



**Estudio de calidad de la energía en los equipos eléctricos de una planta industrial para
prevenir sobrecostos en el servicio eléctrico.**

Pablo César Présiga Serna

Informe de práctica para optar por el título de Ingeniero Electricista

Asesores

Nelson de Jesús Londoño Ospina, Doctor (PhD) Ingeniería Eléctrica

Julián David Gallego Henao, Ingeniero Electricista

Inversiones GSV

Universidad de Antioquia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Eléctrica

Medellín, Antioquia, Colombia

2024

Cita	Présiga Serna [1]
Referencia Estilo IEEE (2020)	[1] P. Présiga Serna, “Estudio de calidad de la energía en los equipos eléctricos de una planta industrial para prevenir sobrecostos en el servicio eléctrico”, Trabajo de grado profesional, Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Antioquia, Colombia, 2024.



Créditos a escenario de prácticas, personas, proyectos que aportaron al desarrollo de la práctica (interna y externamente: empresa y área de la empresa, grupo de investigación, proyecto, organización)



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

Repositorio Institucional: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano: Julio Cesar Saldarriaga Molina.

Jefe departamento: Noé Mesa Quintero.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

Dedicat3ria

Este trabajo de grados va dedicado de manera muy especial a mi familia, su apoyo incondicional fue el motor que me permiti3 culminar con 3xito este bonito proceso acad3mico.

Agradecimientos

Agradecimiento muy especial a la familia Durango Pr3siga, por facilitar el espacio en el cual hospedarme a lo largo de mi carrera, a la Universidad de Antioquia y a todos los docentes del Departamento de Ingenier3 El3ctrica, por permitirme recorrer ese sendero educativo lleno de aprendizaje, el cual culmina con la obtenci3n de este t3tulo profesional. Tambi3n, un agradecimiento a la empresa Inversiones GSV por haberme recibido y permitido hacer parte de su equipo de trabajo, afianzando los conocimientos y aprendiendo d3a a d3a con cada proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
I. INTRODUCCIÓN	10
II. OBJETIVOS	11
A. Objetivo general	11
B. Objetivos específicos	11
III. MARCO TEÓRICO	12
Factor de potencia	13
Frecuencia nominal	13
Niveles de tensión	14
IV. METODOLOGÍA	15
V. RESULTADOS	16
Facto de potencia.....	18
Potencias del sistema.....	19
Corriente.....	22
Frecuencia	23
Niveles de tensión	24
Cargabilidad del transformador.....	26
Dimensionamiento del banco de condensadores.....	27
Cálculo de la corriente nominal, calibre del cable y protección	28
VI. ANÁLISIS	30
VII. CONCLUSIONES	31
REFERENCIAS	32

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Variables de registro y análisis en el periodo de medición	16
Tabla 2. Análisis de factor de potencia	18
Tabla 3. Potencias y energía del sistema.....	21
Tabla 4. Cargabilidad por fase en función de la protección general	23
Tabla 5. Frecuencia aceptable	24
Tabla 6. Clasificación, denominación y valores de la tensión nominal	25
Tabla 7. Cargabilidad por fase en función del transformador	26
Tabla 8. Características nominales del banco de condensadores a 440 V	28
Tabla 9. Calibres de cables y capacidades de protecciones banco de 30 kVAr tensión de 440 V	29

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Lugar de instalación del equipo analizador de redes	17
Figura 2. Factor de potencia de la instalación medido	18
Figura 3. Potencia Activa Consumida medida	19
Figura 4. Potencia Reactiva Inductiva medida.....	19
Figura 5. Potencia Reactiva Capacitiva medida.....	20
Figura 6. Potencia Aparente medida	20
Figura 7. Corriente medida	22
Figura 8. Frecuencia en el periodo de monitoreo.....	23
Figura 9. Tensiones de línea.....	24
Figura 10. Tensiones de fase	25
Figura 11. Probabilidad de exceder el porcentaje de carga del transformador	26
Figura 12. Diagrama unifilar	27

SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
PCH	Pequeñas Centrales Hidroeléctricas
EPM	Empresas Públicas de Medellín
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas
NTC	Norma Técnica Colombiana
ANSI	American National Standards Institute
Esp.	Especialista
FP	Factor de Potencia
PhD	Philosophiae Doctor
UdeA	Universidad de Antioquia

RESUMEN

El siguiente documento presenta el informe de la práctica académica realizada en la empresa Inversiones GSV S.A.S, empresa dedicada a brindar soluciones energéticas en diferentes ámbitos, ofrece soluciones de aprovechamiento de energía solar con paneles solares, servicios de biomasa para aprovechar los productos y subproductos de la agricultura, la silvicultura y la industria alimentaria, soluciones eléctricas con el aprovechamiento de los afluentes hídricos mediante PCH y una amplia gama de servicios de ingeniería eléctrica enfocados a soluciones eléctricas eficientes y seguras.

En este informe se presenta un estudio de calidad de la energía, en el cual se evalúan las diferentes componentes eléctricas de una empresa industrial, con la finalidad de comprender el comportamiento de las mismas, analizando diferentes aspectos para garantizar que el consumo diario no se vea afectado por componentes que puedan llevar a una penalización en la facturación de los servicios de energía, así mismo, brindar las soluciones pertinentes y necesarias como el diseño de un banco de capacitores capaz de suplir y compensar las deficiencias del servicio.

***Palabras clave* — Calidad de la Energía, Potencia Activa, Potencia Reactiva, Factor de Potencia, Banco de Capacitores**

ABSTRACT

The following document presents the report of the academic practice carried out at Inversiones GSV S.A.S, a company dedicated to providing energy solutions in different areas. It offers solutions for harnessing solar energy with solar panels, biomass services to take advantage of the products and by-products of agriculture, forestry, and the food industry, electrical solutions with the use of water tributaries through PCH, and a wide range of electrical engineering services focused on efficient and safe electrical solutions.

This report presents a power quality study, in which the different electrical components of an industrial company are evaluated, with the aim of understanding their behavior, analyzing different aspects to ensure that daily consumption is not affected by components that could lead to a penalty in the billing of energy services, likewise, provide the pertinent and necessary solutions such as the design of a capacitor bank capable of supplying and compensating for the deficiencies of the service.

***Keywords* — Power Quality, Active Power, Reactive Power, Power Factor, Capacitor Bank.**

I. INTRODUCCIÓN

El concepto de calidad de la energía eléctrica se relaciona con el análisis de fluctuaciones y perturbaciones de estado estacionario de las variables de un sistema eléctrico. Estas alteraciones, que dependen del proveedor de energía o de las compañías distribuidoras, pueden incluir cambios de tensión, la frecuencia, armónicos en las ondas de voltaje y corriente, variaciones rápidas de voltaje conocidas como flickers, y transitorios electromagnéticos, entre otros factores.

El factor de potencia se destaca como una variable crítica en este análisis, ya que, indica la proporción de energía reactiva consumida en relación con el total de energía utilizada. En la actualidad, el consumo excesivo de energía reactiva puede resultar en sanciones económicas por parte del operador de red, como es el caso de EPM, de acuerdo con la resolución CREG 015-2018.

Para los equipos electrónicos y computacionales, es crucial asegurar una fuente de alimentación que cumpla con sus requisitos. Estos requisitos pueden incluir rangos de variación de tensión, variación de frecuencia, distorsiones de las formas de onda y confiabilidad, entre otros.

