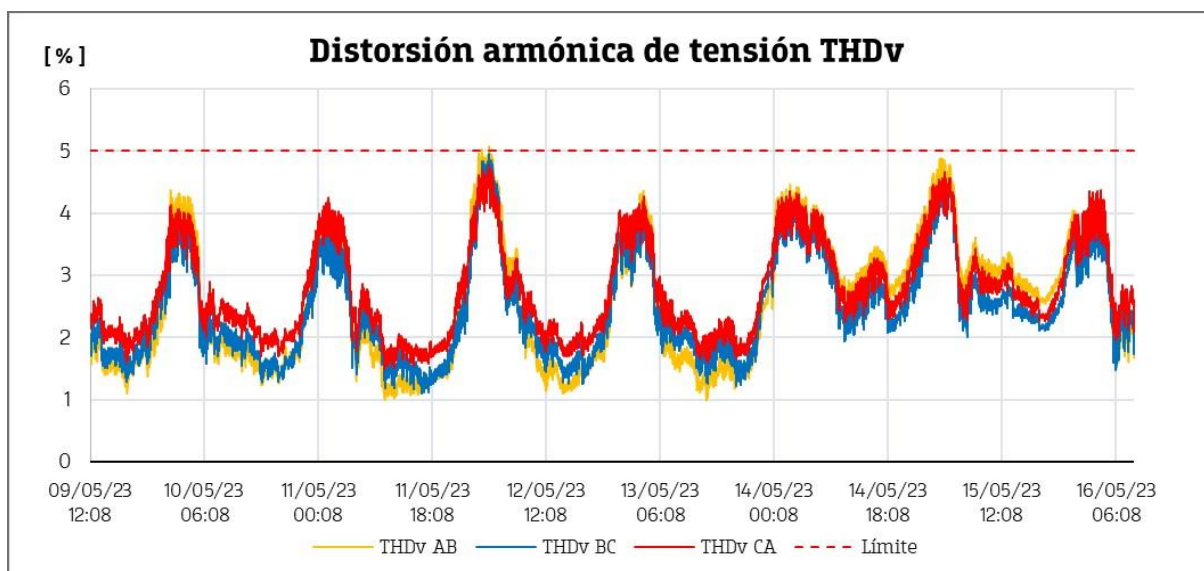


Figura 11 - Distorsión armónica de tensión THDv

5.3.2 Distorsión de demanda total (TDD)

En cuanto a los armónicos de corriente se presentan valores fuera de norma de acuerdo con los límites establecidos en la IEEE 519 (8%) de acuerdo con la corriente de cortocircuito del sistema y la corriente de carga ($I_{sc}/I_L=20,6$), la figura 12, muestra el perfil registrado, con percentil 95 de 8,84% y cumplimiento del límite del 89% del periodo de medida.

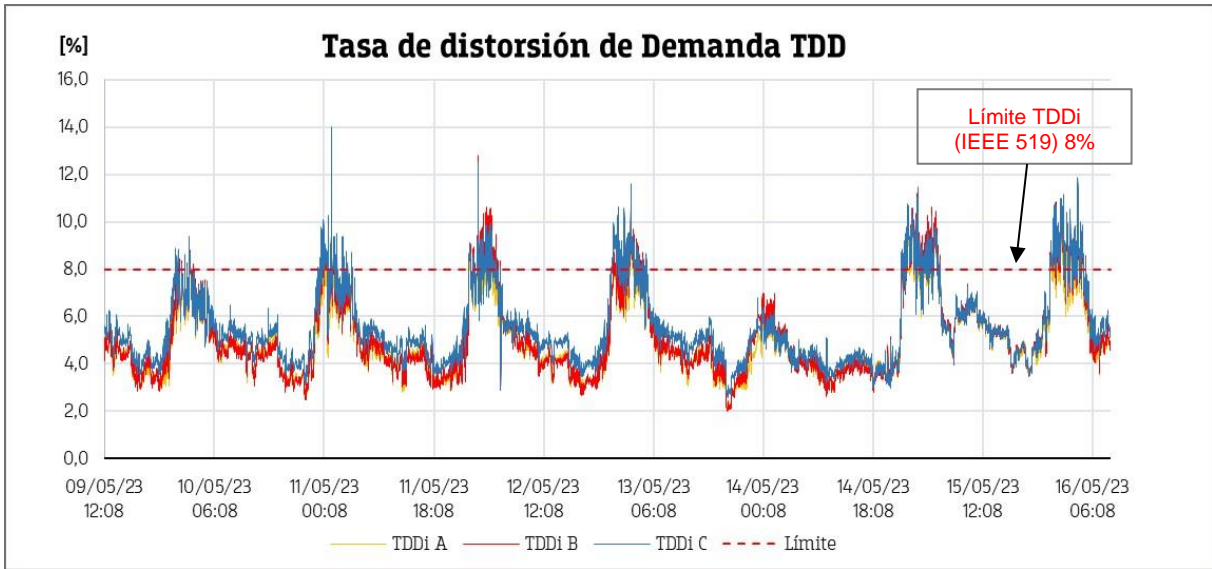


Figura 12 Distorsión armónica de corriente TDD Armónicos de tensión

La frecuencia fundamental es generalmente de 50 Hz o 60 Hz en sistemas de energía eléctrica en todo el mundo, se observa un porcentaje de variación importante en la medición 5 y 7 en un 4 y 1,8% respectivamente (Ver Figura 13), lo que invita a revisar con detalle las causas de esta variación.

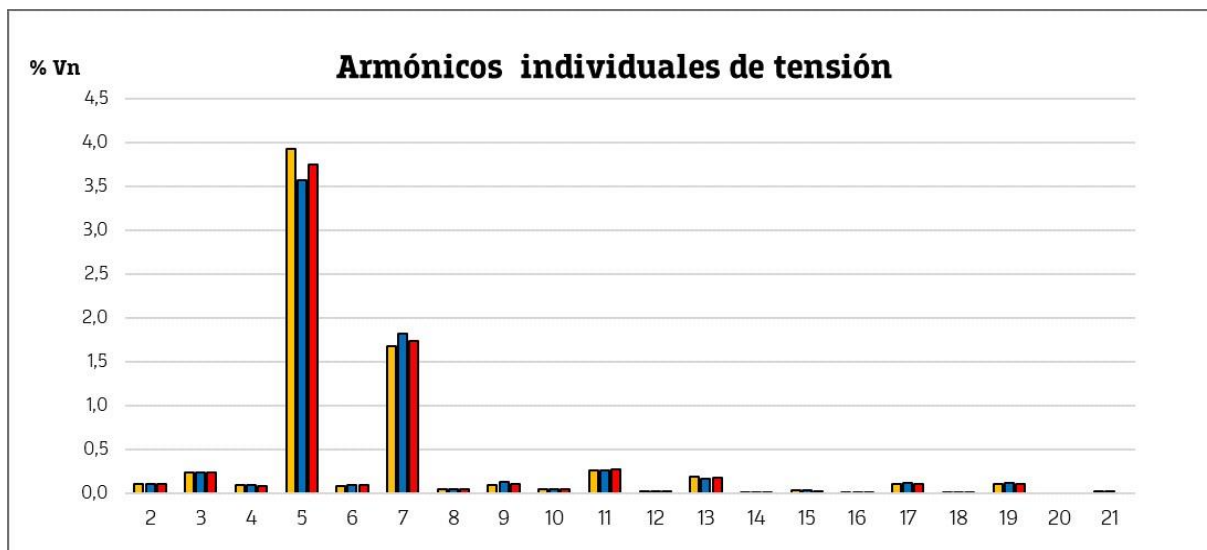


Figura 13 - Espectro armónico de tensión.

5.3.3 Armónicos de corriente

En la figura 14, se observa una variación importante, significa que la corriente está cambiando en relación con una corriente nominal de manera no constante. Esto puede ocurrir en situaciones en las que la carga eléctrica es dinámica o variable con el tiempo.

