

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas  
Carrera de Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico

**“ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO EN LOS TRANSFORMADORES  
REPRESENTATIVOS DE LA CIUDAD DEL CONOCIMIENTO YACHAY”**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a  
la obtención del título de grado de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico

Autor:

Carlos Andres Cualchi Nuñez

Director:

MSc. Hernán Pérez

Ibarra - Ecuador

2020



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

### AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

#### A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

#### 1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CÉDULA DE IDENTIDAD:	172446290-6
APELLIDOS Y NOMBRES:	Cualchi Nuñez Carlos Andres
DIRECCIÓN:	Pedro Moncayo, Tabacundo
EMAIL:	<a href="mailto:cacualchin@utn.edu.ec">cacualchin@utn.edu.ec</a>
TELÉFONO MÓVIL:	0939551986

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO EN LOS TRANSFORMADORES REPRESENTATIVOS DE LA CIUDAD DEL CONOCIMIENTO YACHAY
AUTOR:	CUALCHI NUÑEZ CARLOS ANDRES
FECHA:	28/09/2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mantenimiento Eléctrico
ASESOR/DIRECTOR	MSc. Hernán Pérez

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 28 días del mes de octubre del 2020

### EL AUTOR:



Carlos Andres Cualchi Nuñez  
172446290-6



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS**

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO**

Yo, Hernán Pérez en calidad de tutor del señor estudiante, Cualchi Nuñez Carlos Andres certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado: **“ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO EN LOS TRANSFORMADORES REPRESENTATIVOS DE LA CIUDAD DEL CONOCIMIENTO YACHAY”**. Para la obtención del título de Ingeniero en Mantenimiento Eléctrico; aprobando la defensa, impresión y empastado.



Firmado electrónicamente por:  
**SEGUNDO**  
**HERNAN PEREZ**  
**CRUZ**

.....  
Msc. Hernán Pérez

**DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## **Dedicatoria**

El presente trabajo de grado se lo dedico en primer lugar a mi Dios y a la Virgen del Quinche que con su infinita bendición me han acompañado en cada etapa de mi vida y en mis estudios, los cuales han sido un pilar fundamental para poder seguir superándome día a día y luchar por mis sueños.

Para mi madre que siempre me estuvo apoyando a no rendirme jamás, me enseñó que los sueños pueden llegar a cumplirse con esfuerzo y dedicación, me apoyó en todo el proceso educativo, en mi vida personal y ha sido una de las personas más importantes para la culminación del trabajo de grado.

Para mi padre quien a pesar de las circunstancias me ha apoyado incondicionalmente, quien me ha brindado los mejores consejos que un padre puede dar a su hijo, ha sido mi motivo para seguir adelante y perseguir mis sueños, el ser un gran ingeniero eléctrico.

Para mi nueva familia, mi hijo quien cada día me demuestra que la vida es hermosa con ellos a mi lado, quien con sus locuras alegra nuestros días, le dedico todo el esfuerzo y dedicación que puse para la culminación de mi etapa estudiantil y de titulación.

A mis hermanas, que siempre me han estado ayudando en toda la etapa mi vida, apoyándome a cumplir mis sueños.

**CACN**

## **Agradecimientos**

Agradezco inmensamente a mi Dios y a la Virgencita del Quinche por su infinita bendición brindada para poder culminar con éxito el trabajo de grado.

A mis estimados profesores de la gloriosa Universidad Técnica del Norte de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas (FICA), quienes me han brindado todo su conocimiento de manera entendible y satisfactoria, en especial agradezco profundamente a mi tutor de tesis Ingeniero Hernán Pérez, quien con su conocimiento y gran paciencia me ayudó a corregir mis errores para poder culminar exitosamente el trabajo de grado.

En fin, agradezco a cada una de las personas, amigos, profesores y familia que estuvieron a lo largo de toda mi vida universitaria y personal, brindándome sus consejos, conocimientos y experiencias e hicieron que día a día pueda crecer como profesional.

**CACN**

## TABLA DE CONTENIDOS

Identificación de la obra .....	I
Constancias .....	II
Certificación del director del trabajo .....	III
Dedicatoria.....	IV
Agradecimientos .....	V
Resumen .....	XIII
Abstract .....	XIV
Introducción .....	XV
Contextualización.....	XV
Problemática.....	XVI
Objetivo General.....	XVI
Objetivos específicos .....	XVII
Justificación .....	XVII
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>1</b>
FUNDAMENTO TEÓRICO.....	1
1.1 Sistemas de distribución.....	1
1.2 Componentes de un sistema de distribución .....	2
a) Subestación de distribución: .....	2
b) Alimentadores primarios: .....	2
c) Transformadores de distribución:.....	2
d) Alimentadores Secundarios y servicios:.....	2
e) Acometidas y medidores:.....	2
f) Abonado: .....	2
1.3 Calidad de energía.....	2
1.4 Calidad del producto .....	3

1.5	Parámetros de la calidad del producto .....	3
1.6	Nivel de voltaje.....	3
1.6.1	Límites .....	4
1.7	Perturbaciones eléctricas .....	4
1.7.1	Clasificación de las perturbaciones eléctricas .....	6
1.7.2	Transitorio impulsivo .....	7
1.7.3	Transitorio oscilatorio.....	7
1.7.4	Perturbación rápida de voltaje (Flicker).....	8
	a) Efectos del flicker.....	9
	b) Límites .....	9
1.7.5	Hueco de voltaje (Sags).....	10
1.7.6	Elevaciones de voltaje (Swell).....	11
1.7.7	Interrupciones .....	11
1.8	Desequilibrio de voltaje .....	12
1.8.1	Límite.....	13
1.9	Distorsión armónica de voltaje.....	13
1.9.2	Principales fuentes de armónicos.....	15
1.9.3	Tipos de cargas .....	15
1.9.4	Efecto de los armónicos.....	16
1.9.5	Muecas de voltaje (Notches) o hendiduras.....	18
1.9.6	Ruido .....	18
1.10	Factor de uso (Fu).....	19
1.11	Factor de potencia.....	20
1.11.1	Límites .....	20
	<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>21</b>
2.1	Introducción.....	21

2.2	Descripción del sistema eléctrico de distribución de EMELNORTE y de la subestación Alpachaca.....	21
2.2.1	Subestación Alpachaca.....	21
2.3	Elección de los puntos a medir.....	22
2.4	Materiales y equipos utilizados para la adquisición de las mediciones .....	24
2.5	Proceso de descarga de la información de los analizadores de red .....	26
2.6	Parámetros para medir.....	28
2.7	Análisis de los datos.....	29
2.8	Nivel de voltaje.....	29
2.8.1	Procesamiento de los datos para el nivel voltaje.....	29
2.9	Perturbación rápida de voltaje (Flicker) .....	33
2.9.1	Procesamiento de los datos para el análisis del flicker.....	33
2.10	Distorsión armónica total de voltaje (THDv).....	35
2.10.1	Procesamiento de los datos para el análisis sobre la Distorsión Armónica Total de voltaje (THDv) .....	35
2.11	Distorsión armónica individual de voltaje.....	37
2.11.1	Procesamiento de los datos para la distorsión armónica individual de voltaje (THDvi).....	37
2.12	Desequilibrio de voltaje .....	38
2.12.1	Procesamiento de los datos para el desequilibrio de voltaje .....	38
2.13	Factor de potencia.....	40
2.13.1	Procesamiento de los datos para el factor de potencia .....	40
2.14	Factor de uso o cargabilidad .....	41
	<b>CAPÍTULO 3 .....</b>	<b>43</b>
3.1	Recomendaciones técnicas.....	43
3.1.1	Cálculo de la potencia reactiva .....	44
3.1.2	Cálculo de la capacitancia .....	46

3.1.3	Cálculo de la frecuencia de resonancia.....	47
3.1.4	Presupuesto del banco de capacitores .....	48
3.2	Análisis económico.....	50
3.2.1	Análisis económico para los bancos de capacitores .....	50
4.1	Conclusiones .....	53
4.2	Recomendaciones .....	54
	Referencias .....	55
	ANEXOS .....	58
	ANEXO A: Registro de transformadores de distribución de la ciudad del conocimiento Yachay agrupados de acuerdo con la carga instalada .....	58
	ANEXO B: Tabla de coeficientes K para el cálculo del banco de capacitores .....	60
	ANEXO C: Presupuesto general para los bancos de capacitores .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.1: Ubicación del sistema de distribución dentro de un sistema de potencia..	1
Fig. 1.2: Transitorio impulsivo.....	7
Fig. 1.3: Transitorio oscilatorio.....	8
Fig. 1.4: Hueco de voltaje (Sag) .....	10
Fig. 1.5: Elevación de voltaje (Swell) .....	11
Fig. 1.6: Muestras de voltaje causadas por un convertidor trifásico .....	18
Fig. 2.1: Subestación Alpachaca .....	22
Fig. 2.2: Analizador de red FLUKE 1744 y el AEMC 8335.....	24
Fig. 2.3: Esquema de conexión del analizador de red FLUKE 1744 y el AEMC 8335 .....	24
Fig. 2.4: Software de los analizadores de red.....	25
Fig. 2.5: Descarga de datos por medio del software PQ Log.....	26
Fig. 2.6: Datos necesarios para la exportación a una hoja de cálculo de Excel .....	27
Fig. 2.7: Configuración de la hoja de cálculo de Excel.....	27
Fig. 2.8: Proceso de exportación de datos finalizado (Excel).....	28
Fig. 2.9: Análisis del nivel de voltaje (Fórmula Excel) .....	30
Fig. 2.10: Reemplazo de datos en la fórmula del nivel de voltaje de fase (Excel) ..	30
Fig. 2.11: Nivel de voltaje de fase con los límites admisibles (Transformador M4T22) .....	31
Fig. 2.12: Nivel de voltaje de línea con los límites admisibles (Transformador M4T22) .....	31
Fig. 2.13: Mediciones fuera del rango admisible por fases (Excel) .....	32
Fig. 2.14: Perturbación rápida de voltaje o Flicker del transformador M4T22 .....	34
Fig. 2.15: THDv con su porcentaje máximo permitido (Transformador M4T22) .....	36
Fig. 2.16: Distorsión armónica individual de voltaje para el armónico 5 del..... transformador M4T22.....	37

Fig. 2.17: Desequilibrio de voltaje (Transformador M4T22) .....	39
Fig. 2.18: Factor de potencia del transformador M4T22 .....	40

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Niveles de voltaje .....	3
Tabla 1.2: Límites admisibles del nivel de voltaje .....	4
Tabla 1.3: Categorías y características típicas de los fenómenos electromagnéticos del sistema de potencia.....	5
Tabla 1.4: Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal).....	15
Tabla 2.1: Transformadores para medir .....	23
Tabla 2.2: Resumen del análisis sobre el nivel de voltaje.....	33
Tabla 2.3: Resultado del análisis de las mediciones del Pst del transformador M4T22 .....	34
Tabla 2.4: Resumen del análisis sobre la perturbación rápida de voltaje (Flicker) .	35
Tabla 2.5: Resumen del análisis de la Distorsión Armónica Total de Voltaje .....	36
Tabla 2.6: Resumen del análisis de la Distorsión Armónica Individual de Voltaje ..	38
Tabla 2.7: Resumen del análisis del Desequilibrio de Voltaje .....	39
Tabla 2.9: Cumplimiento con el índice del factor de potencia para todos los..... transformadores seleccionados.....	41
Tabla 2.10: Factor de uso de cada uno de los transformadores seleccionados.....	42
Tabla 3.1: Capacidad del banco de capacitores para cada uno de los..... transformadores .....	46
Tabla 3.2: Valores de la capacitancia para cada uno de los transformadores con bajo factor de potencia.....	47
Tabla 3.3: Frecuencia de resonancia para los bancos de capacitores.....	48
Tabla 3.4: Presupuesto del banco de capacitores para cada uno de los..... transformadores .....	48

Tabla 3.5: Resultados VAN, TIR y B/C .....	51
Tabla 3.6: Viabilidad de los bancos de capacitores desde el punto de vista económico .....	51

### ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACIÓN (1).....	3
ECUACIÓN (2).....	9
ECUACIÓN (3).....	12
ECUACIÓN (4).....	14
ECUACIÓN (5).....	14
ECUACIÓN (6).....	14
ECUACIÓN (7).....	19
ECUACIÓN (8).....	19
ECUACIÓN (9).....	20
ECUACIÓN (10).....	44
ECUACIÓN (11).....	45
ECUACIÓN (12).....	46
ECUACIÓN (13).....	47

## RESUMEN

En la ciudad del conocimiento Yachay desde su creación hasta la presente fecha se han ido incorporando fuentes que originan la presencia de perturbaciones en las redes eléctricas, componentes con electrónica de potencia, variadores de velocidad, motores eléctricos que requieren de corriente reactiva en su funcionamiento, computadores personales, etc., las cuales son las principales causas de problemas en las redes eléctricas que originan la presencia de armónicos, Flicker y bajo factor de potencia.

En el presente trabajo se realiza un análisis de los parámetros de la calidad del producto de seis transformadores del alimentador M4 de la subestación Alpachaca que energizan a la ciudad del conocimiento Yachay, instalando equipos de medición en el lado de bajo voltaje de los transformadores de distribución, los cuales registraron los valores de los parámetros necesarios para un estudio de la calidad del producto eléctrico, de acuerdo con la Regulación ARCONEL 005/18.

Para el análisis de los datos, se utilizó 1008 mediciones que fueron procesadas y analizadas de acuerdo con la Regulación ARCONEL 005/18 para los siguientes parámetros: nivel de voltaje, perturbación rápida de voltaje (Flicker), distorsión armónica de voltaje y desequilibrio de voltaje, determinando si cumplen o no con los índices establecidos por la regulación.

Finalmente con los resultados obtenidos del análisis se determinó las condiciones actuales de operatividad de cada transformador con el fin de plantear las recomendaciones técnicas y económicas para mejorar la calidad del producto y evitar las perturbaciones en la red eléctrica de la ciudad del conocimiento Yachay.

**Palabras clave:** Yachay, perturbaciones, calidad, producto, transformador, regulación, parámetros, ARCONEL, analizador de red, subestación.

## **Abstract**

From its creation to the present date, several sources of disturbances in electrical network were installed at Yachay Tech University, these sources became the causes of problems in its electrical network by generating harmonics, Flicker, and low power factor.

For this research an analysis of the working parameters of the product quality of six transformers of the M4 feeder of the Alpachaca substation that provides electricity to Yachay Tech University was carried out, installing measurement equipment on the low voltage side of the transformers of distribution, which recorded the values of the necessary parameters for a study of the quality of the electrical product, following the ARCONEL Regulation 005/18.

For data analysis, 1008 measurements were used that were processed and analyzed according to ARCONEL Regulation 005/18 for the following parameters: voltage level, rapid voltage disturbance (Flicker), harmonic voltage distortion, and unbalance of voltage, determining whether or not they comply with the criteria established by regulation.

Finally, with the results from the analysis, the current operating conditions of each transformer were determined to propose technical and economic recommendations to improve the quality of the product and avoid disturbances in the electrical network of Yachay Tech University.

Keywords: Yachay Tech University, disturbances, quality, product, transformer, regulation, parameters, ARCONEL, network analyzer, substation.

## Introducción

### Contextualización

En la Regulación ARCONEL 005/18 “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica”, expresa que la calidad del producto es el atributo de la calidad del servicio relacionado con la forma en la que las señales de voltaje son entregadas por la distribuidora, y que se caracteriza, entre otros por el nivel de voltaje, perturbaciones rápidas de voltaje y armónicos. (ARCONEL 005/18, 2018)

Una mala calidad en el suministro eléctrico puede afectar de forma muy diversa, a las instalaciones eléctricas, pudiendo llegar a causar significativos problemas en la instalación y en los equipos eléctricos conectados, por lo que actualmente existen normas y regulaciones que definen no solo los niveles mínimos de calidad de suministro eléctrico, sino como medir estos parámetros. (Bedón, 2007).

Las industrias utilizan cada vez procesos más sofisticados en los que hay más elementos de control, automatización y regulación, que permiten realizar procesos de forma más automática y ser más competitivos. Generalmente, estas cargas tienen una gran sensibilidad a las variaciones de voltaje, ante las cuales provocan funcionamientos inadecuados y problemas críticos en los procesos. Por otro lado, cada vez más las empresas invierten en medir y controlar la calidad del suministro eléctrico para evitar unos costes asociados generalmente a procesos productivos. (Autonell, Balcells, Barra, Brosca, & Fornieles, 2016).

En el Ecuador con la automatización de procesos e incorporación de nuevas tecnologías basado en la electrónica de potencia, la cual introduce equipos que contienen cargas no lineales altamente sensibles a las variaciones en el suministro eléctrico, han generado perturbaciones en la red eléctrica convencional.

Los sistemas de electrónica de potencia han generado armónicos, flicker, bajo factor de potencia, etc., pero actualmente estas perturbaciones se incrementan debido a la revolución de la electrónica que ha creado equipos muy sensibles a las interrupciones, especialmente aquellos que usan funciones de memoria y la presencia de cargas no lineales. (Ramírez & Cano, 2006)

## **Problemática**

Desde la creación de la ciudad del conocimiento Yachay en el año 2013 hasta la presente fecha se han ido incorporando edificaciones destinadas para laboratorios, aulas, residencias, centros de emprendimiento, cada una de las cuales contienen dentro de su infraestructura una diversidad de equipos eléctricos y electrónicos que han requerido el abastecimiento de energía eléctrica por lo que en la actualidad se encuentran instalados 33 transformadores de distribución con capacidades que van desde los 15 hasta los 400 kVA monofásicos y/o trifásicos cuyo detalle se indica en el anexo A.

El incremento de la demanda de energía por parte de la ciudad del conocimiento, ha provocado un deterioro en la calidad del producto del alimentador debido a la presencia de cargas no lineales como: cargadores de baterías, computadores personales, servidores, copadoras, plotters, impresoras, lámparas fluorescentes (balastos electrónicos), acondicionadores de aire, máquinas de inducción, arranque de motores, equipos de laboratorios, que sumados puede verse reflejado en: fallas intermitentes o permanentes de equipos de cómputo, interferencia con equipos de comunicación, mal funcionamiento de controladores de procesos, daño de motores en su arranque, reducción de la vida útil de equipos de transformación, protección y seccionamiento, sobrecargas y calentamiento de cables y transformadores, disparo indeseado de interruptores, medición inexacta de potencia; fenómenos que provocarían una pérdida parcial o total de la información de carácter científico, investigativo y de docencia que día a día se genera en la ciudad del conocimiento Yachay, teniendo en cuenta que una computadora puede perder su información con la interrupción de solo 5 milisegundos de tiempo.