En Colombia, el suministro de energía eléctrica se rige por la Resolución CREG 015 de 2018 y la norma NTC 5001 de 2008, que establecen los criterios, normas internacionales y directrices a seguir para asegurar la calidad del servicio, especialmente en términos técnicos o de potencia. Además, la norma ANSI/IEEE Std. 1100-1992, titulada “Recommended Practice for Powering and Grounding Sensitive Electronic Equipment”, ofrece guía sobre los estándares de Calidad de la Potencia necesarios en las instalaciones eléctricas.

II. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Desarrollar un estudio de las variables eléctricas, como tensión, corriente, potencia, factor de potencia y distorsión armónica, en una instalación eléctrica de tipo industrial, con el fin de determinar la calidad de la energía, el comportamiento de las cargas y los posibles problemas que afecten el funcionamiento óptimo de los equipos y procesos.

B. Objetivos específicos

Realizar la medición de las variables eléctricas mediante un analizador de redes en una instalación tipo industrial.

Analizar los resultados obtenidos de las mediciones y evaluaciones de la calidad de la energía, identificando los problemas y los efectos que se presentan en la instalación eléctrica de tipo industrial.

Proponer e implementar las medidas correctivas y preventivas adecuadas para mejorar la calidad de la energía y el funcionamiento óptimo de los equipos y procesos en la instalación eléctrica tipo industrial.

III. MARCO TEÓRICO

La definición de calidad de la energía de alguna manera resulta algo indeterminada. Por ejemplo, para el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) define que la calidad de la energía es la alimentación y puesta de tierra de equipos electrónicos sensibles de una manera que sea adecuado para su operación. Por otra parte, hay quien comenta [1] que la calidad de la energía se entiende cuando la energía eléctrica es suministrada a los equipos y dispositivos con las características y condiciones adecuadas que les permita mantener su continuidad sin que se afecte su desempeño ni provoque fallas a sus componentes [2].

De igual forma en [3] se hace mención de que un estudio de calidad de la energía es un análisis exhaustivo de los parámetros eléctricos que afectan la calidad y confiabilidad del suministro de energía en un sistema eléctrico. Este estudio se realiza para evaluar y monitorear la calidad de la energía eléctrica suministrada, identificar problemas y anomalías, y proponer soluciones para mejorar la eficiencia y el rendimiento del sistema. El estudio de calidad de la energía es una herramienta importante para garantizar un suministro eléctrico confiable y óptimo tanto en entornos industriales como en entornos comerciales o residenciales.

Generalmente los estudios de calidad de la energía analizan diferentes parámetros, entre los de mayor importancia se pueden citar los siguientes:

- Voltajes entre Líneas.
- Voltaje de Línea a Neutro.
- Corriente por Fase.
- Frecuencia.
- Desbalance de Voltaje por Fase.
- Factor de Potencia Total, 3 Fases.
- Potencia Reactiva Total, 3 Fases.
- Porcentaje de Distorsión Armónica de Voltaje.
- Porcentaje de Distorsión Armónica de Corriente [4].

El Factor de Potencia es uno de los parámetros más importantes a analizar en las instalaciones eléctricas industriales, ya que indica la relación entre la potencia activa, que se utiliza para realizar trabajo, y la potencia aparente, que es la suma de la potencia activa y la potencia reactiva, que se consume en los elementos inductivos y capacitivos de la instalación. Un Factor de Potencia bajo, implica un mayor consumo de energía reactiva, lo que genera pérdidas, sobrecargas, calentamiento y distorsión armónica en la red eléctrica [5].

Factor de potencia

El factor de potencia define la relación entre la potencia que se convierte en trabajo útil y la potencia eléctrica consumida por un circuito o dispositivo. Se representa con las siglas FP, es un valor adimensional, solo puede tomar valores entre 0 y 1 (ya sea inductivo o capacitivo) y viene determinado por el tipo de cargas conectadas en una instalación eléctrica. Cuando el factor de potencia está cercano a la unidad, se dice que su componente reactivo es muy bajo, caso contrario cuando está cercano a ser nulo, allí se tiene una gran componente reactiva, lo que hace que se tengan mayores pérdidas. Es importante aclarar, que, si la carga es predominantemente inductiva se tiene un factor de potencia positivo, y cuando es predominantemente capacitiva se tiene un factor de potencia negativo [6]. La energía reactiva no solo afecta la calidad y la eficiencia de la energía eléctrica, sino que también tiene un impacto económico, ya que a partir de la entrada en vigor de la resolución CREG 015-2018, se penaliza a las industrias que superen los límites establecidos de energía reactiva, según el tipo de tarifa y el nivel de tensión. Por esta razón, es de vital importancia medir y mejorar el Factor de Potencia en las instalaciones eléctricas industriales, mediante el uso de equipos de compensación y corrección, como los bancos de capacitores, que permiten reducir el consumo de energía reactiva y optimizar el uso de la energía eléctrica.

Frecuencia nominal

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. 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 [7] 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 Tabla 1.
- El intervalo de medida debe ser mínimo de una semana.

Niveles de tensión

Actualmente, es indispensable que las empresas operadoras de red garanticen niveles de tensión acorde con desviaciones tolerables de acuerdo con las reglamentaciones vigentes, de manera que no se afecte la calidad de la potencia, lo cual se deriva en falla de equipos sensibles y por consiguiente en la productividad y competitividad de las empresas. Los niveles de tensión pueden verse afectados por efectos de regulación (disminución de la tensión), especialmente en redes con longitudes importantes donde no se tuvo cuidado desde el momento del diseño. Los valores de tensión pueden incrementarse en caso de presentarse bajas demandas o rechazos de carga en los sistemas eléctricos, entre otros. Según la Norma NTC 1340 de 2013 [7], en condiciones normales de suministro, y donde se hayan realizado las mediciones de al menos una semana con períodos de agregación de diez (10) minutos. El 100% de los valores registrados en la semana deberán estar en el intervalo definido por las columnas de tensión máxima y tensión mínima indicados en la Tabla 2 de esta norma.

En [8] se mencionan algunos de los principales problemas que surgen cuando no se hace un correcto diagnóstico de la calidad de la energía, los cuales ocasionan problemas de índole económico, puesto que se puede ver afectado el consumo eléctrico, por tanto, hay un incremento en la facturación y así mismo al no corregir los diferentes factores se induce a que la vida útil de los equipos disminuya.

IV. METODOLOGÍA

Se plantean una serie de actividades con la finalidad de dar cumplimiento a los objetivos planteados, abordando todo el ciclo completo del análisis de la calidad de la energía, desde la toma de datos por medio de un analizador de redes hasta la entrega del informe con los resultados obtenidos y las sugerencias o propuestas para mejorar el desempeño de la instalación eléctrica.

1- Desplazamiento de instalación de equipo: En este punto se hace el desplazamiento hasta el lugar de interés para realizar la instalación del analizador de redes y así poder monitorear las variables eléctricas, con un tiempo mínimo de siete (7) días, tal y como lo indica la ley y posteriormente realizar el retiro del equipo.

2- Exportar las mediciones del analizador de redes: Una vez cumplido el tiempo de monitoreo del analizador de redes se procede a exportar los resultados para su posterior análisis.

3- Estudiar y analizar los resultados: Una vez exportados los datos se procede mediante software especializado a analizar las mediciones arrojadas por el analizador de redes.

4- Verificación de los resultados: Identificar, de acuerdo con las normas, si las diferentes variables cumplen con los estándares estipulados para garantizar un correcto funcionamiento de la instalación eléctrica.