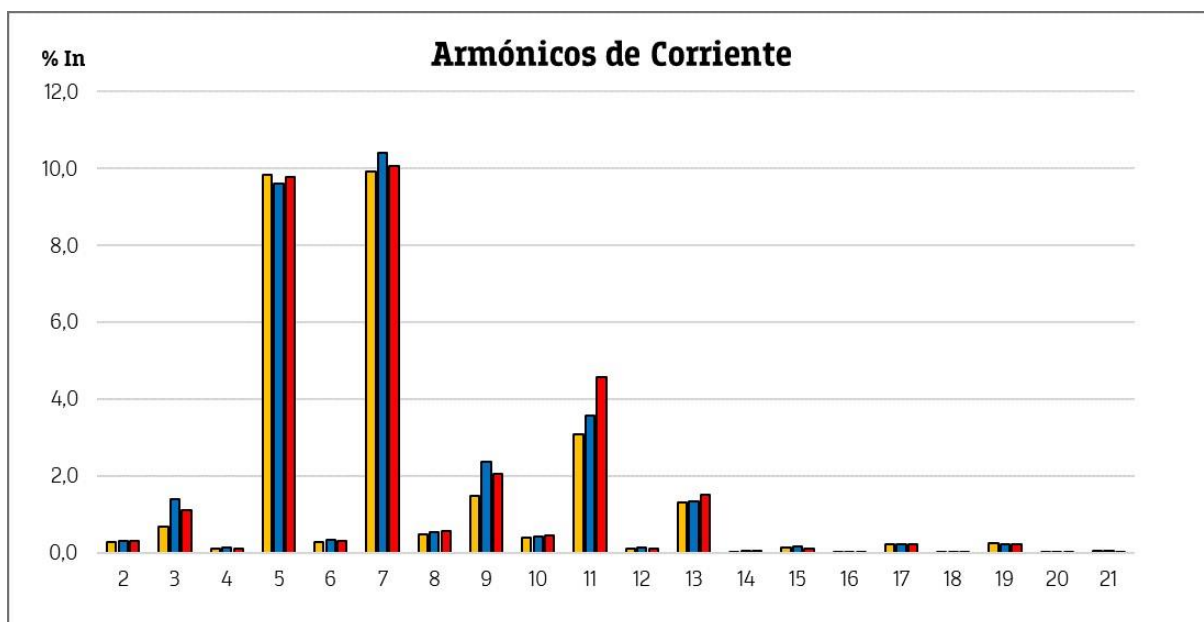


Figura 14 - Espectro armónico de corriente.

5.3.4 Perfiles de potencia (Activa, Reactiva y Aparente)

Las gráficas 15, 16 y 17 muestran los perfiles de potencia activa, potencia reactiva y potencia aparente demandada por el sistema. La tabla 7 resume los datos registrados durante la medición. Se observa que se mantuvo demandas máximas de 1053 kVA, lo que corresponde al 53% de cargabilidad del transformador de 2000 kVA. La cargabilidad actual del transformador principal es 970 kVA correspondiente al 49%.

En cuanto a la potencia reactiva, se muestran valores negativos en los periodos de baja carga, lo cual puede atribuirse a pasos fijos instalados en los bancos de condensadores que compensan en exceso y genera exportación de reactivos a la red, los cuales son

penalizados de acuerdo con lo establecido en la CREG 015 de 2018 y las demás resoluciones que la modifican.

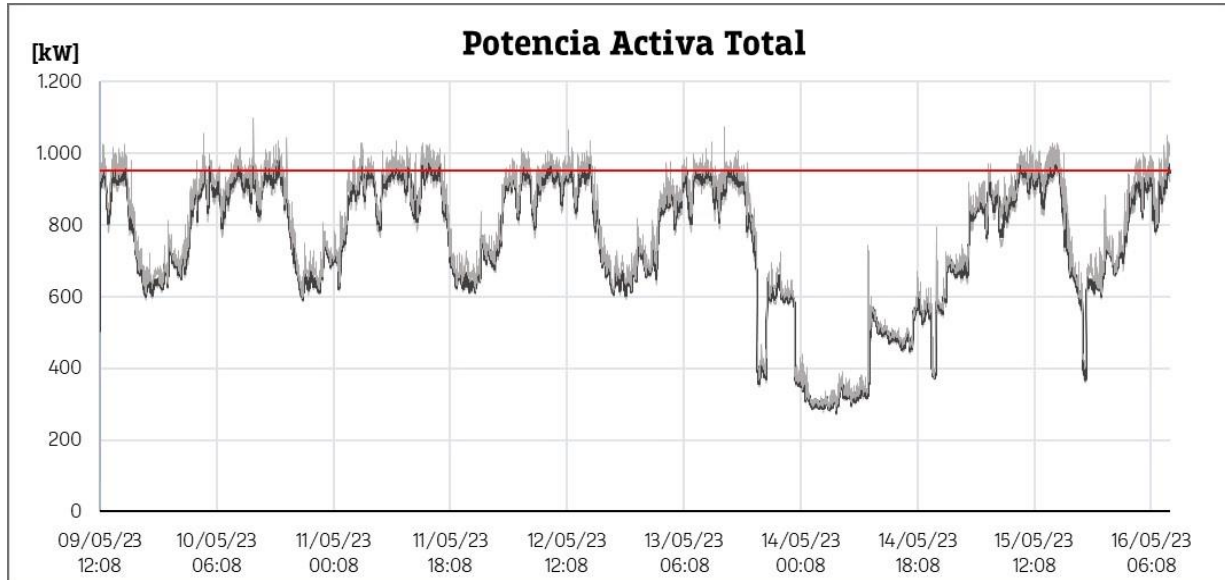


Figura 15 - Perfil de potencia activa total.

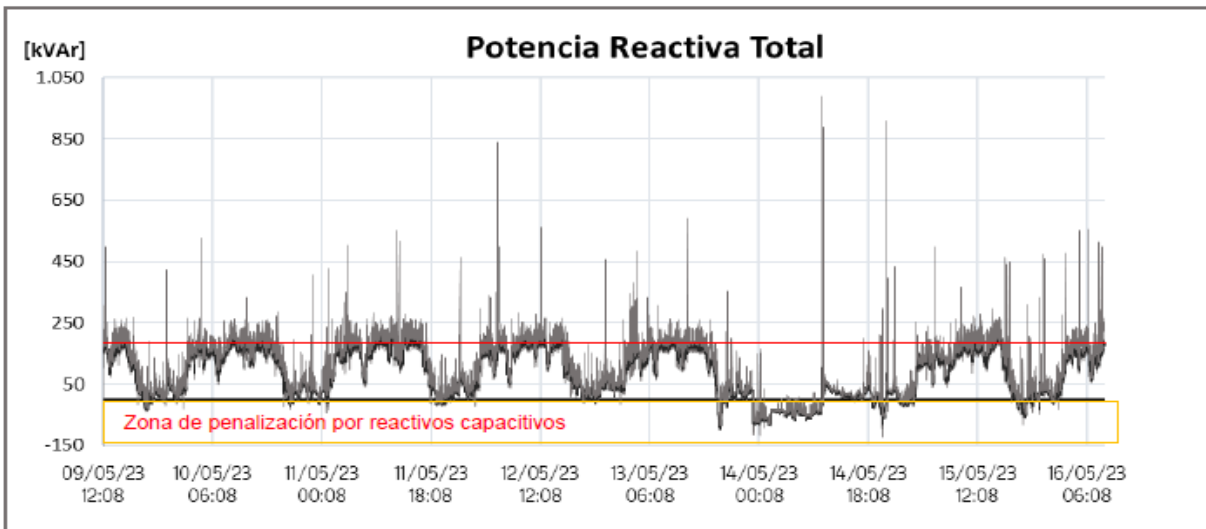


Figura 16 - Perfil de potencia reactiva total.

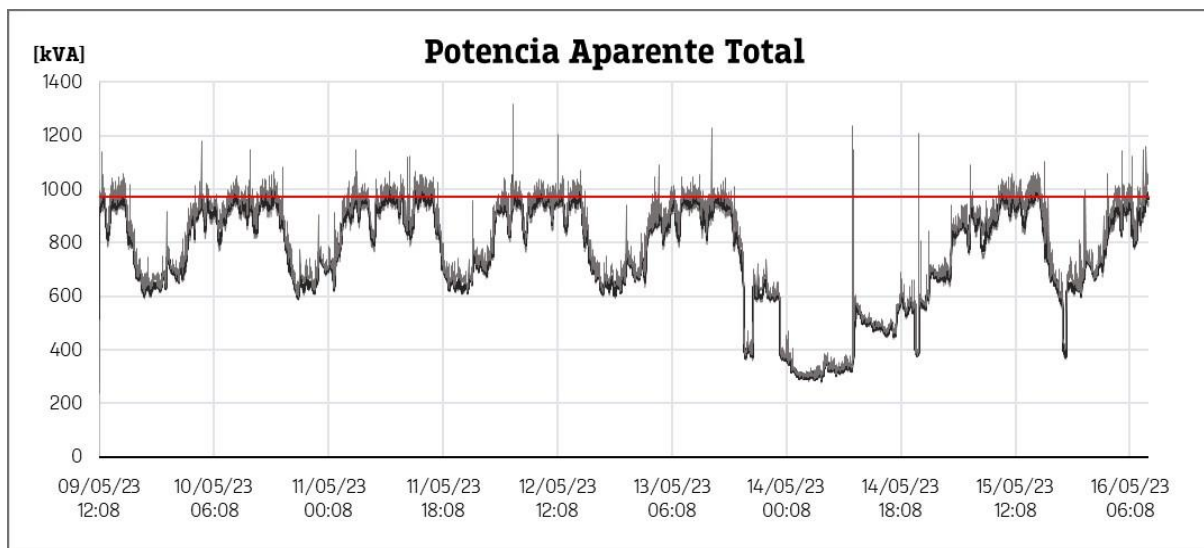


Figura 17 - Perfil de potencia aparente total.