En general, afectando las características técnicas de los equipos en su funcionamiento y tiempo de vida útil incumpliendo con los índices de calidad del producto exigidos por la ARCONEL en la Regulación No. ARCONEL 005/18.

## **Objetivo General**

Realizar un análisis de la calidad del producto en los transformadores representativos de distribución de la ciudad del conocimiento Yachay mediante mediciones obtenidas en el secundario de los transformadores y la presentación de recomendaciones técnico – económicas para el mejoramiento de la calidad del producto en Yachay.

## **Objetivos específicos**

- Investigar los diferentes conceptos bibliográficos que engloban la calidad del producto.
- Analizar los datos de las mediciones de los analizadores de red instalados en los transformadores seleccionados e inferir para el universo de transformadores de distribución de la ciudad del conocimiento Yachay.
- Realizar un informe técnico – económico en base a los resultados obtenidos del análisis de los datos para el mejoramiento de la calidad del producto en la ciudad del conocimiento Yachay.

## **Justificación**

Considerando que es necesario asegurar un nivel satisfactorio de la prestación de servicios eléctricos a que se refieren las disposiciones legales establecidas en la Ley del Régimen del Sector Eléctrico y sus reformas, es preciso realizar un estudio sobre la calidad del producto en la ciudad del conocimiento Yachay.

El estudio de la calidad del producto de este proyecto está destinado a mejorar la eficiencia y confiabilidad de las instalaciones eléctricas precautelando así la información científica, investigativa y de docencia que se generan en Yachay, así como también a mitigar las componentes armónicas.

Con los resultados obtenidos mediante el análisis de la calidad del producto se podrá presentar las conclusiones y recomendaciones técnico – económicas para la mitigación de perturbaciones y el cumplimiento de los parámetros eléctricos exigidos según la Regulación No. ARCONEL 005/18.

# CAPÍTULO 1

## FUNDAMENTO TEÓRICO

### 1.1 Sistemas de distribución

Un sistema de distribución eléctrica forma parte de un sistema eléctrico de potencia y son los elementos que se encargan de conducir la energía eléctrica desde la subestación de distribución hasta el usuario final con los niveles de voltaje requeridos por el consumidor final. (León & Espinosa, 2016)

En la Figura 1.1, se muestra la ubicación del sistema eléctrico de distribución entre las barras de alto voltaje de las subestaciones de distribución y los puntos de suministro de energía a los consumidores finales.

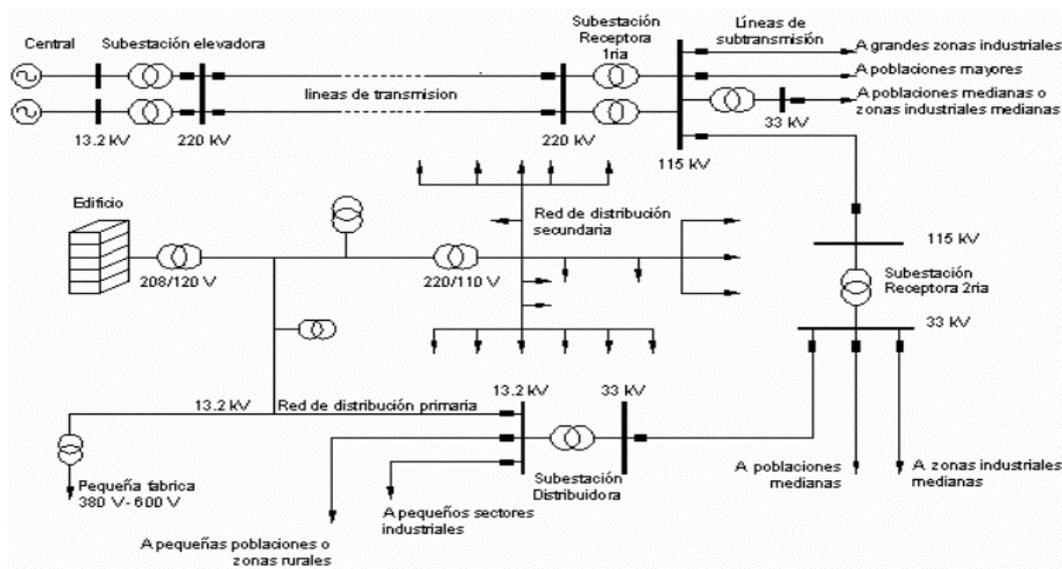


Fig. 1.1. Ubicación del sistema de distribución dentro de un sistema de potencia.

Fuente: (Ramírez, 2004)

Para abastecer de energía eléctrica a los usuarios finales, el distribuidor debe tener en cuenta los siguientes objetivos (Ramírez, 2004):

1. La prestación de los servicios de energía eléctrica a los consumidores finales debe cumplir con los requerimientos de calidad exigidos en la presente regulación, en el caso de nuestro país, según la Regulación No. ARCONEL 005/18.

2. Máxima confiabilidad en el suministro de la energía eléctrica estableciendo un equilibrio técnico y económico.
3. La expansión del sistema de distribución para cubrir demandas futuras a un costo mínimo.

## 1.2 Componentes de un sistema de distribución

Un sistema de distribución eléctrica está conformado por diversos elementos que se indican a continuación (León & Espinosa, 2016):

- a) **Subestación de distribución:** Es aquella que se encarga de transformar la potencia recibida de los circuitos de subtransmisión al nivel de voltaje de los alimentadores primarios.
- b) **Alimentadores primarios:** Son aquellos circuitos eléctricos que salen del devanado secundario del transformador de la subestación de distribución y llevan el flujo de potencia a los transformadores de distribución que se encuentran instalados dentro de su trayectoria.
- c) **Transformadores de distribución:** Se encarga de reducir el voltaje del alimentador primario al voltaje requerido por el usuario final.
- d) **Alimentadores Secundarios y servicios:** Son los circuitos que distribuyen la energía del secundario del transformador de distribución a los usuarios.
- e) **Acometidas y medidores:** Las acometidas pueden ser aéreas y subterráneas; son la conexión entre las redes de distribución y las instalaciones eléctricas, en esta parte se encuentran los medidores, los cuales se encargan de registrar el consumo de energía eléctrica del consumidor y brinda la información a la empresa distribuidora.
- f) **Abonado:** es la persona o cliente que se encarga de hacer uso de la energía eléctrica en sus domicilios, industrias, etc.

## 1.3 Calidad de energía

La calidad de la energía eléctrica se define como la ausencia de interrupciones, sobre voltajes, deformaciones producidas por armónicas en la red, la continuidad del servicio y las características de la forma de onda del voltaje (calidad del producto), (Campos, 2015).

#### 1.4 Calidad del producto

La calidad del producto se relaciona con la forma, amplitud y características en la que las señales de voltaje son entregadas en el punto de acoplamiento común entre el distribuidor y el usuario final, entre las características se tiene: el nivel de voltaje, perturbación rápida de voltaje, distorsión armónica de voltaje y desequilibrio de voltaje. (ARCONEL 005/18, 2018).

#### 1.5 Parámetros de la calidad del producto

Para la calidad del producto eléctrico en los transformadores de distribución se tomará en cuenta los siguientes parámetros de acuerdo con la (ARCONEL 005/18, 2018):

- Nivel de voltaje.
- Perturbación rápida de voltaje (Flicker).
- Distorsión armónica de voltaje total e individual.
- Desequilibrio de voltaje.

#### 1.6 Nivel de voltaje

El nivel de voltaje se refiere a los valores de alto voltaje (AV), medio voltaje (MV) y bajo voltaje (BV) que deben ser entregados por parte de la distribuidora, en la Tabla 1.1, se muestra los niveles de voltaje (ARCONEL 005/18, 2018).

Tabla 1.1 Niveles de voltaje

Nivel de voltaje	Valores de voltaje
Bajo voltaje	Menor o igual a 600 Voltios
Medio voltaje	Mayor a 600 Voltios y menor e igual a 40 kV
Alto voltaje (grupo 1)	Mayor a 40 kV y menor e igual a 138 kV
Alto voltaje (grupo 2)	Mayor a 138 kV

Fuente: (ARCONEL 005/18, 2018)

Para determinar la calidad del nivel de voltaje en un punto del sistema de distribución se emplea la Ec. 1 que se describe a continuación (ARCONEL 005/18, 2018).

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100 \quad [\%] \quad (1)$$

Donde:

$\Delta V_k$  = Variación del voltaje de suministro respecto al voltaje nominal en el punto k

$V_k$  = Voltaje de suministro en el punto k, determinado como el promedio de las medidas registradas en un intervalo de 10 minutos.

$V_N$  = Voltaje nominal en el punto k.

### 1.6.1 Límites

La empresa distribuidora no cumple con la calidad del nivel de voltaje en el punto de medición cuando el 5% o más de los registros de las variaciones de voltaje en el período de evaluación de 7 días continuos en intervalos de 10 minutos por medición, en cada mes, el servicio eléctrico lo suministra fuera de los rangos admisibles (ARCONEL 005/18, 2018).

La Tabla 1.2, representa los rangos admisibles del nivel de voltaje con respecto al valor del voltaje nominal.

Tabla 1.2 Límites admisibles del nivel de voltaje

Nivel de voltaje	Rango admisible
Bajo voltaje	±8.0%
Medio voltaje	±6.0%
Alto voltaje (grupo 1)	±5.0%
Alto voltaje (grupo 2)	±5.0%

Fuente: (ARCONEL 005/18, 2018)

El rango admisible del nivel de voltaje cuenta tanto para el límite superior como para el límite inferior.

### 1.7 Perturbaciones eléctricas

Las perturbaciones eléctricas son fenómenos o eventos que afectan al funcionamiento de cualquier dispositivo, modificando las características de la forma de onda del voltaje, corriente o frecuencia, estas perturbaciones tienen su origen en los sistemas de distribución, y/o en las

propias instalaciones de los usuarios; y se caracterizan por su magnitud y duración. (Ducura, 2017).

En la Tabla 1.3, se indica el resumen de los fenómenos electromagnéticos más destacados que afectan a la calidad de la energía:

Tabla 1.3 Categorías y características típicas de los fenómenos electromagnéticos del sistema de potencia

Categoría	Contenido Típico Espectral	Duración Típica	Magnitud Típica del Voltaje
1.0 Transitorios			
1.1 <i>Impulsos</i>			
1.1.1 Nanosegundos	5ns de elevación	< 50ns	
1.1.2 Microsegundos	1µs de elevación	50ns - 1ms	
1.1.3 Milisegundos	0.1ms de elevación	> 1ms	
1.2 <i>Oscilatorios</i>			
1.2.1 Baja Frecuencia	<5kHz	0.3 - 50ms	0 - 4 p.u.
1.2.2 Frecuencia Media	5 - 500kHz	20µs	0 - 8 p.u.
1.2.3 Alta Frecuencia	0.5 - 5MHz	5µs	0 - 4 p.u.
2.0 Variaciones de corta Duración			
2.1 <i>Instantáneas</i>			
2.1.1 Sag		0.5 - 30 ciclos	0.1 - 0.9 p.u.
2.1.2 Swell		0.5 - 30 ciclos	1.1 - 1.8 p.u.
2.2 <i>Momentáneas</i>			
2.2.1 Interrupción		0.5 ciclos - 3s	< 0.1 p.u.
2.2.2 Sag		30 ciclos - 3s	0.1 - 0.9 p.u.
2.2.3 Swell		30 ciclos - 3s	1.1 - 1.4 p.u.
2.3 <i>Temporales</i>			
2.3.1 Interrupción		3s - 1min	< 0.1 p.u.
2.3.2 Caídas (Sag)		3s - 1min	0.1 - 0.9 p.u.
2.3.3 Subidas (Swell)		3s - 1min	1.1 - 1.2 p.u.

3.0 Variaciones de larga Duración			
3.1 Interrupción sostenida		> 1min	0.0 p.u.
3.2 Subtensiones		> 1min	0.8 - 0.9 p.u.
3.3 Sobretensiones		> 1min	1.1 - 1.2 p.u.
3.4 Corriente de Sobrecarga		> 1min	
4.0 Desbalance			
4.1 Tensión		Estado estable	0.5 - 2%
4.2 Corriente		Estado estable	1.0-30%
5.0 Distorsión en Forma de Onda			
5.1 Componente de directa		Estado estable	0 - 0.1%
5.2 Contenido armónico	0 – 9 kHz	Estado estable	0 - 20%
5.3 Inter armónicas	0 – 9 kHz	Estado estable	0 - 2%
5.4 Muestras en el voltaje		Estado estable	
5.5 Ruido	Banda amplia	Estado estable	0 - 1%
6.0 Fluctuaciones de Voltaje	< 25 Hz	Intermitente	0.1 - 7% 0.2 -2Pst
7.0 Variaciones en la frecuencia		< 10s	±0.10 Hz

Fuente: (IEEE, 2009)

“La cantidad p.u. se refiere a por unidad y no tiene dimensiones. La cantidad 1.0 p.u. corresponde al 100%. La condición nominal es 1.0 p.u. En esta tabla, el valor pico nominal se usa como base para los transitorios y el valor rms nominal se usa como base para las variaciones rms.” (IEEE, 2009).

### 1.7.1 Clasificación de las perturbaciones eléctricas

Las perturbaciones eléctricas presentes en la red que suministra de energía eléctrica a los usuarios se clasifican de la siguiente manera (IEEE, 2009):

### 1.7.2 Transitorio impulsivo

El transitorio impulsivo es el cambio repentino de la frecuencia que eleva el voltaje, los niveles de corriente o ambos en forma unidireccional es decir positiva o negativa, se caracteriza por el tiempo de subida elevada (1 a 10  $\mu$ seg), este tiempo es medido en microsegundos, al ser transitorios se desvanecen con rapidez como se puede observar en la Figura 1.2 (Arias & Pullaguari, 2019).

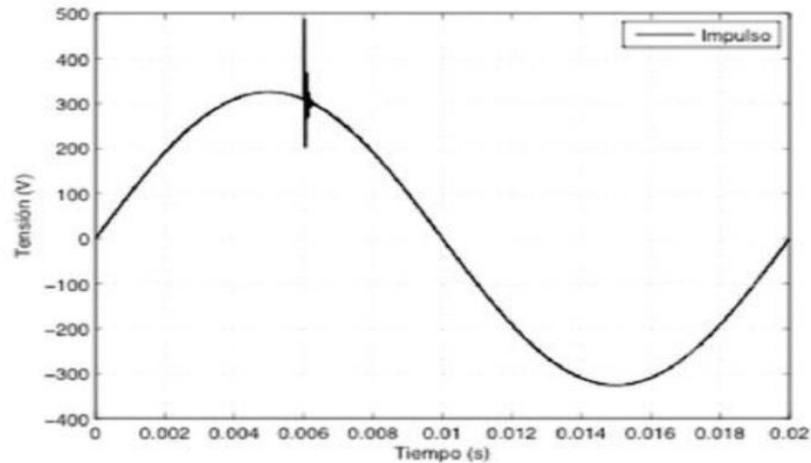


Fig. 1.2. Transitorio impulsivo

Fuente: (Arias & Pullaguari, 2019)

Como se puede apreciar en la Figura 1.2, el transitorio impulsivo modifica la forma de onda de manera unidireccional al elevar el voltaje en un tiempo definido en microsegundos.

### 1.7.3 Transitorio oscilatorio

Un transitorio oscilatorio es el cambio repentino en la condición de estado estable de los parámetros de voltaje, corriente o ambos con polaridades positivas y negativas, es decir, el transitorio oscilatorio hace que la señal de suministro produzca un aumento de voltaje y luego una bajada en forma alternada y muy rápida que es medida en microsegundos como se indican en la Figura 1.3, de acuerdo con su frecuencia se clasifican en transitorios de alta, media y baja frecuencia (Campos, 2015).

- Los transitorios oscilatorios de alta frecuencia presentan una frecuencia mayor a los 500 kHz y una duración medida en microsegundos.
- Los transitorios oscilatorios de media frecuencia presentan una frecuencia entre 5 y 500 kHz.

- Los transitorios oscilatorios de baja frecuencia presentan una frecuencia inferior a los 5 kHz con una duración de 0,3 ms a 50 ms.

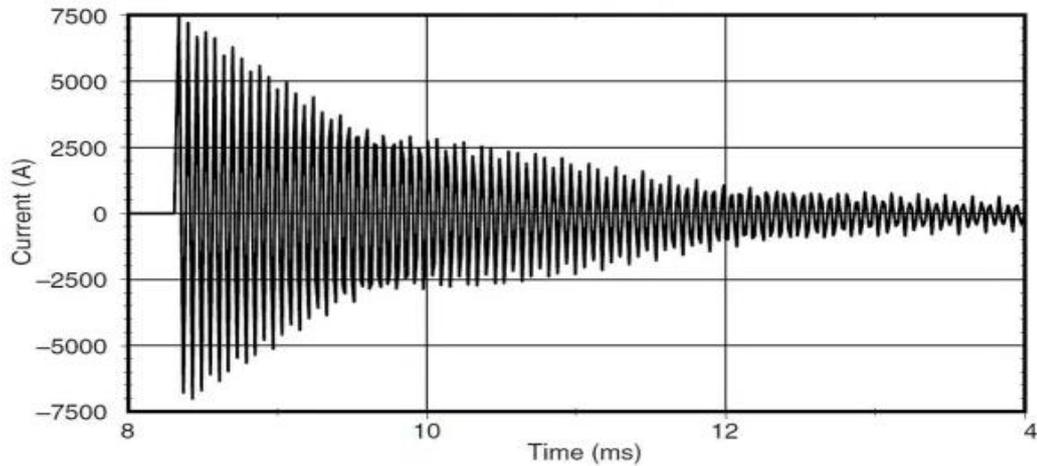


Fig. 1.3. Transitorio oscilatorio

Fuente: (Campos, 2015)

La Figura 1.3, muestra la corriente transitoria oscilatoria que es causada por la desconexión de un banco de capacitores necesario para corregir el factor de potencia.

#### 1.7.4 Perturbación rápida de voltaje (Flicker)

La perturbación rápida de voltaje o flicker son las oscilaciones de la forma de onda del voltaje con una frecuencia de aproximadamente 0 Hz a 25 Hz que producen un parpadeo de luz que puede ser percibido por el ojo humano. (Schlabach & Blume, 2011).

La perturbación rápida de voltaje o flicker es causado por (Pila & Zambrano, 2010):

- Cargas que al momento de utilizarlas varían constante y periódicamente su demanda de potencia como es el caso de los hornos de arco eléctrico y los equipos de soldadura.
- El sistema de iluminación origina fluctuaciones del voltaje cuando este se encuentra funcionando de manera incorrecta.
- Los tubos con balastro ferromagnético tradicional asociados a un regulador ocasionan las fluctuaciones de voltaje o flicker.

