



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TEMA:

**Análisis de la energía eléctrica de la subestación “El Pache”,
utilizando medidores y reguladores de voltaje de media tensión para
eliminar las variaciones de voltaje**

AUTOR:

Vega Romero, Bryan Santiago

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
**INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN EN
GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL**

TUTOR:

M. Sc. Quezada Calle, Edgar Raúl

Guayaquil, Ecuador

16 de septiembre del 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Vega Romero, Bryan Santiago** como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial**.

TUTOR

M. Sc. Quezada Calle, Edgar Raúl

DIRECTOR DE LA CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 16 días del mes de septiembre del año 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, VEGA ROMERO BRYAN SANTIAGO

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Análisis de la energía eléctrica de la subestación “El Pache”**, utilizando medidores y reguladores de voltaje de media tensión para **eliminar las variaciones de voltaje**, previo a la obtención del título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica con Mención en Gestión Empresarial Industrial**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 16 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

f. _____


VEGA ROMERO BRYAN SANTIAGO



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, VEGA ROMERO BRYAN SANTIAGO

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Análisis de la energía eléctrica de la subestación “El Pache”, utilizando medidores y reguladores de voltaje de media tensión para eliminar las variaciones de voltaje**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 16 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR:

f. _____

VEGA ROMERO BRYAN SANTIAGO

REPORTE URKUND

URKUND Fernando Palacios Meléndez (edwin_palacios)

Documento	TESIS VEGA V6.docx (D112090879)
Presentado	2021-09-05 17:18 (-04:00)
Presentado por	fernandopm23@hotmail.com
Recibido	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Revisión TT Bryan Vega Mostrar el mensaje completo 4% de estas 42 páginas, se componen de texto presente en 8 fuentes.

Lista de fuentes	Bloques
Categoría	Enlace/nombre de archivo
	https://docplayer.es/141779030-Universidad-catolica-de-...
	https://docplayer.es/113033971-Universidad-politecnica-...
	https://1library.co/document/gv8v7j1z-diseno-esquemas-...
	https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/54-...
	http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/8570/1/T-...
	https://docplayer.es/91209054-Universidad-catolica-sant-...

1 Advertencias. Reiniciar Exportar Compartir

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TEMA: "Análisis de la Energía Eléctrica

de la Subestación "El Pache", utilizando Medidores y Reguladores de Voltaje de Media Tensión para eliminar las Variaciones de Voltaje"

AUTOR: VEGA ROMERO BRYAN SANTIAGO

Trabajo de titulación

previo a la obtención del título de INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL

INDUSTRIAL

TUTOR:

ING. EDGAR QUEZADA

Guayaquil, 29 de agosto del 2021

AGRADECIMIENTO

Un infinito agradecimiento a Dios por haberme dado la sabiduría y fortaleza en los momentos que más necesite. A mis maestros que con su doctrina supieron formarme en cada ciclo de enseñanza en el profesional que ahora soy. Mí gratitud muy especial para cada uno de mis familiares quienes de una u otra forma están siempre conmigo ayudándome a seguir adelante.

DEDICATORIA

A mis dos ángeles, mis Padres, Nelly Romero y Emilio Vega, que mientras estuvieron conmigo me dieron ese apoyo incondicional, ahora desde el cielo me cuidan y protegen. A mi padre Maximimo que siempre está junto a mí y que ha sido un pilar fundamental, inculcandome siempre con enseñanzas y con el ejemplo a seguir por el camino correcto.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA CON

MENCIÓN EN GESTIÓN EMPRESARIAL INDUSTRIAL

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

DECANO

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

COORDINADOR DEL ÁREA

M. Sc. BAYARDO BOHÓRQUEZ ESCOBAR

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
RESUMEN.....	XVIII
ABSTRACT.....	XIX
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN ...	2
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	5
1.4 HIPÓTESIS.....	6
1.5 OBJETIVOS.....	6
1.5.1 Objetivo General.....	6
1.5.2 Objetivos Específicos.....	7
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS.....	8
2.2 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	9
2.2.1 Subestación principal en potencia.....	10
2.2.2 Sistema de Subtransmisión.....	10
2.2.3 Sistema de Distribución.....	11
2.3 ALIMENTADOR PRIMARIO.....	12
2.4 REGULACIÓN DE VOLTAJE.....	13
2.4.1 Estándares de voltaje.....	14

2.4.2	Sistemas para regular el voltaje.....	15
2.4.3	Transformadores.....	16
2.4.3.1	Transformadores de potencia	16
2.4.3.2	Transformadores de distribución.....	17
2.4.3.3	Transformadores Trifásicos.....	18
2.4.3.4	Transformadores Monofásicos	21
2.4.3.5	Aplicaciones de los transformadores.....	24
2.4.4	Reguladores de voltaje.	25
2.4.4.1	Conexiones de reguladores de voltaje	28
2.4.4.2	Ubicación de reguladores de voltaje	30
2.4.4.3	Regulador de voltaje de media tensión en cabecera.....	31
2.4.4.4	Regulador de voltaje de media tensión en la barra de la subestación	32
2.4.4.5	Regulador de voltaje de media tensión por fase en el alimentador de cabecera.....	32
2.4.4.6	Requerimiento de un regulador	33
2.4.5	Banco de Capacitores	33
2.4.6	Banco de Capacitores conmutables.....	36
2.5	POTENCIA ELÉCTRICA	36
2.5.1	Potencia Activa	37
2.5.2	Potencia Reactiva	38
2.5.3	Potencia Aparente	39
2.5.4	Triangulo de Potencias	40
2.6	FACTOR DE POTENCIA	41
2.6.1	Causa del bajo Factor de Potencia.....	42

2.6.2 Aumento de la factura por bajo factor de potencia	43
2.6.3 Aumento de la factura por bajo factor de potencia	44
2.7 SECUNDARIOS Y SERVICIOS	45
2.8 CONDUCTORES ELÉCTRICOS	46
2.8.1 Componentes de un cable eléctrico	46
2.8.2 Caídas de voltaje en los conductores Eléctricos.....	47
2.9 Medidores de Potencia	47
2.9.1 Aplicaciones típicas de un medidor de potencia	47
2.9.2 Funcionamiento de un medidor de potencia.....	48
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA.....	49
3.1 INTRODUCCIÓN	49
3.2 IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA... 49	
3.3 EFECTOS DE LAS CARGAS NO LINEALES.....	51
3.4 PERTURBACIONES EN LOS SISTEMAS DE ENERGÍA	53
3.4.1 Desequilibrio de voltaje	54
3.4.2 Distorsión de la Forma de onda: Armónicos.....	54
3.4.3 Fluctuación de voltaje (Flickers).....	57
3.4.4 Perturbaciones en los sistemas de energía.....	58
3.5 CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN: REGULACIÓN CONELEC – 004/01	58
3.5.1 Calidad del Producto	59
3.5.2 Calidad del Producto	59
3.5.3 Nivel de Voltaje	59
3.5.4 Mediciones del Nivel de Voltaje.....	60
3.5.5 Límites del Nivel de Voltaje	61

3.5.6 Perturbaciones	62
3.5.7 Parpadeos	63
3.5.8 Armónicos	65
3.5.9 Factor de Potencia	68
3.6 NORMA EN-50160	69
3.6.1 Límites de Frecuencia	70
3.6.2 Variaciones en el Voltaje Suministrado	70
3.6.3 Variaciones Rápidas de Voltaje	71
3.6.4 Huecos de Voltaje	71
3.6.5 Interrupciones cortas en el voltaje suministrado	72
3.6.6 Interrupciones largas en el voltaje suministrado	72
3.6.7 Sobrevoltajes temporales.....	72
3.6.8 Sobrevoltajes transitorios	73
3.6.9 Desequilibrio del voltaje suministrado.....	73
3.6.10 Voltajes armónicos	73
3.6.11 Voltajes interarmónicos.....	74
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGIA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN ECUADOR	75
4.1 INTRODUCCIÓN	75
4.2 ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA DE LA SUBESTACIÓN EL PACHE.....	75
4.2.1 Análisis del Alimentador Zaruma	77
4.2.2 Análisis del Alimentador Piñas	80
4.5.3 Análisis del Alimentador Atahualpa	82
4.5.4 Análisis del Alimentador Osorio.....	84

4.5.5 Análisis del Alimentador Pindo	86
4.5.6 Análisis de los resultados	88
4.5.7 Soluciones para mejorar la caída de voltaje	90
CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y REOCMENDACIONES	93
5.1 CONCLUSIONES	93
5.2 RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1. Subestación eléctrica “El Bosque”, Machala, El Oro.....	11
Figura 2. 2. Sistema de Alimentación Selectivo Primario	13
Figura 2. 3. Transformador de Potencia de 5/ 6.25 MVA en Subestación de El Pache, El Oro.....	17
Figura 2. 4. Transformador de distribución monofásico tipo poste	18
Figura 2. 5. Transformador trifásico de tipo subestación (15 a 150 KVA).	19
Figura 2. 6. Transformador trifásico de tipo subestación (200 a 5000 KVA).	20
Figura 2. 7. Transformador trifásico de tipo subestación con tanque de compensación (500 a 5000 KVA).....	21
Figura 2. 8. Transformador monofásico de tipo subestación (3 a 50 KVA).....	22
Figura 2. 9. Transformador monofásico de tipo subestación (75 KVA).....	23
Figura 2. 10. Transformador monofásico de tipo subestación (100 a 333 KVA).....	23
Figura 2. 11. Red de distribución y la aplicación del transformador en cada una de sus etapas.....	24
Figura 2. 12. Sistema de distribución ideal: Curva del circuito	26
Figura 2. 13. Usuarios conectados dentro de la zona ideal del nivel de voltaje.....	26
Figura 2. 14. Usuarios conectados fuera de la zona ideal del nivel de voltaje.....	26
Figura 2. 15. Regulador de voltaje: ANSI tipo A.	28
Figura 2. 16. Tipos de conexiones del regulador de voltaje.	29
Figura 2. 17. Ajustes del regulador para controlar el tap.	30
Figura 2. 18. Regulación de voltaje en cabecera con LTC.	31
Figura 2. 19. Regulación mediante el regulador monofásico en cabecera.....	32
Figura 2. 20. Regulación mediante reguladores monofásicos en cada línea.....	32

Figura 2. 21. Regulación mediante reguladores monofásicos en cada línea.....	38
Figura 2. 22 (a) Triángulo de potencia; (b) Triángulo de impedancia.....	41
Figura 2. 23 (a) Triángulo de potencia; (b) Triángulo de impedancia.....	41
Figura 2. 24 (a) Carga inductiva original; (b) Carga inductiva con capacitor en paralelo.....	44
Figura 3. 1 Carga no lineal: Ondas de voltaje y corriente.....	51
Figura 3. 2 Ejemplo de una curva de una carga no lineal.....	52
Figura 3. 3 Distorsión de onda por armónicos.....	55
Figura 3. 4 Curva del espectro de fluctuación de voltaje.....	57
Figura 4. 1 Niveles de voltaje del alimentador Zaruma en carga de demanda máxima.....	78
Figura 4. 2 Niveles de voltaje del alimentador Piñas en carga de demanda máxima	81
Figura 4. 3 Niveles de voltaje del alimentador Atahualpa en carga de demanda máxima.....	83
Figura 4. 4 Niveles de voltaje del alimentador Osorio en carga de demanda máxima.....	85
Figura 4. 5 Niveles de voltaje del alimentador Pindo en carga de demanda máxima	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Rangos de voltaje de operación para 120 V según ANSI C84.1.	15
Tabla 2. 2 Banco de capacitores: Subestación vs Alimentador	35
Tabla 3. 1 Perturbaciones que afectan la calidad de energía.....	58
Tabla 3. 2 Límites de operación permitidos por la Regulación CONELEC 004/01 ..	62
Tabla 3. 3 Normatividad: Clasificación en categorías	67
Tabla 3. 4 Valores de los voltajes armónicos en los puntos de suministro.....	74
Tabla 4. 1 Demandas máximas de alimentadores y transformadores de la subestación Portovelo.	76
Tabla 4. 2 Caída de voltaje de línea a línea del alimentador Zaruma	78
Tabla 4. 3 Caída de voltaje línea a neutro del alimentador Zaruma	79
Tabla 4. 4 Pérdidas del alimentador Zaruma	79
Tabla 4. 5 Caída de voltaje de línea a línea del alimentador Piñas	81
Tabla 4. 6 Caída de voltaje de línea a neutro del alimentador Piñas	81
Tabla 4. 7 Pérdidas del alimentador Zaruma	82
Tabla 4. 8 Caída de voltaje de línea a línea del alimentador Atahualpa	83
Tabla 4. 9 Caída de voltaje línea a neutro del alimentador Atahualpa	84
Tabla 4. 10 Pérdidas del alimentador Atahualpa	84
Tabla 4. 11 Caída de voltaje de línea a línea del alimentador Osorio.....	85
Tabla 4. 12 Caída de voltaje línea a neutro del alimentador Osorio	85
Tabla 4. 13 Pérdidas del alimentador Osorio	86
Tabla 4. 14 Caída de voltaje de línea a línea del alimentador Pinto	87

Tabla 4. 15 Caída de voltaje de línea a neutro del alimentador Pinto.....	87
Tabla 4. 16. Pérdidas del alimentador Pindo.....	88
Tabla 4. 17 Nivel de voltaje de los alimentadores analizados	88
Tabla 4. 18 Nivel de voltaje de los alimentadores analizados	89
Tabla 4. 19 Desbalance en la cabecera: Alimentadores Piñas y Atahualpa.....	89
Tabla 4. 20 Flujo de carga: Alimentador Piñas.....	90
Tabla 4. 21 Flujo de carga: Alimentador Atahualpa	90

RESUMEN

El presente trabajo realiza un análisis en la calidad de energía del voltaje de la subestación “El Pache”. Los niveles para una operación de calidad de servicio están establecidos de acuerdo con la regulación CONELEC 004/01 con el fin de brindar un servicio de calidad a los consumidores. El distribuidor de energía debe brindar un servicio con voltajes equilibrados, con amplitudes y frecuencias constantes, sin distorsión, de esta manera, la distribuidora de energía proveerá un servicio eléctrico con alimentación interrumpida, confiable y robusta a perturbaciones en la red. Sin embargo, existen varios parámetros que afectan a la calidad de la energía. Este documento analiza las principales causas que ocasionan el deterioro en la calidad de energía. Además de analizar la caída de voltaje en los diferentes alimentadores de la subestación en estudio. En base a esto, se determinan los puntos más críticos en la red de distribución. Finalmente, se dan recomendaciones para poder solucionar el problema de caída de voltaje en la subestación “El Pache”.

Palabras claves: Caída de Voltaje, Calidad de la Energía, Sistemas de Distribución, Subestación, Regulador de Voltaje.

ABSTRACT

The present work performs an analysis of the power quality of the voltage of the substation “El Pache”. The levels for a service quality operation are established in accordance with the CONELEC 004/01 regulation in order to provide a quality service to consumers. The power distributor must provide a service with balanced voltages, with constant amplitudes and frequencies, without distortion, in this way, the power distributor will provide an electrical service with interrupted power, reliable and robust to disturbances in the grid. However, there are several parameters that affect power quality. This document analyzes the main issues that cause deterioration in power quality. In addition to analyzing the voltage drop in the different feeders of the substation under study. Based on this, the most critical points in the distribution network are determined. Finally, recommendations are given to be able to solve the voltage drop problem in the “El Pache” substation.

Keywords: Voltage Droop, Power Quality, Distribution System, Substation, Voltage Regulator

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

1.1 INTRODUCCIÓN

Power quality o calidad de la energía es un término que ha captado mucha atención en la ingeniería en sistemas de potencia en los últimos años. Para la mayoría de los ingenieros de energía eléctrica, el término se refiere a un cierto grado de servicio eléctrico suficientemente alto. Por lo general, el término calidad se refiere a mantener la forma de onda sinusoidal del bus de voltaje en los valores de la tensión y frecuencia nominales (Pinto, 2021).

La calidad de la energía es una preocupación creciente para una amplia gama de clientes. Los clientes industriales pueden experimentar interrupciones de procesos importantes durante caídas de voltaje momentáneas asociadas con fallas dentro del sistema de servicios públicos (Pinto, 2021). Los clientes comerciales están instalando equipos de oficina electrónicos y de iluminación de alta eficiencia, lo que genera niveles de armónicos más altos en los edificios. Estas fuentes de armónicos provocan corrientes neutras excesivas y sobrecalentamiento del transformador. Incluso los clientes residenciales están preocupados por la protección contra sobretensiones para dispositivos electrónicos sensibles en el hogar y el impacto de las interrupciones momentáneas en sus equipos electrónicos.

La calidad de la energía dentro del sistema de distribución eléctrica es una preocupación creciente. Los clientes requieren un servicio de mayor calidad debido a cargas electrónicas y controladas por computadora más sensibles. Los eventos de conmutación de capacitores y las caídas de voltaje asociadas con fallas remotas que nunca causaron problemas en el pasado, ahora causan el disparo del equipo e incluso

fallas dentro de las instalaciones del cliente. Además, las cargas de los clientes están generando cantidades crecientes de corrientes armónicas que pueden magnificarse en el sistema de distribución debido a las condiciones de resonancia (Singh, Chandra, & Al-Haddad, 2016).

A medida que la tecnología avanza, los equipos se vuelven más sensibles a las fluctuaciones de voltaje a lo largo de la línea de distribución. Los equipos nuevos que aumentan la productividad de una planta también pueden causar problemas de calidad de energía para otros equipos en el futuro (Singh, Chandra, & Al-Haddad, 2016). La calidad de la energía ahora se ve desde la perspectiva de los sistemas más que como un problema de instrumentos aislado. Comprender el alcance completo del problema ayuda a identificar la solución y a prevenir sucesos futuros.

La existencia de perturbaciones requiere análisis, seguimiento y toma de medidas para asegurar la calidad de la electricidad. Por tanto, las perturbaciones son aquellas que reducen significativamente la calidad de la electricidad afectando al proceso de generación, transmisión y distribución, pero también al consumo eléctrico (Rodríguez Fernandez, 2020). La tensión es el principal elemento cualitativo que condiciona el buen funcionamiento del receptor. Por eso, la calidad de la tensión define prácticamente la calidad de la energía (Pinto, 2021), (Rodríguez Fernandez, 2020).

Actualmente, el análisis de calidad de la energía es de vital importancia debido a que se considera un indicador del nivel de la red para garantizar el correcto funcionamiento de las cargas. En este contexto, el documento se centra en análisis de la calidad de la energía de una subestación importante, subestación el Pache, dentro del sistema eléctrico de El Oro.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Mediante un estudio se ha detectado (Revista ElectroIndustria, 2017) que los principales problemas en la red de distribución eléctrica son las variaciones de voltaje y del factor de potencia, lo que resulta en un menor rendimiento del suministro eléctrico. Estos problemas pueden ocurrir por varias razones; pueden ser provocados por las instalaciones de equipos electrónicos sin realizar las modificaciones necesarias o la construcción de edificaciones sin un previo análisis de la sobrecarga eléctrica que se requerirá para cubrir las necesidades de consumo de energía.

Los elevados índices de pérdida de energía en la subestación el Pache distribuidora de electricidad, en la parte alta de la provincia de El Oro, representa un problema que debe ser atendido de manera inmediata para que la empresa CNEL EP mejore su gestión en servicios (Chimbo & Molina, 2018).

La Empresa Eléctrica Subestación “El Pache” durante años ha presentado problemas con la calidad de energía y el factor de potencia afectado por el bajo voltaje, donde muchos negocios y empresas mineras se ven obligados a detener sus actividades por los frecuentes cortes de energía, estos problemas han ocasionado que los usuarios deriven sus quejas contra la empresa eléctrica, por lo que es necesario un estudio que brinde una solución a los sistemas de variación de voltaje. (El Universo, 2018)

La calidad y seguridad en el servicio es necesaria ya que deberían transmitir confianza tanto a los usuarios como a sus empleados, por lo que el estudio amerita las situaciones constantes de medir los problemas que se presenten para evitar inseguridades y posibles desconexiones. La subestación El Pache tiene continuos fallos en su tablero de protección de media tensión por lo que en varias ocasiones ha

dejado sin servicio eléctrico a los cantones Piñas, Zaruma, Portovelo y Atahualpa (Chimbo & Molina, 2018).

1.3 JUSTIFICACIÓN

La empresa subastadora El Pache recibe suministro de energía a un voltaje de 13.8 kV, cuenta con un transformador de potencia de 5/6.25 MVA conectado en estrella entregando voltajes de 120, 220, 380, 440 V que son distribuidos en la parte de El Oro y en el sector de producción minera (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Los análisis pretenden reflejar las causas comunes de un servicio eléctrico con deficiente calidad de energía. Estas mediciones podrán establecer si los niveles eléctricos se encuentran dentro del rango establecido por las normas en el sector eléctrico. En un sistema eléctrico industrial se conoce que cuando trabaja fuera de los rangos permitidos, afecta directamente a la eficiencia del servicio, por ello es necesario conocer las causas y efectos de tener una deficiente calidad de energía y proponer métodos para mejorarlo. (ENEL-CODENSA, 2019)

Actualmente, en la subestación El Pache existe una problemática en el bajo de voltaje para los cantones Piñas, Zaruma, Portovelo y Atahualpa debido a la sobrecarga en la industria minería (Marin, 2021). El cantón Piñas, siempre ha contado con una calidad de energía muy inestable debido al bajo voltaje. Ha existido el suceso frecuente de corte de electricidad o fallas eléctricas que ocasiona muchos prejuicios en todo el cantón y daños domésticos por la variación de voltaje.

Por lo tanto, es necesario un análisis de las acometidas en baja tensión, el mismo que facilita la comprensión del comportamiento de las redes de distribución, tanto en operación normal como en caso de fallas. También se pretende realizar un

estudio al banco de capacitores para comprobar su funcionamiento óptimo lo cual nos permitirá mejorar el factor de potencia y mejorar el perfil de voltaje y a su transformador de potencia de 5/6.25 MVA que fue instalado en la subestación el Pache hace 10 años con el propósito de brindar un aumento en la capacidad de energía para los cantones de la parte alta (Hora, 2010).

1.4 HIPÓTESIS

El análisis de calidad de energía eléctrica en la subestación de El Pache, reflejará las condiciones del suministro eléctrico que entrega la subestación a la red. En base al análisis de los resultados del se planteará diversos criterios y/o soluciones que ayuden a brindar un suministro eléctrico con un mejor índice de calidad, mejorando de esta manera el funcionamiento del sistema eléctrico. La solución se centrará en la configuración de los transformadores debido a que la configuración correcta de los transformadores del Pache provocará la disminución de fallas y cortes de energía eléctrica en un 99%, tanto en el sector minero como en los cantones Piñas, Zaruma, Portovelo y Atahualpa.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo General.