CRITERIO	POTENCIA TOTAL			CARGABILIDAD DEL TRANSFORMADOR
	kW	kVAR	kVA	
Mínimo	275,70	-97,20	282,22	22,58%
Promedio	753,89	85,40	761,38	60,91%
Máxima	987,90	495,60	1053,28	84,26%
Perc. 95%	952,50	185,81	970,35	77,63%

Tabla 7. Valores registrados de potencia.

5.3.5 Factor de potencia

El factor de potencia registrado se muestra en la figura 18, y evidencia que durante los días de baja carga (fines de semana) el factor de potencia registrado es capacitivo, por tanto, fuera de los límites exigidos por la resolución CREG 015 de 2018.

La figura 18, muestra la penalización horaria de energía reactiva por exportación de energía capacitiva a la red, por tanto, si no se toman acciones para corregir el problema, el factor multiplicador M aumentará mensualmente hasta llegar a un valor igual a 12 causando incremento relevante en la facturación del usuario.

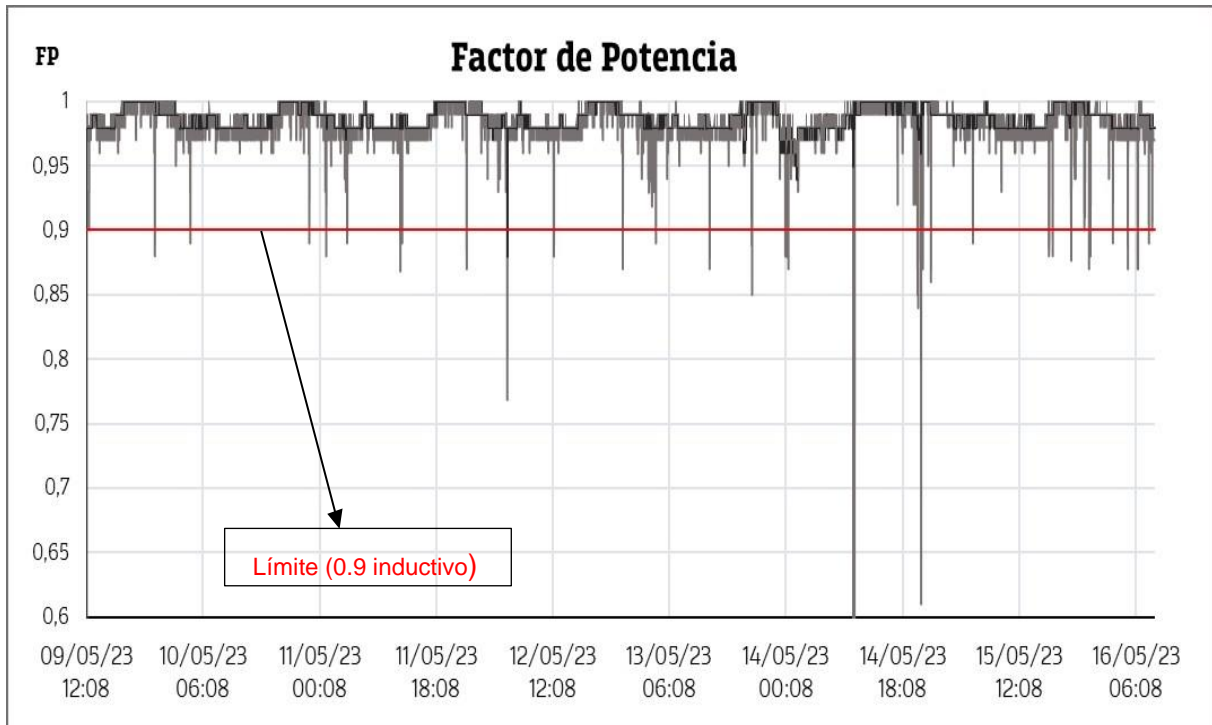


Figura 18 - Factor de potencia

La tabla 8, muestra los valores registrados de factor de potencia, con valor máximo registrado de 0.59 en atraso y percentil 95% con factor de potencia unitario inductivo. El cumplimiento de este parámetro durante el tiempo de medición es del 99%.

CRITERIO	Factor de Potencia	Límite	% de tiempo que cumple
Mínimo	0,59	0,90 inductivo	99,98%
Promedio	0,99		
Máxima	1,00		
Perc. 95%	1,00		

Tabla 8. Valores registrados de potencia.

5.4 CONSUMO DE ENERGÍA Y PENALIZACIÓN DE REACTIVOS

Para la estimación de las tarifas de costo de energía y cargo por energía reactiva en exceso se extrapolan los datos recolectados durante el monitoreo y se usan los valores de las componentes tarifarias aplicadas por la empresa de energía EBSA de acuerdo con la factura compartida por el cliente.

5.4.1 Tarifa de energía activa

De acuerdo con las mediciones realizadas y asumiendo tendencia de consumo (figura 19) similar durante el periodo de facturación, se estima una tarifa de energía para el mes de Mayo de 2023 sin incluir penalización de reactivos de \$300.675.300 COP.

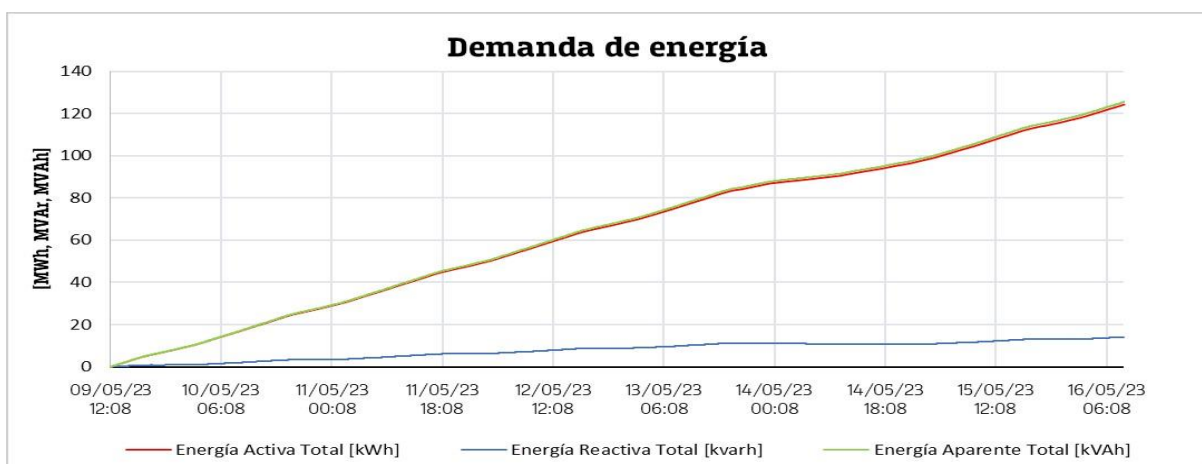


Figura 19 - Energía acumulada durante el monitoreo.

La tabla 9 muestra la demanda de energía de kWh durante la medición y la proyección mensual con el costo respectivo.

FACTURACIÓN MEDICIÓN			
Nivel de tensión	Demanda kWh	Costo kWh	Costo factura
3,00	124316,47	\$ 536,01	\$ 66.634.868
PROYECCIÓN FACTURACIÓN 1 MES			
Nivel de tensión	Demanda kWh/mes	Costo kWh	Costo factura
3,00	560950,87 *	\$ 536,01	\$ 300.675.278*

Tabla 9. Estimación de tarifa de energía activa.

(*) los valores estimados de calculan bajo la premisa que el sistema demanda energía en la misma manera de los datos recolectados, estos valores no incluyen cargos o contribuciones adicionales establecidos en la regulación.

5.4.2 Penalización por demanda en exceso de reactivos

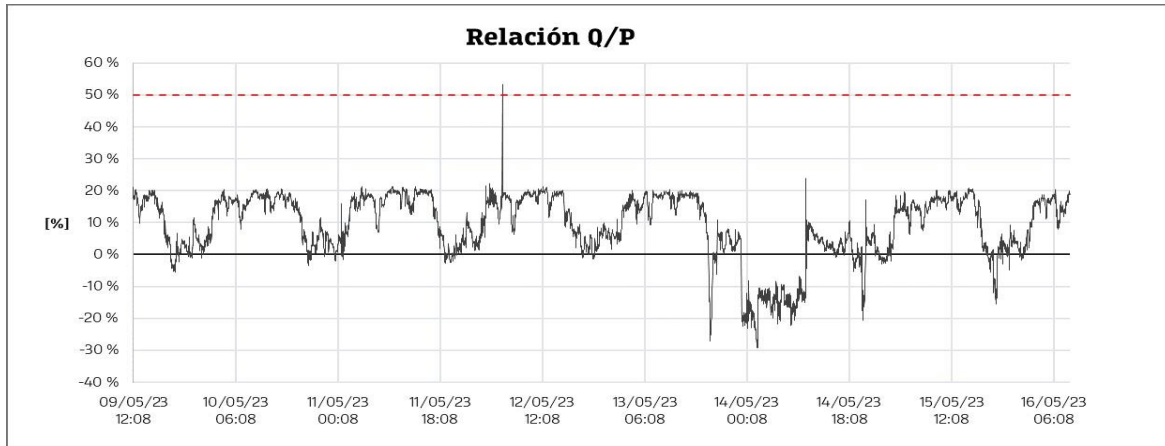


Figura 20 - Relación de demanda de potencia reactiva/activa

Ahora, teniendo en cuenta que, durante los días de baja carga, principalmente los fines de semana, se presentan periodos horarios con factor de potencia en adelanto, el operador de red debe realizar un recargo en la factura del cliente por exportación de reactivos a la red de acuerdo con lo establecido en la CREG 015 de 2018, la figura 20, muestra que se incumple dichas disposiciones durante los días 20 y 21 de Mayo de 2023. La figura 21 muestra la formula definida en la regulación para el cobro de reactivos en exceso.

$$\text{CTER} = \text{ER} * \text{M} * \text{D}$$

CTER = Costo de transporte de energía reactiva
ER = Exceso de reactiva
M = Multiplicador que se incrementa mensualmente, desde 1 hasta 12, siempre que se mantenga el ER. Si el ER desaparece durante más de 6 meses consecutivos el multiplicador reiniciará en 1.
D = Componente de distribución en la tarifa de energía

Figura 21 Metodología de cobro de reactivos en exceso.