- El arranque de un conjunto o grandes cargas como motores y maniobra de bancos de capacitores en intervalos de tiempo superiores a algunos segundos ocasionan variaciones bruscas de voltaje.
- Otras cargas que pueden ocasionar el flicker son: los UPS, los variadores de velocidad, inversores, rectificadores, las máquinas de rayos X de los hospitales, las fotocopiadoras, etc.

#### a) Efectos del flicker

El flicker al ser un fenómeno de origen fisiológico visual ya que ocasiona fluctuaciones en los sistemas de iluminación, provoca cansancio visual y nervioso, es decir fatiga física y síquica, los cuales si ocurren de manera repetitiva puede causar riesgos de salud como las cefaleas, migrañas y estrés (Bedón, 2007).

En los equipos que son sensibles como los sistemas digitales de control, PLC, instrumentación, electromedicina, monitores de computadores, televisores y otros pueden causar daños que afectan el funcionamiento normal de estos y disminuir su vida útil (Bedón, 2007).

Para determinar la calidad, en cuanto al flicker, se lo realiza mediante el índice de severidad por flicker de corta duración (Pst) en intervalos de medición de 10 minutos, durante 7 días continuos mediante la Ec. 2 que se detalla a continuación (ARCONEL 005/18, 2018):

$$P_{st} = \sqrt{0,0314 P_{0,1} + 0,0525 P_1 + 0,0657 P_3 + 0,28 P_{10} + 0,08 P_{50}} \quad (2)$$

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 se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 1%, 50% del tiempo total del intervalo de medición.

#### b) Límites

El valor límite de severidad del flicker Pst en el punto de medición respectivo no debe superar la unidad 1 (ARCONEL 005/18, 2018).

La empresa distribuidora no cumple con el límite admisible señalado anteriormente, en cada punto de medición, cuando el 5% o más de los valores registrados, en el período de evaluación de 7 días continuos, en cada mes, se encuentren fuera del rango de tolerancia admisible ya antes señalado (ARCONEL 005/18, 2018).

### 1.7.5 Hueco de voltaje (Sags)

El hueco de voltaje (sags) es cuando el valor eficaz del voltaje presenta una reducción momentánea de entre el 0.9 y el 0,1 en p.u. del voltaje de funcionamiento normal y que tiene una duración desde medio ciclo (8 ms o 10 ms) y puede llegar a alcanzar algunos segundos como se muestra en la Figura 1.4 (Barcón, Guerrero, & Martínez, 2015)

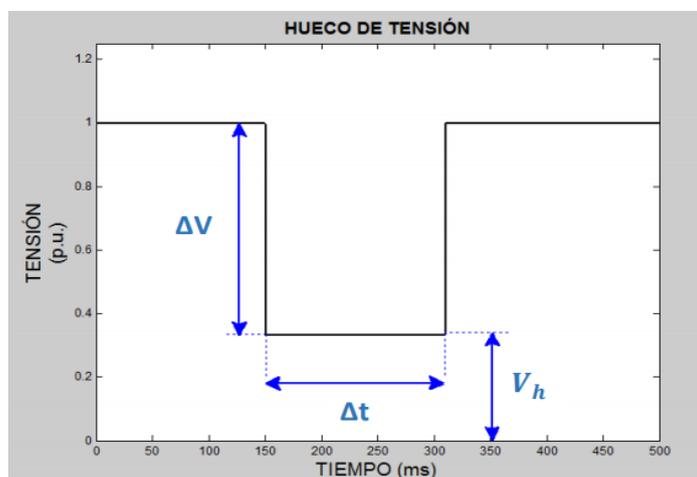


Fig. 1.4. Hueco de voltaje (Sag)

Fuente: (Barreda, 2017)

Los huecos de voltaje tienen su origen en el encendido de grandes cargas, arranque de motores de gran tamaño, cortocircuitos que son producidos por defectos del aislamiento, descargas atmosféricas y por el contacto de animales (Barreda, 2017).

Los huecos de voltaje tienen efectos negativos en el sistema eléctrico y en los componentes que a ella se conectan, causando la disminución del rendimiento de los equipos eléctricos y electrónicos (transformadores, computadoras, etc.), el calentamiento de los transformadores, motores, equipos de protección y de control. (Jurado & Lemozy, 2010).

### 1.7.6 Elevaciones de voltaje (Swell)

Las elevaciones de voltaje (Swell), son el incremento momentáneo del valor eficaz del voltaje entre el 1,1 y el 1,8 p.u., que tiene una duración de medio ciclo (8 ms o 10 ms) y puede llegar a alcanzar algunos segundos de tiempo como muestra la Figura 1.5 (Autonell et al., 2016).

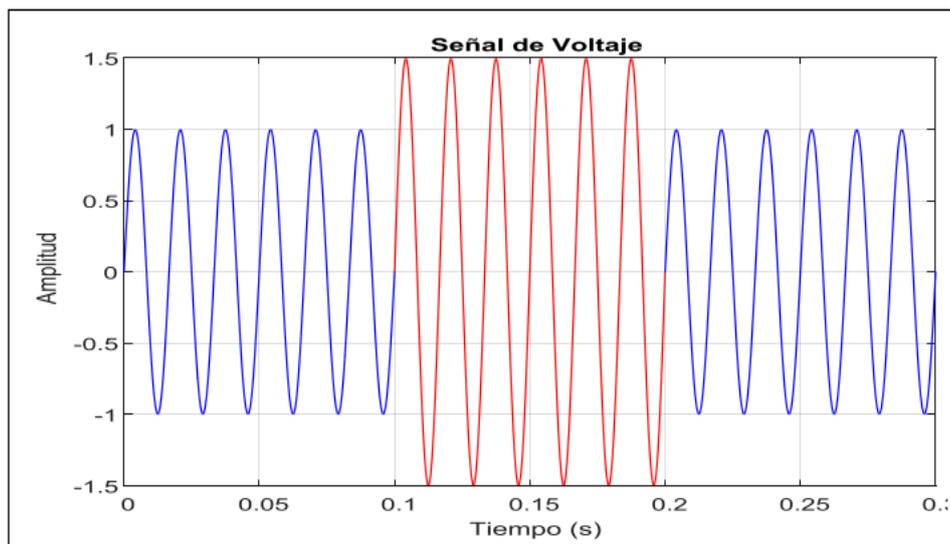


Fig. 1.5. Elevación de voltaje (Swell)

Fuente: (Ducucara, 2017)

Las elevaciones de voltaje tienen su origen en las descargas atmosféricas, desconexión de grandes cargas y apagado de bancos de capacitores, causando el deterioro del aislamiento, la reducción de vida útil y la disminución de la eficiencia en los equipos eléctricos y electrónicos que se encuentran conectados a la red eléctrica (Pila & Zambrano, 2010).

### 1.7.7 Interrupciones

Una interrupción ocurre cuando el voltaje o la corriente de la carga disminuyen parcial o totalmente (menos del 0,1 p.u.) por un período de tiempo que no exceda un minuto, estos eventos son causados por problemas de confiabilidad del sistema de distribución, equipos averiados, etc., la magnitud de la caída del voltaje es inferior al 10% del valor nominal. (Campos, 2015).

Las interrupciones se clasifican de acuerdo con la duración con la que se presentan, entre las cuales se tiene las siguientes (Arias & Pullaguari, 2019):

- Interrupciones instantáneas, tienen una duración inferior o igual a 1 min.
- Interrupciones transitorias, tienen una duración superior a los 3 minutos e inferior o igual a los 5 min.
- Interrupciones temporales, tienen una duración superior a los 5 minutos.

### **1.8 Desequilibrio de voltaje**

El desequilibrio de voltaje se produce en los sistemas eléctricos trifásicos cuando existe diferencias entre los valores rms de los voltajes de cada una de las fases, este desequilibrio en las fases tiene consecuencias negativas para los equipos que se conectan a cada una de las fases o las tres fases, funcionan de manera inadecuada y se reduce el tiempo de vida útil de la máquina; en los motores se eleva la temperatura de trabajo nominal (Ferro, 2019).

Las principales cargas que causan voltajes y fases desequilibradas en un sistema eléctrico trifásico son las siguientes (Ferro, 2019):

- Sistemas monofásicos de gran tamaño.
- Hornos monofásicos.
- Hornos trifásicos de arco.
- Aparatos de rayos X.
- El rompimiento de una de las fases del sistema eléctrico trifásico.
- Corrientes de magnetización de transformadores trifásicos.
- Hornos de inducción.
- Máquinas de soldadura eléctrica monofásica.

Para poder determinar la calidad del producto en cuanto al desequilibrio de voltaje en un punto del sistema de distribución, se lo calcula mediante la Ec. 3 que se describe a continuación (ARCONEL 005/18, 2018):

$$\text{Desequilibrio de voltaje} = \left| \frac{V^-}{V^+} \right| \times 100 \quad [\%] \quad (3)$$

Donde:

- $V^-$  = Componente de secuencia negativa de voltaje, determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.
- $V^+$  = Componente de secuencia positiva de voltaje, determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 segundos) en un intervalo de 10 minutos.

### 1.8.1 Límite

El valor límite del desequilibrio de voltaje en un punto de medición será del 2% de todos los niveles de voltaje, la empresa distribuidora no cumple con el límite admisible señalado anteriormente, en cada punto de medición, cuando el 5% o más de los valores registrados, en el período de evaluación de 7 días continuos, en cada mes, se encuentran fuera del rango de tolerancia admisible ya antes señalado (ARCONEL 005/18, 2018).

## 1.9 Distorsión armónica de voltaje

Los armónicos son señales distorsionadas cuyas frecuencias son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, que deforman a la onda senoidal en frecuencia y amplitud del voltaje y/o corriente. (Autonell et al., 2016).

Los armónicos se caracterizan por tres parámetros (Autonell et al., 2016):

- **Orden:** hace referencia al valor de su frecuencia con relación a la fundamental que es de 60 Hz, por ejemplo, un armónico de orden 5 tiene cinco veces su frecuencia fundamental, es decir, 60 Hz x 5 dando como resultado 300 Hz.
- **Amplitud:** es un pequeño porcentaje de la fundamental que representa el valor del voltaje o de la intensidad del armónico.
- **Fase:** este parámetro se relaciona con el valor del ángulo entre el armónico y la fundamental.

Para determinar la calidad con respecto a la distorsión armónica de voltaje, se la calcula mediante la distorsión armónica individual de voltaje y la distorsión armónica total de voltaje,

de acuerdo con las Ec. 4, Ec. 5 y Ec. 6 que se detallan a continuación (ARCONEL 005/18, 2018):

#### Factor para la distorsión armónica individual de voltaje

$$V_{h,k} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} (V_{h,i})^2} \times 100 \text{ [%]} \quad (4)$$

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_n} \times 100 \text{ [%]} \quad (5)$$

#### Factor para la distorsión armónica total de voltaje (THD: Total Harmonic Distortion)

$$THD_k = \left[ \frac{1}{V_n} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,i})^2} \right] \times 100 \text{ [%]} \quad (6)$$

Donde:

- $V_{h,k}$  = Armónica de voltaje h en el intervalo k de 10 minutos.
- $V_{h,i}$  = Valor eficaz (rms) de la armónica de voltaje h (para  $h = 2,3, \dots, 50$ ), medido cada 3 segundos ( $i = 1,2, \dots, 200$ ).
- $DV_{h,k}$  = Factor de distorsión individual de voltaje de la armónica h (para  $h = 2,3, \dots, 50$ ) en el intervalo k de 10 minutos.
- $THD_k$  = Factor de distorsión armónica total de voltaje.
- $V_n$  = Voltaje nominal en el punto de medición.

#### 1.9.1 Límites

Los límites máximos de distorsión armónica individual de voltaje y distorsión armónica total de voltaje se muestran en la Tabla 1.4.

Tabla 1.4 Límites máximos de armónicos de voltaje (% del voltaje nominal)

<b>Nivel de Voltaje</b>	<b>Armónica Individual (%)</b>	<b>THD (%)</b>
Bajo Voltaje	5.0	8.0
Medio Voltaje	3.0	5.0
Alto Voltaje (Grupo1)	1.5	2.5
Alto Voltaje (Grupo2)	1.0	1.5

Fuente: (ARCONEL 005/18, 2018)

En la Tabla 1.4, se muestra el límite para la armónica individual de voltaje como para la total, medida en porcentaje de cada uno de los niveles de voltaje.

### **1.9.2 Principales fuentes de armónicos**

Las fuentes principales de los armónicos son los hornos de arco eléctrico, la corriente de inrush en los transformadores, reguladores de velocidad, fuentes de control para equipos electrónicos, rectificadores para equipos de soldadura y cargadores de baterías, inversores, compensadores estáticos de potencia reactiva, instalaciones de iluminación con lámparas de descarga, acondicionadores de aire, etc. (Arcila, 2014)

En resumen, los armónicos son causados por el uso de cargas que contienen impedancias que no son lineales, a los materiales ferromagnéticos, y en general, se debe a los equipos que necesitan realizar conmutaciones cuando están operando normalmente. (Barcón et al., 2015).

Las cargas no lineales que están conectadas a la red absorben corrientes que no son lineales, que al circular por las impedancias del sistema eléctrico producen caídas de voltaje no lineales que modifican la forma de onda del voltaje suministrado.(García, 2006).

### **1.9.3 Tipos de cargas**

Dentro del sistema de distribución y de consumo de la energía eléctrica se puede distinguir 2 tipos de cargas que son alimentadas por una red de corriente alterna, cargas lineales y cargas no lineales (Autonell et al., 2016).

### **a) Carga lineal**

Una carga es lineal cuando tiene una relación lineal entre la corriente y el voltaje. Una carga lineal absorbe una corriente sinusoidal cuando es alimentada por un voltaje senoidal, sin importar si esta corriente está desfasada o no un ángulo  $\phi$  con respecto a la onda del voltaje, las cargas lineales pueden ser (Autonell et al., 2016):

- Inductancias.
- Capacitores.
- Resistencias

### **b) Carga no lineal**

Una carga es no lineal cuando consume una corriente discontinua, o cuya impedancia varía durante un ciclo del voltaje alterno del suministro, las cargas no lineales pueden ser (Autonell et al., 2016):

- Convertidores estáticos.
- Equipos electrónicos monofásicos que internamente trabajan con corriente continua (Ordenadores, impresoras, etc.).
- Instalaciones de iluminación con lámparas de descarga.
- Hornos de arco y equipos de soldadura.
- Transformadores y reactancias con núcleo de hierro.

#### **1.9.4 Efecto de los armónicos**

Existen algunos factores para que los armónicos generen efectos negativos en los equipos tales como; la naturaleza de estos, la magnitud, la frecuencia y la fase de los armónicos (García, 2006). Entre los efectos más notorios se citan los siguientes:

- Los condensadores y transformadores sufren pérdidas adicionales y calentamientos que acortan su vida media de funcionamiento.
- Los fusibles de protección sufren calentamiento debido a la presencia de armónicos en la red.
- Los cables sufren fallos en el aislamiento y el efecto corona.
- Los balastos inductivos que se utilizan en lámparas fluorescentes o lámparas de descarga sufren aumentos de temperatura.

- Los relés de protección sufren disparos inadecuados ocasionados por las modificaciones en los valores de voltaje pico.
- En las redes eléctricas los armónicos incrementan las pérdidas por calentamiento, especialmente en transformadores y motores, ocasionando el deterioro de los aislamientos y acortando su vida útil.
- Dentro de los impactos causados por los armónicos, se tiene el impacto económico que sufren los usuarios, tales como: pérdidas energéticas, costos adicionales de potencia, sobredimensionamiento de los equipos, reducción de la vida útil de los equipos, desconexiones indeseadas y paradas en la instalación, etc.

#### **a) Efecto de los armónicos en los transformadores**

Los transformadores no están diseñados para manejar corrientes no sinusoidales, y para poder compensar las pérdidas producidas por los armónicos, estos deben operar a una potencia menor a la nominal. (Barcón et al., 2015).

Los efectos negativos más representativos que se presentan internamente en los transformadores son (Martínez, 2012):

- Pérdidas por efecto Joule en los devanados.
- Pérdidas por histéresis y corrientes parásitas en los circuitos magnéticos.

#### **b) Armónicos en los transformadores monofásicos**

La gran mayoría de los transformadores monofásicos, cuando se excitan al voltaje nominal, producen una tercera armónica, la cual se debe a que la curva de saturación de los núcleos de los transformadores comerciales incrementa bruscamente y se satura rápidamente, ocasionando la distorsión de la corriente de magnetización (Pérez, 2018).

#### **c) Armónicos en los transformadores trifásicos**

En los transformadores trifásicos que están conectados en estrella - estrella no aterrizada, las terceras armónicas y las armónicas de orden impar se suman entre ellas, y obligan al neutro a salir del centro geométrico, debido a que no existe una trayectoria cerrada para las armónicas tanto en el bobinado primario como en el bobinado secundario, lo que da origen a que la forma de onda del voltaje de salida se distorsione (Pérez, 2018).

Los transformadores trifásicos que están conectados a tierra, ya sea en el bobinado primario o secundario o ambos, el neutro se mantiene en el centro geométrico; de esta manera se consigue un circuito cerrado para cualquier corriente que se encuentre desbalanceada, o corrientes armónicas al conductor neutro (Pérez, 2018).

### 1.9.5 Muestras de voltaje (Notches) o hendiduras

Las muescas son perturbaciones periódicas en la forma de onda del voltaje que son causadas por la operación normal de los dispositivos de electrónica de potencia, cuando la corriente es conmutada de una fase a otra como se puede observar en la Figura 1.6 (Campos, 2015).

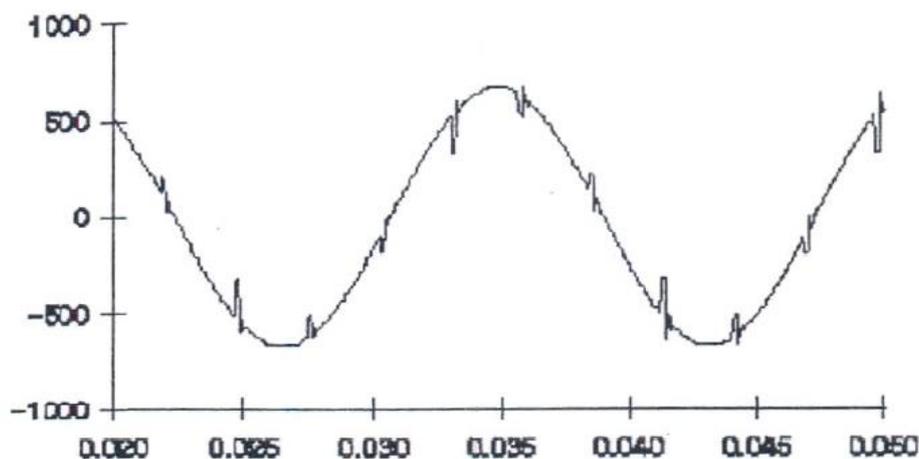


Fig. 1.6. Muestras de voltaje causadas por un convertidor trifásico

Fuente: (Campos, 2015)

En la Figura 1.6, se observa las muescas de voltaje de un convertidor trifásico que produce corriente continua, las muescas se producen cuando hay conmutación de una fase a otra, durante ese período existe un cortocircuito momentáneo entre las dos fases que lleva el voltaje casi a cero (Campos, 2015).