Realizar un análisis de calidad de la energía eléctrica utilizando los medidores y reguladores de voltaje de media tensión, de los alimentadores o banco de capacitores, para prevenir las variaciones de voltaje tanto internas como externas en la subestación el Pache provincia de El Oro.

1.5.2 Objetivos Específicos.

1. Estudiar los equipos de regulación de voltaje en la subestación el Pache, puesto que son la mejor opción para eliminar la caída de tensión.
2. Realizar el estudio de la configuración de los transformadores para analizar su funcionamiento óptimo.
3. Analizar la calidad de energía de los alimentadores de la subestación El Pache.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

El presente proyecto está orientado al estudio de la calidad de energía brindada desde la subestación “El Pache” y a las frecuentes variaciones de voltajes producidos por la alta demanda energética (Chimbo & Molina, 2018).

Las líneas de subtransmisión a 690000 voltios que energizan a la subestación Portovelo es proveniente del Único punto de entrega con el Sistema Nacional de Transmisión Ubicado en el Sitio Unión Colombiana de la Parroquia El Cambio, perteneciente al cantón Machala, interconectado desde el punto en mención y su recorrido por las subestaciones: La Avanzada, Saracay y Portovelo con una distancia total aproximado de 80km (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Actualmente la parte Alta de la Provincia de El Oro viene soportando deficiencias energéticas relacionados con los problemas de voltaje, producto de su acelerado crecimiento de energía eléctrica relacionada en gran medida por las actividades industriales y agravada por la gran distancia desde el único punto de entrega existente ubicado en el sitio Unión Colombiana hasta la subestación Portovelo, es decir la subestación Portovelo se encuentra al final del sistema del sistema de subtransmisión en la Parte Alta de la Provincia, por lo que esto provoca caídas de voltaje en función de la distancia antes mencionada al único punto de entrega (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Con la finalidad de atenuar en cierta medida los problemas de voltajes, se tiene instalados reguladores de voltaje para el alimentador Piñas con un banco de

reguladores de tipo monofásico con rango de regulación de $\pm 10\%$ a 32 pasos de $5/8\%$ cada uno. En cuestión al sistema de medición que se dispone en la subestación, cada cabecera de alimentador se tiene instalado medidores de parámetros eléctricos, teniendo en el circuito Piñas el medidor PowerLogic ION7400 (CNEL EP El Oro, 2021).

2.2 SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Las redes de distribución eléctrica forman una parte muy importante en los sistemas de potencia porque toda la potencia que se genera se tiene que distribuir entre los usuarios, y estos se encuentran dispersos en grandes territorios; la generalización se realiza en grandes bloques concentrados en plantas de gran capacidad y la distribución en grandes territorios con cargas de diversas magnitudes (Chimbo & Molina, 2018).

Los sistemas eléctricos de distribución están conformados generalmente por la S/E y líneas de subtransmisión que alimentan a la S/E. La S/E en los sistemas de distribución contiene uno o más alimentadores primarios, los cuales son generalmente radiales, es decir, que flujo de potencia de la S/E hacia el usuario es en un solo sentido (Patrick & Fardo, 2021).

En este contexto, las partes que conforman al sistema de distribución eléctrica se resumen a continuación (Patrick & Fardo, 2021) (Rodriguez Fernandez, 2020):

- Sistema de subtransmisión, la cual alimentan a la subestación de distribución.
- Subestación de distribución que distribuye la energía hasta los usuarios por medio de alimentadores primarios.

- Transformadores de distribución para reducir el voltaje al nivel nominal definido para los niveles adecuados de consumo. Además, para garantizar y mejorar las condiciones para la regulación de voltaje, se encuentran los siguientes equipos: reguladores de voltaje, banco de capacitores, aisladores, seccionadores, reconectores, fusibles.
- Red secundaria con nivel de bajo voltaje.
- Ramales secundarios para proveer la energía eléctrica a los usuarios dentro de los niveles adecuados de consumo.

2.2.1 Subestación principal en potencia

La subestación eléctrica es la parte de un sistema de energía en la que el voltaje se transforma de alto a bajo o de bajo a alto para la transmisión, distribución, transformación y conmutación. El transformador de potencia, el disyuntor, la barra colectora, el aislante y el pararrayos son los componentes principales de una subestación eléctrica. Ésta recibe la potencia del sistema de transmisión y la transforma al voltaje de subtransmisión. Los voltajes de transmisión pueden ser de 230 kV, 400 kV y mayores, pero actualmente existen subestaciones de distribución de 230 kV. La potencia de la subestación principal es normalmente de cientos de MW (Rodríguez Fernández, 2020).

2.2.2 Sistema de Subtransmisión

Son aquellos circuitos que alimentan subestaciones. Los diversos sistemas de subtransmisión pueden abastecer subestaciones de distribución. Los voltajes de subtransmisión comunes incluyen 34,5, 69, 115 y 138 kV. Las líneas de

subtransmisión de voltaje más alto pueden transportar más energía con menos pérdidas en distancias mayores (Rodriguez Fernandez, 2020).

2.2.3 Sistema de Distribución.

Una subestación eléctrica es una subsidiaria estación de generación eléctrica, es un sistema de transmisión y distribución donde el voltaje se transforma de alto a baja o inversa utilizando transformadores. La energía eléctrica puede fluir a través de varias subestaciones entre plantas generadoras y consumidor, además de regular el voltaje en diferentes tramos. Una subestación que tiene un transformador elevador aumenta el voltaje mientras disminuye la corriente, mientras que un transformador reductor disminuye el voltaje mientras aumenta la Corriente para distribución doméstica y comercial (Patrick & Fardo, 2021).



Figura 2. 1. Subestación eléctrica “El Bosque”, Machala, El Oro.

Fuente: (CNEL EP, El Oro, 2019)

2.3 ALIMENTADOR PRIMARIO

El alimentador primario está formado por circuitos conocidos como alimentadores primarios o alimentadores de distribución, los cuales distribuyen el flujo de potencia hasta los transformadores de distribución. Un alimentador incluye el alimentador principal que generalmente es un circuito trifásico de cuatro hilos y derivaciones o laterales que generalmente son circuitos monofásicos o trifásicos tomados de la línea principal. Por lo general, un alimentador se secciona mediante dispositivos de reconexión en varios lugares para eliminar la menor cantidad posible de un circuito con fallas y obstaculizar el servicio a la menor cantidad posible de consumidores. (Rodriguez Fernandez, 2020).

Dependiendo de la aplicación y de la necesidad de disponibilidad, se puede hacer uso de sistemas selectivos primarios, lo cual permite reestablecer el servicio eléctrico en caso de fallas en un tiempo reducido. La composición de este tipo de sistemas es de dos alimentadores que pueden o no partir de la misma subestación de distribución. Es decir, por cada transformador de distribución se tendrá 2 fuentes de alimentación. Un criterio de diseño respecto a la distribución de carga entre ambos sistemas es tomar en cuenta que cada uno debe manejar la mitad de la carga total. A su vez, cada uno de los alimentadores debe ser capaz de tener la capacidad necesaria para poder llevar la carga asignada.

Cabe mencionar que, en caso de falla de uno de los alimentadores el sistema debe de tener una reconexión de tal forma que no se interrumpa el servicio, para que la carga pueda ser transferida al otro alimentador, recordando siempre que esto será un factor fundamental dependiendo de la aplicación. Cuando sucede una falla, el tiempo a considerar para realizar la reconexión dependerá del tiempo necesario para operar

los seleccionadores. En caso de que sea un seleccionador automático este tiempo estará dado por la especificación técnica dada por el fabricante.

Si se habla de cargas industriales y comerciales es sumamente importante que la interrupción del servicio no sea prolongada, ya que esto tendría como consecuencia grandes problemas, por ejemplo, hospitales y plantas o fábricas. Sobre la reconexión, esta puede ser manual como automático. (Patrick & Fardo, 2021)

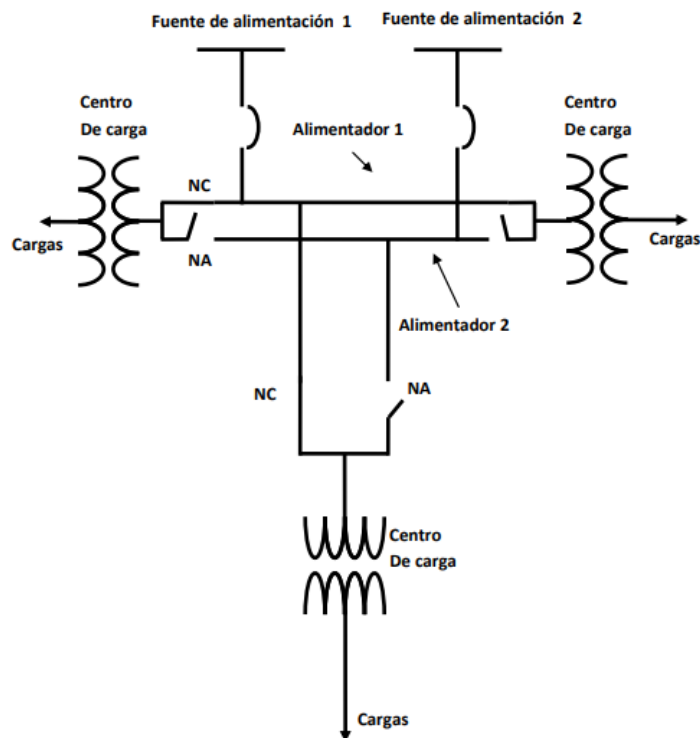


Figura 2. 2. Sistema de Alimentación Selectivo Primario

Fuente: (Unisalia, 2020)

2.4 REGULACIÓN DE VOLTAJE

Las empresas distribuidoras tienen el gran objetivo de suministrar a los clientes un nivel de voltaje de calidad, es decir, que estén dentro de los límites adecuados, los cuales serán analizados más adelante. Generalmente, la mayoría de las pérdidas en la

potencia activa en los sistemas de distribución son debido a la caída del nivel de voltaje. La caída de voltaje es causada por la caída en la corriente que fluye a través de la impedancia de la línea (Chimbo & Molina, 2018).

Los niveles de voltajes pueden ser regulados mediante el regulador de voltaje que se encuentra ubicado en la S/E de distribución o directamente en el alimentador de distribución y si fuera necesario aguas debajo de la misma S/E de distribución (Chimbo & Molina, 2018).

2.4.1 Estándares de voltaje.

La norma (ANSI C84.1, 2011) es la principal norma que establece los valores nominales de voltaje y las tolerancias de funcionamiento para sistemas de energía eléctrica (Chimbo & Molina, 2018).

- **Voltaje de Servicio:** Es el voltaje donde se interconectan el proveedor y el usuario. La empresa distribuidora es la única responsable de mantener un nivel de voltaje de calidad en la entrada del servicio que, generalmente, es registrado por un medidor de energía.
- **Voltaje de Utilización:** Este nivel de voltaje depende de la instalación debido a que es el voltaje en las líneas terminales de los dispositivos, por lo tanto, es responsabilidad del dueño de las instalaciones. Los fabricantes diseñan los dispositivos de modo que operen dentro de los rangos definidos por las normas.

Los requerimientos en los niveles del voltaje de servicio son más estrictos que los niveles del voltaje de utilización. De este modo, el estándar ANSI C84.1 divide los voltajes en dos rangos. El Rango A es el rango de voltaje óptimo. El Rango B es aceptable, pero no óptimo.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra los valores nominales de los voltajes y las tolerancias de funcionamiento de bajo voltaje del sistema donde el rango del voltaje base va de 120 V hasta 600 V. Las empresas distribuidoras tienen como principal objetivo mantener los niveles de voltaje de servicio dentro del Rango A, es decir, de 114 V a 126 V (Rodríguez Fernández, 2020) (Adriano Amaguaya, 2019).

Tabla 2. 1 Rangos de voltaje de operación para 120 V según ANSI C84.1.

Fuente: (ANSI C84.1, 2011)

	Voltaje de Servicio		Voltaje de Utilización	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Rango A	114 (-5%)	126 (+5%)	110 (-8.3%)	125 (+4.2%)
Rango B	110 (-8.3%)	127 (+5.8%)	106 (-11.7%)	127 (+5.8%)

La norma (ANSI C84.1, 2011) define los niveles de voltajes bajo, medio y alto, en 1 kV o menores, mayor a 1 kV y menores a 100 kV, y mayores a 100 kV, respectivamente. Cada uno de estos niveles de voltaje (bajo, medio y alto) existe un rango de operación definido por ANSI. Los rangos de tolerancia para los niveles de media tensión son más estrictos, donde el Rango A tiene un valor mínimo -2.5% y un valor máximo de +5%, mientras que para el Rango B el valor mínimo es de -5% y el máximo de +5.8% (ANSI C84.1, 2011).

2.4.2 Sistemas para regular el voltaje.

Las empresas distribuidoras de energías eléctrica pueden mantener regulado el voltaje en régimen permanente de diversas maneras con el fin de garantizar un nivel de voltaje de calidad (Adriano Amaguaya, 2019):

- Transformadores.
- Alimentadores de distribución o reguladores de voltaje de bus.
- Reguladores de voltaje de línea.
- Banco de capacitores fijos o computados.

La mayoría de los sistemas de distribución regulan la barra de la subestación mediante los transformadores, reguladores de voltaje de los alimentadores suplementarios y un banco de capacitores (Patrick & Fardo, 2021).

2.4.3 Transformadores

Estas unidades se encuentran principalmente formando subestaciones y según el empleo que se les dé, reciben el nombre de transformadores de potencia o transformadores de distribución. Además, los transformadores pueden ser elevadores, reductores o de enlace.

2.4.3.1 Transformadores de potencia

Este tipo de transformadores se han agrupado en segmentos de mercado en función de los rangos de tamaño. Estos tres segmentos son los siguientes (Harlow, 2017):

- 1) Pequeños transformadores: 500-7500 KVA
- 2) Transformadores de potencia media: 7500 KVA-100 MVA
- 3) Grandes transformadores: por encima de 100 MVA

Estos transformadores son de uso industrial, para subestaciones y para la transformación de energía de media y alta tensión. Son dispositivos de grandes

dimensiones; a la hora de transformar la energía deben ser muy eficientes, además de disipar la menor cantidad posible de calor durante su utilización (Harlow, 2017).

Normalmente estos equipos tienen una eficacia por encima del 99% y se obtiene esta exactitud mediante aleaciones especiales para ajustar los campos magnéticos entre las bobinas (Harlow, 2017).



Figura 2. 3. Transformador de Potencia de 5/ 6.25 MVA en Subestación de El Pache, El Oro.

Fuente: (Diario La Hora, 2010)

2.4.3.2 Transformadores de distribución.

Estos transformadores son los encargados de reducir el nivel de voltaje primario a voltaje de distribución, estos pueden ser instalados en postes o en cámaras subterráneas. Por lo tanto, los transformadores de distribución son los encargados de regular el nivel de voltaje hasta los niveles de consumo adecuados para los usuarios. Además, es la unión entre los alimentadores y los conductores de bajo voltaje. La capacidad de estos transformadores puede llegar a ser de 10 KVA hasta 1000 KVA, el rango de estos valores es debido a que la empresa eléctrica lo amerita así (Rodriguez Fernandez, 2020).



Figura 2. 4. Transformador de distribución monofásico tipo poste

Fuente: (ECUATRAN, 2017)

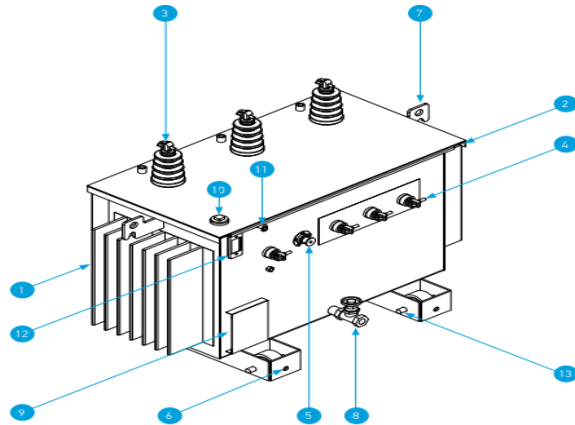
2.4.3.3 Transformadores Trifásicos

Los transformadores más utilizados para industrias de alta carga energética para tipo subestación o distribución son los transformadores trifásicos, pero hay excepciones cuando se trata de manejar grandes cantidades de energía en orden de los MVA, en cuyo caso se requiere varios transformadores trifásicos de potencia.

Si tomamos tres transformadores monofásicos y conectamos sus devanados primarios entre sí y sus devanados secundarios entre sí en una configuración fija, podemos usar los transformadores monofásicos en un suministro trifásico.

Los suministros trifásicos (3ϕ) se utilizan para la generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, así como para todos los usos industriales. Los suministros trifásicos tienen muchas ventajas eléctricas sobre la energía monofásica y, al considerar los transformadores trifásicos, tenemos que lidiar con voltajes y

corrientes alternas trifásicas (Harlow, 2017). A continuación, en la Figura 2. 5, se presenta un transformador Trifásico tipo subestación de 15 a 150 KVA.



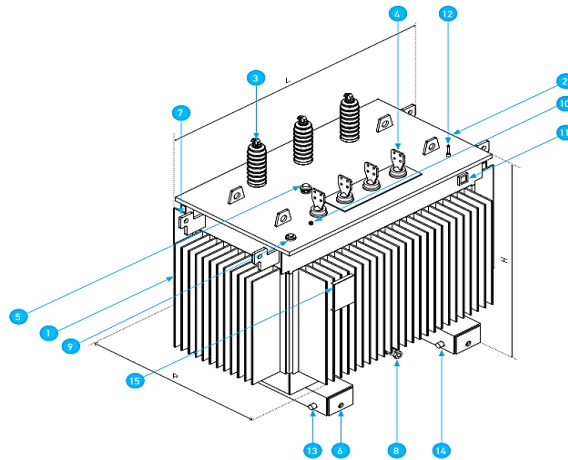
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Cuba del transformador	8	1	Válvula de descarga
2	1	Tapa emperrada	9	1	Placa de características
3	3*	Pasatapas de media tensión	10	1	Tapón de llenado
4	4*	Pasatapas de baja tensión	11	1	Válvula de sobrepresión
5	1	Cambiador de derivaciones de 5 pos	12	1	Nivel de aceite
6	2	Chasis	13	2	Conectores a tierra
7	2	Soporte de izado			

Figura 2. 5. Transformador trifásico de tipo subestación (15 a 150 KVA).

Fuente: (Ecuatran, 2017)

En la Figura 2. 5. se muestra un transformador trifásico tipo subestación de 15 a 150 KVA con sus distintas partes. Se puede observar que, contiene una válvula de descarga, dos tapas emperradas, tres pasatapas de media tensión y cuatro de baja tensión. Esencialmente, la distribución de energía eléctrica se da de baja a media tensión y se utiliza una válvula de sobrepresión en base a aceite para su funcionamiento.

Por otro lado, la Figura 2. 6. presenta un transformador trifásico tipo subestación de 200 a 5000 KVA.



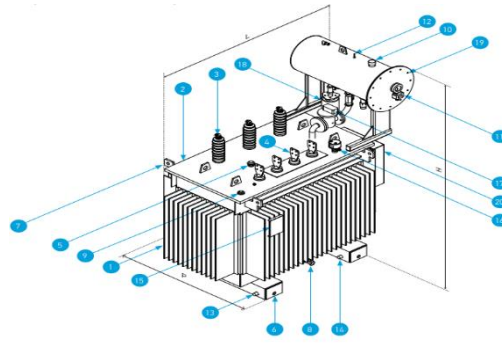
ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Cuba del transformador	9	1**	Tapón de llenado
2	1	Tapa empalmada	10	1	Válvula de sobrepresión
3	3*	Pasatapas de media tensión	11	1	Nivel de aceite
4	4***	Pasatapas de baja tensión	12	1***	Válvula de nitrógeno
5	1	Cambiador de derivaciones de 5 pos	13	4	Ruedas bidireccionales
6	2	Chasis	14	2	Conectores a tierra
7	4**	Soporte de izado	15	1	Placa de características
8	1	Válvula de drenaje			

Figura 2. 6. Transformador trifásico de tipo subestación (200 a 5000 KVA).

Fuente: (Ecuatran, 2017)

En la Figura 2. 7. se muestra otro tipo de transformador trifásico de tipo subestación con tanque de compensación de 500 a 5000 KVA.

Los transformadores trifásicos de tipo subestación presentados en las Figura 2. 5 y Figura 2. 6 tiene la función de transferir la energía eléctrica a los consumidores de tipo industrial, comercial y residencial. De acuerdo con las normas de las empresas distribuidoras se los puede montar en poste o cámara de distribución.



ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	1	Cuba del transformador	11	1	Nivel de aceite
2	1	Tapa emperrada	12	1	Provisión para llenado de aire
3	3*	Pasatapas de media tensión	13	4	Ruedas bidireccionales
4	4*	Pasatapas de baja tensión	14	2	Conectores a tierra
5	1	Cambiador de derivaciones de 5 pos	15	1	Placa de características
6	2	Chasis	16	1	Termómetro tipo dial
7	4*	Soporte de izado	17	1	Relé Buchholz
8	1	Válvula de drenaje	18	1	Secador de aire
9	2**	Tapón de llenado	19	1	Tanque de compensación
10	1	Válvula de sobrepresión	20	1	Caja de conexiones

Figura 2. 7. Transformador trifásico de tipo subestación con tanque de compensación (500 a 5000 KVA).