De acuerdo con lo establecido en la CREG 015 de 2018 y CREG 199 de 2019 se define la variable M de la siguiente manera:

“M: Variable asociada con el periodo mensual en el que se presenta el transporte de energía reactiva sobre el límite establecido, variando entre 1 y 12.

Cuando el transporte de energía reactiva en exceso sobre el límite se presente durante cualquier período horario en diez (10) días o menos en un mismo mes calendario, la variable M será igual a 1.

Cuando el transporte de energía reactiva en exceso sobre el límite se presente durante cualquier período horario en más de diez (10) días en un mismo mes calendario, la variable M será igual a 1 durante los primeros 12 meses en los que se presente esta condición. A partir del décimo tercer mes de transporte de energía reactiva con la misma condición, esta variable se incrementará mensualmente en una unidad hasta alcanzar el valor de 6.

Si el transporte de energía reactiva en exceso sobre el límite desaparece durante más de tres meses consecutivos, la variable reiniciará a partir de 1.

Cuando el valor de $M=6$ se haya mantenido durante 12 meses, en caso de persistir el consumo de energía reactiva en exceso sobre el límite, a partir del mes siguiente la variable continuará incrementándose mensualmente en una unidad hasta alcanzar el valor de 12.”

En la figura 22 se presenta la demanda horaria de energía reactiva en exceso, se observan fluctuaciones en el día sábado y domingo que puede estar asociado al exceso de energía reactiva que puede deberse a la presencia de cargas inductivas en el sistema, como motores, transformadores y dispositivos de iluminación fluorescente. Estas cargas generan energía reactiva, que no realiza trabajo útil, pero circula por la red. Además, las fluctuaciones en la demanda eléctrica, especialmente durante los fines de semana, son comunes debido a la reducción de la actividad industrial y comercial. Durante este período,

la demanda de energía disminuye, lo que puede resultar en un exceso de energía reactiva en relación con la energía activa.

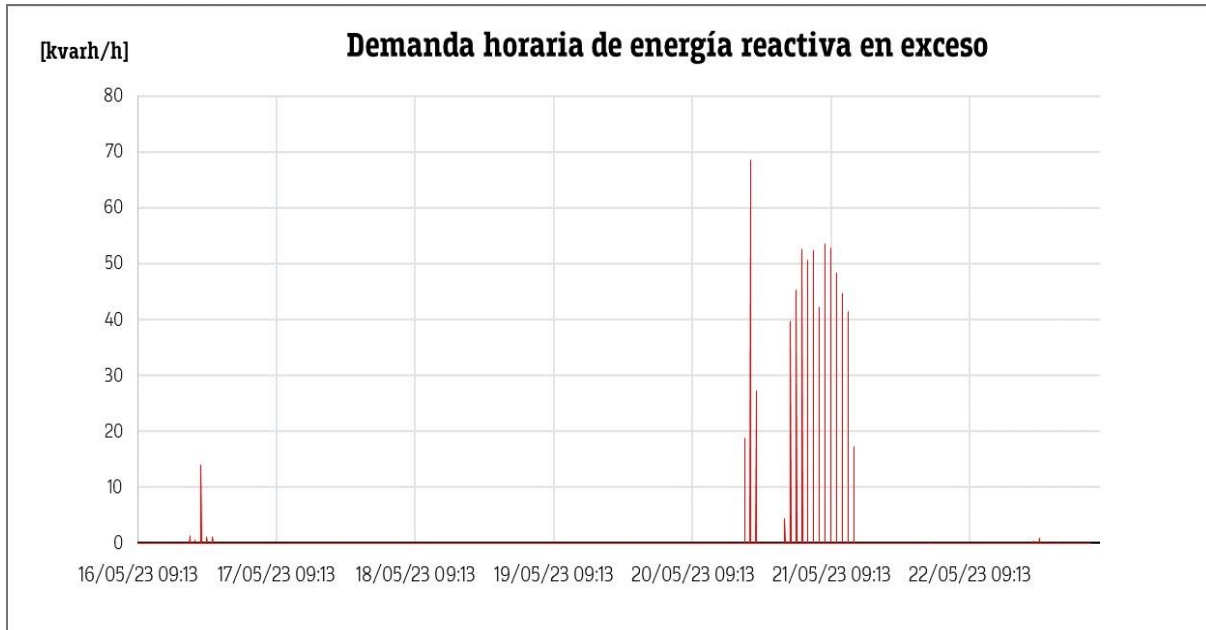


Figura 22 - Demanda horaria de reactivos en exceso.

La tabla 10, muestra la proyección de penalización teniendo en cuenta el incremento del factor M sin que se tomen medidas para corregir el factor de potencia, es importante mencionar que la mejora en el factor de potencia no solo evita sobrecostos en la factura por penalizaciones si no reducción en el consumo de energía activa que se traduce en ahorro energético debido a la disminución en las pérdidas por efecto joule del sistema.

PROYECCIÓN PENALIZACIÓN A OCTUBRE DE 2024				
Mes	Penalización kvar	Cargo de Distribución	Factor M	Costo kvar Penalizados

sep-23	5788,29	\$ 1 110,96	5	\$ 3.211.342
oct-23	5788,29	\$ 110,96	6	\$ 3.853.610
nov-23	5788,29	\$ 110,96	6	\$ 3.853.610
dic-23	5788,29	\$ 110,96	6	\$ 3.853.610
ene-24	5788,29	\$ 110,96	6	\$ 3.853.610
feb-24	5788,29	\$ 110,96	6	\$ 3.853.610
mar-24	5788,29	\$ 110,96	6	\$ 3.853.610
abr-24	5788,29	\$ 110,96	6	\$ 3.853.610
may-24	5788,29	\$ 110,96	7	\$ 4.495.878
jun-24	5788,29	\$ 110,96	8	\$ 5.138.147
jul-24	5788,29	\$ 110,96	9	\$ 5.780.415
ago-24	5788,29	\$ 110,96	10	\$ 6.422.683
sep-24	5788,29	\$ 110,96	11	\$ 7.064.951
oct-24	5788,29	\$ 110,96	12	\$ 7.707.220
TOTAL PENALIZACIÓN SIN TOMAR ACCIONES				\$ 73.218.588

Tabla 10. Estimación de penalizaciones de energía reactiva.

5.4.3 Desviación respecto a factura emitida por el Operador de Red (OR)

Al realizar comparación de las proyecciones basadas en los datos medidos con el analizador de redes se puede observar que la desviación en demanda de energía activa es de 1.3% lo cual confirma la veracidad de los datos recolectados y estimación realizada.

En cuanto a la energía reactiva capacitiva proyectada respecto de la facturada por el OR se tiene una desviación del 78%, lo cual es una diferencia relevante la cual podría estar atribuida a problemas de calibración del cuadrante 4 del medidor instalado en la frontera del usuario Inversiones Eldorado, se recomienda agendar revisión por parte del OR.

La desviación encontrada está generando un cobro adicional de energía capacitiva de \$2.760.000 pesos en promedio mensualmente. En el anexo A al D se presentan las facturas del servicio de electricidad para los últimos 4 meses.

