

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**



**Facultad de Electricidad y Computación**

**“ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA APLICADO A  
SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA”**

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRICIDAD**

Presentado por:

**JEFFERSON BYRON BERMEO PUERTAS**

**WILLIAM ALFONSO LEMA VISTÍN**

**GUAYAQUIL - ECUADOR**

**2019**

## **AGRADECIMIENTO**

Los autores agradecemos en primer lugar a Dios por darnos la oportunidad de seguir adelante en todos nuestros objetivos.

Un profundo agradecimiento al personal de CNEL-EP Garzota y a nuestro tutor PhD. Miguel Torres por todo el apoyo y confianza que nos han brindado para hacer posible este trabajo superando las dificultades que se presentaron en el transcurso.

Finalmente, un entero agradecimiento a nuestros padres y amigos, quienes nos alentaron y colaboraron de manera incondicional para terminar este trabajo.

## **DEDICATORIA**

El presente proyecto se lo dedico en primer lugar a Dios por la sabiduría y bendiciones que me ha dado a lo largo de toda mi carrera universitaria.

A mis padres, Jorge y Glandys, que con cada esfuerzo han logrado que salga adelante brindándome su apoyo y cariño incondicional.

Finalmente a mis hermanos, Víctor, Jostyn y Carolina por estar presentes en este proceso, por brindarme su apoyo y estar conmigo de manera incondicional en cada momento.

**Jefferson Bermeo**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo de titulación quiero dedicar con mucho cariño y de manera especial a mis padres y hermano, que han sido pilar fundamental y motivación para cumplir con éxito todos mis propósitos, y que con sabiduría me han inculcado a seguir adelante superando poco a poco las diferentes dificultades que se puedan presentar en el camino con mucho esfuerzo y perseverancia como lo es en esta importante etapa de mi vida universitaria que me ha permitido formarme profesionalmente.

**William Lema**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Jefferson Bermeo, William Lema* y damos nuestro consentimiento para que la ESPOl realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

---

**Jefferson Bermeo**

---

**William Lema**

## EVALUADORES

---

**MSc. Fernando Vaca**

PROFESOR DE LA MATERIA

---

**PhD. Miguel Torres**

PROFESOR TUTOR

---

**Ing. Jhonny Rodríguez Asqui**

EVALUADOR EXTERNO

## RESUMEN

El presente proyecto se realiza con la finalidad de evaluar la calidad de la energía en diferentes sectores conectados a la red de distribución eléctrica. Actualmente, es necesario que dentro de los sectores estratégicos de consumo de energía eléctrica se implemente un monitoreo y control de las perturbaciones eléctricas en base a las normativas vigentes con el objetivo de mantener el correcto funcionamiento y tiempo de vida útil de equipos en las instalaciones eléctricas. De tal manera, que se prevea sanciones y afectaciones en las actividades de dichos sectores como pérdidas materiales y económicas a consecuencia de una mala calidad de la energía.

En este trabajo se contó con la colaboración de la Unidad de Negocios CNEL – EP Guayaquil, la misma que proporcionó equipos analizadores de energía FLUKE 1744 para el registro de parámetros eléctricos en un período de una semana con intervalos de 10 minutos, tal como se encuentra estipulado en la regulación 005/18 de la ARCONEL, que fue la norma que se tomó en consideración para evaluar las mediciones obtenidas. Posteriormente, se realizó un análisis comparativo de las mediciones con los límites permitidos en la norma obteniendo como resultado problemas de distorsión armónica y bajo factor de potencia en dos de los tres sectores analizados. Finalmente, se plantearon alternativas de solución a los problemas encontrados tomando en cuenta un análisis económico para constatar el beneficio y la factibilidad de implementar dichas alternativas en los sectores estudiados.

**Palabras Clave:** Calidad de la energía, Sistemas de Distribución, Disturbios eléctricos, Normativa, Mediciones.

## **ABSTRACT**

*The purpose of this project is to evaluate the power quality in different areas that are connected to the distribution grid. Currently, it is necessary that, within the strategic sectors of electrical energy consumption, monitoring and control of the electrical perturbations are implemented according to the current norms in order to maintain the correct operation and life service of equipment in electrical installations. In this way, sanctions and impacts on the activities of these sectors are envisaged such as material and economic losses due to a bad power quality.*

*This work had the collaboration of the Business Unit CNEL-EP Guayaquil, which provided power quality analyzers FLUKE 1744 for the recording of electrical parameters in a period of one week with intervals of 10 minutes, as stipulated in the regulation 005/18 of ARCONEL. This is the standard that was taken into consideration when assessing the measurements obtained. Subsequently, a comparative analysis of the measurements with the limits allowed in the standard was performed, resulting in harmonic distortion and low power factor problems in two of the three sectors that were analyzed. Finally, alternative solutions to the problems encountered were analyzed considering an economic analysis to verify the benefit and feasibility of implementing these alternatives in the sectors studied.*

**Keywords:** *Power Quality, Distribution Systems, Power Disturbance, Standards, Measurements.*

## ÍNDICE GENERAL

ABREVIATURAS.....	VI
NOMENCLATURA .....	VII
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	X
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
CAPÍTULO 1 .....	13
1. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Descripción del problema .....	14
1.2 Justificación del problema .....	14
1.3 Objetivos .....	14
1.3.1 Objetivo General .....	14
1.3.2 Objetivos Específicos.....	14
1.4 Marco teórico.....	15
1.4.1 Calidad de la Energía.....	15
1.4.2 Definiciones .....	15
1.4.3 Atributos de Calidad de la empresa distribuidora .....	17
1.4.4 Calidad del Producto.....	17
1.4.5 Calidad del Servicio Técnico .....	21
1.4.6 Calidad del Servicio Comercial .....	23
CAPÍTULO 2 .....	26
2. METODOLOGÍA.....	26
2.1 Equipo de medición .....	26

2.1.1	Registrador trifásico de calidad eléctrica Topas 1000 .....	26
2.1.2	Registrador trifásico de calidad eléctrica Fluke 1760.....	29
2.1.3	Memobox 300 SMART .....	33
2.1.4	Registrador Trifásico de Calidad Eléctrica FLUKE 1744 .....	36
2.2	Accesorios de los equipos de medición .....	39
2.3	Procedimiento para evaluación de la calidad de la energía eléctrica .....	44
2.4	Alternativas de mejoramiento y solución.....	44
CAPÍTULO 3 .....		46
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	46
3.1	Descripción física de los lugares a evaluar la calidad de la energía .....	46
3.1.1	Medición realizada en Rectorado ESPOL .....	46
3.1.2	Medición realizada en Depósito Aduanero .....	47
3.1.3	Medición realizada en Exportadora de Banano .....	48
3.2	Resultados obtenidos de las mediciones.....	49
3.2.1	Análisis de datos recolectados en Rectorado ESPOL .....	49
3.2.2	Análisis de datos recolectados en Depósito Aduanero .....	60
3.2.3	Análisis de datos recolectados en Exportadora de Banano .....	68
3.3	Propuestas para mejoramiento de Calidad de la Energía .....	78
3.3.1	Diagnóstico de Rectorado ESPOL .....	78
3.3.2	Diagnóstico de Depósito Aduanero .....	78
3.3.3	Diagnóstico de Exportadora de Banano .....	80
3.4	Diseño de un banco de capacitores para Deposito aduanero .....	81
3.5	Análisis de Costos .....	88
3.5.1	Costos para diseño de banco de capacitores de 12.5 KVAR a 240V ....	88
3.6	Estimación de costos de facturación de energía en Depósito Aduanero.....	91
3.7	Evaluación económica banco de capacitores .....	93

3.7.1	Cálculo del valor presente de los costos de inversión .....	94
3.7.2	Cálculo del valor presente del costo de inversión inicial .....	95
3.7.3	Cálculo del valor presente de costo de mantenimiento .....	95
3.7.4	Cálculo del valor presente por modificaciones en el tablero .....	95
3.7.5	Cálculo del valor presente por retiro del tablero al final de su período de funcionamiento.....	96
3.7.6	Cálculo del valor presente total de costo de inversión .....	96
3.7.7	Cálculo del valor presente de las penalizaciones .....	96
3.7.8	Cálculo del valor presente neto .....	97
3.7.9	Relación Beneficio Costo .....	97
3.7.10	Período de recuperación de la inversión o capital .....	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		98
CONCLUSIONES.....		98
RECOMENDACIONES .....		100

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ARCONEL	Agencia de Regulación y Control de Electricidad
CNEL	Corporación Nacional de Electricidad
IEC	International Electrotechnical Commission
DC	Direct Current
AC	Alternating Current
LED	Light Emitting Diode
EPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory
CAT	Categoría de Seguridad
PST	Short -Term Flicker Severity
FP	Factor de Potencia
THDI	Distorsión Armónica Total de Corriente
THDV	Distorsión Armónica Total de Voltaje
THHN	Thermoplastic High Heat Nylon
SUMELEC S.A.	Empresa de Suministros Eléctricos
SPEE	Servicio Público de Energía Eléctrica

## NOMENCLATURA

<b>Simbología</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidades</b>
Hz	Hercio o Hertz	Hertz
V <sub>n</sub>	Voltaje Nominal	V
VLL	Voltaje de Línea a Línea	V
VLN	Voltaje de Línea a Neutro	V
P	Potencia Activa	W
S	Potencia Aparente	KVA
Q	Potencia Reactiva	KVAR
I <sub>n</sub>	Corriente Nominal	A
I <sub>L</sub>	Corriente de Línea	A
I <sub>Breaker</sub>	Corriente Nominal del Breaker	A
I <sub>Capacitor</sub>	Corriente Nominal del Capacitor	A
I <sub>Contactor</sub>	Corriente Nominal del Contactor	A
Q <sub>Requerida</sub>	Potencia Reactiva requerida	KVAR
E	Energía Consumida	KWh
Z	Impedancia	Ω
FP <sub>R</sub>	Factor de Penalización	%
Θ <sub>actual</sub>	Factor de Potencia Actual	(°)
Θ <sub>deseado</sub>	Factor de Potencia Deseado	(°)

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2.1 Modo de conexión del Analizador de Energía Topas 1000 [7] .....	27
Ilustración 2.2 Partes del equipo TOPAS 1000 [7] .....	28
Ilustración 2.3 Modo de conexión del Fluke 1760 [7] .....	31
Ilustración 2.4 Partes del equipo Fluke 1760 .....	32
Ilustración 2.5 Partes del equipo MEMOBOX 300 SMART .....	35
Ilustración 2.6 Cables de alimentación y medición de voltaje con accesorios .....	36
Ilustración 2.7 Partes del equipo FLUKE 1744 .....	38
Ilustración 2.8 Interfaz Software PQ log .....	39
Ilustración 2.9 Sondas de corriente AC FS17XX .....	40
Ilustración 2.10 Sondas de Corriente Thin Flex 3000/6000A TF 4 .....	41
Ilustración 2.11 Juego de pinzas amperimétricas 5A/50A PQ4 .....	42
Ilustración 3.1 Datos Transformador 1Ø Rectorado ESPOL .....	47
Ilustración 3.2 Conexión de transformadores en Depósito Aduanero .....	48
Ilustración 3.3 Datos Transformador en Depósito Aduanero .....	48
Ilustración 3.4 Datos Transformador 3Ø de Exportadora de Banano .....	49
Ilustración 3.5 Tipos de capacitores tubulares .....	81
Ilustración 3.6 Breaker 3P- 50A Caja moldeada .....	82
Ilustración 3.7 Contactores .....	83
Ilustración 3.8 Fusibles delgados NH00C DIX .....	84
Ilustración 3.9 Bases para fusibles CSC NH- 00 .....	84
Ilustración 3.10 Transformador Corriente CSC 300/5A CL: 1 .....	85
Ilustración 3.11 Regulador de Potencia Reactiva .....	85
Ilustración 3.12 Conexionado del Regulador de potencia reactiva .....	86
Ilustración 3.13 Información Distribuidor materiales eléctricos .....	89

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 3.1 Índice de severidad por Flicker Pst - Rectorado ESPOL .....	50
Gráfica 3.2 Voltaje Línea a Neutro en baja tensión - Rectorado ESPOL.....	51
Gráfica 3.3 Voltaje Línea a Línea en Baja Tensión - Rectorado ESPOL.....	52
Gráfica 3.4 Voltaje Línea a Línea en Media Tensión - Rectorado ESPOL .....	53
Gráfica 3.5 Asimetría de Voltaje – Rectorado Espol .....	54
Gráfica 3.6 Distorsión Armónica Total de Voltaje – Rectorado ESPOL.....	55
Gráfica 3.7 Corriente Promedio – Rectorado ESPOL .....	56
Gráfica 3.8 Distorsión Armónica Total de Corriente – Rectorado ESPOL.....	57
Gráfica 3.9 Factor de Potencia Total – Rectorado ESPOL .....	59
Gráfica 3.10 Flicker Pst - Depósito Aduanero. ....	60
Gráfica 3.11 Voltaje Línea a Línea en Baja Tensión - Depósito Aduanero.....	61
Gráfica 3.12 Voltaje Línea a Línea en Media Tensión - Depósito Aduanero .....	62
Gráfica 3.13 Asimetría de Voltaje – Depósito Aduanero .....	63
Gráfica 3.14 Distorsión Armónica Total de Voltaje – Depósito Aduanero.....	64
Gráfica 3.15 Corriente Promedio – Depósito Aduanero .....	65
Gráfica 3.16 Distorsión Armónica Total de Corriente – Depósito Aduanero.....	66
Gráfica 3.17 Factor de Potencia Total – Depósito Aduanero .....	67
Gráfica 3.18 Flicker Pst - Exportadora de Banano .....	68
Gráfica 3.19 Voltaje Línea a Neutro en baja tensión – Exportadora de Banano.....	69
Gráfica 3.20 Voltaje Línea a Línea en Baja Tensión – Exportadora de Banano.....	70
Gráfica 3.21 Voltaje Línea a Línea en Media Tensión – Exportadora de Banano .....	71
Gráfica 3.22 Asimetría de Voltaje – Exportadora de Banano .....	72
Gráfica 3.23 Distorsión Armónica Total de Voltaje – Exportadora de Banano.....	73
Gráfica 3.24 Corriente Promedio – Exportadora de Banano .....	74
Gráfica 3.25 Distorsión Armónica Total de Corriente – Exportadora de Banano.....	75
Gráfica 3.26 Curva de Factor de Potencia Total – Exportadora de banano .....	77
Gráfica 3.27 Potencia Reactiva Requerida .....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Parámetros que registra el Analizador de Energía Topas 1000 .....	28
Tabla 2.2.-Parámetros que registra el Analizador de Energía Fluke 1760 .....	31
Tabla 2.3 Características de las sondas FS17XX .....	41
Tabla 2.4 Características del juego de sondas Thin Flex 3000/6000A TF 4 .....	42
Tabla 2.5 Características Pinzas Amperimétricas PQ4.....	43
Tabla 3.1 Porcentaje de Flicker fuera de límite - Rectorado ESPOL.....	50
Tabla 3.2 Porcentaje de VLN fuera del límite - Rectorado ESPOL .....	51
Tabla 3.3 Porcentaje de VLL fuera del límite - Rectorado ESPOL .....	52
Tabla 3.4 Corriente Promedio Máxima – Rectorado ESPOL .....	56
Tabla 3.5 Porcentaje de Flicker fuera de límite.....	60
Tabla 3.6 Corriente Promedio – Depósito Aduanero.....	65
Tabla 3.7 Porcentaje de THDI fuera del límite .....	66
Tabla 3.8 Corriente Promedio Máxima – Exportadora de Banano .....	74
Tabla 3.9 Valores Máximo, Mínimo y Promedio.....	80
Tabla 3.10 Cotización de precios para tablero de capacitores .....	89
Tabla 3.11 Costos de Instalación.....	90
Tabla 3.12 Costos de Estudio.....	90
Tabla 3.13 Costos de operación .....	90
Tabla 3.14 Consumo de Energía en Depósito Aduanero .....	91

## ÍNDICE DE ECUACIONES

(1.1) Porcentaje de atención de nuevos suministros.....	23
(1.2) Porcentaje de errores en facturación.....	24
(1.3) Tiempo promedio de resolución de reclamos .....	24
(1.4) Porcentaje de resolución de reclamos.....	25
(1.5) Porcentaje de reconexiones del suministro eléctrico .....	25
(3.1) Potencia Reactiva Requerida .....	79
(3.2) Corriente nominal.....	81
(3.3) Corriente del breaker principal .....	81
(3.4) Corriente del contactor .....	83
(3.5) Potencia aparente .....	84
(3.6) Corriente de carga.....	84
(3.7) Representa el factor de penalización .....	92
(3.8) Penalización en factura de consumo eléctrico.....	92
(3.9) Costo de servicio público de energía eléctrica .....	92
(3.10) Valor Presente de los costos de inversión.....	94
(3.11) Valor Presente para un tiempo diferente al año cero .....	95
(3.12) Valor Presente del costo de inversión inicial.....	95
(3.13) Valor presente total de costo de inversión .....	96
(3.14) Valor presente neto .....	97

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 3.1 Dimensiones del tablero de capacitores .....	87
Plano 3.2 Diseño del banco de capacitores 12.5 KVAR 240 VAC .....	88

# CAPÍTULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

La calidad de la energía tiene una gran relevancia dentro de los sistemas eléctricos porque permite evaluar e identificar de manera predictiva los cambios que proponen mejoras en cuanto a un servicio de calidad y confianza del suministro eléctrico de una red de distribución. Las compañías suministradoras de energía eléctrica se encargan de proveer un servicio continuo y libre de perturbaciones eléctricas de tal manera que no originen afectaciones a los usuarios, pero muchas veces hay otros factores que implican una baja eficiencia energética como en el caso de fenómenos naturales o el resultado de las contribuciones de muchos usuarios conectados a la red que tienen problemas frecuentes en sus instalaciones como desbalance de cargas, distorsión armónica o bajo factor de potencia.

El monitoreo de la calidad de la energía es necesario para evitar pérdidas significativas especialmente en las áreas comerciales e industriales que a su vez están continuamente desarrollándose y muestran una gran prioridad en cuanto sus procesos de operación, por lo que una falla o interrupción en el suministro eléctrico no es tolerado, debido a las pérdidas económicas que se presentarían al detenerse su producción y a las pérdidas materiales por afectaciones a los equipos e instalaciones eléctricas. Por lo tanto, una buena inversión en términos de un control de consumo eléctrico, plan de mantenimiento y estudio de calidad de energía no sólo implica la garantía del correcto funcionamiento de equipos o de las instalaciones, sino también un ahorro en cuanto a multas y menor costo de facturación de energía.

Actualmente, el desarrollo de la tecnología ha permitido que se pueda realizar de manera más precisa y eficiente estudios de la calidad de la energía, y esto es gracias a los equipos de medición más versátiles disponibles en el mercado que facilitan el análisis de información registrada. Sin embargo, se debe tomar en consideración un análisis económico en cuanto al uso de estos equipos y las soluciones para corregir problemas referentes a un mal servicio de energía eléctrica debido al costo que representan. Por consiguiente, es necesario previamente analizar diferentes propuestas de mejoras en cuanto a una ubicación específica y a través de eso, comparar dichos resultados en

conformidad a las regulaciones vigentes en el país de tal manera que se pueda contribuir al desarrollo satisfactorio de las necesidades de los consumidores.

### **1.1 Descripción del problema**

La calidad de la energía es un tema importante en sistemas eléctricos. Una baja calidad de la energía es perjudicial para las cargas conectadas a las redes de distribución. En el país existen normativas para el monitoreo de la misma, y este proyecto busca utilizar estas normativas y definir los límites mínimos requeridos para permitir un balance óptimo entre la calidad de servicio ofrecida por el distribuidor y la calidad de producto requerida por el usuario en los sistemas de distribución.

### **1.2 Justificación del problema**

Dependiendo del nivel de análisis y técnicas de estudio de calidad de energía implementadas, será posible poner a disposición de las diferentes empresas distribuidoras, así como también, ofertar este tipo de estudios a las industrias o comercios inmersos en la red de distribución que presentan problemas de mala calidad de la energía, evitando pérdidas materiales y económicas.

### **1.3 Objetivos**

#### **1.3.1 Objetivo General**

Elaborar un estudio aplicado a los Sistemas de Distribución en conformidad a las regulaciones vigentes para la evaluación de la calidad del servicio de energía eléctrica.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

1. Reconocer la situación actual de la red eléctrica de distribución para la selección de sectores específicos que presentan problemas de calidad de energía eléctrica.
2. Desarrollar un estudio técnico del sector seleccionado para la elaboración de un diagnóstico de la calidad de energía eléctrica.
3. Plantear soluciones a los problemas identificados en la red de distribución a fin de exponer un análisis económico de la propuesta de mejoramiento.

## 1.4 Marco teórico

### 1.4.1 Calidad de la Energía

De manera general, se puede definir a la calidad de energía en los sistemas de distribución eléctrica como un estándar de calidad que garantiza la disponibilidad del suministro de energía eléctrica, entregando una tensión y corriente de calidad, con formas de onda sinusoidal y a su vez con una frecuencia que permanezca constante.

Previo al estudio a realizarse, es muy importante tener claro ciertos conceptos que se describen a continuación, con la finalidad de poder comprender cada una de las fases de estudio de la calidad de la energía. [1]

### 1.4.2 Definiciones

- **Alimentador de alta densidad:** nombre que recibe el alimentador primario de distribución en el cual la carga nominal instalada presenta una distribución por kilómetro de línea con un valor mayor a cincuenta KVA/km.
- **Alimentador de baja densidad:** nombre que recibe el alimentador primario de distribución en el cual la carga nominal instalada presenta una distribución por kilómetro de línea con un valor menor o igual a cincuenta KVA/km.
- **Área de servicio:** corresponde al espacio geográfico en el cual la empresa eléctrica está destinada a prestar el servicio de distribución y comercialización de la energía eléctrica, además de proveer del servicio de alumbrado público general.
- **Armónicas:** se puede definir a las armónicas como ondas de tipo sinusoidal, las mismas que tendrán una frecuencia igual a un múltiplo entero de la frecuencia fundamental que corresponde a 60 Hz.
- **Barras de salida:** nombre otorgado a las barras de alta tensión ubicadas en las subestaciones de elevación y también a las barras de baja tensión que se encuentran ubicadas en las subestaciones de reducción.
- **Centro de transformación:** está conformado por un grupo de elementos de transformación, protección y a su vez de seccionamiento, los mismos que serán utilizados para poder efectuar la distribución de energía eléctrica.

- **Factor de potencia:** definido como la relación que se da entre la potencia activa con respecto a la potencia aparente.
- **Fluctuaciones de Voltaje:** nombre con el que se conoce a las perturbaciones en las cuales el valor pico o eficaz de tensión de suministro cambia con respecto al valor nominal de tensión.
- **Frecuencia de las interrupciones:** definido como el número de veces que se deja de suministrar energía a un consumidor dentro de un periodo determinado.
- **Interrupción:** nombre empleado para referirnos al corte momentáneo o total del suministro de energía eléctrica a los consumidores ubicados dentro del área de concesión del distribuidor.
- **Niveles de voltaje:** hace referencia a los niveles de alta tensión, media tensión y baja tensión definidos en el reglamento de suministro del servicio.
- **Periodo de medición:** se refiere al lapso en que se efectúan las mediciones de tensión, perturbación y factor de potencia, mismo que corresponderá a 7 días continuos y que se realiza con el fin de llevar un control de la calidad del producto.
- **Perturbación rápida de voltaje:** fenómeno conocido con el nombre de Flicker, el cual provoca que el voltaje cambie su amplitud en aproximadamente el 10% del voltaje nominal y puede repetirse varias veces durante un segundo. Este fenómeno generalmente es el causante de la fluctuación en la luminosidad de las lámparas a una frecuencia que puede ser percibida por el ojo humano.
- **Voltaje Armónico:** es un voltaje de característica sinusoidal el cual tendrá una frecuencia igual a un múltiplo entero de la frecuencia fundamental que corresponde a 60 Hz del voltaje de suministro eléctrico.
- **Sistema de distribución:** sistema conformado por un conjunto de elementos que hacen posible la prestación del servicio de distribución de energía eléctrica y dentro de los cuales tenemos las líneas de Subtransmisión, las subestaciones de distribución, los alimentadores ubicados en el primario, los transformadores de distribución, la red secundaria, las acometidas y

finalmente los diferentes equipos de compensación, protección, maniobra control, medición y comunicaciones.

- **Voltaje nominal ( $V_n$ ):** es el nombre que se le da al valor de voltaje que se utiliza para identificar el voltaje de referencia de una red eléctrica en específico.
- **Voltaje de suministro ( $V_s$ ):** es el valor de tensión suministrado por el distribuidor en un punto específico de entrega al consumidor en un instante de tiempo dado. [2]

### **1.4.3 Atributos de Calidad de la empresa distribuidora**

Para medir la calidad del servicio prestado, se tendrá en consideración cada uno de los siguientes índices e indicadores:

#### **a) Calidad del Producto:**

Para la calidad del producto se tendrá en consideración ciertos aspectos como son el nivel adecuado de voltaje, las perturbaciones rápidas de tensión conocidas como Flicker, la distorsión del voltaje causada por los armónicos y finalmente el desequilibrio del voltaje.

#### **b) Calidad del Servicio Técnico:**

Para la calidad del servicio técnico se tendrá en consideración la frecuencia y el tiempo de duración de las interrupciones tanto a nivel global como por consumidor.

#### **c) Calidad del Servicio Comercial:**

Con respecto a la calidad del servicio comercial, se tendrá en consideración el porcentaje de atención a petición de nuevos suministros, errores en medición y facturación del servicio, el promedio de tiempo que se toma en resolución de reclamos, el porcentaje de restablecimiento del servicio eléctrico, y finalmente el grado de satisfacción de los consumidores.

### **1.4.4 Calidad del Producto**

Este atributo se encuentra relacionado con la manera en que las señales de voltaje son entregadas por las distribuidoras a los consumidores y que se encuentra

caracterizada entre otros, por el nivel de tensión, perturbaciones rápidas de voltaje conocido también como Flicker y por los armónicos.

### **Nivel de Voltaje**

Siendo este uno de los atributos más importantes a tener en consideración en la calidad del producto, a continuación, se realiza una categorización de los niveles de voltaje.

- **Bajo voltaje:** equivale a un valor de tensión menor igual a 0,6 kV.
- **Medio voltaje:** equivale a un valor de tensión mayor a 0,6 y menor igual a 40 kV.
- **Alto voltaje grupo 1:** equivale a un valor de tensión mayor a 40 y menor igual a 138 kV.
- **Alto voltaje grupo 2:** equivale a un valor de tensión mayor a 138 kV.

### **Perturbaciones en las redes eléctricas de distribución**

Un sistema eléctrico de potencia es vulnerable a diferentes fenómenos o perturbaciones que en consecuencia afectan la calidad del servicio eléctrico, por tal razón se busca soluciones para eliminar o mitigar las fallas eléctricas que se originan debido a dichas perturbaciones. [3]

#### **a) Transitorios**

Los fenómenos transitorios son eventos de naturaleza momentánea que producen un cambio rápido en la forma sinusoidal de una onda de voltaje o corriente. Dentro de esta categoría se abarca los transitorios de característica impulsivos y oscilatorios.

- **Transitorio impulsivo**

Un transitorio impulsivo se origina por descargas atmosféricas o por operaciones de conmutación en la red del suministro eléctrico y máquinas eléctricas de gran tamaño provocando picos transitorios de pocos milisegundos de duración.

- **Transitorio Oscilatorio**

Son variaciones del flujo de energía eléctrica que presentan un rápido cambio de dirección en la onda de voltaje y corriente. Estas oscilaciones se originan

por maniobras en los componentes de una red eléctrica o la operación de bancos de capacitores.

#### **b) Variaciones de corta duración**

Estas variaciones se producen principalmente por fallas eléctricas o la energización de grandes bloques de carga, generalmente con una duración entre un rango de 0.5 a 1 minuto. Dependiendo de las condiciones en la que opera la red y la ubicación de la falla se puede presentar una elevación o depresión de tensión, incluso una interrupción.

- **Elevación de tensión (Swell)**

El valor eficaz de la tensión se incrementa momentáneamente en el orden de 1.1 a 1.8 [p.u.]. Las elevaciones de tensión se originan por la presencia de fallas desequilibradas en el sistema eléctrico, salida de maquinaria eléctrica de gran potencia y entrada de compensadores reactivos.

- **Huecos de tensión (Sag)**

El valor eficaz de la tensión se reduce momentáneamente dentro del orden de 0.1 a 0.9 [p.u.]. Una disminución significativa de la tensión hace que equipos eléctricos y electrónicos dejen de operar correctamente y se produzca interrupciones dentro de los procesos de un sistema. Este tipo de perturbación se presenta específicamente por fallas del sistema, arranque de máquinas eléctricas de gran potencia o la entrada de grandes bloques de carga.

#### **c) Variaciones de larga duración**

Son disturbios que afectan el valor eficaz de la tensión durante un tiempo mayor a 1 minuto.

- **Sobretensión**

Las sobretensiones se consideran a partir de valores superiores al rango de tensión nominal, 1.1 a 1.2 [p.u.].

Dentro de una red de distribución se puede presentar valores superiores a la tensión nominal debido a un mal ajuste en los Taps de un transformador.

