



IMPACTO DEL DESBALANCE DE CARGAS EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

ALEXIS FERNANDO CARRILLO OSORIO

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Programa de Ingeniería Electromecánica
Cúcuta, Colombia
2020

IMPACTO DEL DESBALANCE DE CARGAS EN LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

ALEXIS FERNANDO CARRILLO OSORIO

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

Ingeniero Electromecánico

Director:

Ph.D. Ingeniero Electricista Antonio Gan Acosta

Codirector:

M. Sc. Ingeniero Mecánico Ciro Antonio Carvajal Labastida

Universidad Antonio Nariño
Facultad de Ingeniería Mecánica, Electrónica y Biomédica
Programa de Ingeniería Electromecánica
Cúcuta, Colombia
2020

- *Siempre hay una mejor manera de hacer las cosas (Thomas Edison).*
- *La especie más fuerte no es la que sobrevive, tampoco la más inteligente, sino la que se adapta mejor al cambio (Charles Darwin).*
- *Cuando el objetivo te parezca difícil, no cambies de objetivo; busca un nuevo camino para llegar a él (Confucio).*
- *Si buscas resultados distintos no hagas siempre lo mismo (Albert Einstein)*

Dedicatoria

A Dios y a mis padres Jesús Carrillo Bayona y María Patricia Osorio García por darme la vida que es el mejor regalo que se pueda tener.

A mi esposa Yenni Karina Ramírez Carrascal y a mis hermanos Diego Andrés Carrillo Osorio y Laura Nicoll Carrillo Osorio por acompañarme y apoyarme en el transcurso de la vida con todos los aspectos que ella envuelve.

Agradecimientos

Especial agradecimiento a los ingenieros Ciro Antonio Carvajal y Antonio Gan Acosta porque más que mis docentes son unas excelentes personas con una calidez humana y devoción al servicio incalculable. Las enseñanzas adquiridas no tienen precio.

Resumen

El trabajo integral de grado consiste en realizar un estudio a circuitos eléctricos de distribución de baja tensión con el fin de analizar y describir las afectaciones que se presentan cuando éstos evidencian desbalance de cargas entre sus fases. Simultáneamente, se describen y analiza el impacto técnico y económico generado por falta de un programa de mantenimiento predictivo que contribuya a mitigar posibles cortes no programados del servicio que se presentan por desbalance de cargas en los circuitos eléctricos. Por otra parte, se describe el impacto ambiental que se genera por fallas en los bornes del secundario de los transformadores donde se existe fuga de aceite dieléctrico, que por ser de origen mineral contaminan el medio ambiente. El desarrollo de este proceso redactado en el documento se limita a los circuitos de distribución de baja tensión ubicados en el área metropolitana de Cúcuta, los cuales se seleccionaron mediante las quejas o denuncias que se transmiten en las redes sociales.

Palabras clave: Desbalance eléctrico, redes de baja tensión, carga eléctrica.

Abstract

The integral work of degree consists of carrying out a study of low-voltage distribution electrical circuits in order to analyze and describe the affectations that appear when they show load imbalance between their phases. Simultaneously, the technical and economic impact generated by the lack of a predictive maintenance program that contributes to mitigate possible unscheduled outages of the service that arise due to unbalanced loads in the electrical circuits are described and analyzed. On the other hand, the environmental impact that is generated by faults in the secondary terminals of the transformers where there is a dielectric oil leak is described, which because they are of mineral origin pollute the environment. The development of this process drafted in the document is limited to the low-voltage distribution circuits located in the Cúcuta metropolitan area, which were selected through the complaints or allegations that are transmitted on social networks.

Keywords: Electric imbalance, low voltage networks, electric charge.

Contenido

1	Capítulo. Planteamiento del problema	3
1.1	Antecedentes	4
1.2	Problema	8
1.3	Objetivos	9
1.3.1	Objetivo general.....	9
1.3.2	Objetivos específicos	9
1.4	Acotaciones	9
1.5	Justificación	10
1.6	Definición de términos.....	10
1.7	Legislación	12
2	Capítulo. Marco teórico.....	14
2.1	Circuitos eléctricos	14
2.2	Circuitos de baja tensión.....	15
2.3	Potencia eléctrica.....	15
2.4	Desbalance de cargas.....	21
2.5	Armónicos	22
2.6	Ley de Joule	24
2.7	Aplicación ley de Joule	25
2.8	Definición NEMA	27
2.9	Definición IEEE.....	28
2.10	Definición IEC o definición de componentes simétricas.....	28
2.11	Definición del factor complejo de desbalance de tensión ò índice Oliveira-Wang 29	29
2.12	Calidad de la energía	30
2.13	CREG 015	31
2.14	Medio ambiente.....	32
2.15	Aceite dieléctrico.....	32
2.16	Componentes del costo de la prestación del servicio de energía	33
3	Capítulo. Marco metodológico.....	36

3.1	Población	37
3.2	Sistema de medición	37
3.2.1	Mediciones de control	39
3.3	Equipos analizados	39
3.4	Análisis del impacto técnico	47
3.4.1	Pérdidas por desbalance de corrientes	47
3.4.2	Fallas en la prestación del servicio	54
3.4.3	Fallas en los transformadores	56
3.5	Objetivo adicional. Intervención	59
3.6	Análisis del impacto económico	60
3.6.1	Pérdidas económicas	61
3.6.2	Calidad de la energía	63
3.6.3	Actividades de mantenimiento	63
3.1	Actualidad ambiental del planeta tierra	67
3.2	Análisis del impacto ambiental	70
3.3	Análisis del sistema de SG-SST	75
3.4	Impacto social	76
3.5	Conclusiones	78
3.6	Recomendaciones	80
3.7	Resultados	81
4	Bibliografía	83

Lista de imágenes o ilustraciones

Ilustración 1 Queja ciudadana (ATN, 2019)	4
Ilustración 2 Circuito de CD (López, 2018)	15
Ilustración 3 Diagrama de circuito de CD (López, 2018)	16
Ilustración 4 Diagrama Fasorial CD (López, 2018).....	16
Ilustración 5 Circuito de CA (Rodríguez, 2018)	17
Ilustración 6 Onda senoidal de V.I. (Rodríguez, 2018).....	17
Ilustración 7 Diagrama fasorial CA (Rodríguez, 2018).....	18
Ilustración 8 Potencias. (Rodríguez, 2018).....	20
Ilustración 9 Diagrama fasorial en equilibrio	21
Ilustración 10 Onda Normal (Dariel Arcila, 2020)	22
Ilustración 11 Onda en circuito desbalanceado (Dariel Arcila, 2020).....	23
Ilustración 12 Circuito trifásico desbalanceado (Dariel Arcila, 2020)	24
Ilustración 13 Sustancia líquida potencialmente peligrosa. (Ecosmep, 2017).....	33
Ilustración 14 El CU (Jaramillo P. 2016).....	34
Ilustración 15 Componentes del CU.....	34
Ilustración 16. Analizador de red. METREL (Mercado libre, Sd).....	37
Ilustración 17 Componentes de analizador de red. Fuente propia	38
Ilustración 18. Analizador de red instalado en transformador. Autoría Propia.	43
Ilustración 19. Analizador de red instalado en transformador- estructura en camareta. Autoría Propia.	44
Ilustración 20 Población y Muestra. Fuente Autor	45
Ilustración 21. Total, transformadores Zona Cúcuta. Fuente Autor	46
Ilustración 22. Tipos de transformadores a muestreo. Fuente Autor	47
Ilustración 23. Porcentaje de desbalance- circuitos monofásicos. Autoría propia.....	49
Ilustración 24. Circuito 1T00378 Autoría propia	50
Ilustración 25. Porcentaje de desbalance circuitos trifásicos Autoría propia	52
Ilustración 26. Circuito trifásico desbalanceado. Autoría propia	53
Ilustración 27. Desbalance por periodos de tiempo Autoría propia	53
Ilustración 28. Falla por punto caliente. Fuente Autor	56
Ilustración 29. Incendio de transformador. Autoría Propia	57
Ilustración 30 Circuito equilibrado. Fuente propia.	59
Ilustración 31 Circuito trifásico de CA balanceado (Rodriguez, 2018).....	60
Ilustración 32 Muertes al día. (Gan, 2018).....	67
Ilustración 33 Crecimiento de la población mundial. (Gan, 2018).....	67
Ilustración 34 Demanda industrial automotriz. (Gan, 2018)	68
Ilustración 35 Consumo de petróleo diario. (Gan, 2018).....	68
Ilustración 36 Extensión de las especies. (Gan, 2018)	68
Ilustración 37 Deforestación (Gan, 2018)	69
Ilustración 38 Cambio climático (Gan, 2018)	69
Ilustración 39. Foto tomada de un transformador de CENS. Fuente propia	71

Ilustración 40 Gases tóxicos (Castaño.2013)	72
Ilustración 41. Residuos de aceite dieléctrico por transformador que presento falla. Fuente propia	73
Ilustración 42. Especificaciones técnicas. Fuente propia	74
Ilustración 43. Rotulo de sustancia peligrosa para el medio ambiente. (ACHS, 2003).....	74
Ilustración 44 EPP. Fuente propia	76
Ilustración 45 Resumen cumplimiento de objetivos.....	82

Lista de Tablas

Tabla 1. Transformadores trifásicos.....	40
Tabla 2. Transformadores Monofásicos	42
Tabla 3. Circuitos monofásicos desbalanceados. Autoría propia.....	48
Tabla 4. Circuitos trifásicos desbalanceados. Autoría propia	51
Tabla 5. Porcentaje Desbalance respecto a la muestra Autoría propia	54
Tabla 6. Cinco ¿por qué? falla del transformador.....	58
Tabla 7 Ahorro real de energía. Autoría propia.....	61
Tabla 8. Ahorros económicos Autoría propia.....	62
Tabla 9. Valor recursos Hora- CENS Autoría propia	64
Tabla 10. Costo sellado transformador. Autoría propia.....	65
Tabla 11. Costo mantenimiento correctivo transformador. Autoría propia.....	66
Tabla 12. Costo Cambio transformador. Autoría propia.....	66

Lista de símbolos y abreviaturas

A – Amperios.

BT- Baja tensión.

CO₂ – Dióxido de Carbono.

C₂H₂ – Acetileno.

C₂H₄ – Etileno.

C₂H₆ – Etano.

CENS – Centrales Eléctricas de Norte de Santander.

CO – Monóxido de Carbono.

CREG – Comisión de Regulación de Energía y Gas.

EPM – Empresas Públicas de Medellín.

ESP – Empresa de Servicios Públicos.

H₂ – Hidrogeno.

I – Corriente.

MT- Media tensión.

N₂ – Nitrógeno.

NTC – Norma Técnica Colombiana.

OR- Operador de Red.

R- Resistencia.

RETIE- Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.

SA – Sociedad Anónima.

SAIDI- System Average Interruption Duration Index

XIV

SAIFI- System Average Interruption Frequency Index

V- Voltaje

Introducción

En un mundo donde la electricidad es fundamental para el desarrollo político social y económico, se evidencia que la mayoría de los elementos presentes en el diario vivir funcionan o tienen como fuente de alimentación la electricidad, postulado que convierte a la misma en una necesidad, por esta razón es indispensable estudiar las interacciones referentes a calidad del servicio.

En el marco de las afirmaciones anteriores, en Colombia a partir de la crisis energética presentada en el año de 1992 el Ministerio de Minas y Energía ha venido emanado resoluciones que, de manera escalonada, buscan mejorar la continuidad de la prestación del servicio de energía eléctrica. En el 2018 entra en vigor la resolución 015 emitida por la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG 015) donde exige a los operadores de red cumplir una serie de indicadores que los penalizan por la cantidad de interrupciones y el tiempo sin servicio que tenga el usuario, estos indicadores conocidos como SAIDI y SAIFI presentan metas anuales cada vez más exigentes para el distribuidor de energía eléctrica, esto con el fin de que el usuario cuente con un mejor servicio.

En consecuencia, el proyecto integral de grado comprende el análisis y descripción de circuitos de distribución de energía eléctrica de baja tensión, en área definida como la zona metropolitana de Cúcuta, los cuales son reportados mediante las redes sociales y que éstas denuncias o quejas cumplan con la condición de presentar desbalance de carga entre las fases de los circuitos. En efecto, el proyecto es un examen integral efectuado en redes de baja tensión, que derivan en el análisis y descripción de los impactos técnicos, económicos y ambientales producto del diagnóstico de circuitos con desbalance de corriente entre fases.

Finalmente, con base en lo anterior, se hace claridad que este documento elaborado no da solución a ninguno de los hallazgos encontrados en el desarrollo

de este proyecto. Por tanto, es un documento soporte para la creación de nuevos trabajos relacionados al comportamiento de las cargas eléctricas y la calidad del servicio de la energía eléctrica a cargo del operador de red.

1 Capítulo. Planteamiento del problema

En este capítulo se exponen las generalidades de la investigación, en otras palabras, el problema que se desea responder, proporcionando respuesta al desbalance que se presenta entre las cargas de las fases de circuitos de distribución de energía eléctrica de baja tensión el cual representa de alguna forma afectaciones en el normal funcionamiento, por tanto, para mayor claridad sobre los aspectos relacionados con el problema que se investiga, este capítulo está dividido en seis apartados. El primero contiene los antecedentes de la investigación, en el que se comentan los estudios y resultados anteriormente realizados sobre el tema; el segundo hace énfasis en el planteamiento del problema, donde se especifica su origen e importancia; el tercer apartado contiene el objetivo general y los específicos; el cuarto la justificación, en la que se connota las fallas actuales en un circuito al presentar desbalance en sus cargas, en el quinto subtítulo se encuentra la definición de términos utilizados durante el desarrollo del documento y por último la legislación, primordial en el desarrollo de cualquier actividad que se realice en la actualidad. De esta manera, los objetivos que se cumplen con el avance de este proyecto y con la metodología utilizada, con seguridad contribuyen a evidenciar por qué se presenta desbalance en los circuitos eléctricos de baja tensión, razón de ser del trabajo integral de grado.

1.1 Antecedentes



Ilustración 1 Queja ciudadana (ATN, 2019)

En la actualidad los sistemas de distribución de energía eléctrica son circuitos que requieren una gran atención. A fin de que su funcionamiento sea óptimo y garanticen la prestación del servicio en todo momento a los usuarios de esta red. Realizar un análisis de campo en el cual se observe el real funcionamiento de los componentes de un circuito de distribución de energía eléctrica de baja tensión y de como este se desempeñe cuando existe un desbalance de corrientes entre sus

fases es el objetivo de este trabajo. Ya que la calidad y confiabilidad de los sistemas de distribución son vitales en un mundo con total dependencia a la energía eléctrica.

La naturaleza y el medio ambiente son parte de las calles de Cúcuta donde sus vías son cubiertas por gran cantidad de árboles que a su vez son el hogar de gran cantidad de aves y otras especies ambientales. Las redes eléctricas según (Anero Cárcamo, 2007) en su proyecto titulado Técnicas de Investigación de Incendios. Incendios de Origen Eléctrico dice que “una fuente de calor causada por un fallo eléctrico” generan más del 70% de los focos de incendio que se producen. Por esta razón se analizará cual es la huella ambiental que los circuitos eléctricos desbalanceados presentan.

No menos importante que cualquiera de los antecedentes ya mencionados es el impacto ambiental que se genera por el uso de aceites minerales dieléctricos para la refrigeración de los transformadores de distribución (Castaño Orozco, Metodología de Gestión Ambiental para Aceite Dieléctrico de Transformador: "Análisis del Ciclo de Vida (ACV)", 2014) en su tesis de maestría nos dice que la mayor impacto ambiental se presentan en cambio climático, ecotoxicidad acuática marina y toxicidad humana.

La distribución de las cargas entre sus fases de manera equitativa es muy importante en los circuitos trifásicos. En el artículo de revista titulado Efecto del desbalance en las cargas sobre la valoración de confiabilidad de un sistema de distribución de energía eléctrica (Gómez y Zapata, 2007) los autores muestran como las redes sufren alteraciones con el paso del tiempo.

El análisis de los circuitos eléctricos se debe de ejecutar de manera que se convierta en un mantenimiento preventivo tal como lo dice (Rodríguez Chamorro, 2015) en su tesis el desbalance de cargas y tensiones de un circuito se puede dar con el simple hecho de cómo se conecten los usuarios; en efecto, se tiene como caso de estudio circuitos de distribución de baja tensión que son manipulados por diferentes equipos de trabajo del operador de red regional incurriendo en la modificación o desbalances de cargas si no se presenta un esquema de conexión normatizado por el operador de red.

Los circuitos eléctricos de distribución de energía eléctrica son redes diseñadas para asumir cargas a demanda de los usuarios. Realizar un balance de las corrientes entre sus fases requiere de todo un análisis y de una metodología (Carvajal, 2001) menciona en su artículo Balanceo de circuitos de distribución primaria como realizan este proceso en Cuba. Del cual partimos para realizar un comparativo del mismo circuito en los dos escenarios. De esta forma, se convertirá en el pilar de este estudio, al presentar una ilustración de manera real del comportamiento de las cargas eléctricas dentro de un circuito de distribución de energía eléctrica de baja tensión.

Mantener un continuo balance en las redes de distribución de energía eléctrica es un desafío que requiere del ingeniero eléctrico o electromecánico utilizar destrezas para innovar y disminuir las pérdidas (Pérez, 2008) en el artículo de revista titulado Optimización del balance de cargas en circuitos de distribución primaria. Muestra como disminuyen las pérdidas técnicas de un circuito primario de Cuba. Mediante el uso de un modelo matemático que mejora las técnicas para equilibrar los circuitos eléctricos.

Las fallas en transformadores producto de mal funcionamiento o sobrecargas según (Guerrero y Melero, 2012). En el libro UF0896: Montaje y mantenimiento de transformadores nos presenta entre sus recomendaciones el cuidado que se debe dar a las temperaturas de operación ya que en regímenes superiores a los diseñados causa degeneración de aislamientos como consecuencia, la destrucción del transformador. El análisis del incorrecto funcionamiento de los equipos de transformación nos dará potenciales indicadores de pérdidas económicas e impacto ambientales ya que los transformadores de distribución de energía eléctrica del área metropolitana de Cúcuta en su mayoría contienen aceites en su interior.

El mantenimiento industrial como ficha esencial para el funcionamiento de la industria, un enfoque preventivo y no correctivo como se habla en el libro de (Medrano, González y Díaz, 2017) titulado Mantenimiento Técnicas y aplicaciones. Donde se da una descripción de cada uno de los tipos de mantenimientos que existen. De esta forma, los categoriza en mantenimientos de tipo predictivo, preventivo y correctivo.