EVOLUCIÓN DE SU CONSUMO								
Tipo	Código	AGO	JUL	JUN	MAY	ABR	MAR	Promedio
1 reactiva		0	0	0	0	0	0	5467
2 activa	547354	529844	519659	553760	513337	532744	532783	
3 reactiva	36672	25902	37950	15480	21340	22863	5467	
DETERMINACIÓN DE SU CONSUMO								
Tipo	Código Interno	Lectura Anterior	Lectura Actual	Factor Mult.	Consumo en (KWh)	Observ. Lectura		
RMO Contador-1		0	0	1	0	0		
AMO Contador-2		0	533711	1	533,712	0		
RRC Contador-3		0	2447	1	14682	0		
DETALLE DE SU CUENTA								
Descripción	Cantidad	Periodo	Subsidio / Contribución	VALOR TOTAL				
2-Activa-Monomia	533712	2023/09	% 0	\$ 279,375,656				
3Reactiva-Reactiva Capacit	14682	2023/09		\$ 1,572,580				
VALOR TOTAL CONSUMO								\$ 280,948,236
VALOR (SUBSIDIO/CONTRIBUCIÓN)								% 0 \$ 0
VALOR CONSUMO FACTURADO								\$ 280,948,236
DETALLE DE LA FACTURA								
Valor factura periodo								279,375,656
Reactiva Capacitiva								1,572,580
I.A.P AC-MPAL-022-2011								10,440,000
Ajuste Decena								4
								0
								0
								0
								0
								0
								0
								0
VALOR TOTAL A PAGAR								\$291,388,240
PAGO OPORTUNO ANTES DE								20/OCT/2023

Figura 23 Resumen Factura de energía cliente Inversiones Eldorado S.AS

5.5 ANÁLISIS DE FRECUENCIA

Los valores de frecuencia del sistema registrados son atribuibles principalmente al operador de red, quien es el encargado de entregar tensión y frecuencia dentro de los

límites establecidos en el código de distribución emitido por la CREG, de acuerdo con los valores registrados mostrados en la figura 24, se mantienen frecuencias dentro de los límites exigidos durante el 100% de la medición.

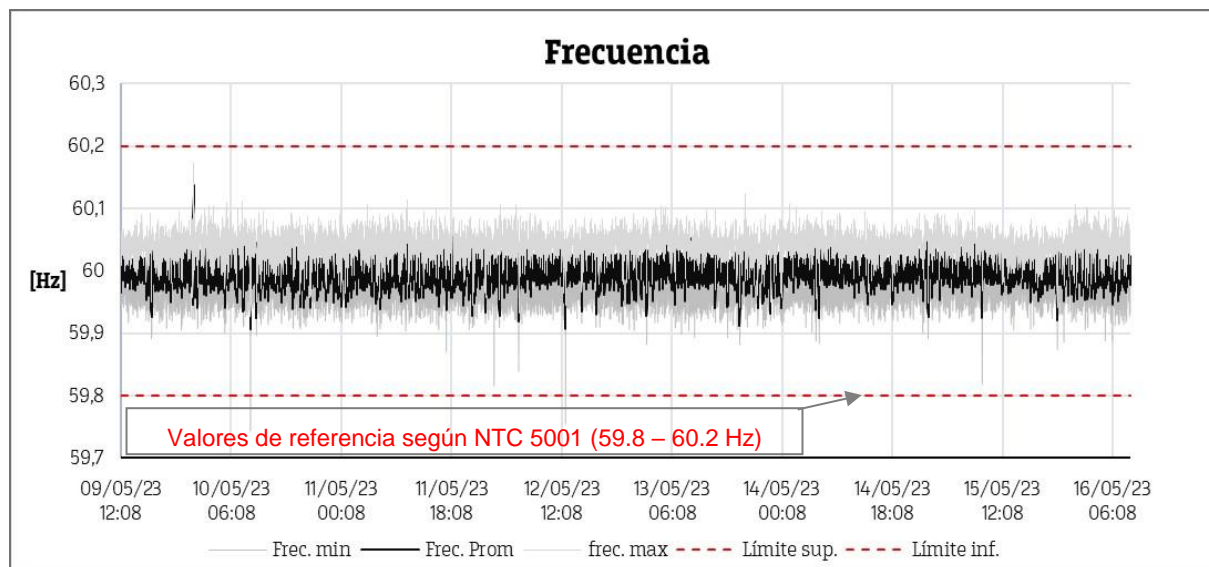


Figura 24 Perfil de frecuencia

La tabla 11 muestra los valores registrados durante el monitoreo.

CRITERIO	Frecuencia del sistema [Hz]	Límite inf. [Hz]	Límite sup. [Hz]	% de tiempo que cumple
Mínima	59,91	59,80	60,20	100,00%
Promedio	60,00			
Máxima	60,14			
Perc. 95%	60,03			

Tabla 11. Valores de frecuencia en PCC.

5.6 ESCENARIOS DE OPERACIÓN DE BANCOS DE CONDENSADORES

Durante las mediciones de calidad de energía se realizaron cuatro (4) escenarios de operación del sistema variando la condición de los bancos de condensadores de acuerdo con lo mostrado en la tabla 12.

Se observa que el sistema tiene problemas de sobrecompensación de reactivos por lo cual, durante los escenarios realizados, se registra menor penalización de reactivos capacitivos, se recomienda ajustar bancos de condensadores existentes para evitar recargos en la factura por exceso reactivos.

ITEM	DESCRIPCIÓN	POTENCIA	SALIDA		INGRESO	
			FECHA	HORA	FECHA	HORA
1	Banco de condesadores N°2	266 KVAR	17/05/2023	11: 00 a.m	18/05/2023	11:00 a.m
2	Banco de condesadores N°1	266 KVAR	18/05/2023	11: 00 a.m	19/05/2023	11:00 a.m
3	Banco Compresor Trolley	160 KVAR	19/05/2023	11: 00 a.m	20/05/2023	11:00 a.m
4	Banco Compresor Filter	45 KVAR	20/05/2023	11: 00 a.m	21/05/2023	11:00 a.m

Tabla 12. Escenarios de operación monitoreados.

La figura 25 muestra el perfil de potencia reactiva, dicho parámetro junto con el factor de potencia son los únicos afectados con los escenarios planteados durante el monitoreo, se permite observar que la condición de reactivos capacitivos en exceso permanece en condiciones de baja carga de la planta, lo cual, confirma la necesidad de realizar mantenimiento y ajuste al control de los bancos de condensadores existentes.



Figura 25 - Perfil de potencia reactiva escenarios de operación

6. Análisis y Discusión

La calidad de energía en una planta industrial es un factor crítico que influye en múltiples aspectos de la operación. En primer lugar, la eficiencia y confiabilidad de los equipos y maquinaria dependen en gran medida de la calidad de energía suministrada. Fluctuaciones en la tensión, armónicos en la corriente o problemas de factor de potencia pueden provocar fallos en los equipos, aumentar los costos de mantenimiento y reducir la vida útil de los mismos. Por lo tanto, el análisis de calidad de energía desempeña un papel esencial al identificar y corregir estos problemas antes de que causen daños costosos y pérdidas de producción.

Además, la calidad de energía afecta directamente los costos operativos. Una mala calidad de energía puede dar lugar a penalizaciones por bajo factor de potencia, aumento del consumo de energía reactiva y pérdida de eficiencia energética. Un análisis exhaustivo permite identificar oportunidades de ahorro y optimización de la energía, lo que se traduce en una reducción significativa de costos a largo plazo. Cumplir con las regulaciones y normativas locales, como la RETIE en Colombia, es esencial para evitar sanciones y multas. Estas regulaciones a menudo incluyen requisitos específicos relacionados con la calidad de energía, como límites para la distorsión armónica y el desbalance de tensión, lo que resalta la importancia del análisis continuo y la corrección de problemas para garantizar el cumplimiento normativo.

En el caso puntual de la Planta Eldorado, sede Duitama, los resultados del análisis arrojaron que las tensiones de línea en la planta se encuentran dentro de los límites establecidos, lo que cumple con la normativa RETIE, según la normativa, se establece que la tensión en instalaciones industriales no debe ser inferior al 90% ni superior al 105% de la tensión nominal. Esto refleja un cumplimiento sólido con los estándares de seguridad eléctrica establecidos.

Por otro lado, El RETIE no especifica un límite concreto para el desbalance de tensión, pero indica que las tensiones entre fases no deben diferir en más del 5% de la tensión nominal. Los resultados muestran que el desbalance de tensión es generalmente bajo, lo que cumple con este requisito implícito, sin embargo, La norma IEEE 519 establece un límite del 2% para el desbalance de tensión. Los resultados muestran que el desbalance de tensión es generalmente bajo, con la excepción de un pico fuera de norma. Por lo que

este pico se considera un evento instantáneo y no afecta significativamente la calidad de la energía eléctrica en general.

Frente a las mediciones de corriente en las tres fases, se encontró que están dentro de los límites de capacidad de los conductores y el transformador, lo cual es consistente con las recomendaciones de la IEEE, así mismo el RETIE establece requisitos específicos para la capacidad de los conductores en función de la corriente máxima. Según los resultados, las mediciones de corriente en las tres fases están dentro de los límites de capacidad de los conductores, lo que cumple con la normativa RETIE. Sin embargo, se encontraron picos de desbalance de corriente fuera de norma, pero estos, se tratan de eventos de corta duración y baja carga, lo que sugiere que no hay problemas significativos de desbalance en la corriente en términos de capacidad de los conductores.

