

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y
COMPUTACIÓN**

**“CREACIÓN DE UN MODELO DE EVALUACIÓN ÓPTIMO DE
LA CALIDAD DE PRODUCTO ORIENTADO A LA CALIDAD DE
ENERGÍA”**

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del título de:

INGENIERO EN ELECTRICIDAD

Presentado por:

KEVIN DAVID CARMONA TORAL

JUAN CARLOS SALTOS NÚÑEZ

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO 2019

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado principalmente a Dios por ser el colaborador silencioso que estuvo presente en cada momento, iluminando el camino para alcanzar una meta más en esta larga travesía universitaria.

A mis padres y a mis familiares, porque a pesar de la distancia siempre estuvieron presentes, dispuestos a ofrecerme su amor, sus palabras de aliento y su apoyo incondicional, recordándome siempre la importancia de que todo esfuerzo tiene su recompensa, resaltando que quien triunfa es quien no se queda sentado a ver las oportunidades pasar.

A mis amigos y enamorada, por ser parte del soporte emocional que toda persona necesita, llenando de recuerdos inolvidables que se suscitaron a lo largo de cada ciclo de estudio, ocupando un lugar inamovible dentro de mi corazón.

Kevin Carmona Toral

DEDICATORIA

A mi padre Carlos Saltos por enseñarme que siempre se puede dar más, a no conformarme, y que el tiempo es valioso.

A mi madre Zoila Núñez por estar siempre atenta en mis estudios y por mostrarme que el perdón y el amor son las bases para vivir en armonía.

A mi abuela María Núñez que fue como una segunda madre, por cuidarme tanto y sacrificarse por toda nuestra familia.

A mi hermano Xavier Saltos por ser mi primer amigo y acompañarme durante todo este tiempo.

A mis profesores a lo largo de mi vida académica por su pasión por enseñar y compartirme parte de sus conocimientos.

Juan Carlos Saltos N.

AGRADECIMIENTOS

Aprovechamos este espacio para rendir un merecido agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, por ser la entidad educativa que además de acogernos bajo sus prestigiosas instalaciones, nos brindó las herramientas necesarias para crecer como personas, tanto en lo moral como en lo académico.

A CNEL UN Guayaquil por su colaboración desinteresada, aportando con equipos e información relevante para la elaboración de este proyecto.

De manera especial al Ing. Carlos Rivera Álvarez por abrirnos las puertas a las instalaciones de CNEL UN Guayaquil, y de igual manera el Ing. Jhonny Rodríguez Asqui por ser un consejero infalible en todo momento.

Al Dr. Miguel Torres Rodríguez mentor y gran participe dentro de este trabajo, aportando con sus conocimientos respecto al área de estudio, impulsándonos siempre a lograr los objetivos predispuesto durante todo el período de investigación y análisis.

A nuestros maestros, familiares y amigos por ser los pilares fundamentales quienes nos han brindado día a día su apoyo en los diferentes ámbitos de formación, ayudándonos a lograr ser no solo personas íntegras, sino también profesionales comprometidos a colaborar con el desarrollo de la sociedad.

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; 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"

Kevin David
Carmona Toral

Juan Carlos Saltos
Núñez

EVALUADORES

MsC Fernando Vaca Urbano

PROFESOR DE LA MATERIA

**PhD Miguel Torres
Rodríguez**

PROFESOR TUTOR

**Ing. Jhonny Rodríguez
Asqui**

EVALUADOR EXTERNO

RESUMEN

La calidad de la energía actualmente es un tema muy importante para determinar el estado de un sistema eléctrico, y debido a que éstos están en todas partes es importante tener un conocimiento básico en esta área, más aún si se está inmerso en el sector industrial. Personas que están envueltas en el sector eléctrico, pero no tienen conocimiento en esta área son muy frecuente, debido a esto se producen errores en el proceder cuando se requiere llevar el estado de una planta a su correcto funcionamiento. Resultado de la escasez de entendimiento de los problemas que pueden surgir en una planta y su posterior mal proceder al presentarse, se pueden dar pérdidas económicas elevadas por malas decisiones, así como de poner en riesgo la vida de los trabajadores.