5- Entregable: Realizar el informe con los resultados obtenidos donde se explique los valores encontrados y las posibles fallas y las soluciones propuestas.

V. RESULTADOS

Uno de los principales fuertes de Inversiones GSV son los servicios de ingeniería eléctrica, destacando dentro de estos el servicio de calidad de la energía, en esta sección se presentan los resultados obtenidos durante el desarrollo de la actividad objeto de estudio dando cumplimiento al cronograma planteado con anterioridad.

Para la medición se emplea el analizador de redes de referencia MyEBOX 1500, el cual se instala en el transformador de 300 kV del cuarto eléctrico perteneciente a la empresa Furgones Express.

La Tabla 1 muestra las variables registradas por el equipo, así como el periodo en horas que realizó las medidas, con una granularidad de cinco (5) minutos entre medidas, es decir el intervalo de tiempo en el cual se toma el registro de cada medida.

Tabla 1. Variables de registro y análisis en el periodo de medición

VARIABLES MEDIDAS		
DURACIÓN DE LA MEDIDA	123 HORAS	
GRANULARIDAD	5 minutos	
VARIABLE	FASE	BIFÁSICO
Frecuencia	✓	
Tensión	✓	✓
Corriente	✓	
Potencia activa	✓	✓
Potencia reactiva	✓	✓
Potencia aparente	✓	✓
Factor de potencia	✓	✓

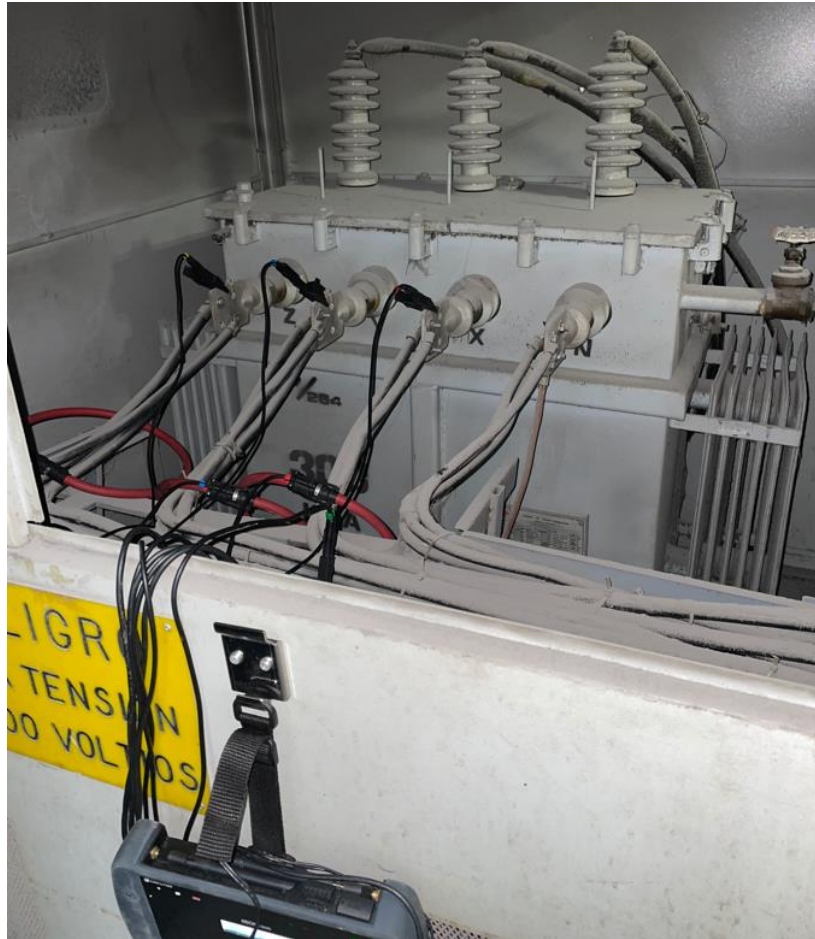
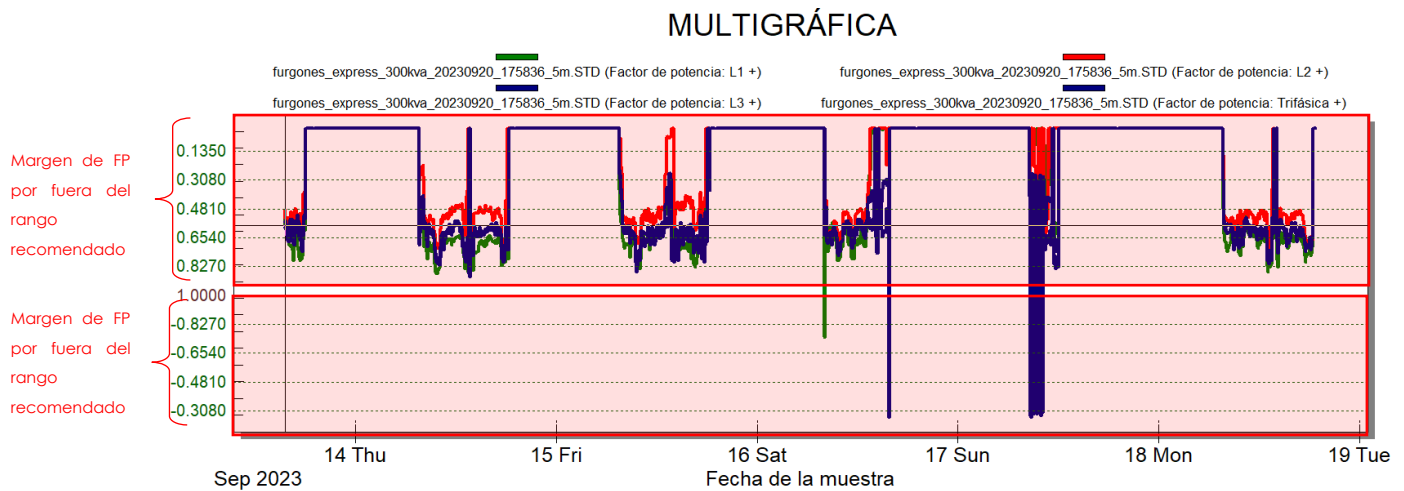


Figura 1. Lugar de instalación del equipo analizador de redes

En la Figura 1, se muestra la instalación del analizador de redes. Se instalan tres (3) pinzas de tensión en los bujes del transformador y tres (3) sensores de corriente, abarcando la totalidad de conductores por fase del transformador, con la finalidad de censar la corriente en el periodo de registro del equipo, adicionalmente, para estas últimas hay que tener en cuenta el sentido de flujo de corriente para que la medición sea correcta, dado que, en caso de instalar los sensores en dirección contraria al flujo de corriente, se estaría tomando registro de “generación” en vez del consumo que es el objetivo del monitoreo.

Tras el periodo de registro del analizador de redes se procede a la extracción y análisis de los resultados obtenidos, para tal fin se emplea el aplicativo informático Power Vision 1.8C. el cual permite leer y graficar la información guardada por el equipo, estos se muestran a continuación:

Facto de potencia**Figura 2.** Factor de potencia de la instalación medido

De acuerdo con los resultados entregados por el analizador de redes y como se observa en la Figura 2, el valor del factor de potencia permanece por fuera del rango estandarizado, situación que permite concluir que existe un gran porcentaje de consumo de energía reactiva en la instalación. El factor de potencia resultado del análisis es predominantemente inductivo, por ende, se debe buscar una solución apropiada para garantizar un factor de potencia acorde a lo que estipula la ley.