- **Subtensión**

Las subtensiones se consideran a partir de valores inferiores al rango de tensión nominal, 0.8 a 0.9 [p.u.].

Dentro de una red de distribución se presenta una disminución de la tensión principalmente por sobrecargas en los alimentadores de la red originando como consecuencia un incremento de la corriente para abastecer dicha demanda y por consiguiente un aumento de las pérdidas de energía.

- **Interrupciones sostenidas**

Una interrupción sostenida es considerada cuando la tensión de alimentación cae a cero debido a un defecto permanente. Para restablecer el suministro de energía eléctrica se requiere intervención manual. [4]

**d) Desequilibrio de tensión**

Cuando el valor eficaz de las tensiones de fases no es igual se presenta un desequilibrio de tensión. En un sistema de distribución se presenta desequilibrio de tensión cuando existe un desbalance de carga en cada una de las fases de un circuito trifásico. [5]

**e) Distorsión de la forma de onda**

La forma de onda se distorsiona en régimen permanente de manera que la onda de corriente o tensión presenta un desvío con respecto a la señal sinusoidal pura. Los principales tipos de distorsión de forma de onda son el desplazamiento de la componente DC, armónicos, cortes y ruidos. [4]

- **Desplazamiento de la componente DC**

En un sistema de distribución de corriente alterna se puede presentar un desvío de la componente DC de la onda debido a una falla en los equipos de rectificación y de conversión. Este desplazamiento de la componente DC puede inyectar corriente indeseada a equipos que ya operan a valores nominales originando principalmente un sobrecalentamiento y saturación en los transformadores.

- **Distorsión armónica**

Una onda con característica sinusoidal pura se deforma debido a que el funcionamiento de cargas no lineales distorsiona la onda fundamental a frecuencias que son múltiplos enteros de dicha frecuencia fundamental.

- **Cortes**

Son perturbaciones periódicas de la tensión que se originan por el funcionamiento de equipos de electrónica de potencia debido a que ejercen operaciones conmutación. Los cortes intermitentes de tensión pueden ocasionar que un sistema eléctrico deje de funcionar.

- **Ruidos**

Es una señal de tensión o corriente indeseada de baja intensidad que se sobrepone a las señales originales del sistema de energía eléctrica. Por lo general, el resultado de operaciones defectuosas en los equipos de electrónica de potencia o un mal sistema de puesta a tierra ocasionan este tipo de interferencias. [6]

#### **1.4.5 Calidad del Servicio Técnico**

Está basada en un conjunto de aspectos técnicos y comerciales inmanentes a la prestación del servicio de energía eléctrica y que además constituyen las condiciones bajo las cuales debe desarrollarse esta prestación de servicio.

##### **a) Identificación de las interrupciones**

La empresa distribuidora tendrá la tarea de recolectar la información relacionada de cada una de las interrupciones mismas que deberán contar con al menos los aspectos que a continuación se enlistan para poder efectuar los cálculos tanto de los índices globales como de los indicadores individuales definidos para la evaluación de la calidad del servicio técnico.

- Fecha, hora de inicio y hora de finalización de la interrupción
- Duración, causa y origen de la interrupción
- Potencia nominal (KVA) desconectada por la interrupción
- Número e identificación de los consumidores afectados por la interrupción
- Equipos operados a consecuencia de la interrupción.

## **b) Registro y clasificación de las interrupciones**

El registro de todas las interrupciones producidas se lo deberá realizar de acuerdo con los siguientes aspectos:

### **1. Por su duración**

**Breves:** cuando el tiempo de duración de la interrupción es igual o menor a tres minutos.

**Largas:** cuando el tiempo de duración de la interrupción es mayor a tres minutos.

### **2. Por su origen**

**Internas:** son interrupciones de responsabilidad de la empresa de distribución debido a que se originan en el sistema de distribución de la empresa distribuidora.

**Externas:** hace referencia a las interrupciones originadas por un agente externo como un generador, el transmisor, suspensiones generales del servicio, por otra distribuidora o finalmente provocadas por el consumidor.

### **3. Por su causa**

**Programadas:** son interrupciones que se realizan con la finalidad de efectuar mantenimientos, ampliaciones, mejoras, maniobras u otras actividades.

**No programadas:** hace referencia a las interrupciones provocadas por las condiciones climáticas, ambientales, fallas en la red eléctrica entre otras.

## **c) Interrupciones a ser consideradas**

Solo las interrupciones con una duración mayor a 3 minutos serán consideradas al momento de realizar el cálculo de los índices e indicadores de calidad del servicio técnico, dentro de las interrupciones a considerar están las internas y externas, programadas y no programadas, pero deberán ser excluidas aquellas que se enlistan a continuación:

- Interrupciones causadas por suspensiones generales del servicio.
- Interrupciones ocurridas por motivo de fuerza mayor o caso fortuito.

- Interrupciones originadas por fallas en las instalaciones de un consumidor en particular, siempre que estas no lleguen a afectar a los demás consumidores.
- Interrupciones externas que sean calculadas individualmente y que como resultado se obtenga un tiempo total de interrupción mayor o igual a 25 minutos. Al detectar estas interrupciones, se procederá a tratarlas de manera individual con el objetivo de determinar las causas y los responsables del caso.

#### 1.4.6 Calidad del Servicio Comercial

Se caracteriza específicamente por la calidad de servicio atribuida a la atención que brinda la empresa distribuidora de energía al consumidor final en lo que respecta a resolución de reclamos, facturaciones apropiadas, reabastecimiento del suministro eléctrico, grado de satisfacción con el servicio de energía eléctrica, entre otras situaciones relacionadas con los consumidores finales.

##### a) Porcentaje de atención a nuevos suministros

Dentro del plazo máximo estipulado en la regulación de distribución y comercialización, que comprende desde el momento de la presentación de solicitudes de suministro eléctrico hasta su respectiva conexión, se analiza el número de los nuevos suministros que fueron atendidos para obtener un porcentaje de acuerdo con los siguientes parámetros:

- **ANS:** Porcentaje de atención de nuevos suministros en los plazos estipulados en la regulación.
- **Sa:** Número de nuevos suministros atendidos dentro del plazo estipulado.
- **Ns:** Número total de solicitudes de nuevos suministros.

Los nuevos suministros se presentan en niveles de baja, media y alta tensión, estableciendo un porcentaje de atención con el siguiente índice:

$$ANS = \frac{Sa}{Ns} * 100 [\%] \quad (1.1)$$

Se considera como permitido un porcentaje mínimo del 95%.

### **b) Porcentaje de errores en la facturación**

Se establece un porcentaje de errores en facturación en consideración a los siguientes parámetros:

- **PEF:** Porcentaje de errores en facturación.
- **Fa:** Número de facturas ajustadas por errores de mediciones o detalles.
- **Ne:** Número total de solicitudes de nuevos suministros.

Conforme al siguiente índice se establece el porcentaje de error en facturación.

$$PEF = \frac{Sa}{Ns} * 100 [\%] \quad (1.2)$$

Dentro del número total de solicitudes (NE), también se incluyen consumidores que tienen dos o más facturas emitidas.

Se considera un error admisible a un porcentaje no mayor al 0.4%

### **c) Tiempo promedio de resolución de reclamos**

De acuerdo con la regulación de reclamos se analiza un tiempo promedio para que la empresa distribuidora resuelva las molestias recibidas bajo cualquier circunstancia por parte de los consumidores tomando en cuenta los siguientes parámetros:

- **Td<sub>i</sub>:** Tiempo en días de tramitación del reclamo *i*
- **Nrt:** Número total de reclamos tramitados en el mes
- **Tpr:** Tiempo promedio de resolución de reclamos, en días conforme al siguiente índice se establece un tiempo promedio para reclamos que son tramitados dentro del mes actual y anterior.

$$Tpr = \sum_{i=1}^{Nrt} Td_i / Nrt \quad (1.3)$$

Se considera como límite máximo un tiempo promedio de 5 días.

#### **d) Porcentaje de resolución de reclamos**

Se establece un porcentaje de la cantidad de reclamos de cualquier tipo, técnicos, comerciales o daños a equipo, que fueron tramitados dentro del periodo indicado en la regulación de reclamos.

- ***Nrr***: Número de reclamos resueltos dentro del periodo estipulado para cualquier tipo de reclamo
- ***Nrt***: Número total de reclamos tramitadas en el mes
- ***Prr***: Porcentaje de resolución de reclamos

Conforme a estos parámetros se establece un índice para determinar el porcentaje de resolución de reclamos dentro de un mes.

$$Prr = \frac{Nrr}{Nrt} * 100 [\%] \quad (1.4)$$

Se considera como límite un porcentaje mínimo del 98%

#### **e) Porcentaje de reconexiones del servicio**

Se determina un porcentaje de las reconexiones del suministro eléctrico que la empresa distribuidora realizó dentro del periodo estipulado en la regulación de reclamos luego de efectuar cortes por falta de pago por parte de los consumidores.

- ***Nre***: Número de reconexiones efectuadas dentro del periodo estipulado.
- ***Nrs***: Número de reconexiones solicitadas en el mes.
- ***Prs***: Porcentaje de reconexiones del suministro eléctrico.

De acuerdo con el siguiente índice se analiza las reconexiones efectuadas en el mes.

$$Prs = \frac{Nre}{Nrs} * 100 [\%] \quad (1.5)$$

Se considera como límite permitido un porcentaje mínimo del 95%. [2]

## **CAPÍTULO 2**

### **2. METODOLOGÍA**

#### **2.1 Equipo de medición**

En el presente desarrollo se realiza una descripción detallada de equipos de medición de calidad de energía, efectuando posteriormente una comparación entre los modelos para observar que ventajas o desventajas presenta un modelo con respecto al otro al momento de obtener las mediciones de un determinado sector tomando siempre en consideración todos los lineamientos que establece la ARCONEL 005/18.

##### **2.1.1 Registrador trifásico de calidad eléctrica Topas 1000**

Topas 1000 es un equipo utilizado para el registro de la calidad de energía en donde la adquisición de sus parámetros lo realiza en base a la norma EN 50160. Una de sus principales características de aplicación es identificar de manera rápida las fuentes provocadoras de perturbaciones y acceder a la calidad de la tensión de la red.

- **Aplicaciones**

Con respecto a los campos de aplicación de este equipo para el estudio y análisis de la calidad de energía eléctrica, se tienen los siguientes:

- Detección de fuente de perturbación.
- Análisis de tensión, corriente y potencia.
- Efectúa mediciones de carga y energía.
- Análisis transitorio.
- Análisis de tensión de señalización.
- Análisis de calidad de energía según la norma EN 50160.

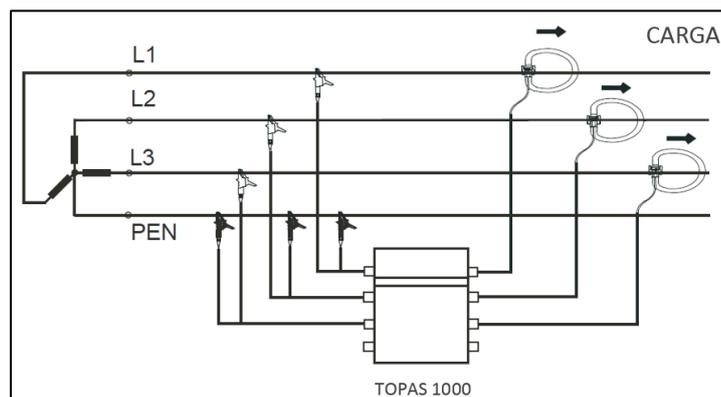
- **Características y especificaciones técnicas**

Este equipo al tener una forma de construcción altamente aislante, plana y un grado de protección IP65, brinda la garantía que, al ser utilizado en campo, su funcionamiento será confiable aun en condiciones ásperas o húmedas.

Gracias a la amplia memoria integrada con la que cuenta el equipo (512 MB, con opción a 1GB o 2GB), es posible realizar la toma de los diferentes parámetros por largo plazo. Las mediciones registradas por este equipo son tomadas en baja tensión hasta un máximo de 1000 voltios. Cuenta con 8 canales que trabajan a una frecuencia de hasta 10 MHz, los ochos canales se encuentran divididos en 4 para corriente y 4 para tensión, aunque en caso de ser requerido pueden usarse los 8 canales para medición de tensión.

El equipo internamente trae incorporada una batería de níquel metal-hidruro que, al momento de existir una falla en el suministro de energía eléctrica, permite mantener al equipo energizado hasta 5 minutos evitando así que este pueda averiarse.

El procedimiento para el registro de mediciones consiste primero en realizar la conexión del cable de poder en la parte alta del equipo para luego proceder a su energización desde la toma de energía eléctrica, como segundo paso se procede a conectar las respectivas puntas de prueba tanto de corriente como de voltaje en los canales situados en ambos lados del equipo, como tercer paso establecemos la comunicación entre el Analizador y el equipo portátil ya sea a través del puerto serial, modem o por medio del puerto Ethernet. Una vez efectuado estos pasos se debe conectar el equipo en el lado de baja tensión del punto de medición tal y como se muestra en la ilustración 2.1, para que el equipo analizador pueda registrar todos los parámetros seleccionados dentro del tiempo al cual ha sido programado.

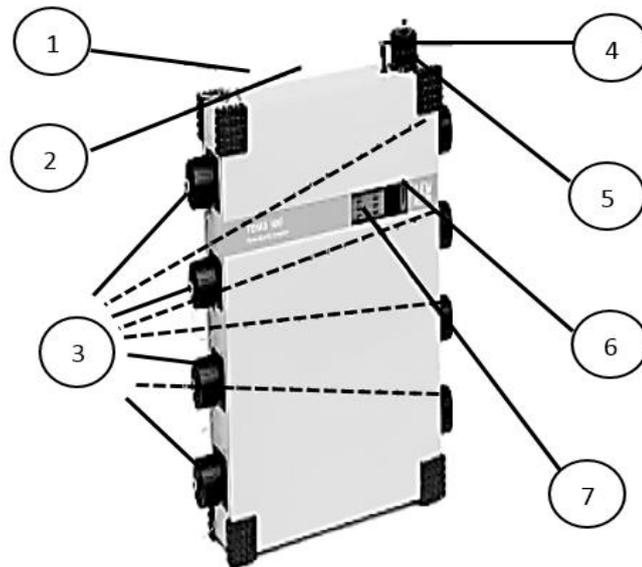


**Ilustración 2.1 Modo de conexión del Analizador de Energía Topas 1000 [7]**

Voltajes de fase y Línea a Neutro	Desbalance y Frecuencia
Corrientes de Fase y Línea a Neutro	Variaciones de Voltaje
Potencia Activa, Reactiva y Aparente	Armónicos
Flicker	Energía
Factor de Potencia	Disturbios

**Tabla 2.1 Parámetros que registra el Analizador de Energía Topas 1000**

- **Partes del equipo**



**Ilustración 2.2 Partes del equipo TOPAS 1000 [7]**

- 1) Puerto de conexión Ethernet
- 2) Puerto de comunicación Serial
- 3) Canales de Entrada para corriente y voltaje
- 4) Botón de Encendido / Apagado
- 5) Puerto de alimentación de energía eléctrica
- 6) Led indicador de encendido del equipo, POWER
- 7) Led's indicadores de los canales de medición

- **Software**

La configuración de este equipo se realiza mediante la instalación del software de aplicación TOPAS en un ordenador sea este portátil o de escritorio que tenga instalado Windows® 98/ME/NT/2000/XP que son versiones compatibles con la aplicación, la conexión entre el ordenador y el equipo analizador se la puede establecer ya sea vía Ethernet, por medio de puerto serial o a través de un modem. El software TOPAS permite al usuario importar desde el equipo analizador al ordenador todas las mediciones que fueron registradas durante el intervalo de tiempo programado, para que luego el usuario realice el análisis de los resultados obtenidos ya sea de manera gráfica o numérica.

### **2.1.2 Registrador trifásico de calidad eléctrica Fluke 1760**

Fluke 1760 corresponde a un registrador trifásico de calidad de la energía que brinda la posibilidad de realizar un análisis completo de la calidad de potencia, así como de pruebas de cumplimientos constantes gracias a su completa compatibilidad con el estándar IEC 61000-4-30 Clase "A". Este equipo a diferencia del Topas 1000 que solo permite realiza análisis en baja tensión, también brinda la ventaja de efectuar análisis de sistemas industriales y públicos de distribución de energía eléctrica en redes de media tensión. El Fluke 1760 brinda al usuario la posibilidad de modificar rangos, algoritmos y selección de medidas, además obtiene la información más completa y detallada de cada uno de los parámetros seleccionados por el usuario.

- **Aplicaciones**

Con respecto a los campos de aplicación de este equipo para el estudio y análisis de la calidad de energía eléctrica, se tienen los siguientes:

- Permite al usuario obtener un análisis detallado de perturbaciones como lo son los transitorios rápidos gracias a su rango de medición de 6KV, además identifica los factores que ocasionan el mal funcionamiento de los equipos con el objetivo de proceder a su reparación y mantenimiento predictivo.

- validar que la potencia eléctrica de entrega a la entrada del servicio sea óptima y cumpla con la calidad del servicio de clase A.
- Correlación de eventos en varios lugares mediante la utilización de sincronización horaria por GPS, que permite al usuario detectar donde se produjo primero una falla, ya sea dentro o fuera de la instalación.
- Separación galvánica y acoplamiento de CC que brinda al usuario la posibilidad de realizar mediciones completas en distintos sistemas eléctricos.
- Estudios de cargas y calidad de potencia que evalúan y validan si la calidad de potencia eléctrica inicial es compatible con sistemas críticos previo a su instalación, permitiendo a su vez verificar la capacidad que tienen los sistemas eléctricos antes de agregar las cargas.

- **Características y especificaciones técnicas**

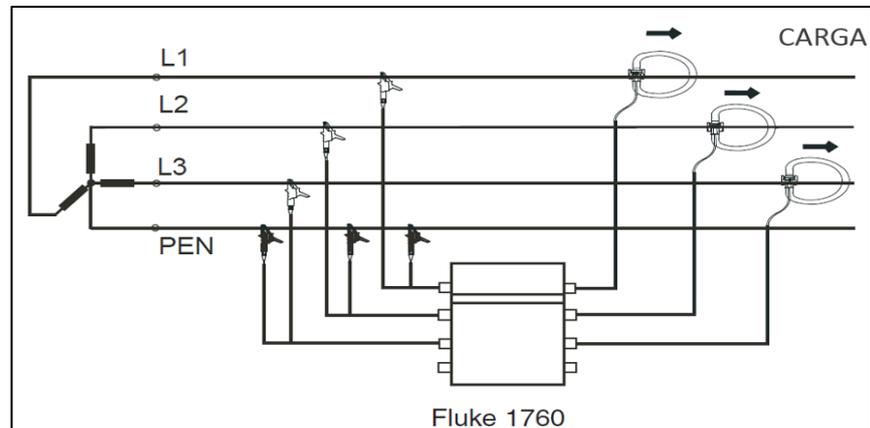
Al igual que el topas 1000, este equipo tiene una forma de construcción con carcasa plástica robusta altamente aislante lo cual garantiza un funcionamiento óptimo al ser utilizado en campo aun en condiciones ásperas o húmedas.

El Fluke 1760 al igual que el analizador Topas 1000, cuenta con una memoria integrada la cual puede expandirse hasta los 2GB, posibilitando la toma de diferentes parámetros por largo plazo.

Las mediciones registradas por este equipo son tomadas en baja y media tensión hasta un máximo de 1000 voltios. Cuenta con 8 canales que trabajan a una frecuencia de hasta 10 MHz, los ocho canales se encuentran divididos en 4 para corriente y 4 para tensión, aunque en caso de ser requerido pueden usarse los 8 canales para medición de tensión.

Una ventaja de este equipo frente al Topas 1000 es que trae incorporado un paquete de baterías que, en caso de presentarse una falla en el suministro eléctrico, mantendrá energizado al equipo por 40 minutos a diferencia del Topas 1000 que la batería que trae incluido solo le permite estar energizado por 5 minutos.

El procedimiento a seguir para el registro de mediciones del equipo Analizador Fluke 1760 es el mismo descrito para el Topas 1000, entonces una vez efectuado dichos pasos, se debe conectar el equipo en el lado de baja o media tensión del punto de medición tal y como se muestra en la ilustración 2.3.

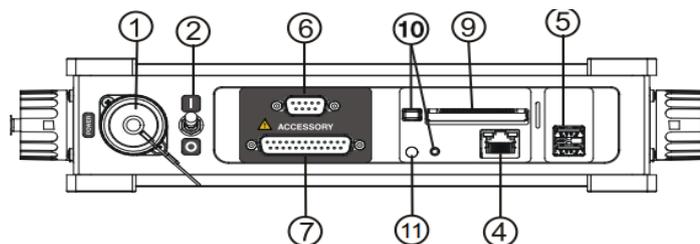


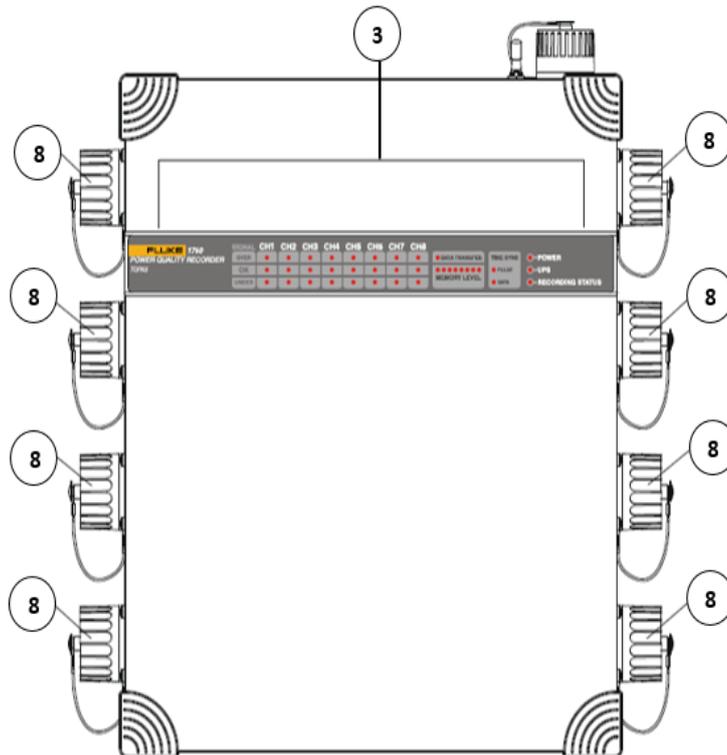
**Ilustración 2.3 Modo de conexión del Fluke 1760 [7]**

Voltajes de fase y Línea a Neutro	Desequilibrio y Frecuencia
Corrientes de Fase y Línea a Neutro	Trasmisión de señales
Potencia Activa, Reactiva y Aparente	Armónicos
Fluctuaciones rápidas de tensión	Energía
Factor de Potencia	Disturbios
Armónicos de Voltaje y Corriente hasta el 50° / Interarmónicos	Dispersión armónica total

**Tabla 2.2.-Parámetros que registra el Analizador de Energía Fluke 1760**

- **Partes del Equipo**





**Ilustración 2.4 Partes del equipo Fluke 1760**

- 1) Puerto de alimentación de energía eléctrica
- 2) Botón de Encendido / Apagado
- 3) Indicadores Led
- 4) Puerto de conexión Ethernet
- 5) puertos de conexión USB tipo A
- 6) COM1 - puerto serie (RS232)
- 7) Conector de funciones
- 8) Canales de Entrada para corriente y voltaje
- 9) Ranura para tarjeta Compact Flash
- 10) Botón de expulsión de flash compacto y LED
- 11) Botón de reinicio

- **Software**

El software PQ Analyze es una herramienta completa y versátil que admite tareas de resolución de problemas, así como grabaciones a largo plazo y la evaluación estadística del sistema de energía.

Este software permite al usuario hacer uso de diferentes funciones de exportación como la simple exportación basada en texto sobre Excel y Word, hasta un generador de informes configurable por el usuario.

El "Modo en vivo" integrado hace posible observar las muestras reales y las señales transitorias a medida que se miden en los canales de entrada del equipo. Todas las configuraciones efectuadas se pueden guardar en plantillas de configuración para usarlas rápidamente en la configuración del instrumento en el sitio. PQ Analyze es considerado una herramienta ideal para muchas aplicaciones diferentes ya que admite diferentes formas de conexión con el equipo analizador que puede ser conexión vía puerto Ethernet o puerto serial.

### **2.1.3 Memobox 300 SMART**

Es una herramienta de medición perteneciente a la marca suiza de equipos electrónicos LEM. Esta herramienta está enfocada al análisis de la calidad de potencia en referencia al estudio de las perturbaciones en los sistemas eléctricos de potencia, además de la optimización de redes en media y baja tensión.

Este equipo consta de tres versiones disponibles a las que se ajusta de acuerdo con las aplicaciones requeridas por el usuario:

- **Versión P:** se mide valores de voltaje y corriente para determinar potencia P, Q, S y el factor de potencia por fase o total. Las lecturas de estos parámetros permiten crear perfiles de consumo de energía eléctrica.
- **Versión Q:** localiza específicamente fuentes de perturbaciones eléctricas y se mide armónicos de voltaje hasta la componente 40, desbalances y frecuencia, de tal manera que se evalúa la calidad del voltaje.
- **Versión A:** representa la combinación de las versiones P y Q, lo que permite al usuario disponer de un equipo más versátil y completo.

Todas estas versiones están disponibles para operar en sistemas a frecuencias de 50 Hz o 60Hz y permiten realizar mediciones tanto por fase o línea de 3 valores de voltaje y 4 valores de corriente en el caso de un sistema trifásico.

Las mediciones que se registran en el equipo son almacenadas dentro de su memoria Flash-EPROM con capacidad de 4 MB que puede ser ajustada a modelos del tipo lineal o circular. El almacenamiento de la información puede ser programada dependiendo del tiempo que se requiera para los intervalos de muestreo.

- **Características y especificaciones técnicas**

- Entrada de alimentación desde 88 – 440 V AC
- Mediciones de voltaje en un rango de valores 115 – 830 V AC
- Mediciones de corriente en un rango de valores 5 – 3000 A con sondas flexibles de medición de corriente LEM~Flex
- Ideal para instalaciones en lugares a la intemperie con temperaturas entre -10 °C y 55 °C, cuenta con un peso de 1.1 Kg y protección IP65
- Frecuencia de muestreo 10.24 KHz.
- Detección de eventos como saltos, depresiones e interrupciones de voltaje. Además de niveles de Flicker, Pst y Plt, a corto y largo plazo.
- Ajustable para mediciones de sistemas trifásicos de 4 hilos en Y o 3 hilos en  $\Delta$ .
- Registro de mediciones y perturbaciones desde los 8 milisegundos.

- **Partes del equipo**

- 1) Entradas de voltaje y Puerto de alimentación de energía, 88 – 440 [VAC]
- 2) Entradas de corriente
- 3) Puerto de comunicación serie a Ordenador RS232
- 4) Pulsador de inicio, operación manual
- 5) Led indicador del estado de registro
- 6) Led's indicadores de los canales de medición
- 7) Led indicador de encendido del equipo, POWER

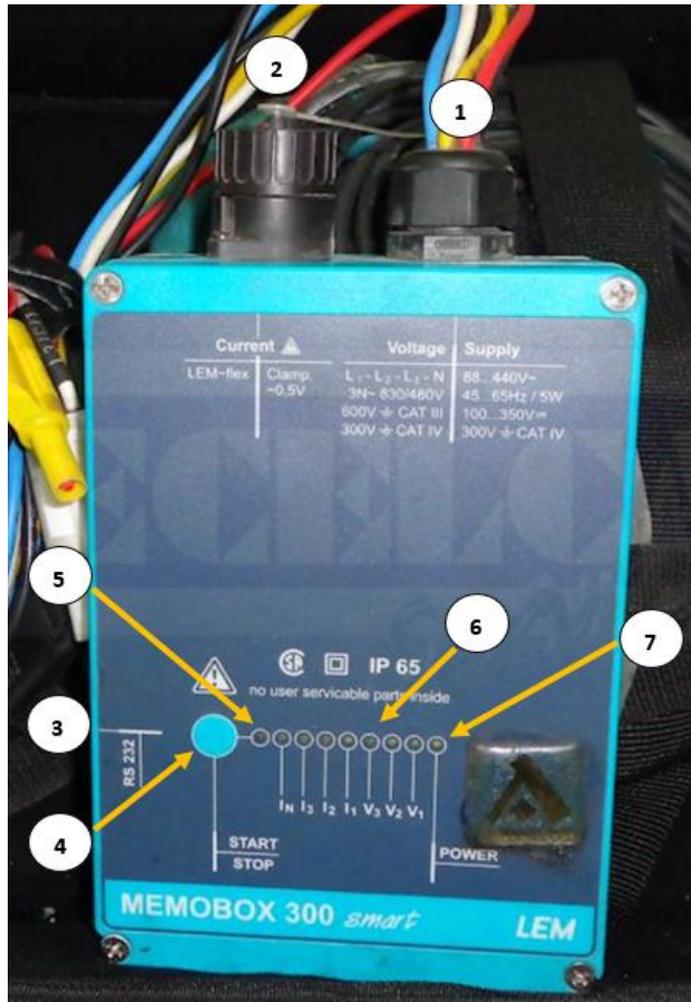


Ilustración 2.5 Partes del equipo MEMOBOX 300 SMART

- **Software**

Este equipo es configurado con la instalación del software CODAM plus en un ordenador. Debido a la innovación de los nuevos sistemas operativos lanzados por Windows, este software podría presentar problemas de funcionamiento por lo que se recomendaría instalarlo en versiones inferiores a Windows XP.