### 1.9.6 Ruido

El ruido es una señal eléctrica indeseable que no puede ser clasificada como distorsión armónica o transitoria, ya que contiene un contenido espectral de banda amplia, menor de

200 kHz, que se encuentra superpuesta al voltaje o a la corriente del sistema en los conductores de las fases o en los conductores del neutro o conductores de señal (Campos, 2015).

El ruido puede ser causado por dispositivos de electrónica de potencia, circuitos de control, equipos de arco, cargas con rectificadores de estado sólido, fuentes conmutadas y maniobras del sistema (Campos, 2015).

### 1.10 Factor de uso (Fu)

El factor de uso o factor de utilización es la relación entre la demanda máxima y la capacidad nominal instalada, se aplica para verificar el porcentaje de cargabilidad del transformador, matemáticamente el factor de uso se describe en la Ec. 7 que se detalla a continuación (Boada, 2014):

$$Fu = \frac{kVA_{Dm\acute{a}x}}{kVA_{instalados}} \quad (7)$$

Donde:

Fu = Factor de uso

$kVA_{Dm\acute{a}x}$  = potencia aparente a demanda máxima

$Dm\acute{a}x$  = potencia activa máxima

Para obtener los  $kVA_{Dm\acute{a}x}$  se lo realiza mediante la Ec. 8 que se detalla a continuación (Boada, 2014):

$$kVA_{Dm\acute{a}x} = \frac{Dm\acute{a}x}{FP_{Dm\acute{a}x}} \quad (8)$$

Para los resultados obtenidos mediante la Ec. 7 se toma en cuenta lo siguiente:

- Si el  $Fu \leq 0,5$  entonces los transformadores del alimentador se encuentran subcargados o subutilizados.
- Si el  $Fu \geq 0,8$  entonces los transformadores del alimentador se encuentran sobrecargados o sobreutilizados.

## 1.11 Factor de potencia

El factor de potencia se define como la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo, puede tener valores entre 0 y 1, teniendo en cuenta que mientras más se acerque al 0 significa un mayor consumo de energía eléctrica necesaria para realizar un trabajo útil (Prias, 2015).

Matemáticamente el factor de potencia (FP) se define como la relación entre la potencia activa (P) medida en kW y la potencia aparente (S) medida en kVA como se detalla en la ecuación 9 (Prias, 2015).

$$FP = \frac{P}{S} \quad (9)$$

Donde:

FP = Factor de potencia

P = Potencia activa

S = Potencia aparente

En términos generales, el factor de potencia se define como el desfaseamiento o no de la corriente con relación al voltaje y es un indicador del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica (Boada, 2014).

### 1.11.1 Límites

Para establecer el límite del factor de potencia se divide en dos secciones el límite establecido para la empresa distribuidora o para los clientes que se conectan en medio voltaje y para los consumidores que se conectan en bajo voltaje (ARCONEL, 2018).

El límite del factor de potencia para la empresa distribuidora o para los consumidores que se conectan en medio voltaje no debe ser inferior al 0,96 capacitivo e inductivo, para que el sistema eléctrico pueda mantener su estabilidad ante las contingencias (CENACE, 2018).

Para el consumidor en bajo voltaje el factor de potencia no debe ser menor al 0,92, si se incumple con el límite, el consumidor tendrá una sanción económica. (ARCONEL, Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución - Tarifas en bajo voltaje., 2019).

## **CAPÍTULO 2**

### **2.1 Introducción**

El siguiente capítulo se enfoca en el análisis de la calidad del producto en una muestra representativa de los transformadores de distribución que pertenecen al alimentador No. 4 de la subestación Alpachaca que alimentan a la ciudad del conocimiento Yachay, realizando mediciones en el lado de bajo voltaje de los transformadores con los respectivos equipos analizadores de red, para determinar el estado actual de operatividad y de esta manera verificar si el resultado de los análisis realizado cumplen o no con los parámetros y límites que exige la Regulación ARCONEL 005/18 para la calidad del producto, en caso de no cumplir con los parámetros establecidos, se propondrán las recomendaciones técnicas para mejorar la calidad del producto eléctrico.

### **2.2 Descripción del sistema eléctrico de distribución de EMELNORTE y de la subestación Alpachaca**

La empresa distribuidora eléctrica EMELNORTE S.A. (Empresa Eléctrica Regional del Norte S.A.), tiene en su concesión un área de 11979  $km^2$ ; a lo largo de toda su extensión abarca las provincias de Imbabura y Carchi, así como también a los cantones de Cayambe y Pedro Moncayo pertenecientes a la provincia de Pichincha, parte del Cantón Sucumbíos y las parroquias Durango y Alto Tambo de la provincia de Esmeraldas.

El área de concesión de EMELNORTE S.A. está dividida en 4 zonas: la zona 1 está conformada por los cantones de Cayambe y Pedro Moncayo, en la zona 2 se encuentran los cantones de Otavalo, Antonio Ante y Cotacachi, la zona 3 está conformada por los cantones de Ibarra y un sector de Esmeraldas y en la zona 4 se encuentra la provincia del Carchi y un sector de Sucumbíos.

#### **2.2.1 Subestación Alpachaca**

EMELNORTE S.A. posee 17 subestaciones una de las cuales es la subestación Alpachaca, la cual se encuentra ubicada en la provincia de Imbabura al noroeste de la ciudad de Ibarra, en la parroquia Alpachaca, en el barrio "15 de septiembre", a 2230 msnm. Esta subestación tiene una configuración de barra simple, opera a un nivel de voltaje en la barra de entrada de 69 kV y a un nivel de voltaje en la barra de salida de 13,8 kV, dispone de 3

transformadores de potencia; 2 reductores y 1 elevador, este último es utilizado para evacuar la energía producida por la Central El Ambi, en la Figura 2.1 se muestra la subestación Alpachaca con sus 3 transformadores de potencia.



Fig. 2.1. Subestación Alpachaca

Fuente: (Autor)

A la barra principal de 69 kV se acoplan dos entradas de voltaje, la primera recibe el voltaje a 69 kV desde la subestación CELEC – EP TRANSELECTRIC Ibarra, la segunda entrada recibe el voltaje a 34,5 kV desde la central hidroeléctrica El Ámbi, el transformador elevador eleva el voltaje a 69 kV para conectar el voltaje a la barra principal de la subestación.

De la barra de salida de la subestación Alpachaca se derivan 6 alimentadores denominados M1, M2, M4, M5, M6 y M8, cada uno de los alimentadores opera a un nivel de medio voltaje de 13,8 kV.

Para este caso de estudio se detalla el alimentador M4 que brinda el servicio de energía eléctrica a la ciudad del conocimiento Yachay, este alimentador tiene una longitud de 94,12 km aproximadamente, posee 180 transformadores monofásicos y 35 transformadores trifásicos dando un total de 215 transformadores instalados, de los cuales 33 transformadores se encuentran en Yachay, siendo tres monofásicos y 30 trifásicos.

### **2.3 Elección de los puntos a medir**

Para seleccionar los puntos de medición se contabilizó el total de los transformadores de distribución que suministran el servicio de energía eléctrica a la ciudad del conocimiento Yachay, dando como resultado un total de 33 transformadores entre monofásicos y trifásicos.

Del total de estos transformadores se procedió a agrupar de acuerdo con el tipo de carga instalada obteniendo como resultado cuatro grupos que se indican a continuación:

- Grupo 1 conformado por tres transformadores monofásicos destinados para alumbrado.
- Grupo 2 conformado por 17 transformadores trifásicos que alimentan las residencias.
- Grupo 3 conformado por cinco transformadores trifásicos que alimentan las aulas.
- Grupo 4 conformado por ocho transformadores trifásicos que alimentan los diferentes laboratorios que sumados dan el total de 33 transformadores, los cuales se indican en el anexo A.

De acuerdo con la diversidad de la carga que representa la ciudad del conocimiento, la Empresa Eléctrica Regional Norte en base a la potencia instalada y a la importancia de la carga sugirió que los puntos a medir sean los que se indican en la Tabla 2.1, considerando que para el cálculo de la muestra el número de transformadores totales instalados en Yachay es pequeño.

Tabla 2.1 Transformadores para medir

<b>Carga instalada</b>	<b>Transformador</b>	<b>Potencia</b>	<b>Tipo</b>
Bloque de residencias I	M4T22	200 kVA	Trifásico Pad Mounted
Bloque de residencias II	M4T35	250 kVA	Trifásico Pad Mounted
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio	M4T34	400 kVA	Trifásico Pad Mounted
Yachay Tech	M4T25	300 kVA	Trifásico Pad Mounted
Plataforma Data Center	M4T46	300 kVA	Trifásico Convencional
Plataforma Data Center	M4T47	300 kVA	Trifásico Convencional
Barra principal Subestación Alpachaca	Alimentador No. 4		

Fuente: (Autor)

Para este trabajo de grado no se tomó en cuenta a los transformadores monofásicos debido a que su carga instalada en su mayoría es insignificante.

## 2.4 Materiales y equipos utilizados para la adquisición de las mediciones

Los equipos de medición que se utilizaron para la obtención de las mediciones son 2 analizadores de red; el FLUKE 1744 y el AEMC 8335, como se muestra en la Figura 2.2.



Fig. 2.2. Analizador de red FLUKE 1744 y el AEMC 8335

Fuente: (Fluke, 2006)

En la Figura 2.2, se muestra el equipo analizador de red FLUKE 1744 y el AEMC 8335 con sus componentes de conexión (pinzas de corriente, pinzas de voltaje y lagartos de conexión a los cables de salida del transformador de distribución), y el esquema de conexión del analizador de red FLUKE 1744 y del AEMC 8335 se muestra en la Figura 2.3.

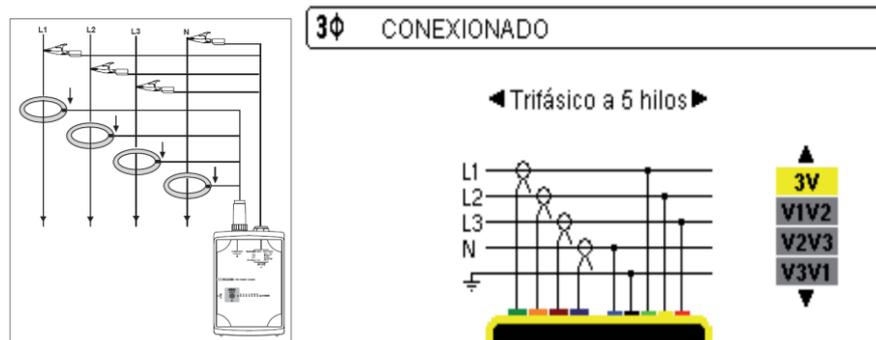


Fig. 2.3. Esquema de conexión del analizador de red FLUKE 1744 y el AEMC 8335

Fuente: (Fluke, 2006)

La Figura 2.3, muestra el esquema de conexión del analizador de red FLUKE 1744 y el AEMC 8335 con las pinzas de voltaje y corriente en cada una de las líneas de salida del transformador de distribución.

El programa que utiliza el analizador de red Fluke 1744 para la configuración y la visualización de los datos es el PQ Log con una versión de software 2.2.3 Unicode (Rev. 5385) y para el AEMC 8335 el programa es el DataView 3.07 (Fluke, 2006), los cuales se detallan en la Figura 2.4.

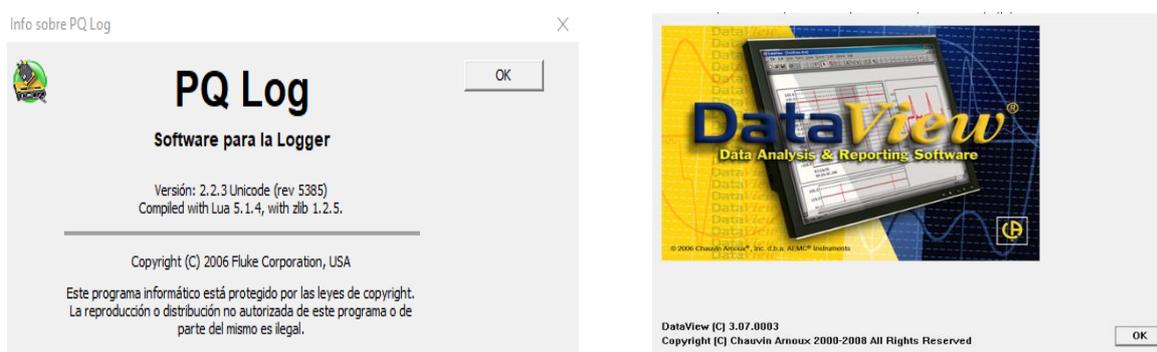


Fig. 2.4. Software de los analizadores de red

Fuente: (Autor)

Para la conexión de los equipos de medición en los puntos seleccionados, el jefe del departamento de calidad de energía de la empresa eléctrica EMELNORTE S.A solicita una autorización donde se especifique el equipo que se va a instalar y el tipo de medición que se realizará, para tener la disponibilidad de los equipos y de esta manera evitar pérdidas de tiempo y optimizar los recursos de la empresa, ya que frecuentemente estos instrumentos están siendo utilizados por el personal del departamento de calidad de energía de EMELNORTE S.A.

Al tener la disponibilidad de los equipos de medición, se procede a programar cada uno de ellos con los parámetros que se quiere medir, colocar los límites de cada perturbación y el nivel de voltaje nominal del analizador.

Con los equipos programados correctamente se procede a la instalación en los puntos asignados, en los cuales permanecerán durante 7 días consecutivos adquiriendo mediciones

cada 10 minutos de los parámetros que son necesarios para realizar el estudio sobre la calidad del producto en los transformadores de Yachay.

## 2.5 Proceso de descarga de la información de los analizadores de red

Al concluir los 7 días de medición se procede a retirar los equipos para posteriormente descargar toda la información que se recolecte, esto se consigue conectando el cable de datos al puerto serial del computador (COM1), se procede a abrir el programa PQ Log para el caso del Fluke 1744, el cual viene incluido en el equipo y se escoge los parámetros de medición referenciales como máximo 9 como se muestra en la Figura 2.5.

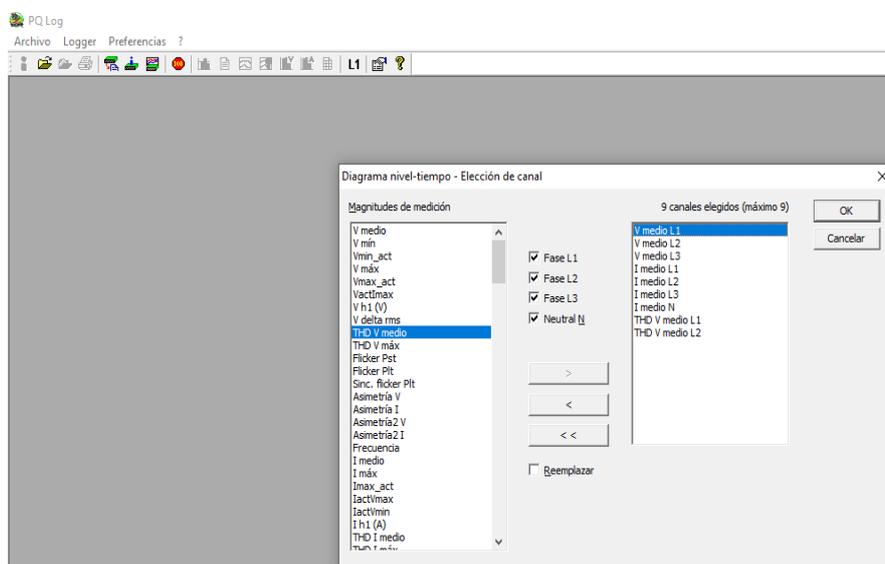


Fig. 2.5. Descarga de datos por medio del software PQ Log

Fuente: (Autor)

Una vez seleccionado los parámetros de medición se procede a exportar a una hoja de cálculo de Excel, para este proceso es necesario tener en cuenta el orden de los parámetros que son necesarios para realizar el estudio sobre la calidad del producto, la Figura 2.6 muestra los datos y el orden para poder exportar a una hoja de cálculo del programa Excel.

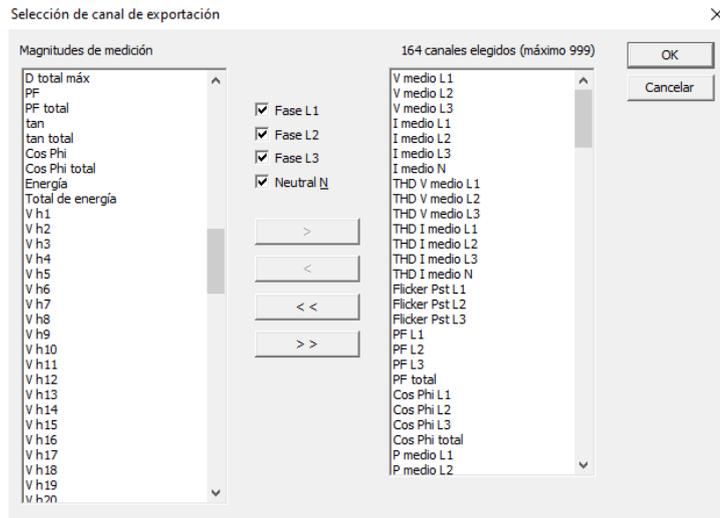


Fig. 2.6. Datos necesarios para la exportación a una hoja de cálculo de Excel

Fuente: (Autor)

Al realizar la exportación desde el programa PQ Log se crea un archivo en formato .ASC, el cual debe abrirse desde una hoja de cálculo de Excel, para este procedimiento es necesario configurar los parámetros necesarios de la hoja de Excel, en la Figura 2.7 se observa la configuración.