El análisis de la red y la identificación de conexiones donde se presenten aumento de temperatura sobre todo en los bornes del secundario del transformador según lo presenta (Innovación 2012). En la Guía para el docente y solucionarios: Montaje y mantenimiento de redes eléctricas de alta tensión de segunda y tercera categoría y centros de transformación. Puede generarse por varios factores los cuales son otro factor potencial para incurrir en deficiencia en la calidad del servicio entre otras.

1.2 Problema

Las redes de distribución de energía eléctrica de baja tensión (BT) son circuitos eléctricos que se diseñan proyectando la demanda de carga y se da por hecho que la corriente por fase es la misma. Sin embargo, los circuitos de distribución funcionan a demanda de la carga requerida por los usuarios, por lo que son susceptibles a presentar desbalance de corrientes entre sus fases. Por tanto, los circuitos eléctricos de distribución se diferencian de un circuito industrial porque el diseñador sabe la carga real a instalar.

Lo que genera que se presenten fallas en la prestación del servicio de energía y su causa se desconocida generando quejas en los usuarios a través de redes sociales y siendo estas la motivación para estudiar respecto al problema que se presenta en las redes de distribución de energía eléctrica de baja tensión.

Los circuitos eléctricos son “un conjunto de dispositivos o de medios por el que puede circular corriente eléctrica” (Gutiérrez y Jiménez ,2014). De esta manera, en sistemas trifásicos o en un sistema monofásico trifilar se dividen las cargas de forma equitativa entre sus fases asumiendo que no sufrirá modificaciones. De esta forma nace la necesidad de describir y analizar ¿El desbalance que se presenta entre las cargas de las fases de circuitos de distribución de energía eléctrica de baja tensión representa de alguna forma afectaciones en el normal funcionamiento del circuito?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

- Evaluar el impacto del desbalance de cargas en los circuitos de distribución de energía eléctrica de baja tensión para conocer los efectos en la red.

1.3.2 Objetivos específicos

- Analizar el impacto técnico presente en los circuitos desbalanceados mediante la toma de datos para describir el comportamiento del sistema.
- Calcular el impacto económico que se origina en un circuito por causa del desbalance eléctrico.
- Describir el impacto ambiental que se genera cuando se presenta desbalance de cargas en un circuito eléctrico.

1.4 Acotaciones

- El objeto de análisis se limita a obtener una primera aproximación teórica de la influencia del desbalance de los valores eficaces de las cargas en circuitos de distribución de energía eléctrica; desde la perspectiva de la estadística descriptiva con mediciones de control con nivel de exactitud no mayor a 1,0 % y estimación puntual o de Fisher.
- La población objeto de estudios se limita a redes de distribución de energía eléctrica de baja tensión, del área metropolitana de Cúcuta con 6141 circuitos.
- La muestra objeto de estudio se limita a 96 circuitos del total de la población.

1.5 Justificación

Las líneas de distribución de energía eléctrica de baja tensión son sistemas que con el paso del tiempo presentan un funcionamiento defectuoso como el recalentamiento de algunos puntos de conexión; la elongación de las redes de distribución en algunos horarios del día; la quema de fusible de transformadores sin causa externa alguna e incluso la fuga de aceite por bornes de BT en el transformador asociado a este circuito.

Por esta razón es importante realizar la pregunta ¿qué pasa en los circuitos de distribución de energía eléctrica después de que están en uso y pasa el transcurrir del tiempo viéndose intervenida por diversos recursos?

La ejecución de este estudio nace de verificar si las causas de fallas presentes en circuitos de distribución de energía eléctrica están asociadas al desbalance de las corrientes que circulan entre sus fases.

1.6 Definición de términos

Desbalance eléctrico: El desbalance en redes trifásicas es un fenómeno que ocurre en los sistemas donde las tensiones y ángulos entre fases consecutivas no son iguales. La principal causa son las cargas monofásicas sobre el sistema trifásico, debido a una distribución no homogénea, en especial la de consumidores de baja tensión de índole monofásica (Medallo, 2018).

Redes de baja tensión: Es el conjunto de equipos o elementos que se utilizan para transportar la energía eléctrica a tensiones nominales menores o iguales a 1000 V. Este tipo de redes es el utilizado para llevar la energía eléctrica desde los

transformadores de distribución tipo poste hasta las acometidas de los usuarios finales (Narváez y Prado, 2012).

Carga eléctrica: La potencia eléctrica requerida para el funcionamiento de uno o varios equipos eléctricos o la potencia que transporta un circuito (Narváez y Prado, 2012).

Los circuitos de distribución de energía eléctrica de baja tensión a estudiar se encuentran soportadas en estructuras que las soportan y les dan elevación para evitar un número de riesgos que se pueden estudiar en el RETIE, teniendo presente que se encuentran elevadas sobre el nivel del suelo, se requiere dar cumplimiento a la Resolución 1409 (trabajo M. d., 2012) la cual habla sobre el reglamento de seguridad para protección contra caídas en trabajo en alturas.

RETIE: (RETIE, 2013) Es el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas y fue creado por el Decreto 18039 de 2004, del Ministerio de Minas y Energía. El objetivo de este reglamento es establecer medidas que garanticen la seguridad de las personas, vida animal y vegetal y la preservación del medio ambiente, previniendo, minimizando o eliminando los riesgos de origen eléctrico.

CENS: Central eléctrica de Norte de Santander S.A., E.S.P. Grupo E.P.M. más conocida por su sigla de CENS, es una empresa de servicios públicos mixta de nacionalidad colombiana que presta el servicio de energía eléctrica al departamento de Norte de Santander sur del Cesar y sur de Bolívar con sede en Cúcuta, Pamplona, Tibú, Ocaña y Aguachica.

CREG: La Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG, 1994) es la entidad colombiana encargada de regular los servicios de electricidad y gas, según se

establece en la Ley 142 y 143 de 1994. Creadas por el gobierno nacional de Colombia con el fin de regular las actividades de los servicios públicos.

1.7 Legislación

A continuación, se nombran algunas de las leyes y regulaciones que están relacionadas con el suministro y distribución de energía eléctrica.

Ley 142 (Ley 142, 1994) Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones.

Ley 143 (Ley 143, 1994) Establece el régimen de las actividades de generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad, que en lo sucesivo se denominarán actividades del sector, en concordancia con las funciones constitucionales y legales que le corresponden al Ministerio de Minas y Energía.

Ley 99 de 1993 (ambiente, 1993) por la cual se crea el ministerio de medio ambiente y se dictan otras disposiciones.

Decreto 1609 de 2002 (transporte, 2002) por el cual se reglamenta todo lo relacionado a mercancías peligrosas, considerando para el desarrollo de este trabajo como sustancia peligrosa al aceite dieléctrico que contiene los transformadores de distribución de energía eléctrica.

Decreto 2820 de 2010 (Ministerio de ambiente, 2010) hace referencia a todo lo referente a licencias ambientales.

Decreto 1299 del 2008 (Ministerio de Ambiente, 2008) por el cual se reglamenta el departamento de gestión ambiental de las empresas a nivel industrial y se dictan otras disposiciones.

Decreto 1791 de 1996 (rural, 1996) por la cual se reglamentó el aprovechamiento forestal en este decreto se relaciona todo lo relacionado a las podas que ejecuta el OR.

Resolución 5018 (trabajo, 2019) por la cual se rigen los lineamientos de SG SST para el sector eléctrico y es indispensable el cumplimiento de esta para el desarrollo del trabajo ya que se esté es referente a circuitos eléctricos de BT.

2 Capítulo. Marco teórico

El marco teórico que fundamenta este trabajo dará una idea más clara acerca de la temática a desarrollar, se dedicara a comprender conceptos específicos asociados con los contenidos que se basan en el desbalance de cargas en líneas de distribución de energía eléctrica y que conciernen con el desarrollo de los objetivos planteados.

2.1 Circuitos eléctricos

Para empezar, una red de distribución de energía eléctrica es un sistema de suministro eléctrico y su función es proveer energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios. De esta forma, este suministro eléctrico es responsabilidad de las compañías distribuidoras de electricidad. Sin embargo, las redes de distribución tienen múltiples problemas y uno de ellos muy importante es el desbalance en las cargas (Medallo, 2018). De igual manera, este sistema comprende una serie de elementos para poder llevar el suministro de energía entre las cuales están las líneas primarias, secundarias de distribución; transformadores de distribución; acometidas y medidores.

El estudio matemático del comportamiento de la energía eléctrica y las cargas que transportan se reflejan en el libro Análisis de sistemas de potencia (Grainger & Stevenson Jr, 1996). En el transcurso del libro se explican conceptos ingenieriles de electricidad de potencia.

Desde la generación de energía y sus representaciones fasoriales donde se representan mediante diagramas cuando los factores de potencia están en equilibrio, atraso o en adelanto respecto a la tensión.

2.2 Circuitos de baja tensión

Para efectos de esta investigación nos centraremos en las líneas de baja tensión que son redes de distribución de corriente continua cuyo valor nominal de corriente alterna es mayor o igual a 25 V y menor o igual a 1000 V (Capítulo 2, Artículo 12 Clasificación de los niveles de tensión – RETIE) Este Este tipo de redes es el utilizado para llevar la energía eléctrica desde los transformadores de distribución tipo poste hasta las acometidas de los usuarios finales.

2.3 Potencia eléctrica

Según (Wikipedia, 2020) la potencia eléctrica es la proporción por unidad de tiempo con la cual la energía eléctrica es transmitida en el circuito.

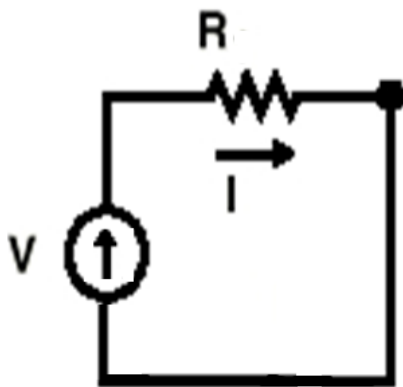


Ilustración 2 Circuito de CD (López, 2018)

La ilustración anterior es un circuito de corriente directa donde se evidencian los componentes básicos del mismo. Como lo son la fuente (v) quien da una diferencia de potencial, una carga (R) y una corriente que viaja para alimentar esta carga.

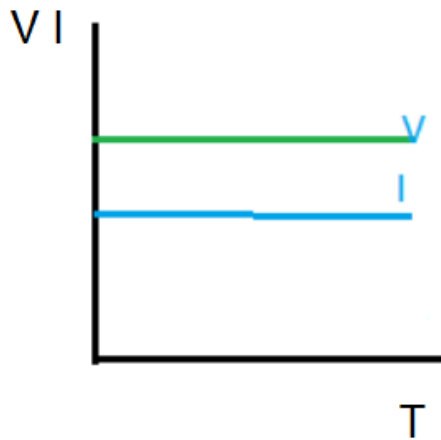


Ilustración 3 Diagrama de circuito de CD (López, 2018)

La ilustración anterior es una gráfica de un circuito de CD.



Ilustración 4 Diagrama Fasorial CD (López, 2018)

La representación del circuito se da de manera fasorial donde la corriente y la tensión no presentan Angulo uno respecto al otro lo que representa que es un circuito de CD.

Fórmula matemática de la potencia de un circuito de CD

$$P = V * I \quad (1)$$

Expresión matemática de potencia en circuito de CD

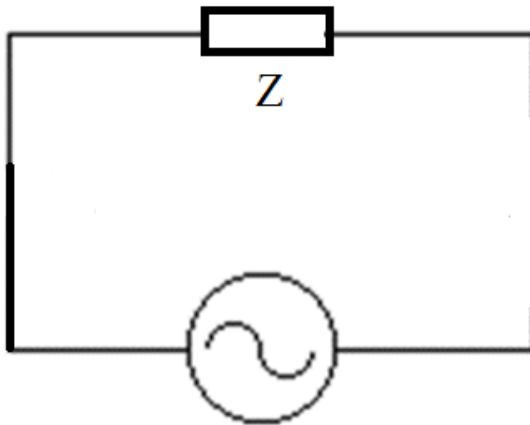


Ilustración 5 Circuito de CA (Rodríguez, 2018)

Los circuitos de corriente alternan tienen el mismo principio de los de corriente directa pero sus representaciones gráficas, fasoriales y matemáticas varían en los componentes presentes.

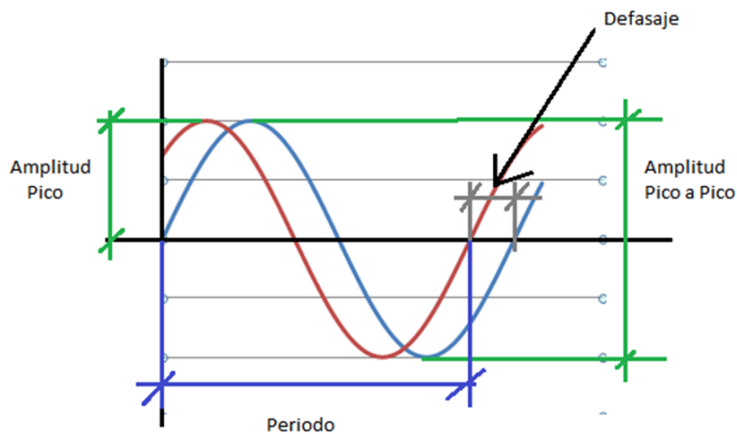


Ilustración 6 Onda senoidal de V.I. (Rodríguez, 2018)

La ilustración anterior a diferencia de las de CD presenta unas ondas de tensión y corriente donde se muestran algunos de los parámetros de la onda.

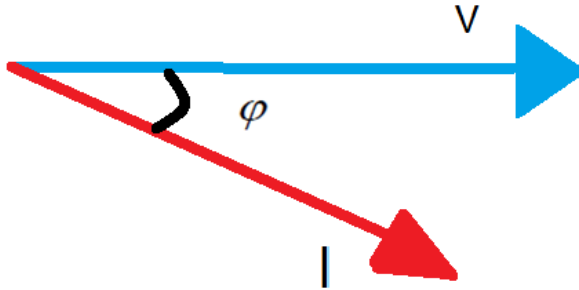


Ilustración 7 Diagrama fasorial CA (Rodríguez, 2018)

El diagrama fasorial de un circuito de CA muestra un Angulo entre la tensión y la corriente que circulan por el circuito.

$$P = V * I * \cos \varphi \quad (2)$$

Ecuación matemática de potencia en circuito de corriente alterna.

Para términos ingenieriles adicionamos que es una de las magnitudes de mayor interés en sistemas eléctricos tal como se manifiesta en (Rosell Polo, 2000)

Potencia activa: valor medio de la instantánea (Arrayás & Trueba, 2007)

$$P = \frac{1}{T} \int p(t) dt = p(t) = 3U_f I \cos \varphi = \sqrt{3} UI \cos \varphi \quad (3)$$

O suma de las activas de cada fase:

$$P = P_R + P_S P_T \quad (4)$$

Potencia reactiva: Σ . de las reactivas de cada fase:

$$Q = Q_R + Q_S Q_T = 3U_f I \sin \varphi = \sqrt{3} UI \sin \varphi \quad (5)$$

Potencia aparente: Σ . de las aparentes de cada fase:

$$\bar{S} = \bar{S}_R + \bar{S}_S + \bar{S}_T = \bar{U}_R \bar{I}_R + \bar{U}_S \bar{I}_S + \bar{U}_T \bar{I}_T = \sqrt{3} UI e^{j\varphi} = P + jQ \quad (6)$$

La potencia instantánea ya no es constante

La potencia activa, ya no es igual a $\sqrt{3} UI \cos \varphi$

$$P = P_R + P_S + P_T = U_R I_R \cos \varphi_R + U_S I_S \cos \varphi_S + U_T I_T \cos \varphi_T \quad (7)$$

La potencia reactiva tampoco es $\sqrt{3} UI \sin \varphi$

$$Q = Q_R + Q_S + Q_T = U_R I_R \sin \varphi_R + U_S I_S \sin \varphi_S + U_T I_T \sin \varphi_T \quad (8)$$

Ni la potencia aparente es $\sqrt{3} UI$

$$\bar{S} = \bar{S}_R + \bar{S}_S + \bar{S}_T = \bar{U}_R \bar{I}_R + \bar{U}_S \bar{I}_S + \bar{U}_T \bar{I}_T = \sqrt{3} UI e^{j\varphi} = P + jQ \quad (9)$$

Y el factor de potencia (equivalente) es:

$$FP = \frac{P}{S} = \frac{P_R + P_S + P_T}{\sqrt{(P_R + P_S + P_T)^2 + (Q_R + Q_S + Q_T)^2}} \quad (10)$$

La caída de tensión $\Delta V = V_s - V_r$ se calcula mediante las siguientes formulas:

Para circuitos monofásicos:

$$\Delta V_{FASE-NEUTRO} = Z_{EF} * 2 * L * I \quad (11)$$

Para circuitos trifásicos:

$$\begin{aligned}\Delta V_{\text{FASE-NEUTRO}} &= \sqrt{3} * \Delta V_{\text{FASE-NEUTRO}} \\ \Delta V_{\text{FASE-NEUTRO}} &= 1.732 * \Delta V_{\text{FASE-NEUTRO}} \\ \Delta V_{\text{FASE-NEUTRO}} &= Z_{EF} * L * I \quad (12)\end{aligned}$$

Donde:

ΔV	Es la caída de tensión en voltios
L	Es la longitud del circuito en km
I	Es la corriente del circuito en A
Z_{EF}	Es la impedancia eficaz en ohm/Km

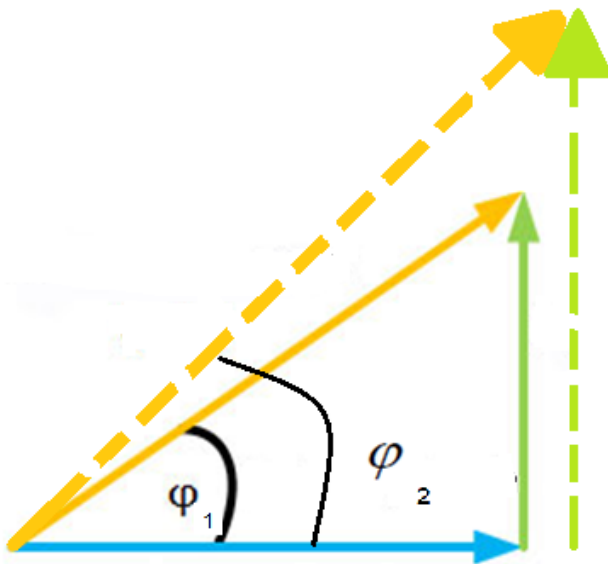


Ilustración 8 Potencias. (Rodríguez, 2018)

Ilustración anterior muestra potencias y su comportamiento a medida del aumento de cada una de ellas.