Fuente: (Ecuatran, 2017)

2.4.3.4 Transformadores Monofásicos

Este tipo de transformadores son un instrumento eléctrico que utiliza una entrada de corriente alterna monofásica y proporciona corriente alterna monofásica. Se emplea en la distribución de energía en regiones no urbanas, ya que la demanda general y los precios involucrados son más bajos que los del tipo trifásico de transformadores. Se utilizan como un dispositivo reductor para reducir el voltaje doméstico a una cantidad adecuada sin una variación en la frecuencia. Por esta razón, normalmente se emplea para alimentar instrumentos electrónicos en residencias (Harlow, 2017)

La Figura 2. 8. muestra un transformador monofásico de tipo subestación de 3 a 50 KVA. Este de tipo de transformador es un dispositivo reductor que transforma los voltajes a nivel de transmisión en salida a nivel de distribución. Son fabricados para ser instalados en postes. Su aplicación principal es la distribución de energía eléctrica, transformando el voltaje de las líneas de distribución de media tensión a los niveles de baja tensión residencial o industrial. Estos Transformadores se emplea en zonas urbanas o rurales. Su rango de fabricación va desde 5 KVA a 50 KVA, con nivel de tensión hasta 36 kV (ECUATRAN, 2017)

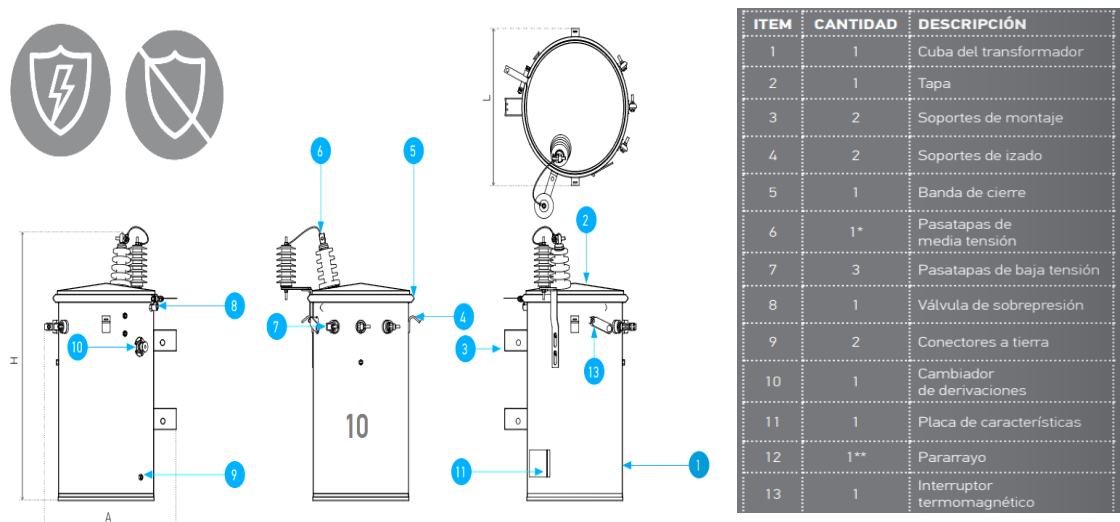


Figura 2. 8. Transformador monofásico de tipo subestación (3 a 50 KVA).

Fuente: (Ecuatran, 2017)

En la Figura 2. 9. se muestra otro tipo de transformador monofásico de tipo subestación con capacidad de 75 KVA. Mientras que en la Figura 2. 10. se muestra un transformador monofásico de tipo subestación de 100 a 333 KVA.

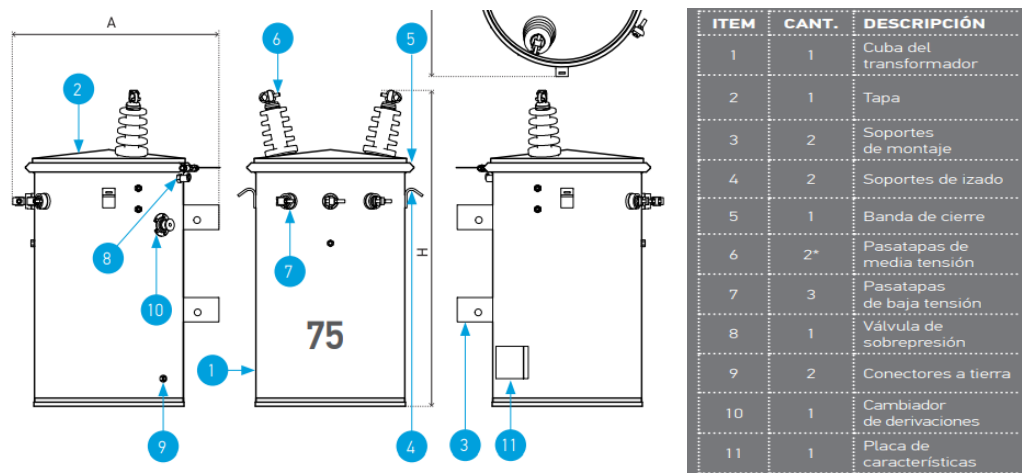


Figura 2. 9. Transformador monofásico de tipo subestación (75 KVA).

Fuente: (Ecuatran, 2017)

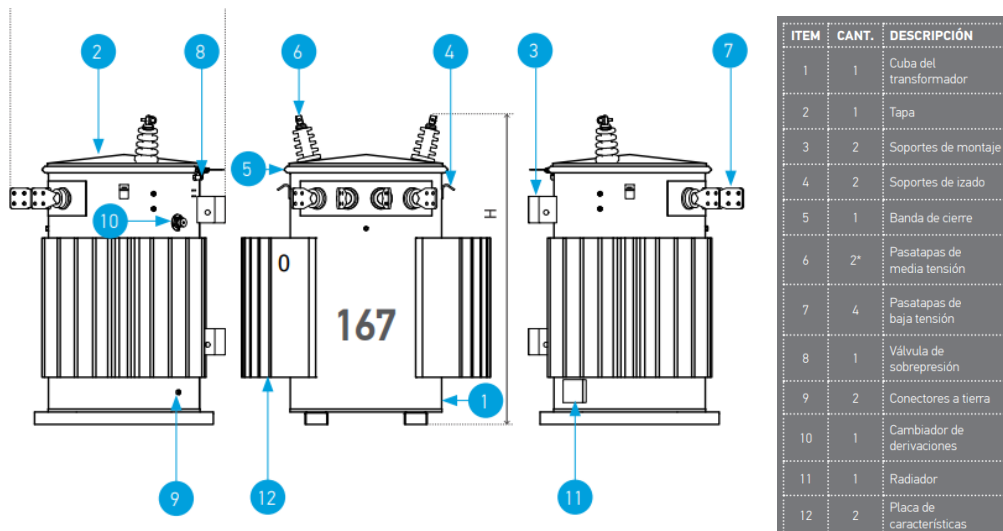


Figura 2. 10. Transformador monofásico de tipo subestación (100 a 333 KVA).

Fuente: (Ecuatran, 2017)

2.4.3.5 Aplicaciones de los transformadores

Las principales aplicaciones para los transformadores se citan a continuación (Rodríguez Fernández, 2020):

1. Puede subir o bajar el nivel de voltaje o corriente.
2. Puede aumentar o disminuir el valor de un condensador, un inductor o a una resistencia en un circuito de corriente alterna. Por tanto, puede actuar como un dispositivo de transferencia de impedancia.
3. Se puede utilizar para evitar que la corriente continua pase de un circuito a otro.
4. Puede aislar eléctricamente dos circuitos.
5. Aumenta el nivel de voltaje en el lado de la generación antes de la transmisión y distribución.
6. En el lado de distribución, para uso comercial o doméstico de electricidad, el transformador reduce el nivel de voltaje, por ejemplo, de 11kV a 220 V monofásico y 440 V trifásico.

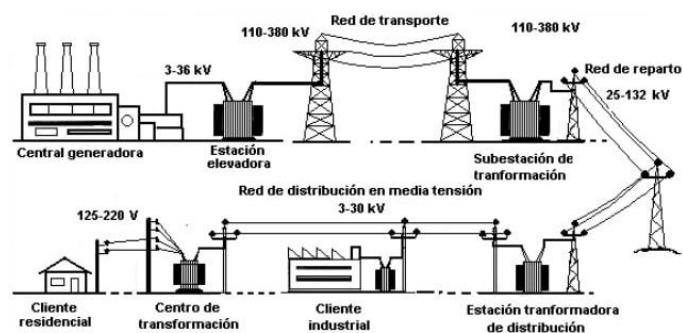


Figura 2. 11. Red de distribución y la aplicación del transformador en cada una de sus etapas

Fuente: (Wikimedia Commons, 2016)

2.4.4 Reguladores de voltaje.

Estos elementos se aplican en los sistemas de distribución para controlar el voltaje entregado a los clientes dentro de los estándares aceptables de la industria. Las preocupaciones sobre la calidad de la energía eléctrica entregada a los clientes por las empresas de servicios eléctricos han aumentado el nivel de conciencia de las condiciones de alta y baja tensión en las instalaciones de los clientes (Chimbo & Molina, 2018). Las caídas de voltaje que ocurren normalmente a través de las líneas y los transformadores varían con el nivel de carga en el sistema. Los reguladores de voltaje, cuando se aplican correctamente, pueden compensar estas caídas de voltaje y mantener el voltaje del cliente dentro de los límites adecuados.

La Figura 2. 12. presenta un sistema eléctrico de distribución ideal, es decir, sin importar las variaciones de la demanda de carga en la red, se suministra un nivel voltaje dentro de los rangos de calidad. Lo antes mencionado, en la práctica, no se puede conseguir, debido a que existen caídas de voltaje debido a las líneas, barras, transformadores, etc. (Patrick & Fardo, 2021).

En la Figura 2. 13. se muestra un alimentador de distribución con la carga uniformemente distribuida. Nótese que todos los usuarios que se conectan a lo largo del sistema de distribución están conectados dentro de la zona con el nivel de valores de voltaje aceptables, es decir, entre 110 V y 125 V (Rodriguez Fernandez, 2020). Debido al crecimiento de la demanda de carga, es normal que los sistemas de distribución sean dinámicos y se expandan. Sin embargo, cuando la red se expande y se conectan cargas al largo de la red, algunas de estas cargas estarán fuera de las zonas del rango de voltaje aceptable, como resultado, esto causa bajo voltaje en algunos puntos de la red, tal como se aprecia en la Figura 2. 14.

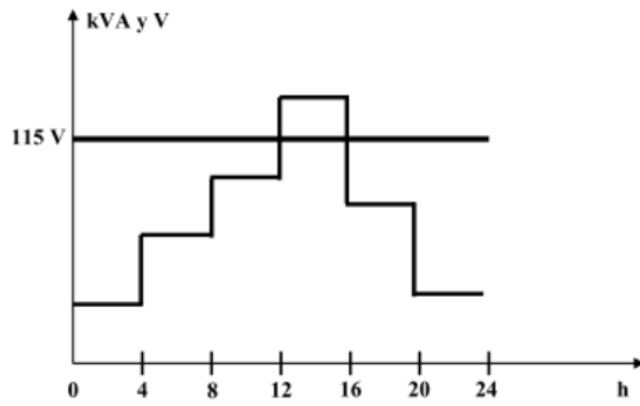


Figura 2. 12. Sistema de distribución ideal: Curva del circuito

Fuente: (Chimbo & Molina, 2018)

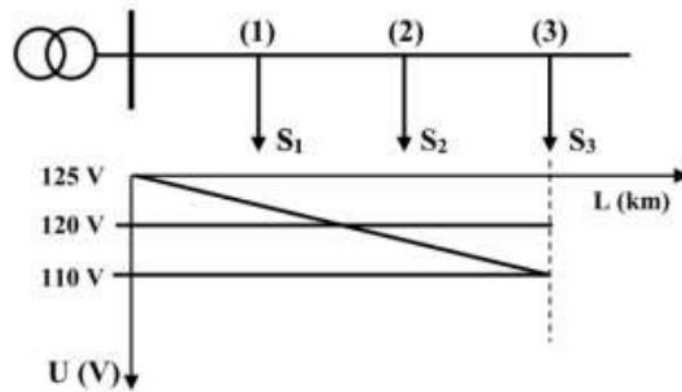


Figura 2. 13. Usuarios conectados dentro de la zona ideal del nivel de voltaje

Fuente: (Chimbo & Molina, 2018)

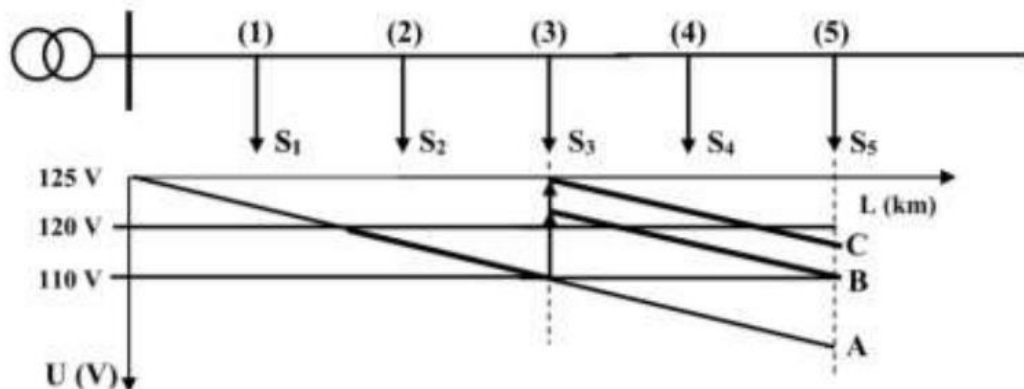


Figura 2. 14. Usuarios conectados fuera de la zona ideal del nivel de voltaje

Fuente: (Chimbo & Molina, 2018)

El problema de bajo voltaje se puede resolver cambiando a un conductor de mayor calibre a lo largo de la red. Al colocar un conductor de mayor calibre se disminuyen las pérdidas en las líneas de a lo largo de red, de esta forma se evita también la caída de voltaje. Sin embargo, el tiempo de ejecución de esta solución sería un gran problema. Por lo tanto, los reguladores resultan en una solución más económica y menos compleja que la antes mencionada (IBT Equipamentos Eléctricos, 2017)

Los reguladores de voltaje tienen una característica similar a los autotransformadores, por lo tanto, poseen un tap con ajuste automático, donde el rango va desde -10% a +10% con 12 pasos. Nótese que un paso de 5/8% representa 0.75 V en una escala de 120 V (Short, 2006) (Zhyngur Procel & Calva Riofrio, 2014) (Chimbo & Molina, 2018) .

La Figura 2. 15. muestra la configuración de un regulador lineal ANSI tipo A y tipo B. El ANSI tipo A presenta los taps en el lado de carga, mientras que el ANSI tipo B los taps se encuentran en el lado de la fuente. Nótese también que el regulador lineal, es decir, monofásico está compuesto por tres bushing: Fuente (S), carga (L), y fuente-carga (SL), donde el devanado está en serie entre S y L. El controlador del regulador censa la corriente mediante un TC en el lado de carga (L), mientras que el voltaje se censa mediante un TP entre (L) y (SL). Además, los reguladores pueden invertir el devanado en serie mediante un interruptor de inversión de acuerdo a la configuración que se necesite, es decir, hacia detrás o hacia delante para las conexiones sustractivas o aditivas, respectivamente (Avelino Pérez, 2020).

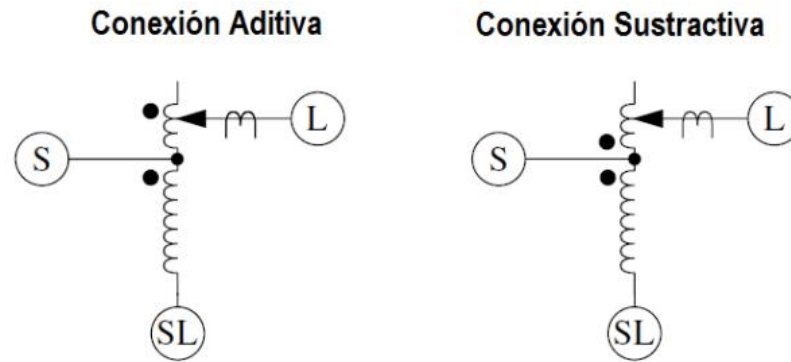


Figura 2. 15. Regulador de voltaje: ANSI tipo A.

Fuente: (Chimbo & Molina, 2018)

Además, los reguladores de voltaje monofásicos se pueden aplicar en sistemas trifásicos en una variedad de formas, incluidas estrella puesta a tierra, estrella abierta, triángulo cerrado y triángulo abierto. Las capacidades de los sistemas reguladores se ven afectadas por el diseño del sistema. Por lo tanto, los reguladores trifásicos son sistemas estrella o delta que controlan simultáneamente las tres fases. Los reguladores trifásicos, generalmente, se utilizan en subestaciones, donde la conexión interna es una conexión estrella con neutro flotante (Chimbo & Molina, 2018) (Avelino Pérez, 2020).

2.4.4.1 Conexiones de reguladores de voltaje

Los reguladores de voltaje pueden conectarse en tres tipos de conexiones, las cuales son: estrella (Y, línea - neutro), delta (Δ) y delta abierto (\sphericalangle), tal como se muestran en la Figura 2. 16. En este contexto, la conexión a utilizar por el regulador va a depender del valor del voltaje del alimentador de distribución, del voltaje nominal del regulador y del valor de regulación necesaria (Avelino Pérez, 2020) (Chimbo & Molina, 2018).

- **Estrella o línea neutro (Y):** Es un sistema de 4 hilos, donde se conectan tres reguladores de voltaje monofásicos en línea neutro. La conexión más apropiada para circuitos monofásicos y bifásicos es la conexión en estrella o línea neutro. En ese tipo de conexión, cada regulador controla el voltaje de cada fase del circuito de forma independiente, evitando así el desbalance de voltaje, además de controlar el voltaje en estado estacionario.
- **Delta Abierto (\angle):** En esta conexión sólo se requieren conectar dos reguladores monofásicos, donde cada uno se conecta en fase-fase.
- **Delta Cerrado (Δ):** En esta conexión se conectan tres reguladores monofásicos fase-fase, de esta manera, el rango de regulación es extendido en un 50%, de $\pm 10\%$ a $\pm 15\%$.

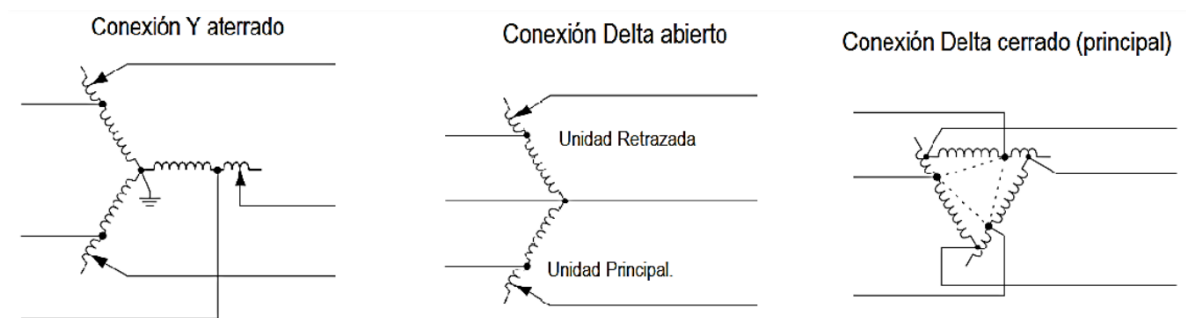


Figura 2. 16. Tipos de conexiones del regulador de voltaje.

Fuente: (Avelino Pérez, 2020)

Cuando los reguladores se conectan en cualquiera de los dos tipos de conexiones en delta, los reguladores ven un desplazamiento de fase de corriente respecto al voltaje línea-línea. En la conexión principal con factor de potencia unitario de la carga, la corriente de línea a través del regulador adelanta al voltaje de línea-línea por 30° (Avelino Pérez, 2020).

Los regulares de voltaje controlan los cambios de las tomas (taps) mediante un relé que posee tres opciones básicas (Chimbo & Molina, 2018) las cuales se muestran en la Figura 2. 17. y se describen a continuación:

- **Ajuste de Voltaje:** Es el valor al cuál se ajusta la salida del regulador, también conocido como centro de bando o punto de ajuste.
- **Ancho de Banda:** Los controles del regulador monitorean el error de voltaje, es decir, la diferencia entre el voltaje ajustado y el voltaje medido. Cuando este error es superior a la mitad del ancho de banda, se inicia un cambio de tap.
- **Temporizado:** Representa al tiempo de tarda el regulador en el cambio de tap.

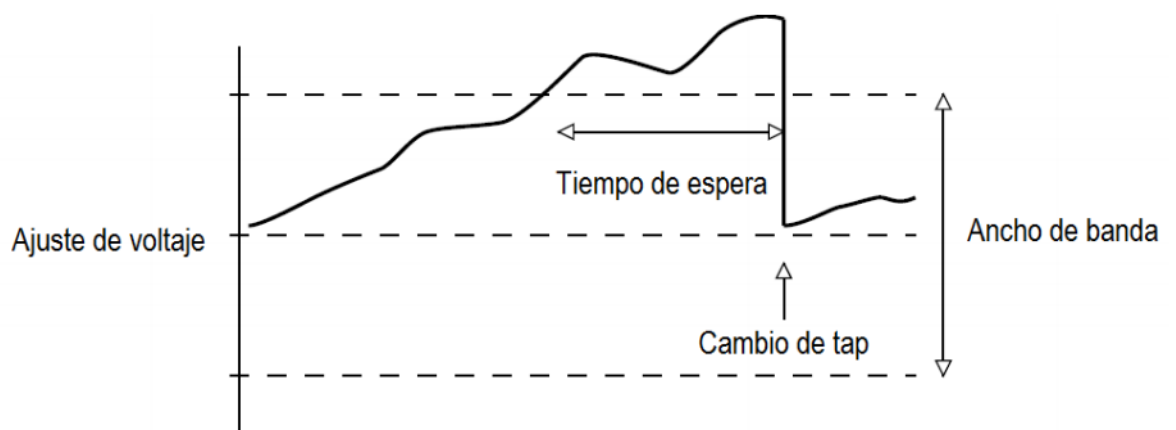


Figura 2. 17. Ajustes del regulador para controlar el tap.

Fuente: (Chimbo & Molina, 2018)

2.4.4.2 Ubicación de reguladores de voltaje

Para una carga uniformemente distribuida en el alimentador, la ubicación óptima para dos reguladores es a una distancia de aproximadamente del 20% la longitud del alimentador para uno y para el otro es del 50%. Para un regulador en el

alimentador, la localización óptima es aproximadamente de 3/8 de la longitud de la línea de la estación (Chimbo & Molina, 2018).

A lo largo de un circuito, varios reguladores pueden ser instalados para cumplir con los requisitos de calidad de voltaje para los usuarios. Sin embargo, los reguladores pueden presentar problemas de parpadeo a causa de motores y otras fuentes fluctuantes (Adriano Amaguaya, 2019). Además, el cambio en la carga causa un efecto negativo en los reguladores. Por ejemplo, si el regulador controla el tap para controlar el nivel de voltaje debido al cambio a carga pesada y el reconectador repentinamente abre una parte significativa de la carga de la red, el voltaje aguas abajo del regulador aumentará hasta que el taps hacia abajo cambie nuevamente debido al controlador del regulador (Patrick & Fardo, 2021).