El software CODAM plus permite la comunicación, flujo de datos y análisis de resultados obtenidos durante las mediciones programadas en intervalos, en consecuencia, estas mediciones pueden ser gráfica o numéricamente evaluadas según las aplicaciones del usuario.

#### 2.1.4 Registrador Trifásico de Calidad Eléctrica FLUKE 1744

Este equipo de medición de la calidad de la potencia eléctrica perteneciente a la Serie 1740 de la marca Fluke, cuenta con una capacidad de registro de hasta 500 parámetros durante un período de 85 días máximo y realiza el seguimiento de eventos y perturbaciones eléctricas en sistemas de distribución. Permite la medición de hasta 4 entradas de corriente y 3 entradas de voltaje a la vez, esto significa que el equipo puede ser utilizado en sistemas monofásicos y sistemas trifásicos de 4 hilos (estrella fase - neutro) y 3 hilos (delta fase - fase).

Este registrador de la calidad de potencia tiene una alimentación por parte de la red y autónoma, dentro de los accesorios se incluye un adaptador con enchufe para tomas a 120V, y mediante la conexión de las pinzas Dolphin y los cables de prueba de voltaje que se muestra en la ilustración se energiza directamente el equipo, esto se debe a que los cables de alimentación y los cables de medición de voltaje se encuentran integrados.



**Ilustración 2.6 Cables de alimentación y medición de voltaje con accesorios**

Este equipo de medición permite registrar y monitorear la calidad de la potencia y además detecta fenómenos eléctricos en las redes de distribución buscando soluciones a estos problemas. Este modelo al igual que el equipo Memobox 300, cuenta con dos versiones:

- **Función de registro avanzada:** es más versátil al presentar más aplicaciones y capacidades de registro de análisis de la calidad de la energía eléctrica en función a estudios de demanda y optimización.

- **Función de registro de potencia:** esta versión presenta las mismas funciones de la versión avanzada a excepción de que no hay parámetros de armónicos de señales de corriente y voltaje.

- **Aplicaciones**

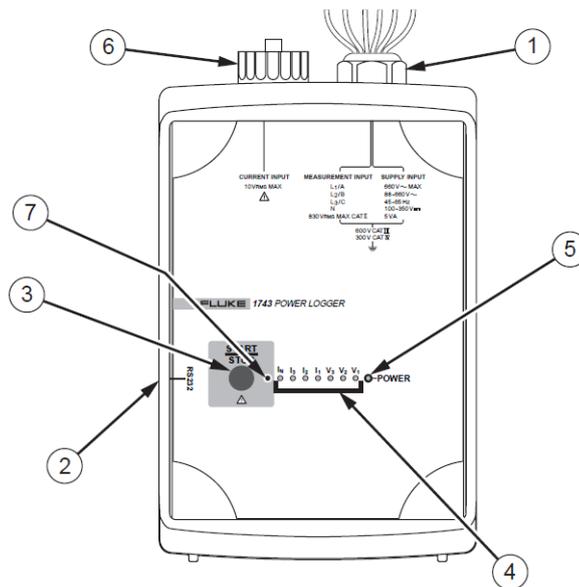
El equipo es principalmente usado para los estudios y análisis de la calidad del servicio eléctrico en las siguientes áreas:

- Búsqueda de perturbaciones y mal funcionamiento de equipos que requieran mantenimiento.
- Validación de los resultados obtenidos en las mediciones a través de la comparación conforme a los estándares de la calidad de la energía.
- Estudios de planificación y expansión de carga dentro de un sistema de distribución.
- Seguimiento de parámetros de consumo de energía eléctrica, factor de potencia y calidad de la energía antes y después de aplicar correcciones.

- **Características y especificaciones técnicas**

- Medición de los parámetros de alimentación como voltaje, corriente y potencia.
- Rango de medición de voltaje, máximo hasta 830  $V_{LL}$  y rango de corriente máximo hasta 3000 A con juego de sondas flexibles de corriente FS17XX
- Registro de perturbaciones eléctricas y medición de armónicos hasta la componente 50.
- Resistencia al polvo y a prueba de agua, nivel IP65.
- Autonomía de cinco horas de alimentación ininterrumpida.
- Memoria de 8MB.
- Grado de precisión del 0.1% en las mediciones de voltaje.
- Peso de 2 Kg con carcasa aislada.

- **Partes del equipo**



**Ilustración 2.7 Partes del equipo FLUKE 1744**

- 1) Puerto de cables de alimentación de energía y prueba, 88 – 660 [VAC] o 100 – 350 [VCC] CAT III
- 2) Puerto de comunicación serie a Ordenador RS232
- 3) Pulsador de inicio o parada, operación manual
- 4) Led's indicadores de los canales de medición
- 5) Led indicador de encendido del equipo, POWER
- 6) Conector para entradas de corriente
- 7) Led indicador del estado de registro.

- **Software**

Este equipo utiliza el software PQ Log que facilita la evaluación y visualización de los parámetros obtenidos durante las mediciones registradas conforme a los estándares de calidad de energía. Estos parámetros eléctricos pueden ser registrados durante un período promedio que el usuario defina, en consecuencia, estos datos registrados pueden ser presentados de manera gráfica o tabulada, incluso hay la opción de exportar en hojas de cálculo en Excel y generar reportes.



**Ilustración 2.8 Interfaz Software PQ log**

Los equipos Memobox 300 y Fluke 1744 presentan características similares en cuanto a las aplicaciones que brindan al usuario para el análisis de la calidad de la energía. Sin embargo, el equipo Fluke 1744 por ser más moderno presenta mejoras en especificaciones técnicas como la capacidad de almacenar datos y el registro de parámetros de medición. Una diferencia clara es la medición de las componentes armónicas entre ellos, y el rango de medición de corriente. El equipo Fluke 1744 cuenta además con una precisión muy alta para la medición de la tensión, lo que significaría una mayor confiabilidad en este equipo.

## **2.2 Accesorios de los equipos de medición**

Los equipos comparados anteriormente presentan accesorios que se ajustan a las necesidades del usuario y en esto intervienen algunos factores como la intensidad de corriente y niveles de tensión que existe en el área donde se va a realizar las mediciones, además de tener en cuenta las condiciones y dimensiones de los elementos, equipos o lugar de trabajo en donde se va a instalar el equipo analizador de redes.

El equipo de medición de la calidad de la energía trabaja básicamente con accesorios como sondas flexibles de medición de corriente y pinzas de ajuste para medición de voltaje. A continuación, se toma como modelo de referencia el equipo

FLUKE 1744, de la serie 1740 de esta marca, haciendo una comparación entre las pinzas de medición de corriente disponibles para este equipo.

➤ **Sondas Flexibles aisladas de cuatro fases serie FS17XX-TF-II**

Este equipo cuenta con un juego de 4 sondas tipo flexible FS17XX, que son usadas para la medición de hasta 3 fases y la referencia a neutro, etiquetadas cada una como L1, L2, L3 y L4. Además, presentan una medición muy precisa de la corriente alterna y pueden ser utilizadas en entornos con condiciones menos favorables en cuanto a temperatura y humedad, estas sondas tienen un grado de resistencia a agua IP65 y grado de contaminación 2.

Los rangos de corriente que se permite almacenar dentro de la memoria integrada van desde los 0,44 A a 3000 A en un rango de frecuencia de 40Hz a 5KHz.



**Ilustración 2.9 Sondas de corriente AC FS17XX**

El juego de sondas cuenta con una señalización para la ubicación de las sondas en los elementos en donde se va a realizar la medición. Las sondas del juego flexible se conectan de manera que la corriente fluya en la dirección de la flecha marcada en la sonda.

Las dimensiones de la sonda permiten ser conectadas en elementos de grandes dimensiones como es el caso de barras en tableros eléctricos de distribución o en un conjunto de cables en paralelo.

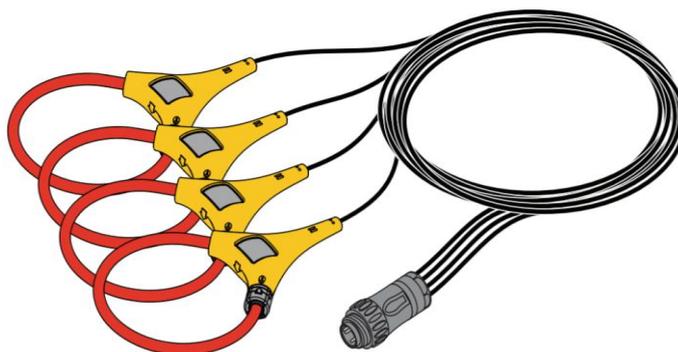
Este juego de sondas tiene las siguientes características generales y especificaciones técnicas:

<b>Rangos de entrada de corriente</b>	15/150/1500/3000 A CA
<b>Porcentaje de error</b>	Menor al 2%
<b>Longitud del cable</b>	2 m
<b>Longitud de la sonda de medición</b>	61 cm (24 in)
<b>Peso</b>	0.92 Kg
<b>Categoría de seguridad</b>	1000V CAT III/600 V CAT IV
<b>Observaciones:</b> No se utiliza en conductores sin aislamiento, o en sistemas de corriente continua.	

**Tabla 2.3 Características de las sondas FS17XX**

➤ **Sondas Flexibles aisladas de cuatro fases 3000/6000A TF 4**

El juego de 4 sondas flexibles para medición de corriente AC diseñadas para las series 1740 de analizadores de energía FLUKE a diferencia del juego flexible FS17XX, brinda un mayor rango de lectura para valores de corriente hasta 6000 A en un rango de frecuencia de 40 Hz a 5 KHz.



**Ilustración 2.10 Sondas de Corriente Thin Flex 3000/6000A TF 4**

Otra diferencia que presenta este juego de sondas es una longitud mayor del cabezal de medición, lo que permite una instalación en elementos de mayor tamaño que no puedan ser usados para medición con el juego de sondas flexibles FS17XX.

Este juego de sondas tiene las siguientes características generales y especificaciones técnicas:

<b>Rangos de entrada L1, L2, L3, N</b>	30/300/3000/6000 A CA
<b>Rango de medición</b>	0.8 – 6000 A CA
<b>Porcentaje de error</b>	Menor al 1%
<b>Longitud del cable</b>	4 m
<b>Longitud de la sonda de medición</b>	92 cm (36 in)
<b>Peso</b>	1.2 Kg
<b>Categoría de seguridad</b>	1000V CAT III/600 V CAT IV
<b>Observaciones:</b> No se utiliza en conductores sin aislamiento, o en sistemas de corriente continua y a frecuencias menores a 1 KHz	

**Tabla 2.4 Características del juego de sondas Thin Flex 3000/6000A TF 4**

➤ **Juego de pinzas de corriente PQ4 5A/50A**

El juego de pinzas de corriente es un accesorio adicional para el equipo Fluke 1744 que se adquieren por separado.



**Ilustración 2.11 Juego de pinzas amperimétricas 5A/50A PQ4**

Este juego de pinzas cuenta con transformadores de corriente con una relación de 5/50 A y provee un rango de medición de corriente desde 0.125 A hasta 50 A en un rango de frecuencia de 40 Hz a 5 KHz.

Estas pinzas están diseñadas para ser utilizadas en entornos de 600V CAT III como en tableros de distribución, circuitos de alimentación y en sistemas de iluminación de grandes edificaciones. Al igual que las sondas flexibles FS17XX,

las pinzas amperimétricas cuentan con señalización que indica la dirección del flujo de corriente.

Las características generales y especificaciones técnicas son las siguientes:

<b>Corriente nominal In</b>	5/50 A CA RMS
<b>Sobrecarga</b>	Hasta 65 A RMS
<b>Longitud del cable</b>	2 m
<b>Tamaño máximo de elemento para medición</b>	∅ de 15 mm, barras de 15 x 17 mm
<b>Peso</b>	730 g
<b>Categoría de seguridad</b>	600V CAT III
<b>Error de medición</b>	Menor a 15 mA a 50 Hz
<b>Corriente máxima no destructiva</b>	100 A RMS
<b>Observaciones:</b> Para obtener una medición óptima hay que tener en cuenta que la pinza esté perpendicular al conductor y ese correctamente colocado entre las marcas de alineación de las pinzas.	

**Tabla 2.5 Características Pinzas Amperimétricas PQ4**

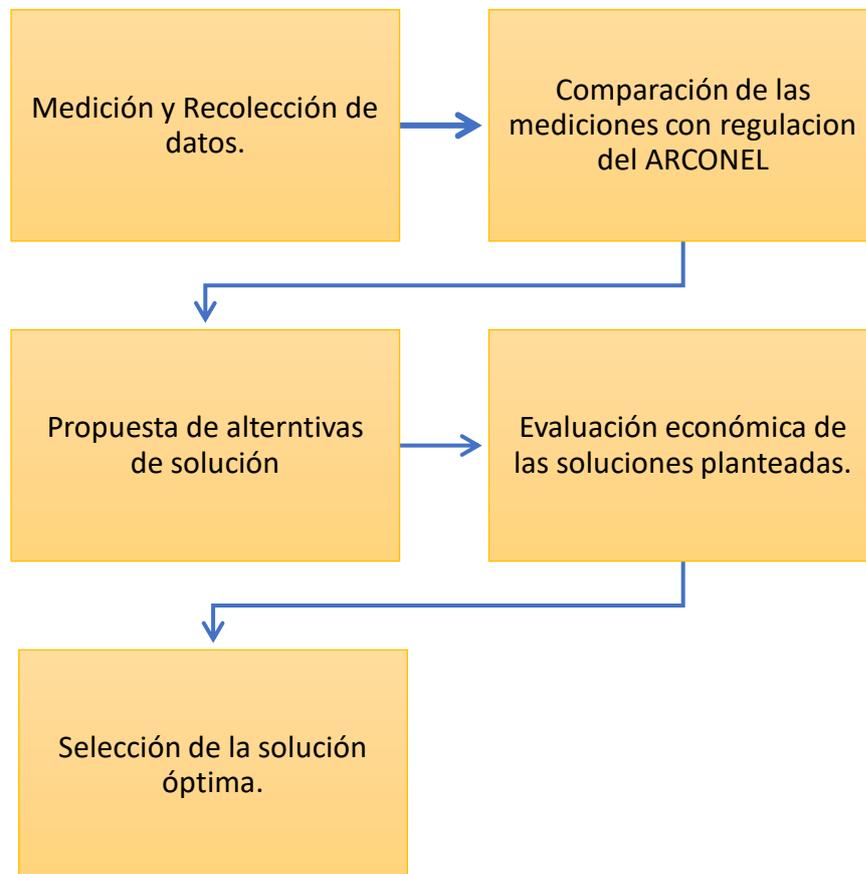
La comparación que se establece entre ambos accesorios de medición de corriente es el error que se obtiene en las mediciones, en las sondas se establece un error de 2% mientras que en los transformadores de corriente se establece un valor estimado de 15 mA para un sistema con una frecuencia de 50 Hz, y con una influencia de error del 0.5% para elementos energizados adjuntos.

Otra diferencia que se indica es la categoría de seguridad de los accesorios, las sondas flexibles están diseñadas para ser utilizadas en entornos de 1000V, mientras que las pinzas a entornos de 600 V.

En cuanto al diseño, la abertura de las pinzas amperimétricas no permite que se pueda realizar mediciones en elementos de gran tamaño como lo permitiría las sondas flexibles que presenta la facilidad de conexión a elementos con dimensiones mayores, por lo que hace más versátil trabajar con las sondas flexibles.

### 2.3 Procedimiento para evaluación de la calidad de la energía eléctrica

Mediante el siguiente diagrama se dan a conocer los pasos que se deben realizar para una correcta evaluación de la calidad de la energía eléctrica.

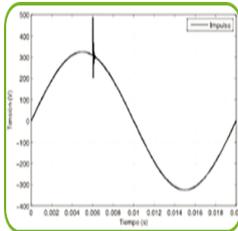


### 2.4 Alternativas de mejoramiento y solución

Es importante conocer que tanto la empresa distribuidora como el usuario final pueden ser causantes de una mala calidad de energía en el sistema eléctrico de potencia.

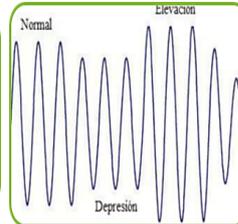
Del lado del suministro la mala calidad de energía puede originarse debido a maniobras de conmutación, fallas presentes en el sistema de potencia o también por fenómenos naturales como por ejemplo descargas atmosféricas. El usuario final también puede ser causante de problemas de calidad de energía debido a las cargas no lineales que posee o en el peor de los casos por tener instalada una puesta a tierra deficiente.

A continuación, se presentan varias fuentes de disturbios provocadores de una mala calidad de la energía eléctrica pero así también se muestran posibles soluciones que no eliminaran completamente el disturbio, pero ayudaran a mitigarlo en gran porcentaje.



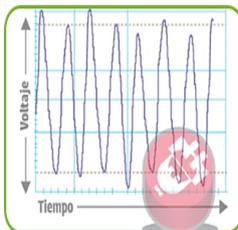
### Transitorio impulsivo de voltaje

- Apartarrayos
- Supresores de Voltaje transitorio



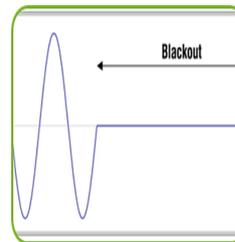
### Bajo y sobre voltaje

- Fuente de Potencia Ininterrumpible
- Reguladores de Voltaje electrónicos



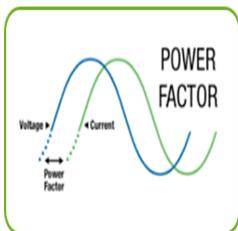
### Fluctuaciones de voltaje

- Compensadores estáticos de potencia reactiva



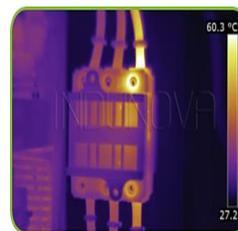
### Interrupciones

- Fuente de Potencia Ininterrumpible
- Generadores de Reserva o Respaldo



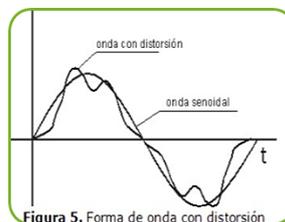
### Bajo Factor de Potencia

- Balancear cargas
- Bancos de capacitores



### Desbalance de corrientes

- Balancear Cargas
- Aumento de calibre de conductores



### Distorsión de la forma de onda

- Filtros armónicos
- Sistema de Puesta a Tierra
- Aumento de calibre de conductor Neutro

Figura 5. Forma de onda con distorsión

## **CAPÍTULO 3**

### **3. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

Dentro de los equipos de medición de la calidad de energía descritos en la metodología del capítulo 2, se seleccionó el equipo Fluke 1744 para el registro de las mediciones durante una semana con una frecuencia de captura de datos cada 10 minutos, obteniendo un total de 1008 datos para los parámetros de calidad del suministro eléctrico.

Para realizar un estudio que muestre las diferentes alternativas que se aplican para mejorar y solucionar problemas de calidad de la energía, se tomó en consideración realizar las mediciones y monitoreo de eficiencia energética en tres lugares diferentes. Basándose en las normas descritas anteriormente en la regulación No. 005/18 establecida por la ARCONEL, se evaluó los parámetros de eficiencia energética en los puntos de medición.

#### **3.1 Descripción física de los lugares a evaluar la calidad de la energía**

##### **3.1.1 Medición realizada en Rectorado ESPOL**

La primera medición se realizó en el edificio de Rectorado de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, ESPOL. El equipo analizador de redes se instaló en el panel de distribución en baja tensión que cuenta con un breaker principal 3P- 800 A, ubicado en el cuarto de transformadores.

Las sondas flexibles de medición de corriente se instalaron rodeando el conjunto de conductores por cada fase a la entrada del breaker 3P - 800A y las pinzas de voltaje fue colocado en los terminales de este breaker, además la pinza de neutro fue directamente colocada en la barra de neutro del tablero.

En la sección de anexos, el Plano A.1 se muestra el diagrama unifilar del sistema eléctrico del edificio de Rectorado.

- **Estación de Transformación**

El cuarto de transformadores está conformado por un transformador convencional de 50 KVA utilizado para alimentación del ascensor del edificio de Rectorado, y un banco de transformadores de 3 unidades monofásicas de 250 KVA con una capacidad total de 750 KVA, conectados en estrella – estrella, que alimenta luminarias, tomacorrientes y centrales de aire de Rectorado.



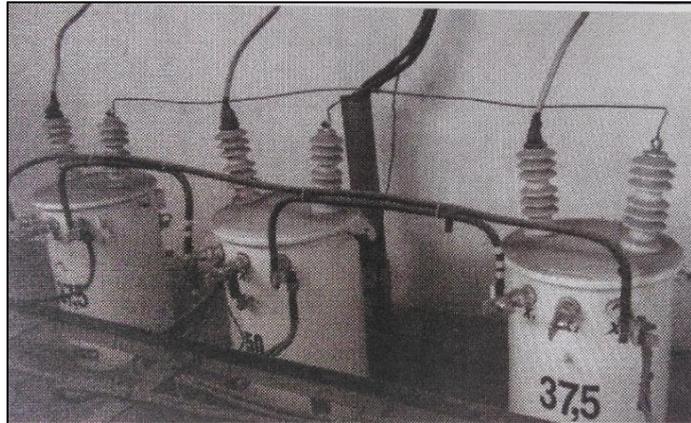
**Ilustración 3.1 Datos Transformador 1Ø Rectorado ESPOL**

En la ilustración 3.1 se muestra la posición del Tap en 4 que modifica la regulación de voltaje en el lado primario del transformador, permitiendo regular el voltaje de salida al voltaje nominal de 120V que se indica en la placa de datos.

### 3.1.2 Medición realizada en Depósito Aduanero

- **Estación de Transformación**

El cuarto de transformadores está conformado por un banco de transformadores de 2 unidades monofásicas de 37,5 KVA y una unidad de 50 KVA que suman una capacidad total de 125 KVA, conectados en Estrella flotante – Delta aterrizado.



**Ilustración3.2 Conexión de transformadores en Depósito Aduanero**

En la siguiente ilustración 3.3 se muestra los datos de placa de los transformadores y la posición central del Tap, en este caso etiquetado con la letra C. Aquí se ajusta la regulación de voltaje en el lado primario del transformador al valor nominal de dato de placa del transformador que es 7620 V y a la salida un voltaje nominal de 240V.



**Ilustración3.3 Datos Transformador en Depósito Aduanero**

### 3.1.3 Medición realizada en Exportadora de Banano

- Estación de Transformación

El cuarto de transformadores está conformado por un transformador trifásico con capacidad de 750 KVA, conectado en Delta – Estrella aterrizado.



**Ilustración 3.4 Datos Transformador 3Ø de Exportadora de Banano**

En la ilustración 3.4 se muestra la posición del Tap en 2 que modifica la regulación de voltaje en el lado primario del transformador, permitiendo regular el voltaje de salida al voltaje nominal de 127V/ 220V.

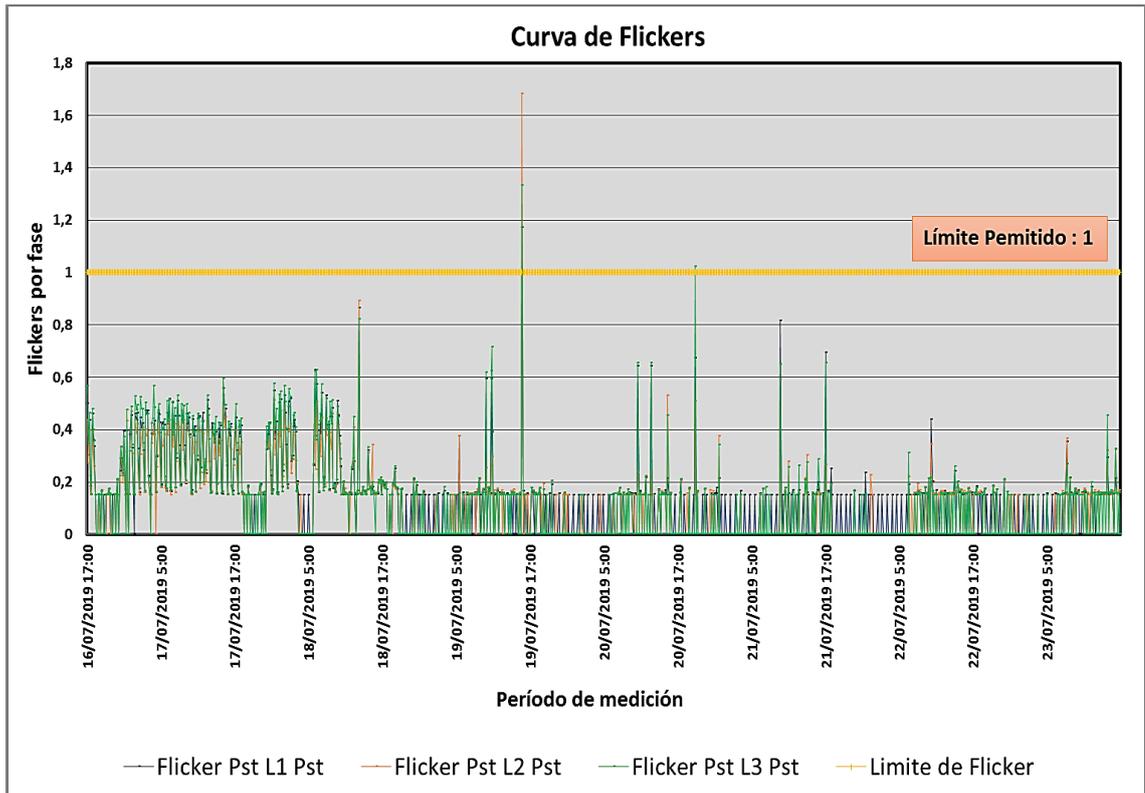
### 3.2 Resultados obtenidos de las mediciones.

#### 3.2.1 Análisis de datos recolectados en Rectorado ESPOL

##### Análisis de Fluctuaciones (Flickers)

Para efectos de la evaluación de la calidad en cuanto a Flicker se consideró el Índice de Severidad por Flicker de Corta Duración (Pst), en intervalos de medición de 10 minutos. Se considera el límite  $Pst = 1$  como el tope de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia que puede soportar sin presentar molestias al ojo humano.

La siguiente gráfica proporcionada por el registrador de calidad de energía muestra las perturbaciones de Parpadeo de corta duración (Pst) en cada una de las líneas.



**Gráfica 3.1 Índice de severidad por Flicker Pst - Rectorado ESPOL**

De acuerdo con la norma establecida en la regulación de la ARCONEL, se tomó en consideración que el suministro de electricidad si cumple con el límite admisible señalado, puesto que hay únicamente 4 puntos de medición en donde las perturbaciones se encuentran fuera del rango de tolerancia establecido.

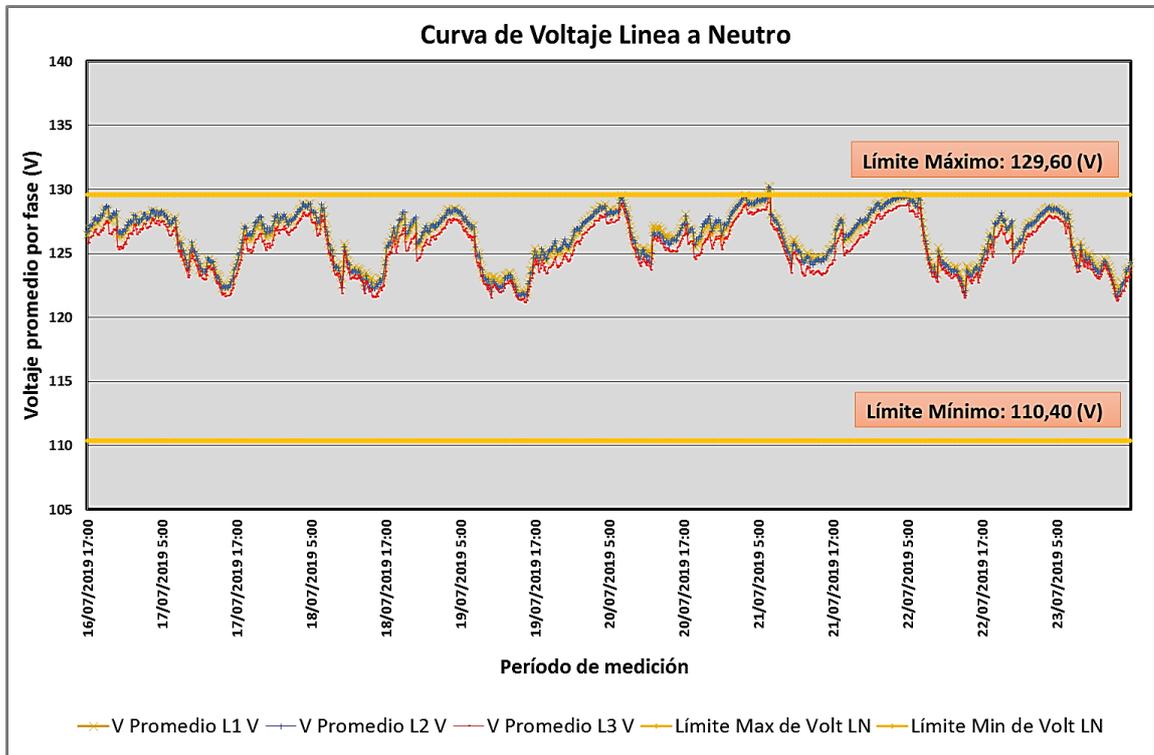
L1	L2	L3
0,10%	0,10%	0,20%

**Tabla 3.1 Porcentaje de Flicker fuera de límite - Rectorado ESPOL**

Como se observa en la Tabla 3.1, en cada una de las líneas se obtuvo una muestra inferior al 5% de tolerancia del periodo de medición de 7 días, lo cual nos indica que la red de alimentación no presenta inconvenientes con respecto a la presencia de Parpadeo Pst.