El análisis y comprensión de la energía y sus componentes son relevantes para el desarrollo y comprensión del estudio del impacto técnico que se pueda o no

presentar por el desbalance de cargas en sistemas de distribución de energía eléctrica.

2.4 Desbalance de cargas

Al referirnos al desbalance de cargas en redes trifásicas los distribuidores de energía manifiestan que es un fenómeno que ocurre en los sistemas donde las tensiones y ángulos entre fases consecutivas no son iguales. La principal causa son las cargas monofásicas sobre el sistema trifásico, debido a una distribución no homogénea, en especial la de consumidores de baja tensión de índole monofásica (Medallo, 2018). De esta forma, se resalta que existen indicadores que permiten determinar el desbalance que se presenta en líneas de media tensión; sin embargo, esta investigación está encaminada a describir y analizar el desbalance que se presenta en líneas de distribución de baja tensión y el impacto técnico, económico y ambiental que acarrea para el operador de red.

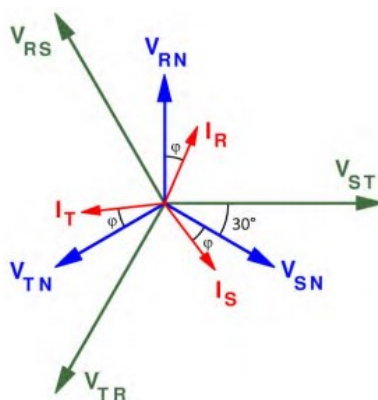


Ilustración 9 Diagrama fasorial en equilibrio

La ilustración anterior es un diagrama fasorial en el cual se encuentran graficadas las corrientes, las tensiones de línea y las tensiones línea tierra de un circuito trifásico el cual a su vez se encuentra en equilibrio.

2.5 Armónicos

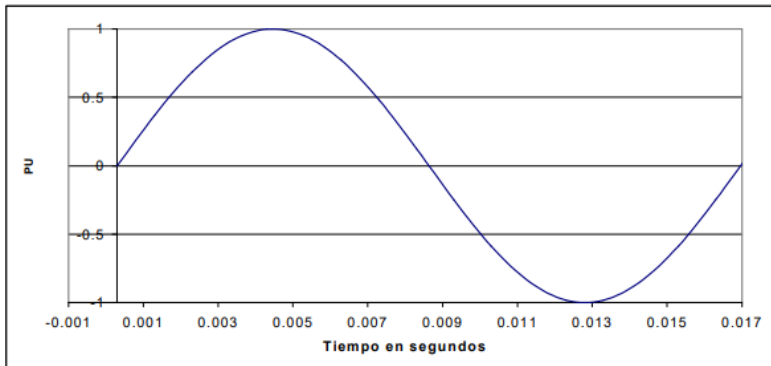


Ilustración 10 Onda Normal (Daríel Arcila, 2020)

La anterior ilustración muestra una onda senoidal sin alteraciones.

Para realizar un cálculo de las novedades que sufren las tensiones durante los desbalances de carga se requiere del estudio de los componentes simétricos de un circuito los cuales se utilizados en sistemas de energía eléctrica trifásicos no balanceados, aplicando el principio de superposición, tal como se plantea en (Fortescue , 1918) siempre y cuando las corrientes y tensiones del sistema se relacionen con impedancias lineales a este teorema se le conoce como: Teorema de Fortescue

$$I_a = I_a^0 + I_a^+ + I_a^-$$

$$I_b = I_b^0 + I_b^+ + I_b^-$$

$$I_c = I_c^0 + I_c^+ + I_c^-$$

Donde I_a^0, I_b^0, I_c^0 es un sistema $I_a^0 = I_b^0 = I_c^0$ iguales en magnitud y en fase. I_a^+, I_b^+, I_c^+ forma un sistema de secuencia positivo, en el cual se cumple que $I_b^+ = a^2 \cdot I_a^+$ y $I_c^+ = a \cdot I_a^+$

$$\begin{matrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{matrix} = \begin{matrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{matrix} * \begin{matrix} I_a^0 \\ I_b^+ \\ I_c^- \end{matrix} \quad (13)$$

Donde I_a^0, I_b^0, I_c^0 representan el sistema desbalanceado que se quiere representar como uno equilibrado, I_a^+ se denomina sistema de secuencia positiva o directa, I_a^- sistema de secuencia negativo-inversa e I_a^0 sistema de secuencia cero o homopolar. El operador a representa el desfase 120° . Esto es debido a que el desfase entre seno y coseno es de 90° .

Para que exista componente de secuencia homopolar es sistema tiene que ser desequilibrado (suma de los componentes del sistema no nula).

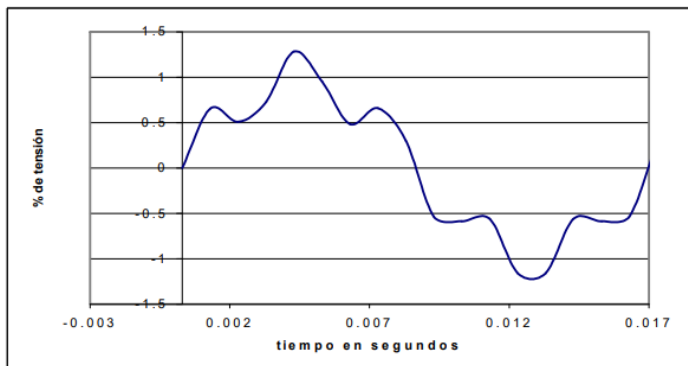


Ilustración 11 Onda en circuito desbalanceado (Dariel Arcila, 2020)

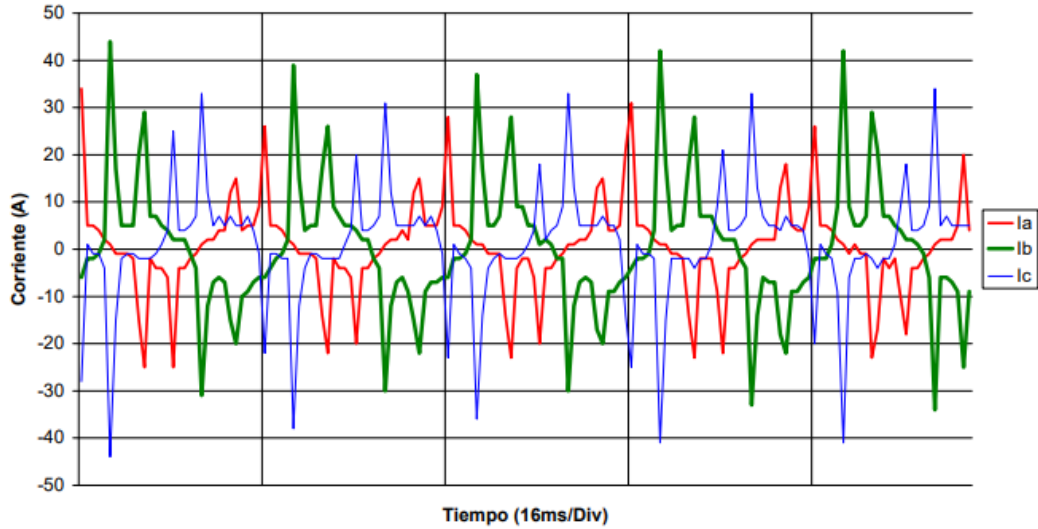


Ilustración 12 Circuito trifásico desbalanceado (Dariel Arcila, 2020)

Las dos ilustraciones anteriores muestran el cambio que sufren las ondas cuando se presenta un circuito desbalanceado.

2.6 Ley de Joule

Para poder realizar un cálculo de las pérdidas de energía se es indispensable tener conocimiento del efecto Joule el cual en el libro de (Perolini 2009). Titulado Introducción a los circuitos eléctricos nos dice:

$$Q = I^2 R t. \quad (14)$$

Donde Q es la cantidad de calor que es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente eléctrica (I^2) por la resistencia (R) y por el tiempo (T). Lo cual será fundamento para calcular la cantidad de corriente perdida en el circuito cuando este se encuentre desbalanceado.

2.7 Aplicación ley de Joule

Las pérdidas de energía eléctrica generan altos costos para los agentes involucrados en la prestación del servicio y los consumidores. por tanto, en el desarrollo de este proyecto se describe y analiza las pérdidas económicas que se generan en circuitos de distribución de baja tensión en el área metropolitana de Cúcuta cuando presentan desbalance en sus cargas lo que implica una serie de sucesos entre los cuales se destaca mantenimientos preventivos y predictivos con el fin suministrar un servicio de calidad a los usuarios. No obstante, cuando los transformadores presentan fallas por el desbalance se hace necesario los mantenimientos correctivos que generan pérdidas para el operador de red.

Para una mejor comprensión se plante el siguiente ejerció teniendo como referencia un circuito trifásico:

$$F_1 = Q = I^2 * R * T$$

$$F_2 = Q = I^2 * R * T$$

$$F_3 = Q = I^2 * R * T$$

Remplazando en circuito balanceado:

$$F_1 = Q = 1^2 * 1 * 1$$

$$F_2 = Q = 1^2 * 1 * 1$$

$$F_3 = Q = 1^2 * 1 * 1$$

$$F_1 = Q = 1 * 1 * 1$$

$$F_2 = Q = 1 * 1 * 1$$

$$F_3 = Q = 1 * 1 * 1$$

Teniendo una sumatoria de corrientes de 3 amperios, esto asimilando que el circuito trifásico del ejercicio anterior presenta balance entre sus líneas. Ahora asumiendo que el mismo circuito con las mismas componentes de R y T se encuentra desbalanceado entre las corrientes que circulan por sus fases obtenemos:

$$F_1 = Q = 0^2 * 1 * 1$$

$$F_2 = Q = 0^2 * 1 * 1$$

$$F_3 = Q = 3^2 * 1 * 1$$

$$F_1 = Q = 0 * 1 * 1$$

$$F_2 = Q = 0 * 1 * 1$$

$$F_3 = Q = 9 * 1 * 1$$

En el caso anterior encontramos que la suma de las corrientes tiene una diferencia significativa respecto al circuito balanceado, lo que genera pérdidas en el circuito.

El estudio de normas internacionales como la NEMA, IEEE e IEC donde se referencie como se realiza el cálculo y porcentaje por circuito de desbalance es el tema tratado en el artículo titulado “Análisis de las definiciones de desequilibrio de tensión y su influencia con los efectos en la operación de motores trifásicos de inducción: la necesidad de una nueva definición” presenta un comparativo entre la forma de como calcula cada norma el porcentaje de desbalance lo cual es de gran aporte para determinar el desbalance presente en los circuitos de distribución de baja tensión a estudiar en el transcurso de este trabajo. Según (Quispe O & Palacios P., 2012) el cálculo de cada norma es el siguiente:

2.8 Definición NEMA

La Norma NEMA (Asociación Nacional de Fabricantes de Equipos NEMA por sus siglas en inglés) define el desbalance de tensión mediante un índice conocido como “Tasa de desequilibrio de voltaje de línea (LVUR)”, que es la máxima desviación del voltaje de línea con respecto al valor de línea promedio, dividido entre el voltaje de línea promedio y está dado por

Desviación máxima

$$LVUR = \frac{\text{del promedio de } \{V_{ab}, V_{bc}, V_{ac}\}}{\text{Promedio de } \{V_{ab}, V_{bc}, V_{ac}\}} \quad (15)$$

Donde:

$$\text{Promedio de } \{V_{ab}, V_{bc}, V_{ac}\} = \frac{V_{ab} + V_{bc} + V_{ac}}{3}$$

V_{ab}, V_{bc}, V_{ac} son las tensiones de línea del sistema eléctrico que alimenta el motor.

Generalmente el desbalance de tensiones se da en porcentaje (%), por lo tanto

$$\% LVUR = LVUR \times 100$$

La Definición NEMA asume que la tensión promedio es igual a la tensión nominal y además solo trabaja con magnitudes pues los ángulos de la tensión no son incluidos en la ecuación.

2.9 Definición IEEE

La definición de la IEEE (Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos), es también conocida como “Tasa de desequilibrio de voltaje de fase (PVUR)”, está dada por

$$PVUR = \frac{\text{del promedio de } \{V_a, V_b, V_c\}}{\text{Promedio de } \{V_a, V_b, V_c\}} \quad (16)$$

Donde V_a, V_b, V_c son las tensiones fase neutro que alimenta el motor

La Definición de la IEEE usa el mismo concepto de desbalance de tensión que la definición NEMA, la única diferencia es que la IEEE usa la tensión fase-neutro en lugar de la tensión línea-línea. En esta definición también se pierde la información del ángulo de la tensión pues solo se consideran las magnitudes de la tensión.

2.10 Definición IEC o definición de componentes simétricas

La Definición de desbalance de tensión dada por la IEC o definición de componentes simétricas, es también conocida como “Factor de desequilibrio de voltaje (VUF)”, es dada por

$$VUF = \frac{V_2}{V_1} \quad (17)$$

Donde V_2 es la amplitud de secuencia negativa \bar{V}_2 y V_1 es la amplitud de la componente de tensión de secuencia positiva \bar{V}_1

Para un conjunto de desbalanceado de tensiones de línea V_{ab}, V_{bc}, V_{ca} la componente de tensión de secuencia positiva V_1 y la componente de tensión de secuencia negativa V_2 están dadas por los siguientes fasores:

$$\bar{V}_1 = \frac{V_{ab} + a*V_{bc} + a^2*V_{ca}}{3}$$

$$\bar{V}_2 = \frac{V_{ab} + a^2*V_{bc} + a*V_{ca}}{3}$$

$$\text{Donde } a = -0.5 + j0.866 \text{ y } a^2 = -0.5 - j0.866$$

Generalmente el desbalance de tensiones se da en porcentaje (%), por lo tanto, es más común encontrar

$$\%VUF = VUF * 100$$

2.11 Definición del factor complejo de desbalance de tensión ò índice Oliveira-Wang

La definición de desbalance de tensión propuesta por Oliveira y Wang, conocida como “Factor de desequilibrio de voltaje complejo (CVUF)”, es dada por

$$CVUF = \frac{\bar{V}_2}{\bar{V}_1} \quad (18)$$

Esta definición es fundamentalmente la misma que la definición del VUF dada por la IAC, la única diferencia es que se incluyen los factores de frecuencia con los ángulos y amplitud, por lo tanto:

$$CVUF = \frac{\overline{V_2}}{\overline{V_1}} = \frac{V_2 < \theta_2}{V_1 < \theta_1} = \frac{V_2}{V_1} < \theta$$

Las tensiones línea- línea se calculan a partir de estos valores de fase y son:

$$V_{ab} = V_a - V_b$$

$$V_{bc} = V_b - V_c$$

$$V_{ca} = V_c - V_a$$

2.12 Calidad de la energía

Cuando hablamos de calidad de energía el operador de red debe garantizar un suministro con tensiones equilibradas y de amplitudes y frecuencias constantes (Gómez y Holguín, 2010) Es decir, contar con un servicio de calidad, costos viables de un funcionamiento adecuado, seguro y confiable sin afectar el bienestar de los usuarios. De acuerdo, a lo anterior el operador de red está regulado por leyes y resoluciones que le exigen suministrar y distribuir energía de calidad a los consumidores.

Por tanto, El cálculo de las protecciones de los equipos de transformación de la energía eléctrica instalados en la infraestructura del operador de red se rigen por estándares y leyes internacionales que a su vez son contenidas en las normas técnicas de la casa matriz (EPM, 2011) titulado “Fusibles para protección de

ramales y transformadores de distribución a instalar en postes” donde se anexa tablas con los fusibles recomendados a ser usados dependiendo de la capacidad del transformador y de la tensión nominal del primario.

2.13 CREG 015

También es importante la normatividad vigente en el país en este caso la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional, teniéndose la Resolución CREG 015 del 2018 quien es la que (Ministerio de Minas y Energía, 2018) quien regula la remuneración y a su vez penaliza a los operadores de red (OR) por calidad de servicio mediante indicadores de desempeño propios para cada OR y con parámetros diseñados de igual forma para cada empresa distribuidora de energía eléctrica, en este caso el SAIDI y SAIFI.

$$SAIDI = \frac{Usuarios\ afectados\ X\ tiempo}{Usuarios\ OR\ (CENS)} \quad (19)$$

$$SAIFI = \frac{Ususrios\ afectados}{Usuarios\ OR\ (CENS)} \quad (20)$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} \quad (21)$$

2.14 Medio ambiente

Una de las mayores problemáticas que se enfrenta actualmente es el deterioro del medio ambiente producto de que el hombre a manipulado los recursos renovables y no renovables de forma inconsciente generando grandes pérdidas ecológicas para satisfacer sus necesidades. Por tanto, en el desarrollo de este proyecto se describe factores que contribuyen a la contaminación ambiental por procesos en los cuales fallan los transformadores de energía eléctrica.

2.15 Aceite dieléctrico

Los aceites dieléctricos de base mineral son sustancias químicas utilizadas ampliamente alrededor del mundo, tienen su origen en el petróleo y su ciclo de vida incluye una serie de procesos que se inician con la extracción del petróleo crudo, pasando por transporte y manufactura, hasta llegar finalmente a la disposición del residuo (Castaño, 2013). De esta forma, se resalta que los transformadores de energía eléctrica poseen en su interior aceite dieléctrico de origen mineral que cuando fallan y estallan emitiendo gases tóxicos a la atmosfera a largo plazo; de igual manera, cuando son vertidos por derrame en el suelo causan deterioro en la flora y la fauna. Por lo cual, se hace necesario que los transformadores de energía por parte de los operadores de red asuman constantemente mantenimientos preventivos que eviten la contaminación ambiental. Por otro lado, las empresas que suministran y distribuyen energía eléctrica deben seguir trabajando en estrategias que permitan mitigar el impacto ambiental.