De acuerdo con la Resolución CREG 015 de 2018, los valores mostrados en la Tabla 2 permiten identificar los intervalos del FP los cuales son penalizados:

Tabla 2. Análisis de factor de potencia

Tipo de FP	Intervalo de FP	Aplica penalización CREG 015 de 2018
Inductivo	$0,9 \leq FP \leq 1$	No
Inductivo	$FP \leq 0,9$	Sí
Capacitivo	Cualquier FP	Sí

Potencias del sistema

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en el periodo de análisis.

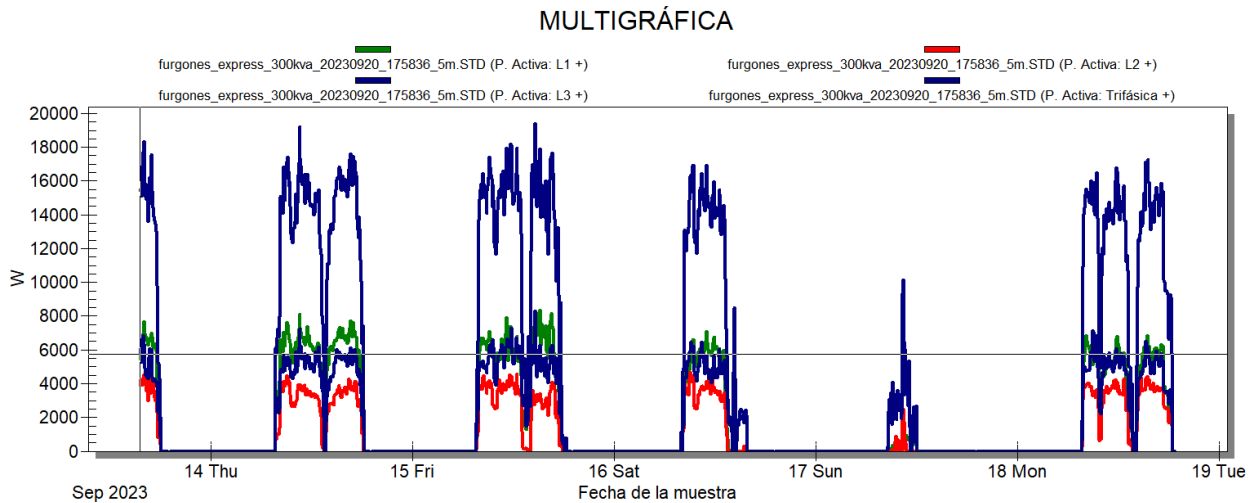


Figura 3. Potencia Activa Consumida medida

La Figura 3 muestra la potencia activa consumida por la industria durante el periodo de monitoreo, en esta se puede apreciar la potencia de cada fase, así como la potencia activa trifásica, es de aclarar que los periodos en los que las medidas son cero es dado que, la industria no se encuentra en operación, estos periodos coinciden con las horas nocturnas.

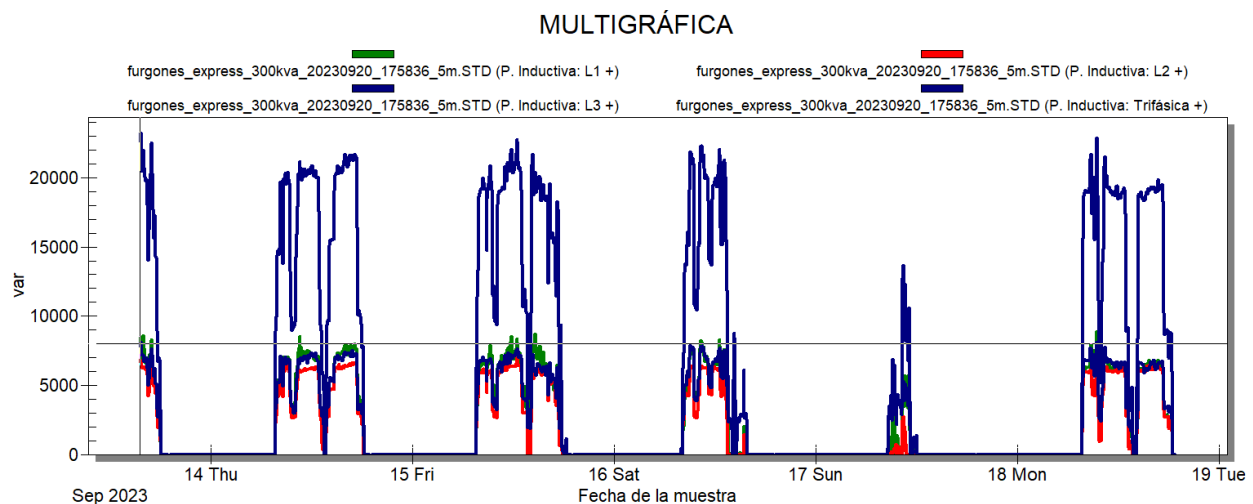


Figura 4. Potencia Reactiva Inductiva medida

La potencia reactiva inductiva consumida por la industria se muestra en la Figura 4. Se observa gran producción de reactiva durante los periodos de actividad laboral de la empresa. Esta potencia sobrepasa el umbral permitido por la ley de consumo de reactiva, llegando a igualar e incluso a superar la potencia activa mostrada en la Figura 3, esto indica que hay que tomar acciones para corregir estos eventos y garantizar eficiencia energética y suministro eléctrico óptimo.

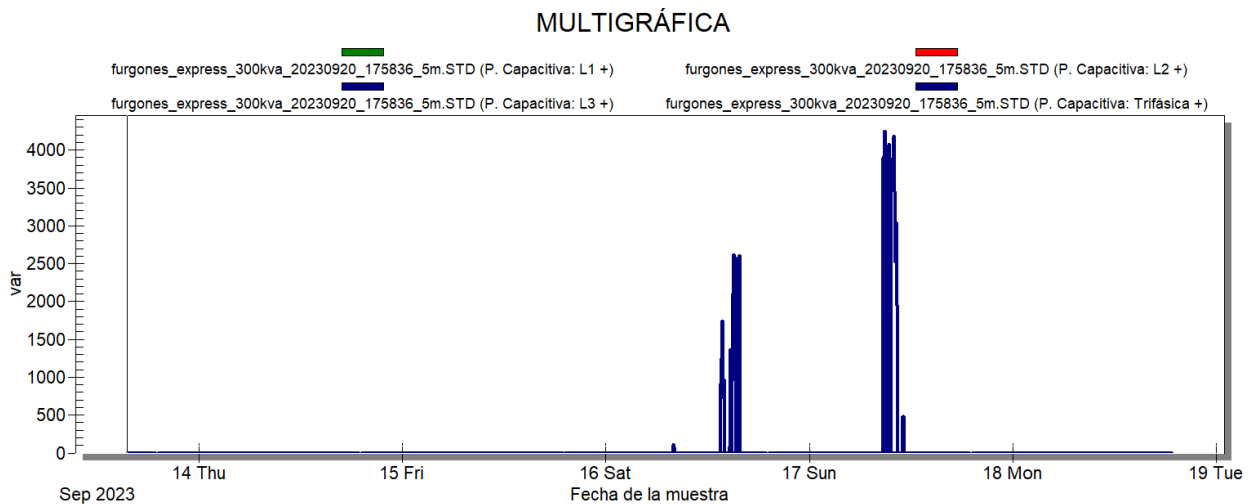


Figura 5. Potencia Reactiva Capacitiva medida

La Figura 5 muestra el registro de la potencia reactiva capacitiva durante el periodo de monitoreo del estudio.