## Análisis de Voltaje

- Voltaje Línea a Neutro en baja tensión



**Gráfica 3.2 Voltaje Línea a Neutro en baja tensión - Rectorado ESPOL**

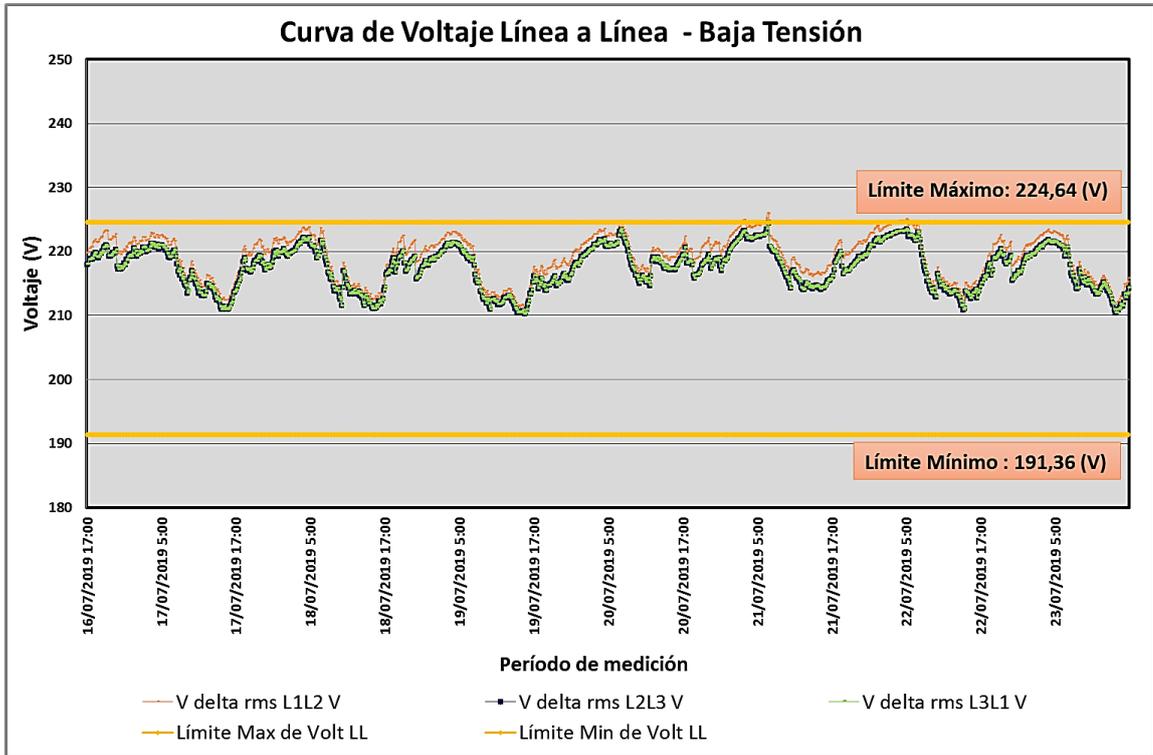
Para el lado de baja tensión donde se tiene conexionado en Estrella, se cuenta con un voltaje nominal de línea a neutro de 120 V. En la Gráfica 3.2 se observan mediciones de voltaje que exceden el límite máximo de 129,60 V, sin embargo, se toma en consideración que el suministro de electricidad es adecuado ya que las mediciones de voltaje línea a neutro se encuentran dentro del límite del  $\pm 8\%$  del voltaje nominal requerido por la regulación de la ARCONEL con un total del 5% de tolerancia por cada una de las Líneas.

L1	L2	L3
0,40%	0,30%	0,00%

**Tabla 3.2 Porcentaje de VLN fuera del límite - Rectorado ESPOL**

En la Tabla 3.2 se observa que el porcentaje de voltaje línea a neutro fuera del límite en cada una de las líneas es inferior al 5% normado.

- Voltaje Línea a Línea en Baja Tensión



**Gráfica 3.3 Voltaje Línea a Línea en Baja Tensión - Rectorado ESPOL**

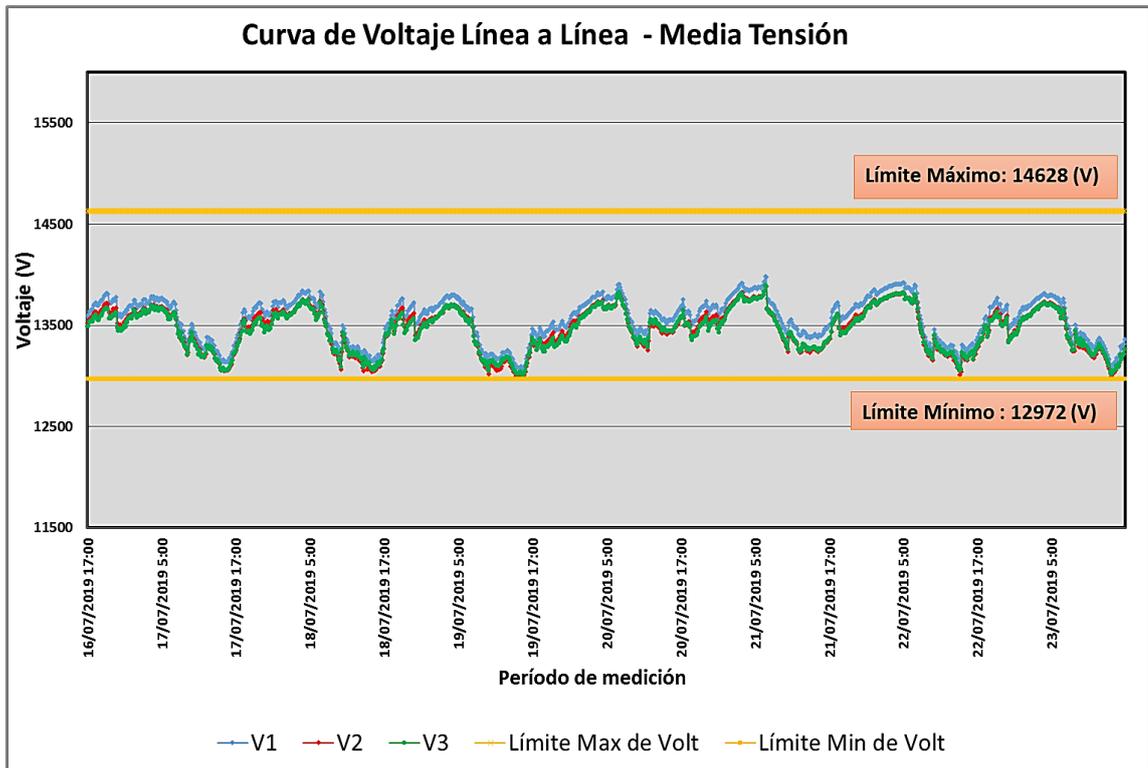
Para el lado de baja tensión donde se tiene conexas en Estrella, se cuenta con un voltaje nominal de línea a línea de 208 V. La Gráfica 3.3 presenta mediciones de voltaje que exceden el límite máximo de 224,64 V. Sin embargo, es correcto indicar que el suministro de energía eléctrica es adecuado debido a que las mediciones de voltaje línea a línea cumplen con la regulación de la ARCONEL del  $\pm 8\%$  del voltaje nominal con un total del 5% de tolerancia en cada una de las Líneas.

L1L2	L2L3	L3L1
2,48%	0,10%	0,10%

**Tabla 3.3 Porcentaje de VLL fuera del límite - Rectorado ESPOL**

En la Tabla 3.3 se observa que el porcentaje de voltaje línea a línea fuera del límite en cada una de las fases es inferior al 5% normado.

- **Voltaje Línea a Línea en Media Tensión**



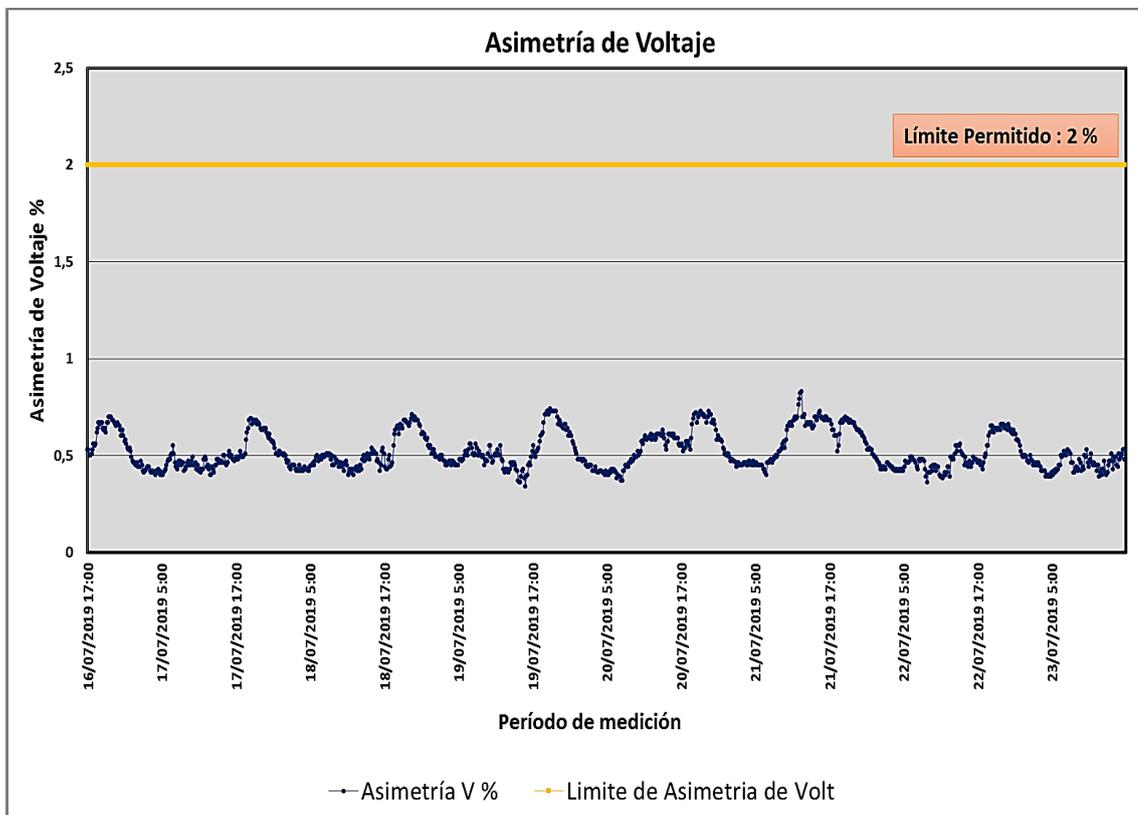
**Gráfica 3.4 Voltaje Línea a Línea en Media Tensión - Rectorado ESPOL**

Para el lado de media tensión donde se tiene conexas en Estrella, se cuenta con un voltaje nominal de línea a línea de 13800 V. En la Gráfica 3.4 se observa que las mediciones de voltaje obtenidas para un total de 7 días en intervalos de 10 minutos se encuentran dentro de los límites, esto significa que el suministro de electricidad por parte de la empresa distribuidora es óptimo ya que las mediciones de voltaje línea a línea se encuentran dentro del rango del  $\pm 6\%$  estipulado por la regulación de la ARCONEL, con un total del 5% de tolerancia en cada una de las Líneas.

Para este caso el 100% de los valores registrados en el punto de medición se encuentran dentro del límite establecido por la norma.

- **Asimetría de Voltaje**

La ARCONEL mediante la regulación No. 005/18 establece que el límite para el índice de asimetría de voltaje en el punto de medición debe ser del 2 %, porcentaje que aplica para todos los niveles de tensión.

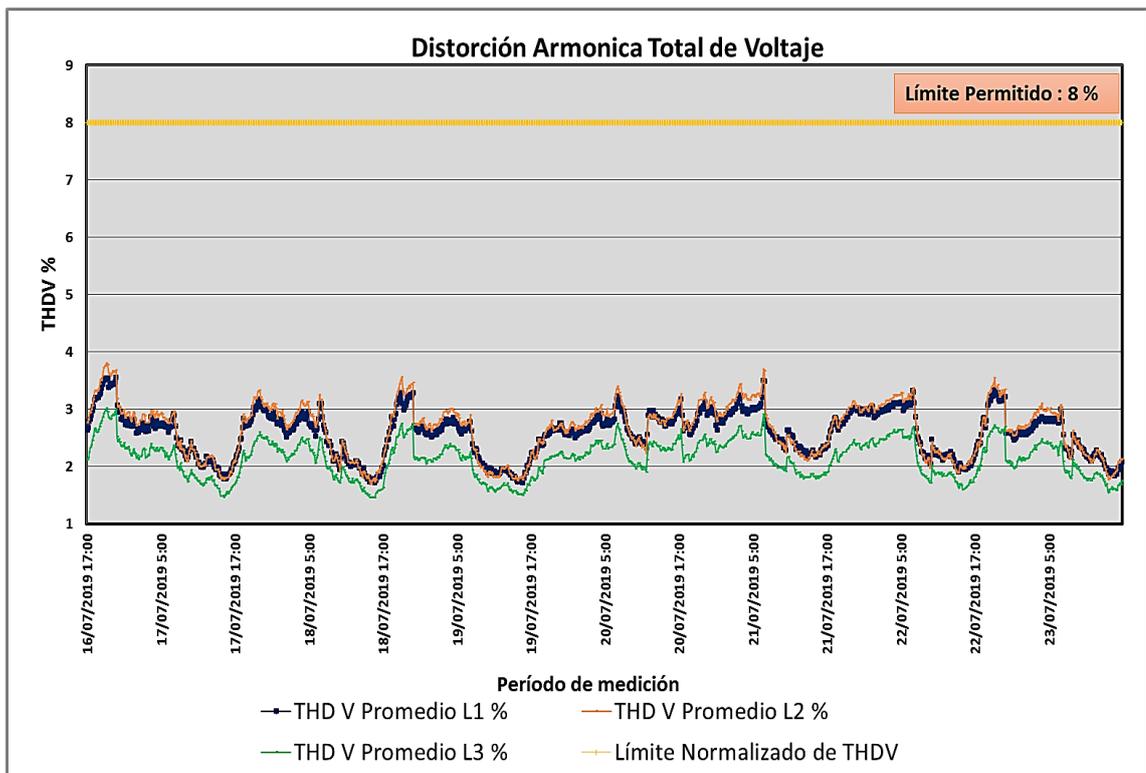


**Gráfica 3.5 Asimetría de Voltaje – Rectorado Espol**

La Gráfica 3.5 muestra que el 100% de las mediciones de asimetría de voltaje registradas durante 7 días en intervalos de 10 minutos, se encuentran por debajo del límite del 2% dispuesto por la ARCONEL por lo que se toma en consideración que la empresa distribuidora de energía eléctrica se encuentra en cumplimiento con la norma.

- **Distorsión Armónica Total de Voltaje**

Para el factor de distorsión armónica total de voltaje se tiene que la empresa distribuidora de energía eléctrica se encuentra en cumplimiento con la regulación No. 005/18 establecida por la ARCONEL cuando el 95 % o más de los valores obtenidos en el punto de medición son inferiores al 8%.

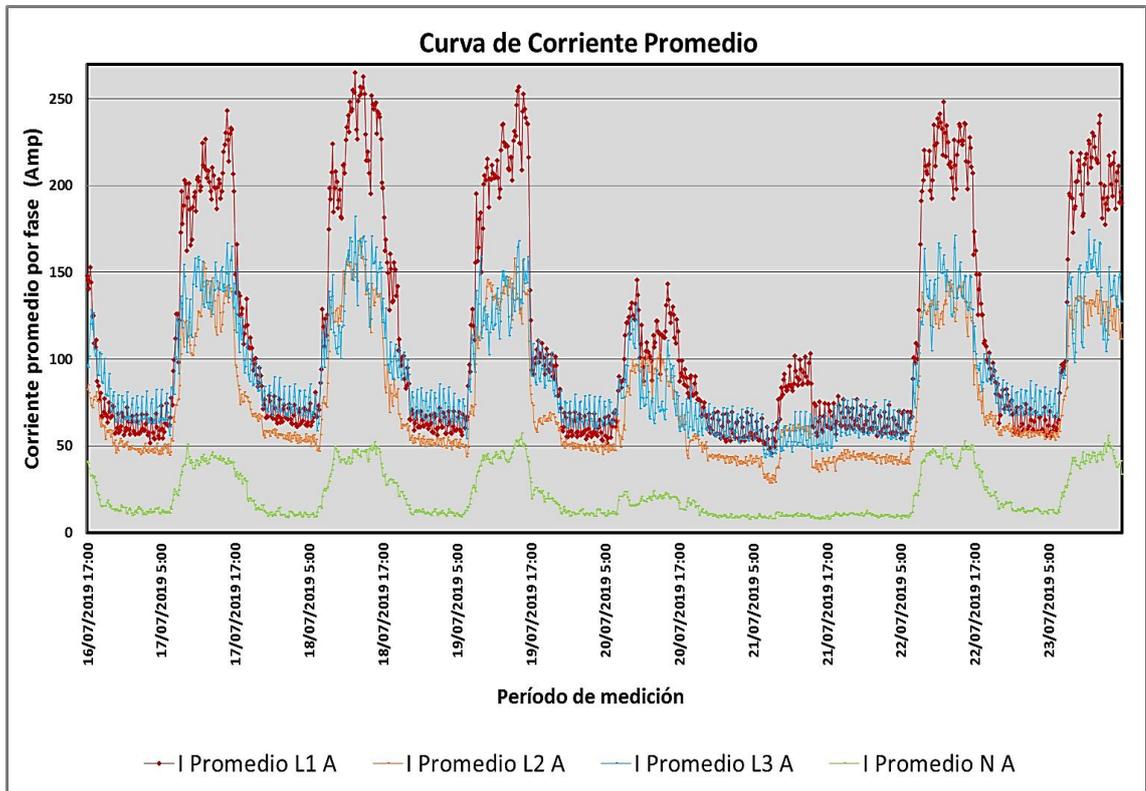


**Gráfica 3.6 Distorsión Armónica Total de Voltaje – Rectorado ESPOL**

En la Gráfica 3.6 se observa que el 100% de los factores de distorsión armónica total registrados para cada una de las líneas durante 7 días en intervalos de 10 minutos, se encuentran por debajo del límite del 8% estipulado por la ARCONEL, esto significa que la empresa distribuidora de energía eléctrica se encuentra en cumplimiento con el límite normado.

## Análisis de Corriente

- Curva de Corriente Promedio



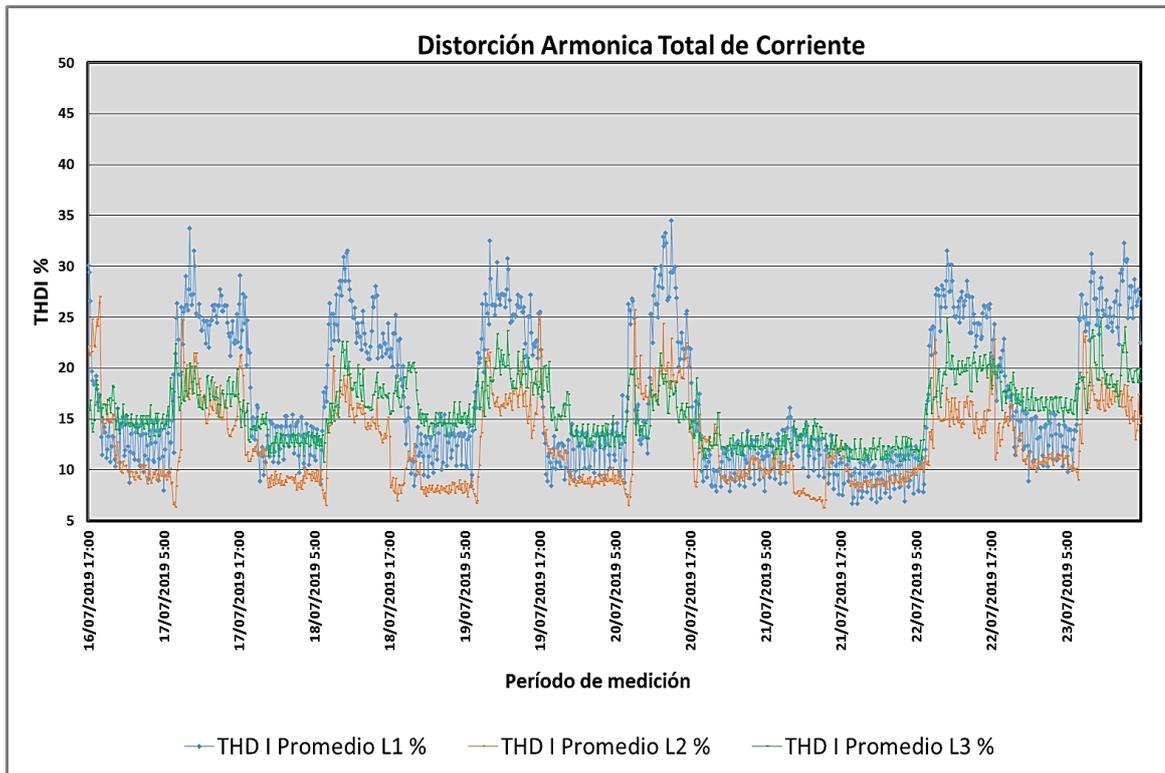
**Gráfica 3.7 Corriente Promedio – Rectorado ESPOL**

CORRIENTE PROMEDIO (A)			
L1	L2	L3	N
264,9	169,3	182,3	57

**Tabla 3.4 Corriente Promedio Máxima – Rectorado ESPOL**

En la Tabla 3.4 y adicionalmente en la Gráfica 3.7, se puede observar un valor elevado de corriente en la línea 1 en comparación con el valor de corriente en las líneas 2 y 3 lo que representa un sistema trifásico desbalanceado que trae como consecuencia la presencia de corriente a través del neutro con un valor de 57 A. El desbalance del sistema es debido a que la mayor parte de la carga monofásica es alimentada desde la línea 1, las cargas conectadas son de característica no lineal produciendo a su vez un incremento en pérdidas de energía especialmente por el sobrecalentamiento del conductor al circular una mayor corriente.

- **Armónicos de Corriente THDI**



**Gráfica 3.8 Distorsión Armónica Total de Corriente – Rectorado ESPOL**

El análisis que se realiza a continuación permite determinar si se cumple con los límites de THDI establecidos en la regulación 005/18 de la ARCONEL.

En la Tabla A.1, ubicada en la sección de ANEXOS se tiene que la corriente de cortocircuito monofásica para el Rectorado ESPOL a un nivel de tensión de 13.8 [KV] es de 2394,98 [A].

De las mediciones registradas con el analizador de energía se obtuvieron las siguientes corrientes monofásicas para una máxima demanda.

- Línea 1 con una corriente de 264,9 [A]
- Línea 2 con una corriente de 169,3 [A]
- Línea 3 con una corriente de 182,3 [A]

Para la Fase 1, la relación entre  $I_{SC-1\emptyset}$  y  $I_{L1-1\emptyset}$  es la siguiente:

$$\frac{I_{SC-1\emptyset}}{I_{L1-1\emptyset}} = \frac{2394,98 [A]}{264,9 [A]} = 9,04$$

Para la Fase 2, la relación entre  $I_{SC-1\emptyset}$  y  $I_{L2-1\emptyset}$  es la siguiente:

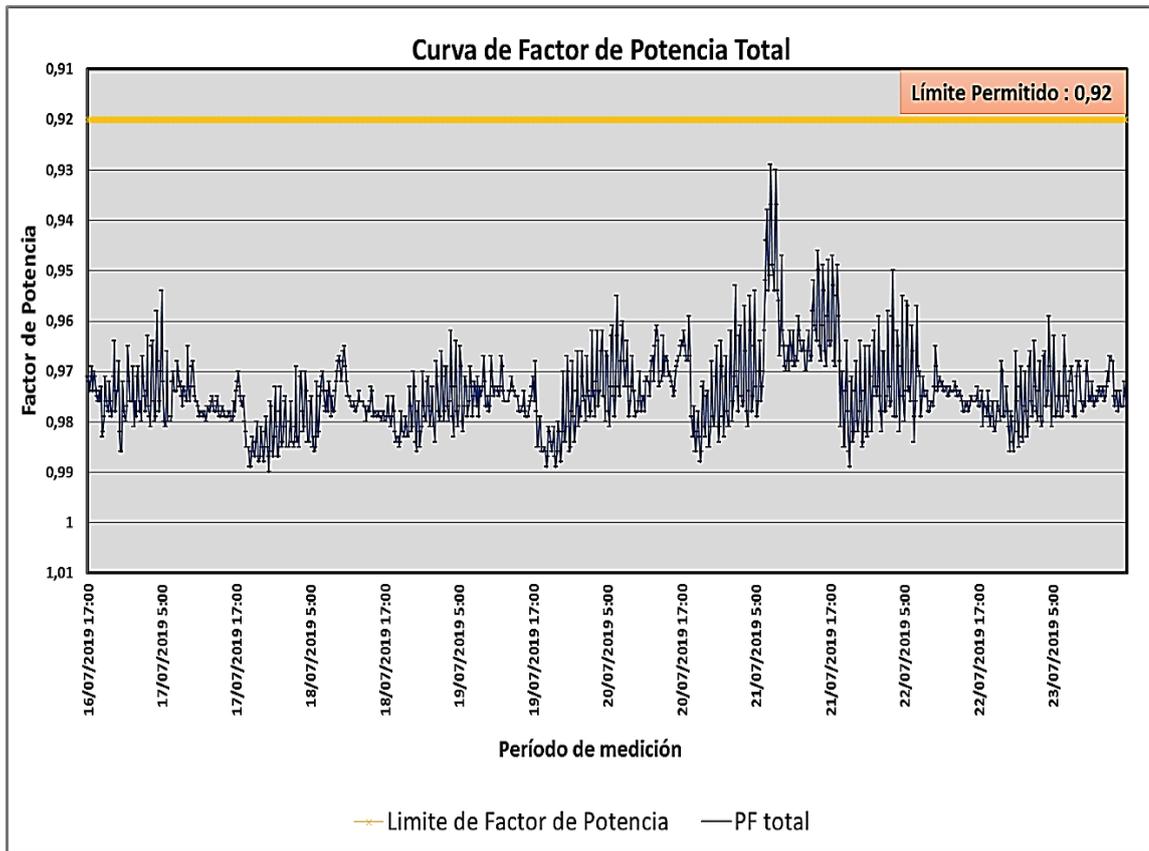
$$\frac{I_{SC-1\emptyset}}{I_{L2-1\emptyset}} = \frac{2394,98 [A]}{169,3 [A]} = 14,14$$

Para la Fase 3, la relación entre  $I_{SC-1\emptyset}$  y  $I_{L3-1\emptyset}$  es la siguiente:

$$\frac{I_{SC-1\emptyset}}{I_{L3-1\emptyset}} = \frac{2394,98 [A]}{182,3 [A]} = 13,13$$

De la Tabla A.2 ubicada en la sección de ANEXOS y que fue tomada de la regulación 053/18 de la ARCONEL, se puede indicar que para una relación entre  $I_{SC-1\emptyset}$  y  $I_{L-1\emptyset}$  menor a 20 que es lo que se obtuvo en cada fase, el porcentaje de distorsión armónica total de corriente no deberá exceder el 5% para una tolerancia del 5% del total de mediciones registradas, sin embargo, en la gráfica 3.8 se puede apreciar que el consumidor no cumple con el factor de distorsión armónica total de corriente debido a que la mayor parte de las mediciones registradas en cada línea se encuentran fuera del límite establecido por la regulación.