Copyright @ Ecosmep, s.l.l.
Todos los derechos reservados

Ilustración 13 Sustancia líquida potencialmente peligrosa. (Ecosmep, 2017)

2.16 Componentes del costo de la prestación del servicio de energía

En el desarrollo del cumplimiento del objetivo 2, el cual refiere a la parte económica se hace referencia al valor que presenta el costo de prestación del servicio de energía CU

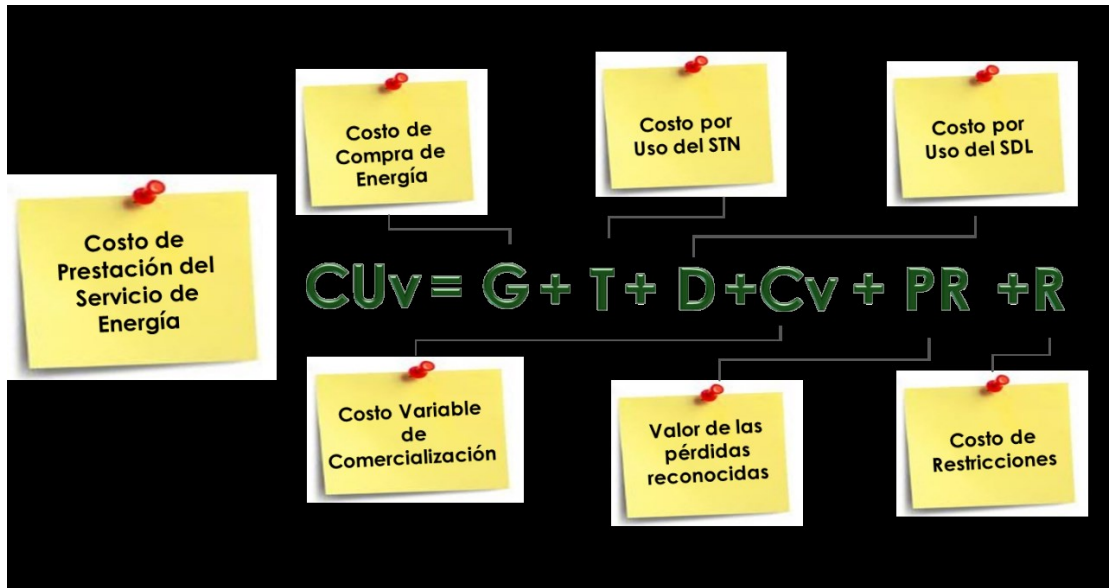


Ilustración 14 El CU (Jaramillo P. 2016)

La ilustración anterior refiere a los componentes que integran el costo de la prestación de la energía eléctrica la cual es facturada en KW/h por el operador de red todos los meses y el consumo de este es lo que se cancela en dicho recibo.

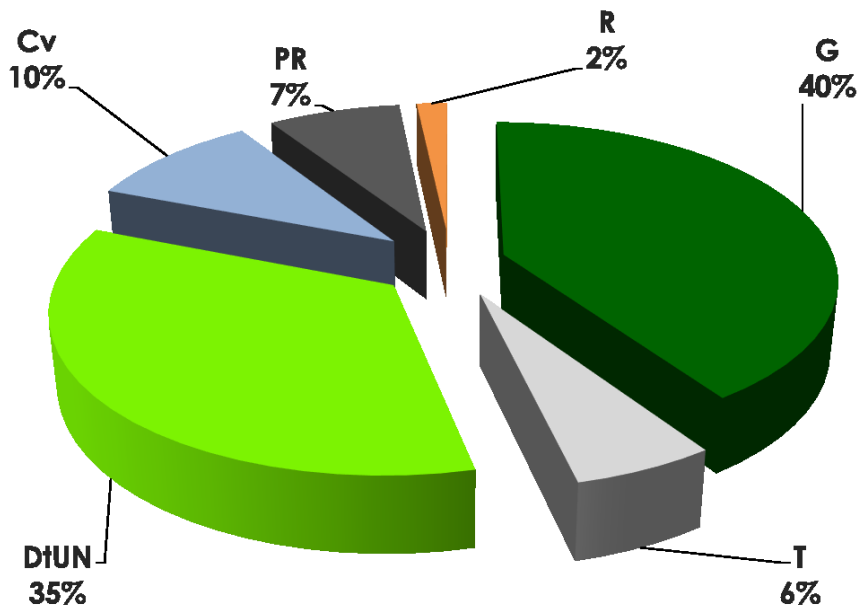


Ilustración 15 Componentes del CU

La imagen anterior ilustra que porcentaje corresponde a cada uno de los componentes de la tarifa de energía.

Por último, se requiere tener conocimiento referente a el portafolio de servicios (CENS, 2019) que ofrece el operador de red de la región con el fin de que se tenga en cuenta de donde provienen algunos valores relacionados en el desarrollo del trabajo.

3 Capítulo. Marco metodológico

El enfoque que sustenta este trabajo es de tipo cualitativo -descriptivo es decir el objetivo principal es la descripción de algo, generalmente las características o funciones del problema en cuestión (Malhotra,1997). En este sentido, se busca representar que sucede con los circuitos de baja tensión cuando presentan desbalance y generan la interrupción de energía en el área metropolitana de Cúcuta. En otras palabras, para esta investigación se manejará la investigación cualitativo -descriptivo que “consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento.” (Arias, 2012, p.24). En este orden de ideas, la investigación permite llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes del contexto en cual se desarrolla la investigación, de tal forma, detallar cada proceso de recolección de datos identificado las relaciones que existen entre las variables que en esta cuestión particular tiene que ver con el impacto técnico, económico y ambiental que se genera cuando se presentan circuitos de baja tensión desbalanceados que conllevan a la interrupción del servicio de energía. Sin embargo, se resalta que el análisis cuantitativo se lleva a cabo en el impacto técnico y económico que genera los circuitos de baja tensión cuando presentan desbalance en sus fases; en cuanto al impacto ambiental se describe la problemática que se presenta cuando fallan los transformadores vertiendo aceite de origen mineral que contaminan el medio ambiente y a largo plazo contribuyen al calentamiento global.

3.1 Población

Tamayo (2003) define la población como “la totalidad del fenómeno a estudiar en donde las unidades de población poseen una característica común, la cual se estudia y da origen a los datos de investigación” (pág.176).

Por tanto, se establece la población de circuitos de baja tensión en el área metropolitana de Cúcuta es de 6149 circuitos de distribución de energía eléctrica.

3.2 Sistema de medición



Ilustración 16. Analizador de red. METREL (Mercado libre, Sd)

En la ilustración anterior se puede observar un analizador de red trifásico portátil que permite al operador de red detectar anomalías presentes en las redes de distribución de energía eléctrica mediante el registro de datos para ser analizados en un software propio de la marca METREL. El equipo es el PowerQ4 MI2592 con las siguientes características técnicas (METREL, 2009):

- Temperatura de funcionamiento: +10 a 50 °C
- Humedad máxima 95% HR sin condensación
- Peso 0,65 kg
- Tensión de entrada 1000 v
- Precisión 0,5 % en circuitos de CD
- Precisión 0,2 en circuitos de CA.



Ilustración 17 Componentes de analizador de red. Fuente propia

La ilustración anterior contiene un analizador de red dentro de una caja polimérica que lo aísla de los factores ambientales externos y fuera de ella encontramos las

pinzas de corriente (azules) y las pinzas de tensión (pinzas con punta de caimán) componentes requeridos para las medidas a efectuar.

3.2.1 Mediciones de control

Para el análisis e interpretación de los datos adquiridos en el desarrollo del trabajo se requirió de tener presente conceptos tales como el de mediciones de control según (Luque Romera, 2018) es la función de medir y corregir un proceso para evaluar metas o planes propuestos. Para tal fin se requiere trabajar mediante estimación puntual para dar un valor aproximado del valor con los datos que se tienen esto según (Navarro, 2018)

3.3 Equipos analizados

Bavaresco (2013) especifica que la muestra “la cual no, es más, que un subconjunto de la población, con la que se está trabajando.” (p.92). Lo anteriormente expuesto, plantea que la muestra a seleccionar estará conformada por 96 circuitos de baja tensión producto de las denuncias y quejas efectuadas en redes sociales por la ciudadanía durante los años 2018 y 2019 por fallas en la calidad del servicio. La recopilación de la información se realizó mediante equipos denominados analizadores de red donde se tomaron 600 mil datos para describir 96 circuitos intervenidos. Entre los que se encuentran 74 circuitos trifásicos tetrafilares y 22 circuitos monofásico trifilares los cuales se encuentran distribuidos entre los municipios de Los Patios, Villa del Rosario y Cúcuta. Por otra parte, los circuitos estudiados presentan cargas residenciales y mixtas. No se analizan circuitos industriales.

Las siguientes tablas contienen los circuitos de BT intervenidos. Divididas en cuatro columnas denominadas como:

- Código: número de identificación del circuito eléctrico asignado por el operador de red, en este caso todos inician por 1T.
- Marca del Transformador: Hace referencia al fabricante del equipo de transformación ubicado en terreno.
- KVA: Capacidad aparente de carga del transformador.
- Dirección del transformador: Ubicación geográfica del transformador relacionado en la fila.

Tabla 1. Transformadores trifásicos

Código.	Marca del transformador	KVA	Dirección del transformador.
1T00002	SIEMENS	112,5	AV 6 23N-05 PRADOS NORTE
1T00096	MAGNETRON	225	KDX 42-4-1 INSULA
1T00239	SIEMENS	150	AVENIDA 12 19-27 TOLEDO PLATA
1T00481	ABB	75	MZ 13 L 42-1 LA PRIMAVERA
1T00627	STROMBERG	75	TRANSV 17 2-02 KDX 410 B/LOS ALPES
1T00629	MAGNETRON	45	CLL 0 17-104 B/PUEBLO NUEVO
1T00726	MAGNETRON	112,5	AV 3E 13A-49 CAOPOS
1T00957	ABB	45	CLL 13 3E-47 RES. LOS CAOPOS
1T01102	RYMEL	75	AV 6B 30-08 HERMITA
1T01180	CODELECTRICOS	75	CLL 0 9E-55 QUINTA ORIENTALS
1T01273	MAGNETRON	75	AV 10E 13-19 GUAIMARAL
1T01289	TPL	112,5	AV 11E 5-87 B/QUINTA ORIENTAL
1T01337	SIEMENS	45	AVE LBT BLQ H. EDF. I.C.T.
1T01338	CDM	45	AV LBT BLQ EYF ZULIMA EDF. I.C.T.
1T01339	RYMEL	30	AVE LBT BLOQUES C Y D
1T01404	MAGNETRON	225	CLL 6 3E-22 POPULAR
1T01405	MAGNETRON	75	CLL 6 0E-48 POPULAR
1T01429	TPL	75	AV 11B 11-116-M B/LA RIVIERA
1T01477	MAGNETRON	112,5	AV GRAN COLOMBIA 6E-05
1T01498	MAGNETRON	112,5	CLL 6 0A-35 BOGOTA
1T01568	CDM	225	CLL 6 2E-40 POPULAR
1T01644	MAGNETRON	45	TRANSV. 17 6A-94 B/LOMA DE BOLIVAR
1T01646	CDM	75	CLL 6 15-58 B/LOMA DE BOLIVAR
1T01658	MAGNETRON	150	AVE 12 11-06 B/EL LLANO

1T01825	SIEMENS	112,5	AVE 1 8-30 LATINO
1T01826	WESTON	75	CLL 0 0-91(M) LLERAS RESTREPO
1T01827	FBM	30	CLL 0 0-113 B. LLERAS
1T01904	SIEMENS	100	AV 6 12-81 CENTRO
1T01917	TPL	225	CLL 22 22-55 GAITAN LA AURORA
1T01922	SIEMENS	75	AVE 20 28-78 SANTANDER
1T01952	MAGNETRON	150	CALLE 28 6-46 BELLAVISTA
1T01995	CDM	150	CALLE 27 5-20 URB. BELLAVISTA
1T02028	SIEMENS	150	CLL 16 5-40 LA CABRERA
1T02044	MAGNETRON	150	AV 6 13-09 CENTRO
1T02840	CDM	112,5	CALLE 8 4-108 NUEVO ESCOBAL
1T02841	MAGNETRON	112,5	KDX 42 1-1 B/ESCOBAL
1T02849	MAGNETRON	112,5	AV 10 3-108 B/ALTO PAMPLONITA
1T02852	MAGNETRON	112,5	AV 10A 8-03 /TORCOROMA
1T02988	MAGNETRON	75	CALLE 15 22-60 B. LIBERTAD
1T03009	MAGNETRON	75	CLL 0 4-107 SAN MARTIN
1T03050	ABB	75	AV 6A 7-01 PRADOS DEL ESTE
1T03064	CDM	112,5	CALLE 7A 4-110 NUEVO ESCOBAL
1T03096	MAGNETRON	112,5	CLL 6 5-37 CENTRO
1T03138	TPL	225	CLL 6 1-71 LATINO
1T03151	CODELECTRICOS	112,5	CLL 6 4-00 LATINO EDF. CAMILO VAZQUE
1T06921	SIEMENS	150	AV 6 4AN-51 COLPET
1T06947	MAGNETRON	112,5	AV 18 11-38 B/CUNDINAMARCA
1T06966	CDM	112,5	CLL 10 6-92 EL CENTRO
1T06969	TPL	112,5	CRA 12 13-28 PARAMO VILLA DEL ROSARI
1T07027	MAGNETRON	112,5	CALLE 12 2-46 B/ LA PLAYA MPIO CUCUTA
1T07033	RYMEL	150	AVE 16 9-44 B/SAN MIGUEL
1T07037	SIEMENS	112,5	CLL 6 9E-157 QUINTA ORIENTAL
1T07141	SIEMENS	45	AV 10 137-1 KMT8 LOS PATIOS
1T07460	SIEMENS	75	CLL 6 AVE 0 B/LLERAS RESTREPO
1T07897	TPL	75	AVE 4 CALLE - 23 GARCIA HERREROS
1T08024	MAGNETRON	112,5	CALLE 13 0-81 CENTRO
1T08052	MAGNETRON	75	AV 6 5-24 B/LA VICTORIA
1T08924	SIEMENS	75	CLL 0 4 - 85 BOGOTA
1T09249	TECNOELECTRO	112,5	AVE DEL RIO CALLE 23N AVE 18E VEGAS DEL
1T09557	MAGNETRON	75	CLL 6 8-115 CONJUNTO VALLES DEL ESTE
1T09593	SIEMENS	30	CALLE 9N 17E-69 URB. ANDALUCIA
1T09895	MAGNETRON	112,5	CLL 0 11AE - 11 QUINTA ORIENTAL
1T09946	CDM	75	CLL 0 10 - 145 CARORA
1T10374	CDM	112,5	CLL 6 8-86 PRADOS ESTE
1T10649	MAGNETRON	75	AVENIDA 45 6-39 MNZ J ESTORAQUES

1T10753	MAGNETRON	75	CALLE 5 # 45-89 Y 45-105 BARRIO BELISARI
1T10968	MAGNETRON	45	CLL 0 4-303 SAN MARTIN
1T10985	MAGNETRON	45	MNZ Z LOTE 35-1 LA PARADA
1T10996	MAGNETRON	300	AVE 2 CLL 8A-14 CONJ. AZAFRANES GARCIA H
1T11069	SIEMENS	150	CALLE 24N 18E-53 NIZA
1T11385	CDM	75	AV 3E 14A-50 B. CAOPOS
1T11526	ABB	75	AV 6 34-21 SAN GERARDO
1T11953	MAGNETRON	75	AV 20 27A-41 BARRIO SANTANDER
1T12134	MAGNETRON	75	CLL 6 2 - 47 LA VICTORIA

Tabla 2. Transformadores Monofásicos

Código.	Marca del transformador	KVA	Dirección del transformador.
1T00036	TPL	75	KDX 92-2-M SALADO
1T00378	RYMEL	75	AVE 3 8B-123 DOÑA NIDIA
1T00455	SIEMENS	75	AV 10 6-04 B/DOÑA CECI
1T00585	ABB	75	MZ 11 LT5 (1) B/PALMERAS
1T00595	SIEMENS	75	MZ 14A LOTE 11-1 LOS ALMENDROS
1T00628	MAGNETRON	75	TRANSVERSAL 17 0-71 B/LOS ALPES
1T00630	MAGNETRON	75	TRANSVERSAL 17 0N-04 B/PUEBLO NUEVO
1T00631	SIEMENS	75	TRANSV 17 0N-18 PUEBLO NEVO
1T00632	ANDINA	75	AV 10 0AN-75 B/PUEBLO NUEVO
1T00677	CDM	75	TRANSV. 17 0-124 KDX 377-1 B/LOS ALPES
1T01000	SIEMENS	37,5	AV 10 A 21-63 COLOMBIA 1
1T01022	SIEMENS-ABB	100	CALLE 8N 13-55 CHAPINERO
1T01055	MAGNETRON	50	CALLE 8 7-05 COMUNEROS
1T02142	RYMEL	75	KDX 92 PATIOS CENTRO
1T02269	MAGNETRON	75	CALLE 37 3-90 SABANA PATIOS
1T02932	MAGNETRON	50	AVENIDA 10 21-45 LIBERTAD
1T07131	SIEMENS	75	AV 10 27-04 BELLAVISTA
1T07208	ABB	50	AV 3 8-62 COMUNEROS
1T07614	TPL	50	AV 47 CALLE 7-02 B/ANTONIA SANTOS
1T08004	SIEMENS	50	CALLE 6 11-63 B/DOÑA CECI MPIO CUCUTA
1T08008	MAGNETRON	75	CALLE 27 2-79 B/BUENOS AIRES MPIO CUCU
1T09741	MAGNETRON	75	MNZ 26 LOT 173 LAS DELICIAS

En las dos tablas anteriores se pueden observar el total de la población de circuitos eléctricos distribuidos en 74 circuitos trifásicos tetrafilar y 22 circuitos monofásico trifilar los cuales se encuentran distribuidos entre los municipios de Los Patios, Villa del Rosario y Cúcuta.

Con el fin de que el lector sea ilustrado en cómo se recopiló la información a continuación se muestran imágenes reales del equipo analizador de red instalado en dos circuitos de distribución de energía eléctrica de baja tensión.



Ilustración 18. Analizador de red instalado en transformador. Autoría Propia.



Ilustración 19. Analizador de red instalado en transformador- estructura en camareta. Autoría Propia.

En las ilustraciones anteriores se observa el equipo analizador de red METREL Modelo MI-2792 de 4 hilos. El cual se encuentra instalado en los dos casos en la parte izquierda del transformador dentro de una caja dieléctrica e ignífuga que lo aísla de precipitaciones de agua que se presenten.