2.4.4.3 Regulador de voltaje de media tensión en cabecera

Este tipo de sistema se realiza mediante un regulador con LTC (cambiador de Tomas de bajo Carga) del transformador. En el punto más bajo de un alimentador, la reducción de voltaje, mostrada en la Figura 2. 18, en cualquier fase es limitada (Zhyngur Procel & Calva Riofrio, 2014).

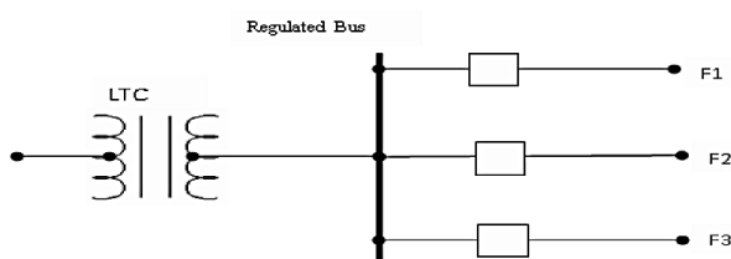


Figura 2. 18. Regulación de voltaje en cabecera con LTC.

Fuente: (Chimbo & Molina, 2018)

2.4.4.4 Regulador de voltaje de media tensión en la barra de la subestación

El regulador monofásico regula cada fase de los alimentadores de la subestación por medio del mismo tap, tal como se muestra en la Figura 2. 19. El punto más bajo de cada fase limita la reducción de voltaje para esa fase en todos los alimentadores (Avelino Pérez, 2020).

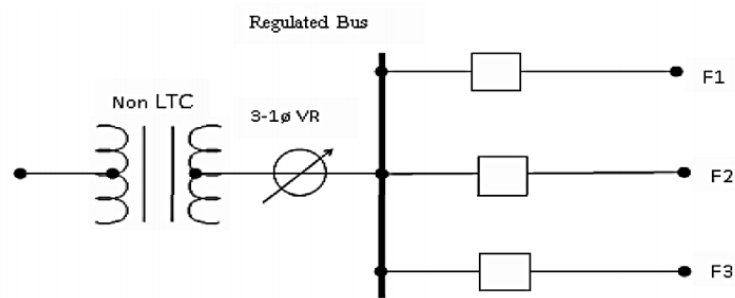


Figura 2. 19. Regulación mediante el regulador monofásico en cabecera.

Fuente: (Chimbo & Molina, 2018)

2.4.4.5 Regulador de voltaje de media tensión por fase en el alimentador de cabecera

El voltaje de cada fase del alimentador se regula de manera independiente mediante reguladores monofásicos, tal como se muestra en la Figura 2. 20. El punto más bajo de cada fase limita la reducción de voltaje para esa fase en todos los alimentadores (Zhyngur Procel & Calva Riofrio, 2014).

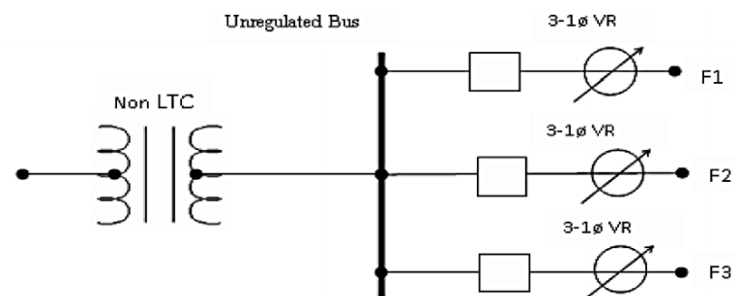


Figura 2. 20. Regulación mediante reguladores monofásicos en cada línea.

Fuente: (Chimbo & Molina, 2018)

El regulador monofásico regula cada fase de los alimentadores de la subestación por medio de este tap, tal como se muestra en la Figura 2. 18. El punto más bajo de cada fase limita la reducción de voltaje para esa fase en todos los alimentadores (Avelino Pérez, 2020).

2.4.4.6 Requerimiento de un regulador

Los requerimientos más relevantes en un regulador de voltaje se citan a continuación (Chimbo & Molina, 2018):

- 1) Mantener la tensión de salida constante independiente de las fluctuaciones de la entrada y la temperatura.
- 2) Mantener la tensión constante de salida, a las exigencias de corriente de carga.
- 3) El voltaje de salida no debe contener componentes alternos.
- 4) La fuente debe poseer un sistema para limitar la corriente de salida.

2.4.5 Banco de Capacitores

Es una combinación de numerosos capacitores de clasificación similar que se unen en paralelo o en serie entre sí para recolectar energía eléctrica. El banco resultante se utiliza para contrarrestar o corregir un retraso del factor de potencia o un cambio de fase en una fuente de alimentación de corriente alterna. Por lo tanto, los bancos de capacitores se utilizan generalmente para (Patrick & Fardo, 2021):

- Corrección del factor de poder
- Compensación de potencia reactiva

También se pueden utilizar en una fuente de alimentación de corriente continua para aumentar la cantidad total de energía almacenada o para aumentar la capacidad de corriente de ondulación de la fuente de alimentación (Avelino Pérez, 2020). Por lo tanto, los bancos de capacitores pueden mejorar el desempeño de los sistemas de distribución, reduciendo las pérdidas, liberando capacidad y reduciendo la caída de voltaje (Patrick & Fardo, 2021)

- **Pérdidas:** Los bancos de capacitores puede reducir las pérdidas de los motores y otras cargas con bajo factor de potencia disminuyendo la corriente de línea. Al reducir la corriente de línea, se reducen las pérdidas de línea.
- **Caída de voltaje:** Los bancos de capacitores pueden elevar el voltaje, lo cual compensa la caída de voltaje causada por las cargas de la red. Además, si se conmutan capacitores, se puede regular el voltaje.
- **Capacidad:** cuando las cargas reactivas intercambian potencia reactiva con el banco de capacitores, las líneas se libran de transportar potencia real liberando más capacidad porque la potencia reactiva no tiene que ser transmitida grandes distancias desde los generados a los transformadores.

Si se controlan y aplican correctamente, los bancos de capacitores pueden mejorar el desempeño de los circuitos del sistema de distribución. Sin embargo, si se aplican incorrectamente, pueden causar pérdidas y aumentar el voltaje debido a la potencia reactiva de los bancos de capacitores.

Algunas empresas distribuidoras de energía instalan banco de capacitores en las subestaciones y/o en puntos a lo largo de los alimentadores de distribución. La Tabla 2. 2; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta las principales

ventajas y desventajas de instalar los bancos de capacitores en la subestación o a lo largo del alimentador.

Tabla 2. 2 Banco de capacitores: Subestación vs Alimentador

Fuente: (Patrick & Fardo, 2021)

	Ventajas	Desventajas
Alimentadores	<ul style="list-style-type: none"> • Reducción de pérdidas en línea • Reducción de la caída de tensión en el alimentador • Libera capacidad en el alimentador • Bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento en la complejidad en el control • Tamaño y ubicación es importante
Subestación	<ul style="list-style-type: none"> • Control más fácil • Mejor ubicación si necesita conducir VARs al sistema. 	<ul style="list-style-type: none"> • No reduce pérdidas de líneas • No compensa la caída de voltaje en el alimentador • Costo alto

Los bancos de capacitores tienen el efecto opuesto a los motores inductivos donde cancelan un gran flujo de corriente y, por lo tanto, este banco de capacitores reduce su factura de electricidad. Por lo tanto, al tener un banco de capacitores se puede corregir el factor de potencia. De esta manera, a continuación, se citan algunas ventajas de tener banco de capacitores en el sistema de distribución (Rodriguez Fernandez, 2020):

- Bajas pérdidas en el factor de potencia.
- No requiere de un mantenimiento constante.
- Peso ligero.
- Fácil de instalar.
- No se requiere base.

Por otro lado, las desventajas de instalar un banco de capacitores son las siguientes:

- Su vida útil del equipo es muy corta de 8 a 10 años
- los capacitadores pueden dañarse fácilmente debido a la sobretensión
- Su reparación es costosa.
- Debido a la conmutación constante, se pueden producir sobretensiones de conmutación y armónicos

2.4.6 Banco de Capacitores conmutables

En comparación con los bancos de capacitores tradicionales, los conmutables presentan las siguientes ventajas:

- **Límites de voltaje:** En condiciones de carga ligera, la caída de voltaje no es excesiva en los bancos de capacitores conmutados comparados con los bancos sin conmutación.
- **Reducción de pérdidas:** Debido a la conmutación, la potencia reactiva se controla de mejor manera, por lo tanto, las pérdidas se reducen.

Realizar el arreglo de banco de capacitores, es decir ubicarlos y optimizar su funcionamiento, es una tarea relativamente fácil, sin embargo, realizar la conmutación de manera coordinada es una tarea más difícil. Algunas soluciones para este problema se encuentran en (Chimbo & Molina, 2018), lo que permite optimizar la solución para la conmutación.

2.5 POTENCIA ELÉCTRICA

Los sistemas eléctricos tienen el objetivo de generar potencia o producir un trabajo con el fin de alimentar desde sistemas simples hasta complejos de energía, es decir, la potencia eléctrica es la cantidad de energía absorbida o entregada por un sistema en un instante de tiempo. La potencia eléctrica también se define como la

cantidad de trabajo por unidad de tiempo (Patrick & Fardo, 2021). Por lo tanto, la energía y el trabajo son conceptos similares, donde (P) es la potencia en vatios, (E) es la energía en julios y (t) es el tiempo en segundos:

$$Potencia (P) = \frac{Trabajo}{Tiempo (t)} \quad \text{ó} \quad Potencia (P) = \frac{Energía (E)}{Tiempo (t)} \quad (1)$$

Otra forma de poder expresar a la potencia eléctrica en un circuito eléctrico es mediante el producto del voltaje por la intensidad de corriente (Duncan Glover, Overbye, & Mulukutla, 2016), donde la potencia generalmente se la expresa en watts (W) o kilowatts (kW).

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

2.5.1 Potencia Activa

La potencia activa es la potencia capaz de transformar la energía eléctrica en trabajo, es decir, se aprovecha toda la energía, resultando en siempre positiva la curva de potencia activa. En otras palabras, la potencia activa es la potencia consumida por un circuito eléctrico, y se mide en watts (W) o kilowatts (kW). En un sistema trifásico la potencia activa (P) está definida como (Duncan Glover, Overbye, & Mulukutla, 2016):

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos(\phi) \quad (3)$$

Donde P es la potencia activa, V es el voltaje, I es la corriente, y ϕ es el desfase entre el voltaje y al corriente.

En la Figura 2. 21, se muestra la gráfica de la potencia instantánea $p(t)$. Nótese que $p(t)$ es una función periódica con periodo T_o , es decir $p(t) = p(t + T_o)$. La

frecuencia en la potencia es dos veces la frecuencia de la onda de voltaje y corriente, por lo tanto $T_o = T/2$, donde T es el periodo de la onda de voltaje o corriente, $T = 2\pi/\omega$. Cuando $p(t) > 0$, el circuito eléctrico absorbe potencia, mientras que cuando $p(t) < 0$, se transfiere potencia del circuito a la fuente, es decir, la fuente absorbe potencia, debido a los dispositivos de almacenamiento de energía en el circuito, es decir los capacitores e inductores (Alexander & Sadiku, 2020).

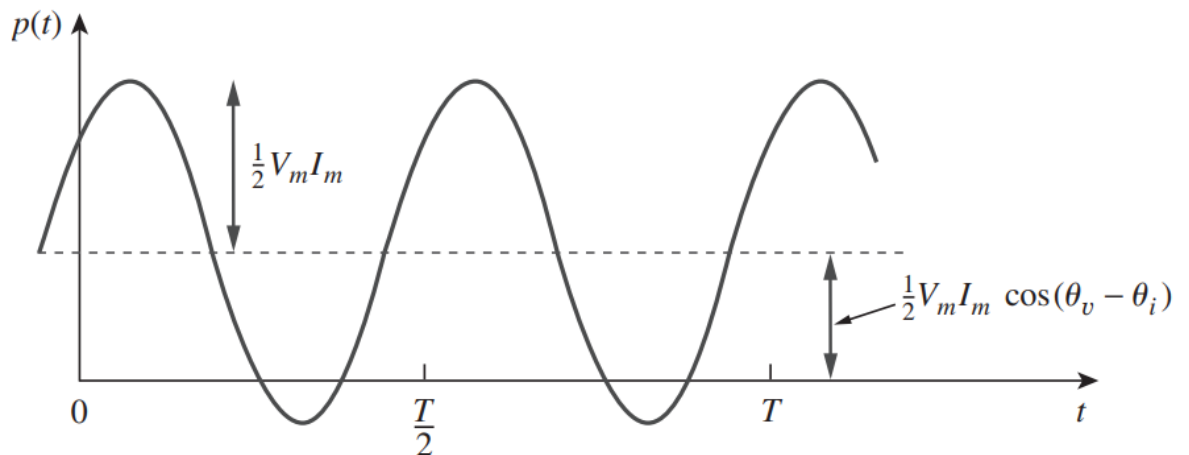


Figura 2. 21. Regulación mediante reguladores monofásicos en cada línea.

Fuente: (Alexander & Sadiku, 2020)

2.5.2 Potencia Reactiva

La potencia reactiva no produce trabajo debido a que su valor promedio es cero, sin embargo, es necesaria para la creación de campos eléctricos magnéticos para los componentes y cargas reactivas de la red. Se representa por la letra Q y se mide en voltio amperios reactivos (VAr) (Alexander & Sadiku, 2020).

Los elementos de almacenamiento de energía (elementos reactivos) de la red no disipan potencia debido a que se cargan y descargan en un periodo de tiempo, resultando en cero la potencia promedio consumida. Sin embargo, se debe dimensionar de forma apropiada estos elementos debido a la corriente que circula por ellos. El mal

dimensionamiento de estos elementos puede impactar de forma negativa al sistema, tales como, caídas de voltaje bajo operaciones pico, pérdida de potencia y elevados costos de facturación (Daza Urrego, Buriticá Arboleda, & Rodríguez, 2016).

En un sistema trifásico la potencia reactiva (Q) está definida como (Alexander & Sadiku, 2020):

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \cos(\phi) \quad (4)$$

Donde Q es la potencia reactiva, V es el voltaje, I es la corriente, y ϕ es el desfase entre el voltaje y al corriente.

2.5.3 Potencia Aparente

La potencia aparente es la potencia total del sistema, es decir, la potencia consumida por el circuito y la potencia almacenada por los elementos reactivos. Es decir, la potencia aparente es la suma vectorial de la potencia activa con la potencia reactiva. Por la tanto, si la potencia reactiva es igual a cero (factor de potencia igual a 1), la potencia aparente será igual a la potencia activa, es decir, será la potencia útil consumida por los elementos del circuito (Gómez Cabanillas, Universidad Cesar Vallejo). La potencia aparente se mide en voltios amperios (VA) o kilo voltios amperios (kVA) y se presenta con la letra (S). En un circuito trifásica la potencia aparente se define como:

$$S = \sqrt{3} * V * I \quad (5)$$

La potencia aparente en un sistema eléctrico es un parámetro muy importante porque define el factor de potencia del sistema además se emplearse en el diseño de

transformadores y generadores eléctricos, así como de las líneas y otros elementos eléctricos.

reactiva no produce trabajo debido a que su valor promedio es cero, sin embargo, es necesaria para la creación de campos eléctricos magnéticos para los componentes y cargas reactivas de la red. Se representa por la letra Q y se mide en voltio amperios reactivos (VAr) (Alexander & Sadiku, 2020).

2.5.4 Triángulo de Potencias

El triángulo de potencias es la representación de las potencias activa (P), reactiva (Q) y aparente (S). Debido al ángulo de potencia (θ), el triángulo de potencia exhibe 4 elementos: P , Q , S y θ . Por lo tanto, con la información de dos de los elementos antes mencionados, se pueden obtener los restantes mediante el triángulo de potencia. El factor de potencia es en atraso cuando la carga es predominantemente inductiva, es decir, S se sitúa en el cuarto cuadrante. Mientras que cuando la carga es predominantemente capacitiva, el factor de potencia está en adelante y S se sitúa en el cuarto cuadrante. Sólo cuando el circuito conste de circuitos activos, la potencia aparente (S) podría ubicarse en el segundo o tercer cuadrante, debido a que dinámicamente los circuitos activos tienen una característica de impedancia negativa. La Figura 2. 22 muestra el triángulo de potencias comparado con el triángulo de impedancia. Mientras que la Figura 2. 23 muestra el triángulo de potencia con el factor de potencia en adelante y atraso.

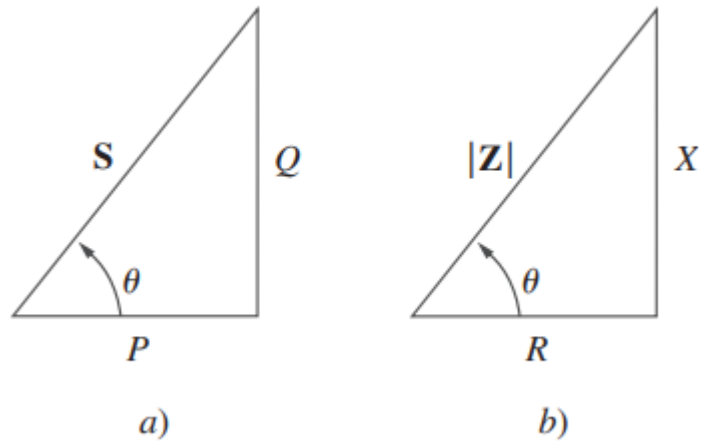


Figura 2. 22 (a) Triángulo de potencia; (b) Triángulo de impedancia.

Fuente: (Alexander & Sadiku, 2020)

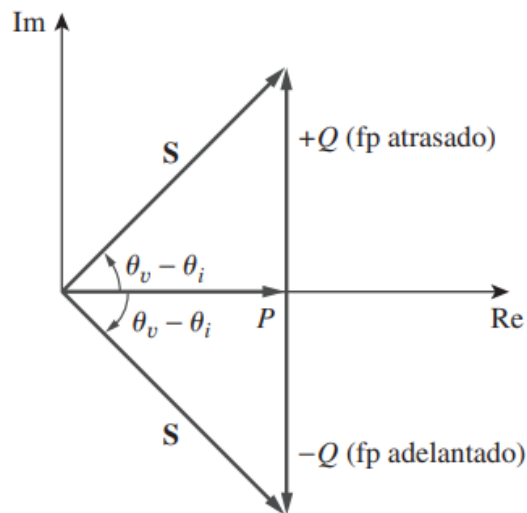


Figura 2. 23 (a) Triángulo de potencia; (b) Triángulo de impedancia.

Fuente: (Alexander & Sadiku, 2020)

2.6 FACTOR DE POTENCIA

En los circuitos de corriente alterna, el factor de potencia es la relación entre la potencia real que se utiliza para realizar el trabajo y la potencia aparente que se suministra al circuito. El factor de potencia puede obtener valores en el rango de 0 a 1. Cuando toda la potencia es potencia reactiva sin potencia real, el factor de potencia es

0 mientras que cuando toda la potencia total es potencia real (sin potencia reactiva), el factor de potencia es 1.

Las potencias eléctricas (P, Q y S) y factor de potencia son valores que representan el consumo de energía eléctrica, por lo tanto, inciden en el costo de energía consumida (Daza Urrego, Buriticá Arboleda, & Rodríguez, 2016). Debido a que la relación entre las potencias activa (kW) y reactiva (kVA), el factor de potencias es una medida adimensional que indica la cantidad de energía que se convierte en trabajo (Daza Urrego, Buriticá Arboleda, & Rodríguez, 2016). El factor de potencia (*F.P.*) se representa matemáticamente como:

$$F.P. = \frac{P}{S} \quad (6)$$

El factor de potencia también se puede representar como el coseno de la diferencia entre los ángulos de voltaje y corriente, que es lo mismo que el coseno de ángulo de la impedancia de la carga. Por lo tanto, el F.P. representa al desfase entre el voltaje y la corriente, además de ser un parámetro para evaluar la calidad de energía eléctrica (Daza Urrego, Buriticá Arboleda, & Rodríguez, 2016),

$$F.P. = \cos(\theta) = \cos(\theta_v - \theta_i) \quad (7)$$

donde, θ_v representa al ángulo del voltaje y θ_i al ángulo de la corriente.

2.6.1 Causa del bajo Factor de Potencia

La principal causa del factor de potencia bajo es la carga inductiva. Como en el circuito inductivo, la corriente se retrasa 90° con respecto al voltaje, esta gran diferencia de ángulo de fase, entre la corriente y el voltaje causa un factor de potencia cero. Básicamente, todos los circuitos que tienen capacitancia e inductancia, excepto

el circuito de resonancia o circuito de sintonización, donde reactancia inductiva es igual a reactancia capacitiva, por lo que el circuito se convierte en un circuito resistivo (Adriano Amaguaya, 2019).

Hay muchas desventajas del factor de potencia bajo, donde las causas más comunes del factor de potencia bajo se citan a continuación:

1. Motores de inducción monofásicos y trifásicos (por lo general, el motor de inducción funciona con un factor de potencia pobre, es decir, en: Plena carga F.P. entre 0.8 a 0.9, para carga pequeña, F.P. entre 0.2 a 0.3 y sin carga, F.P. puede llegar a cero (0).
2. Carga variable en el sistema de energía como sabemos que la carga en el sistema de energía varía. Durante el período de carga baja, el voltaje de suministro aumenta, lo que aumenta la corriente de magnetización que causa la disminución del factor de potencia.
3. Hornos de calefacción industrial
4. Lámparas de descarga eléctrica (iluminación de descarga de alta intensidad)
Lámparas de arco (funcionan un factor de potencia muy bajo)
5. Transformadores
6. Corrientes armónicas

2.6.2 Aumento de la factura por bajo factor de potencia

Un bajo factor de potencia producirá un aumento en la factura de nuestro consumo eléctrico, debido que la empresa aumenta la potencia para cubrir la necesidad de electricidad aparente, por lo tanto, más corriente eléctrica.

2.6.3 Aumento de la factura por bajo factor de potencia

El factor de potencia bajo se debe principalmente a las corrientes atrasadas generadas por cargas inductivas. Y antes de corregir el bajo factor de potencia debemos tener en cuenta que:

Para inductancia pura, la corriente se retrasa 90° con respecto al voltaje. Para capacitancia pura, la corriente adelanta al voltaje en 90° (Adriano Amaguaya, 2019).