- **Factor de Potencia**



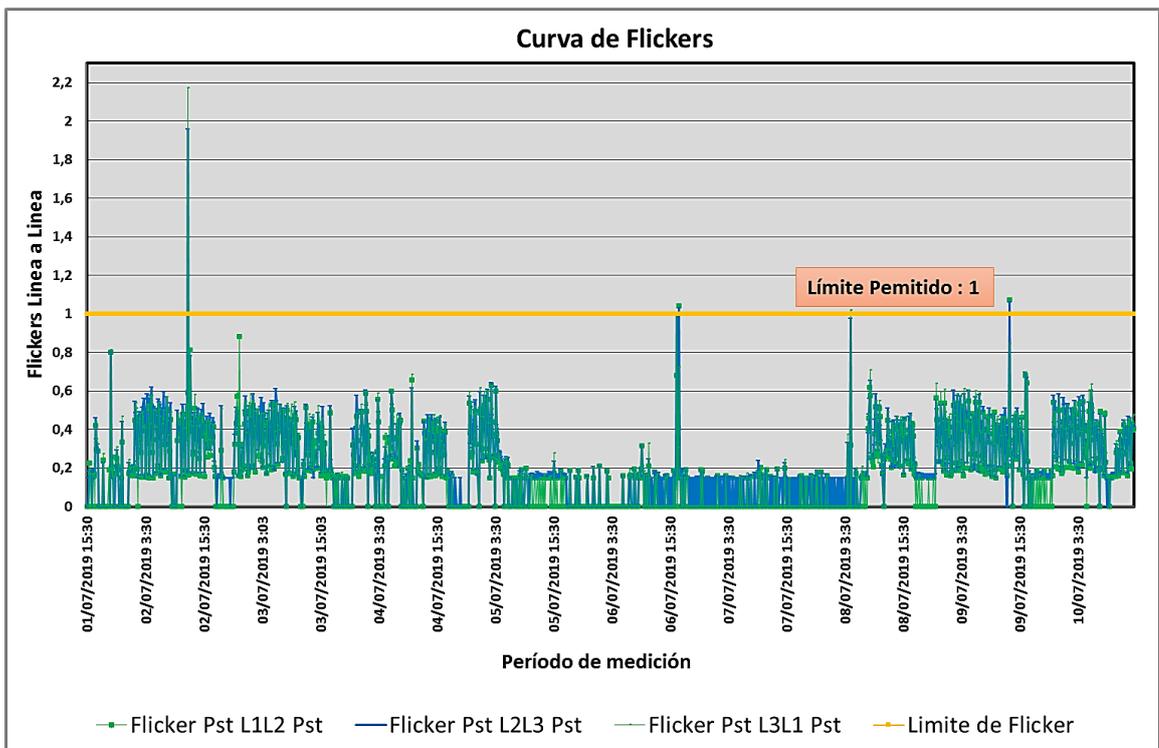
**Gráfica 3.9 Factor de Potencia Total – Rectorado ESPOL**

La Gráfica 3.9 indica que el sistema eléctrico analizado no presenta problemas por bajo factor de potencia debido a que el 100 % de los valores de factor de potencia registrados en el periodo de medición se encuentran en cumplimiento con la regulación 005/18 establecida por la ARCONEL en donde se estipula que el valor límite es 0,92, es decir todas las mediciones se encuentran dentro del límite normado y esto significa que el sistema cuenta con un factor de potencia correctamente compensado.

### 3.2.2 Análisis de datos recolectados en Depósito Aduanero

- Análisis de Fluctuaciones (Flickers)

La siguiente gráfica muestra las perturbaciones de Parpadeos de corta duración (Pst) que se registraron por el analizador de energía dentro del sistema trifásico en delta aterrizado.



**Gráfica 3.10 Flicker Pst - Depósito Aduanero.**

De acuerdo con la norma establecida en la regulación de la ARCONEL, se tomó en consideración que el suministro de electricidad si cumple con el límite admisible señalado, puesto que hay 8 puntos de medición en donde las perturbaciones se encuentran fuera del rango de tolerancia establecido.

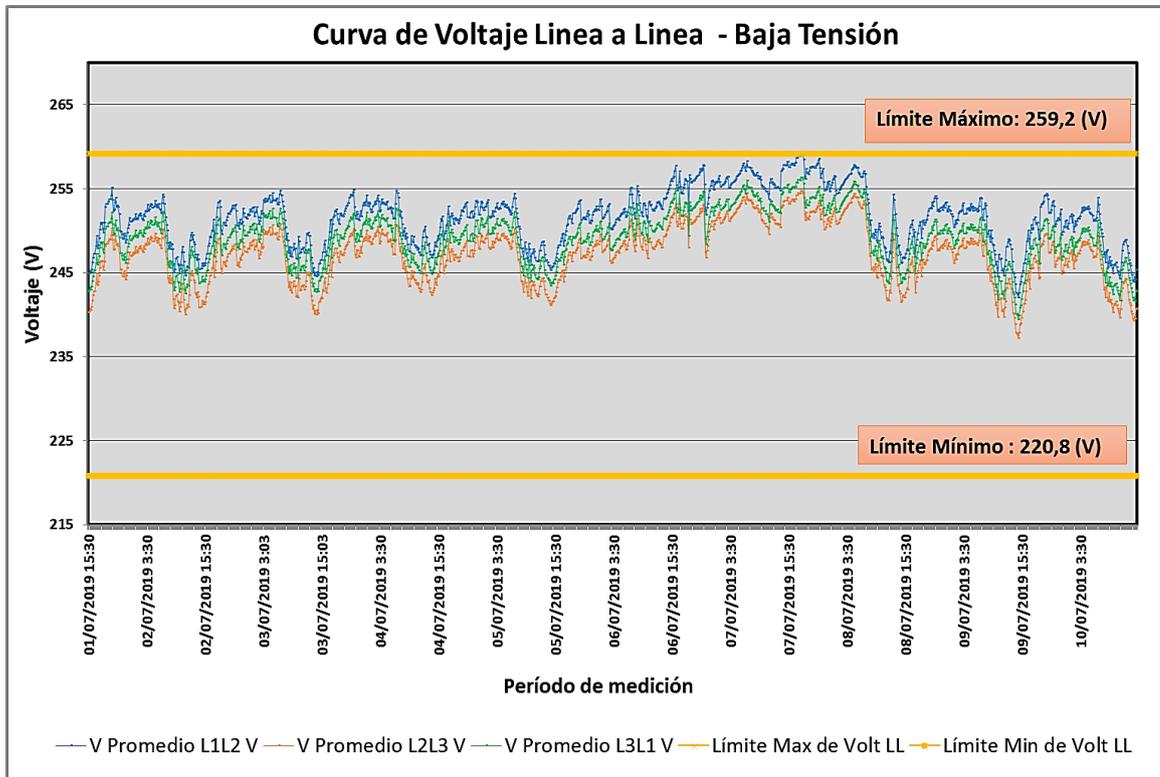
L12	L23	L31
0.15%	0.31%	0.15%

**Tabla 3.5 Porcentaje de Flicker fuera de límite**

Esto indica una muestra inferior al 5 % del período de medición de los 7 días como se puede observar en la Tabla 3.5.

## Análisis de Voltaje

- Voltaje Línea a Línea en baja tensión

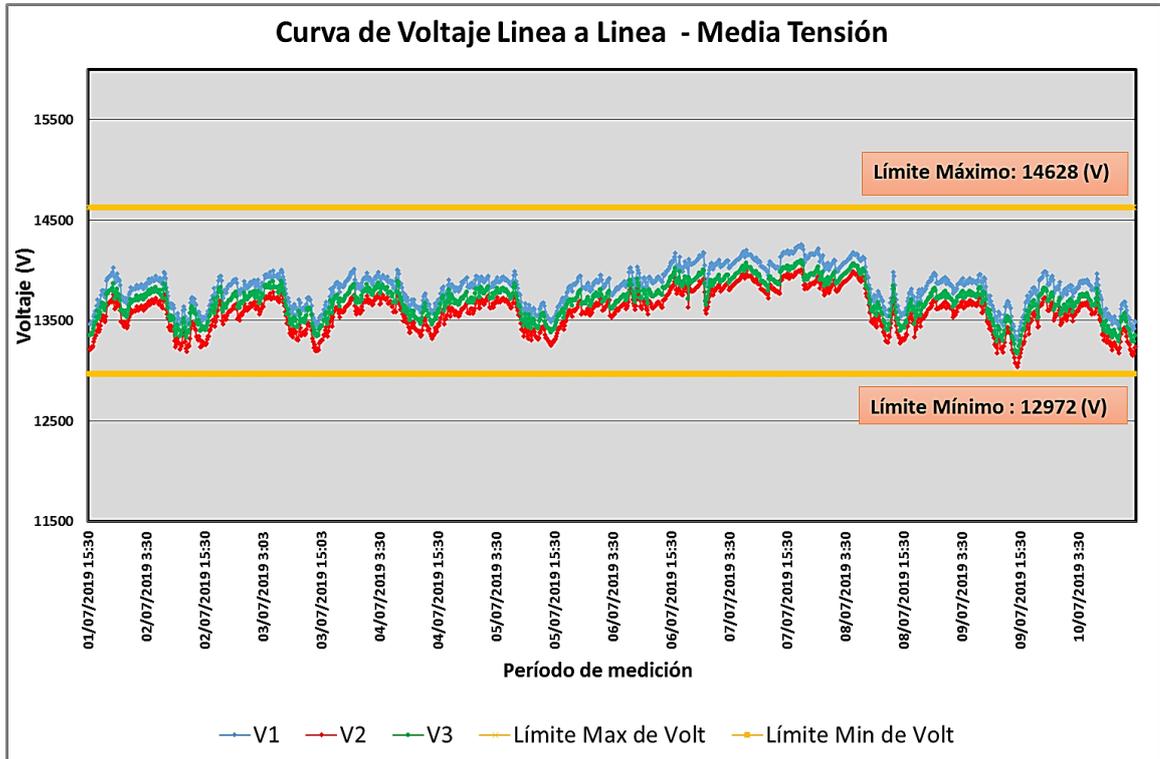


**Gráfica 3.11 Voltaje Línea a Línea en Baja Tensión - Depósito Aduanero**

El lado de baja tensión presenta una conexión del sistema en Delta aterrizado con un voltaje nominal de línea a línea de 240 V. En la Gráfica 3.11 se observa que las mediciones de voltaje no exceden el límite máximo de 259,2 V. En comparación con la regulación de la ARCONEL que estipula un rango de tolerancia del  $\pm 8\%$  del voltaje nominal y un porcentaje de tolerancia del 5% sobre el total de las mediciones por cada una de las fases, se indica que sí se está cumpliendo con esta normativa.

Se puede corroborar en el gráfico adjunto que el 100% de los valores de voltaje línea a línea registrados en el punto de medición se encuentran dentro del límite establecido por la norma.

- Voltaje Línea a Línea en Media Tensión

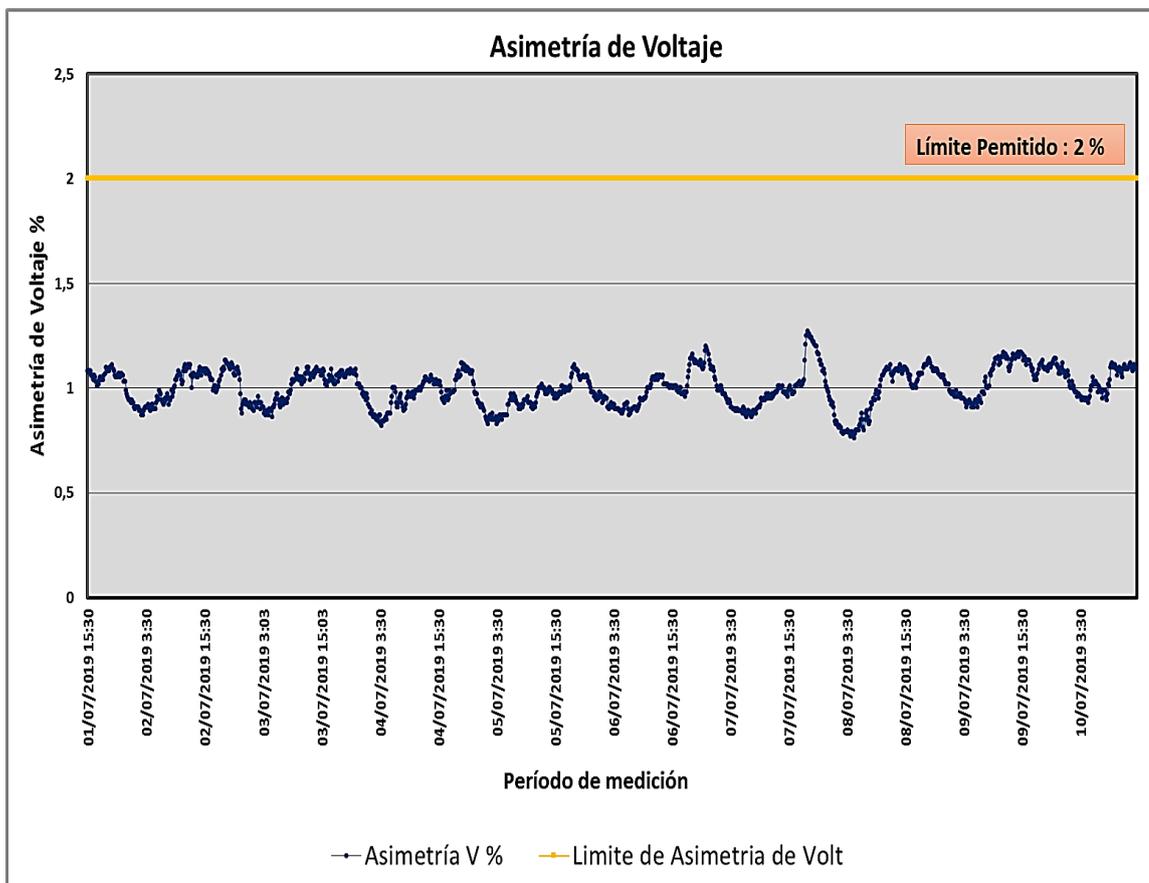


**Gráfica 3.12 Voltaje Línea a Línea en Media Tensión - Depósito Aduanero**

El lado de media tensión presenta una conexión en Estrella flotante con un voltaje nominal de línea a línea de 13800 V. En la Gráfica 3.12 se observa que las mediciones de voltaje se encuentran dentro de los límites admisibles para un rango de tolerancia del  $\pm 6\%$  del voltaje nominal con un porcentaje total de tolerancia del 5% de las mediciones por cada línea. Esto demuestra que el suministro de electricidad por parte de la empresa distribuidora cumple con la regulación de la ARCONEL.

Para este caso el 100% de los valores registrados en el punto de medición se encuentran dentro del límite establecido por la norma.

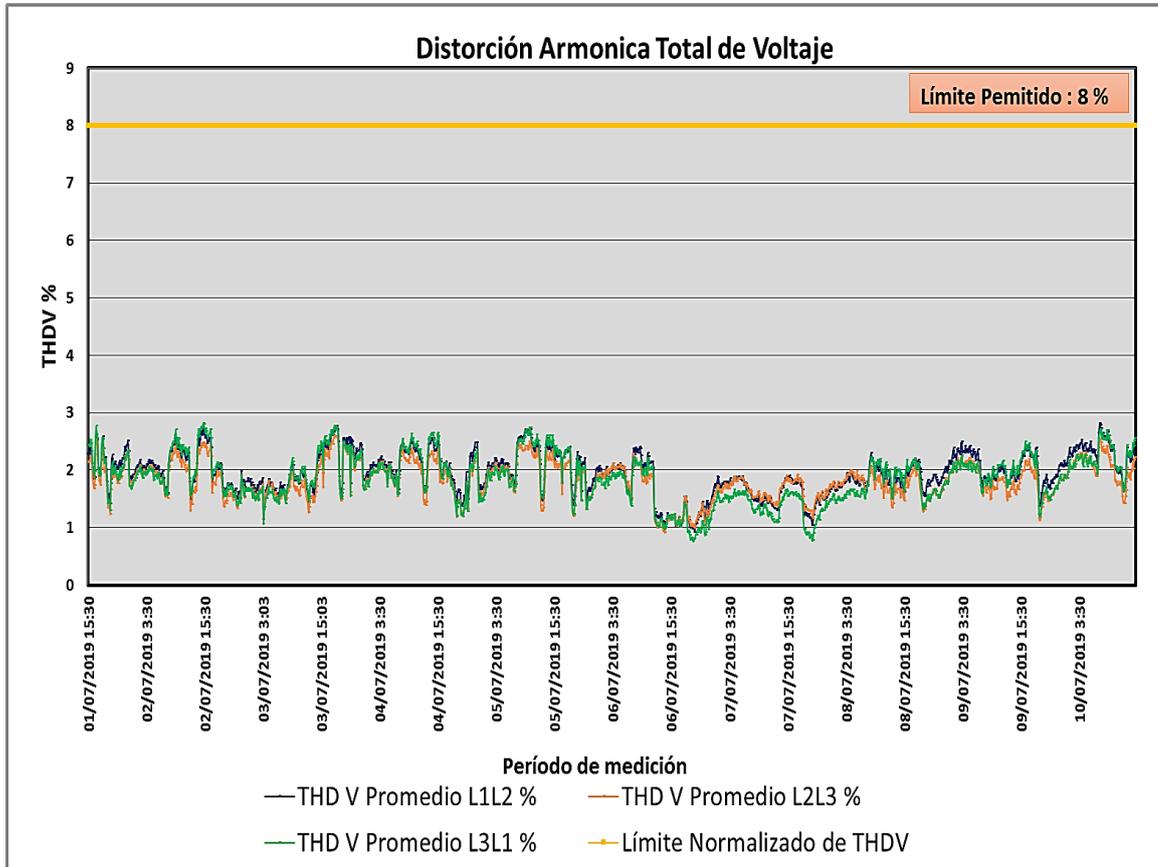
- **Asimetría de Voltaje**



**Gráfica 3.13 Asimetría de Voltaje – Depósito Aduanero**

En la Gráfica 3.13 se muestra que el 100% de las mediciones de asimetría de voltaje registradas durante 7 días en intervalos de 10 minutos, se encuentran por debajo del límite del 2% dispuesto por la ARCONEL. Por lo tanto, se consideró que la empresa distribuidora de energía eléctrica se encuentra en cumplimiento con la norma.

- **Distorsión Armónica Total de Voltaje**

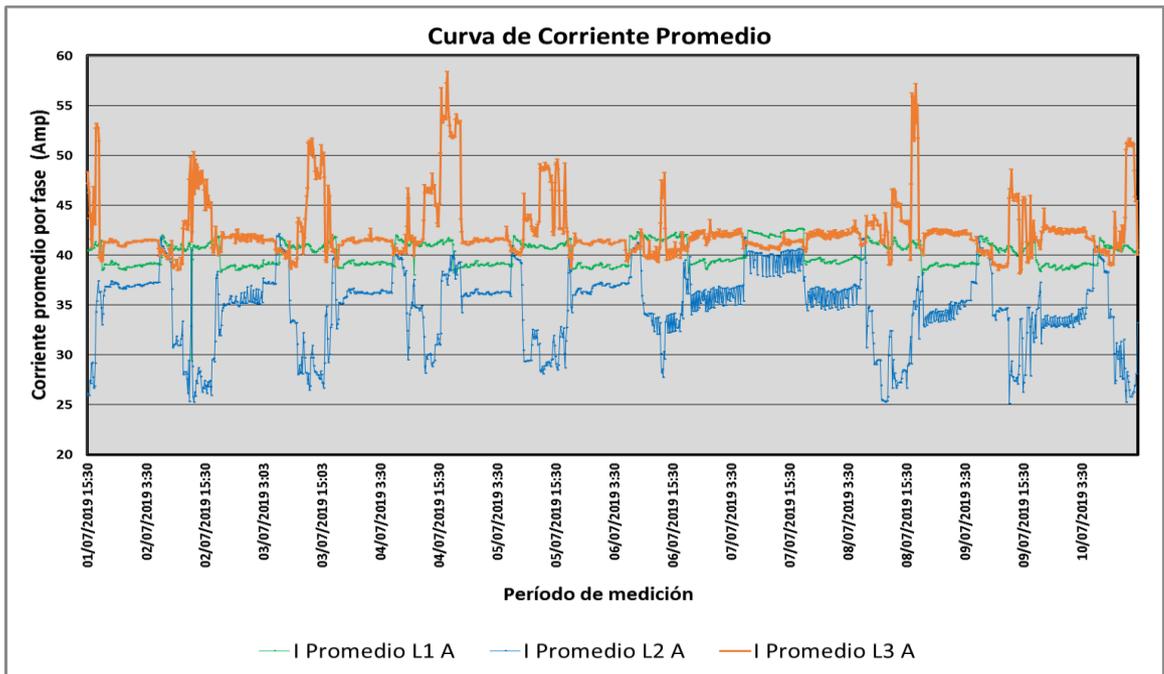


**Gráfica 3.14 Distorsión Armónica Total de Voltaje – Depósito Aduanero**

En la Gráfica 3.14 se indica claramente que la empresa distribuidora de energía eléctrica se encuentra en cumplimiento con la regulación 005/18 establecida por la ARCONEL en donde se estipula que el 95 % o más de los valores de factor de distorsión armónica total de voltaje registrados en el punto de medición se deben encontrar dentro del rango del 8% para que se considere que al empresa cumple la norma y como se puede corroborar en la gráfica proporcionada, el 100 % de los factores registrados en cada una de las fases durante el periodo de medición se encuentran por debajo del límite del 8% establecido.

- **Curva de Corriente Promedio**

La Gráfica 3.15 indica los valores de corriente que requiere la carga conectada en cada una de las líneas y se observa que por las líneas 1 y 2 circula una corriente que para cierto intervalo de tiempo llega a un valor entre 40 y 45 A, pero en el caso de la corriente requerida en la línea 3, se tienen valores que sobrepasan los 50 amperios llegando incluso a un máximo de 58,36 A.



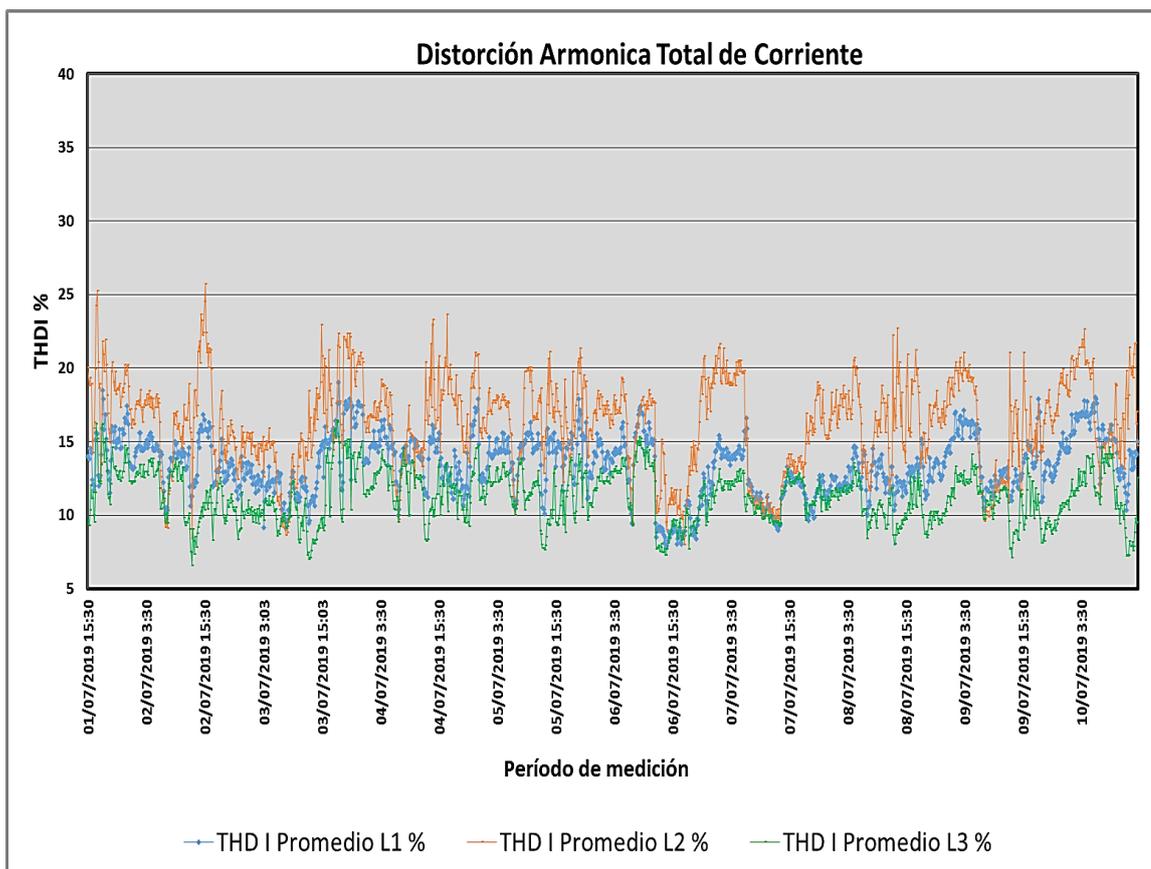
**Gráfica 3.15 Corriente Promedio – Depósito Aduanero**

A continuación, se puede observar en la Tabla 3.6 los valores tabulados de corriente promedio, el valor máximo de corriente en la línea 3 se debe a que la mayor parte de la carga monofásica es alimentada desde la fase 3 lo cual provoca el aumento de corriente por la línea y tiene como consecuencia el incremento de pérdidas de energía a causa del sobrecalentamiento del conductor al circular una mayor corriente.

CORRIENTE PROMEDIO (A)		
L1	L2	L3
42,63	42,09	58,36

**Tabla 3.6 Corriente Promedio – Depósito Aduanero**

- **Armónicos de Corriente THDI**



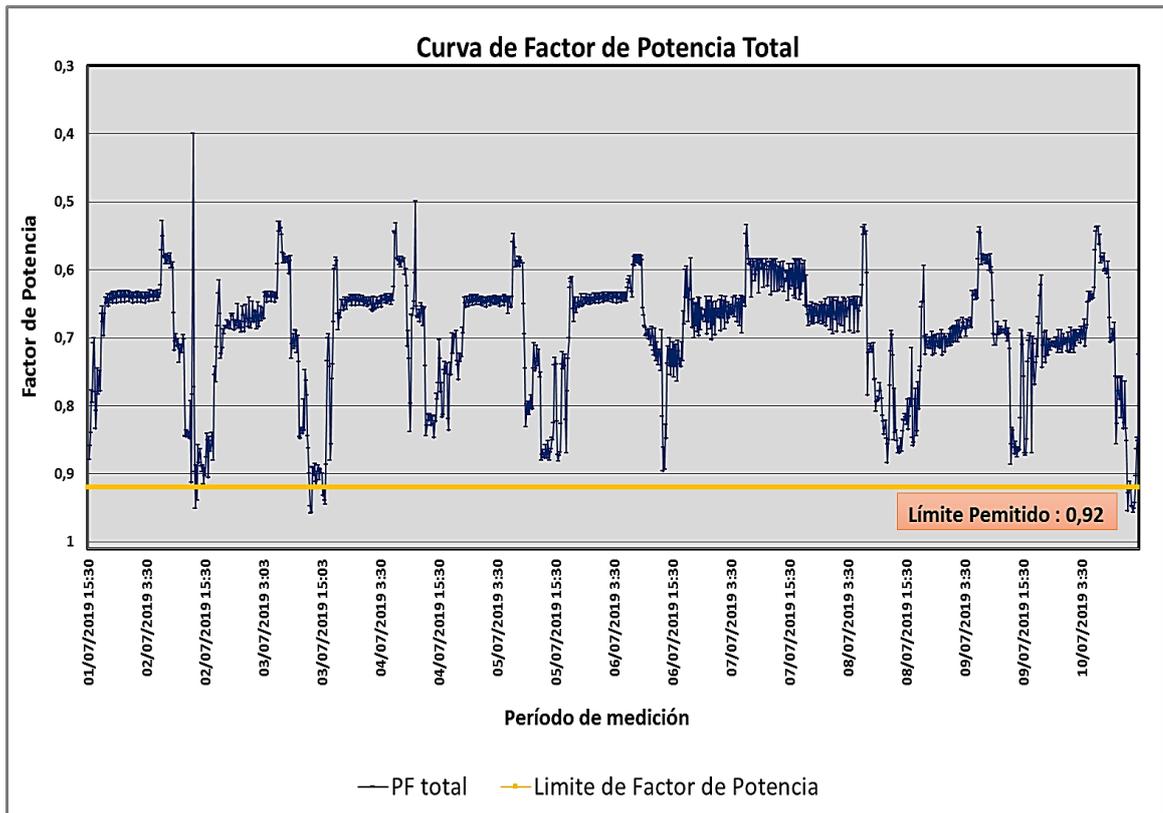
**Gráfica 3.16 Distorsión Armónica Total de Corriente – Depósito Aduanero**

L1	L2	L3
0 %	11 %	0 %

**Tabla 3.7 Porcentaje de THDI fuera del límite**

Para este caso se tiene que el límite de distorsión armónica total de corriente no deberá exceder del 20 % de acuerdo con la Tabla A.2 tomada de la regulación 053/18 de la ARCONEL, para una tolerancia del 5% del total de mediciones registradas. Se puede observar en la Tabla 3.7 y en la Gráfica 3.16 que el porcentaje de mediciones de THDI fuera de límite para las líneas 1 y 3, está por debajo del 5% que establece la norma, sin embargo, para el caso de la línea 2 este porcentaje se encuentra fuera del límite definido por la regulación.