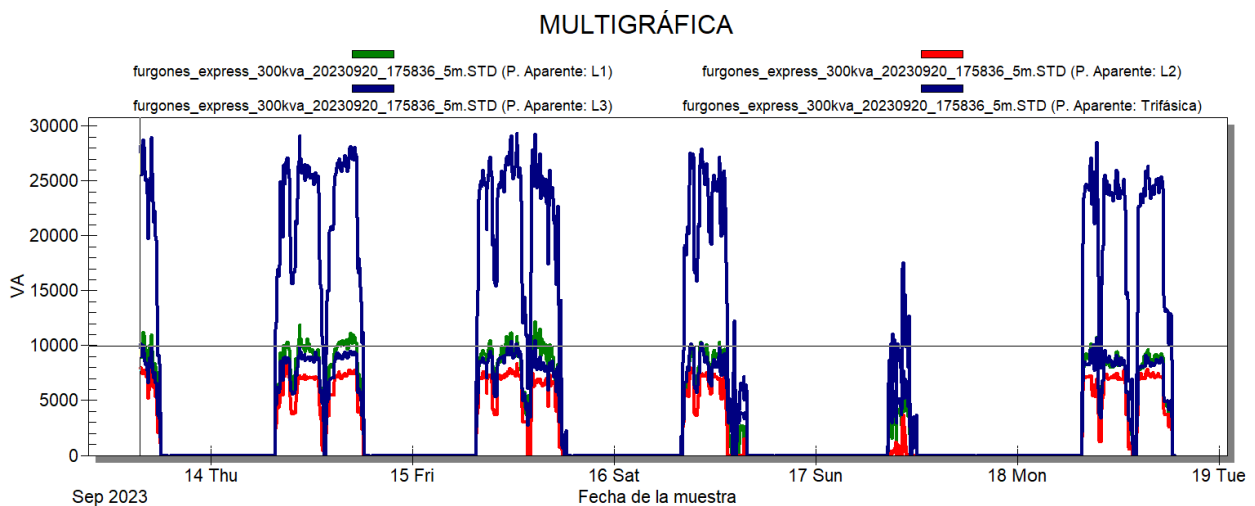


Figura 6. Potencia Aparente medida

En la Figura 6 se muestra el registro de la potencia aparente resultante del periodo de registro.

Para este registro no debe haber consumo de reactivos según lo establecido en la Resolución CREG 015 de 2018 la cual en el capítulo 12 establece que se dará la Penalización por consumo excesivo de energía reactiva inductiva, cuando el consumo excesivo de energía reactiva en un período horario sea mayor al 50% de la energía activa del mismo período. Adicionalmente, existirá penalización por consumo de energía reactiva capacitiva. Se cobrará todo consumo de energía reactiva capacitiva sin importar el valor de la energía activa.

Como resultado de las gráficas anteriores, en la Tabla 3 se muestra en resumen los resultados de las potencias y energías producto del monitoreo realizado. En esta se pueden apreciar los valores máximos y mínimos de cada una de las fases de las potencias activa, reactiva inductiva, reactiva capacitiva y aparente, así como los valores de las energías activas y reactivas trifásicas totales del sistema. De acuerdo con lo mencionado en la resolución CREG, el sistema de Furgones Express tiene un consumo excesivo de energía reactiva, pues bien, como se aprecia en la Tabla 3, el consumo de energía reactiva sobrepasa por mucho el umbral del 50% estipulado por la ley.

Tabla 3. Potencias y energía del sistema

VARIABLE	FASE	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO
POTENCIA ACTIVA [kW]	FASE 1	0,00	8,35	1,77
	FASE 2	0,00	4,67	1,00
	FASE 3	0,00	8,33	1,64
	TOTAL	0,00	19,44	4,38
POTENCIA REACTIVA IND [kVAr]	FASE 1	0,00	8,89	1,90
	FASE 2	0,00	7,02	1,59
	FASE 3	0,00	8,13	1,95
	TOTAL	0,00	23,24	5,42
POTENCIA REACTIVA CAP [kVAr]	FASE 1	0,00	0,11	0,00
	FASE 2	0,00	0,00	0,00
	FASE 3	0,00	0,01	0,00
	TOTAL	0,00	4,25	0,06
POTENCIA APARENTE [kVA]	FASE 1	0,00	12,18	2,70
	FASE 2	0,00	8,40	1,90
	FASE 3	0,00	10,70	2,59
	TOTAL	0,00	29,35	7,19

ENERGÍA ACTIVA TOTAL [kW-h]	TRIFÁSICO	530,80
ENERGÍA REACTIVA TOTAL [kVAr-h]	TRIFÁSICO	659,40

Corriente

La evolución de la corriente requerida por las cargas del establecimiento, en el periodo en que fue instalado el equipo, se ilustra en la Figura 7. Las corrientes se encuentran equilibradas, lo que permite intuir que existe una correcta distribución de cargas en el barraje de Baja Tensión de la instalación eléctrica FURGONES EXPRESS.

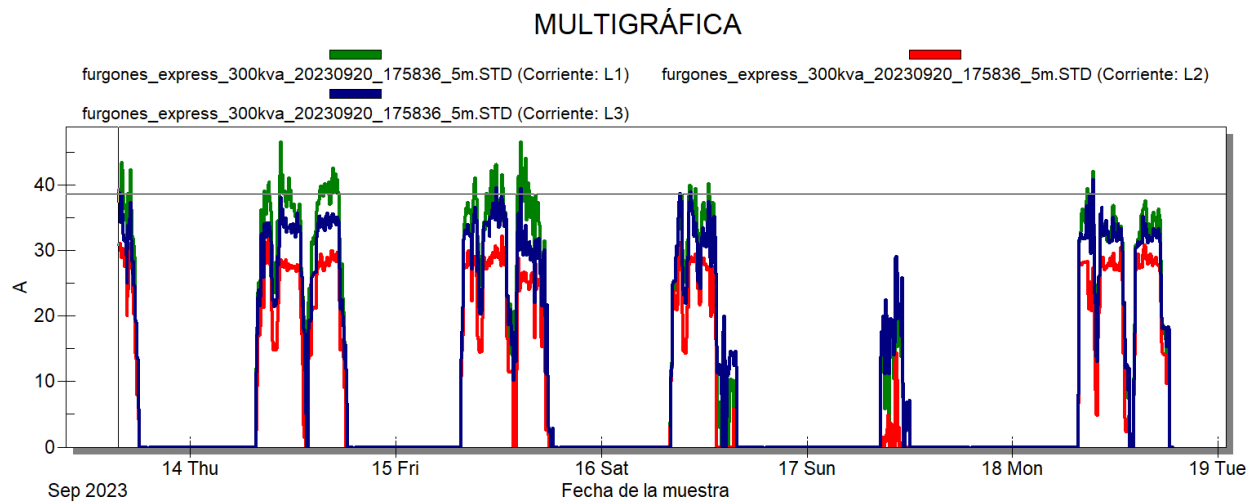


Figura 7. Corriente medida

Los resultados mostrados en la Tabla 4 muestran los porcentajes de carga de cada fase respecto a la corriente total del transformador, indicando que el transformador cuenta con gran capacidad para futuras expansiones de cargas en la empresa, adicionalmente, como se puede apreciar la fase 2 tiene un nivel de carga por debajo a las otras dos fases.