Debido a que las cargas son inductivas, tal como se muestra en la Figura 2. 24(a), en su mayoría en un circuito eléctrico, el F.P. se puede mejorar al colocar adecuadamente un capacitor en paralelo a dicha carga, tal como se observa en la Figura 2. 24(b).

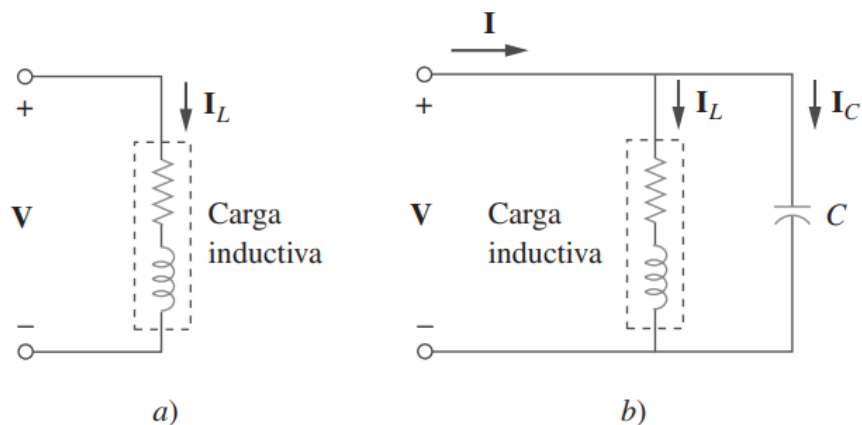


Figura 2. 24 (a) Carga inductiva original; (b) Carga inductiva con capacitor en paralelo.

Fuente: (Alexander & Sadiku, 2020)

Entonces, la solución es simple. Si usamos condensadores para extraer la corriente principal, podemos cancelar los efectos de la corriente inductiva retrasada y, por lo tanto, mejorar el factor de potencia.

Por lo tanto, uno de los métodos más sencillos para corregir el bajo factor de potencia es un banco de capacitores.

- Aplicado en áreas donde están presentes grandes cargas inductivas (corrientes de retardo).
- Se utilizan condensadores estáticos que producen reactancia capacitiva que cancela la reactancia inductiva de la corriente retardada.
- Estos bancos pueden estar conectados en estrella o en triángulo.
- Por lo general, se proporciona un sistema de control que monitorea el bajo factor de potencia y enciende o apaga los capacitores.

2.7 SECUNDARIOS Y SERVICIOS

Distribuyen la energía del secundario del transformador de distribución a los usuarios o servicios. Las potencias van desde 5 hasta 300 KVA en redes aéreas y hasta 750 KVA y más en redes subterráneas (Rodríguez Fernandez, 2020). Se utilizan redes automáticas de baja tensión cuando las redes son subterráneas, las cuales se alimentan por 4 o más alimentadores y múltiples transformadores de distribución, por lo tanto, la potencia es muy grande. En este contexto, las redes secundarias son la última parte de un sistema de distribución entre la generación y consumo.

En el lado de baja tensión está conformado por alimentadores secundarios, los cuales se alimentan por los transformadores de distribución, que llevan la energía hasta el punto de consumo.

2.8 CONDUCTORES ELÉCTRICOS

Un conductor eléctrico permite el flujo de carga en una o más direcciones. Los materiales de los que están hechos son de metal y son muy buenos conductores eléctricos, ya que los metales tienen una alta conductancia y baja resistencia.

Los conductores eléctricos permiten que los electrones fluyan entre los átomos de ese material con velocidad de deriva en la banda de conducción. Los conductores eléctricos pueden ser metales, aleaciones metálicas, electrolitos o algunos no metales como el grafito y un polímero conductor. Estos materiales permiten que la electricidad, es decir, el flujo de carga pase fácilmente a través de ellos (Duncan Glover, Overbye, & Mulukutla, 2016).

Las principales propiedades de los conductores eléctricos son las siguientes:

1. Un conductor siempre permite el libre movimiento de electrones o iones.
2. El campo eléctrico dentro de un conductor debe ser cero para permitir que los electrones o iones se muevan a través del conductor.
3. La densidad de carga dentro de un conductor es cero, es decir, las cargas positivas y negativas se cancelan dentro de un conductor.
4. Como no hay carga dentro del conductor, solo pueden existir cargas libres solo en la superficie de un conductor.
5. El campo eléctrico es perpendicular a la superficie de ese conductor.

2.8.1 Componentes de un cable eléctrico

Los conductores eléctricos se componen por el general de dos cables y una cubierta protectora exterior. Para cables de media y alta tensión que transportan altos voltajes, los cables conductores que están dentro de la capa protectora pueden ser

cubiertos individualmente en cubiertas aislantes. Los conductores eléctricos suelen estar hechos de cobre. Los polímeros sintéticos forman la cubierta exterior y el material aislante protector (Duncan Glover, Overbye, & Mulukutla, 2016).

2.8.2 Caídas de voltaje en los conductores Eléctricos

Según tal las caídas de voltaje se deben a la suma de caídas por reactancia o resistencia, ya que en los conductores eléctricos existen ambas propiedades en los circuitos eléctricos, para tratar de evitar una resistencia al circuito eléctrico por lo general se trata siempre de trabajar con conductores de mayores dimensiones, ya que si se trabaja con conductores más pequeños para el voltaje que se necesita transportar, es donde se comienzan a ver pérdidas y por lo general lo que hay caídas de voltaje y no se suele distribuir un voltaje que cubra la demanda energética (Duncan Glover, Overbye, & Mulukutla, 2016).

2.9 MEDIDORES DE POTENCIA

Un medidor de potencia es uno de los instrumentos más útiles y simples para medir la energía eléctrica cuando no se requiere un análisis más profundo de los datos medidos. Mide el voltaje y la corriente y deriva de estos los resultados de potencia más importantes. Los medidores de potencia son perfectos para técnicos e ingenieros que realizan tareas simples como mediciones de energía en espera. Las características más importantes son las mediciones de potencia rápida, precisa y fácil, así como la operación simple en una unidad base similar a un instrumento (Chimbo & Molina, 2018).

2.9.1 Aplicaciones típicas de un medidor de potencia

Un medidor de potencia es fácil de usar, preciso y es el instrumento preferido para soluciones rentables de medición de potencia para una amplia gama de

aplicaciones, tales como: pruebas de líneas de producción de dispositivos eléctricos, evaluación de equipos de gran corriente, evaluación de dispositivos con batería o CC, aseguramiento de la calidad (Alassouli, 2018).

2.9.2 Funcionamiento de un medidor de potencia

Según el autor (Alassouli, 2018), los medidores de potencia suelen estar equipados con 1, 3 o 6 canales de medición. Pueden medir todos los parámetros en sistemas de corriente alterna (CA) o corriente continua (CC) como potencia aparente, potencia activa y reactiva, corriente, tensión, frecuencia, factor de potencia, energía aparente, energía activa y reactiva.

Los medidores de potencia convencionales son instrumentos de estilo pulsador, que han sido los mismos durante décadas. Mientras que los medidores de potencia de última generación están equipados con interfaces de usuario modernas e intuitivas. Incluso los sistemas más avanzados se pueden conectar a través de una aplicación web a una computadora portátil o teléfono inteligente. Esto simplifica la operación e incluso el monitoreo remoto es posible a cualquier distancia (Ecuatran, 2017).

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA

3.1 INTRODUCCIÓN

El presente capítulo aborda los parámetros y generalidades que influyen en la calidad de energía eléctrica. En la actualidad, el análisis de la calidad de energía es importante en generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica, debido a los requerimientos de operación necesarios para los consumidores residenciales, comerciales e industriales. Por lo tanto, es necesario analizar los precedentes y las variables que afectan a la calidad de la energía con el fin de mejorarla y cumplir con los estándares de los entes regulatorios.

3.2 IMPORTANCIA DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA

La calidad de energía es mantener los valores nominales de operación de la red en los niveles óptimos de funcionamiento ante cualquier cambio y/o perturbación en la red tales como, imperfecciones en los niveles de voltaje, corriente o frecuencia, lo que resulta en el fallo de máquinas conectadas en un sistema eléctrico (Pinto, 2021) (Alassouli, 2018).

Idealmente, se requiere que el suministro de energía eléctrica sea una onda de voltaje y corriente de forma sinusoidal con magnitud y frecuencia constante. No obstante, existen varios factores que afectan a los parámetros ideales de las ondas, tales como, la impedancia distinta de cero del sistema de energía, transitorios causados por los diferentes tipos de cargas conectadas en la red, además de los cortes de energía. Por lo tanto, desde el punto de vista práctico, la calidad de energía en un sistema eléctrico de potencia expresa hasta qué punto el sistema puede operar de forma segura, respetando las normas de operación de calidad (Pinto, 2021).

El problema de no respetar las normas, es decir, tener una calidad de energía mala, es que las cargas conectadas en la red pueden fallar, además de reducir su vida útil, como resultado, la eficiencia de la red se verá reducida. La operación de la red también se verá comprometida, aumentando los costos de funcionamiento y la huella de carbono. Por otro lado, si la calidad de energía es buena, tanto las cargas como la red en general, funcionarán de manera correcta y eficiente (Adriano Amaguaya, 2019).

Algunos factores que influyen en la calidad de la energía en baja tensión son los siguientes (Adriano Amaguaya, 2019):

- Potencia reactiva: Debido a que puede cargar a los elementos de almacenamiento de energía innecesariamente.
- Distorsión armónica: Provoca un estrés adicional en la red, distorsionando la onda, lo que resulta una operación de la red con menor eficiencia.
- Desequilibrio de cargas: El desequilibrio de cargas causa desequilibrio de voltaje, aumentando la corriente neutra y la acumulación de voltaje neutro a tierra.
- Variaciones de voltaje: Las variaciones de voltajes tales como caídas de tensión y variaciones rápidas que causan parpadeos contribuyen a la baja calidad de energía.

Los fenómenos antes mencionados producen una operación ineficaz de la red, afectando en el tiempo de inactividad del sistema, además de reducir la vida útil de los dispositivos, en consecuencia, aumentando los costos de operación de la instalación.

3.3 EFECTOS DE LAS CARGAS NO LINEALES

Cuando la magnitud de la impedancia de una carga cambia durante un ciclo de voltaje, se considera que la carga es no lineal, es decir, dada una onda sinusoidal de voltaje y corriente, el valor de la impedancia en cualquier punto de las ondas ($Z=V/I$) no es igual en magnitud o forma durante todo el periodo de tiempo medido, tal como se muestra en la Figura 3. 1 (Aragundi Rodriguez & Castañeda Ordóñez, 2018).

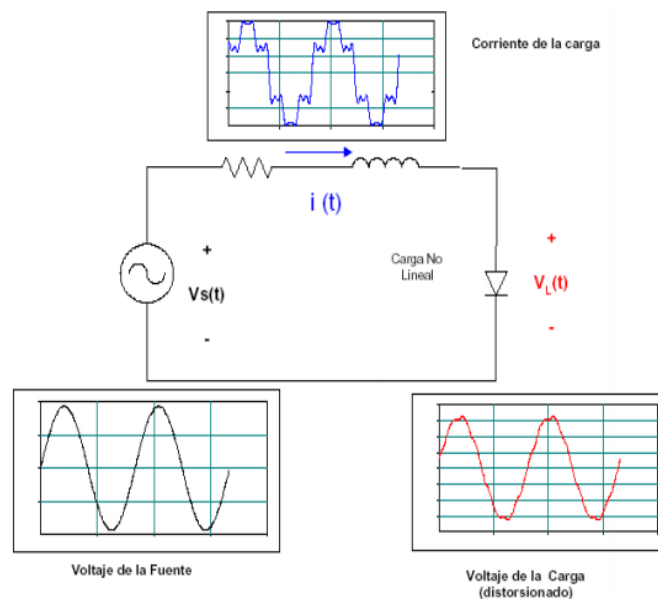


Figura 3. 1 Carga no lineal: Ondas de voltaje y corriente.

Fuente: (Aragundi Rodriguez & Castañeda Ordóñez, 2018)

Las cargas no lineales distorsionan las formas de ondas de voltaje y corriente en estado estable en los terminales de la carga, dando como resultado la aparición de corrientes armónicas. En la actualidad, los convertidores electrónicos de potencia, dispositivos magnéticos saturados y hornos de arco son las cargas no lineales más comunes que existen en el sistema de energía eléctrica (Aragundi Rodriguez & Castañeda Ordóñez, 2018).

A diferencia de las cargas lineales, las cargas no lineales no tienen una relación directa entre el voltaje y la corriente, tal como se muestra en la Figura 3. 2.

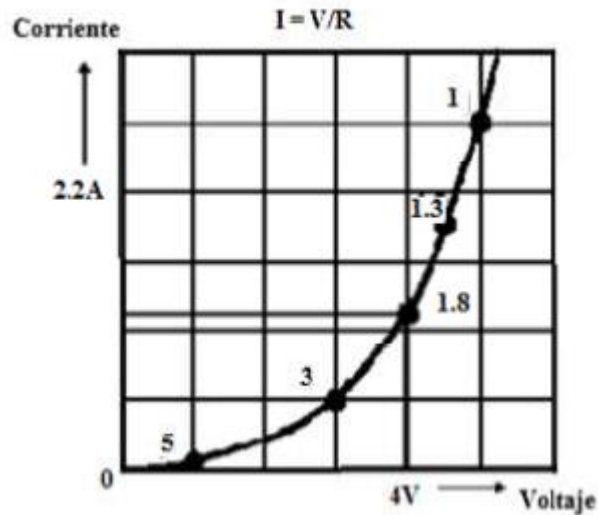


Figura 3. 2 Ejemplo de una curva de una carga no lineal.

Fuente: (Aragundi Rodriguez & Castañeda Ordóñez, 2018)

Las cargas no lineales han aumentado en los sistemas de energía en los últimos años debido al avance de la tecnología y al diseño de los sistemas modernos de energía, donde los convertidores estáticos son los dispositivos más usados. Los convertidores estáticos tienen un comportamiento no lineal, por lo tanto, para la red es una carga no lineal. Los convertidores estáticos se usan para diversas aplicaciones industriales, tales como, generación de energía, variadores de velocidad, microrredes, fuentes interrumpibles de poder (UPS), entre otras.

En este contexto, la distorsión armónica de corriente puede provocar calentamiento en los transformadores y conductores, así como la interferencia electromagnética en los equipos de comunicación. Por otro lado, la distorsión armónica de voltaje puede provocar la operación incorrecta de los dispositivos electrónicos debido a la variación en el voltaje.

A continuación, se citan algunos de los efectos más relevantes del impacto de las cargas no lineales en los sistemas eléctricos de potencia (Adriano Amaguaya, 2019):

- Distorsión en el voltaje del sistema eléctrico.
- Nivel de voltaje neutro a tierra alto.
- Problemas la regulación y estabilidad de voltaje y potencia.
- Campos magnéticos elevados.
- Sobrecalentamiento en los elementos que general campos magnéticos (transformadores, motores, generadores, etc.), disminuyendo su vida útil, además de aumentar las pérdidas de potencia.
- Fallo del banco de capacitores.
- Penalizaciones en la tarifa de energía debido al factor de potencia bajo.
- Efectos de resonancia que pueden provocar accidentes eléctricos, mal funcionamiento o fallas de equipos.

3.4 PERTURBACIONES EN LOS SISTEMAS DE ENERGÍA

Las perturbaciones en los sistemas de energía afectan a la calidad de onda de voltaje y corriente, afectando a los consumidores. Conocer los orígenes y causas de las perturbaciones que afectan a la red eléctrica ayudaría a proponer soluciones para corregir y mejorar la calidad de energía, sin embargo, es una tarea compleja que requiere de un correcto monitoreo y análisis. Las perturbaciones que deterioran el desempeño de la red, causando una calidad de energía deficiente se pueden manifestar de diferentes formas, unas más perceptibles físicamente que otras (Aragundi Rodríguez & Castañeda Ordóñez, 2018).

Un tipo de perturbación son las electromagnéticas, que de acuerdo la norma IEEE Estándar 1159, se pueden clasificar en tres tipos dependiendo las variaciones del RMS del voltaje o la corriente, la deformación de la onda, y debido al transitorio de la dinámica de la red. En este contexto, las perturbaciones electromagnéticas se pueden categorizar en: variaciones de corta duración, variaciones de larga duración, transitorios, distorsión de onda, desbalances de voltaje o corriente, fluctuaciones de voltaje, y variaciones de la frecuencia (Adriano Amaguaya, 2019).

3.4.1 Desequilibrio de voltaje

En un sistema trifásico, el desequilibrio de voltaje es cuando las tres fases presentan valores diferentes de magnitud y desfase entre fases diferentes de 120° eléctricos.

El desequilibrio de voltaje se define como la relación entre la componente de secuencia negativa y positiva. El voltaje de secuencia negativa es el resultado del desbalance de las cargas, es decir, el desequilibrio de las cargas, causando un flujo de corriente de secuencia negativa (Aragundi Rodríguez & Castañeda Ordóñez, 2018). El desequilibrio de voltaje puede estimarse como el máximo desvío de la media de los voltajes de las 3 fases dividido por la media de los voltajes, expresado en forma de porcentaje. Las principales causas del desequilibrio de voltaje son por la conexión de cargas monofásicas en circuitos trifásicos, anomalías en bancos de capacitores.

3.4.2 Distorsión de la Forma de onda: Armónicos

La deformación de la onda sinusoidal pura se conoce como distorsión armónica. Las ondas con distorsión están conformadas por una onda fundamental con una o más ondas cuya frecuencia es un múltiplo de la frecuencia fundamental, este análisis puede ser encontrado mediante el análisis de Fourier. Por ejemplo, si se juntan

3 ondas, una con frecuencia fundamental de 60 Hz, y las otras dos con frecuencia de 180 Hz y 300 Hz, respectivamente, resultan en un tipo de onda distorsionada específica. Por lo tanto, los múltiplos de la frecuencia natural son llamados armónicos (Aragundi Rodriguez & Castañeda Ordóñez, 2018).

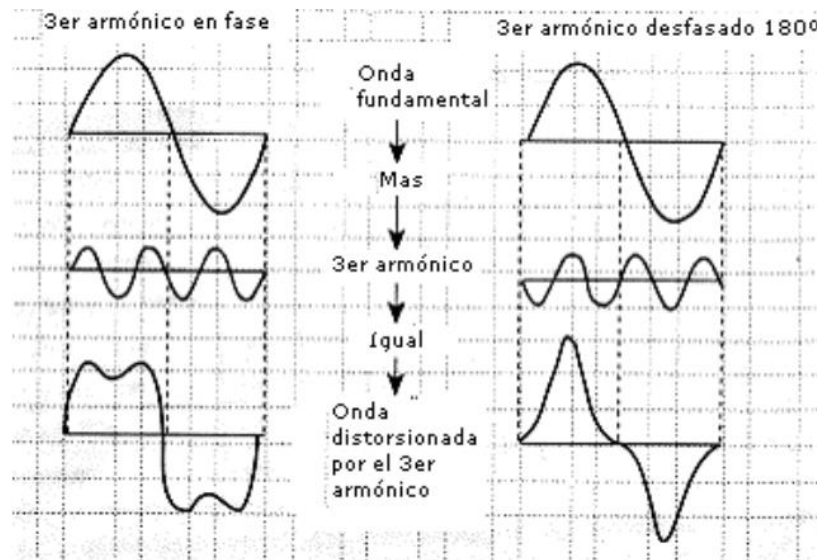


Figura 3. 3 Distorsión de onda por armónicos

Fuente: (Aragundi Rodriguez & Castañeda Ordóñez, 2018)

Las formas de ondas no sinusoidales pueden ser descompuestas en un número finito de ondas sinusoidales puras, pero con diferentes frecuencias. La Figura 3. 3 muestra la combinación de dos ondas sinusoidales puras, una con el valor de la onda de voltaje fundamental y la otra que depende de la forma de onda del 3er armónico, por lo tanto, la forma de onda resultante va a depender de la forma de onda del 3er armónico (magnitud y desplazamiento de fase).

Por lo tanto, los armónicos eléctricos son ondas con frecuencias que son múltiplos a la fundamental, 60 Hz en Ecuador, lo que provoca distorsión de las ondas de voltaje o corriente en un sistema eléctrico de potencia. Los armónicos eléctricos son causados generalmente por cargas no lineales conectadas a lo largo de la red.

Los armónicos, ya sean de voltaje o corriente, pueden ser cuantificados y evaluados de acuerdo con los siguientes indicadores:

- Distorsión armónica individual: La tasa o contenido armónico en una onda de voltaje o corriente distorsionada, se expresa en porcentaje con respecto a la componente fundamental:

$$IHD_n = \frac{v_n}{v_1} \times 100\% \quad (8)$$

donde, v_n es la amplitud del armónico de orden n , y v_1 es la amplitud de la componente fundamental.

- Distorsión armónica total: La distorsión total armónica se representa mediante el espectro total armónico con cada componente individual de magnitud y fase. Para calcular la tasa de distorsión normalmente se utiliza el criterio de distorsión total armónica (THD).

Voltaje	Corriente
$THD = \frac{\sqrt{v_3^2 + v_5^2 + v_7^2 + \dots}}{v_1}$	$THD = \frac{\sqrt{i_3^2 + i_5^2 + i_7^2 + \dots}}{i_1} \quad (9)$

- Distorsión demanda total: Es la relación entre la corriente de la demanda total máxima de carga y la corriente armónica total.

$$THD = \frac{\sqrt{i_3^2 + i_5^2 + i_7^2 + \dots}}{i_{demanda-max}} \quad (10)$$

3.4.3 Fluctuación de voltaje (Flickers)

Las fluctuaciones de voltaje son variaciones sistemáticas de la tensión. A menudo, las fluctuaciones son una serie de variaciones de la magnitud de voltaje que regularmente exceden el límite especificado entre 0.95 [p.u.] a 1.05 [p.u.].

Por otro lado, el flicker es el parpadeo de luz, es decir, es la fluctuación de la luminancia. El flicker es un fenómeno fisiológico visual que afecta a las luminarias alimentadas por una fuente común con una carga perturbadora. Generalmente, las variaciones de voltaje para un flicker tienen una amplitud inferior al 1% y la frecuencia de ocurrencia de falla es entre 0 a 30 Hz (Pinto, 2021).

Este fenómeno es más notorio en las luminarias de baja tensión, sin embargo, las cargas perturbadoras pueden conectarse en cualquier punto de la red, es decir en cualquier nivel de tensión. Estas cargas pueden ser las siguientes: motores, máquinas de soldar, hornos de arco, etc. Además, los flickers también pueden ser causados por la alimentación o desconexión de cargas importantes, tales como, arranque de motores, conmutación de banco de capacitores, etc. La Figura 3.4 muestra la curva del espectro de fluctuación de voltaje.