Los informes de calidad de la energía que se usan están diseñados para personas con conocimiento de electricidad por lo que es vital el diseño de una nueva platilla informe más gerencial, el cual pueda darse a entender a una mayor cantidad de personas. Los principales inconvenientes que presentan los informes de calidad de la energía son la descripción del estado del sistema eléctrico en términos muy técnicos, presentar graficas en el tiempo, el exceso de información no concisa y la falta de información útil; provocando el poco y lento entendimiento de los problemas del sistema para los involucrados en las tomas de decisiones de inversión o mejora continua de un proceso industrial.

El nuevo modelo de evaluación para la calidad de la energía abarcará la descripción de los términos eléctricos usados, en palabras simples y concretas, posteriormente del análisis de calidad se presentarán los problemas existentes en la planta, a continuación, se presentará una descripción breve de los posibles causantes del problema, así como de los efectos que provocaría la persistencia de dichos problemas en la planta y las alternativas de solución para eliminarlos o mitigarlos.

ABSTRACT

Nowadays the power quality is a very important issue to determine the state of an electrical system, and because they are everywhere it is important to have a basic knowledge in this area, especially if you are immersed in the industrial sector. People who are involved in the electricity sector but have no knowledge in this area are very frequent, due to this there are errors in the procedure when it is necessary to bring the status of a plant to its proper functioning. As a result of the lack of understanding of the problems that may arise in a plant and its subsequent bad behavior when presented, high economic losses can occur due to bad decisions as well as putting workers' lives at risk.

The energy quality reports that are used are not designed for people with little knowledge of electricity, so it is vital to design a new more managerial report template, which can be understood by a greater number of people. The main drawbacks of the energy quality reports are the description of the state of the electrical system in very technical terms, presenting graphs over time, the excess of non-concise information and the lack of useful information; causing little and slow understanding of system problems.

The new evaluation model for energy quality will cover the description of the electric terms used, in simple and concrete words, after the quality analysis the problems existing in the plant will be presented, then a brief description of the possible cause of the problem, as well as the effects that would cause the persistence of these problems in the plant and the alternative solutions to mitigate them

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1	Introducción	<u>1817</u>
1.1	Contexto	<u>1817</u>
1.2	Antecedentes	<u>1918</u>
1.2.1	Corporación Nacional de Electricidad (CNEL)	<u>1918</u>
1.2.2	Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL).....	<u>2019</u>
1.2.3	Reclamos por facturación errónea de medidores en Guayaquil	<u>2220</u>
1.3	Marco Teórico	<u>2324</u>
1.3.1	La Calidad de la Energía	<u>2324</u>
1.3.2	Evaluación de problemas de la Calidad de la Energía	<u>2422</u>
1.3.3	Tipos de Perturbaciones.....	<u>2523</u>
1.3.4	Atributos para análisis de Fenómenos Electromagnéticos	<u>2523</u>
1.3.5	Transitorios.....	<u>2624</u>
1.3.6	Variaciones de Corta Duración	<u>2724</u>
1.3.7	Variaciones de Larga Duración.....	<u>2825</u>
1.3.8	Desbalances o Asimetrías o Desequilibrios.....	<u>2926</u>
1.3.9	Distorsión de la forma de onda sinusoidal	<u>3027</u>
1.3.10	Fluctuaciones de Voltaje	<u>3431</u>
1.3.11	Variación de Frecuencia	<u>3531</u>
1.3.12	Caracterización de las Perturbaciones	<u>3632</u>
1.4	Detalles de la investigación	<u>3733</u>
1.4.1	Descripción del problema	<u>3733</u>
1.4.2	Justificación del problema.....	<u>3733</u>
1.4.3	Objetivos.....	<u>3733</u>
1.5	IEEE Estándar 1159	<u>3834</u>