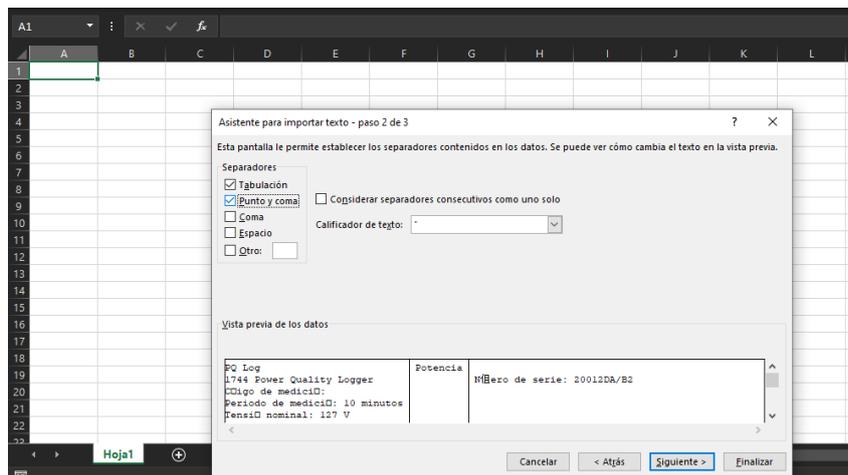


Fig. 2.7. Configuración de la hoja de cálculo de Excel

Fuente: (Autor)

Para finalizar con el proceso de descarga de los datos desde el equipo analizador de red a una hoja de cálculo de Excel, la Figura 2.8, muestra el proceso de exportación terminado, con los datos necesarios para realizar el estudio sobre la calidad del producto como indica la Regulación ARCONEL 005/18.

Fecha	Hora	V medio L1	V medio L2	V medio L3	I medio L1	I medio L2	I medio L3	I medio N	THD V medic	THD V medic	THD V medio L3	THD I medio	THD I medio	THD I medio	THD I medio	Flu
24/12/2019	11:20:00	130,13	128,04	128,46	32,4	23,9	29,3	10,5	1,45	1,13	1,47	16,7	11,8	15	36,4	
24/12/2019	11:30:00	129,94	127,99	128,33	32,7	23,7	31,7	9,4	1,44	1,14	1,51	16,1	11,5	14,3	44,5	
24/12/2019	11:40:00	130,37	128,32	128,75	31,4	21,9	31,6	6,5	1,49	1,13	1,48	17,4	12	14,7	60,7	
24/12/2019	11:50:00	130,11	128,09	128,41	32,6	22,2	32,1	6,9	1,52	1,16	1,51	17,1	12,5	15,5	49,9	
24/12/2019	12:00:00	130,02	128,02	128,41	31,6	21,6	31,2	5,8	1,49	1,13	1,48	17,1	12,3	15,4	67,4	
24/12/2019	12:10:00	130,56	128,67	129,06	32,6	23,4	32,1	9,6	1,5	1,14	1,53	17,6	12,2	15,7	46,4	
24/12/2019	12:20:00	130,13	128,11	128,41	31,6	21,4	32	14,7	1,53	1,15	1,5	17,3	11,8	15,5	25,1	
24/12/2019	12:30:00	131,44	129,24	129,6	31,1	21,6	32	12,7	1,48	1,16	1,55	19	14,1	16,9	28	
24/12/2019	12:40:00	131,3	129,19	129,48	31,2	21,9	32,2	8,4	1,53	1,18	1,58	18,3	13,5	16,2	50,8	
24/12/2019	12:50:00	131,14	129,21	129,66	32,1	22,2	33	8,5	1,53	1,21	1,54	17,3	12,8	14,9	42,8	
24/12/2019	13:00:00	131,47	129,32	129,52	32	21,5	31,6	6,8	1,51	1,18	1,57	18,1	13,2	15,5	55,3	
24/12/2019	13:10:00	131,74	129,18	129,61	29,8	22,8	31,8	10,8	1,54	1,21	1,54	16,2	13,2	15,2	24,1	

Fig. 2.8. Proceso de exportación de datos finalizado (Excel)

Fuente: (Autor)

Los datos que se muestra en la Figura 2.8, contienen la fecha y la hora en intervalos de 10 minutos por medición los mismos que fueron extraídos del transformador M4T22 como referencia.

## 2.6 Parámetros para medir

Los parámetros para medir que define la calidad del producto según la Regulación No. ARCONEL 005/18 son los siguientes:

- Nivel de voltaje.
- Perturbación rápida de voltaje (Flicker).
- Distorsión armónica de voltaje total e individual.
- Desequilibrio de voltaje.

Adicional a los parámetros ya antes mencionados, se analizó también el factor de potencia de acuerdo con el pliego tarifario para las empresas de distribución (Resolución Nro. ARCONEL – 035/19) y el factor de uso ya que son indispensables para un estudio sobre la calidad del producto en los transformadores de distribución.

El equipo de medición que se utilizó para la obtención de los datos es capaz de medir diferentes parámetros en intervalos de 10 minutos por medición que son necesarios para realizar un análisis sobre la calidad del producto, los parámetros que mide el equipo son los siguientes:

- Voltaje
- Intensidad
- Armónicos de voltaje y corriente.
- Interarmónicos
- Flicker Pst
- Factor de potencia.
- Potencia activa, reactiva y aparente (representa la cargabilidad).
- Energía
- Factor de cresta
- Medición de corrientes en el neutro
- Función de osciloscopio

## **2.7 Análisis de los datos**

Para el análisis de los datos se obtuvieron 1008 mediciones por cada uno de los transformadores ya antes seleccionados, con estas mediciones se procedió a analizarlas para todos los parámetros y determinar si cumplen o no con los límites establecidos en la Regulación ARCONEL 005/18 en lo referente a calidad del producto.

## **2.8 Nivel de voltaje**

Para el nivel de voltaje, los límites que indica la Regulación ARCONEL 005/18 para bajo voltaje es de  $\pm 8.0\%$  del nominal que es 127/220 V y para medio voltaje el límite es de  $\pm 6.0\%$  del nominal, teniendo en cuenta que el porcentaje del número de mediciones fuera del límite no deben superar el 5% del total de las mediciones.

### **2.8.1 Procesamiento de los datos para el nivel voltaje**

En una hoja de cálculo de Excel se procedió a colocar los datos necesarios para realizar el análisis sobre el nivel de voltaje como indica la Regulación ARCONEL 005/18; para este

caso se escogió el transformador M4T22 como referencia, mediante las funciones del programa Excel se reemplazó los datos en la fórmula que se muestra en la Figura 2.9.

ANÁLISIS DEL NIVEL DE VOLTAJE					
TRANSFORMADOR M4T22					
V rms	V rms	V rms	FÓRMULA NIVEL DE VOLTAJE		
Fase A	Fase B	Fase C	$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100[\%]$		
130,13	128,04	128,46	VOLTAJE NOMINAL 127		
129,94	127,99	128,33			
130,37	128,32	128,75			
130,11	128,09	128,41			
130,02	128,02	128,41			
130,56	128,67	129,06			
130,13	128,11	128,41			
131,44	129,24	129,6			
131,3	129,19	129,48			
131,14	129,21	129,66			
131,47	129,32	129,92			
131,24	129,18	129,64			
131,98	129,77	130,33			
132,12	130,04	130,54			
131,65	129,65	130,03			
131,32	129,52	129,83			
131,15	129,44	129,62			

Fig. 2.9. Análisis del nivel de voltaje (Fórmula Excel)

Fuente: (Autor)

Con las 1008 mediciones se procedió a aplicar la fórmula sobre el nivel de voltaje teniendo en cuenta que el voltaje nominal de fase para bajo voltaje es de 127 Voltios, y de esta manera se obtuvieron los resultados que se indican en la Figura 2.10.

ANÁLISIS DEL NIVEL DE VOLTAJE						Variación	Variación	Variación
TRANSFORMADOR M4T22						Fase A (%)	Fase B (%)	Fase C (%)
V rms	V rms	V rms	FÓRMULA NIVEL DE VOLTAJE					
Fase A	Fase B	Fase C	$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} \times 100[\%]$					
130,13	128,04	128,46	VOLTAJE NOMINAL 127			2,46456693	0,81889764	1,1496063
129,94	127,99	128,33				2,31496063	0,77952756	1,04724409
130,37	128,32	128,75				2,65354331	1,03937008	1,37795276
130,11	128,09	128,41				2,4488189	0,85826772	1,11023622
130,02	128,02	128,41				2,37795276	0,80314961	1,11023622
130,56	128,67	129,06				2,80314961	1,31496063	1,62204724
130,13	128,11	128,41				2,46456693	0,87401575	1,11023622
131,44	129,24	129,6				3,49606299	1,76377953	2,04724409
131,3	129,19	129,48				3,38582677	1,72440945	1,95275591
131,14	129,21	129,66				3,25984252	1,74015748	2,09448819
131,47	129,32	129,92				3,51968504	1,82677165	2,2992126
131,24	129,18	129,64				3,33858268	1,71653543	2,07874016
131,98	129,77	130,33				3,92125984	2,18110236	2,62204724
132,12	130,04	130,54				4,03149606	2,39370079	2,78740157
131,65	129,65	130,03				3,66141732	2,08661417	2,38582677
131,32	129,52	129,83				3,4015748	1,98425197	2,22834646
131,15	129,44	129,62				3,26771654	1,92125984	2,06299213

Fig. 2.10. Reemplazo de datos en la fórmula del nivel de voltaje de fase (Excel)

Fuente: (Autor)

Al tener las mediciones sobre el comportamiento del voltaje en cada una de las fases del transformador, se procedió a realizar una gráfica indicando el límite superior e inferior como ya se explicó anteriormente, la Figura 2.11, muestra el nivel de voltaje de fase con los límites superior e inferior.

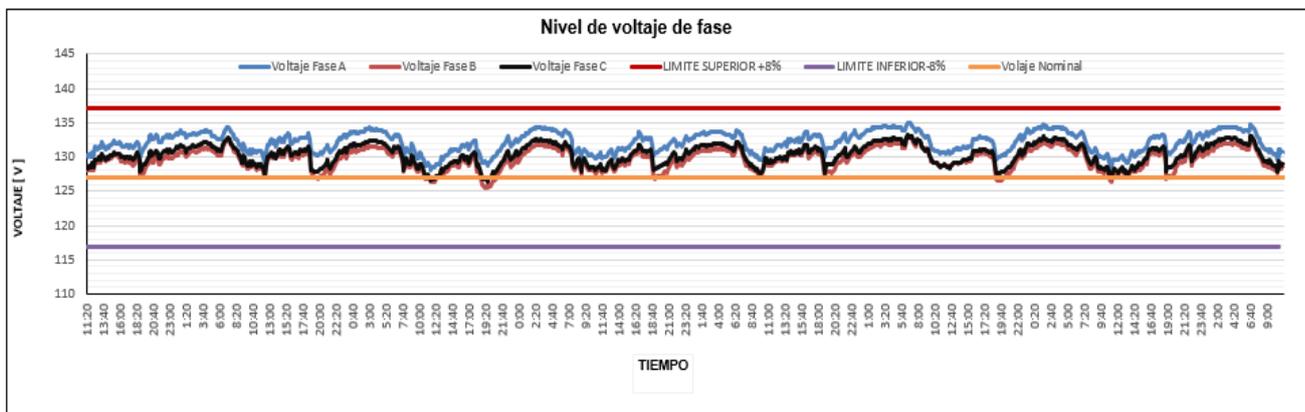


Fig. 2.11. Nivel de voltaje de fase con los límites admisibles (Transformador M4T22)

Fuente: (Autor)

Para el voltaje de línea, el análisis se realizó de la misma forma, teniendo en cuenta que para este caso el voltaje de línea es 220 V, lo que quiere decir que el límite inferior es 202,4 V y el límite superior es 237,6 V, la Figura 2.12 muestra el nivel de voltaje de línea con el límite superior e inferior.

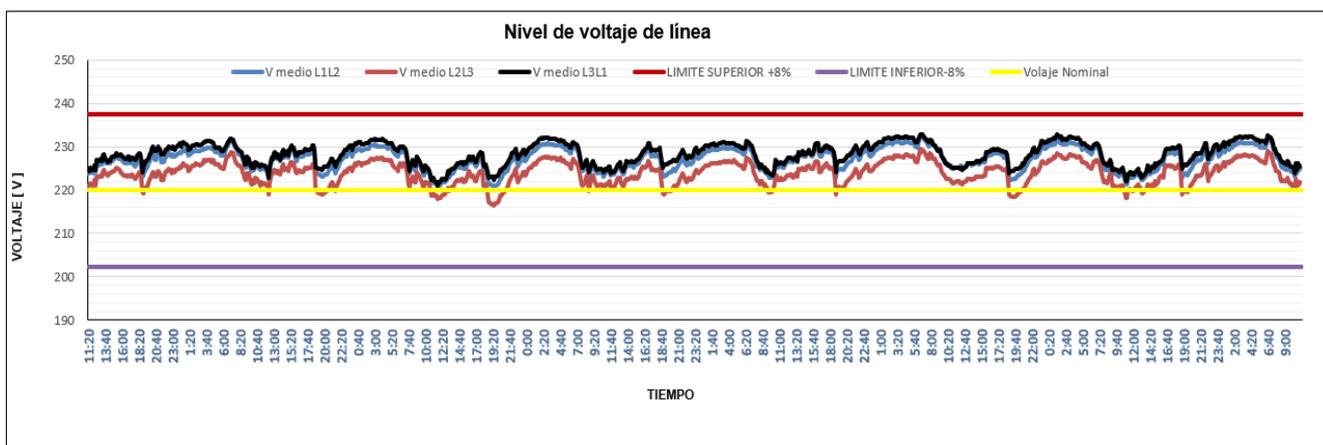


Fig. 2.12. Nivel de voltaje de línea con los límites admisibles (Transformador M4T22)

Fuente: (Autor)

Con los resultados obtenidos se procedió a realizar una tabulación con el fin de contabilizar las mediciones que se encuentran fuera del rango admisible según lo dispuesto por la Regulación ARCONEL 005/18 que es de  $\pm 8.0\%$  para bajo voltaje, la Figura 2.13, muestra las mediciones en cada una de las fases fuera del rango y el porcentaje que representan.

ANÁLISIS DEL NIVEL DE VOLTAJE			
TRANSFORMADOR M4T22			
Mediciones fuera de la Regulación			Total mediciones fuera de
Fase A	Fase B	Fase C	la Regulación
0	0	0	0
Variación de voltaje admisible			
$\pm 8.0\%$			
Porcentaje de mediciones fuera de la Regulación			
Fase A	Fase B	Fase C	Total
0%	0%	0%	0%

Fig. 2.13. Mediciones fuera del rango admisible (Excel)

Fuente: (Autor)

Finalizando con el procesamiento de los datos se puede constatar que en el transformador M4T22 no existe ninguna medición que incumpla con los valores permitidos en la Regulación ARCONEL 005/18.

En la Tabla 2.2, se presenta el resumen del análisis sobre el nivel de voltaje para los demás transformadores seleccionados verificando si cumplen o no con la Regulación ARCONEL 005/18.

Tabla 2.2 Resumen del análisis sobre el nivel de voltaje

<b>Carga</b>	<b>Código</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>	<b>Observaciones</b>
Bloque de residencias I	M4T22	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Bloque de residencias II	M4T35	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio	M4T34	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Yachay Tech	M4T25	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Plataforma Data Center	M4T46	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Plataforma Data Center	M4T47	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Barra principal Subestación Alpachaca	Alimentador No. 4	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación

**Fuente:** (Autor)

Como se puede observar en la Tabla 2.2, todos los transformadores incluido la barra principal de la subestación Alpachaca Alimentador No. 4 cumplen con los límites superior e inferior sobre el nivel de voltaje que indica la Regulación ARCONEL 005/18.

## **2.9 Perturbación rápida de voltaje (Flicker)**

Se procede a evaluar las perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker) de corta duración (Pst) para los transformadores ya antes mencionados, teniendo en cuenta que el límite del flicker (Pst) no debe superar la unidad (1) como indica la Regulación ARCONEL 005/18 y que el total de las mediciones fuera del límite no deben ser mayor al 5% que es el valor máximo permitido en la regulación.

### **2.9.1 Procesamiento de los datos para el análisis del flicker**

Para la obtención del flicker, los analizadores de red emplean directamente la Ec. 2 del capítulo 1 con los datos obtenidos de los registros de medición en intervalos de 10 minutos, los mismos que fueron procesados y graficados en una hoja de cálculo de Excel; la Figura 2.14 muestra el comportamiento del flicker en el tiempo incluido su porcentaje máximo permitido del transformador M4T22 como referencia, más adelante se presenta el análisis de las mediciones que se encuentran fuera del límite permitido para este caso.

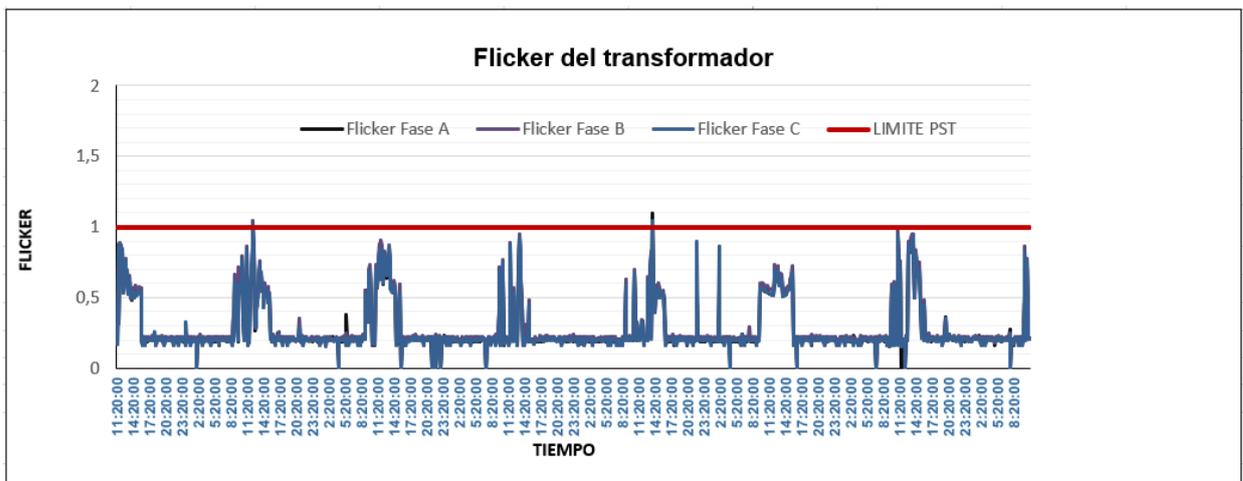


Fig. 2.14. Perturbación rápida de voltaje o Flicker del transformador M4T22

Fuente: (Autor)

Como se puede observar en la Figura 2.14, existen mediciones que exceden el límite de 1 que indica la Regulación ARCONEL 005/18, en la Tabla 2.3, se contabiliza las mediciones y el porcentaje que representan las mediciones fuera de la regulación.