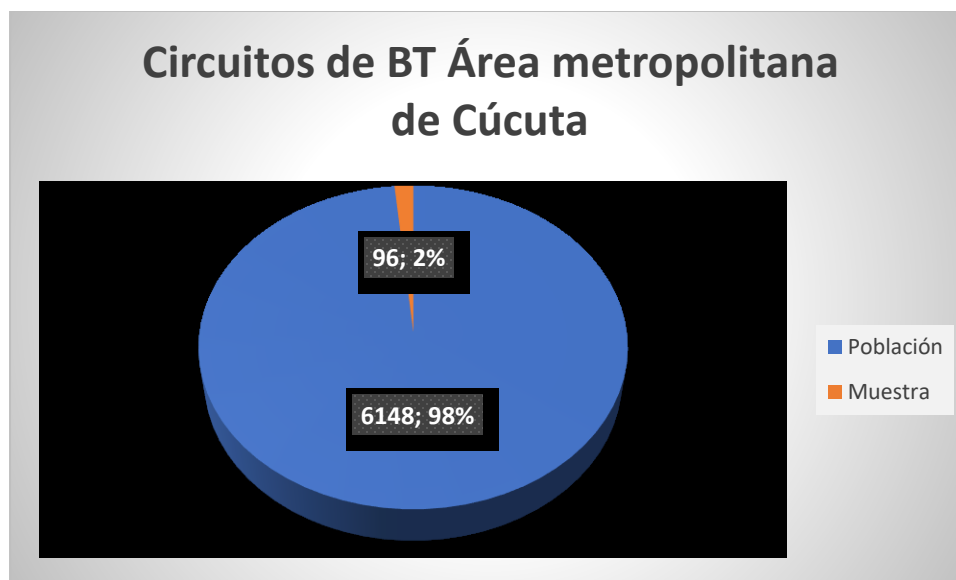


Ilustración 20 Población y Muestra. Fuente Autor

En la ilustración anterior se evidencia la muestra total analizada que corresponde al 1,5% de la población total de circuitos existentes en el área metropolitana de Cúcuta. Los datos de la población son suministrados por el Operador de Red (OR), en este caso Centrales Eléctricas de Norte de Santander S.A. E.S.P. Grupo E.P.M. (CENS). Por tanto, se debe tener presente que la población potencial de muestreo es alta y se tienen limitantes de tiempo para el desarrollo de este proyecto. Sin embargo, el número de circuitos analizados es suficiente para toma de decisiones.

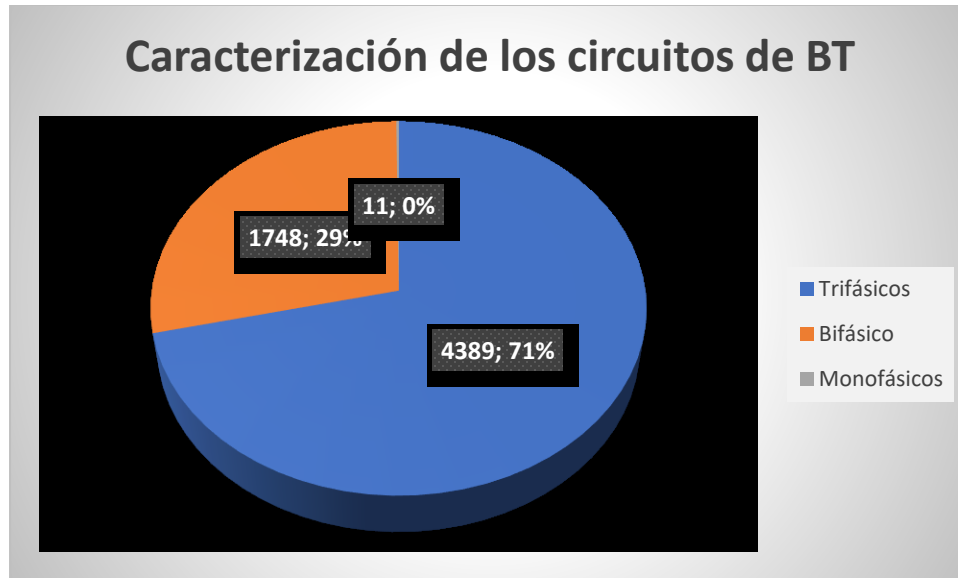


Ilustración 21. Total, transformadores Zona Cúcuta. Fuente Autor

La ilustración anterior muestra la conformación total de los circuitos de BT ubicados en el área metropolitana de Cúcuta. Se da la claridad que se incluyen los transformadores particulares, en otras palabras, refiere a todos los circuitos que se encuentran asociados a la infraestructura de CENS.

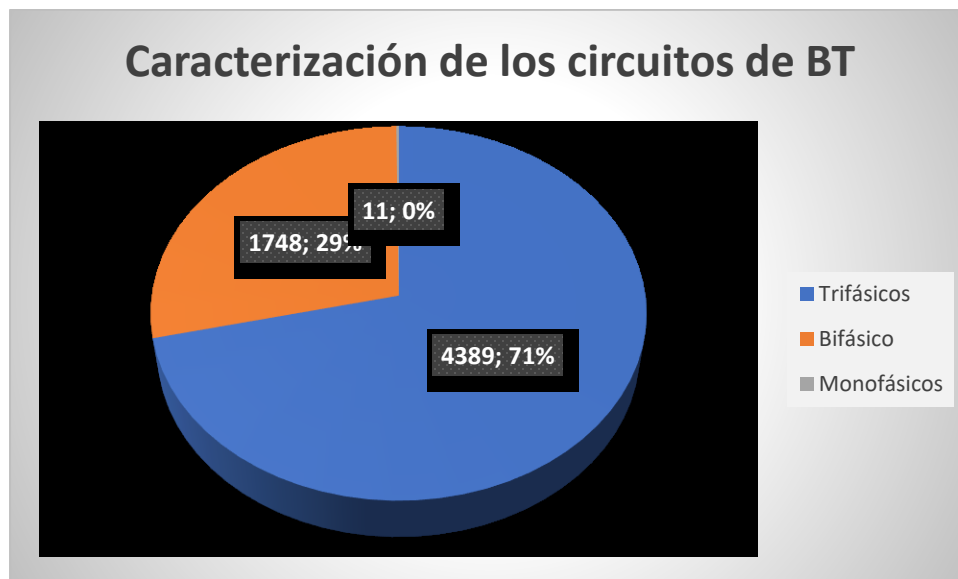


Ilustración 22. Tipos de transformadores a muestreo. Fuente Autor

La ilustración anterior enseña el porcentaje de transformadores a muestreo trifásicos y monofásicos que hacen parte de la muestra seleccionada para la descripción y análisis.

3.4 Análisis del impacto técnico

El desarrollo de este capítulo está encaminado al estudio del impacto técnico presente en los circuitos de distribución de energía eléctrica, donde se analiza el funcionamiento de los elementos principales que componen un circuito eléctrico de baja tensión, como lo son la fuente o transformador, los conductores eléctricos que son cables normalmente de aluminio ACSR o red trenzada y las cargas eléctricas que son a demanda de los usuarios a quienes el operador de red brinda el servicio. Simultáneamente, se realiza acompañamiento y observación a los procedimientos ejecutados por el personal técnico de la empresa distribuidora de energía eléctrica.

3.4.1 Pérdidas por desbalance de corrientes

En la actualidad el operador de red realiza seguimiento al balance de cargas en circuitos de media tensión, sin embargo, este trabajo está enfocado en analizar el desbalance que se presenta en circuitos de distribución por baja tensión a los cuales no se les realiza un seguimiento de las pérdidas técnicas que estos generan. Es decir, los circuitos eléctricos que se encuentran desbalanceados y fueron analizados son un foco de pérdidas técnicas que a la fecha por el operador de red local no son analizadas, la atención que se da a los circuitos eléctricos con desbalance de carga se realiza cuando el circuito presenta fallas en la prestación del servicio de manera frecuente o ha sido intervenido por emergencia al presentar punto caliente o fuga de aceite el transformador y se ha tomado carga puntual por los operarios técnicos evidenciando el desequilibrio de corrientes presente entre

las fases del circuito. Cuando el análisis al circuito se efectúa por quejas o reclamaciones hechas por los usuarios se realiza la instalación del equipo analizador de red. Con lo cual se realiza un histórico del comportamiento del circuito en un determinado tiempo.

En el desarrollo del proyecto se encontró que de la muestra tomada un 36% de los circuitos analizados presentaban un desbalance entre sus cargas que supera el 10% de diferencia entre las corrientes que circulan por sus fases. En los circuitos de distribución de energía eléctrica de baja tensión es imposible que estos se encuentren balanceados ya que el comportamiento de las cargas obedece a la demanda del usuario final. Asimismo, hay que resaltar tal como lo dice (Carvajal, 2001) los mayores desbalances en los circuitos eléctricos de distribución son causadas por las conexiones monofásicas.

Porcentaje de desbalance- circuitos monofásicos

Tabla 3. Circuitos monofásicos desbalanceados. Autoría propia

Circuito	KVA	DIRECCION TRAF0
1T00585	75	MZ 11 LT5 (1) B/PALMERAS
1T00628	75	TRANSVERSAL 17 0-71 B/LOS ALPES
1T00632	75	AV 10 0AN-75 B/PUEBLO NUEVO
1T01022	100	CALLE 8N 13-55 CHAPINERO
1T02269	75	CALLE 37 3-90 SABANA PATIOS
1T07131	75	AV 10 27-04 BELLAVISTA
1T07208	50	AV 3 8-62 COMUNEROS
1T07614	50	AV 47 CALLE 7-02 B/ANTONIA SANTOS
1T08008	75	CALLE 27 2-79 B/BUENOS AIRES MPIO CUCU
1T09741	75	MNZ 26 LOT 173 LAS DELICIAS
1T00378	75	AVE 3 8B-123 DOÑA NIDIA

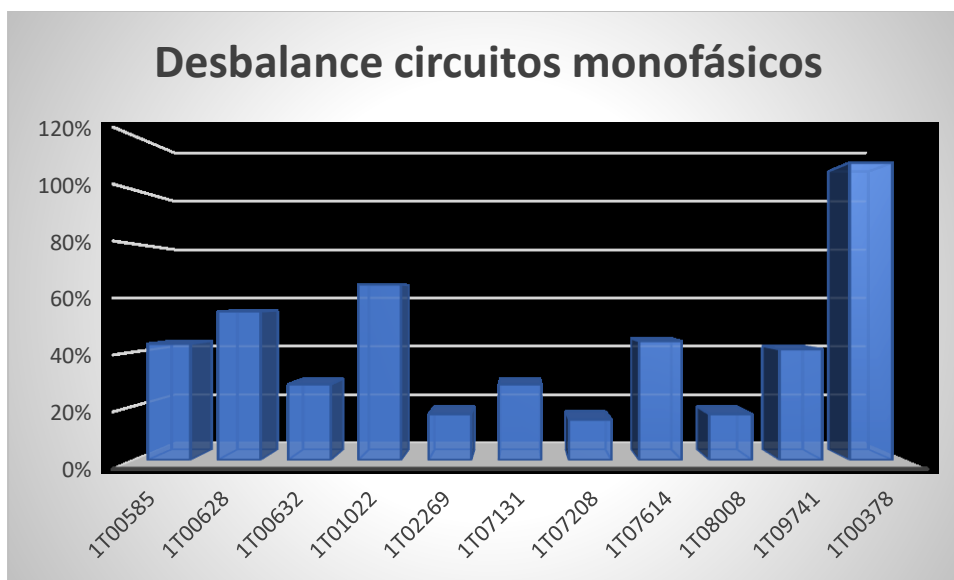


Ilustración 23. Porcentaje de desbalance- circuitos monofásicos. Autoría propia

La tabla y grafica anterior corresponde a los circuitos monofásicos que se encontraron desbalanceados. El desbalance entre las corrientes que circulan por sus fases es en promedio del 42%. Donde se resalta el circuito 1T00378 el cual presento un desbalance del 110% que ocasiona que las redes de distribución de baja tensión en aluminio desnudo con alma de acero ACSR se elongarán tanto que chocaban entre ellas las fases generando corto circuito haciendo que actuaran las protecciones de media tensión quedando sin servicio eléctrico los usuarios asociados a este transformador. Se relaciona a continuación cargas registradas del circuito anteriormente nombrado.

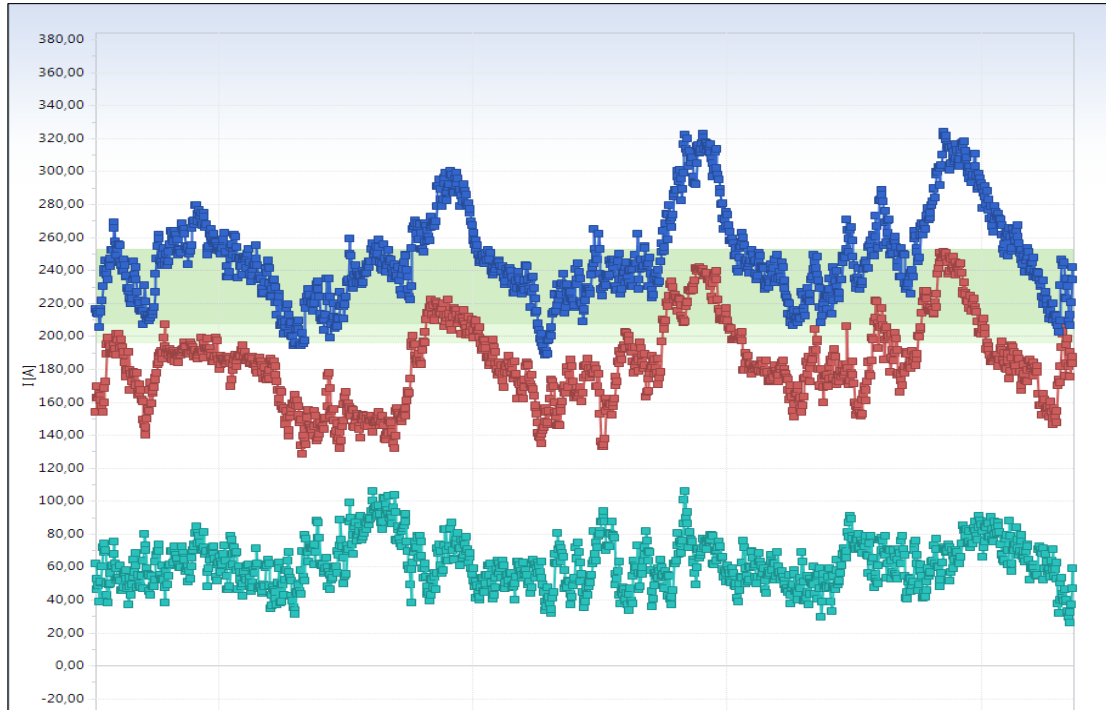


Ilustración 24. Circuito 1T00378 Autoría propia

La ilustración anterior corresponde a los datos obtenidos y descargados del analizador de red marca METREL a un circuito monofásico tetrafilar. Los puntos azules y rojos corresponden a las corrientes de fases y los puntos verdes conciernen a las corrientes presentes en el neutro. El registro de la información en este caso se efectúa cada 5 minutos por un periodo de cinco días lo cual arroja 1440 lecturas por fases obteniendo más de 4300 registros en un circuito monofásico tetrafilar. De esta manera, se evidencia en la ilustración el desbalance presente entre las corrientes que circulan por sus fases de baja tensión.

Tabla 4. Circuitos trifásicos desbalanceados. Autoría propia

Circuito	KVA	DIRECCION_TRAFO
1T00239	150	AVENIDA 12 19-27 TOLEDO PLATA
1T01180	75	CLL 0 9E-55 QUINTA ORIENTALS
1T01429	75	AV 11B 11-116-M B/LA RIVIERA
1T01644	45	TRANSV. 17 6A-94 B/LOMA DE BOLIVAR
1T01952	150	CALLE 28 6-46 BELLAVISTA
1T01995	150	CALLE 27 5-20 URB. BELLAVISTA
1T02840	112,5	CALLE 8 4-108 NUEVO ESCOBAL
1T02841	112,5	KDX 42 1-1 B/ESCOBAL
1T02849	112,5	AV 10 3-108 B/ALTO PAMPLONITA
1T03009	75	CLL 0 4-107 SAN MARTIN
1T03064	112,5	CALLE 7A 4-110 NUEVO ESCOBAL
1T07141	45	AV 10 137-1 KMT8 LOS PATIOS
1T08052	75	AV 6 5-24 B/LA VICTORIA
1T10374	112,5	CLL 6 8-86 PRADOS ESTE
1T10985	45	MNZ Z LOTE 35-1 LA PARADA
1T12134	75	CLL 6 2 - 47 LA VICTORIA
1T00957	45	CLL 13 3E-47 RES. LOS CAOBS
1T01337	45	AVE LBT BLQ H. EDF. I.C.T.
1T01339	30	AVE LBT BLOQUES C Y D
1T01568	225	CLL 6 2E-40 POPULAR
1T01646	75	CLL 6 15-58 B/LOMA DE BOLIVAR
1T01917	225	CLL 22 22-55 GAITAN LA AURORA
1T06969	112,5	CRA 12 13-28 PARAMO VILLA DEL ROSARI
1T07033	150	AVE 16 9-44 B/SAN MIGUEL

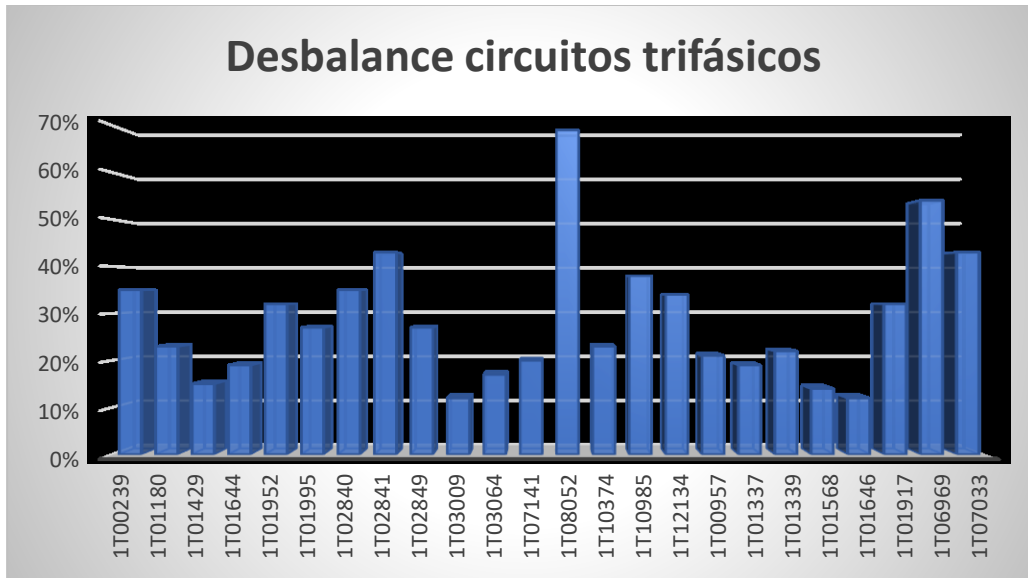


Ilustración 25. Porcentaje de desbalance circuitos trifásicos Autoría propia

La tabla e ilustración anterior referencia los circuitos trifásicos desbalanceados del área metropolitana de Cúcuta que fueron reportados a través de redes sociales por presentar fallas en la presentación de servicio o porque el transformador presentó fuga de aceite en uno de sus bordes. Los demás circuitos de la muestra se excluyen por no presentar desbalance de sus cargas. También se evidencia que en los 24 circuitos ilustrados el desbalance entre las cargas de sus fases es en promedio de un 29%.