Respecto a las mediciones del factor de potencia, La RETIE no define un valor específico para el factor de potencia, pero establece que las instalaciones eléctricas deben cumplir con las normas técnicas colombianas aplicables. Según los resultados, el factor de potencia es en su mayoría inductivo y se encuentra dentro del rango aceptable, lo que cumple con la RETIE. Sin embargo, se registraron valores capacitivos durante los días de baja carga, lo que podría requerir una revisión para cumplir con las normas técnicas colombianas.

Para la distorsión armónica total en tensión (THDv) se mantiene dentro de los límites permitidos por la norma IEEE 519, lo que indica que la calidad de la tensión es adecuada en términos de distorsión armónica. Sin embargo, los armónicos de corriente superan los límites establecidos por la norma, lo que sugiere la necesidad de evaluar y mitigar la presencia de armónicos en el sistema. El cumplimiento de la normativa RETIE y la atención a los detalles en cuanto al desbalance de tensión, el factor de potencia y la distorsión armónica son fundamentales para garantizar una operación segura y eficiente en una planta industrial.

Por otro lado, según las mediciones y asumiendo una tendencia de consumo similar, se estima que la tarifa de energía para mayo de 2024, sin incluir penalizaciones por reactivos, será de \$300.675.300 COP. Esta estimación se basa en la demanda de energía en kWh y

el costo correspondiente. Cumplir con los parámetros de calidad de energía es fundamental para mantener costos operativos eficientes.

Así mismo, durante los días de baja carga, principalmente los fines de semana, se registra un factor de potencia en adelanto, lo que conlleva a una penalización en la factura por exportación de reactivos a la red. La falta de corrección del factor de potencia podría resultar en un aumento constante del valor de la variable "M" y, por lo tanto, en un incremento relevante en la facturación, como se muestra en la proyección de penalizaciones hasta octubre de 2024. Corregir el factor de potencia no solo evitará penalizaciones, sino que también reducirá el consumo de energía activa y, en consecuencia, las pérdidas en el sistema.

Además, se observa una desviación del 78% en la demanda de energía reactiva capacitiva proyectada en comparación con la facturada por el Operador de Red (OR). Esta diferencia podría estar relacionada con problemas de calibración del medidor. La desviación genera un cobro adicional de energía capacitiva, lo que representa un costo adicional. Se recomienda una revisión por parte del OR para abordar esta desviación.

Frente a los análisis de frecuencia se observa que, los valores del sistema se mantienen dentro de los límites exigidos durante el 100% de la medición. Esto indica que el operador de red cumple con la entrega de tensión y frecuencia dentro de los parámetros establecidos en la normativa de la CREG y la norma IEEE. Sin embargo, durante los escenarios de operación de los bancos de condensadores, se observa una tendencia de sobrecompensación de reactivos. Esta situación resulta en una menor penalización por reactivos capacitivos y debe abordarse en línea con las regulaciones de RETIE.

6.1 SOLUCIÓN TÉCNICA A LAS POSIBLES CAUSAS DEL DESPERDICIO DE ENERGÍA

Basándonos en el análisis de calidad de energía en la Planta Eldorado y considerando las normativas RETIE y los estándares de la IEEE, se plantean los siguientes aspectos para dar solución a las causas del desperdicio de energía.

1. **Monitoreo Continuo:** Mantener un sistema de monitoreo continuo de la calidad de energía para identificar problemas en tiempo real y tomar medidas preventivas antes de que se conviertan en problemas costosos. Esto podría incluir la instalación de equipos de monitoreo permanente para evaluar la calidad de la energía de manera constante.
2. **Revisión del Factor de Potencia:** Dado que se registraron valores capacitivos durante los días de baja carga, se recomienda realizar una revisión detallada de la corrección del factor de potencia, especialmente durante los períodos de menor demanda. La implementación de bancos de capacitores automáticos puede ayudar a mantener un factor de potencia óptimo.
3. **Mitigación de Armónicos:** Dado que se observaron valores fuera de norma en la distorsión armónica de corriente, es importante llevar a cabo un estudio de armónicos para identificar las fuentes de armónicos y tomar medidas para mitigar su impacto. Esto podría implicar la instalación de filtros de armónicos o la optimización de cargas para reducir la generación de armónicos.
4. **Gestión de Desbalance de Tensión:** Aunque el desbalance de tensión generalmente se mantiene dentro de límites aceptables, es esencial abordar cualquier evento fuera de norma, ya que podría afectar la vida útil de los equipos. Se recomienda realizar un análisis detallado de las causas de los picos de desbalance y tomar medidas correctivas, como la redistribución de cargas o el reemplazo de equipos defectuosos.

5. Programación Horaria de Bancos de Condensadores: Configurar los bancos de condensadores para operar en horarios específicos, priorizando su funcionamiento durante los periodos de baja carga. De esta manera, se compensará el exceso de energía reactiva y se evitarán penalizaciones durante estos momentos.
6. La tendencia de sobrecompensación de reactivos en los escenarios de operación de bancos de condensadores sugiere que estos equipos requieren mantenimiento y ajuste. Se debe realizar una revisión de los bancos de condensadores existentes para evitar recargos en la factura por exceso de reactivos. Además, es fundamental programar el control de estos bancos de manera eficiente.
7. Calibración del Medidor de Energía Reactiva: La desviación significativa en la demanda de energía reactiva capacitiva respecto a la facturada por el Operador de Red (OR) debe abordarse mediante la revisión y calibración del medidor. Se recomienda que el OR realice una auditoría del medidor instalado en la frontera del usuario para garantizar una medición precisa y evitar costos adicionales.
8. Capacitación del Personal: Capacitar al personal de la planta en la importancia de la calidad de energía y en la detección temprana de problemas. Esto puede ayudar a mantener un enfoque proactivo en la gestión de la calidad de energía.
9. Plan de Contingencia: Desarrollar un plan de contingencia que incluya medidas a tomar en caso de eventos críticos relacionados con la calidad de energía, como caídas de tensión significativas o problemas de armónicos. Esto garantizará una respuesta efectiva en situaciones de emergencia.
10. Mantenimiento Preventivo: Implementar un programa de mantenimiento preventivo regular para los equipos eléctricos y electrónicos. El mantenimiento adecuado puede ayudar a prevenir fallos y problemas relacionados con la calidad de energía.

7. Conclusiones

En general, la calidad de la energía eléctrica en la planta "Inversiones Eldorado" cumple con los requisitos de la RETIE en términos de tensión, capacidad de conductores y distorsión armónica en tensión.

Se deben revisar los valores capacitivos del factor de potencia registrados durante los días de baja carga para garantizar el cumplimiento de las normas técnicas colombianas.

La presencia de armónicos de corriente que superan los límites de la norma IEEE 519 podría requerir una evaluación detallada y la posible instalación de filtros armónicos para cumplir con las normas técnicas colombianas.

Es fundamental seguir monitoreando y manteniendo la calidad de la energía eléctrica de forma regular para asegurar el cumplimiento continuo de las normativas, tanto de la RETIE como de la IEEE.

Se observa una significativa discrepancia entre la facturación y las mediciones realizadas con el analizador de redes en relación a la energía reactiva capacitiva. Esta discrepancia está ocasionando un cargo adicional promedio de 1.3 millones de pesos colombianos mensuales, con un error relativo del 78%.

Una vez se ejecuten todos los aspectos recomendados en la sección de soluciones técnicas, el desperdicio de energía se debe reducir en un 100% y con un ahorro aproximado de \$24.000.000 mensuales, dado que el factor de potencia se mantendría constante en bajas cargas cuando la planta este fuera de operación, como por ejemplo durante los fines de semana.

8. Bibliografía

- AChEE. (2018). *Beneficios de los Sistemas de Gestión de Energía*. Santiago de Chile.
- Agencia Internacional de Energía (AIE). (2019). *Energy Efficiency 2019*. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2019>
- Barros, T. R., Archetti, J. A., Monteiro, L. M., & Oliveira, J. G. (2022). Analysis of Impacts on the Frequency of Electrical Systems Caused by Distributed Energy Resources. *IEEE*.
- Bernard Black a, A. H. (2022). Simulated power analyses for observational studies: An application to the Affordable Care Act Medicaid expansion. *Journal of Public Economics*.
- Brito, R. d. (2023). A new power calculation method based on time–frequency analysis. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*.
- Bruno Veiga, G. S. (2023). Simulation tools for electricity markets considering power flow analysis. *Energy*.
- Cabeza, M. A. (2023). Análisis del consumo energético de la granja Avícola Monar, Ecuador. *Ibero-American Journal of Engineering & Technology Studies*.
- CERTIFICADO DE REPRESENTACION LEGAL. (23 de ENERO de 2022). DUITAMA, COLOMBIA.
- Chakabarti, S. N. (2019). Energy and carbon footprint of foodindustry. *Energy footprints food Text. Sect*, 19-44.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE). (2019). *Evaluación del Uso de Energía en la Industria Manufacturera de Colombia*. Bogotá. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/industria/euemo/boletin_euemo_ene_dic_2019.pdf
- European Commission. (2017). *Energy balancesheets 2015data – Eurostat, 2017*. Obtenido de <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/8113778/KS-EN-17-001-EN-N.pdf/99cc20f1-cb11-4886-80f9-43ce0ab7823>
- Fanser. (2022). Importancia de la eficiencia energética en la industria alimentaria. *Fanser*. Obtenido de <https://fanser.com/eficiencia-energetica-industria-alimentaria/>
- Faqih Rofii, A. N. (2020). Analysis of Electrical Power Quality Disturbances Based on Empirical Mode Decomposition and Statistical Parameters. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*.