Tabla 2.3 Resultado del análisis de las mediciones del Pst del transformador M4T22

Fecha	Hora	Flicker fase A	Flicker fase B	Flicker fase C
25-12-2019	12:20:00	0,991	1,046	1,012
28-12-2019	13:50:00	1,092	0,615	1,045
Mediciones fuera de la regulación		1	1	2
Porcentaje de mediciones fuera de la regulación		0,09%	0,09%	0,2%

Fuente: (Autor)

En la Tabla 2.3, se puede evidenciar la cantidad de mediciones que superan el límite de la unidad (1) de cada una de las fases del transformador seleccionado; como el porcentaje de las mediciones fuera del límite no superan el 5% del total, entonces quiere decir que el transformador M4T22 si cumple con este parámetro.

En la Tabla 2.4, se muestra el resumen del análisis realizado para cada uno de los transformadores ya antes seleccionados para el análisis del flicker.

Tabla 2.4. Resumen del análisis sobre la perturbación rápida de voltaje (Flicker)

<b>Carga</b>	<b>Código</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>	<b>Observaciones</b>
Bloque de residencias I	M4T22	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Bloque de residencias II	M4T35	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio	M4T34	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Yachay Tech	M4T25	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Plataforma Data Center	M4T46	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Plataforma Data Center	M4T47	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Barra principal subestación Alpachaca	Alimentador No. 4	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación

Fuente: (Autor)

De acuerdo con el análisis realizado que se muestra en la Tabla 2.4, se puede concluir que ningún transformador se encuentra incumpliendo con la Regulación ARCONEL 005/18 para el parámetro de perturbación rápida de voltaje (Flicker).

## **2.10 Distorsión armónica total de voltaje (THDv)**

En este punto se procede a evaluar la distorsión armónica total de voltaje (THDv) en los transformadores ya antes seleccionados, teniendo en cuenta el límite que indica la Regulación ARCONEL 005/18 para bajo voltaje es del 8% y el total de las mediciones fuera del límite no deben ser mayor al 5%.

### **2.10.1 Procesamiento de los datos para el análisis sobre la Distorsión Armónica Total de voltaje (THDv)**

Para la obtención del THDv de los transformadores de distribución, los analizadores de red emplean directamente la Ec. 6 del capítulo 1 con las mediciones obtenidas en intervalos de 10 minutos, estos datos fueron procesados en una hoja de cálculo de Excel y se procedió a realizar una gráfica, teniendo en cuenta que las mediciones sean en un período de 10 minutos durante 7 días consecutivos, la Figura 2.15 muestra el gráfico del tiempo vs el porcentaje de la distorsión armónica total de voltaje, incluido su porcentaje máximo permitido del transformador M4T22 como referencia.

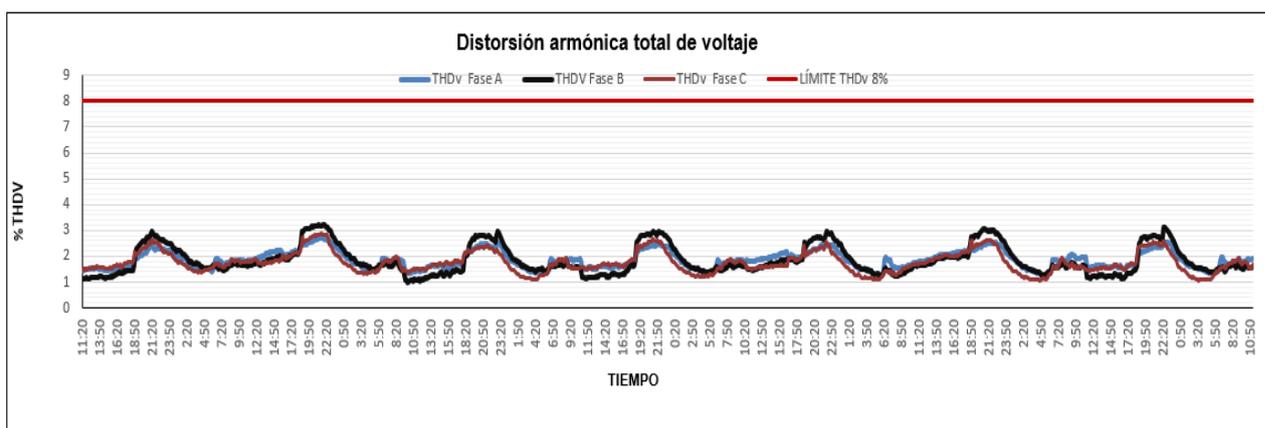


Fig. 2.15. THDv con su porcentaje máximo permitido (Transformador M4T22)

Fuente: (Autor)

Como se puede observar en la Figura 2.15, para este caso en particular, todos los registros se encuentran por debajo del límite permitido en la Regulación ARCONEL 005/18.

Para simplificar el análisis sobre el THDv, en la Tabla 2.5 se presenta el resumen del análisis realizado a cada uno de los transformadores ya antes seleccionados, verificando si cumplen o no con la Regulación ARCONEL 005/18 para la distorsión armónica total de voltaje.

Tabla 2.5 Resumen del análisis de la Distorsión Armónica Total de Voltaje

Carga	Código	Fase A	Fase B	Fase C	Observaciones
Bloque de residencias I	M4T22	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Bloque de residencias II	M4T35	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio	M4T34	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Yachay Tech	M4T25	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Plataforma Data Center	M4T46	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Plataforma Data Center	M4T47	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación

Fuente: (Autor)

De acuerdo con el resumen de los análisis que se muestra en la Tabla 2.5, se puede concluir que todos los transformadores seleccionados para el análisis cumplen con el parámetro del THDv según indica la Regulación ARCONEL 005/18 para la calidad del producto eléctrico.

## 2.11 Distorsión armónica individual de voltaje

Se procede a evaluar la distorsión armónica individual de voltaje en cada uno de los transformadores ya antes seleccionados, se registró desde el armónico 2 hasta el 50, teniendo en cuenta que la Regulación ARCONEL 005/18 exige como límite máximo permitido para bajo voltaje de 5% y el total de las mediciones fuera del límite no debe ser mayor al 5%.

### 2.11.1 Procesamiento de los datos para la distorsión armónica individual de voltaje (THDvi)

Para realizar el análisis del THDvi los analizadores de red emplean la Ec. 4 y 5 del capítulo 1 en base a los datos obtenidos de los registros en intervalos de 10 minutos por medición; con los resultados se procedió a procesarlos en una hoja de cálculo de Excel y se realizó un gráfico del armónico 5, debido a que se hizo un análisis y se determinó que este armónico tiene los valores superiores en comparación a los demás, en la Figura 2.16 se muestra el porcentaje del comportamiento del armónico 5 y el límite permisible, del transformador M4T22 como referencia.

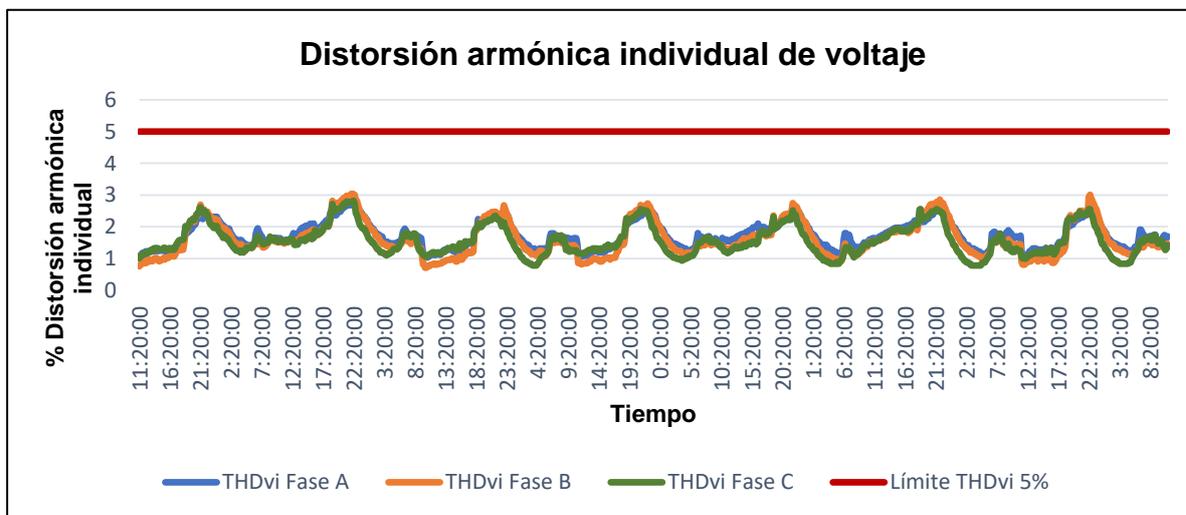


Fig. 2.16. Distorsión armónica individual de voltaje para el armónico 5 del transformador M4T22

Fuente: (Autor)

De acuerdo con la Figura 2.16, el porcentaje del armónico 5 se encuentra por debajo del límite permisible, lo que quiere decir que el transformador M4T22 si cumple con la Regulación ARCONEL 005/18.

En la Tabla 2.6, se presenta el resumen de los análisis realizados para los demás transformadores seleccionados, verificando si cumplen o no con la Regulación ARCONEL 005/18 para la distorsión armónica individual de voltaje.

Tabla 2.6 Resumen del análisis de la Distorsión Armónica Individual de Voltaje

<b>Carga</b>	<b>Código</b>	<b>Fase A</b>	<b>Fase B</b>	<b>Fase C</b>	<b>Observaciones</b>
Bloque de residencias I	M4T22	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Bloque de residencias II	M4T35	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio	M4T34	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Yachay Tech	M4T25	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Plataforma Data Center	M4T46	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación
Plataforma Data Center	M4T47	Si cumple	Si cumple	Si cumple	Cumple con la regulación

Fuente: (Autor)

De acuerdo con la Tabla 2.6, se puede evidenciar que ningún transformador que fue seleccionado para el análisis se encuentra incumpliendo con el parámetro de la distorsión armónica individual de voltaje que se indica en la Regulación ARCONEL 005/18.

## 2.12 Desequilibrio de voltaje

En este punto se procede a evaluar el desequilibrio de voltaje para cada uno de los transformadores ya antes seleccionados, para este parámetro, la Regulación ARCONEL 005/8 exige como límite máximo el 2%, teniendo en cuenta que las mediciones que se encuentren fuera del límite no deben superar el 5% del total de las mediciones.

### 2.12.1 Procesamiento de los datos para el desequilibrio de voltaje

Para realizar el análisis sobre el desequilibrio de voltaje en los transformadores ya antes seleccionados, los analizadores de red emplean la Ec. 3 del capítulo 1 que está definida por la Regulación ARCONEL 005/18 “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica”, reemplazando con los datos obtenidos en intervalos de 10 minutos por medición; con los resultados obtenidos se procedió a procesarlos en una hoja de cálculo de Excel y se realizó un gráfico para determinar el comportamiento del desequilibrio de voltaje en el tiempo como se muestra en la Figura 2.17.

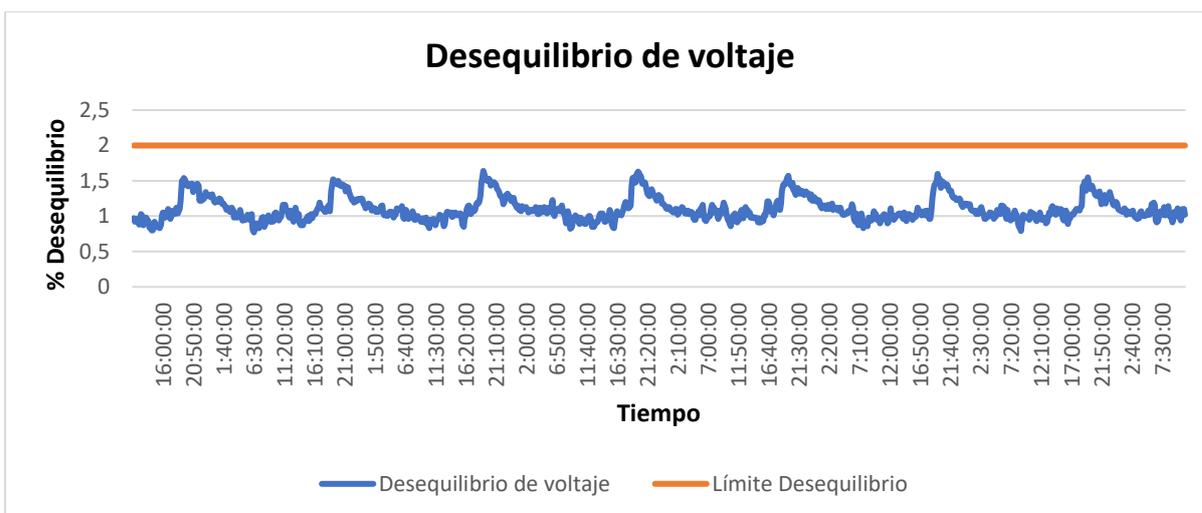


Fig. 2.17. Desequilibrio de voltaje (Transformador M4T22)

Fuente: Autor

Para este caso, los resultados obtenidos muestran que no existe desequilibrio de voltaje y que el transformador M4T22 si cumple con este parámetro según indica la Regulación ARCONEL 005/18.

En la Tabla 2.7, se presenta el resumen del resultado de los análisis realizados para verificar si cumplen o no con el parámetro de desequilibrio de voltaje.

Tabla 2.7 Resumen del análisis del Desequilibrio de Voltaje

Carga	Código	Observaciones
Bloque de residencias I	M4T22	Cumple con la regulación
Bloque de residencias II	M4T35	Cumple con la regulación
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio	M4T34	Cumple con la regulación
Yachay Tech	M4T25	Cumple con la regulación
Plataforma Data Center	M4T46	Cumple con la regulación
Plataforma Data Center	M4T47	Cumple con la regulación

Fuente: (Autor)

Como se puede observar en la Tabla 2.7, todos los transformadores de distribución seleccionados para el análisis cumplen con el límite establecido por la Regulación ARCONEL 005/18 para el parámetro de desequilibrio de voltaje.

## 2.13 Factor de potencia

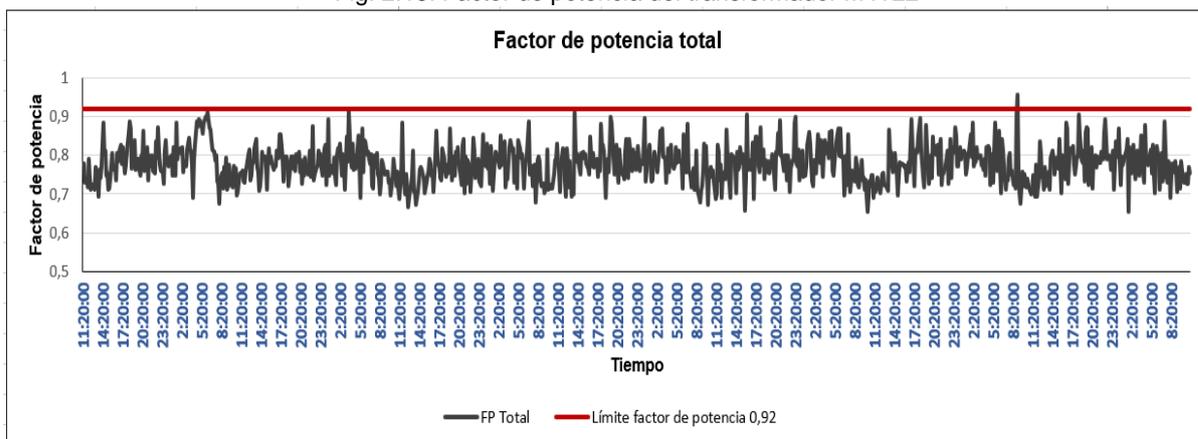
Para realizar el análisis se utilizó el pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución (ARCONEL 035/19, 2019), el cual menciona que el factor de potencia no debe ser inferior al 0,92 para consumidores en bajo voltaje, el incumplimiento con este parámetro tiene una penalización económica para el usuario.

### 2.13.1 Procesamiento de los datos para el factor de potencia

Para el cálculo del factor de potencia, los equipos analizadores de red utilizan la Ec. 9 del capítulo 1 con los datos obtenidos en intervalos de 10 minutos por medición y en un período de 7 días consecutivos.

Para el análisis sobre el factor de potencia del transformador seleccionado, se realizaron 1008 mediciones en intervalos de 10 minutos en el período de 7 días continuos, las cuales se muestra en la Figura 2.18, que incluye también el límite permisible de este parámetro.

Fig. 2.18. Factor de potencia del transformador M4T22



Fuente: Autor

De acuerdo con la Figura 2.18, la mayoría de las mediciones se encuentran por debajo del límite establecido en el pliego tarifario, lo que quiere decir que el transformador seleccionado tendría una sanción económica por presentar un bajo factor de potencia según la (Resolución Arconel - 006/2020, 2020).

Para resumir el análisis del factor de potencia en todos los transformadores ya antes seleccionados, en la Tabla 2.8 se detalla los transformadores que presentan valores inferiores

al 0,92 que es el límite exigido por la (ARCONEL, Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución - Tarifas de bajo voltaje., 2019).

Tabla 2.8 Cumplimiento con el índice del factor de potencia para todos los transformadores seleccionados

<b>Carga</b>	<b>Transformador</b>	<b>Observación</b>
Bloque de residencias I	M4T22	Bajo factor de potencia
Bloque de residencias II	M4T35	Bajo factor de potencia
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio	M4T34	Bajo factor de potencia
Yachay Tech	M4T25	Bajo factor de potencia
Plataforma Data Center	M4T46	Bajo factor de potencia
Plataforma Data Center	M4T47	Bajo factor de potencia

Fuente: (Autor)

Como se observa en la Tabla 2.8, todos los transformadores que han sido escogidos para el análisis sobre el factor de potencia no cumplen con el límite de 0,92 que exige la (ARCONEL, Resolución No. ARCONEL - 006/2020., 2020).

#### **2.14 Factor de uso o cargabilidad**

Fue necesario analizar el factor de uso debido a que la guía técnica de Eficiencia Energética (2007), indica que: “La eficiencia energética es la reducción de las potencias y energías demandadas del sistema eléctrico sin que afecte a las actividades normales realizadas,” con este concepto y la importancia se procede a evaluar el porcentaje de cargabilidad de cada uno de los transformadores seleccionados, para ello se hace uso de la Ec. 7 del capítulo 1.

La Tabla 2.9, muestra el resultado al aplicar la Ec. 7 con los datos seleccionados para el factor de uso de cada uno de los transformadores ya antes mencionados.