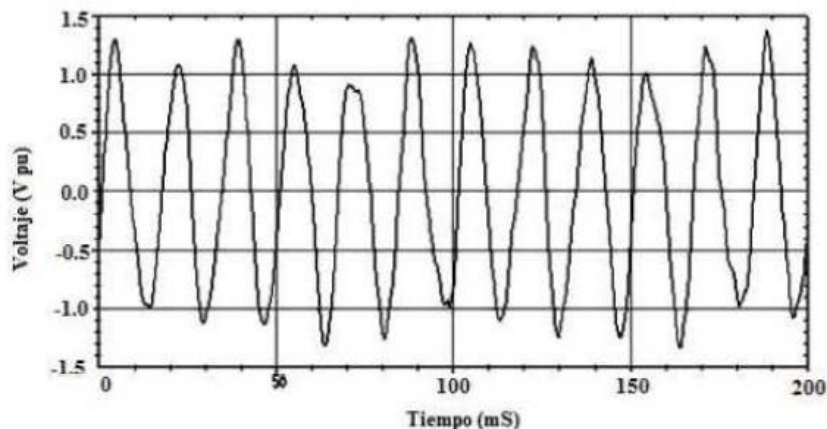


Figura 3. 4 Curva del espectro de fluctuación de voltaje.

Fuente: (Aragundi Rodriguez & Castañeda Ordóñez, 2018)

3.4.4 Perturbaciones en los sistemas de energía

La Tabla 3. 1 resume los tipos y categorías de las perturbaciones que afectan a la calidad de la energía, además de los rangos de frecuencia, tiempo de duración y magnitud de voltaje.

Tabla 3. 1 Perturbaciones que afectan la calidad de energía

Fuente: (Aragundi Rodriguez & Castañeda Ordóñez, 2018)

Categoría	Duración Típica	Magnitud Típica del Voltaje
1. Transitorios		
1.1 Transitorio Impulsivo	< 0.5 ciclos	
1.2 Transitorio Oscilatorio	< 0.5 ciclos	0 – 8 p.u.
2. Corta Duración		
2.1 Interrupción	0.5 ciclos – 1 min	< 0.1 p.u.
2.2 Depresión de Tensión (Sag)	0.5 ciclos – 1 min	0.1 – 0.9 p.u.
2.3 Salto de Tensión (Swell)	0.5 ciclos – 1 min	1.1 – 1.8 p.u.
3. Larga Duración		
3.1 Interrupción Sostenida	> 1 min	0 p.u.
3.2 Subtensión	> 1 min	0.8 – 0.9 p.u.
3.3 Sobretensión	> 1 min	1.1 – 1.2 p.u.
4. Desequilibrio de Tensión	Estado Estable	0.5 – 2 %
5. Distorsión de la forma de onda		
5.1 Armónicos	Estado Estable	0 – 20 %
5.2 Corte	Estado Estable	
5.3 Ruido	Estado Estable	0 – 1 %
6. Fluctuación de Tensión (Flicker)	Intermitente	0.1 – 7 %

3.5 CALIDAD DEL SERVICIO ELÉCTRICO DE DISTRIBUCIÓN: REGULACIÓN CONELEC – 004/01

En el sistema eléctrico ecuatoriano, la calidad de la energía en subgeneración, transmisión y distribución se evalúa según la Norma (CONELEC - 004/01, 2001). Los niveles de los parámetros de operación de la red para las distribuidoras son establecidos por este organismo, los cuales se detallan en las siguientes subsecciones. Este documento analiza la calidad de la energía del sistema eléctrico de distribución,

además para analizar la caída de voltaje, también se describe la norma de calidad de voltaje EN-50160.

3.5.1 Calidad del Producto

Existen índices mínimos de calidad para definir la operación adecuada de un sistema eléctrico de energía para brindar un servicio de calidad a los usuarios. Los parámetros técnicos que las empresas distribuidoras deben cumplir para garantizar la calidad del servicio eléctrico a los usuarios son regidos por el CONELEC de acuerdo con la regulación 004/01, la cual fue emitida en el 2001 (CONELEC - 004/01, 2001). En este contexto, la regulación CONELEC 004/01 establece los parámetros que las empresas distribuidoras de energía deben seguir para brindar un servicio eléctrico de calidad a los usuarios. Además de establecer los parámetros a seguir, el CONELEC también se encarga de supervisar, vigilar y garantizar que estos parámetros se cumplan.

3.5.2 Calidad del Producto

Según el CONELEC, los parámetros que deben considerarse para medir la calidad de energía son el nivel de voltaje, el factor de potencia, y las perturbaciones, donde las empresas distribuidoras de energías son las responsables de realizar las mediciones y controlar que estén dentro de los parámetros de calidad. Además, las empresas distribuidoras realizar compensaciones a los usuarios que sean afectado por mala calidad energía basado en las mediciones y procesamiento de los datos. El CONELEC puede usar esta información en cualquier momento, por lo tanto, toda la información debe estar disponible cuando la CONELEC lo requiera.

3.5.3 Nivel de Voltaje

Los niveles de voltajes establecidos según la regulación nacional para baja, media y alta tensión son los siguientes:

1. Baja tensión: inferior a 0.6 kV.
2. Media tensión: entre 0.6 kV y 40 kV.
3. Alta tensión: mayor a 40 kV.

Las variaciones en el nivel del voltaje definen la calidad del voltaje que se aplica a las cargas en una red de distribución. En Ecuador, este variable se analiza mediante el análisis estadístico del error relativo con respecto a sus valores nominales. Las mediciones de estos datos son tomadas cada 10 minutos, y se analizan mediante la siguiente ecuación:

$$\Delta V_k(\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} \times 100 \quad (11)$$

Donde:

$\Delta V_k(\%)$: variación de voltaje medida en un intervalo k de 10 minutos.

V_k : voltaje nominal en RMS medido en un intervalo k de 10 minutos.

V_n : voltaje nominal referencial en el punto de medición.

3.5.4 Mediciones del Nivel de Voltaje

La empresa distribuidora de energía debe medir los niveles de voltaje para poder determinar la calidad de la energía, estas mediciones se realizan cada 10 minutos, y se los compara con respecto a los valores nominales de cada nivel de voltaje. Mensualmente, el distribuidor de energía eléctrica debe realizar lo siguiente:

1. Realizar las mediciones en cada uno de los siguientes puntos de medición y además debe llevar el registro de los mismo.

- a) Punto 1: Barras de salida de las subestaciones de distribución AV/MV.
Se deben realizar la medición a un 20% de estas barras, y que no sean menos de 3.
 - b) Punto 2: Transformadores de distribución. Se deben realizar las mediciones al 0.15% de estos transformadores y que no sean menos de 5.
 - c) Punto 3: Consumidores de baja tensión. Se debe realizar las mediciones al 0.01% de los consumidores del área de concesión y que no sean menos de 10.
2. La empresa distribuidora debe seleccionar los puntos de medición de acuerdo con el nivel de voltaje, la topología de la red, y la zona (rural o urbana), con el fin de que las mediciones representen la calidad de la energía de todo el sistema. Por lo menos dos meses antes de realizar las mediciones, la empresa distribuidora debe notificar al CONELEC acerca de los puntos seleccionados.
 3. La empresa distribuidora cada mes debe efectuar las mediciones durante un mínimo de 7 días continuos en un intervalo de toma de datos de 10 minutos.
 4. La empresa distribuidora debe medir la calidad de la energía basado en el registro de mediciones con el fin de determinar la calidad de la energía del sistema de distribución.

3.5.5 Límites del Nivel de Voltaje

De acuerdo con la regulación (CONELEC - 004/01, 2001), las empresas distribuidoras tienen la responsabilidad de garantizar y brindar un servicio de energía eléctrica con los niveles de calidad de voltajes adecuados en su respectiva zona de

concesión, donde CONELEC será quién supervise que estos niveles sean cumplidos por parte de las empresas distribuidoras.

El valor de las variaciones permitidos en los niveles de los voltajes nominales para las empresas distribuidoras se muestra en la Tabla 3. 2.

Tabla 3. 2 Límites de operación permitidos por la Regulación CONELEC 004/01

Fuente: (CONELEC - 004/01, 2001)

	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	$\pm 7,0\%$	$\pm 5,0\%$
Medio Voltaje	$\pm 10,0\%$	$\pm 8,0\%$
Bajo Voltaje. Urbanas	$\pm 10,0\%$	$\pm 8,0\%$
Bajo voltaje. Rurales	$\pm 13,0\%$	$\pm 10,0\%$

De acuerdo con (CONELEC - 004/01, 2001), la duración de cada subetapa (Tabla 3. 2) es la siguiente:

- Subetapa 1: 24 meses de duración.
- Subetapa 2: Su duración es indefinida, pero inicia una vez finalizada la subetapa 1.

Es importante mencionar que no se aplicaran penalizaciones a las distribuidoras al inicio de la etapa final por incumplir los establecido en la regulación. En los contratos de concesiones se detallarán las penalizaciones e incumplimientos (CONELEC - 004/01, 2001).

3.5.6 Perturbaciones

Las perturbaciones que causan la variación en el nivel de voltaje son varias: parpadeo, armónicos, interarmónicos, sag, swell, etc. Pero las regulaciones en general

analizan los problemas principales, los cuales son: armónicos y parpadeo. Si estas perturbaciones afectan en los niveles de calidad llegando a sobrepasar los niveles máximos preestablecidos, el servicio eléctrico debe ser suspendido hasta que se solucionen estos inconvenientes.

3.5.7 Parpadeos

Los parpadeos o también llamados flicker son variaciones rápidas en el nivel de voltaje. Para evaluar el efecto de los flicker en la calidad de energía, se utiliza el índice de severidad por Flicker de corta duración (P_{st}). Las mediciones se realizan cada 10 minutos, de acuerdo con las normas IEC, y que se determina mediante la siguiente expresión:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad (12)$$

Donde:

P_{st} : Índice de severidad de Flicker de corta duración.

$P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$: Niveles de efecto flicker que sobrepasan el tiempo total de intervalo de observación en 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50%, respectivamente.

Mensualmente, el distribuidor de energía eléctrica debe realizar lo siguiente para medir los flicker:

1. El distribuidor de energía debe realizar un registro de mediciones en cada uno de los puntos de medición. Estas mediciones se deben aplicar a un 0.15% (no menos de 5) de los transformadores de distribución, en las barras de baja tensión.

2. La empresa distribuidora debe seleccionar los puntos de medición de acuerdo con el nivel de voltaje, la topología de la red, y la zona (rural o urbana), con el fin de que las mediciones representen la calidad de la energía de todo el sistema. Por lo menos dos meses antes de realizar las mediciones, la empresa distribuidora debe notificar al CONELEC acerca de los puntos seleccionados.
3. La empresa distribuidora cada mes debe efectuar las mediciones durante un mínimo de 7 días continuos en un intervalo de toma de datos de 10 minutos.
4. La empresa distribuidora debe medir la calidad de la energía basado en el registro de mediciones con el fin de determinar la calidad de la energía del sistema de distribución.

El procedimiento para realizar las mediciones de los Flicker se basa en la Norma IEC 60868. Las mediciones de los Flicker se realizan conjuntamente con las mediciones en los voltajes indicados anteriormente, por lo tanto, los medidores de voltaje deben tener la opción para detectar Flicker.

Por otro lado, para evaluar el impacto de los Flicker en la calidad del servicio, se utiliza el índice de severidad del Flicker P_{st} , el cual no debe superar la unidad. El límite $P_{st} = 1$ se considera como la máxima irritabilidad asociado a una fluctuación máxima de luminancia que el ojo humano puede soportar sin molestia basado en una muestra de población.

Por lo tanto, si el sistema pasa el rango de tolerancia de los niveles de operación establecidos por la CONELEC por un tiempo mayor a 5% del periodo de medición de 7 días continuos, el suministro de energía será considerado con calidad de energía baja, es decir que no cumple con los límites de operación mínimos.

3.5.8 Armónicos

Como se mencionó en el capítulo anterior, los armónicos son señales que distorsionan a la onda ideal, donde las frecuencias son múltiplos de la onda fundamental de 60Hz. En la actualidad, la mayoría de las cargas generan armónicos en el sistema eléctrico. Además, los armónicos se transmiten por las redes de distribución, causando problemas en la calidad de la energía que reciben los usuarios.

Para calcular la distorsión armónica individual (V_i') y total (THD) del voltaje, se utilizan las siguientes formulas, presentadas a continuación.

$$V_i'(\%) = \left(\frac{V_i}{V_n}\right) \times 100 \quad (13)$$

$$THD(\%) = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} V_i^2}}{V_n}\right) \times 100 \quad (14)$$

Donde:

V_i' : Factor de distorsión armónica individual expresado en porcentaje.

THD : Factor de distorsión armónica total expresado en porcentaje.

V_i : Valor eficaz (RMS) del voltaje armónico “ i ” ($i = 2, 3, \dots, 40$) expresado en voltios.

V_n : Valor nominal d voltaje en el punto de medición expresado en voltios.

Mensualmente, el distribuidor de energía eléctrica debe realizar lo siguiente para medir la distorsión armónica:

1. El distribuidor de energía debe realizar un registro de mediciones en cada uno de los puntos de medición. Estas mediciones se deben aplicar a un 0.15% (no menos de 5) de los transformadores de distribución, en las barras de baja tensión.
2. La empresa distribuidora debe seleccionar los puntos de medición de acuerdo con el nivel de voltaje, la topología de la red, y la zona (rural o urbana), con el fin de que las mediciones representen la calidad de la energía de todo el sistema. Por lo menos dos meses antes de realizar las mediciones, la empresa distribuidora debe notificar al CONELEC acerca de los puntos seleccionados.
3. La empresa distribuidora cada mes debe efectuar las mediciones durante un mínimo de 7 días continuos en un intervalo de toma de datos de 10 minutos.
4. La empresa distribuidora debe medir la calidad de la energía basado en el registro de mediciones con el fin de determinar la calidad de la energía del sistema de distribución.

El procedimiento para realizar las mediciones de las distorsiones armónicas de voltaje se basa en la Norma IEC 61000-4-7. Las mediciones de las distorsiones armónicas se realizan conjuntamente con las mediciones en los voltajes indicados anteriormente, por lo tanto, los medidores de voltaje deben tener la opción para realizar el monitoreo de armónico.

Tabla 3. 3 Normatividad: Clasificación en categorías

Fuente: (CONELEC - 004/01, 2001)

ORDEN (n) DE LA ARMONICA Y THD	TOLERANCIA $[V_i']$ o $[THD']$ (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (transformadores de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
> 25	$0.1 + 0.6*25/n$	$0.2 + 1.3*25/n$
Impares múltiplos de tres		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
Pares		
2	1.5	2.0
4	1.0	1.0
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores a 12	0.2	0.5
THD	3	8

La

Tabla 3. 3, se muestran los valores permitidos del nivel de distorsión armónica individual (V_i'), y de la distorsión armónica total (THD) de acuerdo con la regulación (CONELEC - 004/01, 2001). Es importante mencionar que la presente regulación solo toma en cuenta los armónicos comprendidos entre la segunda y cuagresima.

3.5.9 Factor de Potencia

El factor de potencia es otro parámetro tomado en consideración para medir la calidad de la energía eléctrica de un determinado equipo. Si el factor de potencia de la instalación de un usuario final se mantiene por debajo de los límites permitidos por la regulación, el usuario tiene la obligación de corregir dicho factor, es decir mejorar el factor de potencia. De lo contrario, el distribuidor de energía puede establecer cargos por esta violación a la norma.

Por otro lado, según el artículo 12 del Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad, el distribuidor de energía debe efectuar registros del factor de potencia cada mes en el 2% de consumidores en alta y media tensión.

Las mediciones del factor de potencia se realizan cada 10 minutos, en régimen permanente y cargas normales, por un tiempo mínimo de 7 días continuos.

El límite inferior permitido para que el factor de potencia no afecte a la calidad de la energía es de 0.92, por lo tanto, si el consumidor está por debajo de este límite, deberá corregir y mejorar para que cumpla con el índice de calidad, caso contrario la empresa distribuidora de energía puede aplicar sanciones.

Para los consumidores que midan potencia reactiva y que registren un factor de potencia medio mensual por debajo del límite de 0.92, el distribuidor aplicará lo establecido en el Art. 27 de la codificación del reglamento de tarifa. Dicha penalización será igual a la facturación correspondiente al mes de la medición y que depende de: el consumo y demanda de energía, pérdidas en transformadores, y comercialización, multiplicada por el siguiente factor.

$$Bfp = \left(\frac{0.92}{Fpr} \right) - 1 \quad (15)$$

Donde:

Bfp: Factor de penalización por bajo factor de potencia.

Fpr: Factor de potencia registrado.

3.6 NORMA EN-50160

Otra norma para medir la calidad del producto que regula el CONELEC es la norma española de energía eléctrica EN-50160. La presente norma establece los parámetros permitidos en el voltaje suministrado por la red de distribución en baja y media tensión en condiciones normales de operación y en el punto de entrega al consumidor. Por lo tanto, la norma EN-50160 establece los límites de operación permitidos para la frecuencia nominal del voltaje suministrado, la amplitud y variaciones del voltaje suministrado, las variaciones rápidas del voltaje, huecos de voltaje, las interrupciones de corta y larga duración del suministro de energía eléctrica, los sobrevoltajes temporales y transitorios, además del desequilibrio del voltaje suministrado, los voltajes armónicos e inter armónicos, y la transmisión de señales por la red, así como los protocolos para la medición (Adriano Amaguaya, 2019). Nótese que las condiciones establecidas en la presente norma solo son válidas para un sistema en condiciones normales de operación. Además, incluye las restricciones de operación donde no es aplicable, tales como, las operaciones luego de una falla, o cortes de suministro debido a perturbaciones externas.

3.6.1 Límites de Frecuencia

Idealmente, la frecuencia de operación del voltaje suministrado es de 60 Hz, sin embargo, los límites del valor medio de la frecuencia medida por períodos de 10s son los siguientes:

1. Redes acopladas por conexiones síncronas a un sistema interconectado:

60 Hz \pm 1%	(59.5 Hz a 60.5 Hz)	Durante el 99.5% del año
60 Hz +4%/-6%	(57 Hz a 62 Hz)	Durante el 100% del año

2. Redes sin conexión síncrona a un sistema interconectado:

60 Hz \pm 2%	(59 Hz a 61 Hz)	Durante el 95% del año
60 Hz \pm 15%	(52.5 Hz a 67.5 Hz)	Durante el 100% del año

4.4.2 Amplitud del Voltaje Suministrado

La amplitud del voltaje nominal para las redes de baja tensión son los siguientes:

- Sistema trifásico de 4 conductores: 120 V (voltaje de línea a neutro).
- Sistema trifásico de 3 conductores: 220/240 V entre fases.

3.6.2 Variaciones en el Voltaje Suministrado

Dependiendo de las perturbaciones o interrupciones en la red, los límites de las variaciones en el voltaje suministrado en condiciones normales de operación son los siguientes:

- Periodo semanal: 95% de los valores medidos promediados cada 10 min del voltaje eficaz suministrado deben estar en un intervalo de (120 V \pm 10%) y (220/240 V \pm 10%).

- Periodos de 10 min: Los valores medidos, para cada periodo de 10 min el voltaje eficaz suministrado, deben estar en un intervalo de $(120\text{ V} +10\%/-15\%)$ y $(220/240\text{ V} +10\%/-15\%)$.

3.6.3 Variaciones Rápidas de Voltaje

Las variaciones rápidas en el voltaje suministrado son causadas generalmente por variaciones en la carga debido a maniobras en la red o por las instalaciones de los clientes:

1. Amplitud: Una variación rápida en el voltaje suministrado generalmente no sobre pasa el 5% del valor nominal, ya sea 120V o 220/240 V. Sin embargo, Las variaciones pueden llegar a alcanzar un 10% del valor nominal por cortos intervalos de tiempo durante el mismo día dependiendo de las condiciones de operación de la red.
2. Severidad del parpadeo: En condiciones normales de operación, el nivel de severidad del parpadeo de larga duración causado por fluctuaciones del voltaje debería ser Plt menor o igual a 1 durante el 95% del tiempo en periodos de una semana.

3.6.4 Huecos de Voltaje

Generalmente, los huecos de voltaje son causados por defectos en la red o en las instalaciones de los usuarios. Estas perturbaciones son aleatorias y por consecuencia son impredecibles. Por lo tanto, su distribución es muy irregular. La frecuencia anual de los huecos de voltaje depende del tipo de red de distribución y del punto de medición.

En condiciones normales de operación, la frecuencia de los huecos de voltaje puede ser entre decenas a un millar. La mayoría de los huecos de voltaje tienen una

profundidad inferior al 60% con una duración de menos de un segundo. Sin embargo, dependiendo de las condiciones de operación, pueden darse casos donde los huecos de voltaje tengan una profundidad y tiempo de duración superior.

En ciertos puntos de la red, frecuentemente se producen huecos de voltaje con una profundidad en un rango del 10% al 15% del valor nominal del voltaje suministrado, 120 V o 220/240 V, los cuales son causados por conmutaciones de carga en las instalaciones de los clientes.

3.6.5 Interrupciones cortas en el voltaje suministrado

En condiciones normales de operación, la frecuencia anual de las interrupciones cortas en el voltaje suministrado puede variar entre decenas a varias centenas. Aproximadamente el 70% de este evento tiene una duración inferior a 1s.

3.6.6 Interrupciones largas en el voltaje suministrado

Las interrupciones causadas por accidentes no pueden ser previstos por el distribuidor, porque el origen depende de las arquitecturas de las redes, del factor ambiental y por causas externas. Por este motivo, no se pueden registrar frecuencias anuales ni la duración para este evento.

En condiciones normales de operación, las interrupciones que sobrepasan los 3 min en el voltaje suministrado pueden tener una frecuencia en un rango entre 10 hasta 50, dependiendo de las regiones del país.

3.6.7 Sobrevoltajes temporales

Los sobrevoltajes temporales generalmente son causados por defectos en las redes de distribución o defectos en las instalaciones de los consumidores, por tanto, cuando se solucionan estos defectos, el sobrevoltaje desaparece. Regularmente, el

sobrevoltaje puede alcanzar el valor entre fases causado por el desplazamiento del punto neutro de la red trifásica.

En algunas condiciones de operación, cuando existe una falla aguas arribas de un transformador, puede producir sobrevoltajes temporales en el lado de baja tensión mientras la corriente de falla exista. Estos sobrevoltajes frecuentemente no pasan el valor eficaz de 1.5 kV.