- Fenavi. (2020). *Ahorro y eficiencia energética en el sector avícola*. Obtenido de <https://avicultores.com/ahorro-y-eficiencia-energetica-en-el-sector-avicola/>
- Hassan, D. O. (2017). Issues of Power Quality in Electrical Systems. *International Journal of Energy and Power Engineering*.
- Ibargue, J. L., Angulo, J. E., & Prías, J. R. (2017). Indicadores de desempeño energético: Una ruta hacia la sustentabilidad. "Caso de estudio una industria torrefactora de café". *DYNA*.
- IECOR. (2022). *Calidad de la energía eléctrica*. Obtenido de <https://www.iecor.com/calidad-de-energia-electrica/>
- Inversiones Eldorado SAS. (2017). *Política energética*. Obtenido de https://pollos.co/?gclid=CjwKCAjwysipBhBXEiwApJOcu9_4Vh6lJrKpVn3L0Lr6fbBmBum9Etj8eR5cADpvTasGrh26MI3OdxoCE7kQAvD_BwE
- INVERSIONES ELDORADO SAS. (2017). POLITICA ENERGETICA. DUITAMA.
- J. Bundschuh, G. C. (2015). Towards a sustainable energy technologies based agriculture. *Sustain. Energy Solut. Agric.*
- Krarti, M. (2018). Utility Rate Structures and Grid Integration. *Optimal Design and Retrofit of Energy Efficient Buildings, Communities, and Urban Centers*.
- Kularatna, N., & James, S. (2019). Background to Surge Protection. *Design of Transient Protection Systems*.
- Ministerio de Minas y Energía. (2012). *Reglamento técnico de instalaciones eléctricas*. Bogotá.
- Ministerio de Minas y Energía. (2022). *Contexto estratégico y Diagnóstico de capacidades*. Bogotá: Gobierno de Colombia.
- Perez, M., Ramos, J., & Canasi, Y. R. (2021). Estudio por medio de Scilab de los armónicos en los Sistemas Eléctricos de Potencia aplicado a un caso de estudio. *Cujae*.
- Pollos Eldorado. (2022). *Eldorado - La verdadera promesa del campo*. Obtenido de https://pollos.co/?gclid=CjwKCAjwysipBhBXEiwApJOcu9_4Vh6lJrKpVn3L0Lr6fbBmBum9Etj8eR5cADpvTasGrh26MI3OdxoCE7kQAvD_BwE
- Polo, V. M., & Pacheco, J. B. (2017). Calidad de la energía eléctrica bajo la perspectiva de los sistemas de puesta a tierra. *Ciencia e Ingeniería*.

- Pradella, A. M., Loures, E. d., & Lima1, S. E. (2019). Energy Efficiency in the Food Industry: A Systematic Literature Review. *Smart Energy*.
- Quitian, D. N. (2014). *Gestión energética para el proceso industrial de producción de leche de consumo*.
- Ruiz, J. G. (2017). *Control de estrés térmico en el área de producción, en una empresa del sector de plásticos*. Santiago de Cali.
- SAS, I. E. (s.f.). *WWW.POLLOS.CO*. Recuperado el 16 de 09 de 2022, de <https://pollos.co/historia/>
- Soto, D. S. (2015). *Eficiencia energética en el sector industrial*. Bogotá.
- UPME. (2018). *Implementación de un sistema de Gestión de la Energía - Guía con base en la norma ISO 5001*. Bogotá.

9. Anexos

A- Tarifa servicio junio

EVOLUCIÓN DE SU CONSUMO								
Tipo	Código	MAY	ABR	MAR	FEB	ENE	DIC	Promedio
1 reactiva		0	0	0	0	394	0	10107
2activa	553760	513337	532744	483373	523555	579248		531002
3reactiva	15480	21340	22863	11748	22101	16224		10107

DETERMINACIÓN DE SU CONSUMO						
Tipo	Código Interno	Lectura Anterior	Lectura Actual	Factor Mult.	Consumo en (KWh)	Observ. Lectura
RMO Contador-1		0	0	1	0	0
AMO Contador-2		0	519658	1	519,659	0
RRC Contador-3		0	6324	1	37950	0

DETALLE DE SU CUENTA				
Descripción	Cantidad	Periodo	Subsidio / Contribución	VALOR TOTAL
2-Activa-Monomia	519659	2023/06	% 0	\$ 275,144,318
3Reactiva-Reactiva Capacit	37950	2023/06		\$ 4,193,680

VALOR TOTAL CONSUMO	\$ 279,337,998
VALOR (SUBSIDIO/CONTRIBUCIÓN)	% 0 \$ 0
VALOR CONSUMO FACTURADO	\$ 279,337,998

DETALLE DE LA FACTURA	
Valor factura período	275,144,318
Reactiva Capacitiva	4,193,680
I.A.P AC-MPAL-022-2011	10,440,000
Ajuste Decena	2
	0
	0
	0
	0
	0
	0
	0
VALOR TOTAL A PAGAR	\$289,778,000
PAGO OPORTUNO ANTES DE	19/JUL/2023

B- Tarifa servicio julio

EVOLUCIÓN DE SU CONSUMO								
Tipo	Código	JUN	MAY	ABR	MAR	FEB	ENE	Promedio
1 reactiva		0	0	0	0	0	394	8457
2activa	519659	553760	513337	532744	483373	523555	521071	
3reactiva	37950	15480	21340	22863	11748	22101	8457	
DETERMINACIÓN DE SU CONSUMO								
Tipo	Código Interno	Lectura Anterior	Lectura Actual	Factor Mult.	Consumo en (KWh)	Observ.	Lectura	
RMO Contador-1		0	0	1	0		0	
AMO Contador-2		0	529844	1	529,844		0	
RRC Contador-3		0	4316	1	25902		0	
DETALLE DE SU CUENTA								
Descripción	Cantidad	Periodo	Subsidio / Contribución	VALOR TOTAL				
2-Activa-Monomía	529844	2023/07	% 0	\$ 276,103,775				
3Reactiva-Reactiva Capacit	25902	2023/07		\$ 2,913,221				
VALOR TOTAL CONSUMO							\$ 279,016,996	
VALOR (SUBSIDIO/CONTRIBUCIÓN)							% 0 \$ 0	
VALOR CONSUMO FACTURADO							\$ 279,016,996	
DETALLE DE LA FACTURA								
Valor factura periodo							276,103,775	
Reactiva Capacitiva							2,913,221	
I.A.P AC-MPAL-022-2011							10,440,000	
Ajuste Decena							4	
							0	
							0	
							0	
							0	
							0	
							0	
							0	
VALOR TOTAL A PAGAR							\$289,457,000	
PAGO OPORTUNO ANTES DE							18/AGO/2023	

C - Tarifa servicio agosto

EVOLUCIÓN DE SU CONSUMO								
Tipo	Código	JUL	JUN	MAY	ABR	MAR	FEB	Promedio
1 reactiva	0	0	0	0	0	0	0	5428
2activa	529844	519659	553760	513337	532744	483373	522119	
3reactiva	25902	37950	15480	21340	22863	11748	5428	
DETERMINACIÓN DE SU CONSUMO								
Tipo	Código Interno	Lectura Anterior	Lectura Actual	Factor Mult.	Consumo en (KWh)	Observ. Lectura		
RMO Contador-1		0	0	1	0	0		
AMO Contador-2		0	547353	1	547,354	0		
RRC Contador-3		0	6112	1	36672	0		
DETALLE DE SU CUENTA								
Descripción	Cantidad	Período	Subsidio / Contribución	VALOR TOTAL				
2-Activa-Monomía	547354	2023/08	% 0	\$ 279,088,196				
3Reactiva-Reactiva Capacit	36672	2023/08		\$ 3,971,603				
VALOR TOTAL CONSUMO							\$ 283,059,799	
VALOR (SUBSIDIO/CONTRIBUCIÓN)							% 0 \$ 0	
VALOR CONSUMO FACTURADO							\$ 283,059,799	
DETALLE DE LA FACTURA								
Valor factura periodo								279,088,196
Reactiva Capacitiva								3,971,603
I.A.P AC-MPAL-022-2011								10,440,000
Ajuste Decena								1
								0
								0
								0
								0
								0
								0
								0
VALOR TOTAL A PAGAR								\$293,499,800
PAGO OPORTUNO ANTES DE								19/SEP/2023