Tabla 4. Cargabilidad por fase en función de la protección general

Fase	CARGA MAGNITUD	CARGA PORCENTAJE
	Corriente Máxima Medida (A)	Porcentaje de Carga (%)
1	46,63	2,49%
2	32,42	1,73%
3	40,86	2,18%

Frecuencia

Los valores de frecuencia tomados cada 5 min se agruparán 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 de la Tabla 5, respectivamente.

La Figura 8 muestra el comportamiento de la frecuencia en el periodo de registro, de esta se puede concluir que la frecuencia permanece dentro de los límites establecidos en la Tabla 5, por ende, el suministro eléctrico es estable en todo instante del tiempo.

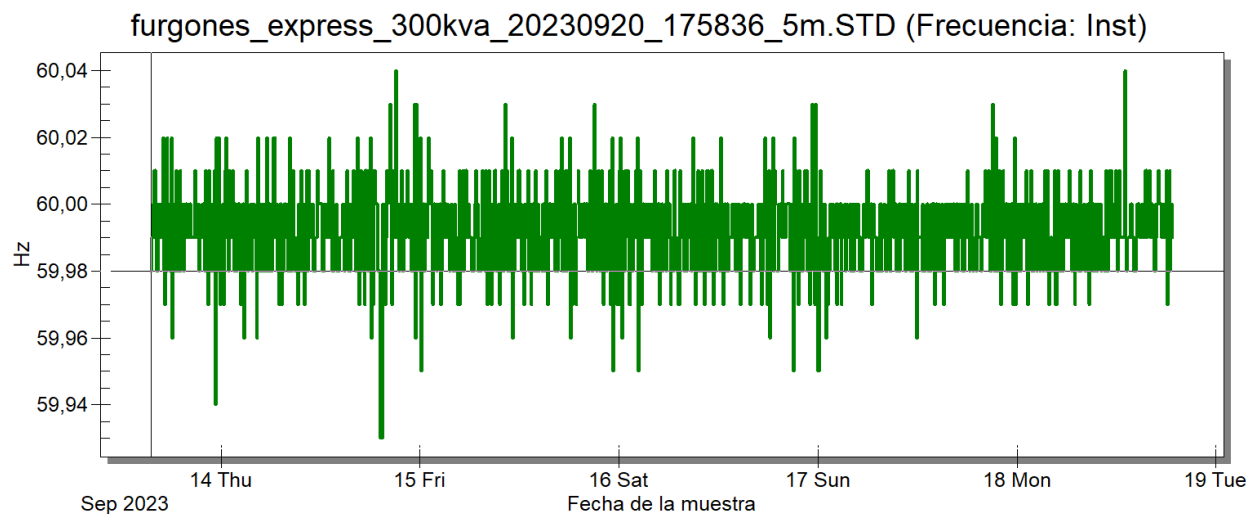
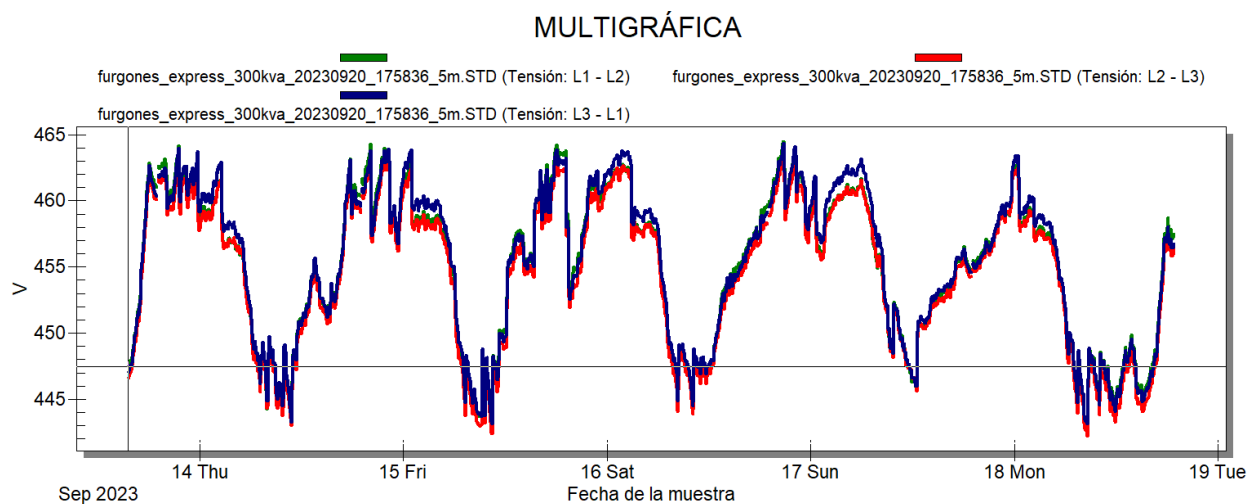
**Figura 8.** Frecuencia en el periodo de monitoreo

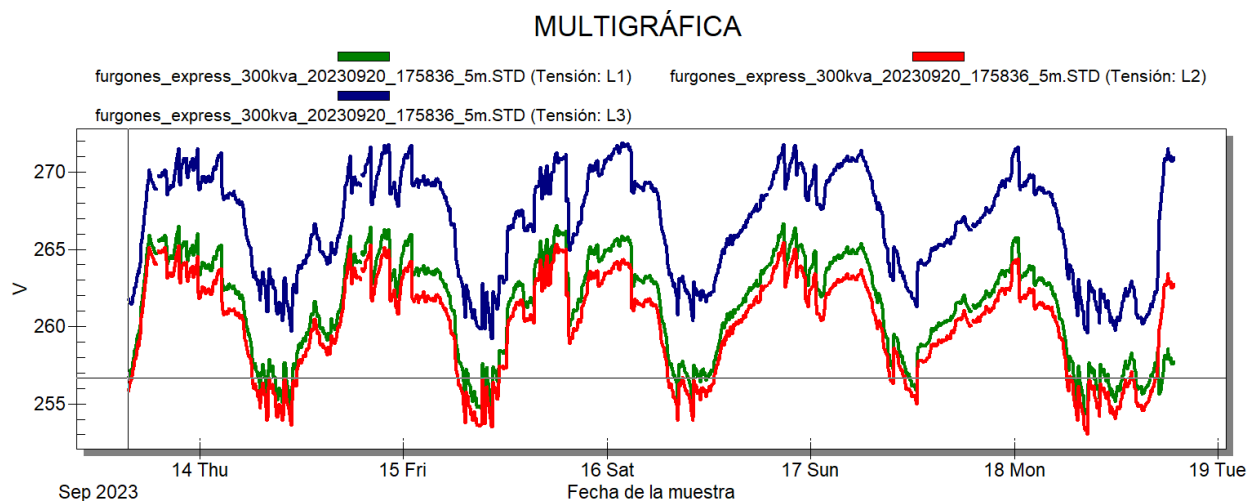
Tabla 5. Frecuencia aceptable

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

Niveles de tensión

A continuación se muestran los resultados de las tensiones del sistema, la Figura 9 muestra las tensiones de línea, tal y como se aprecia en la imagen es la tensión que hay entre un par de fases, la tensión nominal es 456 V, y en la Figura 10 se muestran las tensiones de fase es decir la que corresponde a cada conductor del sistema, la tensión nominal de cada conductor es de 263 V, según la Tabla 6, ambas tensiones se encuentran en los límites permitidos establecidos en la norma NTC 1340 de 2013, lo cual indica un correcto suministro del servicio.