1.6	La Medición de la Calidad de la Energía	3834
1.6.1	Selección de los equipos de monitorización	3934
1.6.2	Monitorización.....	3935
1.6.3	Presentación de los datos obtenidos	4035
1.7	Equipos de Medición de la Calidad de la Energía	4036
1.8	Curvas CBEMA e ITIC	4136
1.9	Calidad del Servicio	4338
1.9.1	Calidad del Producto	4338
1.9.2	Calidad del Servicio Técnico.....	4439
1.9.3	Calidad del Servicio Comercial.....	4641
Capítulo 2	Metodología.....	4843
2.1	Consideraciones Generales	4843
2.2	Equipos de Medición de Calidad de Energía	4944
2.2.1	Fluke 1744.....	4944
2.2.2	Fluke 1760	5247
2.2.3	Sondas de Corriente.....	5550
2.2.4	Sondas de Prueba.....	5651
2.2.5	Comparativas entre dispositivos actuales y sus versiones previas.....	5853
2.3	Software y Programación	5955
2.3.1	PQ Analyze (Fluke 1760)	5955
2.3.2	PQ Log (Fluke 1744)	6055
2.3.3	Pasos básicos para el análisis de datos con el programa PQ Log	6156
2.4	Conexiones de las sondas para las distintas configuraciones.....	6762
2.4.1	Diagrama de conexión para toma de datos a un sistema monofásico....	6762

2.4.2	Diagrama de conexión para toma de datos a un sistema de fase dividida	6863
2.4.3	Diagrama de conexión para toma de datos a un sistema de 4 hilos.....	6964
2.5	Normas del ARCONEL - 005/18 que se utilizan para un informe estándar de medición de Calidad de Energía a un cliente	7065
2.5.1	Límite de Desviación de Voltaje.....	7065
2.5.2	Límite de Bajo Fator de Potencia.....	7065
2.5.3	Límite de Presencia de Flicker.....	7166
2.5.4	Límite de Asimetría de Voltaje	7166
2.5.5	Límite de Distorsión Armónica Total	7166
2.6	Soluciones ante diversas Perturbaciones	7267
2.6.1	Solución ante Transitorios	7267
2.6.2	Solución ante Variaciones de Corta Duración	7267
2.6.3	Solución ante Variaciones de Larga Duración	7267
2.6.4	Solución ante Desbalances	7267
2.6.5	Solucion ante Bajo Factor de Potencia.....	7267
2.6.6	Solución ante Armónicas	7267
2.6.7	Solución ante Muesqueos o Notches	7469
2.6.8	Solución ante Ruido.....	7469
2.6.9	Solución ante Fluctuaciones de Voltaje	7469
2.6.10	Solución ante Variaciones de Frecuencia	7569
Capítulo 3	Análisis de Resultados	7774
3.1	Descripción del lugar donde se realiza la medición y del procedimiento realizado para la adquisición de datos de los sistemas a analizar	7774
3.2	Análisis de Calidad de la Energía para el Caso Cuarto de Control Subestación ESPOL.....	8074

3.3	Analisis de Calidad de la Energia para el Caso Comercializadora de Aceros.	<u>8680</u>
3.4	Analisis de Calidad de la Energia para el Caso Interagua Mapasingue	<u>9187</u>
3.5	Informe Final de Calidad de la Energia para el Caso Subestación ESPOL ..	<u>9693</u>
3.6	Informe Final de Calidad de la Energia para el Caso Ivan Bohman	<u>¡Error!</u>
	<u>Marcador no definido.94</u>	
3.7	Informe Final de Calidad de la Energia para el Caso Interagua Mapasingue	<u>¡Error! Marcador no definido.95</u>
Capítulo 4	Conclusiones y Recomendaciones.....	<u>11097</u>
4.1	Conclusiones.....	<u>11097</u>
4.2	Recomendaciones.....	<u>11198</u>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Pasos para un correcto análisis de la calidad de energía	<u>2524</u>
Figura 1.2: Transitorio Impulsivo	<u>2723</u>
Figura 1.3: Transitorio Oscilatorio	<u>2723</u>
Figura 1.4: Interrupción	<u>2723</u>
Figura 1.5: Caída de Voltaje.....	<u>2724</u>
Figura 1.6: Aumento de Voltaje	<u>2824</u>
Figura 1.7: Subvoltaje.....	<u>2925</u>
Figura 1.8: Sobrevoltaje	<u>2925</u>
Figura 1.9: Distorsión Armónica	<u>3127</u>
Figura 1.10: Muestras.....	<u>3429</u>
Figura 1.11. Ruido.....	<u>3429</u>
Figura 1.12: Fluctuaciones de Voltaje	<u>3530</u>
Figura 1.13: Variación de Frecuencia.....	<u>3530</u>
Figura 1.14: Curva CBEMA.....	<u>4236</u>
Figura 1.15: Curva ITIC	<u>4236</u>
Figura 2.1: Dispositivo Fluke 1744	<u>4943</u>
Figura 2.2: Funciones y Parámetros de Fluke 1744	<u>5044</u>
Figura 2.3: Partes y Accesorios de Fluke 1744	<u>5145</u>
Figura 2.4: Accesorios de Fluke 1744	<u>5145</u>
Figura 2.5: Dispositivo Fluke 1760	<u>5246</u>
Figura 2.6: Funciones y Parámetros de Fluke 1760	<u>5347</u>
Figura 2.7: Partes y Accesorios de Fluke 1760 vista lateral	<u>5347</u>
Figura 2.8: Partes y Accesorios de Fluke 1760 vista superior	<u>5448</u>
Figura 2.9: Accesorios Fluke 1760	<u>5448</u>