- **Factor de Potencia**



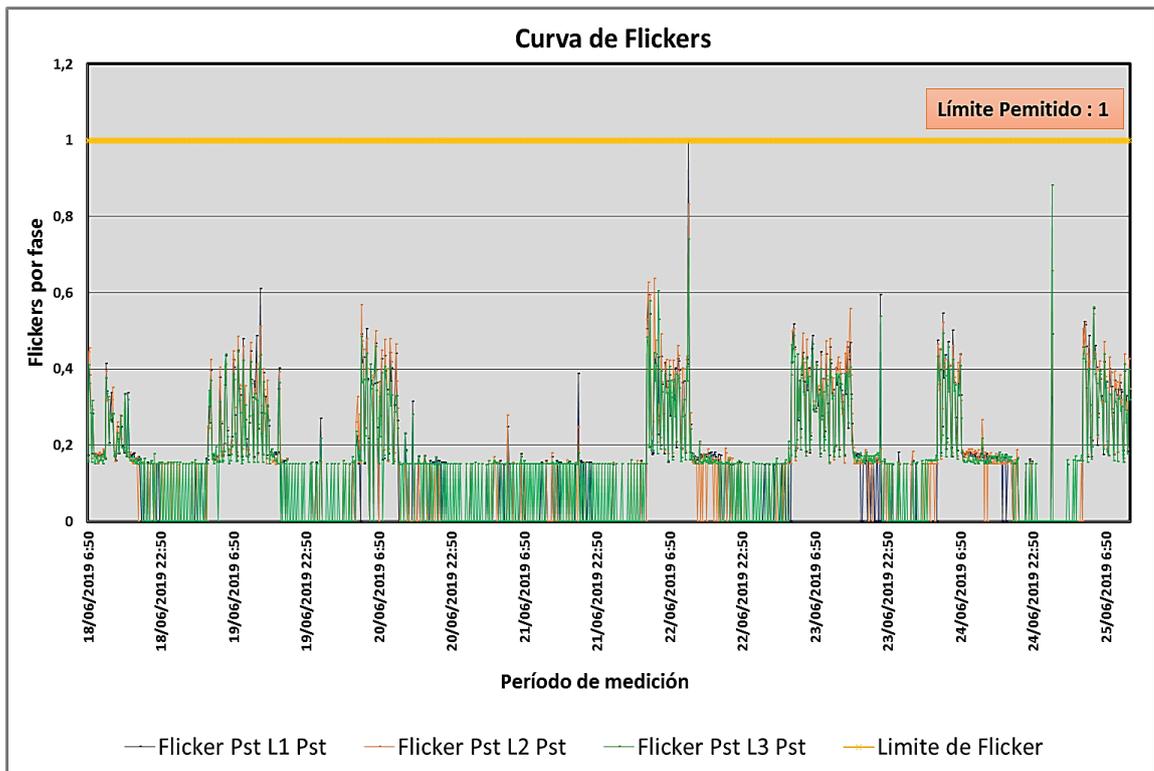
**Gráfica 3.17 Factor de Potencia Total – Depósito Aduanero**

La Gráfica 3.17 indica que el sistema analizado presenta problemas por bajo factor de potencia debido a que el 98,69 % de los valores de factor de potencia registrados en el periodo de medición no cumplen con la regulación 005/18 establecida por la ARCONEL en donde se estipula que el valor límite es 0,92. En este caso la mayor parte de las mediciones se encuentran fuera del límite normado lo que significa que el sistema eléctrico necesita que su factor de potencia sea compensado con la finalidad de evitar algún tipo de penalización por parte de la empresa distribuidora de energía eléctrica al estar consumiendo reactivos de la red eléctrica.

### 3.2.3 Análisis de datos recolectados en Exportadora de Banano

- Análisis de Fluctuaciones (Flickers)

La siguiente gráfica proporcionada por el registrador de calidad de energía muestra las perturbaciones de Parpadeo de corta duración (Pst) en cada una de las fases.

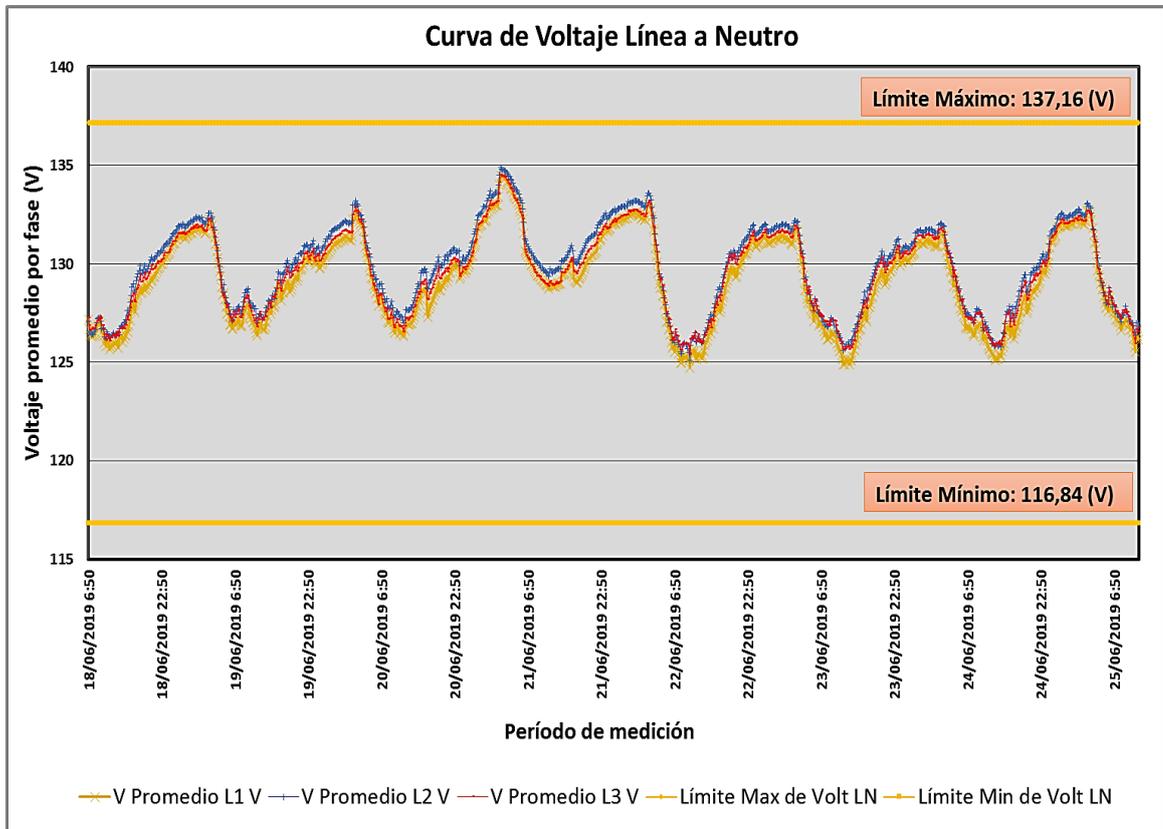


**Gráfica 3.18 Flicker Pst - Exportadora de Banano**

Como se puede observar en la Gráfica 3.18 no existen puntos de medición en donde las perturbaciones se encuentren fuera del límite máximo estipulado en la regulación. Por lo tanto, se considera que el suministro de electricidad si cumple con el límite admisible de acuerdo con lo establecido en la norma.

## Análisis de Voltaje

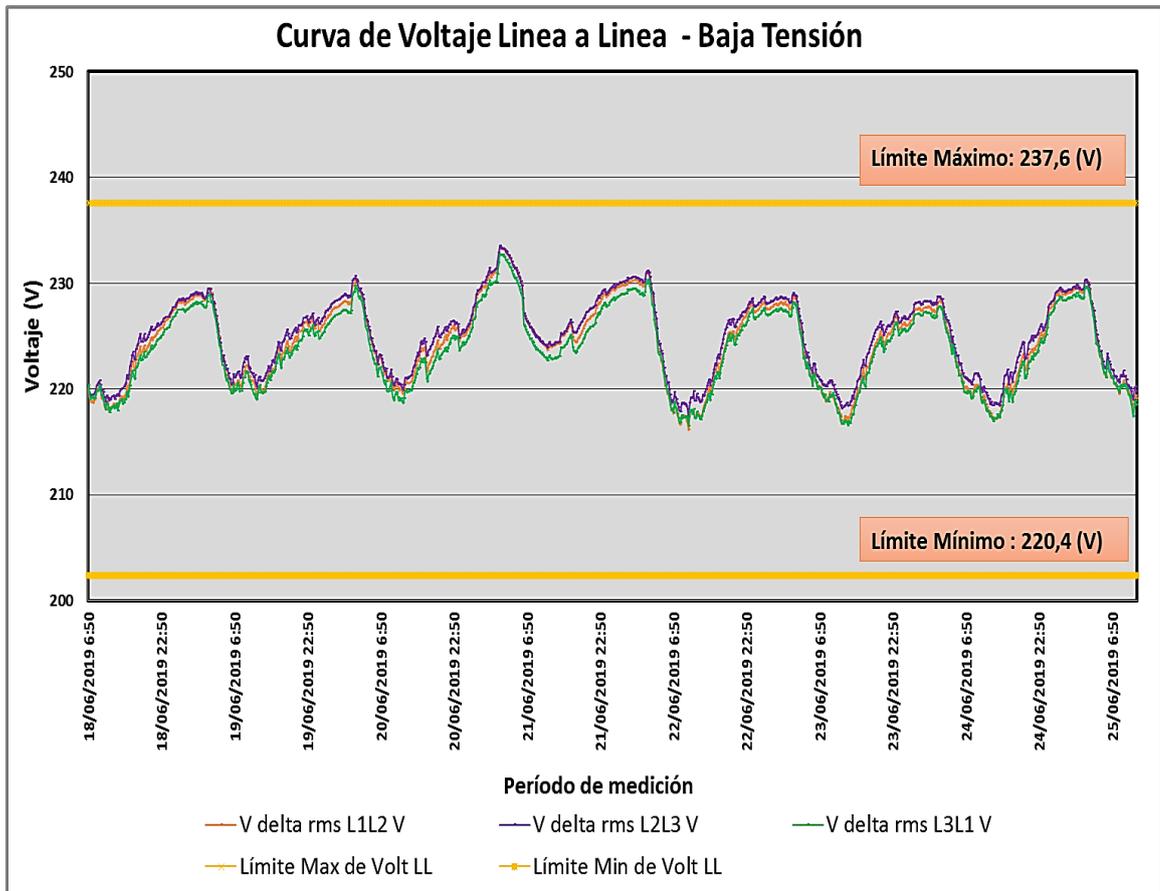
- Voltaje Línea a Neutro en baja tensión



**Gráfica 3.19 Voltaje Línea a Neutro en baja tensión – Exportadora de Banano**

El lado de baja tensión presenta una conexión en Estrella aterrizado con un voltaje nominal de línea a neutro de 127 V. En la Gráfica 3.19 se observa que las mediciones de voltaje registradas en el punto de medición no exceden los límites estipulados según la regulación 005/18 de la ARCONEL, la cual indica que el 95% o más de las mediciones deben encontrarse dentro del rango del  $\pm 8\%$  del voltaje nominal para que se pueda considerar que la empresa de distribución eléctrica se encuentra en cumplimiento con la norma entregando un voltaje óptimo al consumidor.

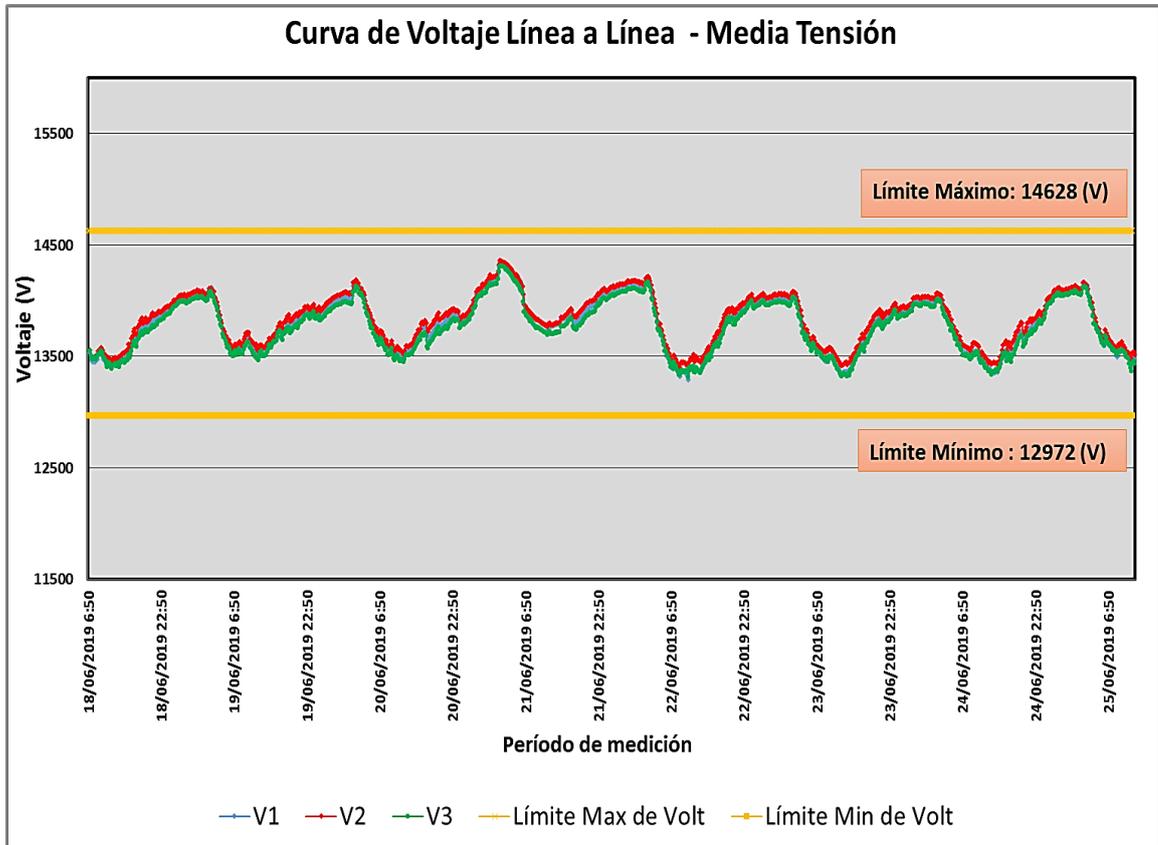
- Voltaje Línea a Línea en Baja Tensión



**Gráfica 3.20 Voltaje Línea a Línea en Baja Tensión – Exportadora de Banano**

El lado de baja tensión presenta una conexión en Estrella aterrizado con un voltaje nominal de línea a línea de 220 V. Realizando una comparación del resultado obtenido en la Gráfica 3.20 con respecto a la regulación 005/18, se puede indicar que la empresa distribidora está en cumplimiento con la norma ya que el 100 % de los valores registrados durante el periodo de medición se encuentran dentro del límite del  $\pm 8\%$  respecto al voltaje nominal.

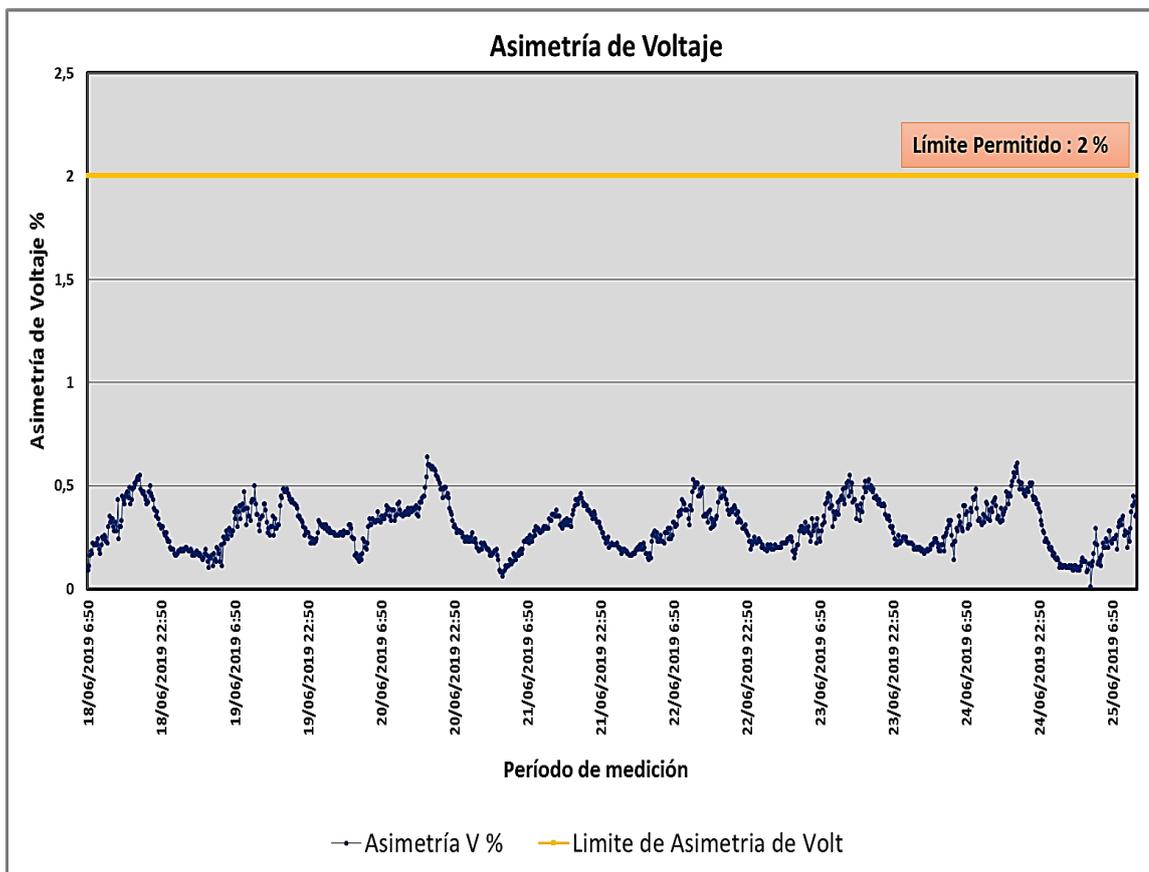
- Voltaje Línea a Línea en Media Tensión



**Gráfica 3.21 Voltaje Línea a Línea en Media Tensión – Exportadora de Banano**

El lado de media tensión presenta una conexión en Delta con voltaje nominal de línea a línea de 13800 V. Se puede observar en la Gráfica 3.21 que al referir los voltajes de baja tensión a media tensión tomando en consideración la posición 2 del Tap, se tiene que el 100% de los valores referidos se encuentran dentro del límite del  $\pm 6\%$  del voltaje nominal establecido por la ARCONEL, esto permite indicar que la empresa distribuidora está en cumplimiento con el voltaje de entrega al consumidor.

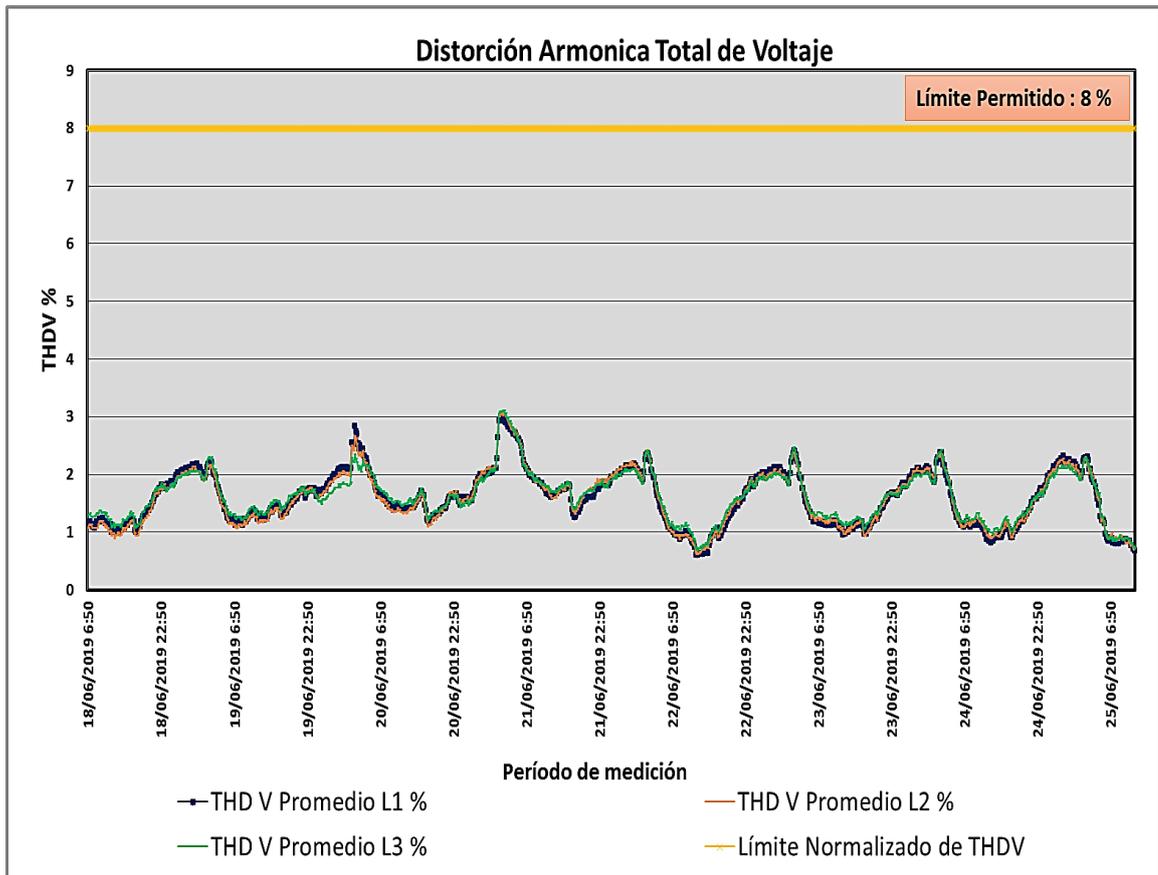
- **Asimetría de Voltaje**



**Gráfica 3.22 Asimetría de Voltaje – Exportadora de Banano**

La Gráfica 3.22 indica que el sistema analizado no presenta problemas por desbalance de voltaje ya que como se observa en la gráfica, las 1008 mediciones registradas durante 7 días en intervalos de 10 minutos se encuentran por debajo del límite del 2% dispuesto por la ARCONEL. Por lo tanto, se considera que la empresa distribuidora de energía eléctrica se encuentra en cumplimiento con la norma.

- **Distorsión Armónica Total de Voltaje**

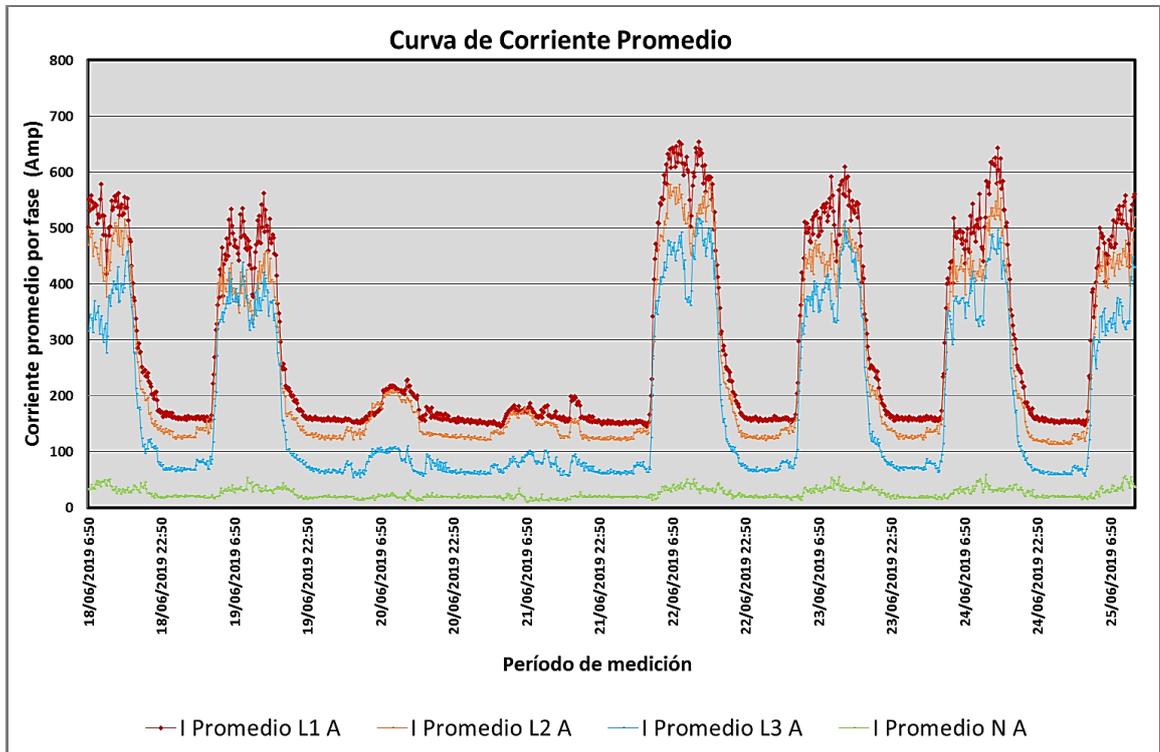


**Gráfica 3.23 Distorsión Armónica Total de Voltaje – Exportadora de Banano**

Respecto a la Gráfica 3.23 podemos indicar que la empresa distribuidora de energía eléctrica se encuentra en cumplimiento con el factor de distorsión armónica total de voltaje ya que como se observa, los 1008 datos registrados durante el periodo de medición de una semana se encuentran dentro del rango del 8% dispuesto por la ARCONEL en la regulación 005/18.

## Análisis de Corriente

- Curva de Corriente Promedio



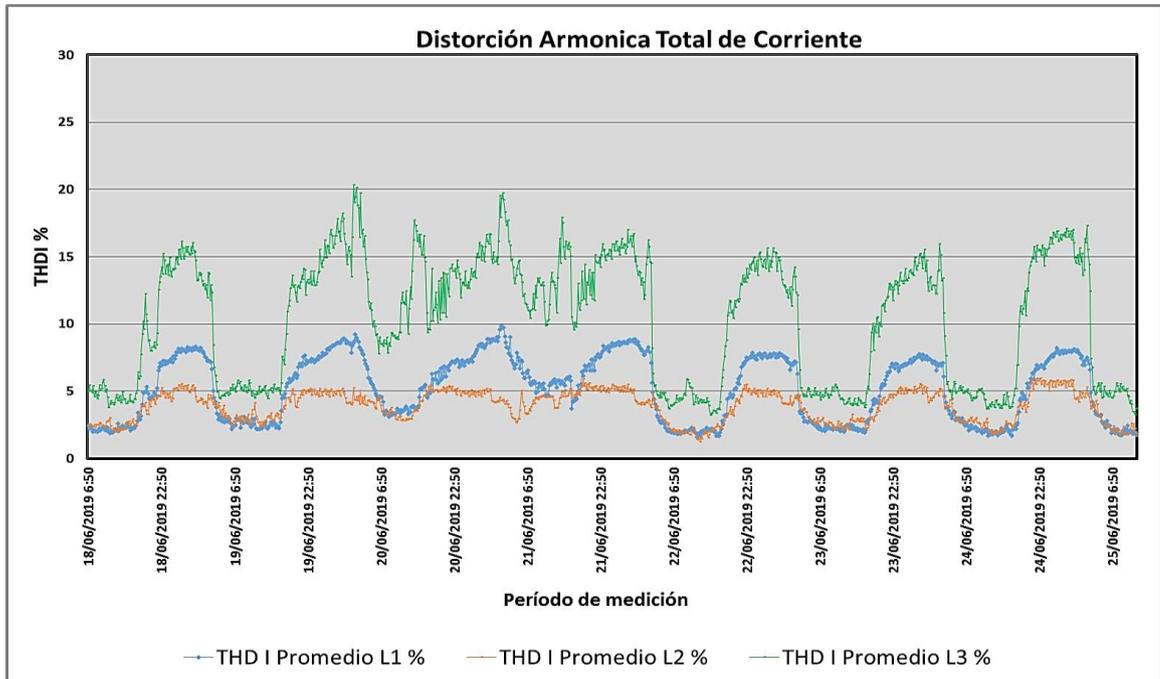
**Gráfica 3.24 Corriente Promedio – Exportadora de Banano**

CORRIENTE PROMEDIO (A)			
L1	L2	L3	N
654,60	580,40	516,70	58,10

**Tabla 3.8 Corriente Promedio Máxima – Exportadora de Banano**

La Grafica 3.24 al igual que la Tabla 3.8 indica el valor de corriente promedio máxima que demanda la carga conectada a cada una de las líneas y se puede observar que se presenta un sistema desbalanceado debido a que las corrientes de línea difieren entre si provocando a su vez la circulación de corriente a través del neutro con un valor promedio de 58,10 A y si la sección de dicho conductor es delgada este tendería a calentarse e incluso el material aislante del conductor podría quemarse provocando daños en el sistema eléctrico que lo dejarían fuera de servicio por un intervalo de tiempo.