**Figura 9.** Tensiones de línea

**Figura 10.** Tensiones de fase**Tabla 6.** 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		
		-	120*		
		120/208*	-		
Baja Tensión	Nivel 1	-	120/240*		
$V_n < 1 \text{ kV}$	$V_n < 1 \text{ kV}$	127/220	-		Clientes
		220*	-		Urbanos:
		277/440	-		-8
		480	-		
		4160		+5	Clientes
Media tensión	Niveles 2 y 3	-	7620*		rurales:
$1 \leq V_n \leq 62 \text{ kV}$	$1 \leq V_n \leq 62 \text{ kV}$	11400			-10
		13200			
		13800			

*Son las tensiones usadas en el sistema de distribución del grupo EPM

Nota: Tabla tomada de la NTC 1340-2013

Cargabilidad del transformador

El transformador objeto de estudio tiene una capacidad de 300 kVA, la máxima potencia demandada por la carga que se presenta durante el periodo de registro fue de 28.52 kVA, el porcentaje de carga máximo presentado es del 9,51%. Por lo tanto, la disponibilidad estimada para cargas futuras es del 90,49%. (271.48 kVA).

En la Figura 11 se muestra la probabilidad acumulada del porcentaje real de carga del transformador durante el periodo de medida registrado.

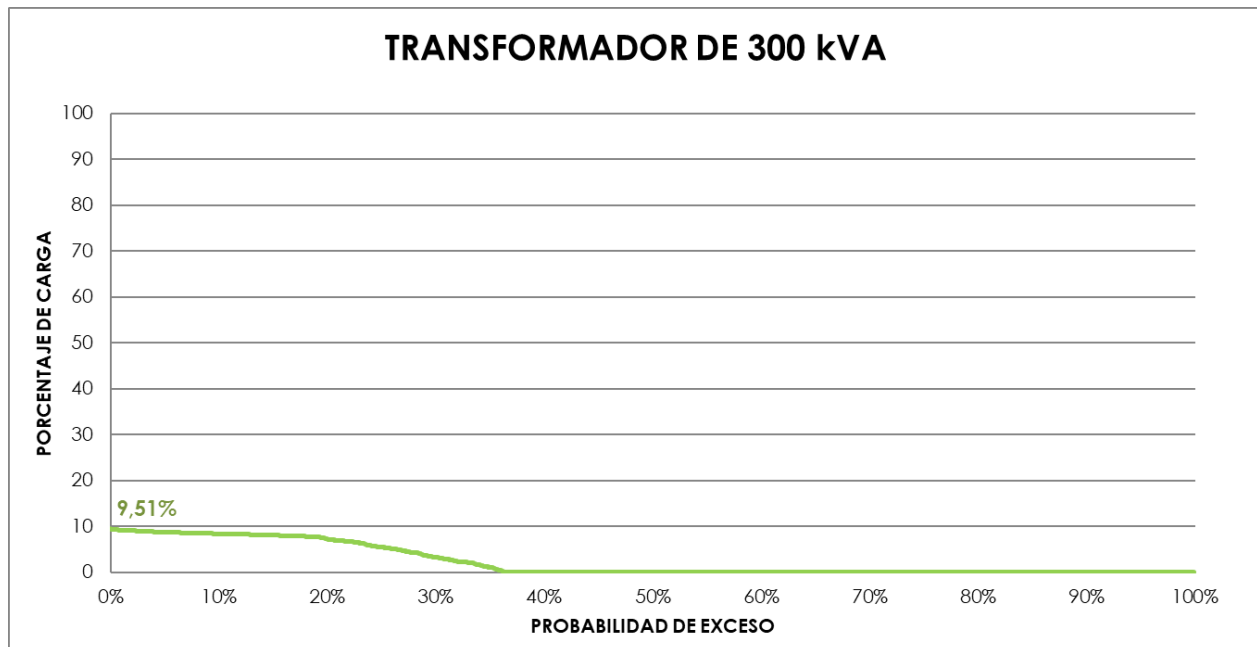


Figura 11. Probabilidad de exceder el porcentaje de carga del transformador

Tabla 7. Cargabilidad por fase en función del transformador

Fase	Potencia máxima medida (kVA)	Porcentaje de carga (%)
1	12,18	4,06%
2	8,40	2,80%
3	10,70	3,57%

El estudio de cargabilidad del transformador permite ver el porcentaje de carga de cada fase, tal como se muestra en la Tabla 7. De esta se puede concluir que, para futuras expansiones de carga, el transformador contará con suficiente capacidad de suplir estas demandas.

Dimensionamiento del banco de condensadores

Para que la instalación eléctrica de FURGONES EXPRESS opere de manera eficiente, su factor de potencia debe estar cercano a la unidad. En este caso particular, se evalúa en cada instante medido el comportamiento del factor de la potencia, junto con las variables de potencias activa y reactiva. Luego de analizar estos valores, se llega a la conclusión de la necesidad de instalar una compensación total de 20 kVAr automatizada por medio de un relé de corrección de factor de potencia. Sin embargo, para garantizar una protección más sólida y pensando en futuras cargas, se diseña un banco con un 50% mayor capacidad, por lo tanto, el banco de capacitores final tiene una compensación total de 30 kVAr.

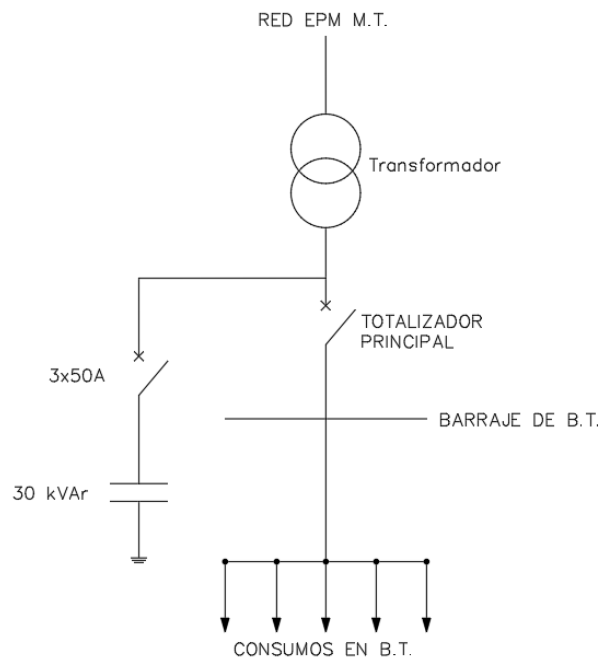


Figura 12. Diagrama unifilar

Tabla 8. Características nominales del banco de condensadores a 440 V

Pasos	Potencia		TIPO
	nominal	Cantidad	
	[kVAr] a 440 V		
1	2,5	1	AUTOMÁTICO
2	2,5	1	AUTOMÁTICO
3	5	1	AUTOMÁTICO
4	10	1	AUTOMÁTICO
5	10	1	AUTOMÁTICO
TOTAL		30 kVAr	

La Figura 12 muestra el diagrama unifilar del banco de capacitores, el cual se instala en paralelo al sistema, de esta forma se garantiza la compensación de la energía reactiva inductiva. Igualmente, en la Tabla 8, se presentan la distribución de los pasos y la capacidad de cada uno de estos para implementar en el diseño final.