Ilustración 26. Circuito trifásico desbalanceado. Autoría propia

En la ilustración anterior se grafica un circuito trifásico tetrafilar identificado por el operador de red 1T00957. Se evidencia que el color aguamarina representa las corrientes presentes en el neutro. Los otros tres colores grafican las corrientes en cada fase del circuito. De esta forma, la fase de color azul conduce menor cantidad de corriente en comparación a las otras dos fases evidenciándose el desbalance de carga en este circuito de distribución de energía eléctrica.

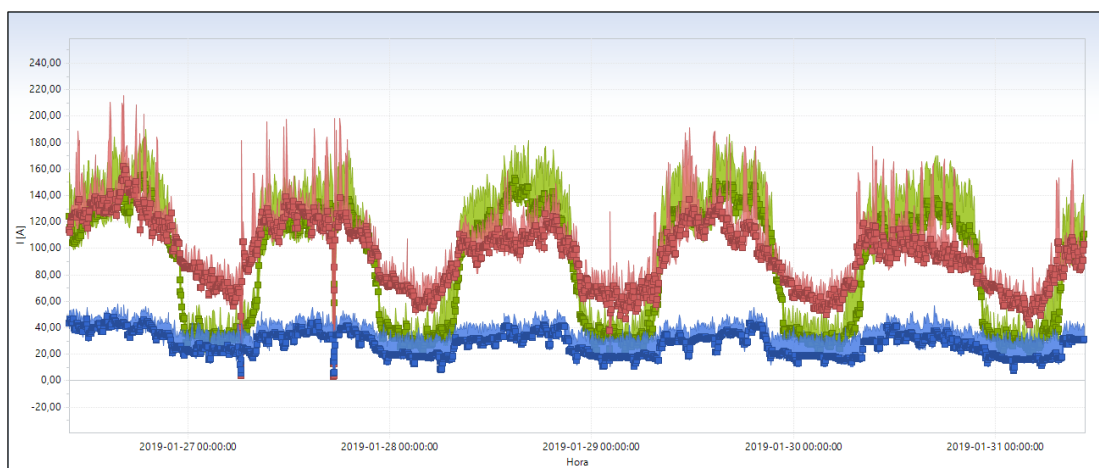


Ilustración 27. Desbalance por periodos de tiempo Autoría propia

La ilustración anterior muestra el comportamiento de un circuito monofásico tetrafilario donde su neutro es representado por el color azul. Cada punto presente es una medida tomada por el analizador de red con un lapso de cinco minutos simultáneamente entre las tres líneas. No obstante, se resalta que en la ilustración se grafica cinco días donde se presenta desbalance en ciertos periodos de tiempo.

Tabla 5. Porcentaje Desbalance respecto a la muestra Autoría propia

Descripción de la muestra			
Tipo de transformador	Cant. Analizada	Cant. Desbalanceada	% Desbalanceada Respecto a la muestra.
Trifásicos	74	24	32%
Monofásicos	22	11	50%

En la tabla anterior se evidencia la cantidad total de la muestra tomada, el número de circuitos trifásicos y monofásicos desbalanceados y el porcentaje respecto a la muestra. En los circuitos monofásicos trifilares la cantidad de circuitos desbalanceados son superiores a la cantidad de circuitos trifásicos.

3.4.2 Fallas en la prestación del servicio

En la actualidad la dependencia a la energía eléctrica es cada vez mayor y la calidad del servicio es cada día más exigente. Por tanto, el gobierno nacional a través del ministerio de energía y minas crea la resolución CREG 015 del 2018 (Ministerio de Minas y Energía, 2018). De acuerdo con lo anterior se regula la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional. Se penaliza a los operadores de red (OR) por calidad de servicio mediante indicadores de desempeño (SAIDI) y (SAIFI) propios para cada OR con seguimientos anuales. Obligando a que los OR presten un mejor servicio cada día.

En el análisis efectuado a los circuitos con desbalance de carga se observan errores técnicos realizados por los trabajadores de nivel operativo de CENS en los procedimientos efectuados, los cuales pasan desapercibidos y camuflan el problema de desbalance que se presenta. De esta manera, cuando se presenta falla en una de las protecciones del transformador lo cual es la quema de fusible de media tensión (MT) ubicado en el corta circuito que alimenta el devanado del primario. Los operarios técnicos de CENS guiándose por las tablas contenidas en (EPM, 2011) para selección de fusibles de MT usan el elemento de protección sugerido normalmente. La novedad radica cuando de forma constante el circuito sufre interrupciones de energía por falla del fusible de MT y no se evidencia a simple vista el causante; en consecuencia, los operarios técnicos lo que ejecutan es subir el amperaje del fusible a utilizar por MT dándole mayor capacidad de potencia de salida por baja tensión (BT) al transformador. Esta acción resuelve la apertura del circuito y normaliza la prestación del servicio del circuito eléctrico. A decir verdad, el problema se efectúa cuando no se realiza un estudio del comportamiento de las cargas eléctricas del circuito donde se determine si la demanda energética es superior a la de diseño o por intervenciones que se realizan en las redes de baja tensión se presenta un desbalance de cargas entre las fases del circuito como lo manifiesta (Carmona y Zapata, 2007). En cualquiera de los dos casos planteados se requiere de la intervención del equipo de mantenimiento del OR para evitar fallas en los demás componentes del circuito eléctrico.

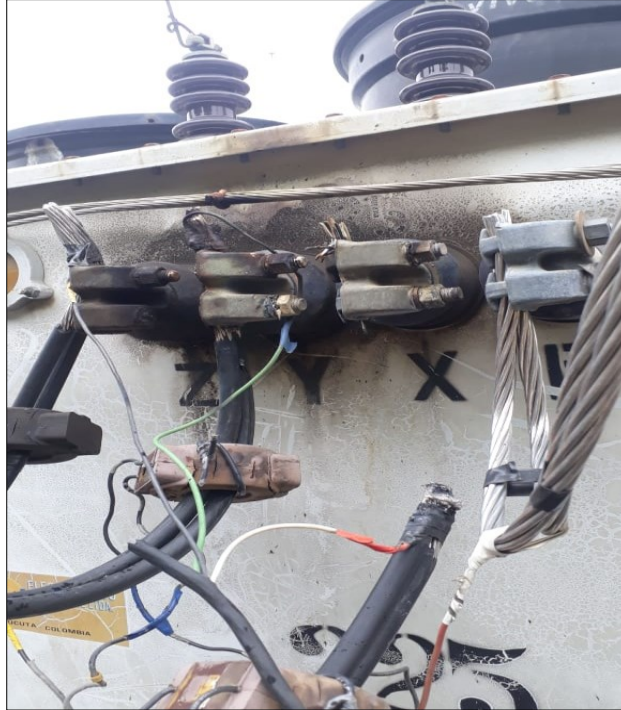


Ilustración 28. Falla por punto caliente. Fuente Autor

En la ilustración anterior se observa el conexionado BT después de sufrir y fallar los conductores a causa de un punto caliente en la fase X lo cual genera la suspensión del servicio eléctrico de los usuarios asociados al transformador para realizar mantenimiento correctivo que permita restablecer el servicio de energía.

3.4.3 Fallas en los transformadores

Previamente se describió el procedimiento que realizan los operarios técnicos de CENS en la selección del fusible de MT a instalar cuando se presenta una falla. También se mencionó que se modifica el amperaje del fusible incrementando la capacidad nominal del equipo de transformación. No obstante, esta modificación, aunque resuelve el corte de energía que evidencian los usuarios asociados al circuito; también generan en el transformador y en la red de BT varias novedades

como dilatación en los conductores eléctricos, puntos calientes y fuga de aceite en bornes del secundario del transformador causado por altas temperaturas.

Las redes de energía eléctrica al igual que cualquier circuito eléctrico se diseña teniendo en cuenta varios parámetros siendo uno de los más importantes el amperaje eléctrico que transportará el circuito. Por consiguiente, cuando se aumenta la capacidad del fusible por MT, la corriente que circula por BT es mayor a la nominal de diseño, lo que a su vez significa mayor temperatura según la ley de Joule (Perolini, 2009). En la práctica esto genera un punto caliente en el borne de BT del transformador ya que el conductor sufre dilatación siendo este el punto de conexión o empalme donde se presenta mayor amperaje; esto lleva a que el borne del transformador sea sometido a temperaturas para las cuales no ha sido diseñado, formando una quema del empaque del buje del secundario del transformador; que en consecuencia produce una fuga de aceite y la suspensión del servicio por seguridad.



Ilustración 29. Incendio de transformador. Autoría Propia

La ilustración anterior evidencia un trabajador de CENS intentando sofocar las llamas de un transformador que entro en falla por punto caliente y fuga de aceite. Del mismo modo, se resalta que en este momento ya habían actuado las proyecciones de MT y el transformador se encontraba sin tensión eléctrica.

Finalmente, para explicar porque fallan los trasformadores se realizó un análisis de causa raíz aplicando la metodología de los cinco ¿por qué?

Tabla 6. Cinco ¿por qué? falla del transformador

1	¿Por qué?	¿Por qué fallan los transformadores?	Por presentar fuga de aceite en alguno de los bornes del secundario.
2	¿Por qué?	¿Por qué presentan fuga de aceite los transformadores en los bornes del secundario?	Por presentarse punto caliente en la conexión del borne y el conductor eléctrico de la red de BT.
3	¿Por qué?	¿Por qué se presenta punto caliente?	Por dilatación del conductor eléctrico de ACSR.
4	¿Por qué?	¿Por qué se presenta dilatación del conductor eléctrico?	Por conducir corrientes superiores a las nominales de trabajo.
5	¿Por qué?	¿Por qué conducen corrientes superiores?	Por desbalance de las cargas entre las fases del circuito.

(Toyoda, SD)

3.5 Objetivo adicional. Intervención

Los objetivos propuestos en este trabajo no referían a la intervención de ninguno de los circuitos de la población susceptibles al análisis muestra. Por esta razón y para objeto de este trabajo se tomará este capítulo como objetivo adicional.

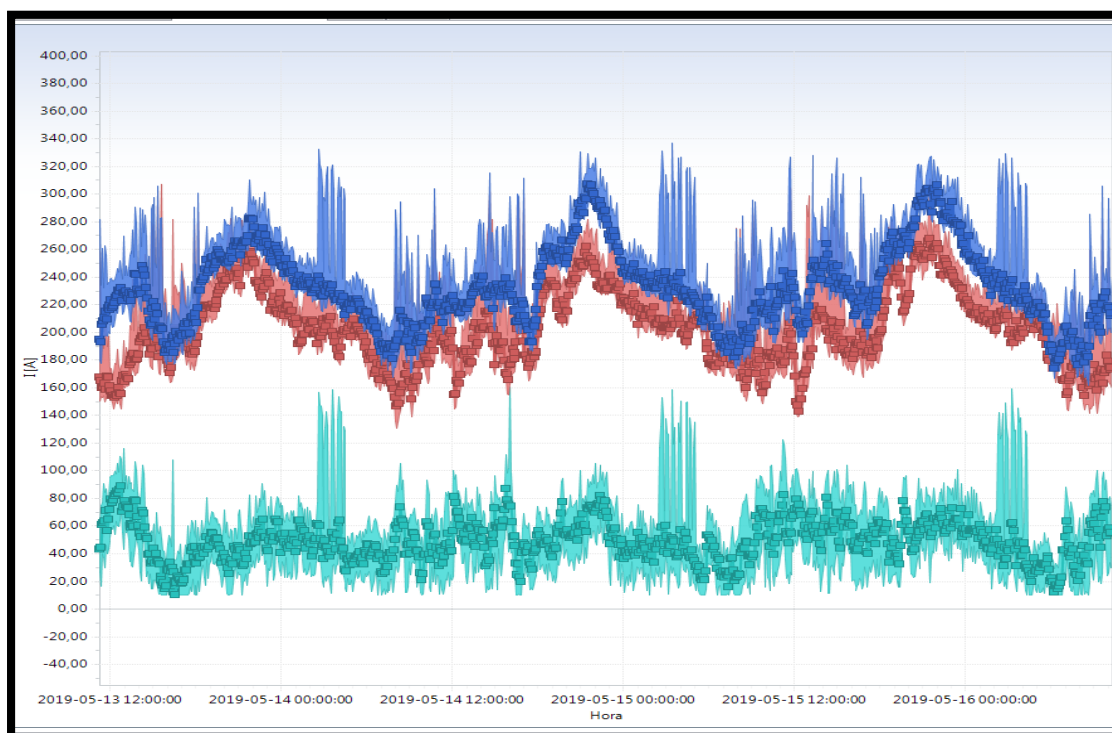


Ilustración 30 Circuito equilibrado. Fuente propia.

Anteriormente observábamos ilustraciones con circuitos con desbalance entre sus cargas, en la ilustración anterior por lo contrario se ilustra un circuito monofásico trifilar donde las cargas que circulan por sus fases (azul y roja) se encuentran en balance. Lo cual corrige los desfases que se generan en las ondas senoidales de las tensiones.

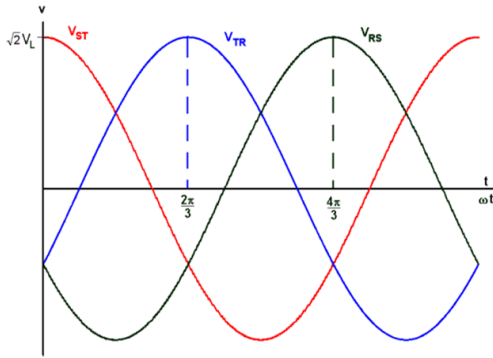


Ilustración 31 Circuito trifásico de CA balanceado (Rodríguez, 2018)

La ilustración anterior muestra un circuito trifásico balanceado. Donde cada color representa una fase del circuito.

La intervención de algunos circuitos de la muestra se dio por parte del operador de red y la totalidad de estos se efectuó por la disposición del mismo en calidad del tiempo que este presento. De acuerdo con lo anterior se concluye que la intervención de la muestra no obedece a un modelo matemático.

3.6 Análisis del impacto económico

Las malas prácticas ingenieriles son causantes de que existan mayores pérdidas económicas. De acuerdo con lo anterior, la planeación de los mantenimiento preventivos o predictivos conlleva a que las actividades correctivas disminuyan y por tanto el impacto económico. A decir verdad, las interrupciones en la prestación del servicio de energía son novedades que generan perdidas tanto para el prestador de servicio como para los usuarios que dependen permanentemente del servicio de energía por factores de salud.

3.6.1 Pérdidas económicas

Las pérdidas económicas de energía teniendo en cuenta la ley de joule $Q = I^2Rt$. Donde Q es la cantidad de calor que es directamente proporcional al cuadrado de la intensidad de la corriente eléctrica. Para efectuar un cálculo real es necesario analizar un mismo circuito desbalanceado y balanceado Lo cual será fundamento para calcular la cantidad de corriente perdida en el circuito cuando este se encuentre desbalanceado.

El desarrollo de esta actividad dependió del operador de red quien es el único ente autorizado para manipular la infraestructura eléctrica de la región. Por este motivo solo se pudo hacer el ejercicio de 6 circuitos de baja tensión tomando parámetros antes y después de la intervención por parte del OR quien realizo el balance de cargas entre las fases de los circuitos a continuación mencionados. Las tarifas usadas corresponden al precio de noviembre 2019 del costo unitario de CENS. Se usa el valor de tarifa plena estratos 1 y 2. (CENS C. , 2019)

Tabla 7 Ahorro real de energía. Autoría propia

Desbalanceado	24 horas	30 días	Dividido en 1000	K*V	.=.	0,9	Raíz de 3 = 1,732050808	Tarifa plena del CU	
Hora	Día	Mes	k	Voltaje	Potencia	FP		CU	\$ Mes
250 A	6000	180000	180	220	39600	35640	61730,29	556,11	\$ 34.328.832
190 A	4560	136800	136,8	220	30096	27086,4	46915,02	556,11	\$ 26.089.912
218 A	5232	156960	156,96	220	34531,2	31078,08	53828,81	556,11	\$ 29.934.742
Balanceado									\$ 90.353.486
185 A	4440	133200	133,2	220	29304	26373,6	45680,42	556,11	\$ 25.403.336
200 A	4800	144000	144	220	31680	28512	49384,23	556,11	\$ 27.463.066
190 A	4560	136800	136,8	220	30096	27086,4	46915,02	556,11	\$ 26.089.912
									\$ 78.956.314
									Ahorro mes \$ 11.397.172
									Ahorro año \$ 136.766.067

Aplicando la ecuación $P = V * I * \cos \varphi$ (2) Ecuación. Y realizando la con versión de unidades requeridas en el cuadro anterior se logra calcular el consumo de Kw/h al mes del circuito en estudio.

La tabla anterior muestra los consumos eléctricos que tiene un circuito estando desbalanceado y luego balanceado. Obteniendo un antes y un después observando que la energía eléctrica en los registros disminuye. La toma de datos de la misma manera a las ya descritas.

Se realiza el mismo proceso con otros circuitos obteniendo ahorros energéticos en todos los casos.