Tabla 2.9 Factor de uso de cada uno de los transformadores seleccionados

<b>Transformador</b>	<b>Potencia nominal (kVA instalados)</b>	<b>kVA Dmáx</b>	<b>Factor de uso</b>	<b>Observación</b>
M4T22	200 kVA	17,09 kVA	0,085	Subcargado
M4T35	250 kVA	32,36 kVA	0,129	Subcargado
M4T34	400 kVA	18,37 kVA	0,046	Subcargado
M4T25	300 kVA	37,20 kVA	0,124	Subcargado
M4T46	300 kVA	66,16 kVA	0,221	Subcargado
M4T47	300 kVA	77,46 kVA	0,258	Subcargado

Fuente: (Autor)

Como se observa en la Tabla 2.9, todos los transformadores que se encuentran instalados en la ciudad del conocimiento Yachay, se encuentran subcargados, es decir que la carga instalada comparada a la potencia nominal de cada uno de los transformadores es insignificante.

## CAPÍTULO 3

### Introducción

En este capítulo se presentan las recomendaciones desde el punto de vista técnico para el mejoramiento de los parámetros de la calidad del producto que incumplen con la Regulación ARCONEL 005/18 de los transformadores de distribución de la ciudad del conocimiento Yachay, analizados en el capítulo anterior.

Para mejorar los parámetros que se encontraron deficientes, se debe tener en cuenta otros problemas que favorecen a la mala calidad de la energía eléctrica como son los siguientes (Boada, 2014):

- La existencia de una mala utilización de la energía eléctrica, especialmente el incremento de la demanda en las horas pico.
- La masiva utilización de equipos con funcionamiento basado en la electrónica de potencia y con cargas no lineales producen perturbaciones armónicas en las ondas de voltaje y corriente.
- El bajo factor de potencia se debe a equipos que necesitan de energía reactiva para su funcionamiento y que no tienen una adecuada compensación.

Con el análisis de los datos realizado en el capítulo anterior se determinó que los parámetros de: nivel de voltaje, flicker, THDv, THDvi y desequilibrio de voltaje, todos los transformadores cumplen con la Regulación ARCONEL 005/18; en lo referente al factor de potencia, todos presentaron valores por debajo del límite que establece la (ARCONEL 035/19, Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución - Tarifas de bajo voltaje., 2019) y el porcentaje de cargabilidad de los transformadores nos demuestra que todos se encuentran subcargados.

### 3.1 Recomendaciones técnicas

En base a la información obtenida del capítulo anterior se procede a plantear las recomendaciones técnicas para la solución del parámetro de factor de potencia, el cual presenta valores por debajo del límite y por ende puede tener una sanción económica como se indica en la (ARCONEL 035/19, Pliego tarifario para las empresas de distribución - Tarifas de bajo voltaje., 2019).

Un bajo factor de potencia es perjudicial para la red eléctrica de distribución debido a que la potencia reactiva ocasiona sobrecargas en las líneas transformadoras y generadoras, sin producir trabajo útil, por lo cual es necesario compensarla o neutralizarla (Boada, 2014).

Para compensar la energía reactiva de la red es necesario la instalación de bancos de capacitores los cuales generan energía reactiva en sentido inverso a la consumida en la instalación, la Ec. 10 que se detalla a continuación fue la que se utilizó para realizar la compensación de energía reactiva (Bedón, 2007).

$$Q_r = P\{tang[\cos^{-1}(fp_1)] - tang[\cos^{-1}(fp_2)]\}$$

Donde:

- $Q_r$  = Potencia requerida para el capacitor (kVAr)
- $P$  = Potencia promedio en kW del transformador
- $fp_1$  = Factor de potencia inicial
- $fp_2$  = Factor de potencia deseado

Con la instalación de los bancos de capacitores se reduce el consumo total de energía (activa + reactiva) y de este modo se obtienen varias ventajas como son:

- Reducción de los recargos que EMELNORTE S.A. sanciona a los consumidores que tengan factor de potencia inferior al límite de 0,92 como se indica en la (ARCONEL 035/19, Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución - Tarifas de bajo voltaje., 2019).
- La instalación de bancos de capacitores ayuda a reducir las caídas de voltaje en la línea debido a que se reduce la energía reactiva, también permite reducir las pérdidas por efecto joule que se producen en los conductores y transformadores (Prias, 2015).

### 3.1.1 Cálculo de la potencia reactiva

Se procede a realizar el cálculo para determinar la potencia reactiva necesaria para el banco de capacitor; en este caso para el transformador M4T22 como referencia, en el cual el parámetro del factor de potencia presentó valores por debajo del límite de 0,92 que indica la

(ARCONEL 035/19, Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución - Tarifas de bajo voltaje., 2019); para el cálculo se dispuso de un factor de potencia requerido de 0,95.

**a) Primera forma**

Para realizar la corrección del factor de potencia existen varias formas, una de las cuales se detalla en este punto, para lo cual se necesitan conocer los siguientes datos (Boada, 2014):

- Potencia instalada promedio en kilovatios (9,05 kW)
- Factor de potencia promedio del transformador = 0,77
- Factor de potencia requerido = 0,95

Al reemplazar los datos en la Ec. 10 se obtiene lo siguiente:

$$Q_r = 9,05\{Tan[\cos^{-1}(0,77)] - tan[\cos^{-1}(0,95)]\}$$

Potencia reactiva requerida = 4,32 kVAR

**b) Segunda forma**

Existe otro método que es ampliamente utilizado en la práctica, la cual consiste en multiplicar la potencia instalada promedio en kilovatios (9,05 kW) por la constante K del valor deseado del factor de potencia, en la Ec. 11 se detalla matemáticamente (Boada, 2014).

La constante K se la obtiene de la tabla de coeficientes que se muestra en el Anexo B (Schneider Electric, Tabla de coeficientes K para el cálculo del banco de capacitores., 1982).

$$Q = P \times K$$

$$Q = 9,05 \text{ kW} \times 0,50 = 4,52 \text{ kVAR}$$

El resultado obtenido por este medio es similar al valor resultante obtenido por la primera forma, por lo tanto el banco de capacitores que debe instalarse debe tener una capacidad de 4,52 kVAR.

Debido a que todos los transformadores seleccionados para el análisis presentaron un bajo factor de potencia incumpliendo con la (ARCONEL 035/19, Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución - Tarifas de bajo voltaje., 2019), en la Tabla 3.1 se presenta los resultados del cálculo para la capacidad del banco de capacitores de los demás transformadores.

Tabla 3.1 Capacidad del banco de capacitores para cada uno de los transformadores

Carga instalada	Transformador	Potencia reactiva requerida	Potencia reactiva comercial
Bloque de residencias I	M4T22	4,52 kVAr	4 kVAr
Bloque de residencias II	M4T35	4,06 kVAr	4 kVAr
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio	M4T34	1,80 kVAr	2 kVAr
Yachay Tech	M4T25	2,09 kVAr	2 kVAr
Plataforma Data Center	M4T46	17,70 kVAr	17 kVAr
Plataforma Data Center	M4T47	9,57 kVAr	9 kVAr

Fuente: (Autor)

La Tabla 3.1 presenta la potencia en kVAr requeridos y la potencia comercial para cada uno de los bancos de capacitores necesarios para corregir correctamente el bajo factor de potencia.

### 3.1.2 Cálculo de la capacitancia

Para realizar el cálculo de la capacitancia en este caso para el transformador M4T22 como referencia fue necesario la utilización de la Ec. 12 que se detalla a continuación (Bedón, 2007).

$$C = \frac{Q_r}{V_n^2 \times 2 \times \pi \times f}$$

Donde:

$V_n$  = Voltaje nominal (220 V)

$Q_r$  = Potencia reactiva requerida (4,52 kVAr)

$f$  = frecuencia (60 Hz)

Al reemplazar los datos en la Ec. 12 se obtiene como resultado una capacitancia de 24 mili faradios (mF), en la Tabla 3.2 se detalla los faradios necesarios que deben tener los bancos de capacitores de cada uno de los transformadores seleccionados para el análisis.

Tabla 3.2 Valores de la capacitancia para cada uno de los transformadores con bajo factor de potencia

Carga instalada	Transformador	Potencia reactiva requerida	Faradios
Bloque de residencias I	M4T22	4,52 kVAr	24 mF
Bloque de residencias II	M4T35	4,06 kVAr	22 mF
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio	M4T34	1,80 kVAr	10 mF
Yachay Tech	M4T25	2,09 kVAr	11 mF
Plataforma Data Center	M4T46	17,70 kVAr	97 mF
Plataforma Data Center	M4T47	9,57 kVAr	52 mF

Fuente: (Autor)

La Tabla 3.2, detalla la capacidad de los bancos de capacitores tanto en kVAr como en mili faradios necesarios para corregir correctamente el factor de potencia.

### 3.1.3 Cálculo de la frecuencia de resonancia

El cálculo de la frecuencia de resonancia se lo debe hacer antes de proceder con la instalación de los bancos de capacitores para evitar problemas en la instalación debido a la presencia de armónicos en la red, para el cálculo de la frecuencia de resonancia se utilizó la Ec. 13 que se detalla a continuación (Boada, 2014).

$$hrp = \sqrt{\frac{S_{cc}}{Q_c}}$$

La frecuencia de resonancia se calculó para el transformador M4T22 (200 kVA) a un voltaje de cortocircuito del 4%.

$$S_{cc} = \frac{200 \times 100}{4}$$

$$S_{cc} = 5000 \text{ kVA.}$$

$$hrp = \sqrt{\frac{5000}{4,32}} = 34$$

$$fr = f \cdot hrp$$

$$fr = 60 \times 34 = 2040 \text{ Hz}$$

De acuerdo con el resultado obtenido se puede concluir que el armónico 34 no representa riesgo ya que se encuentra en un porcentaje muy bajo en la red, en la Tabla 3.3 se muestra los resultados de la frecuencia de resonancia y el número del armónico para los demás bancos de capacitores.

Tabla 3.3 Frecuencia de resonancia para los bancos de capacitores

<b>Carga instalada</b>	<b>Transformador</b>	<b>Frecuencia de resonancia (Hz)</b>	<b>Nro. Armónico</b>
Bloque de residencias I	M4T22	2040	34
Bloque de residencias II	M4T35	2160	36
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio	M4T34	4200	70
Yachay Tech	M4T25	3000	50
Plataforma Data Center	M4T46	1380	23
Plataforma Data Center	M4T47	1620	27

Fuente: (Autor)

De acuerdo con la Tabla 3.3, se puede determinar que los bancos de capacitores para corregir el factor de potencia no presentarán problemas para ser instalados.

Los bancos de capacitores a instalarse deben ser de tipo automático debido a que la potencia reactiva no es constante y estos se pueden ajustar de acuerdo con las variaciones que se presenten en el factor de potencia.

### 3.1.4 Presupuesto del banco de capacitores

Al tener la capacidad de cada uno de los bancos de capacitores se procede a realizar el presupuesto que incluye el precio del equipo y la mano de obra para la instalación de estos, en la Tabla 3.4 se presenta el total del presupuesto.

Tabla 3.4 Presupuesto del banco de capacitores para cada uno de los transformadores

<b>M4T22 – Bloque de residencias I (4 kVAr)</b>			
<b>Descripción</b>	<b>U.</b>	<b>P. Unit.</b>	<b>P. Total</b>
Capacitor de 4KVAr, 220V, MERLIN, incluido tablero, breakers, contactores y materiales para instalación	1	920,00	920,00
Armado de tablero con condensadores de 4 kVAr, armado y puesta en marcha	1	402,50	402,50
<b>Total</b>			1322,50

<b>M4T35 – Bloque de residencias II (4 kVAr)</b>			
Capacitor de 4KVAr, 220V, MERLIN, incluido tablero, breakers, contactores y materiales para instalación	1	920,00	920,00
Armado de tablero con condensadores de 4 kVAr, armado y puesta en marcha	1	402,50	402,50
<b>Total</b>		1322,50	
<b>M4T34 – Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio (2 kVAr)</b>			
Capacitor de 1KVAr, 220V, MERLIN, incluido tablero, breakers, contactores y materiales para instalación	2	230,00	460,00
Armado de tablero con condensadores de 2kVAr, armado y puesta en marcha	1	345,00	345,00
<b>Total</b>		805	
<b>M4T25 – Yachay Tech (2 kVAr)</b>			
Capacitor de 1KVAr, 220V, MERLIN, incluido tablero, breakers, contactores y materiales para instalación	2	230,00	460,00
Armado de tablero con condensadores de 2kVAr, armado y puesta en marcha	1	345,00	345,00
<b>Total</b>		805	
<b>M4T46 – Plataforma Data Center (17 kVAr)</b>			
Capacitor de 10KVAr, 220V, MERLIN, incluido tablero, breakers, contactores y materiales para instalación	1	2300,00	2300,00
Capacitor de 5KVAr, 220V, MERLIN, incluido tablero, breakers, contactores y materiales para instalación	1	1150,00	1150,00
Capacitor de 1KVAr, 220V, MERLIN, incluido tablero, breakers, contactores y materiales para instalación	2	230,00	460,00
Armado de tablero con condensadores de 17kVAr, armado y puesta en marcha	1	690,00	690,00
<b>Total</b>		4600,00	
<b>M4T47 – Plataforma Data Center (9 kVAr)</b>			
Capacitor de 5KVAr, 220V, MERLIN, incluido tablero, breakers, contactores y materiales para instalación	1	1150,00	1150,00
Capacitor de 4KVAr, 220V, MERLIN, incluido tablero, breakers, contactores y materiales para instalación	1	920,00	920,00
Armado de tablero con condensadores de 9kVAr, armado y puesta en marcha	1	575,00	575,00
<b>Total</b>		2645	

Fuente: (Autor)

El presupuesto presentado en la Tabla 3.4, se desglosó del presupuesto general que se indica en el anexo C, el mismo que contiene los precios en dólares americanos sin el IVA, debido a esto es necesario emplear el IVA correspondiente para realizar el cálculo del costo beneficio.

## **3.2 Análisis económico**

El análisis económico es necesario para determinar si es o no viable el proyecto antes de la ejecución desde el punto de vista económico.

Para determinar si un proyecto es viable desde el punto de vista económico es necesario realizar el cálculo de la relación costo beneficio (B/C), si el resultado de B/C es mayor a 1 significa que el proyecto es viable técnica y económicamente caso contrario si el B/C es menor que 1 el proyecto no es viable.

Para realizar el análisis económico se utilizará una tasa de descuento del 12% como pérdida del valor monetario de la utilidad en los flujos económicos.

Los costos de inversión fueron determinados según el estudio técnico analizados anteriormente en el apartado 3.2, en el cual se detalla el tiempo de vida útil de cada proyecto, para el caso de los bancos de capacitores el tiempo de vida útil se determinó para 10 años con mantenimientos correctivos de los contactores cada 3 años y como beneficio se tomará en cuenta la reducción de la penalización por parte de la empresa distribuidora debido a un bajo factor de potencia.

### **3.2.1 Análisis económico para los bancos de capacitores**

Se realizó el análisis económico para el transformador M4T22 como referencia, el cual presentó problemas por bajo factor de potencia, para lo cual dentro del análisis técnico se presentó la posibilidad de la instalación de un banco de capacitores con capacidad de 4 kVAR con un precio en dólares americanos de 1481,2 incluido la mano de obra y el IVA correspondiente, un precio por mantenimiento de cada 3 años de 412,93 y un ahorro en dólares americanos de 1076,78 anuales, dato que se pudo obtener de las planillas de servicio eléctrico el cual fue facilitado por EMELNORTE; en la Tabla 3.5 se detalla el proceso para la obtención del VAN, TIR y la relación costo beneficio (B/C).

Tabla 3.5 Resultados VAN, TIR y B/C

Tiempo	Inversión	Costos mantenimiento	Ahorro	Valor presente neto
0	1482,2			-1482,2
1			1076,78	897,31
2		412,93	1076,78	529,21
3			1076,78	623,13
4			1076,78	519,28
5		412,93	1076,78	376,68
6			1076,78	360,61
7			1076,78	300,51
8		412,93	1076,78	268,12
9			1076,78	208,69
10			1076,78	173,90
<b>Valor presente neto de beneficios</b>				4257,45
<b>TIR</b>				39%
<b>VAN</b>				2776,25
<b>B/C</b>				2,87

Fuente: (Autor)

El B/C que se muestra en la Tabla 3.5, para el transformador M4T22 es de 2,87 siendo mayor a 1, lo que significa que el proyecto es viable económicamente, en la Tabla 3.6, se presenta el resultado de los análisis para los demás bancos de capacitores, determinando si son o no viables económicamente.

Tabla 3.6 Viabilidad de los bancos de capacitores desde el punto de vista económico

Carga instalada	Transformador	Viabilidad
Bloque de residencias I	M4T22	Si
Bloque de residencias II	M4T35	No
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio	M4T34	No
Yachay Tech	M4T25	No
Plataforma Data Center	M4T46	Si
Plataforma Data Center	M4T47	No

Fuente: (Autor)

Al realizar el cálculo del VAN, TIR y B/C se pudo determinar que en la mayoría de los transformadores seleccionados no resulta viable la instalación de un banco de capacitores

para mejorar el factor de potencia, esto se debe a que la penalización por bajo factor de potencia no es muy representativa.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 Conclusiones

- Como base para el análisis de la calidad del producto en los transformadores de distribución de la ciudad del conocimiento Yachay se estudió la Regulación ARCONEL 005/18 “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica”, ARCONEL 035/19 “Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución” y la Resolución No. ARCONEL 006/2020, para el entendimiento de los parámetros y límites que exige cada una de las regulaciones.
- Se realizó el análisis de la calidad del producto según indica la Regulación ARCONEL No. 005/18 en los transformadores de distribución más representativos de la ciudad del conocimiento Yachay, obteniendo como resultado de estos análisis que todos los parámetros se encuentran dentro de los límites. Se analizó también el parámetro del factor de potencia el cual presenta valores inferiores al límite de 0,92 que establece la (ARCONEL 035/19, Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución - Tarifas de bajo voltaje., 2019).
- Se estudió la posibilidad de la instalación de bancos de capacitores para mejorar el bajo factor de potencia y se realizó el análisis técnico y económico, como resultado se obtuvo que en el transformador M4T22 y M4T46 que energizan al bloque de residencias I y a la plataforma Data Center respectivamente es viable desde el punto de vista económico la instalación de un banco de capacitores para mejorar el factor de potencia y evitar la penalización por parte de la empresa distribuidora EMELNORTE S.A.

## 4.2 Recomendaciones

- Se recomienda un estudio de transferencia de carga para evitar el sobredimensionamiento de los transformadores, ya que actualmente los transformadores utilizados en la ciudad del conocimiento Yachay se encuentran subcargados.
- Para el mejoramiento del bajo factor de potencia del transformador M4T22 se recomienda la instalación de un banco de capacitores tipo automático de 4 kVAr para estabilizar el factor de potencia a un límite mínimo de 0,92.
- Para el mejoramiento del bajo factor de potencia del transformador M4T46 que alimenta a la plataforma Data Center se recomienda la instalación de un banco de capacitores tipo automático de 17 kVAr para estabilizar el factor de potencia.