- **Armónicos de Corriente THDI**



**Gráfica 3.25 Distorsión Armónica Total de Corriente – Exportadora de Banano**

El proceso que se realiza a continuación es para indicar si el porcentaje de distorsión armónica total de corriente registrado en el periodo de medición se encuentra dentro de los límites establecidos por la regulación de la ARCONEL.

En la Tabla A.3, ubicada en la sección de ANEXOS se tiene una corriente de cortocircuito monofásica de 7312,38 A para la Exportadora de Banano la cual es alimentada desde la Subestación Ceibos 1 a un nivel de tensión de 13.8 [KV].

De las mediciones registradas con el analizador de energía se obtuvieron las siguientes corrientes monofásicas para una máxima demanda.

- Línea 1 con una corriente de 654,60 [A]
- Línea 2 con una corriente de 580,40 [A]
- Línea 3 con una corriente de 516,70 [A]

Para la Fase 1, la relación entre  $I_{SC-1\emptyset}$  y  $I_{L1-1\emptyset}$  es la siguiente:

$$\frac{I_{SC-1\emptyset}}{I_{L1-1\emptyset}} = \frac{7312,38 [A]}{654,60 [A]} = 11,17$$

Para la Fase 2, la relación entre  $I_{SC-1\emptyset}$  y  $I_{L2-1\emptyset}$  es la siguiente:

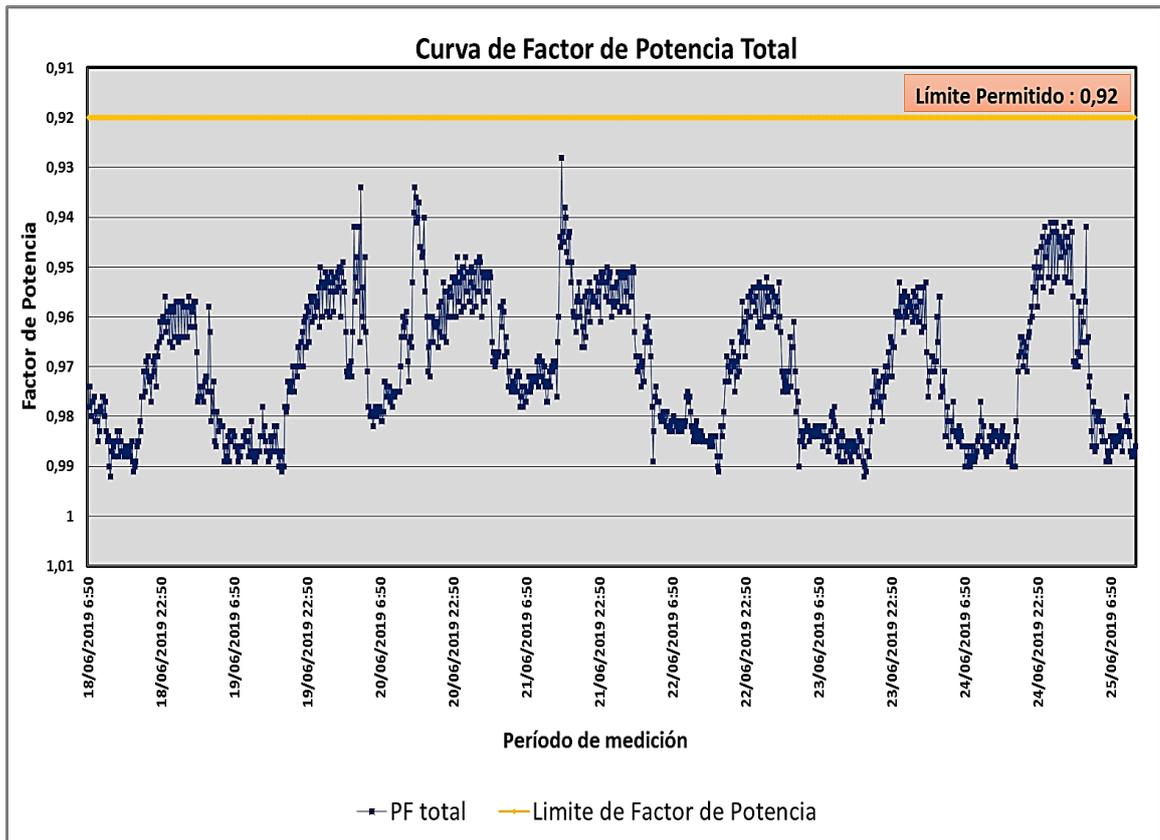
$$\frac{I_{SC-1\emptyset}}{I_{L2-1\emptyset}} = \frac{7312,38 [A]}{580,40 [A]} = 12,59$$

Para la Fase 3, la relación entre  $I_{SC-1\emptyset}$  y  $I_{L3-1\emptyset}$  es la siguiente:

$$\frac{I_{SC-1\emptyset}}{I_{L3-1\emptyset}} = \frac{7312,38 [A]}{516,70 [A]} = 14,15$$

De la Tabla A.2 ubicada en la sección de ANEXOS y que fue tomada de la regulación 053/18 de la ARCONEL, se puede indicar que para una relación entre  $I_{SC-1\emptyset}$  y  $I_{L-1\emptyset}$  menor a 20 que es lo que se obtuvo en cada fase, el porcentaje de distorsión armónica total de corriente no deberá exceder el 5% para una tolerancia del 5% del total de mediciones registradas, sin embargo, en la Gráfica 3.25 se puede apreciar que el consumidor no cumple con el factor de distorsión armónica total de corriente debido a que un porcentaje mayor al 5 % de las mediciones registradas en cada línea se encuentran fuera del límite establecido por la regulación.

- **Factor de Potencia**



**Gráfica 3.26 Curva de Factor de Potencia Total – Exportadora de banano**

Como se puede observar en la Gráfica 3.26, no existen puntos de medición de factor de potencia que se encuentren incumpliendo el límite de 0,92 estipulado en la regulación 005/18. Por lo tanto, se considera que el sistema eléctrico analizado no presenta inconvenientes por bajo factor de potencia ya que todas las mediciones se encuentran dentro del límite normado y esto finalmente indica que el sistema cuenta con un factor de potencia compensado.

### **3.3 Propuestas para mejoramiento de Calidad de la Energía**

En conformidad con la normativa propuesta por la ARCONEL se analizó diferentes propuestas para solucionar y mejorar los problemas de calidad de la energía en los tres lugares en donde se efectuó la medición, tomando en consideración un análisis de costos posteriormente. A continuación, se muestra un diagnóstico en el que se analizó diferentes soluciones para los problemas existentes de baja calidad de la energía por cada lugar de medición.

#### **3.3.1 Diagnóstico de Rectorado ESPOL**

De acuerdo con la comparación de los resultados que fue realizada anteriormente se identificó que los parámetros de medición de corriente presentan una condición crítica de tal manera que además que no se cumple con la norma, presentan problemas que se mencionan a continuación y que conllevan a una mala calidad del suministro eléctrico produciendo pérdidas económicas y de energía.

- Desbalance de corrientes
- Distorsión Armónica de corriente

Dentro de las propuestas de solución se menciona balancear las cargas por fase para el problema de desbalance de corriente y el diseño de un filtro de armónicos o instalación de un transformador de aislamiento para el problema de distorsión armónica.

#### **3.3.2 Diagnóstico de Depósito Aduanero**

El depósito Aduanero presenta problemas de bajo factor de potencia, de acuerdo con lo analizado en la gráfica de factor de potencia total. El valor promedio de factor de potencia que presenta esta empresa es 0.69, requiriendo un factor de corrección de 0.92 como mínimo de acuerdo con la norma. Por tal razón, se calculó la potencia reactiva que se requeriría para compensación de factor de potencia a 0.96, se tomó en consideración este valor debido a que los capacitores pueden presentar un rango de tolerancia del  $\pm 2\%$  de la capacidad nominal que indica y además este nuevo factor de potencia de 0.96 es un valor superior a lo que establece la norma.

La siguiente ecuación 3.1 permite calcular la potencia reactiva que se requiere en función de la demanda.

$$Q_{requerida} = P \times [\tan(\theta_{actual}) - \tan(\theta_{deseado})] [Kvar] \quad (3.1)$$

Donde;

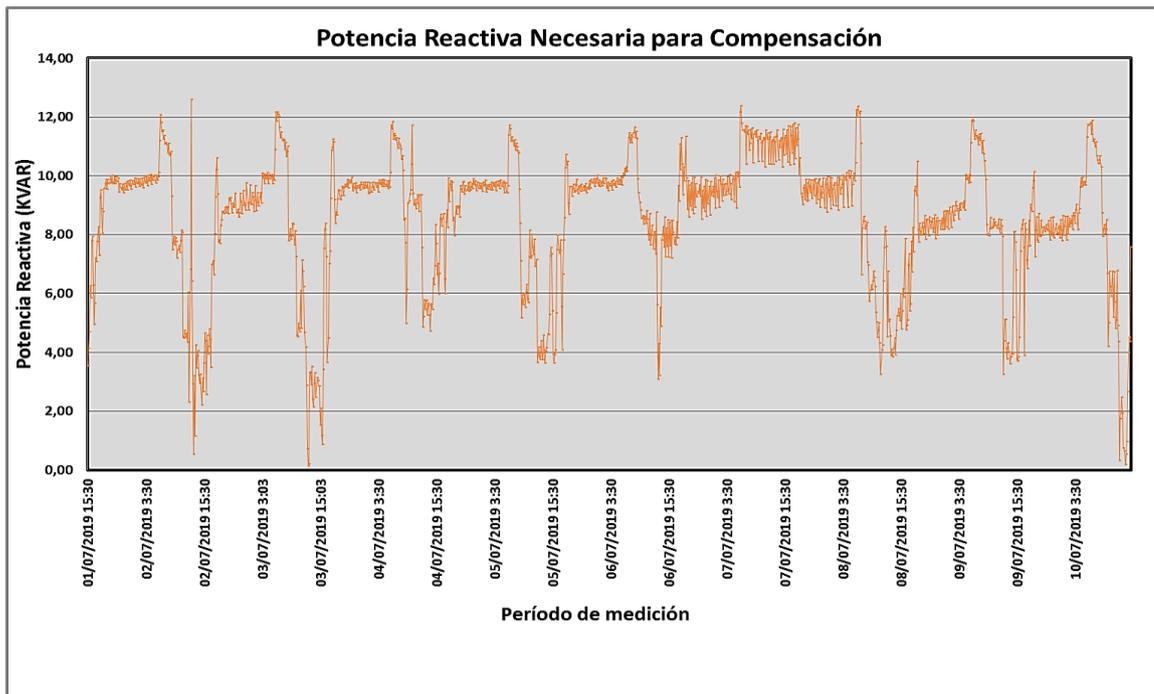
Q: Potencia reactiva que se requiere para compensación [KVAR]

P: Potencia Activa [KW]

$\theta_{actual}$ : Ángulo de Factor de potencia actual,  $\cos^{-1}(F.P. actual)$

$\theta_{deseado}$ : Ángulo de Factor de potencia deseado,  $\cos^{-1}(F.P. deseado)$

Aplicando la ecuación para las 1008 mediciones de demanda de potencia activa registradas por el equipo analizador de redes se obtuvo de manera gráfica y tabulada los valores de potencia reactiva que indican en qué momento se requiere la compensación.



**Gráfica 3.27 Potencia Reactiva Requerida**

En la Gráfica 3.27 se observa los valores de potencia reactiva que se necesita para compensar el factor de potencia. El comportamiento que se muestra en la gráfica, indica que se requiere usualmente de potencia reactiva durante los intervalos desde la mañana hasta la tarde y esto es entendible debido a que en el día es cuando existe una mayor demanda de energía por las actividades que se realizan, mientras que, en los intervalos de la noche, se tiene una potencia reactiva que va disminuyendo. Por lo tanto, se deduce que la potencia reactiva requerida por el banco de capacitores no es completamente constante durante el día.

A continuación, se presenta de manera tabulada en la Tabla 3.9 un resumen de las mediciones más importantes con las potencias reactivas que se requieren para compensar el sistema a un Factor de potencia de 0.96.

	<b>P total (KW)</b>	<b>Q total (KVAR)</b>	<b>Qc Requerido (KVAR)</b>
<b>Máximo</b>	16.39	15.15	12.58
<b>Mínimo</b>	6.29	4.75	0.12
<b>Promedio</b>	11.57	11.92	8.55

**Tabla 3.9 Valores Máximo, Mínimo y Promedio**

Con los datos más importantes de la Tabla 3.9 se propuso el dimensionamiento de un banco de capacitores que permita una regulación de potencia reactiva, debido a que existen intervalos de tiempo en que no se requiere compensación. Por tal razón, se propuso diseñar un banco de capacitores automático o por pasos, que aporte con la potencia reactiva que se requiera en el momento adecuado y así evitar sobrecompensaciones en el sistema.

Para dimensionar la capacidad del banco de capacitores se tomó en consideración el valor máximo de potencia reactiva requerida que corresponde a la demanda máxima. En este caso, se diseñó un banco de capacitores automático que cubra una capacidad de 12.58 KVAR.

### **3.3.3 Diagnóstico de Exportadora de Banano**

La empresa exportadora de banano presenta la misma situación que el edificio de Rectorado de ESPOL en cuanto a problemas de desbalance de corriente y

contenido de armónicos. A diferencia del edificio de Rectorado de ESPOL, la exportadora de Banano no presenta un alto contenido de armónicos.

Las soluciones que se analizan son balanceo de las cargas por fase, y la propuesta de un diseño de filtro de armónicos o instalación de un transformador de aislamiento.

### 3.4 Diseño de un banco de capacitores para Deposito aduanero

Anteriormente se calculó la potencia reactiva que se requería para dimensionar el banco de capacitores, que es 12.58 KVAR. Con los datos de esta potencia se tiene que comercialmente se puede utilizar dos capacitores de 5 KVAR y un capacitor de 2.5 KVAR que operen a 240V.



Ilustración 3.5 Tipos de capacitores tubulares

- Corriente para Breaker Principal

$$I_n = \frac{Q_c}{\sqrt{3} \times V_{LL}} [A] \quad (3.2)$$

$$I_n = \frac{12.5 \text{ Kvar}}{\sqrt{3} \times 240 \text{ V}} = 30.07 [A]$$

$$I_{Breaker} = 1.5 \times I_n [A] \quad (3.3)$$

$$I_{Breaker} = 1.5 \times 30.07 = 45.1 [A]$$

⇒ Breaker 3P – 50 [A]

Por lo tanto, se escoge un breaker 3 polos, tipo caja moldeada con una capacidad de 50 A.



Ilustración 3.6 Breaker 3P – 50 A Caja moldeada

- **Pletinas de cobre**

Con el valor de la corriente para el banco de capacitores se determinó a su vez las dimensiones de la pletina de cobre que conectara la parte de fuerza del tablero. Se tomó en consideración una pletina sobredimensionada para el valor de corriente de 50 A debido al espesor de las barras y al esfuerzo mecánico que resiste, una barra muy delgada no permite la conexión de los pernos, por lo tanto, se escogió una barra que soporta hasta 200 A con unas dimensiones de 1/8x3/4”.

- **Corriente de nominal de Capacitores**

Para el cálculo de la corriente de los capacitores usaremos un factor de seguridad de 1.5.

$$I_{Capacitor\ 5\ Kvar} = \frac{5\ Kvar}{\sqrt{3} \times 240\ V} = 12\ [A]$$

$$I_{Capacitor\ 5kvar} = 12 \times 1.5 = 18\ A\ (con\ factor\ de\ seguridad)$$

$$I_{Capacitor\ 2.5\ Kvar} = \frac{2.5\ Kvar}{\sqrt{3} \times 240\ V} = 6\ [A]$$

$$I_{\text{Capacitor } 2.5\text{kvar}} = 6 \times 1.5 = 9 \text{ A (con factor de seguridad)}$$

- **Corriente de Contactores**

El ingreso y la desconexión de los capacitores en el sistema producen elevadas corrientes que están asociadas a variaciones de voltaje transitorias que podrían causar daños tanto en el contactor como en los contactos del capacitor durante las maniobras de conmutación. Por tal razón se escoge dimensionar los contactores a una corriente igual a dos veces la corriente nominal.

$$I_{\text{Contactor}} = 2 \times I_n \text{ [ A ]} \tag{3.4}$$

$$I_{\text{Contactor-5KVAR}} = 2 \times 12 = 24 \text{ [ A ]}$$

$$I_{\text{Contactor-2.5KVAR}} = 2 \times 6 = 12 \text{ [ A ]}$$



**Ilustración 3.7 Contactores**

- **Fusibles**

En base al cálculo de corriente nominal más factor de seguridad se busca los fusibles más aproximados a los valores calculados que existen en el mercado.

1 Fusible NH00C DIX 16 [ A ]

2 Fusible NH00C DIX 25 [ A ]

Estos fusibles van montados sobre bases porta fusibles de tipo cerámico, CSC NH-00 con capacidad máxima de 160 A, las bases están sujetas a la carcasa del tablero de manera fija.



**Ilustración 3.8 Fusibles delgados NH00C DIX**



**Ilustración 3.9 Bases para fusibles CSC NH - 00**

- **Conductor para Capacitores**

$$I_{\text{Capacitor } 5Kvar} = 1.3 \times 12 = 16 \text{ [A]} \Rightarrow \text{conductor No.10 THHN}$$

$$I_{\text{Capacitor } 5Kvar} = 1.3 \times 6 = 7.8 \text{ [A]} \Rightarrow \text{conductor No.12 THHN}$$

- **Cálculo del Transformador de Corriente**

$$S = \frac{P}{FP} \text{ [KVA]} \tag{3.5}$$

$$I_L = \frac{S}{\sqrt{3} \times 240 \text{ V}} \text{ [A]} \tag{3.6}$$

Para el dimensionamiento del transformador de corriente del banco de capacitores se emplea la fórmula 3.6 con los datos de demanda máxima registrada que es 16.4 KW. Sin embargo, el banco de transformadores es 125KVA y se toma este valor para el transformador de corriente a futuras ampliaciones.

$$I_L = \frac{125}{\sqrt{3} \times 240 V} [A]$$

$$I_L = 300.7 [A]$$

Este resultado indica que se utiliza un transformador de corriente con una relación de 60/5



**Ilustración 3.10 Transformador Corriente CSC 300/5A CL:1**

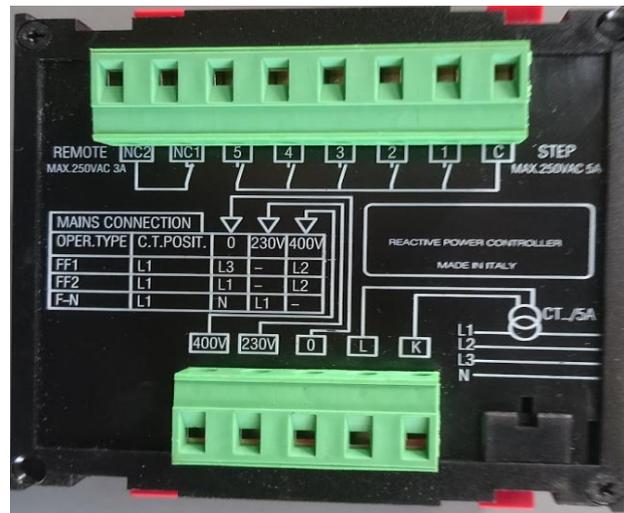
- **Regulador de Potencia Reactiva**

El regulador de potencia reactiva es un controlador inteligente que mide el factor de potencia inicial del sistema y permite el conexionado por paso de los capacitores de acuerdo con la lectura de corriente proporcionada por el transformador de corriente hasta alcanzar el factor de potencia que se requiere, de tal manera que se pueda evitar una sobrecompensación o subcompensación no deseada.



**Ilustración 3.11 Regulador de Potencia Reactiva**

Para este caso, como se tiene 3 capacitores, se seleccionó un regulador de potencia reactiva con 5 pasos, que es lo mínimo que se presenta en el mercado. En la siguiente ilustración 3.12 se visualiza la cara posterior del equipo regulador de potencia reactiva que indica el diagrama de conexión de la parte de control para el banco de capacitores a 240V.

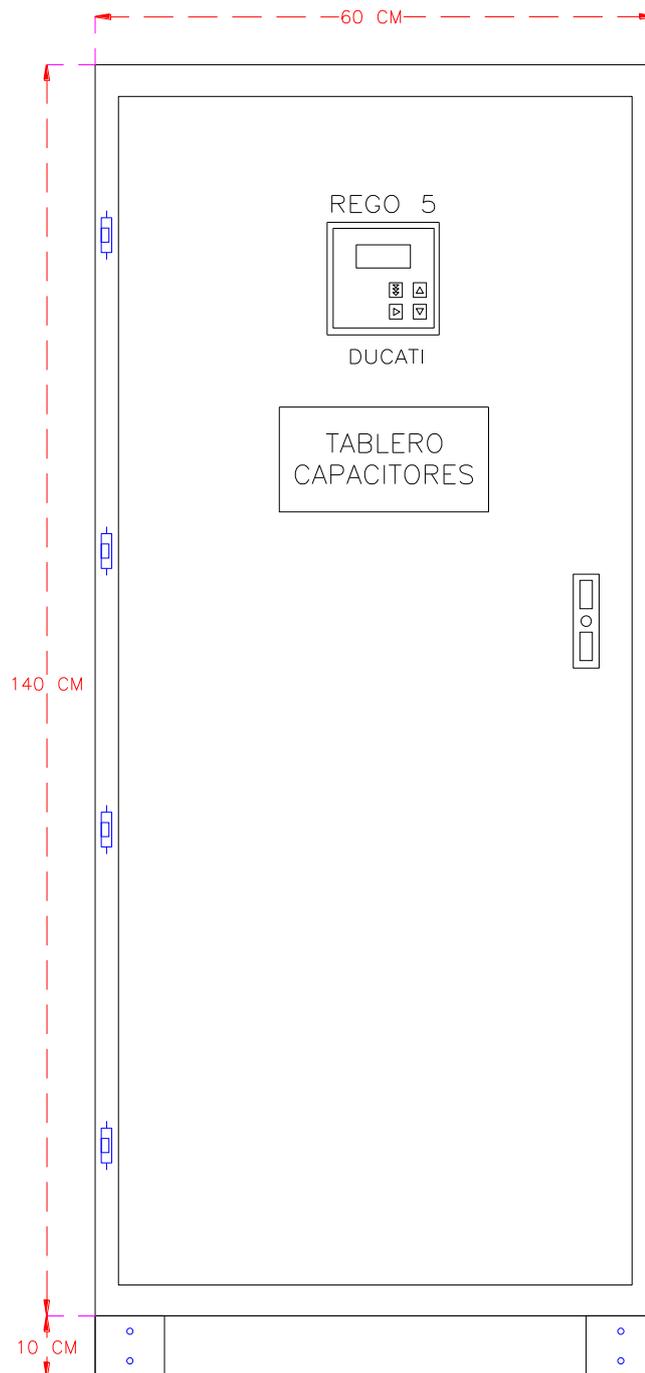


**Ilustración 3.12 Conexión del Regulador de potencia reactiva**

La bornera etiquetada en STEP, representa el número de pasos del banco de capacitores, en donde se conecta el terminal A1 de la bobina de cada contactor que controla cada capacitor, mientras que el terminal A2 de la bobina de los contactores van conectados a los terminales de los breakers tipo riel 2P - 6A que permiten la energización del controlador.

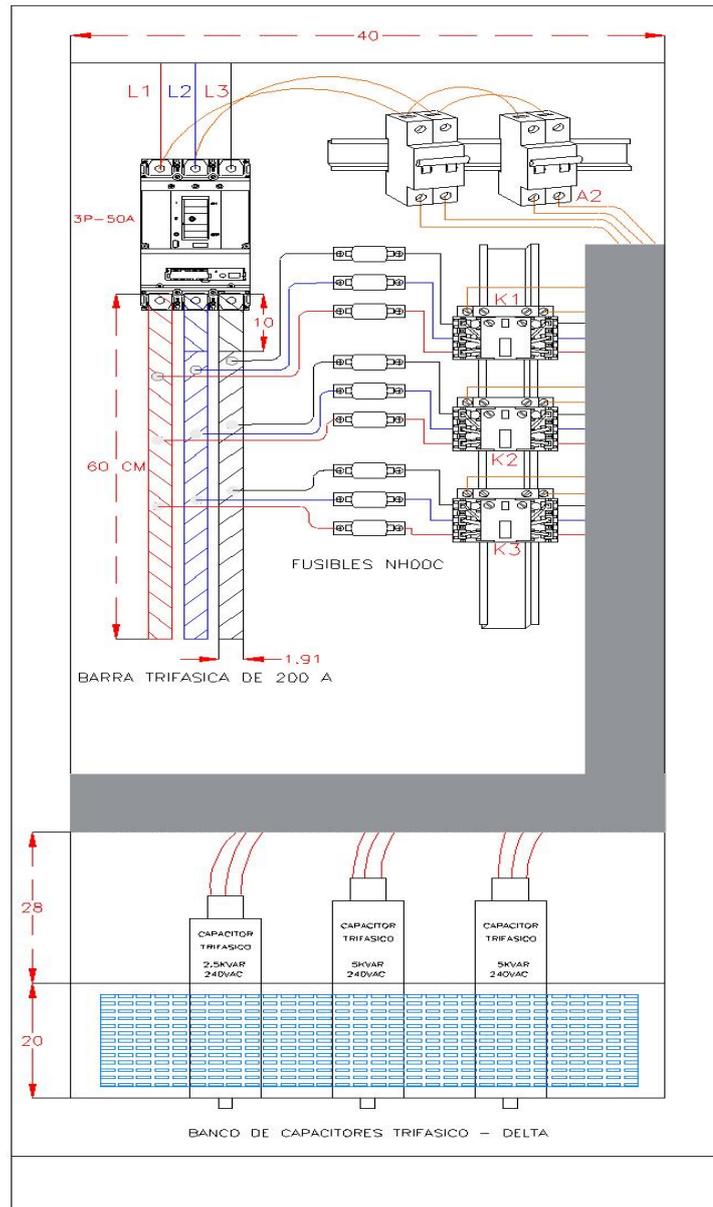
- **Montaje del banco de capacitores**

De acuerdo con las dimensiones de los elementos que conforman el banco de capacitores de 12.5 KVAR, se escogió un tablero no modular con dimensiones de 140 x 60 x 30 cm, que marcan altura, longitud, y profundidad del gabinete para montaje de todos los elementos. Estas medidas se indican en el siguiente Plano 3.1 que muestra una vista frontal del tablero.



### Plano 3.1 Dimensiones del tablero de capacitores

Se dimensionó una base con un espacio de 10 cm para que la superficie del tablero no haga contacto con el piso. A continuación, se muestra el diseño del banco de capacitores con la ubicación y conexión de los elementos.



**Plano 3.2 Diseño del banco de capacitores 12.5 KVAR 240 VAC**

La ubicación del banco de capacitores será en la entrada del tablero principal de distribución en donde se efectuaron las mediciones esto es en las barras a 240V.

### 3.5 Análisis de Costos

#### 3.5.1 Costos para diseño de banco de capacitores de 12.5 KVAR a 240V

Se realizó una cotización de los precios de los elementos para el tablero de capacitores tomando en consideración los principales puntos distribuidores de

materiales eléctricos, en este caso se escogió precios del catálogo de productos de la distribuidora SUMELEC S.A. y DISENSA S.A.



MATRIZ GUAYAQUIL:

Av. J. Tanca Marengo Km. 2 ½ TELF. PBX: (593-4) 2593-600 Fax: Ext 109 E-MAIL: info@sumelec.net

### Ilustración 3.13 Información Distribuidor materiales eléctricos

Los valores que se muestran a continuación corresponden al listado de precios del presente año en el catálogo del proveedor.