Cálculo de la corriente nominal, calibre del cable y protección

Para obtener la corriente nominal del banco de 30 kVAr, se divide la potencia del banco sobre el nivel de tensión de la instalación:

$$I_T = \frac{S_B}{\sqrt{3} \cdot U_R} = \frac{30000}{\sqrt{3} \cdot 440} = 39,36 \text{ A} \quad (1)$$

A este valor de la corriente de fase, se multiplica por un factor de seguridad de equipos del 25%.

$$I_F = 39,36 \cdot 1,25 = 49.2 \text{ A} \quad (2)$$

De igual forma, para obtener la corriente nominal de los condensadores que serán energizados con una tensión de 440 V y los cuales tendrán una potencia asociada, se divide la potencia de estos sobre el nivel de tensión de la instalación:

$$I_C = \frac{S_E}{\sqrt{3} \cdot U_R} \quad (3)$$

A este valor de la corriente de fase, se multiplica por un factor de seguridad del 50% debido a las elevadas corrientes de cierre y apertura por la inclusión de condensadores a la red:

$$I_D = I_C * 1,5 \quad (4)$$

Teniendo el valor de la corriente nominal del banco, es posible escoger el calibre de los cables y las protecciones que se deben utilizar para hacer las conexiones internas y al sistema eléctrico de la instalación. Por consiguiente, la protección principal para este banco es de 50 A y calibre por fase No.8 Cu AWG THHN. Para el cálculo de calibre de los pasos de los condensadores se realiza el mismo procedimiento, obteniendo los calibres mostrados en la tabla 9.

Tabla 9. Calibres de cables y capacidades de protecciones banco de 30 kVAr tensión de 440 V

Descripción	Corriente nominal [A]	Protección [A]	Calibre por fase
Cable de conexión al gabinete principal	49,2	3x50	N°8 AWG THHN
Para el paso de 2,5 kVAr	4.92	3x5	N°12 AWG THHN
Para el paso de 2,5 kVAr	4.92	3x5	N°12 AWG THHN
Para el paso de 5 kVAr	9.84	3x10	N°12 AWG THHN
Para el paso de 10 kVAr	19.68	3x20	N°12 AWG THHN
Para el paso de 10 kVAr	19.68	3x20	N°12 AWG THHN

VI. ANÁLISIS

Los análisis realizados demostraron que los voltajes y frecuencias se encuentran dentro de los rangos permitidos. Esto es un indicador positivo, ya que, asegura un suministro eléctrico estable y adecuado para el funcionamiento de los equipos y sistemas de la empresa.

El análisis de la calidad de la energía se logra identifica un factor de potencia que, en la mayoría de las ocasiones, se ubica por debajo de los límites establecidos por la ley, con un valor promedio de 0.62 inductivo. Este valor indica un consumo excesivo de potencia reactiva. Por lo tanto, se sugiere la instalación del banco de capacitores con una capacidad de 30 kVAr, con el propósito de generar la potencia reactiva necesaria y así evitar posibles sanciones por parte del proveedor de energía eléctrica. Este banco de capacitores ha sido dimensionado de manera que pueda corregir de forma continua el factor de potencia y también satisfacer las necesidades de potencia reactiva de las futuras cargas.

El estudio de la cargabilidad del transformador reveló, que su capacidad nominal es de 300 kVA, y la máxima potencia registrada fue de 28,52 kVA. Esto indica que el transformador está operando a una cargabilidad del 9,51 %. De acuerdo con esto, se disponen de 271,48 kVA para futura expansión de cargas en caso de que la empresa lo requiera.

El análisis de las variables medidas permite concluir que el suministro eléctrico proporcionado por el operador de red es el adecuado, y que, por otra parte, los desbalances y la proporción de energía reactiva registrados se generan en la misma industria a causa de los dispositivos y maquinaria utilizados para la labor de la misma.

VII. CONCLUSIONES

Tras la culminación de la práctica académica, se puede concluir que se ha logrado cumplir de manera significativa con los objetivos propuestos para el desarrollo del informe. La información recopilada en el estudio permitió dar una solución asertiva a la problemática que se logra identificar.

Los estudios de calidad de la energía permiten identificar, mediante un proceso de análisis de medidas eléctricas con equipo especializado, cómo se encuentran las variables eléctricas de la industria o sector que se está analizando. Estos estudios además de detectar posibles problemáticas permiten brindar soluciones adecuadas. En el mejor de los casos, también ratifican la correcta implementación e instalación del suministro eléctrico.

Los bancos de condensadores son la solución más factible para implementar cuando se detecta un consumo elevado de carga reactiva inductiva, pues estos entran a compensar la energía reactiva generada por los equipos y sistemas eléctricos. La conexión de estos en paralelo al sistema, permiten reducir la demanda de energía reactiva de la red eléctrica, mejorando el factor de potencia y optimizando la eficiencia del sistema

Además de la identificación y solución a las problemáticas, los estudios de calidad de la energía permiten optimizar el uso de recursos eléctricos. Tras evaluar las variables eléctricas, se pueden proponer mejoras en la eficiencia energética, lo cual puede reducir los costos y el impacto ambiental, además, se puede contribuir a garantizar la seguridad eléctrica en la industria, asegurando que los sistemas cumplan con la normatividad y estándares vigentes.

En resumen, los estudios de calidad de la energía son fundamentales cuando se quiere optimizar el comportamiento eléctrico de una industria. Al identificar las problemáticas, brindar soluciones adecuadas y verificar un correcto suministro eléctrico, estos estudios contribuyen a mejorar la eficiencia energética y el uso responsable del recurso eléctrico. La implementación de bancos de condensadores como solución para la carga reactiva inductiva es una estrategia efectiva que permite mejorar el factor de potencia y reducir los costos en el consumo eléctrico.

REFERENCIAS

- [1] «Medicion Calidad Energia IME», IME. [En línea]. Disponible en: <https://ime.com.co/index.php/medicion-calidad-energia-ime/>
- [2] «A5.pdf». Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/288/5/A5.pdf>
- [3] I.-A. e I. E. Industriales, «¿Qué es un estudio de calidad de la energía y para que nos sirve?», Blog INIMTEC. Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://blog.inimte.com/1/que-es-un-estudio-de-calidad-de-la-energia-y-para-que-nos-sirve/>
- [4] «Análisis de calidad de energía», Power Solution. Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.powers-sa.com/analisis-calidad-energia/>
- [5] «¿Qué es el factor de potencia? Fórmula, cálculo y corrección». Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://solar-energia.net/electricidad/corriente-electrica/potencia-electrica/factor-de-potencia>
- [6] «Factor de potencia: qué es, fórmula, cálculo y corrección». Accedido: 7 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://solar-energia.net/electricidad/corriente-electrica/potencia-electrica/factor-de-potencia>
- [7] «Electrotecnia. tensiones y frecuencias nominales en sistemas de energía eléctrica en redes de servicio público.» Accedido: 7 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://tienda.icontec.org/gp-electrotecnia-tensiones-y-frecuencias-nominales-en-sistemas-de-energia-electrica-en-redes-de-servicio-publico-ntc1340-2013.html>
- [8] «¿Qué ocurre cuando no se tiene una buena Calidad de Energía eléctrica? – Servicios Electromecánicos RLC Ingenieros SAC». Accedido: 6 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://rlcingenieros.com/que-ocurre-cuando-no-se-tiene-una-buena-calidad-de-energia-electrica/>