Figura 2.10: Transformador de Corriente tipo pinza TPS CLAMP de Fluke 1760	5549
Figura 2.11: Fluke 1743/4 Thin Flexi Set.....	5650
Figura 2.12: Juego de cables de voltaje VL1735/1745.....	5754
Figura 2.13: PQ Analyze Software	6054
Figura 2.14: PQ Log Software	6155
Figura 2.15: Archivos provenientes del software PQ Log.....	6155
Figura 2.16: Ventana para fijar el periodo de evaluación	6256
Figura 2.17: Ventana de selección de canales para las mediciones a graficar	6356
Figura 2.18: Ejemplo de grafico en el software PQ Log	6357
Figura 2.19: Botón para mostrar limites en el software PQ Log	6457
Figura 2.20: Ejemplo de grafico con limites en el software PQ Log	6458
Figura 2.21: Ventana de formato de salida.....	6559
Figura 2.22: Ventana de periodo de exportación.....	6659
Figura 2.23: Tabla de datos en EXCEL dado por el software PQ Log	6660
Figura 2.24: Diagrama de conexión para toma de datos a un sistema monofásico ...	6764
Figura 2.25: Diagrama de conexión para toma de datos a un sistema bifásico o de fase dividida	6862
Figura 2.26: Diagrama de conexión para toma de datos a un sistema de 4 hilos (estrella)	6963
Figura 2.27: Filtro Hibrido	7467

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Niveles de Voltaje en Ecuador.....	<u>2219</u>
Tabla 1.2: Límites de Distorsión de Voltaje	<u>3328</u>
Tabla 1.3: Límites de Distorsión de Corriente para sistemas clasificados de 120V/69kV	<u>3328</u>
Tabla 1.4: Caracterización de las Perturbaciones	<u>3631</u>
Tabla 1.5: Índices para la Calidad del Producto	<u>4438</u>
Tabla 1.6: Fase 1 de la evaluación de la Calidad del Servicio Técnico.....	<u>4539</u>
Tabla 1.7: Fase 2 de la evaluación de la Calidad del Servicio Técnico.....	<u>4539</u>
Tabla 1.8: Índices Individuales y Globales de la Calidad del Servicio	<u>4640</u>
Tabla 2.1: Partes y Accesorios de Fluke 1744	<u>5145</u>
Tabla 2.2: Partes y Accesorios de Fluke 1760	<u>5448</u>
Tabla 2.3: Especificaciones Generales de Transformador de Corriente tipo pinza TPS CLAMP de Fluke 1760	<u>5549</u>
Tabla 2.4: Especificaciones Generales de Fluke 1743/4 Thin Flexi Set.....	<u>5650</u>
Tabla 2.5: Rangos de Voltaje para las distintas conexiones en AC de juego de cables de voltaje VL1735/1745.....	<u>5751</u>
Tabla 2.6: Memobox Smart 330 vs. Fluke 1744	<u>5852</u>
Tabla 2.7: TOPAS 1000 vs. Fluke 1760	<u>5953</u>
Tabla 2.8: Límite de Desviación de Voltaje para los diferentes Niveles de Voltaje	<u>7064</u>
Tabla 2.9: Límites de Distorsión de Voltaje en Ecuador	<u>7165</u>