3.6.8 Sobrevoltajes transitorios

Los sobrevoltajes transitorios generalmente no sobrepasan el valor de 6 kV (valor de cresta), sin embargo, pueden existir valores más elevados dependiendo de las condiciones de operación. El tiempo de subida de los sobrevoltajes puede variar en un rango de menor de un microsegundo a varios milisegundos.

3.6.9 Desequilibrio del voltaje suministrado

El 95% de los valores eficaces medidos y promediados cada 10 min de la componente inversa del voltaje de alimentación debe estar entre un rango del 0% al 2% de la componente directa, en condiciones normales de operación.

En ciertas regiones donde las líneas son parcialmente monofásicas o bifásicas, los desequilibrios en el voltaje pueden llegar hasta el 3% en los puntos del suministro trifásico.

3.6.10 Voltajes armónicos

En condiciones normales de operación, el 95% de los valores eficaces medidos y promediados cada 10 min de cada de cada voltaje armónico no debe sobrepasar los límites definidos en la Tabla 3. 4. Es importante mencionar que valor del voltaje

armónico más elevados pueden ser causados por las resonancias. Además, la tasa de distorsión armónica total (THD) del voltaje suministrado no debe ser mayor del 8%, donde los armónicos considerandos son hasta el orden 40. Así mismo se muestran los valores del voltaje armónico individuales en los puntos de suministro, considerando hasta el armónico de orden 25, expresados en porcentaje del voltaje nominal de operación.

Tabla 3. 4 Valores de los voltajes armónicos en los puntos de suministro

Fuente: (CONELEC - 004/01, 2001)

ARMÓNICOS IMPARES				ARMÓNICOS PARES	
NO MULTIPLOS DE 3		MULTIPLOS DE 3			
Orden h	Tensión relativa	Orden h	Tensión relativa	Orden h	Tensión relativa
5	6%	3	5%	2	2%
7	5%	9	1,5%	4	1%
11	3,5%	15	0,5%	6...24	0,5%
13	3%	21	0,5%		
17	2%				
19	1,5%				
23	1,5%				
25	1,5%				

3.6.11 Voltajes interarmónicos

Debido al avance de la electrónica y la inclusión de los sistemas controlados en los sistemas de energía, el nivel de los interarmónicos va aumentando. Debido al poco estudio de este fenómeno, los niveles permitidos aún no se encuentran establecidos. En ciertos casos, los interarmónicos pueden provocar parpadeo de las lámparas o interferencias con los sistemas de telemando centralizado.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGIA EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA EN ECUADOR

4.1 INTRODUCCIÓN

La calidad de energía es un conjunto de límites o restricciones eléctricas con el fin de que la red y los equipos conectados a ella puedan operar de manera segura, sin comprometer su desempeño o esperanza de vida. La calidad de energía se mide según la desviación del valor del voltaje, corriente y/o frecuencia con respecto a su valor nominal, donde los rangos para decidir si el valor es el adecuado están dado por diversas normas.

4.2 ANÁLISIS DE CALIDAD DE ENERGÍA DE LA SUBESTACIÓN EL PACHE

La subestación El Portovelo “El Pache” de tipo reducción de 69/13,8kV, se encuentra Ubicada en el sitio El Pache, perteneciente al cantón Portovelo, Provincia de El Oro. Cuenta con una capacidad instalada máxima de 43,25MVA con 4 transformadores de potencia de 69/13,8kV y 8 alimentadores primarios de medio voltaje.

Las capacidades nominales de los transformadores de Potencia en OA/FA son de:

- T1: 16/20MVA;
- T2: 5/6.25MVA;

- T3: 5MVA;
- T4: 10/12MVA

La demanda del cantón Piñas es abastecida por medio de un alimentador primario de medio voltaje (13,8kV) denominado “Alimentador Piñas” y energizado desde el transformador T4 de la subestación Portovelo. Las demandas máximas y factor de potencia de los alimentadores y transformadores de potencia se indican a continuación:

Tabla 4. 1 Demandas máximas de alimentadores y transformadores de la subestación Portovelo.

Fuente: (CNEL EP El Oro, 2021)

SUBESTACION	TRANSFORMADOR	CAPACIDAD OA [MVA]	CAPACIDAD FA [MVA]	Demanda Máxima [MW]	FACTOR DE POTENCIA	NOMBRE DEL ALIMENTADOR	Demanda Máxima [MW]	FACTOR DE POTENCIA
PORTOVELO	T1	16,00	20,00	11,64	-0,92	ZARUMA	3,51	-0,95
						OSORIO	3,35	-0,90
						LIMONCITO	3,69	-0,92
						HOSPITAL DE PIÑAS	0,16	-0,98
	T2	5,00	6,25	4,25	-0,93	ATAHUALPA	4,25	-0,94
	T3	5,00	5,00	2,45	-0,99	PINDO	2,45	-0,99
	T4	10,00	12,00	7,39	-0,94	PIÑAS	3,91	-0,94
						PUENTE NEGRO	5,10	-0,99

Las líneas de subtransmisión a 690000 voltios que energizan a la subestación Portovelo es proveniente del Único punto de entrega con el Sistema Nacional de Transmisión Ubicado en el Sitio Unión Colombiana de la Parroquia El Cambio, perteneciente al cantón Machala, interconectado desde el punto en mención y su recorrido por las subestaciones: La Avanzada, Saracay y Portovelo con una distancia total aproximado de 80km.

Actualmente la parte Alta de la Provincia de El Oro viene soportando deficiencias energéticas relacionados con los problemas de voltaje, producto de su acelerado crecimiento de energía eléctrica relacionada en gran medida por las actividades industriales y agravada por la gran distancia desde el único punto de entrega existente ubicado en el sitio Unión Colombiana hasta la subestación Portovelo, es decir la subestación Portovelo se encuentra al final del sistema del sistema de subtransmisión en la Parte Alta de la Provincia, por lo que esto provoca caídas de voltaje en función de la distancia antes mencionada al único punto de entrega.

Con la finalidad de atenuar en cierta medida los problemas de voltajes, se tiene instalados reguladores de voltaje para el alimentador Piñas con un banco de reguladores de tipo monofásico con rango de regulación de $\pm 10\%$ a 32 pasos de $5/8\%$ cada uno. En cuestión al sistema de medición que se dispone en la subestación, cada cabecera de alimentador se tiene instalado medidores de parámetros eléctricos, teniendo en el circuito Piñas el medidor PowerLogic ION7400.

Los conductores usados en los alimentadores de la subestación “El Pache” en tramo aéreos y subterráneos son los siguientes (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020):

- Conductores tramos aéreos: ACSR 2 ACSR 4, ACSR 1/0, ACSR 2/0, ACSR 3/0, ACSR 4/0.
- Conductores tramos subterráneos: 15-kV-Cu-2, 15-kV-A1-1/0, 15-kV-Cu-1/0, 15-kV-Cu-2/0

4.2.1 Análisis del Alimentador Zaruma

Los niveles de voltaje de línea a línea del alimentador Zaruma se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, mientras que la caída de

oltaje del mismo alimentador se presenta en la Tabla 4. 2. Nótese que de acuerdo con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, existen desbalances todos los eses en los voltajes de línea a línea del alimentador Zaruma; además, la caída más crítica en el voltaje se dio en el mes de abril, representando un índice de caída de voltaje línea a línea del 13%. Por lo tanto, en este mes no se cumplió con los límites permitidos de operación que son del 8%, según la regulación CONELEC 004/01. Por otro lado, la Tabla 4. 2 indica que la mayor caída en el voltaje línea a línea se da entre las Fases A y B, con un índice del 9.017%, por lo que, no cumple con la norma del CONELEC.

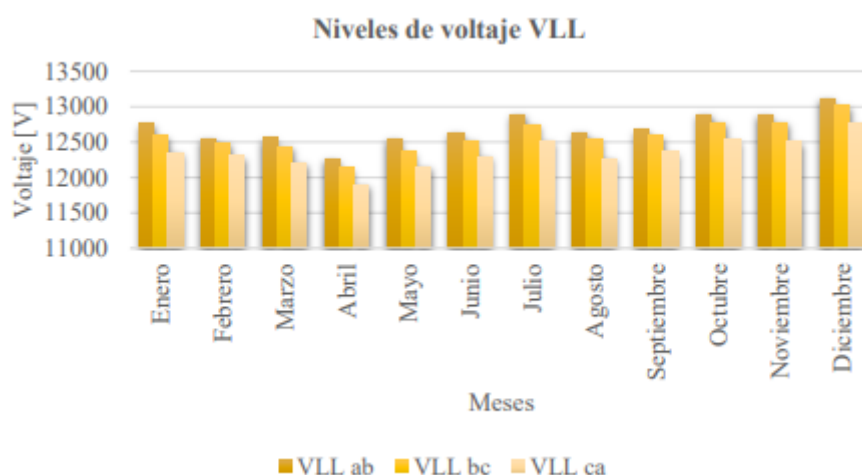


Figura 4. 1 Niveles de voltaje del alimentador Zaruma en carga de demanda máxima

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Tabla 4. 2 Caída de voltaje de línea a línea del alimentador Zaruma

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
00,00	12,712	12,875	12,740	12,522
17,931	11,729	11,714	11,914	11,559
%	7,732	9,017	6,483	7,690

Tabla 4. 3 Caída de voltaje línea a neutro del alimentador Zaruma

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Longitud (km)	Tensión kVLN (Avg)	Tensión LN (kVA)	Tensión LN (kVB)	Tensión LN (kVC)
00,00	7,285	7,214	7,412	7,228
17,931	6,772	6,600	7,100	6,600
%	7,041	8,511	7,209	8,688

La

Tabla 4. 3 muestra la caída de voltaje por fase, donde se observa que las tres fases tienen un desbalance, donde el desbalance promedio en el voltaje línea a neutro es del 7.041%. El mayor desbalance se observa en la Fase C con respecto a las Fases A y B. Este desbalance de voltaje es ocasionado por las cargas desbalanceadas a lo largo del alimentador. Debido a los desbalances de las fases, se recomienda reacomodar las cargas monofásicas en algunos tramos de las Fases A, B y B, con el fin de balancear las cargas.

La Tabla 4. 4 muestra las pérdidas en las líneas, transformadores, conductor del tramo del alimentador Zaruma. En el tramo Zaruma, se encuentra instalado un banco de capacitores de 300 kVAR, por lo que el F.P. se encuentra mejorado a un valor del 98.84%, lo cual cumple con la norma del CONELEC.

Tabla 4. 4 Pérdidas del alimentador Zaruma

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Pérdidas del sistema	kW	MW-h/año
Pérdidas en las líneas	258,582	1309,296
Pérdidas en los cables	2,415	12,231
Pérdidas de carga del transformador	26,624	134,808
Pérdidas en vacío del transformador	58,445	511,983
Pérdidas totales	346,067	1968,318

4.2.2 Análisis del Alimentador Piñas

Los niveles de voltaje de línea a línea del alimentador Piñas se presentan en la Figura 4. 2, mientras que la caída de voltaje del mismo alimentador se presenta en la Tabla 4. 5. Observé que existen desbalances todos los meses en los voltajes de línea a línea del alimentador Piñas; además, la caída más crítica en el voltaje se dio en el mes de febrero, representando un índice de caída de voltaje línea a línea del 9.023%. Por lo tanto, en este mes no se cumplió con los límites permitidos de operación que son del 8%, según la regulación CONELEC 004/01. Por otro lado, la Tabla 4. 5 indica que solo el voltaje línea a línea entre las Fases B y C cumple con la norma establecida por el CONELEC, con un índice de caída del 7.987%.

La Tabla 4. 6 muestra la caída de voltaje por fase, donde se observa que las tres fases tienen un desbalance. El mayor desbalance más crítico se observa en la Fase C con un índice que sobrepasa el 10%. Obsérvese también que solo la Fase B cumple con los límites de operación establecidos por el CONELEC (10%) con un índice de caída de voltaje de 6.182%. Debido al desbalance entre las fases, se recomienda reacomodar las cargas monofásicas en algunos tramos de la Fase B, hacia las Fases A y C, con el fin de balancear las cargas.

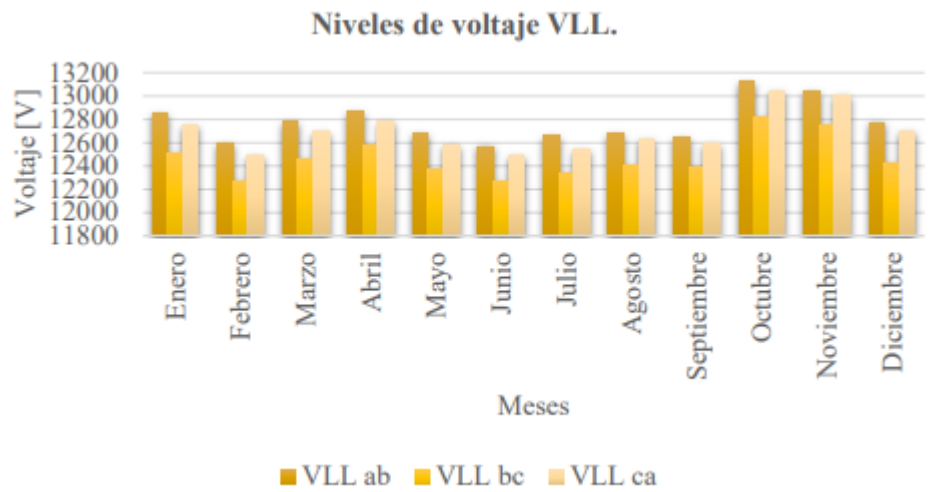


Figura 4. 2 Niveles de voltaje del alimentador Piñas en carga de demanda máxima

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Tabla 4. 5 Caída de voltaje de línea a línea del alimentador Piñas

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
00,00	12,628	12,772	12,524	12,689
22,841	11,551	11,633	11,528	11,492
%	8,528	8,917	7,987	9,433

Tabla 4. 6 Caída de voltaje de línea a neutro del alimentador Piñas

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Longitud (km)	Tensión kVLN (Avg)	Tensión LN (kVA)	Tensión LN (kVB)	Tensión LN (kVC)
00,00	7,292	7,401	7,248	7,225
22,841	6,669	6,700	6,800	6,500
%	8,543	9,472	6.181	10,034

La Tabla 4. 7 muestra las pérdidas en las líneas, transformadores, conductor del tramo del alimentador Piñas. Además, el factor de potencia en cabecera del

alimentador es de 93.57%, por lo tanto, se encuentra en el límite establecido por el CONELEC que es del 92%.

Tabla 4. 7 Pérdidas del alimentador Zaruma

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Pérdidas del sistema	kW	MW-h/año
Pérdidas en las líneas	181,448	796,530
Pérdidas en los cables	2,409	10,574
Pérdidas de carga del transformador	12,379	54,343
Pérdidas en vacío del transformador	46,644	408,599
Pérdidas totales	242,880	1270,045

4.5.3 Análisis del Alimentador Atahualpa

Los niveles de voltaje de línea a línea del alimentador Atahualpa se presentan en la Figura 4. 3, mientras que la caída de voltaje del mismo alimentador se presenta en la Tabla 4. 8. Observé que existen desbalances todos los meses en los voltajes de línea a línea del alimentador Atahualpa; además, la caída más crítica en el voltaje se dio en el mes de agosto, representando un índice de caída de voltaje línea a línea del 12.5%. Por lo tanto, en este mes no se cumplió con los límites permitidos de operación que son del 8%, según la regulación CONELEC 004/01. Por otro lado, Tabla 4. 8 indica que todos los voltajes de línea a línea A-B, B-C y C-A, incumplen con la norma establecida por el CONELEC del 8% para la caída del voltaje.

Tabla 4. 9 muestra la caída de voltaje por fase, donde se observa que las tres fases tienen un desbalance. El mayor desbalance de voltaje de línea a línea se presenta entre las Fase A-B, con un índice del 10.96%. Mientras que la Fase A tiene un menor índice de desbalance que la Fase B. Este desbalance de voltaje es ocasionado por las

cargas desbalanceadas a lo largo del alimentador. Debido al desbalance de las fases, se recomienda reacomodar las cargas monofásicas en algunos tramos de las Fase A, B y B, con el fin de balancear las cargas.

La Tabla 4. 10 muestra las pérdidas en las líneas, transformadores, conductor del tramo del alimentador Atahualpa. El factor de potencia registrado en la cabecera del alimentador Atahualpa es del 91.24%. Se puede notar que este FP se encuentra por debajo del límite mínimo establecido por el CONELEC que es del 92%. Debido a las pérdidas que tiene este alimentador, el factor de potencia reporta un nivel bajo.

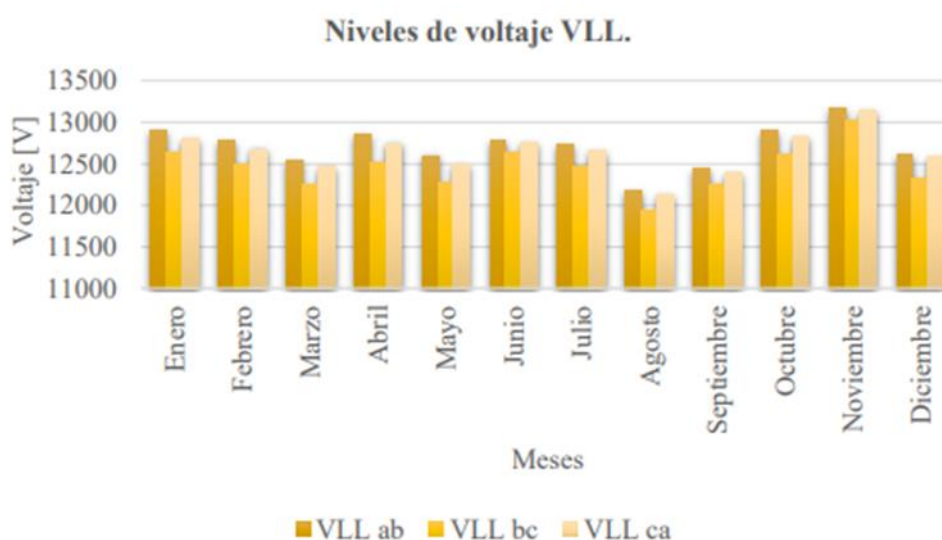


Figura 4. 3 Niveles de voltaje del alimentador Atahualpa en carga de demanda máxima

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Tabla 4. 8 Caída de voltaje de línea a línea del alimentador Atahualpa

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Longitud (km)	Tensión kVLL(Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
00,00	12,457	12,598	12,228	12,491
29,561	11,208	11,217	11,160	11,246
%	10,026	10,962	8,734	9,433

Tabla 4. 9 Caída de voltaje línea a neutro del alimentador Atahualpa

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Longitud (km)	Tensión kVLN (Avg)	Tensión LN (kVA)	Tensión LN (kVB)	Tensión LN (kVC)
00,00	7,193	7,293	7,158	7,127
29,561	6,471	6,500	6,400	6,500
%	10,037	10,873	10,589	8,797

Tabla 4. 10 Pérdidas del alimentador Atahualpa

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Pérdidas del sistema	kW	MW-h/año
Pérdidas en las líneas	139,636	618,656
Pérdidas en los cables	0,921	4,082
Pérdidas de carga del transformador	22,397	99,230
Pérdidas en vacío del transformador	26,438	231,594
Pérdidas totales	189,393	953,563

4.5.4 Análisis del Alimentador Osorio

Los niveles de voltaje de línea a línea del alimentador Osorio se presentan en la Figura 4. 4, mientras que la caída de voltaje del mismo alimentador se presenta en la Tabla 4. 11. Observé en la Figura 4. 4 que existen desbalances todos los meses en los voltajes de línea a línea del alimentador Osorio. El mayor nivel de voltaje en la cabecera del alimentador ocurrió en el mes de febrero con un valor de 12.338 kVLL, mientras que el menor valor ocurrió en el mes de mayo con valor de 12.22 kVLL. Además, las caídas de voltajes línea a línea en la cabecera del alimentador, con un promedio de 4.999% de caída de voltaje, cumplen con la norma establecida por el CONELEC.

La Tabla 4. 12 muestra la caída de voltaje por fase, donde se observa que las tres fases tienen un desbalance. La caída de voltaje entre fases promedio del tramo Osorio es de 4.99%, y el voltaje de la Fase B es que presenta mayor porcentaje en la

caída con un valor del 7.15%. La Tabla 4. 13 muestra las pérdidas en las líneas, transformadores, conductor del tramo del alimentador Osorio. El factor de potencia tiene un valor de 97.95% en la cabecera del alimentador Osorio, por lo tanto, cumple la regulación del CONELEC.

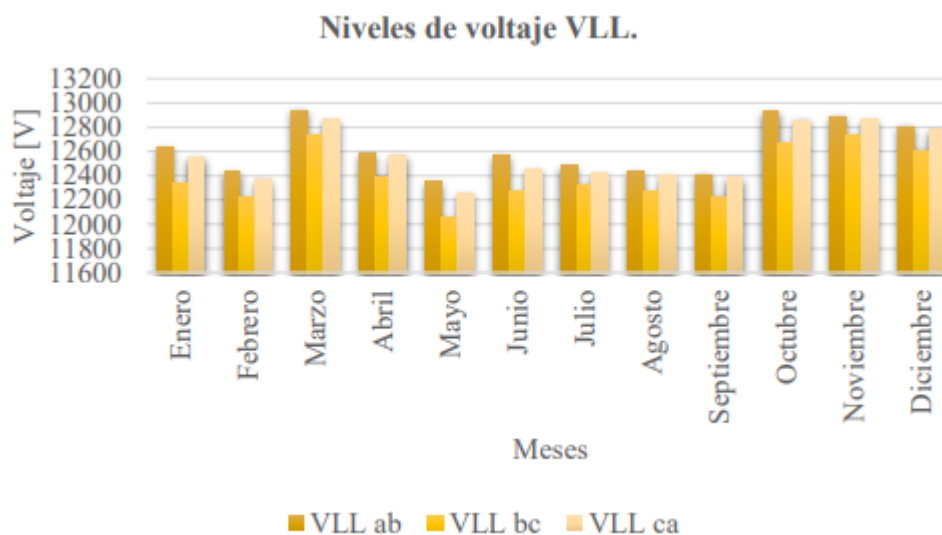


Figura 4. 4 Niveles de voltaje del alimentador Osorio en carga de demanda máxima

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Tabla 4. 11 Caída de voltaje de línea a línea del alimentador Osorio

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
00,00	12,338	12,436	12,217	12,361
12,200	11,721	11,615	11,690	11,855
%	4,999	6,601	4,313	4,093

Tabla 4. 12 Caída de voltaje línea a neutro del alimentador Osorio

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Longitud (km)	Tensión kVLN (Avg)	Tensión LN (kVA)	Tensión LN (kVB)	Tensión LN (kVC)
00,000	7,124	7,187	7,109	7,075
12,200	6,767	6,700	6,600	7,000
%	5,011	6,776	7,159	1,060

Tabla 4. 13 Pérdidas del alimentador Osorio

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Pérdidas del sistema	kW	MW-h/año
Pérdidas en las líneas	111,637	444,738
Pérdidas en los cables	2,648	10,551
Pérdidas de carga del transformador	13,652	54,386
Pérdidas en vacío del transformador	42,166	369,376
Pérdidas totales	170,104	879,051

4.5.5 Análisis del Alimentador Pindo

Los niveles de voltaje de línea a línea del alimentador Pindo se presentan en la Figura 4. 5, mientras que la caída de voltaje del mismo alimentador se presenta en la Tabla 4. 14. La Tabla 4. 15 muestra la caída de voltaje por fase, donde se observa que las tres fases tienen un desbalance. La caída de voltaje entre fases promedio del tramo Osorio es de 4.441%, donde el desbalance más crítico entre fases está en la Fase A-B. La caída en los niveles de voltaje por fase son críticos debido a que cae hasta 7.01 kVLN, lo que representa una caída del 12% con respecto al voltaje nominal de 7.96 kVLN.