Tabla 8. Ahorros económicos Autoría propia

Circuito	Mes	Año
1T02849	\$ 1.373.153	\$ 16.477.839
1T06969	\$ 961.207	\$ 11.534.488
1T03009	\$ 137.315	\$ 1.647.784
1T01646	\$ 11.397.172	\$ 136.766.067
1T00237	\$ 274.631	\$ 3.295.568
1T0378	\$ 686.577	\$ 8.238.924
Total	\$ 14.830.055	\$ 177.960.669

La tabla anterior muestra el análisis de 6 circuitos teniendo en cuenta la formulación anteriormente descrita. Se observa que el operador de red obtendrá ahorros si realiza rutinas de calibración de circuitos. El cómo efectuarlos o con que rutina hacerlo no obedece al desarrollo de este trabajo.

Adicionalmente hay que tener presente que la muestra efectiva fue del 36% del muestreo lo cual si lo elevamos a toda la población de estudio que es de 6149 circuitos los ahorros potenciales después de equilibrar más de 2213 circuitos serian del orden de \$ 5.469.811.242 pesos.

También se debe de tener presente que la muestra tomada fue de 96 circuitos de más de 21 mil circuitos en total que tiene el OR en toda su área de influencia y que

con la intervención de 6 se lograron ahorros para el mismo de más de 170 millones de pesos.

3.6.2 Calidad de la energía

Sintetizando el tema de calidad de la energía y el de la resolución CREG 015 del 2018 donde las empresas prestadoras del servicio de energía eléctrica son remuneradas, hay que hablar de que esta resolución obliga a que OR mejore la calidad del servicio; además que invierta en la infraestructura que tiene.

Desde el 2019 el operador de red de esta área del país fue evaluado por el Ministerio de Minas y Energía en dos indicadores que aportan a la mejora en la calidad de energía los cuales son System Average Interruption o frecuencia media de interrupción por usuario en un periodo determinado (SAIFI) y System Average Interruption Duration Index o tiempo total promedio de interrupción por usuario en periodo determinado (SAIDI). Con estos indicadores el gobierno nacional busca mejorar la calidad de energía que se brinda al usuario disminuyendo la frecuencia y el tiempo de ausencia de energía eléctrica o interrupciones que el usuario perciba.

El no cumplimiento a los indicadores impuestos a los OR genera la penalización por parte del gobierno nacional. En efecto, es un motivo para que se estudie todo lo referente a la calidad del servicio, en este caso en particular el análisis de los circuitos de distribución de energía eléctrica en baja tensión que presentan desbalance entre sus cargas.

3.6.3 Actividades de mantenimiento

La planeación del mantenimiento es fundamental en la industria, de tal modo, que al realizar rutinas preventivas de mantenimientos predictivos y preventivos evitan

las paradas de planta por fallas en las maquinas. Tener un enfoque preventivo y no correctivo como tal como se habla en el libro de

(Márquez, González y Diaz, 2017) titulado Mantenimiento Técnicas y aplicaciones. Donde se da una descripción de cada uno de los tipos de mantenimientos que existen en la industria.

Tener conocimiento de la infraestructura con que se cuenta y realizar una hoja de vida de los activos físicos que existen es primordial para realizar rutinas de mantenimiento y saber cuándo es preciso renovar un activo. La infraestructura de una empresa dedicada a la distribución de energía eléctrica es un excelente ejemplo para mostrar como el costo del mantenimiento puede ser muy alto cuando existen deficiencias en las actividades preventivas y predictivas en la infraestructura eléctrica. Según el Portafolio de Servicios de (CENS C. , 2019) los valores de los recursos de mantenimiento son los siguientes:

Tabla 9. Valor recursos Hora- CENS Autoría propia

Tipo de Recurso	Valor Hora
Cuadrilla	\$ 150.080
Línea Energizada	\$ 361.000
Canasta	\$ 332.667
Grúa	\$ 219.198
Turno de Reparaciones	\$ 94.200

Teniendo en cuenta la tabla anterior, se puede evidenciar el valor por hora de cada uno de los recursos del OR de la región, con los cuales se efectuará un cálculo del costo del mantenimiento correctivo de un circuito de baja tensión de distribución de energía que presenta desbalance entre sus cargas.

Tabla 10. Costo sellado transformador. Autoría propia

Ítem	Recurso requerido	Valor	Novedad
1	Turno de Reparaciones	\$ 94.200	Falla en la prestación del servicio. Quema de fusible de MT.
2	Turno de Reparaciones	\$ 94.200	Falla en la prestación del servicio. Quema de fusible de MT. Solo para efectos del ejercicio se asume esta reparación como en la que se aumenta el amperaje del fusible nominal de la protección.
3	Turno de Reparaciones	\$ 94.200	Atención a reporte por fuga de aceite en el transformador.
4	Canasta	\$ 332.667	Recurso sella transformador. Se requiere realizar suspensión de servicio para efectuar el correctivo en buje de BT del transformador.
5	Gastos asociados a mantenimiento correctivo.	\$ 615.267	Se requiere sumar pérdidas por energía no suministrada durante el correctivo de emergencia, demandas de usuarios, entre otras pérdidas.

La tabla anterior muestra el valor mínimo gastado en la corrección de un daño generado por un circuito desbalanceado. Con la cantidad menor posible de intervenciones se repara el daño. Sin embargo, esta afectación puede incrementarse si no se equilibra el circuito después de esta reparación.

Tabla 11. Costo mantenimiento correctivo transformador. Autoría propia

Ítem	Recurso requerido	Valor	Novedad
6	Canasta		El daño reportado en el cuadro anterior no puede ser reparado. Saltar a Ítem 8.
7	Turno de Reparaciones	\$ 94.200	Falla en la prestación del servicio. Quema de fusible o atención a reporte nuevamente por fuga de aceite.
8	Cuadrilla	\$ 300.160	Se requiere del trabajo en conjunto de estos dos recursos y según instructivos internos de CENS se requiere de 2 horas por recurso para realizar el cambio del transformador fallado.
	Grúa	\$ 438.396	
9	Gastos asociados a cambio de transformador	\$ 832.756	El costo relacionado en esta tabla es adicional al ya reportado en la tabla anterior. Adicionalmente sigue perjudicando la calidad del servicio.

En la tabla anterior, se presenta las actividades de un mantenimiento correctivo del cual se requiere cambiar el transformador por presentar fuga de aceite causada por el desbalance que existe entre las cargas que circulan por sus fases.

Tabla 12. Costo Cambio transformador. Autoría propia

Ítem	Descripción	Valor
5	Gastos asociados a mantenimiento correctivo.	\$ 615.267
9	Gastos asociados a cambio de transformador	\$ 832.756
Valor total al momento del cambio.		\$ 1.448.023

Se puede evidenciar en la tabla anterior el costo del cambio de un transformador que aún no había cumplido su vida útil, sin embargo, por presentar desbalance entre sus cargas falla el equipo y debe ser reemplazado por uno nuevo

ocasionando pérdidas para el operador de red. El costo del transformador no se ve reflejado en las tablas anteriores porque varía dependiendo de su capacidad de carga eléctrica.

3.1 Actualidad ambiental del planeta tierra

Según (Gan, 2018) cada día se presentan más de 151 mil muertes, lo cual es menos de la mitad de los nacimientos vivos que se presentan en el planeta los cuales suman en el mismo periodo de tiempo 353 mil.



Ilustración 32 Muertes al día. (Gan, 2018)



Ilustración 33 Crecimiento de la población mundial. (Gan, 2018)

El aumento de la población mundial esta descontrolada, la demanda de productos esenciales para la vida se encuentra en aumento.



Ilustración 34 Demanda industrial automotriz. (Gan, 2018)

La necesidad de transportarnos incrementa diariamente el número de vehículos que circulan las vías del planeta.



Ilustración 35 Consumo de petróleo diario. (Gan, 2018)

La demanda de petróleo para combustible y para la creación productos derivados del mismo no se detiene.



Ilustración 36 Extensión de las especies. (Gan, 2018)

El aumento en la población mundial demanda la creación diaria de 200 mil automóviles para suplir con la necesidad de transporte los cuales requieren para su funcionamiento 79 millones de barriles de petróleo generando la extinción entre 150 y 200 especies en el mismo periodo de tiempo.



Ilustración 37 Deforestación (Gan, 2018)

Entre 1880 y 2017 la temperatura del mundo aumento en 1°C. para el 2042 según (Gan, 2018) la temperatura aumentara 1°C. más. Subiendo este grado de temperatura en una quinta parte de lo que se registró en los años pasados.



Ilustración 38 Cambio climático (Gan, 2018)

Un mundo donde el hombre no es consciente del impacto que crea en el día a día es el que nos conduce al punto de no retorno que también manifiesta (Gan, 2018)

donde para el 2042 ya no tendrá salvación el mundo como lo conocemos y sea la fuente de exterminación de gran parte de todos los seres vivos que existen.

3.2 Análisis del impacto ambiental

En la actualidad existe una preocupación inmensa por el cuidado y la preservación del medio ambiente producto de los altos índices de contaminación que el hombre ha causado por satisfacer sus necesidades físicas, sociales, económicas y políticas. De esta forma, la contaminación ambiental es un proceso constante que comprende todos los ambientes agua, tierra, suelo; también, los organismos vivos que hacen parte del planeta. En consecuencia, la cantidad de contaminantes que aportamos va comprometiendo la calidad ambiental y la mayoría de ellos son de origen antropogénico (Domínguez, 2015).

En este caso en particular se describirá el impacto ambiental que causa los aceites lubricantes de base mineral, que son utilizados ampliamente en la industria con el objetivo de evitar la fricción y desgaste. Por tanto, se hace necesario mencionar que en área metropolitana y rural de Cúcuta la empresa encargada de suministrar y distribuir energía eléctrica aun cuenta con transformadores que utilizan este tipo de aceite donde su principal desventaja es su poca biodegradabilidad; lo que constituye un problema de contaminación ambiental a largo plazo (Castaño, 2013). De acuerdo con lo anterior, estos aceites son liberados al medio ambiente por derrames, actividades de uso e incluso por eliminación de estos; representando un alto índice de contaminación que afecta de manera directa la salud humana y la biodiversidad de flora y fauna por su toxicidad. También se resalta que no se puede cuantificar cuantos litros de aceite son vertidos al medio ambiente por los transformadores que se dan de baja, debido a que esta información es confidencial del operador de red encargado de suministrar la energía eléctrica.

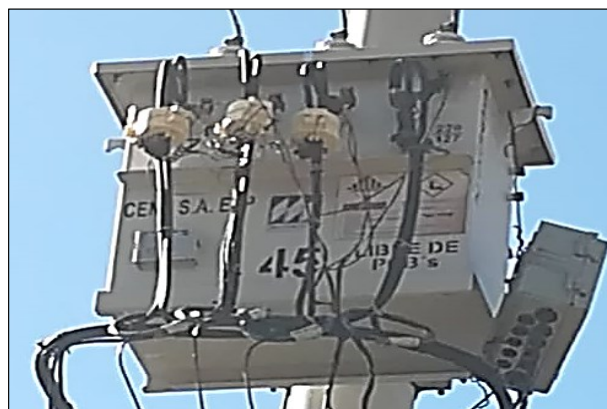


Ilustración 39. Foto tomada de un transformador de CENS. Fuente propia

En cuanto a la utilización estos aceites dieléctricos cumplen la función específica de garantizar el aislamiento térmico, la conducción de la energía eléctrica y la operación del transformador por largo tiempo. Sin embargo, cuando estos presentan fallas en su sistema generan derrames de este líquido que crean contaminación e incluso al presentarse altos puntos de calor el transformador puede estallar generando gases tóxicos que son liberados a la atmosfera. En este orden de ideas, los residuos generados durante estos procesos pueden contener gases como metano (CH_4), monóxido de carbono (CO), etileno (C_2H_4), acetileno (C_2H_2), etano (C_2H_6), hidrogeno (H_2), nitrógeno (N_2) y dióxido de carbono (CO_2) que contribuyen a degradar el medio ambiente y son causantes a pasos acelerados del calentamiento global.

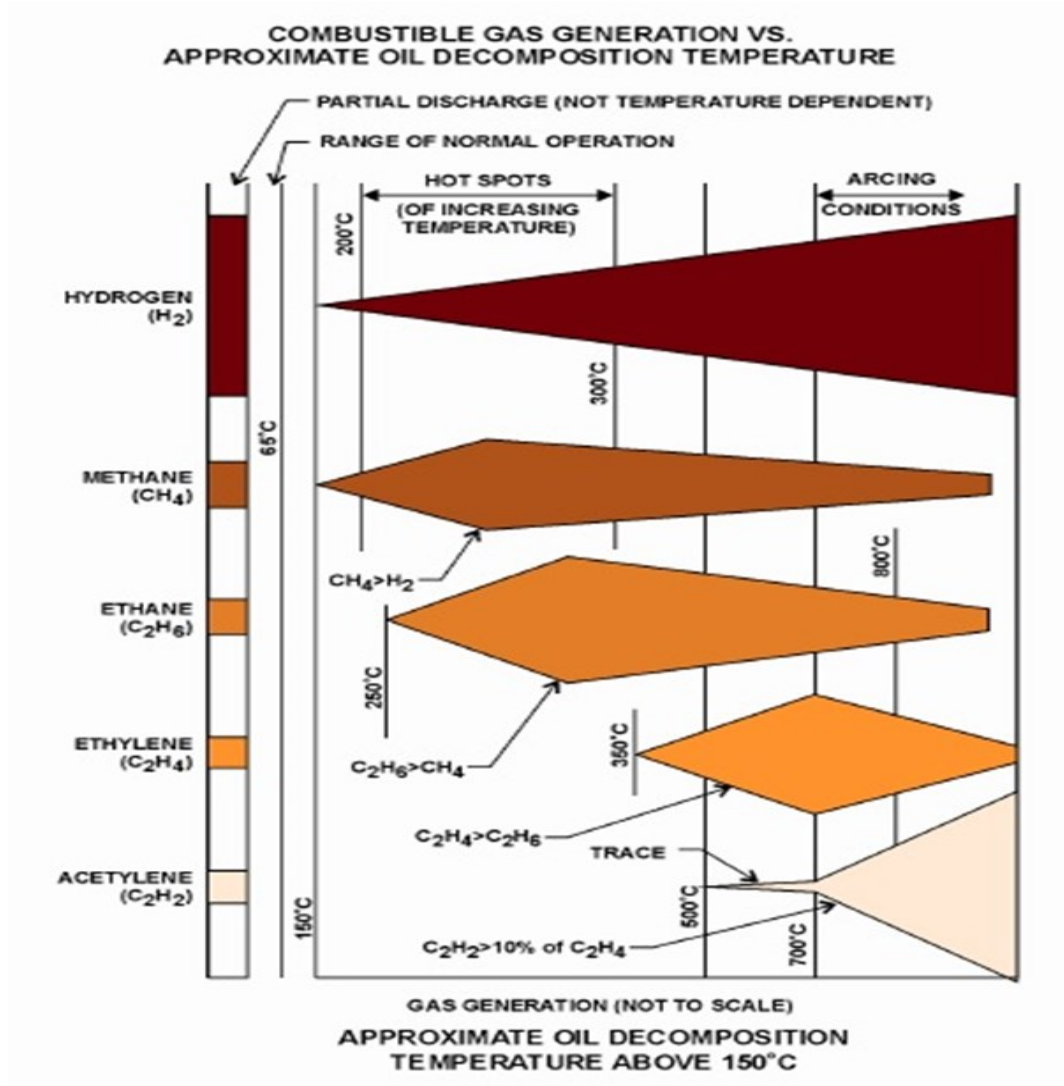


Ilustración 40 Gases tóxicos (Castaño.2013)

La ilustración anterior muestra la descomposición de los gases que presentan los aceites dieléctricos de origen mineral a medida que la temperatura aumenta según (Castaño Orozco, Metodología de Gestion Ambiental., 2013)

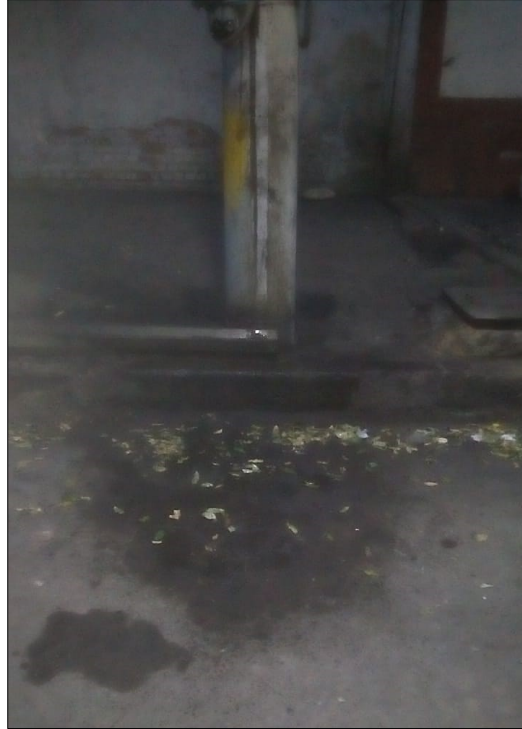


Ilustración 41. Residuos de aceite dieléctrico por transformador que presento falla.
Fuente propia

En la imagen se puede observar como el aceite es derramado por fallas presentes en un transformador causando contaminación en el suelo, en el aire y el agua. Asimismo, generando gases tóxicos que perjudican la salud a largo plazo.



Ilustración 42. Especificaciones técnicas. Fuente propia

Por consiguiente, este tipo de transformadores que trabajan con aceite dieléctrico poseen especificaciones que permiten determinar que contienen sustancias que contaminan el medio ambiente.

Identificación del producto químico:

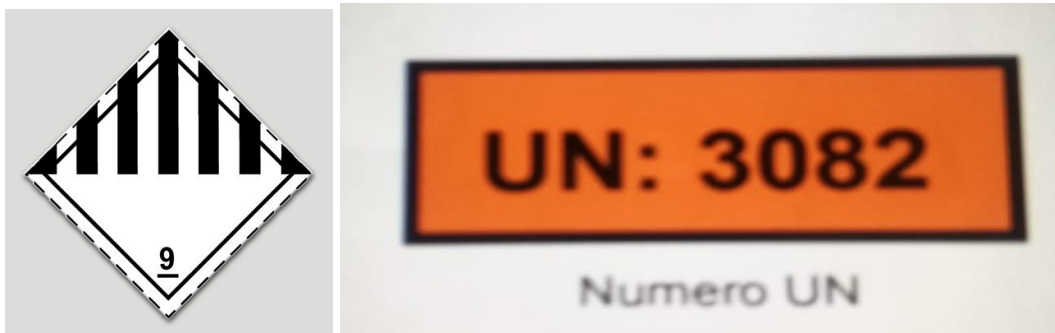


Ilustración 43. Rotulo de sustancia peligrosa para el medio ambiente. (ACHS, 2003)

No obstante, se resalta que la empresa encargada de suministrar y distribuir la energía eléctrica realiza mantenimientos preventivos a los transformadores con la finalidad de evitar cualquier tipo de contaminación.