Materiales para Banco de Capacitores a 240 V				
Cant.	Unidad	Descripción	Precio Unit.	Total
1	UNID	Tablero Met. No Modular 140 x 60 x30 CM	363,71	363,71
1	UNID	Breaker 3P EBAS 50 A 400 V FIJO	57,08	57,08
1	UNID	Pletina de cobre 1/8 x 3/4"	32,93	32,93
1	UNID	Contactador GE 12 A 220V	47,55	47,55
2	UNID	Contactador GE 25 A 220V	88,90	177,80
3	UNID	Fusible NH00C DIX 16AMP Delgado	3,95	11,85
6	UNID	Fusible NH00C DIX 25AMP Delgado	3,95	23,70
9	UNID	Base Fusible Cerámica CSC NH-00 160A	4,76	42,86
3	UNID	Aisladores SM - 35	0,81	2,44
1	UNID	Condensador 3F 2.5KVAR 240V 6A 60HZ	58,45	58,45
2	UNID	Condensador 3F 5KVAR 240V 12A 60HZ	77,04	154,08
1	UNID	Regulador KVAR 5 pasos 220/440 V	230,01	230,01
1	METRO	Riel Din 35 mm	1,96	1,96
1	DECENA	Pernos Autoper. (Para Riel Din) 5/16" x 1"	0,35	0,35
12	METROS	Cable # 10 THHN	0,56	6,75
12	METROS	Cable # 12 THHN	0,46	5,55
15	METROS	Cable # 6 THHN	2,40	36,00
1	UNID	Artículos Varios	25,00	25,00
1	UNID	Transformador de Corriente CSC 300/5A CL:1	15,13	15,13
			<b>Subtotal</b>	\$ 1293,19
			<b>IVA 12%</b>	\$ 155,18
			<b>Total</b>	\$ 1448,37

Tabla 3.10 Cotización de precios para tablero de capacitores

<b>Costo de Instalación del de banco de capacitores</b>			
<b>Descripción</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Total</b>
<b>Mano de Obra</b>	289,67	1	289,67
<b>Diseño del Banco</b>	500	1	500
<b>Costos Indirectos</b>	80	1	80

<b>Subtotal</b>	\$ 869,67
<b>IVA 12%</b>	\$ 104,36
<b>Total</b>	\$ 974,03

**Tabla 3.11 Costos de Instalación**

<b>Costos de Estudio</b>			
<b>Descripción</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Total</b>
<b>Alquiler del Equipo por día</b>	50	7	350
<b>Levantamiento de Datos</b>	200	1	200

<b>Subtotal</b>	\$ 550
<b>IVA 12%</b>	\$ 66,00
<b>Total</b>	\$ 616,00

**Tabla 3.12 Costos de Estudio**

<b>Costos de operación del Banco de Capacitores</b>			
<b>Descripción</b>	<b>P. Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P. Total</b>
<b>Mantenimiento</b>	60	1	60
<b>Cambio de elementos</b>	110	1	110

<b>Subtotal</b>	\$ 170
<b>IVA 12%</b>	\$ 20,4
<b>Total</b>	\$ 190.4

**Tabla 3.13 Costos de operación**

Los costos de operación y mantenimiento se dimensionan para una vez en el año, en el que se realiza tareas de mantenimiento en el tablero como por ejemplo ajustes de terminales en caliente. Además de considerar modificaciones en el tablero como reemplazo de elementos en el tablero, considerando un caso en particular el periodo de vida útil de los contactores que ejecutan un gran número de maniobras que conllevan al desgaste de sus contactos, o como también el aumento de hasta una unidad capacitiva más en el tablero.

### 3.6 Estimación de costos de facturación de energía en Depósito Aduanero

Con los datos de potencia proporcionados por el analizador de energía se puede calcular un costo estimado mediante la lectura del consumo de servicio eléctrico en el Depósito Aduanero durante el período de medición de 7 días.

Para estimar una facturación de servicio eléctrico se tomó en consideración evaluar el consumo de energía de la empresa mensualmente. Los costos se determinaron de acuerdo con lo estipulado al pliego tarifario para las Empresas Eléctricas de Distribución en Servicio Público de Energía Eléctrica, SPEE, mediante resolución No. ARCONEL – 002/19 establecida para el período de Enero a Diciembre del presente año.

Descripción	Demanda (KW)	Consumo (KWh)	USD/KWh	Monto (\$)
Energía A. (L-V 08h-18h)	20577.84	3429.64	0.0815	279.52
Energía A. (L-V 18h-22h)	6431	1071.84	0.0935	100.22
Energía A. (L-V 22h-08h)	16786.84	2797.8	0.0456	127.58
Energía A. (S, D, F 22h-18h)	11278.52	1859.76	0.0815	151.57
Energía A. (S, D, F 18h-22h)	2199.08	366.52	0.0815	29.87
<b>Subtotal consumo eléctrico mensual</b>				<b>688.76</b>

**Tabla 3.14 Consumo de Energía en Depósito Aduanero**

La tarifa es aplicada para un usuario industrial con demanda de horario diferenciada en el que se aplica diferentes tarifas de acuerdo con los horarios que se estipula en esta resolución. En la tabla 3.14 muestra los valores estimados para los costos de consumo de energía eléctrica y el registro de demanda del depósito aduanero.

Tomando en consideración el tipo de usuario y consulta de facturación anteriores se tiene datos como, demanda facturable igual a 52.50KW equivalente a un monto de \$120.65 y valor de comercialización igual a \$7.07, que es tomado en referencia al pliego tarifario para usuarios con un consumo mayor de energía a 1000 KWh por mes. Además, el factor de potencia registrado es 0.69, que se lo determinó

previamente para dimensionar la capacidad del banco de condensadores de 12.5 KVAR a 240V AC y de acuerdo con la resolución SPEE de la ARCONEL Nro. 002/19, se establece que un bajo factor de potencia es penalizado con un recargo adicional impuesto sobre el costo del consumo de energía y se determina un factor de penalización con la siguiente ecuación.

$$B_{FP} = \frac{0.92}{FP_R} - 1 \quad (3.7)$$

Donde;

$B_{FP}$ : Representa el factor de penalización

$FP_R$ : Representa el factor de potencia registrado

$$B_{FP} = \frac{0.92}{0.69} - 1$$

$$B_{FP} = 0.333$$

Este factor de penalización será aplicado sobre el subtotal del costo de energía inicial, calculado anteriormente en la tabla 3.14, obteniendo:

$$Penalizacion = Subtotal consumo eléctrico mensual * B_{FP} \quad (3.8)$$

$$Penalización = \$688.76 * 0.33$$

$$Penalización = \$227.29$$

Por lo tanto, se calcula el valor total correspondiente del consumo eléctrico en conformidad a lo dispuesto en el pliego tarifario de la ARCONEL.

$$Costo SPEE = E + C + P \quad (3.9)$$

El costo total del servicio público de energía eléctrica será igual a la suma de todos los rubros descritos anteriormente, incluyendo la penalización por bajo factor de potencia, en donde se expresa;

E: Consumo de energía

C: Comercialización

P: demanda de potencia

En la facturación se incluye también cargos por servicio de alumbrado público, pero debido a la falta de dichos datos, se toma en consideración evaluar los costos de energía únicamente. Por lo tanto, se obtiene:

$$\text{Costo SPEE} = \$688.76 + \$227.29 + \$7.07 + \$120.65$$

$$\text{Costo total} = \$1043.77$$

Del valor de facturación se tiene un recargo de \$227.29 por bajo factor de potencia, que a largo plazo dicho valor se acumula en la facturación de consumo eléctrico.

### **3.7 Evaluación económica banco de capacitores**

Existen diversos análisis económicos que permiten valorar una inversión de un proyecto como son los métodos estáticos o dinámicos para evaluar si el proyecto se aprueba o no. Para este trabajo se tomó en consideración valorar las variaciones de flujos de caja en el tiempo empleando los siguientes métodos:

- Valor Presente Neto (VPN): permite calcular el valor presente del costo a futuro empezando desde el valor inicial correspondiente a la inversión.
- Tasa interna de retorno (TIR): equivale a la tasa de interés de un proyecto de inversión tomando en consideración ingresos y gastos.
- Relación costo beneficio (B/C): es una relación entre los beneficios que implica el proyecto para los costos del proyecto tomando en cuenta la tasa de interés.

- Período de recuperación de capital (RC): determina el tiempo en el que se recupera la inversión inicial total del proyecto.

Debido a la proyección de crecimiento a largo plazo en la demanda del depósito aduanero se estima que el banco de capacitores operará de manera óptima a la capacidad calculada durante un período de 10 años. Después de esto, un estudio de los parámetros eléctricos del sistema es necesario para dimensionar un banco con una capacidad adecuada a la nueva demanda del lugar.

Para efectuar el análisis económico se tomó en consideración variables como costos de los materiales, costos de instalación, costos de operación y mantenimiento, costos de cambio de elementos en el banco de capacitores y por último costos por retiro del tablero. Por lo tanto, estos valores fueron calculados para el total de número de años determinando el valor presente y considerando un caso puntual para el año 5 en el que se realizaría modificaciones en el tablero por cambio de elementos.

### 3.7.1 Cálculo del valor presente de los costos de inversión

Se realizó el cálculo del valor presente de la inversión tomando en consideración el período de vida útil del equipo y una tasa de interés del 10%, mediante la siguiente ecuación:

$$V_P = A * \left[ \frac{(1 + i)^n - 1}{i * (1 + i)^n} \right] \quad (3.10)$$

Donde se tiene que;

V<sub>p</sub>: es el valor presente

A: costo que se requiere traer a valor presente

i: Es la tasa de interés de inversión anual

n: número de años del proyecto

Para el caso en el que se requiera evaluar el valor presente para un tiempo diferente al año cero se utiliza la siguiente expresión:

$$V_p = A * \left[ \frac{1}{(1 + i)^n} \right] \quad (3.11)$$

### 3.7.2 Cálculo del valor presente del costo de inversión inicial

El costo de inversión inicial se encuentra desde el año cero obteniendo así;

$$V_{p1} = \text{costos de materiales} + \text{costos de instalación} + \text{costo de estudio} \quad (3.12)$$

$$V_{p1} = \$1448.37 + \$974.03 + \$616$$

$$V_{p1} = \$ 3038.4$$

### 3.7.3 Cálculo del valor presente de costo de mantenimiento

Costos de mantenimiento representa el siguiente valor presente

$$V_{p2} = 60 * \left[ \frac{(1 + 0.1)^{10} - 1}{0.1 * (1 + 0.1)^{10}} \right]$$

$$V_{p2} = \$ 368.67$$

### 3.7.4 Cálculo del valor presente por modificaciones en el tablero

Se mencionó anteriormente que a mitad del período de funcionamiento óptimo del banco de capacitores se realizará cambios o aumento de elementos si fuera el caso en el tablero, correspondiente para el año 5, obteniendo.

$$V_{p3} = 110 * \left[ \frac{1}{(1 + 0.1)^5} \right]$$

$$V_{p3} = \$ 68.30$$

### 3.7.5 Cálculo del valor presente por retiro del tablero al final de su período de funcionamiento.

Para el cálculo de este rubro se consideró un precio de \$45 por el retiro del tablero de capacitores al finalizar su período de funcionamiento óptimo.

$$V_{P3} = 45 * \left[ \frac{1}{(1 + 0.1)^{10}} \right]$$

$$V_{P4} = \$ 17.35$$

### 3.7.6 Cálculo del valor presente total de costo de inversión

Se determina en base a la suma de todos los valores presentes calculados anteriormente:

$$V_{PT} = V_{P1} + V_{P2} + V_{P3} + V_{P4} \quad (3.13)$$

$$V_{PT} = \$ 3492.72$$

### 3.7.7 Cálculo del valor presente de las penalizaciones

El valor de las penalizaciones como se calculó anteriormente en base al pliego tarifario que es \$227.29 de manera mensual y para una estimación anual es \$2727.48 representa el siguiente valor presente que se tendría como beneficio al evitar este sobrecargo en la facturación durante un periodo de 10 años.

$$V_P = 2727.48 * \left[ \frac{(1 + 0.1)^{10} - 1}{0.1 * (1 + 0.1)^{10}} \right]$$

$$V_P = \$ 16759.18$$

### 3.7.8 Cálculo del valor presente neto

$$V_{PN} = \text{Beneficio} - \text{Costo inversión} \quad (3.14)$$

$$V_{PN} = \$16759.18 - \$3492.72$$

$$V_{PN} = \$ 13266.46$$

De acuerdo con los indicadores para valores presente neto mayores a 0 se considera que el trabajo es socialmente rentable y, por lo tanto, es conveniente realizarlo. [8]

### 3.7.9 Relación Beneficio Costo

Relación de beneficio respecto a los valores presentes de costos de inversión se tiene que:

$$\frac{B}{C} = \frac{\$16759.18}{\$3466.83}$$

$$\frac{B}{C} = 4.83$$

### 3.7.10 Período de recuperación de la inversión o capital

Mediante el factor de razón costo beneficio se tiene que el tiempo de recuperación del capital es:

$$RC = \frac{\$3492.72}{\$16759.18} * 12$$

$$RC = 2.5 \text{ años}$$

Al cabo de 2.5 años se recuperaría la inversión representada en el bando de capacitores a través de la facturación de consumo de energía, incrementando de esta manera el margen de utilidad del depósito aduanero y a su vez contribuyendo a un ahorro energético.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Para el estudio de la calidad de la energía realizado en los puntos de medición donde se instaló el equipo analizador de energía durante el periodo de una semana registrando los parámetros en intervalos de 10 minutos como lo estipula la regulación 005/18 de la ARCONEL, se presentan a continuación las conclusiones y recomendaciones.

### **CONCLUSIONES**

El presente estudio fue realizado en tres sectores de la ciudad de Guayaquil donde se detectaron problemas de calidad de energía eléctrica tales como desbalance del sistema eléctrico de potencia, bajo factor de potencia y elevado porcentaje de contenido de armónicos.

Los resultados obtenidos (Gráficas 3.1, 3.10 y 3.18 a), indican que la empresa distribuidora de energía eléctrica se encuentra en cumplimiento con la regulación establecida por la ARCONEL debido a que los 1008 datos registrados en cada punto de medición son menores a 1 que es el límite normado.

Con respecto al voltaje de línea a neutro (Gráficas 3.2 y 3.19), se puede observar que el voltaje entregado por la empresa distribuidora se encuentra dentro del límite  $\pm 6\%$  estipulado por la ARCONEL por lo que se puede indicar que la distribuidora cumple con el nivel de voltaje en los dos puntos de medición.

Para el voltaje de línea a línea (Gráficas 3.3, 3.11 y 3.20), tenemos que en los tres puntos de medición el nivel de voltaje entregado por la distribuidora se encuentra dentro del rango del  $\pm 6\%$  establecido por la regulación.

De acuerdo a los resultados (Gráficas 3.4, 3.12 y 3.21), se aprecia que al referir los voltajes de baja tensión a media tensión tomando en consideración la posición del Tap para los tres sectores analizados, se tiene que el 100% de los valores referidos se encuentran dentro del límite del  $\pm 6\%$  del voltaje nominal establecido por la

ARCONEL, esto permite indicar que la empresa distribuidora está en cumplimiento con el voltaje de entrega al consumidor.

De acuerdo a los resultados (Gráficas 3.5, 3.13 y 3.22), podemos observar que los tres sistemas analizados no presentan problemas asociados a desequilibrio de voltaje debido a que todas las mediciones registradas se encuentran debajo del límite del 8% establecido por la ARCONEL.

El factor de distorsión armónica total de voltaje (Gráficas 3.6, 3.14 y 3.23), podemos observar en los resultados obtenidos que se encuentra por debajo del límite del 2% normado, lo que significa que la distribuidora se encuentra en cumplimiento entregando una señal de voltaje de calidad al usuario.

Para el caso de la corriente promedio (Gráficas 3.7 y 3.24), se puede indicar que ambos sistemas se encuentran desbalanceados debido a la presencia de corriente por el neutro ya que en ambos casos la mayor parte de la carga monofásica se alimentaba de una fase en relación con las otras fases y esto finalmente se traduce en pérdidas de energía por calentamiento del conductor del neutro.

De los resultados obtenidos (Gráficas 3.9 y 3.26), se puede indicar que ambos sistemas analizados cuentan con un factor de potencia correctamente compensado debido a que más del 95% de los valores registrados se encuentran por encima del límite de 0,92 establecido por la regulación 005/18.

El sistema eléctrico del Depósito Aduanero presenta problemas por bajo factor de potencia (Gráfica 3.16) debido a que las mediciones registradas o se encuentran dentro del límite normado por lo cual será necesario implementar alguna medida que permita compensar el factor de potencia y así evitar penalizaciones por parte de la distribuidora.

Se presentó un alto contenido de distorsión armónica en los sectores de carácter administrativo como el edificio del rectorado ESPOL y en la empresa exportadora

de banano, que sobrepasa los límites admisibles originado por un gran bloque de cargas lineales como equipos de computación siendo óptimo técnicas para mitigar estos problemas, el diseño de un filtro de armónicos tomando en cuenta el análisis de la componente de orden 3 que aporta con mayor distorsión, o la instalación de transformadores ferroresonantes.

## **RECOMENDACIONES**

Para una evaluación óptima de la calidad de la energía, se debe conectar el equipo de medición en el tablero de distribución principal puesto que permite obtener valores totales para los parámetros eléctricos del sistema.

El procedimiento de análisis de alternativas de mejoramiento de la calidad de la energía debe comenzar siempre por las soluciones más simples en cuanto a factores de costos y complejidad del sistema.

Para el dimensionamiento del banco de capacitores se debe obtener una gráfica que muestre el comportamiento de la demanda en el sistema, de tal manera que se pueda determinar cuanta potencia reactiva se requiere para los diferentes intervalos de tiempo en un día, indicando la capacidad del banco de capacitores sea automático o fijo en base al consumo de energía.

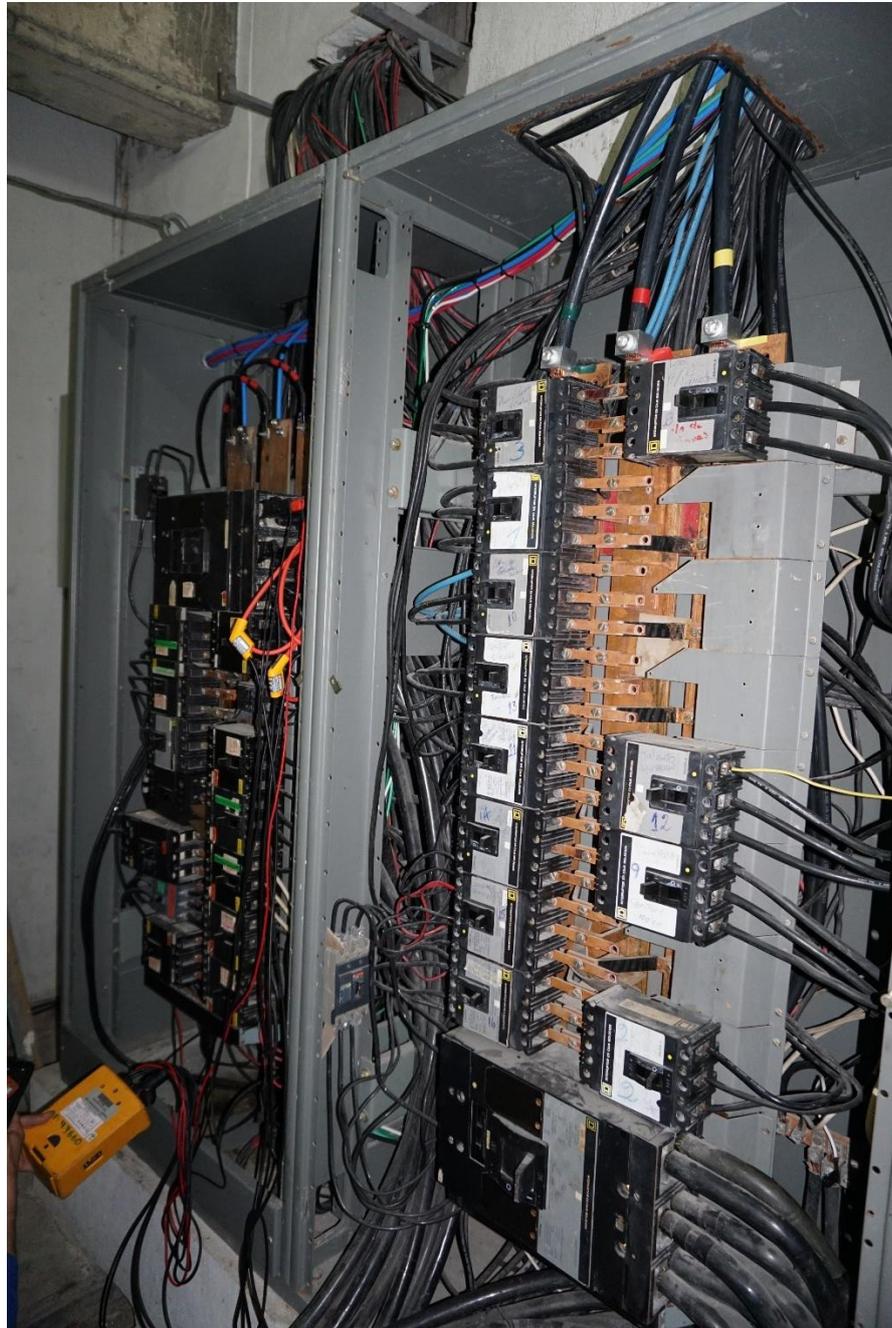
Si se utiliza un analizador de energía con sondas flexibles de corriente es importante respetar la polaridad y la fase que se encuentran etiquetadas para evitar posteriormente confusiones en el análisis de datos.

Para garantizar un óptimo desempeño del banco de capacitores se recomienda el uso de contactores especialmente diseñados para la conexión de capacitores equipados con resistencias limitadoras de sobrecorriente durante el arranque.

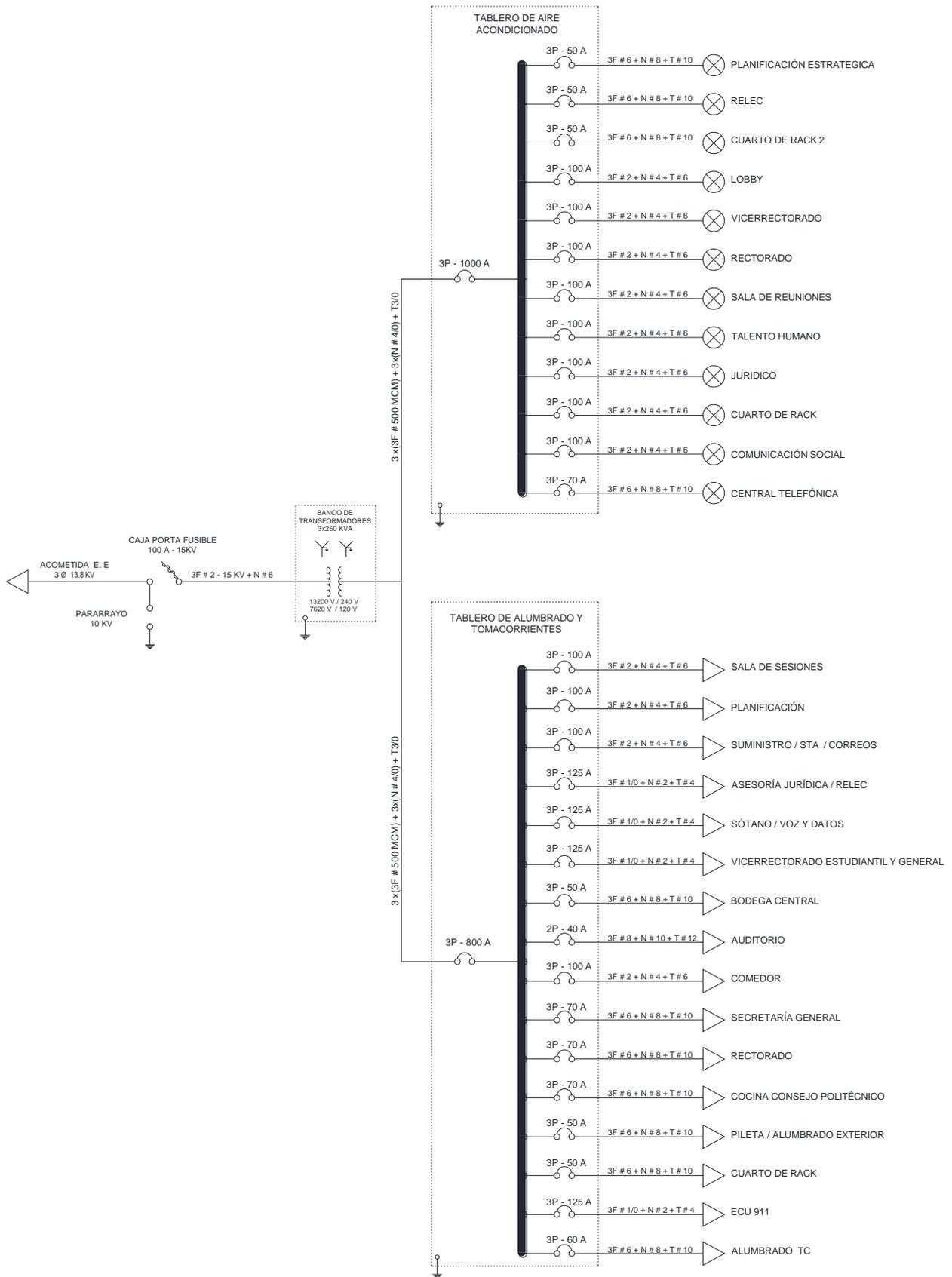
## BIBLIOGRAFÍA

- [1] IECOR, "CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA," 2016. [Online]. Available: <https://www.iecor.com/calidad-de-energia-electrica/>.
- [2] ARCONEL, "Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica," 28 Diciembre 2018. [Online]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/regulaciones/>.
- [3] R. Potayo and C. Cabezas, Writers, *Calidad eléctrica y pérdidas en el cableado eléctrico*. [Performance]. Fluke, 2013.
- [4] M. Holguin and D. Gomez, *Análisis de la Calidad de Energía Eléctrica en el nuevo campus de la Universidad Politécnica Salesiana*, Guayaquil: Facultad de Ingenierías, UPS, 2010.
- [5] J. Meléndez, «Causas y efectos de las perturbaciones,» *Soluciones*, vol. N°360, pp. 92-98, Marzo 2005.
- [6] Bethelca, "Distorsión de la forma de onda," Medium Corporation, 27 Abril 2017. [Online]. Available: <https://medium.com/@Bethelca1/problema-n%C2%BA5-distorsi%C3%B3n-de-la-forma-de-onda-8bd25cb73680>.
- [7] G. I. R. E. B. P. Miguel Torres Rodríguez, «Diagnóstico de la Calidad de Energía Mediante Monitoreo en la Red de Distribución Interna en la Planta BLOQCIM Tomando como referencia la Regulación CONELEC 004/01,» Guayaquil, 2010.
- [8] E. Morín, «CEPEP,» Junio 2017. [En línea]. Available: [https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/boletines/indicadores\\_rentabilidad.pdf](https://www.cepep.gob.mx/work/models/CEPEP/metodologias/boletines/indicadores_rentabilidad.pdf).
- [9] D. C. Insuaste, L. E. Sanabria y R. R. Vaca, «Estudio de la Coordinación de Protecciones por Métodos Computarizados Aplicados a la Subestación ESPOL,» Guayaquil, 2013.
- [10] P. H. Avilés, e. I. Ponce y J. G. Galarza, «Análisis de los Efectos Electrodinámicos y Térmicos Bajo Condiciones de Cortocircuito en una Subestación Convencional Aplicado a la Subestación Ceibos de 69 / 13,8 KV,» Guayaquil, 2008.

## ANEXOS



**Ilustración A.1 Conexión de analizador de energía en tablero de distribución**



**Plano A.1 Diagrama Unifilar Rectorado ESPOL**

Barra de falla	MAGNITUD DE CORRIENTE DE FALLA (MÁX GENERACIÓN)				
	Voltaje Pre-falla	Falla-(3 $\Phi$ ) [Amp]	Falla-(LG) [Amp]	Falla-(LL) [Amp]	Falla- (LLG) [Amp]
BARRA 69KV	69 [KV]	5756,30	3207,52	4985,11	5181,25
BARRA 13,8KV	13.8 [KV]	4982,23	5282,55	4314,77	5199,94
ALIM GLOBAL C.- PRE.P	13.8 [KV]	4648,66	4701,00	4025,89	4706,40
ALIM. ESPOL	13.8 [KV]	4710,61	4780,51	4079,54	4988,24
PARCON-ESPOL	13.8 [KV]	4710,67	4780,55	4079,59	4988,31
LIBRE	13.8 [KV]				
TECNOLOGÍA	13.8 [KV]	4391,95	4258,11	3803,57	4541,14
RECTORADO	13.8 [KV]	2896,81	2394,98	2508,75	2740,47
FEN-ICM-LAB- C.BÁSICO	13.8 [KV]	2740,94	2238,21	2373,76	2573,54
BOMBEROS	13.8 [KV]	2599,37	2100,05	2251,16	2424,44
FIEC	13.8 [KV]	2470,46	1977,48	2139,52	2294,89
FIMCP	13.8 [KV]	2297,71	1817,69	1989,92	2140,06
FIMCT	13.8 [KV]	2245,00	1769,88	1944,27	2092,72
MARÍTIMA	13.8 [KV]	2099,62	1640,16	1818,37	1961,83

**Tabla A.1 Corrientes de Cortocircuito de ESPOL [8]**

Nivel máximo de armónicos impares <sup>a</sup> (% de la corriente máxima de demanda)						
$I_{CC}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
<20 <sup>b</sup>	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20<50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50<100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100<1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

**Tabla A.2 Niveles Máximos de Distorsión Armónica de Corriente [2]**

<b>Tipo de falla</b>	<b>Ceibos 1</b>	<b>Ceibos 2</b>
Trifásica - 69 Kv.	9806.38 (A).	9806.38 (A).
Fase a tierra - 69 Kv.	5706.45 (A).	5706.45 (A).
Fase a Fase - 69 Kv.	8469.74 (A).	8469.74 (A).
2 Fases a tierra - 69 Kv.	9779.86 (A).	9779.86 (A).
Trifásica -13.8Kv.	7476.90 (A).	7515.29 (A).
Fase a tierra -13.8Kv.	7312.38 (A).	7349.13 (A).
Fase a Fase -13.8Kv.	6474.38 (A).	6508.76 (A).
2 Fases a tierra -13.8Kv.	7705.79 (A).	7746.74 (A).

**Tabla A.3 Corrientes de Cortocircuito en la Subestación Ceibos [9]**