D - Tarifa servicio septiembre

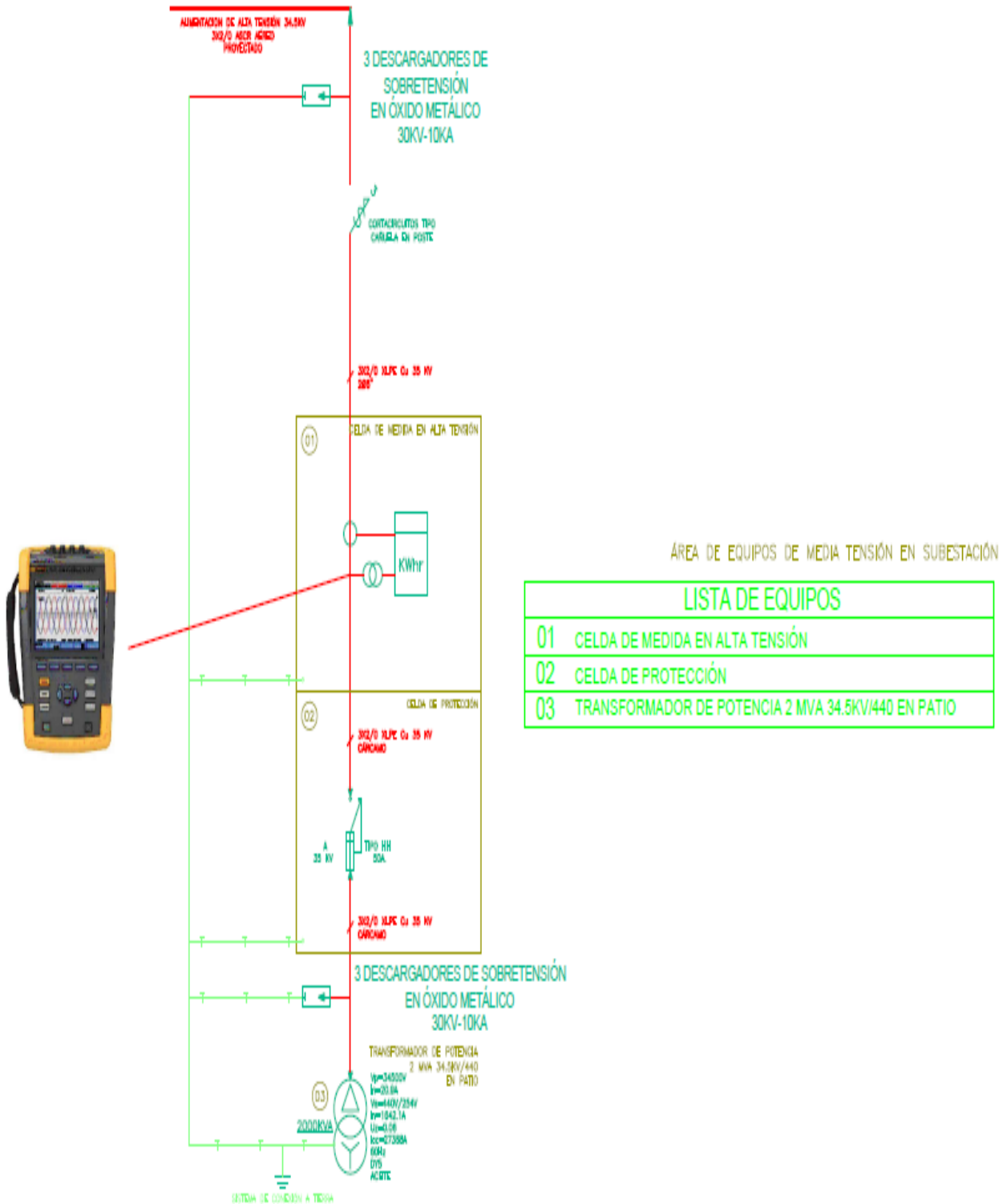
EVOLUCIÓN DE SU CONSUMO								
Tipo	Código	AGO	JUL	JUN	MAY	ABR	MAR	Promedio
1 reactiva	0	0	0	0	0	0	0	5467
2activa	547354	529844	519659	553760	513337	532744	532744	532783
3reactiva	36672	25902	37950	15480	21340	22863	22863	5467

DETERMINACIÓN DE SU CONSUMO						
Tipo	Código Interno	Lectura Anterior	Lectura Actual	Factor Mult.	Consumo en (KWh)	Observ. Lectura
RMO Contador-1		0	0	1	0	0
AMO Contador-2		0	533711	1	533,712	0
RRC Contador-3		0	2447	1	14682	0

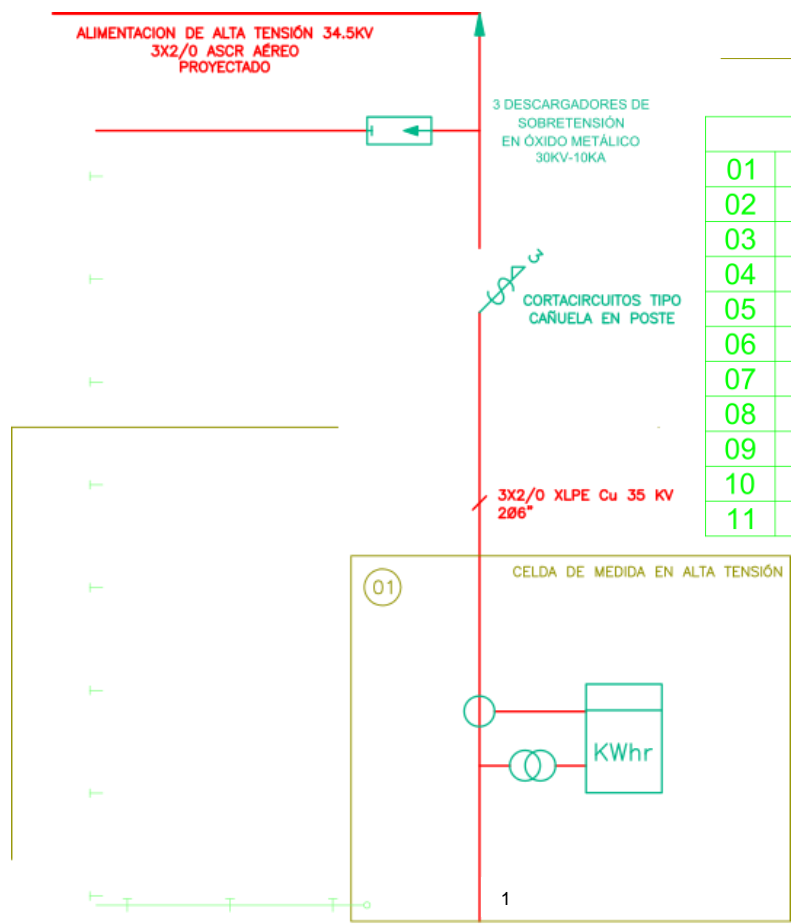
DETALLE DE SU CUENTA				
Descripción	Cantidad	Periodo	Subsidio / Contribución	VALOR TOTAL
2-Activa-Monomia	533712	2023/09	% 0	\$ 279,375,656
3Reactiva-Reactiva Capacit	14682	2023/09		\$ 1,572,580
VALOR TOTAL CONSUMO				\$ 280,948,236
VALOR (SUBSIDIO/CONTRIBUCIÓN)				% 0 \$ 0
VALOR CONSUMO FACTURADO				\$ 280,948,236

DETALLE DE LA FACTURA	
Valor factura periodo	279,375,656
Reactiva Capacitiva	1,572,580
I.A.P AC-MPAL-022-2011	10,440,000
Ajuste Decena	4
	0
	0
	0
	0
	0
	0
	0
VALOR TOTAL A PAGAR	\$291,388,240
PAGO OPORTUNO ANTES DE	20/OCT/2023

E – Plano ubicación analizador de redes



F - PLANO UNIFILAR ELECTRICO GENERAL - PLANTA DE PROCESO



ÁREA DE EQUIPOS DE MEDIA TENSIÓN EN SUBESTACIÓN

LISTA DE EQUIPOS	
01	CELDA DE MEDIDA EN ALTA TENSIÓN
02	CELDA DE PROTECCIÓN
03	TRANSFORMADOR DE POTENCIA 1.25MVA 34.5KV/440 EN PATIO
04	PLANTA ELÉCTRICA 1.25MVA-440V
05	TABLERO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN DE TRANSFORMADOR A 440V - 1250KVA - TGDT 440
06	TABLERO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN DE EMERGENCIA A 440V - 1250KVA - TGDE 440
07	TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA CON CONTACTORES 440V/625KVA
08	TABLERO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN DE ACOMETIDAS 1 A 440V - 625KVA TGDA 440 - 1
09	TABLERO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN DE ACOMETIDAS 2 A 440V - 625KVA TGDA 440 - 2
10	AUTO TRANSFORMADOR 440V A 208V 225KVA
11	TABLERO GENERAL DE DISTRIBUCIÓN A 208V-225KVA TGD 208

ÁREA DE EQUIPOS DE BAJA TENSIÓN EN SUBESTACIÓN