## Referencias

- Arcila, J. (2014). Armónicos En Sistemas Eléctricos. *Ieb S.a.* Recuperado de <http://www.ieb.com.co>
- ARCONEL 005/18. (2018). Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica (Regulación 005/18). *Directorio de la Agencia de Regulación y Control de Electricidad.* Recuperado de <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/074-17.doc.pdf>
- ARCONEL 006/2020. (2020). *Resolución No. ARCONEL-006/2020.* Recuperado de <http://www.cna-ecuador.com/wp-content/uploads/2020/06/Reg-Sust-Reg-ARCONEL001-20-Directorio-res-006-20-firm.pdf>
- ARCONEL 035/19. (2019). Pliego tarifario para las empresas eléctricas de distribución. *Resolución Nro. ARCONEL – 035/19.* Recuperado de [https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/pliego\\_tarifario\\_del\\_spee\\_2020\\_resolucion\\_nro\\_035\\_19.pdf](https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/pliego_tarifario_del_spee_2020_resolucion_nro_035_19.pdf)
- Arias, J. A., & Pullaguari, C. S. (2019). *Análisis de la calidad de energía en la red de baja tensión del transformador #19597P, debido a la conexión del sistema de generación fotovoltaico para electromovilidad en la Universidad Politécnica Salesiana* (Universidad Politécnica Salesiana). Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/18041>
- Autonell, J., Balcells, J., Barra, V., Brosca, J., & Fornieles, F. (2016). *Eficiencia en el uso de la energía eléctrica.* España: Alfaomega.
- Barcón, S., Guerrero, R., & Martínez, I. (2015). *Calidad de la energía: factor de potencia y filtrado de armónicos.* McGraw-Hill.
- Barreda, I. (2017). *Análisis de huecos de tensión en redes de distribución* (Universidad Politécnica de Madrid). Recuperado de [http://oa.upm.es/46129/1/TFG\\_IRENE\\_REAL\\_DE\\_LA\\_BARREDA.pdf](http://oa.upm.es/46129/1/TFG_IRENE_REAL_DE_LA_BARREDA.pdf)
- Bedón, M. A. (2007). *Estudio del nivel de voltaje, perturbaciones y factor de potencia en industrias florícolas del cantón Cayambe - Empresa Eléctrica Regional Norte S.A.* (Escuela Politécnica Nacional). Recuperado de

<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/462>

Boada, J. M. (2014). *Análisis de la calidad del producto en los transformadores, aplicación al alimentador 3 de la subestación San Agustín de Emelnorte* (Escuela Politécnica Nacional). Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/8517>

Campos, C. (2015). *Calidad de la energía eléctrica* (COLCIENCIAS). Recuperado de <https://www.yumpu.com/es/document/read/14454967/calidad-de-la-energia-electrica-si3ea>

CENACE. (2018). *Revisión de las Bandas de Variación de Voltaje en Barras y Factores de Potencia en Puntos de Entrega del Sistema Nacional de Transmisión ( SNT ) - 2018*. Recuperado de <https://www.gob.ec/cenace>

Ducuara, J. (2017). *Mitigación de perturbaciones en calidad de potencia en sistemas de distribución usando control distribuido* (Universidad Nacional de Colombia). Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/63202/>

Ferro, G. (2019). *El método de las componentes simétricas*. Recuperado de [http://www3.fi.mdp.edu.ar/dtoelectrica/catedras\\_3e3.htm](http://www3.fi.mdp.edu.ar/dtoelectrica/catedras_3e3.htm)

Fluke, C. (2006). *1744/1743 Power Quality Logger: Manual de uso*. Recuperado de <https://dam-assets.fluke.com/s3fs-public/17441743umspa0100.pdf>

García, R. (2006). *Análisis Wavelet aplicado a la medida de armónicos, interarmónicos y subarmónicos en redes de distribución de energía eléctrica* (Universidad de Cantabria). Recuperado de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/10636/TesisRDG.pdf?sequence=1>

IEEE. (2009). Categories and typical characteristics of power system electromagnetic phenomena. *IEEE Std, 159 - 2009*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/figure/CATEGORIES-AND-TYPICAL-CHARACTERISTICS-OF-POWER-SYSTEM-ELECTROMAGNETIC-PHENOMENA\\_tbl1\\_296058941](https://www.researchgate.net/figure/CATEGORIES-AND-TYPICAL-CHARACTERISTICS-OF-POWER-SYSTEM-ELECTROMAGNETIC-PHENOMENA_tbl1_296058941)

Jurado, A., & Lemozy, N. (2010). *Efecto de los huecos de tensión en el motor de inducción*. Recuperado de <https://www.editores->

srl.com.ar/sites/default/files/ie302\_electrotecnica\_efecto\_de\_huecos\_de\_tension\_motor  
es\_de\_induccion.pdf

- León, A., & Espinosa, J. M. (2016). *Instalaciones de distribución*. España: Altamar.
- Martínez, D. (2012). *Estudio de armónicos y propuesta de soluciones en el taller de chapistería de SEAT MARTORELL* (Universidad Politécnica de Catalunya). Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/15767>
- Pérez, P. (2018). *Transformadores de distribución: Teoría, Cálculo, Construcción y Pruebas*. México: Reverté Ediciones.
- Pila, H., & Zambrano, M. (2010). *Estudio del flicker en una instalación eléctrica* (Universidad Politécnica Salesiana). Recuperado de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2142/14/UPS-GT000154.pdf>
- Prias, O. (2015). *Corrección del factor de potencia y control de la demanda* (Universidad Autónoma de Occidente). Recuperado de <https://es.scribd.com/document/364539016/Correccion-de-factor-de-potencia-y-control-de-la-demanda-pdf>
- Ramírez, S. (2004). *Redes de Distribución de Energía*. Recuperado de <http://blog.espol.edu.ec/econde/files/2012/08/libro-redes-de-distribucion.pdf>
- Ramírez, S., & Cano, E. (2006). *Calidad del Servicio de Energía Eléctrica*. Recuperado de [https://www.academia.edu/28426707/Calidad\\_del\\_servicio\\_de\\_energía\\_eléctrica](https://www.academia.edu/28426707/Calidad_del_servicio_de_energía_eléctrica)
- Schlabach, J., & Blume, D. (2011). *Voltage Quality in Electrical Power Systems*. <https://doi.org/10.1049/pbpo036e>
- Schneider Electric. (1982). *Manual y Catálogo del Electricista*. Recuperado de [www.schneider-electric.com.ar](http://www.schneider-electric.com.ar)

## ANEXOS

### ANEXO A: Registro de transformadores de distribución de la ciudad del conocimiento Yachay agrupados de acuerdo con la carga instalada

CARGA INSTALADA	TIPO DE TRANSFORMADOR	CAPACIDAD INSTALADA (kVA)	TIPO DE INSTALACIÓN	
<b>TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS PARA ALUMBRADO</b>				
Iluminación Exterior Centro de Emprendimiento	Monofásico Convencional	25	Aéreo (Iluminación)	Yachay
Nodo CNT	Monofásico Convencional	15	Aéreo	Yachay
Canchas	Monofásico Convencional	15	Instalación exterior	Yachay
<b>TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS PARA RESIDENCIAS</b>				
Parqueadero San Eloy	Trifásico Convencional	50	Aéreo	Yachay
El Rosario	Trifásico Pad Mounted	100	Cámara de Transformación	Yachay
Ingenio San José I	Trifásico Convencional	37,5	Aéreo	Yachay
Ingenio San José II	Trifásico Convencional	90	Aéreo	Yachay
34 casas	Trifásico Convencional	100	Aéreo	Yachay
33 casas y 13 casas	Trifásico Pad Mounted	250	Cámara de Transformación	Yachay
33 casas y 13 casas	Trifásico Convencional	2x100kVA	Aéreo	Yachay
Senescyt	Trifásico Convencional	30	Aéreo	Contratista
Bloque de residencias I	Trifásico Pad Mounted	200	Cámara de Transformación	Yachay
Bloque de residencias II	Trifásico Pad Mounted	250	Cámara de Transformación	Yachay
Mercado Las Manueles	Trifásico Pad Mounted	75	Cámara de Transformación	Yachay
Timflor 1	Trifásico Convencional	75	Aéreo	Yachay
Timflor 2	Trifásico Convencional	75	Aéreo	Yachay
Casa Hacienda	Trifásico Convencional	100	Aéreo	Yachay
Hacienda Amaflor (*)	Trifásico Convencional	50	Aéreo	Yachay
Multifamiliares San José	Trifásico Pad Mounted	200	Cámara de Transformación	Yachay
	Trifásico Pad Mounted	250	Cámara de Transformación	
<b>TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS PARA AULAS</b>				
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio	Trifásico Pad Mounted	400	Cámara de Transformación	Yachay
Yachay Tech	Trifásico Pad Mounted	300	Cámara de Transformación	Yachay
Escuela del Milenio	Trifásico Pad Mounted	300	Cámara de Transformación	Yachay
Centro Infantil del Buen Vivir	Trifásico Pad Mounted	30	Instalación exterior	Yachay

Centro de emprendimiento II	Trifásico Pad Mounted	400	Cámara de Transformación	Yachay
<b>TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS PARA LABORATORIOS</b>				
Plataforma de Data center	Trifásico Convencional	2x300	Cámara de Transformación	Yachay
Laboratorio Docencia	Trifásico Pad Mounted	250	Cámara de Transformación	Yachay
TT1	Trifásico Convencional	125	Aéreo	Yachay
TT2	Trifásico Convencional	50	Aéreo	Yachay
PTAR (Planta de Tratamiento A.S)	Trifásico Convencional	30	Aéreo	Yachay
Laboratorio de docencia E2 y E3	Trifásico Pad Mounted	250	Cámara de Transformación	Yachay
Clúster Ciencias de la Tierra	Trifásico Convencional	50 y 100	Aéreo	Contratista
Centro de Salud tipo B	Trifásico de Frente Muerto	75 y 150	Cámara de Transformación	Yachay

Fuente: (Autor)

## ANEXO B: Tabla de coeficientes K para el cálculo del banco de capacitores

TAN $\Phi$ O Cos $\Phi$ ANTES DE LA COMPENSACIÓN (VALOR EXISTENTE)		TAN $\Phi$ O Cos $\Phi$ DESEADO (COMPENSADO)													
		Tan $\Phi$	0,75	0,59	0,48	0,46	0,43	0,40	0,36	0,33	0,29	0,25	0,20	0,14	0,0
	Cos $\Phi$	0,80	0,86	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1	
2,29	0,40	1,557	1,691	1,805	1,832	1,861	1,895	1,924	1,959	1,998	2,037	2,085	2,146	2,288	
2,22	0,41	1,474	1,625	1,742	1,769	1,798	1,831	1,840	1,896	1,935	1,973	2,021	2,032	2,225	
2,16	0,42	1,413	1,561	1,681	1,709	1,738	1,771	1,800	1,836	1,874	1,913	1,961	2,022	2,164	
2,10	0,43	1,356	1,499	1,624	1,651	1,680	1,713	1,742	1,778	1,816	1,855	1,903	1,964	2,107	
2,04	0,44	1,290	1,441	1,558	1,585	1,614	1,647	1,677	1,712	1,751	1,790	1,837	1,899	2,041	
1,98	0,45	1,230	1,384	1,501	1,532	1,561	1,592	1,626	1,659	1,695	1,737	1,784	1,846	1,988	
1,93	0,46	1,179	1,330	1,446	1,473	1,502	1,533	1,567	1,600	1,636	1,677	1,725	1,786	1,929	
1,88	0,47	1,130	1,278	1,397	1,425	1,454	1,485	1,519	1,532	1,588	1,629	1,677	1,758	1,881	
1,83	0,48	1,076	1,228	1,343	1,370	1,400	1,430	1,464	1,497	1,534	1,575	1,623	1,684	1,826	
1,78	0,49	1,030	1,179	1,297	1,326	1,355	1,386	1,420	1,453	1,489	1,530	1,578	1,639	1,782	
1,73	0,50	0,982	1,232	1,248	1,276	1,303	1,337	1,369	1,403	1,441	1,481	1,529	1,590	1,732	
1,69	0,51	0,936	1,037	1,202	1,230	1,257	1,291	1,323	1,357	1,395	1,435	1,483	1,544	1,686	
1,64	0,52	0,894	1,043	1,160	1,188	1,215	1,249	1,281	1,315	1,353	1,393	1,441	1,502	1,644	
1,60	0,53	0,850	1,000	1,116	1,144	1,171	1,205	1,237	1,271	1,309	1,349	1,397	1,458	1,600	
1,56	0,54	0,809	0,959	1,075	1,103	1,130	1,164	1,196	1,230	1,268	1,308	1,356	1,417	1,559	
1,52	0,55	0,769	0,918	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519	
1,48	0,56	0,730	0,879	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480	
1,44	0,57	0,692	0,841	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442	
1,40	0,58	0,665	0,805	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405	
1,37	0,59	0,618	0,768	0,884	0,912	0,939	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368	
1,33	0,60	0,584	0,733	0,849	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334	
1,30	0,61	0,549	0,699	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299	
1,27	0,62	0,515	0,665	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265	
1,23	0,63	0,483	0,633	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,030	1,091	1,233	
1,20	0,64	0,450	0,601	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,058	1,200	
1,17	0,65	0,419	0,569	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,007	1,169	
1,14	0,66	0,388	0,538	0,654	0,682	0,709	0,743	0,775	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138	
1,11	0,67	0,358	0,508	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,905	0,966	1,108	
1,08	0,68	0,329	0,478	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079	
1,05	0,69	0,299	0,449	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049	
1,02	0,70	0,270	0,420	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,796	0,811	0,878	1,020	
0,99	0,71	0,242	0,392	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992	
0,96	0,72	0,213	0,364	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,634	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963	
0,94	0,73	0,186	0,336	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936	
0,91	0,74	0,159	0,309	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909	
0,88	0,75	0,132	0,282	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882	
0,86	0,76	0,105	0,225	0,371	0,399	0,426	0,460	0,492	0,526	0,564	0,604	0,652	0,713	0,855	
0,83	0,77	0,079	0,229	0,345	0,373	0,400	0,434	0,466	0,500	0,538	0,578	0,620	0,687	0,829	
0,80	0,78	0,053	0,202	0,319	0,347	0,374	0,408	0,440	0,474	0,512	0,552	0,594	0,661	0,803	
0,78	0,79	0,026	0,176	0,292	0,320	0,347	0,381	0,413	0,447	0,485	0,525	0,567	0,634	0,776	
0,75	0,80		0,150	0,266	0,294	0,321	0,355	0,387	0,421	0,459	0,499	0,541	0,608	0,750	
0,72	0,81		0,124	0,240	0,268	0,295	0,329	0,361	0,395	0,433	0,473	0,515	0,582	0,724	
0,70	0,82		0,098	0,214	0,242	0,269	0,303	0,335	0,369	0,407	0,447	0,489	0,556	0,698	
0,67	0,83		0,072	0,188	0,216	0,243	0,277	0,309	0,343	0,381	0,421	0,463	0,530	0,672	
0,65	0,84		0,046	0,162	0,190	0,217	0,251	0,283	0,317	0,355	0,395	0,437	0,504	0,645	
0,62	0,85		0,020	0,136	0,164	0,191	0,225	0,257	0,291	0,329	0,369	0,417	0,478	0,620	
0,59	0,86			0,109	0,140	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,343	0,390	0,450	0,593	
0,57	0,87			0,083	0,114	0,141	0,172	0,204	0,238	0,275	0,317	0,364	0,424	0,567	
0,54	0,88			0,054	0,085	0,112	0,143	0,175	0,209	0,246	0,288	0,335	0,395	0,538	
0,51	0,89			0,028	0,059	0,086	0,117	0,149	0,183	0,230	0,262	0,309	0,369	0,512	
0,48	0,90				0,031	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,234	0,281	0,341	0,484	

Fuente: SCHNEIDER ELECTRIC, "Manual y catálogo del electricista", Capítulo 2, página 9

## ANEXO C: Presupuesto general para los bancos de capacitores



Ingeniería - Consultorias  
Supervisión - Suministros  
Construcción - Mantenimiento

Address: San Gabriel Av. Atahualpa 03-01 y Pio V G.  
Phone: (593)62292151 / 0984845801  
E-Mail: byron.freire@hotmail.com  
Ruc: 0401400981001

**CLIENTE:** Carlos Andres Cualchi Núñez  
**DEP/ATT:**  
**DIRECCIÓN:**  
**TEL/FAX:**  
**REF:** Instalación de Banco de Capacitores de diferentes potencias

**OF-89-2020**

### OFERTA

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P. UNIT	P. TOTAL
1	Capacitor de 4KVA, 220V, MERLIN, incluido tablero, breakers, contactores y materiales para instalación	U	2	\$ 920,00	\$ 1.840,00
2	Capacitor de 10KVA, 220V, MERLIN, incluido tablero, breakers, contactores y materiales para instalación	U	1	\$ 2.300,00	\$ 2.300,00
3	Capacitor de 500VA, 220V, MERLIN, incluido tablero, breakers, contactores y materiales para instalación	U	1	\$ 115,00	\$ 115,00
4	Capacitor de 5KVA, 220V, MERLIN, incluido tablero, breakers, contactores y materiales para instalación	U	1	\$ 1.150,00	\$ 1.150,00
5	Capacitor de 1KVA, 220V, MERLIN, incluido tablero, breakers, contactores y materiales para instalación	U	2	\$ 230,00	\$ 460,00
6	Armado de tablero con condensadores de 4,5kVA, armado y puesta en marcha	U	1	\$ 402,50	\$ 402,50
7	Armado de tablero con condensadores de 2kVA, armado y puesta en marcha	U	1	\$ 345,00	\$ 345,00
8	Armado de tablero con condensadores de 14kVA, armado y puesta en marcha	U	1	\$ 690,00	\$ 690,00
9	Armado de tablero con condensadores de 5kVA, armado y puesta en marcha	U	1	\$ 460,00	\$ 460,00
<b>TOTAL</b>					<b>\$ 7.762,50</b>

#### CONDICIONES COMERCIALES

1. Los precios no incluyen IVA
2. Tiempo de ejecución 45 días laborables

**VALIDEZ DE LA OFERTA:** 30 DÍAS

**FORMA DE PAGO:** 50% DE ANTICIPO - 50% CONTRAENTREGA

**Atentamente.**

\_\_\_\_\_  
ING BYRON FREIRE V.  
GERENTE ELECTRICAL FB  
L.P. 03-17-3701 EPN