En síntesis, se puede determinar que los aceites de tipo mineral utilizados en los transformadores para generar energía son contaminantes para el medio ambiente y la salud humana en todo su ciclo de vida. Los mayores impactos se presentan en el cambio climático y la salud humana. Por eso, el grupo EPM como estrategia para contribuir a minimizar la contaminación ambiental ha implementado la instalación de transformadores de energía con aceite vegetal que es biodegradable y atóxico; lo que implica que, si se presenta alguna falla en el transformador, si este aceite se derrama no producen ningún peligro para las fuentes de agua ni la biodiversidad.

3.3 Análisis del sistema de SG-SST

Para el desarrollo de este trabajo se tomó como referencia de trabajo resoluciones como 5018 y 1409. Teniendo en cuenta que el operador de red cataloga a sus empleados en el nivel de riesgo 4 (para dar un comparativo del nivel de riesgo una secretaria o un docente de casco urbano tienen un nivel de riesgo 1). Lo cual ante la ARL es un alto nivel de que exista un accidente laboral dejando por encima de este nivel el número 5 asignado para trabajadores como Policías, militares o trabajadores de minería subterránea entre otros (Colombia, 1994)



Ilustración 44 EPP. Fuente propia

La ilustración anterior es un registro fotográfico donde se da cumplimiento a la normativa ya mencionada. El trabajador en este caso el autor del documento tiene puestos los elementos requeridos y necesarios para la actividad que va a efectuar y que se realizara con tensión y en alturas.

3.4 Impacto social

El desarrollo de este trabajo integral de grado busca que el estudiante en formación adquiera en su vida cotidiana como ingeniero valores que integren la parte económica, ambiental y social en cada una de sus actuaciones.

Teniendo en cuenta lo anterior se presentó en el marco legal dos ilustraciones que comprenden al Costo unitario de la tarifa de energía y los componentes que esta comprende. De acuerdo con lo anterior se desea corregir en el lector la idea errónea

sobre el operador de red y los precios tarifarios. Ya que estos últimos son los establecidos por el Ministerio de Minas y energía.

El recibo de energía eléctrica en el área metropolitana de Cúcuta es un recibo de alto impacto para los usuarios ya que en los últimos años la economía de la región ha sido golpeada por factores sociales y gubernamentales fuertes. Adicionalmente según la cámara de comercio de Cúcuta el índice de informalidad predomina en la ciudad y los ingresos de un ciudadano promedio son muy inferiores a los ingresos de un trabajador de otra ciudad según (Gonzales, 2018) del país como por ejemplo Bogotá o Medellín. Y donde los precios de la energía son relativamente iguales.

La socialización de factores que alteran la comunidad en general es una forma de disminuir los inconvenientes que se presentan y poder minimizar el impacto social que se pueda presentar.

3.5 Conclusiones

- Al analizar el comportamiento de los circuitos eléctricos que presentan desbalance entre sus cargas podemos concluir que la atención registros y estudios sobre el desbalance de estas son insuficiente o nulo por parte del operador de red. Adicionalmente se concluye que esta novedad es el factor directamente proporcional a las pérdidas económicas mencionadas en este trabajo y al impacto ambiental generado.
- Las pérdidas económicas ocasionadas por el desbalance de cargas en las líneas de baja tensión son significativas, en la muestra objeto de estudio e intervención se evidenció en el orden del 30% de circuitos con desbalance. Adicionalmente se evidencia que el impacto económico del desbalance en líneas de baja tensión está en el orden cinco mil millones anuales para la población objeto de estudio.
- En cuanto al impacto ambiental se puede concluir que los transformadores que presentan fallas por desbalance eléctrico y que contienen en su interior aceite dieléctrico de tipo mineral contribuyen a aumentar la contaminación ambiental a largo plazo al generar gases tóxicos que ponen en riesgo la salud humana y la biodiversidad de flora y fauna. Por tanto, se hace necesario que la empresa encargada en distribuir la energía eléctrica se concientice de la importancia de reemplazar en su totalidad estos transformadores por los que actualmente se están implementando a base de aceite mineral que son atóxicos y cooperan a reducir el calentamiento global.

- En síntesis, es importante resaltar que el desarrollo de este proyecto estuvo encaminado en describir lo que acontece con los circuitos de una red eléctrica de baja tensión cuando presenta desbalance entre sus fases. En otras palabras, no es dar solución a ninguna de las novedades encontradas.
- En el desarrollo del TIG se pusieron a prueba la experiencia práctica propia del autor conjugados con los conocimientos adquiridos en la etapa lectiva de la carrera de Ingeniería Electromecánica.

3.6 Recomendaciones

- Se recomienda el análisis y estudio por parte del operador de red para el monitoreo continuo y el análisis del impacto del desbalance de cargas en líneas de distribución de baja tensión.
- Se sugiere utilizar equipos analizadores de red antes y después de realizar el balance de cargas de un circuito para disminuir errores de medición.
- Realizar un estudio donde se calcule el volumen de agua que se contamina anualmente y la huella de carbono producto de los transformadores que se cambian por parte del operador de red.
- Realizar estudios de asimetría temporal de carga.
- Realizar estudios de impacto de desbalance de factor de potencia.
- Realizar estudios de mayor rigor sobre el impacto ambiental del desbalance de cargas.
- Implementar sistemas de macromedición teledirigida para el control y ajustes del desbalance de cargas.
- Realizar por parte de la Universidad Antonio Nariño una guía metodológica donde se unifiquen criterios y normas a utilizar en el desarrollo de trabajos integrales de grado.

3.7 Resultados

- En el desarrollo del tercer capitulo de este trabajo se da pleno cumplimiento a los objetivos planteados en el primer capítulo, adicionalmente se desarrolló un objetivo adicional no propuesto el cual fue la intervención y ajuste de los circuitos de la muestra objeto de estudio.
- Intervención de circuitos y mejoramiento de la calidad del servicio. (Objetivo adicional)
- Definición del impacto técnico económico y ambiental como consecuencia del desbalance de carga en las líneas de distribución de baja tensión
- Perfeccionamiento de las orientaciones metodológicas para los TIG.
- Definición del término Asimetría temporal.
- Resumen de tipos de asimetrías.
- Resumen de los tipos de desequilibrios en líneas de distribución de energía.
- Impacto técnico
- Impacto económico
- Impacto ambiental
- Presentación de artículo para ser publicado en revista científica: Estimación del impacto del desbalance de cargas en las líneas de distribución de energía de baja tensión en el Norte de Santander

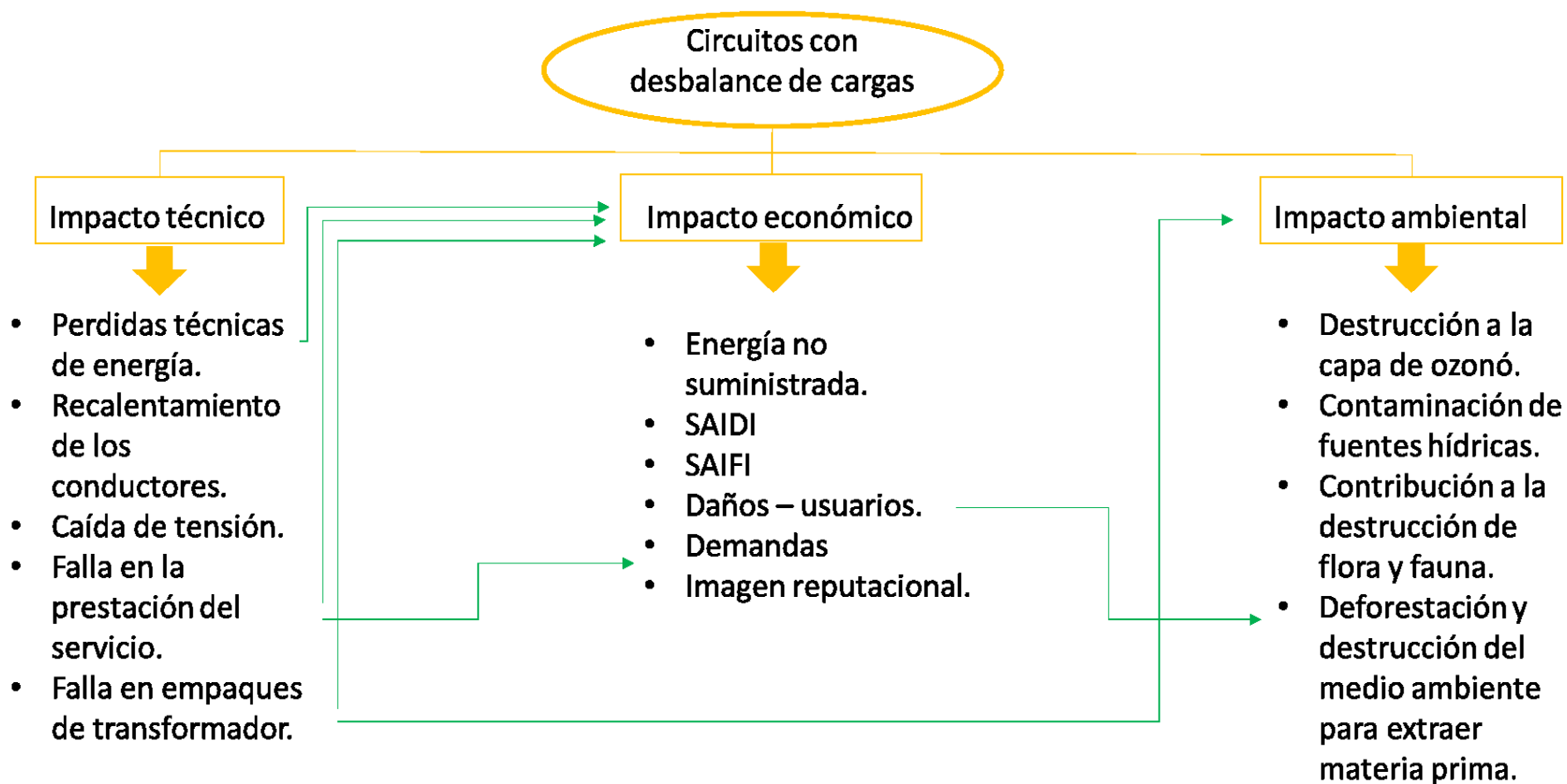


Ilustración 45 Resumen cumplimiento de objetivos

4 Bibliografía

- ACHS. (2003). *Docplayer*. Obtenido de <https://docplayer.es/11858047-Manual-de-sustancias-peligrosas-clasificacion-e-informacion-de-riesgos.html>
- ambiente, M. d. (1993). *Ley 99*. Obtenido de http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0099_1993.html
- Anero Cárcamo, M. (2007). *Técnicas de Investigación de Incendios. Incendios de Origen Eléctrico*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. Obtenido de <https://www.recercat.cat/bitstream/handle/2072/5372/PFCAnero.pdf?sequence=1>
- Arrayás, M., & Trueba, J. L. (2007). *Electromagnetismo, circuitos y semiconductores*. Madrid: DYKINSON, S. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouansp/reader.action?docID=3175802&query=potencia+electrica>
- ATN. (2019). *ATN Noticias*.
- Carvajal, R. (2001). Balanceo de circuitos de distribución primaria. *Energetica Vol XXIII, No 1/2002*, 5.
- Castaño Orozco, J. M. (2013). *Metodología de Gestión Ambiental*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia. Obtenido de hp&ei=rFQdXrCSIMLc5gK0z4DwCw&q=metodologia+de+gestion+ambiental+aceite+dielectrico&oq=metodologia+de+gestion+ambiental+aceite+dielectrico&gs_l=psy-ab.3...1137.16617..17003...2.0..0.308.9145.0j48j4j1.....0....1..gws-wiz.....0j0i131j0i13j0i22i30j33i22i29
- Castaño Orozco, J. M. (2014). *Metodología de Gestión Ambiental para Aceite Dieléctrico de Transformador: "Análisis del Ciclo de Vida (ACV)"*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- CENS, C. (2019). *Portal de Servicios*. Obtenido de <https://www.cens.com.co/Portals/1/documentos/GrandesClientes/PortafolioV2019.pdf>
- CENS, C. (15 de Noviembre de 2019). *Tarifas de energía mercado regulado*. Obtenido de Componentes del costo unitario CU: https://www.cens.com.co/Portals/Contingencia/tarifas_comercial/Tarifa_CENS_201911.pdf
- Colombia, M. d. (1994). *Sistema general de riesgos profesionales*. Obtenido de https://www.arsura.com/index.php?option=com_content&view=article&id=60&catid=51&Itemid=17
- Dominguez Gual, M. C. (2015). La contaminación ambiental, un tema con compromiso social. *Scielo*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000100001
- Ecosemp. (2017). *SlidePlayer*. Obtenido de <https://www.google.com/search?q=sustancia+peligrosa+para+el+medio+a>

- ambiente&rlz=1C1GCEU_esCO879CO879&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=2ahUKEwjqp-6R2J3pAhUReawKHxtUAb0Q_AUoAXoECA8QAw&biw=1366&bih=657#imgsrc=bemqlozd5NuueM
- EPM. (2011). Fusibles para protección de ramales y transformadores de distribución a instalar en poste. En Á. d. Distribución, *NORMAS TÉCNICAS RA8-005* (pág. 5). Medellín., Antioquia, Colombia. Obtenido de https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/normas_y_especificaciones/normas_aereas/grupo_8_normas_tecnicas/NORMASRA8_005_JULIO.pdf
- Fortescue, C. L. (1918). *wikimedia Commons*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Teorema_de_Fortescue
- Gan, A. A. (2018). Medio ambiente.
- Gómez Carmona, O., & Zapata, C. (2007). Efecto del desbalance en las cargas sobre la valoración de confiabilidad de un sistema de distribución de energía eléctrica. *Revista de ingeniería*, 25.
- Gonzales, C. J. (2018). Cúcuta.
- Grainger, J. J., & Stevenson Jr, W. D. (1996). *Análisis de sistemas de Potencia*. México: McGraw-Hill.
- Guerrero Perez, R., & Melero Avila, V. (2014). *Montaje y mantenimiento de transformadores. Montaje y mantenimiento de instalaciones eléctricas de baja tensión (uf0896)*. Ic Editorial. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com>
- Innovación, Y. C. (2012). *Guía para el docente y solucionarios : Montaje y mantenimiento de redes eléctricas de alta tensión de segunda y tercera categoría y centros de transformación*. Ic Editorial. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com>
- Luque Romera, F. J. (2018). *Control y verificación de productor fabricados*. Malaga: ic editorial. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouansp/reader.action?docID=5885412>
- Medrano Márquez, J. Á., González Ajuech, V. L., & Díaz de León Santiago, V. M. (2017). *Mantenimiento Técnicas y Aplicaciones industriales* (Vol. Primera Edición). México, México: Grupo Editorial Patria. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouansp/reader.action?docID=5213557&query=clases+de+mantenimiento>
- Mercado libre*. (Sd). Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-730045133-mi-2792-analizador-de-energia-portatil-4-hilos-metrel-_JM
- METREL. (2009). *Manual de funcionamiento PowerQ4 MI 2592*. METREL d.d.
- Ministerio de Ambiente, V. y. (2008). *Decreto 1299*. Obtenido de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=36256>
- Ministerio de ambiente, v. y. (2010). *Decreto 2820*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_2820_2010.pdf

- Ministerio de Minas y Energía. (2018). Resolución CREG 015. *Resolución No. 015 de 2018* (pág. 239). Comisión de Regulación de Energía y Gas.
- Navarro, J. D. (2018). *Estadística aplicada*. Díaz de Santos. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouansp/reader.action?docID=5426001>
- Pastor Gutierrez, A., & Jiménez, J. O. (2014). *Circuitos eléctricos*. Madrid.
- Pastor Gutierrez, A., Ortega Jimenez, J., Parra Prieto, V. M., & Perez Coyto, A. (2003). *Circuitos eléctricos : Teoría y práctica*. Madrid. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com>
- Pérez, I. (2008). Optimización del balance de cargas en circuitos de distribución primaria. *Energética Vol. XXX, No. 1/2009*, 9.
- Peroline, C. (2009). *Introducción a los circuitos eléctricos 1*. Hasa. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com>
- Quispe O, E. C., & Palacios P., J. A. (2012). Análisis de las definiciones de desequilibrio de tensión y su influencia con los efectos en la operación de motores trifásicos de inducción: la necesidad de una nueva definición. *CONVERGIA*, 6. Obtenido de http://enriquequispe.com/wp-content/uploads/2012/01/2006_Quispe_Palacios_CIUREE.pdf
- Rodríguez Chamorro, E. (2015). *Análisis del desequilibrio en redes de distribución de baja tensión*. Universidad de Sevilla, Sevilla.
- Rosell Polo, J. R. (2000). *Circuitos eléctricos monofásicos y trifásicos: fundamentos teóricos y ejercicios resueltos*. Edicions de la universitat de Lleida. Obtenido de <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliouansp/detail.action?docID=3209694>
- rural, M. d. (1996). *Decreto 1791*. Obtenido de <http://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1351077>
- Toyoda, S. (SD).
- trabajo, M. d. (2012). *Resolución 1409*. Obtenido de https://www.cancilleria.gov.co/sites/default/files/Normograma/docs/resolucion_mtra_1409_2012.htm
- trabajo, M. d. (2019). *Resolución 5018*. Obtenido de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/listados/tematica2.jsp?subtema=24347&cadena=e>
- transporte, M. d. (2002). *Decreto 1609*. Obtenido de https://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Decretos/dec_1609_310702.pdf
- Wikipedia*. (2020). Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/Potencia_el%C3%A9ctrica
- Tamayo, M. (2003). *El proceso de la Investigación Científica* (4 edición ed.). (N. Editores, Ed.) Mexico: Limusa. Obtenido de <https://clea.edu.mx/biblioteca/Tamayo%20Mario%20%20El%20Proceso%20De%20La%20Investigacion%20Cientifica.pdf>
- W.H. Kersting, "Causes and Effects of Unbalanced Voltages Serving an Induction Motor," *IEEE Transaction on Industry Applications*, vol.37, no.1, pp. 165-170, January/February 2001.