Observése en la Figura 4. 4 que existen desbalances todos los meses en los voltajes de línea a línea del alimentador Osorio. La mayor caída en el nivel de voltaje en la cabecera del alimentador ocurrió en el mes de agosto, siendo el punto más crítico con un valor de 12.2 kVLL, que equivale al 89% del voltaje nominal de 13.8 kVLL. Además, las caídas de voltajes línea a línea en la cabecera del alimentador, con un promedio de 4.411% de caída de voltaje, cumplen con la norma establecida por el CONELEC.

La

Tabla 4. 16 muestra las pérdidas en las líneas, transformadores, conductor del tramo del alimentador Pindo. El factor de potencia tiene un valor de 95.96% en la cabecera del alimentador Pindo, por lo tanto, cumple con el límite que establece el CONELEC.

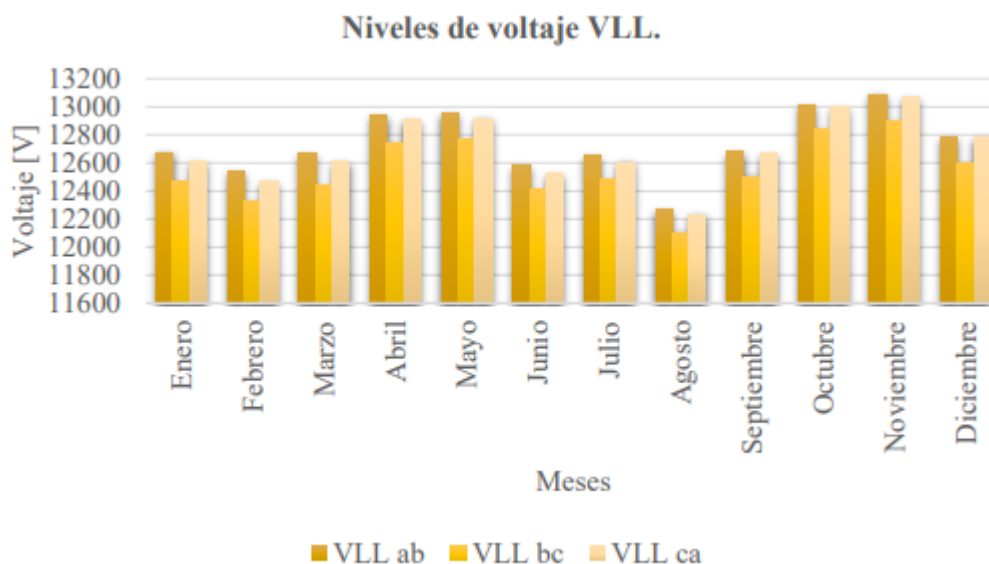


Figura 4. 5 Niveles de voltaje del alimentador Pindo en carga de demanda máxima

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Tabla 4. 14 Caída de voltaje de línea a línea del alimentador Pindo

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Longitud (km)	Tensión kVLL (Avg)	Tensión LL (kVAB)	Tensión LL (kVBC)	Tensión LL (kVCA)
0,000	12,722	12,787	12,596	12,781
9,826	12,157	12,078	12,191	12,202
%	4,441	5,544	3,215	4,530

Tabla 4. 15 Caída de voltaje de línea a neutro del alimentador Pindo

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Longitud (km)	Tensión kVLN (Avg)	Tensión LN (kVA)	Tensión LN (kVB)	Tensión LN (kVC)
0,000	7,345	7,409	7,307	7,319
9,826	7,019	7,000	7,000	7,100
%	4,438	5,520	4,201	2,992

Tabla 4. 16. Pérdidas del alimentador Pindo

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Pérdidas del sistema	kW	MW-h/año
Pérdidas en las líneas	68,444	274,107
Pérdidas en los cables	2,531	10,136
Pérdidas de carga del transformador	18,307	73,316
Pérdidas en vacío del transformador	35,040	306,954
Pérdidas totales	124,322	664,512

4.5.6 Análisis de los resultados

De acuerdo con los resultados presentados anteriormente de los alimentadores Zaruma, Piñas, Atahualpa, Osorio y Pindo, se determina que los puntos más críticos son los alimentadores Piñas y Atahualpa, aunque todos los alimentadores presentan desbalances y pérdidas que deben ser corregidas.

La Tabla 4. 17 muestra el nivel de voltaje de línea a línea de los alimentadores analizados, donde los alimentadores Piñas y Atahualpa tienen la mayor distancia en el recorrido.

Tabla 4. 17 Nivel de voltaje de los alimentadores analizados

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

S/E	Barra	ALIM	Ramal	Longitud	V Avg	V AB	V BC	V CA
				[Km]	[kVLL]	[kVLL]	[kVLL]	[kVLL]
Portovelo	B-36	Zaruma	Primario	17,931	11,729	11,713	11,913	11,559
	B-35	Piñas	Primario	22,841	11,551	11,632	11,527	11,492
		Atahualpa	Primario	29,561	11,208	11,217	11,160	11,246
		Osorio	Primario	12,200	11,721	11,615	11,690	11,855
		Pindo	Primario	9,826	12,157	12,078	12,190	12,202

Los alimentadores Piñas y Atahualpa presentan índices de caídas de voltaje mayores en comparación con los demás alimentadores. Debido a que las cargas en la red en su mayoría son monofásicas, el análisis por fase debe ser el más crítico para determinar las posibles soluciones. La Tabla 4. 18 presente el nivel de voltaje línea a neutro de los alimentadores en estudio.

Tabla 4. 18 Nivel de voltaje de los alimentadores analizados

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

S/E	Barra	ALIM	Ramal	Longitud	V Avg	V A	V B	V C
				[km]	[kVLN]	[kVLN]	[kVLN]	[kVLN]
Portovelo	B-36	Zaruma	Primario	17,931	6,772	6,600	7,100	6,600
	B-35	Piñas	Primario	22,841	6,669	6,700	6,800	6,500
		Atahualpa	Primario	29,561	6,471	6,500	6,400	6,500
		Osorio	Primario	12,200	6,767	6,700	6,600	7,000
		Pindo	Primario	9,826	7,019	7,000	7,000	7,100

El alimentador Atahualpa tiene bajos niveles de voltaje, además de problemas con el FP, lo que resulta en mayores pérdidas del sistema.

A continuación, se calculan los desbalances en la cabecera de los alimentadores más críticos, es decir, Atahualpa y Piñas. Los desbalances por fase se presentan en la

Tabla 4. 19.

Los flujos de carga en la cabecera de los Alimentadores Piñas y Atahualpa se presentan en la Tabla 4. 20 y Tabla 4. 21, respectivamente.

Tabla 4. 19 Desbalance en la cabecera: Alimentadores Piñas y Atahualpa

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Alimentador	I (A)	I (B)	I (C)	I (Avg)	Desbalance Fase %	Desbalance Circuito %
Piñas	197,849	173,037	182,520	184,468	7,253	12,540
					6,197	
					1,056	
Atahualpa	137,651	141,676	160,634	146,654	6,138	14,307
					3,394	
					9,532	

Tabla 4. 20 Flujo de carga: Alimentador Piñas

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Cabecera	Flujo de carga					
	P (kW)	Q(kVAR)	S(kVA)	V (kV)	Fp	%Desbalance
A	1352,699	568,060	1467,136	7,400	0,922	8,220
B	1192,374	392,760	1255,395	7,244	0,950	6,767
C	1224,860	484,096	1317,054	7,216	0,930	2,188
Total	3769,991	1438,245	4035,019	7,286	0,934	14,432

Tabla 4. 21 Flujo de carga: Alimentador Atahualpa

Fuente: (Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL, 2020)

Cabecera	Flujo de carga					
	P (kW)	Q(kVAR)	S(kVA)	V (kV)	Fp	%Desbalance
A	910,455	438,372	1010,494	7,281	0,901	5,552
B	912,239	467,101	1024,872	7,150	0,890	4,178
C	1074,744	470,703	1173,302	7,116	0,916	9,699
Total	2897,948	1379,850	3209,687	7,182	0,903	13,876

4.5.7 Soluciones para mejorar la caída de voltaje

Para solucionar las caídas de voltaje, la empresa distribuidora puede adoptar varias metodologías, tales como: ubicación óptima de reguladores, reguladores extra, banco de capacitores, o transformadores.

Regularmente, las caídas de voltaje se dan en el lado de baja tensión, por lo tanto, se debe analizar, la demanda de carga, sobrecarga de los trafos o neutros flotante del circuito.

Por otro lado, si la caída de voltaje es en el lado de media tensión, es de decir en el lado primario, se debe considerar lo siguiente:

1. **Desbalance de las cargas:** Cuando la red se encuentra desbalanceada, cauda desbalance en los voltajes de cada fase, lo que afecta a los índices de calidad de energía. Por lo tanto, balancear las cargas compensa la caída en el del voltaje.
2. **Banco de capacitores:** Se debe verificar el correcto funcionamiento del banco de capacitores y de sus protecciones como fusibles quemados, variables de control incorrectas, o funcionamiento deficiente del interruptor. El funcionamiento incorrecto de los bancos de capacitores resulta en caídas de voltaje. Además, el uso de banco de capacitores mejora el perfil del voltaje lo suficiente como para compensar la caída de voltaje.
3. **Reguladores:** Se debe verificar el correcto ajuste de los reguladores. Los ajustes óptimos en los reguladores pueden mejorar el perfil de voltaje compensando mejor las caídas de voltaje. Además, la ubicación óptima de los reguladores mejora el perfil de voltaje además de reducir las pérdidas, por lo tanto, mejora la calidad de la energía.

Otra opción para compensar la caída de voltaje es el uso de equipos de regulación adicionales, como utilizar transformadores con tomas específicas con el fin de aumentar su capacidad y ayude a regular mejor el voltaje. Otro equipo adicional

que se puede usar son los Alimentadores, donde se pueden añadir más secciones para reducir la carga, y de esta manera compensar el desbalanceo de los voltajes.

Otra solución tiene que ver con el conductor. Al cambiar el calibre del conductor se reducen las pérdidas y por lo tanto, se reduce la caída de voltaje. También se puede reducir la longitud del conductor del ramal, lo que reduce la impedancia, y por tanto, reduce la caída de voltaje.

Una última solución para mejorar los índices de calidad del voltaje de la subestación El Pache, es la construcción de un nuevo punto de entrega cercana a la parte alta de El Oro al nivel de TRANSELECTRIC 138kV a 69kV. Actualmente el punto de entrega se encuentra muy alejado de la zona donde está la subestación “El Pache”, lo que causa problemas con la caída de voltaje y con la demanda de carga.

CAPÍTULO 5: CONCLUSIONES Y REOCMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

Las conclusiones del trabajo son las siguientes:

- La subestación El Pache presenta problemas en el índice de caídas de voltaje debido al desbalanceo de las cargas en la red de distribución. El principal problema del sistema en estudio es el bajo nivel de voltaje en la cabecera de los alimentadores, lo que se puede solucionar con el uso de reguladores de voltaje.
- Se determinó que los alimentadores Piñas y Atahualpa, son los que tienen índices más bajos de calidad de energía. Por lo tanto, CNEL-EP EL ORO debe mejorar las condiciones de su servicio de acuerdo con lo establecido con la regulación CONELEC 004/01.
- Balancear las cargas o reducir la distancia de los alimentadores ayudaría a compensar las caídas en los niveles de voltaje. Los alimentadores Piñas y Atahualpa presentan las mayores distancias de recorrido con una longitud de 28.846 km y 29.561, respectivamente.
- Para regular el voltaje lo más adecuado para implementar son los reguladores de voltaje, banco de capacitores y transformadores con cambio de tap. Sin embargo, si no se conoce todos los parámetros de operación del alimentar, los transformadores con ajuste de tap pueden causar inestabilidad en el sistema. En este contexto, los reguladores de voltaje trifásicos tienen un problema debido a que deben tener la capacidad de alimentar a las 4 fases, y esto puede ser una limitante. Por lo tanto, la regulación de voltaje por medio de transformadores con

ajuste de tap o reguladores trifásicos no son adecuados en la práctica, debido a que cualquier fluctuación en una de su fase, puede causar desbalance de voltaje en las otras. Sin embargo, al usar banco de reguladores de voltaje, el problema de sobrevoltaje se supera.

- Para realizar la regulación del voltaje por fase, lo más adecuado es utilizar reguladores de voltaje monofásicos. Sin embargo, pueden ocurrir problemas cuando se ubican banco de capacitores en los alimentadores. SI el banco de capacitores es ubicado aguas abajo del regulador, el regulador no alterará el perfil de voltaje debido a que no hay variación de la corriente a causa del banco de capacitores.

5.2 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones del trabajo son las siguientes:

- Se sugiere a la empresa distribuidora CNEL-EP EL ORO que construya un nuevo punto de entrega de nivel 130 kV a 69 kV para repotenciar el nivel de subtransmisión. La razón es porque el problema de los niveles de voltaje nace al tener valores bajos en la cabecera de la subestación. Esta solución evitaría el uso de los reguladores de voltaje.
- Se recomienda balancear las cargas en la red de distribución con el fin de mejorar la calidad de la energía.
- Se recomienda elevar el voltaje en la subestación El Pache, debido a que el voltaje de alimentación es bajo, por lo tanto, resulta en caída de voltaje a la salida de los alimentadores.
- Se recomienda la instalación de transformadores con taps controlador para mejorar la caída de voltaje en los alimentadores.

- Se recomienda la instalación de reguladores de voltaje en las cabeceras de los alimentadores con el fin de mejorar la caída de voltaje en la red de distribución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adriano Amaguaya, W. A. (2019). *Estudio y análisis de la calidad de la energía eléctrica de un banco de transformadores en media tensión a la empresa Hidalgo & Hidalgo en la ciudad de Guayaquil*. Guayaquil: UCSG.
- Agencia de Regulación y Control de Electricidad - ARCONEL. (2020). Obtenido de Regulación Eléctrica: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/>
- Alassouli, H. M. (2018). *Monitoring of Power System Quality*.
- Alexander, C. K., & Sadiku, N. O. (2020). *Fundamentos de circuitos eléctricos*. McGraw Hill Interamericana.
- ANSI C84.1. (2011). *ANSI C84.1 ELECTRIC POWER SYSTEMS AND EQUIPMENT - VOLTAGE RANGES*. Obtenido de <http://www.powerqualityworld.com/2011/04/ansi-c84-1-voltage-ratings-60-hertz.html>
- Aragundi Rodriguez, J. W., & Castañeda Ordóñez, O. S. (2018). *Análisis de calidad de energía acerca de la calidad del producto de la zona urbana de Milagro del área de concesión de la Empresa Eléctrica Milagro usando la Regulación del Conelec No. - 004/01*. Espol: Guayaquil.
- Avelino Pérez, P. (2020). *Transformadores de distribución: Teoría, cálculo, construcción y pruebas*. Editorial Reverte.
- Chimbo, M., & Molina, H. (2018). *Ubicación óptima de reguladores de voltaje en el sistema de medio voltaje correspondiente a la subestación Portovelo*,

aplicando segregación de flujo de carga al más crítico. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana.

CNEL EP El Oro. (2021). Obtenido de Datos generales de la subestacion Portovelo: www.cnel.gob.ec

CNEL EP, El Oro. (27 de Marzo de 2019). Obtenido de Subestación “El Bosque” en Machala: <https://www.cnelep.gob.ec/2019/03/subestacion-el-bosque-en-machala-sera-entregada-en-mayo/>

CONELEC - 004/01. (23 de Mayo de 2001). *Regulación No. CONELEC - 004/01.* Obtenido de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/02/Regulacion-No.-CONELEC-004-01.pdf>

Daza Urrego, A., Buriticá Arboleda, C., & Rodríguez, G. (2016). Estudio experimental de potencias, factor de potencia y energía eléctrica en cargas industriales tomando como referencia la norma IEEE Std 1459-2010. *Tecnura*, 41–54.

Diario La Hora. (Agosto de 2010). *Transformador de 5/ 6.25 MVA en el sitio El Pache (Portovelo).* Obtenido de <https://lahora.com.ec/noticia/1101006104/cnel-aumenta-capacidad-operativa-en-subestacin-el-pache>

Duncan Glover, J., Overbye, T. J., & Mulukutla, S. S. (2016). *Power System Analysis and Design.* Cengage.

ECUATRAN. (02 de 2017). Obtenido de Transformadores De Distribución Monofásicos – Trifásicos [Catalogo Tecnico] : <https://bit.ly/2TbHJ8E>

Ecuatran. (2017). *Transformadores de distribución Monofásicos - Trifásicos.* Guayaquil.

El Universo. (30 de Marzo de 2018). Obtenido de <https://www.eluniverso.com/noticias/2018/03/30/nota/6691795/falla-subestacion-dejo-energia-cuatro-cantones-oro/>

ENEL-CODENSA. (8 de MARZO de 2019). Obtenido de https://likinormas.micodensa.com/Norma/otros/niveles_tension_conexion_cargas_clientes

Gómez Cabanillas, E. (Universidad Cesar Vallejo). Análisis técnico y económico de corrección del factor de potencia del sistema eléctrico trifásico en 220V, del hospital IV Víctor Lazarte Echeagaray - Trujillo. 2016, Trujillo.

Harlow, J. H. (2017). *Electric Power Transformer Engineering*. CRC Press LLC.

Hora, L. (21 de Agosto de 2010). CNEL aumenta capacidad operativa en subestacion El Pache. *La Hora*.

Huircán, J. (2015). *Reguladores de Voltaje*.

IBT Equipamentos Eléctricos. (2017). *Reguladores de voltaje monofásico tipo transformador por pasos modelo RAV-2 con control modelo CTR-2*.

Marin, J. (8 de Junio de 2021). Problemática en la parte alta de el Oro debido al bajo voltaje. (B. Vega, Entrevistador)

Norma IEC 61000-4-30. (2021). *Testing and measurement techniques: Power Quality measurement methods*. International Standard.

Patrick, D., & Fardo, S. (2021). *Electrical Distribution Systems*. River Publishers.

Pinto, R. E. (2021). *Calidad de la Energía Eléctrica*. Independently Published.

Revista ElectroIndustria. (nm.vnm.g de .cm.mc h de 2017). La importancia de la medición y corrección del factor de potencia. *Revista ElectroIndustria*.

Rodriguez Fernandez, J. (2020). *Instalaciones de distribución*. Ediciones Paraninfo.

Singh, B., Chandra, A., & Al-Haddad, K. (2016). *Power Quality: Problems and Mitigation Techniques*. Wiley.

Unisalia. (2020). Obtenido de Tipos de Redes de Distribución Eléctrica:
<https://unisalia.com/10-tipos-de-redes-de-distribucion-electrica/>

Wikimedia Commons. (2016). Obtenido de Wikimedia Commons:
<https://commons.wikimedia.org/wiki/User:PACO~commonswiki>

Zhyngur Procel, A. O., & Calva Riofrio, E. R. (2014). *Diseño de esquemas de control integrado de tensión y potencia activa reactiva del sistema de distribución de la empresa electrica regional centro sur C. A*. Universidad de Cuenca.



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **BRYAN SANTIAGO VEGA ROMERO** con **C.C: # 0706155603** autor/a del trabajo de titulación: **Análisis de la energía eléctrica de la subestación “El Pache”, utilizando medidores y reguladores de voltaje de media tensión para eliminar las variaciones de voltaje.** Previo a la obtención del título de **INGENIERO EN ELÉCTRICO MECÁNICA** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 16 de septiembre del 2021

BRYAN SANTIAGO VEGA ROMERO

C.C: 0706155603



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis de la energía eléctrica de la subestación “El Pache”, utilizando medidores y reguladores de voltaje de media tensión para eliminar las variaciones de voltaje.		
AUTOR(ES)	Vega Romero, Bryan Santiago		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Quezada Calle, Edgar Raúl		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico Mecánico		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero en Eléctrico Mecánica		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	16 de septiembre del 2021	No. DE PÁGINAS:	99
ÁREAS TEMÁTICAS:	Comunicación Industrial		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Caída de Voltaje, Calidad de la Energía, Sistemas de Distribución, Subestación, Regulador de Voltaje.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente trabajo realiza un análisis en la calidad de energía del voltaje de la subestación “El Pache”. Los niveles para una operación de calidad de servicio están establecidos de acuerdo con la regulación CONELEC 004/01 con el fin de brindar un servicio de calidad a los consumidores. El distribuidor de energía debe brindar un servicio con voltajes equilibrados, con amplitudes y frecuencias constantes, sin distorsión, de esta manera, la distribuidora de energía proveerá un servicio eléctrico con alimentación interrumpida, confiable y robusta a perturbaciones en la red. Sin embargo, existen varios parámetros que afectan a la calidad de la energía. Este documento analiza las principales causas que ocasionan el deterioro en la calidad de energía. Además de analizar la caída de voltaje en los diferentes alimentadores de la subestación en estudio. En base a esto, se determinan los puntos más críticos en la red de distribución. Finalmente, se dan recomendaciones para poder solucionar el problema de caída de voltaje en la subestación “El Pache”.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 593-979628592	E-mail: bryanvega12@outlook.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
	Teléfono: 593-967608298		
	E-mail: edwin.palacios@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			