ÍNDICE DE ECUACIONES

(1.1) Caída de Voltaje.....	<u>2825</u>
(1.2) Porcentaje de Desbalance usando secuencia positiva y negativa	<u>2926</u>
(1.3) Porcentaje de Desbalance Aproximado	<u>3027</u>
(1.4) Distorsión Armónica Total de Voltaje	<u>3228</u>
(1.5) Distorsión Armónica Total de Corriente	<u>3228</u>
(1.6) Distorsión Armónica Individual.....	<u>3228</u>
(1.7) Distorsión de Demanda Total.....	<u>3228</u>
(1.8) Relación de Cortocircuito	<u>3329</u>
(1.9) Índice de severidad del Flicker de larga duración	<u>3534</u>
(1.10) Frecuencia media de interrupción por kVA nominal instalado	<u>4540</u>
(1.11) Tiempo total de interrupción por kVA nominal instalado	<u>4540</u>
(1.12) Frecuencia de interrupciones por consumidor	<u>4541</u>
(1.13) Duración de las interrupciones por consumidor	<u>4541</u>
(2.1) Penalización por Bajo Factor de Potencia	<u>7066</u>
(2.2) Factor de Penalización.....	<u>7066</u>

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Capítulo 1 Introducción

1.1 Contexto

La calidad de la energía es un tema muy importante en la salud y eficiencia de los sistemas eléctricos, ya que debido a una baja calidad de la energía se pueden perder equipos y consumir más energía de lo que se necesita. Estas pérdidas de equipos y consumo innecesario de energía repercuten en pérdidas económicas, ya sea en el sector industrial, comercial o residencial. Actualmente las empresas eléctricas penalizan con multas si se posee un bajo factor de potencia o presenta armónicos su sistema eléctrico, ya que éste no solo afecta a sus sistemas eléctricos sino también a la red y cargas aledañas. Cabe recalcar que otro punto importante a tomar para tener una buena calidad de la energía es la protección y bienestar de la persona, ya que algunos problemas de la energía como los flickers afectan la salud visual de la persona, o como las sobrecargas o cortocircuitos que pueden desencadenar en incendios, o como el incremento de nivel de los armónicos en los sistemas de potencia, lo cual es un problema que cada vez tiene más impacto en los equipos actuales que son más sensibles ante las variaciones de la calidad de la energía que sus predecesores.

Este trabajo pretende a largo plazo por medio del análisis de los principales índices de calidad de la energía y el diseño de una plantilla informe de fácil entendimiento a personas con poco o escaso conocimiento en el campo eléctrico, el abarcamiento total y conciso de los problemas que se pueden presentar en una planta industrial por la baja calidad de la energía, de tal forma que en el caso de que se presente una anomalía saber porque se pudo haber provocado, como afecta al sistema eléctrico de la planta la remanencia de este problema y cuáles son las posibles alternativas solución para mitigar dicho problema. Cabe destacar que la disminución de pérdidas debido a la baja calidad de la energía permite dar mayor abastecimiento de energía eléctrica a la planta y a su vez menos pérdidas económicas por consumo de energía no útil y sanciones provistas por la empresa eléctrica. La calidad de la energía al ser un tema tan básico a nivel del consumo eléctrico en el sector de distribución, ya que comienza desde los hogares y el trabajo, es la base para los siguientes sectores de la electricidad como lo son la transmisión y la generación, la parte de distribución es la que solicita la energía

como una gran carga. Con lo anterior mencionada es lógico pensar que, si la carga da problema, la generación y el camino por donde va esta energía también lo dará, repercutiendo en sobrecargas de las líneas o pérdidas de generación por embalamientos. Con el tiempo si mejoramos la calidad de energía en cada casa, industria o centro comercial de la ciudad a nivel del país se preverá problemas tanto en el sector de generación como en el sector de transmisión, ya que todo comienza desde el consumo que es el sector de distribución.

En estos tiempos debido al incremento de las cargas, el consumo eléctrico se ha disparado. Este notorio aumento incluye el aumento de carga no lineales que tienen relación con el uso de la electrónica de potencia. Los dispositivos que conllevan electrónica de potencia en su gran mayoría afectan a la red, debido a que éstos son cargas no lineales y producen fenómenos y perturbaciones muy diversas en la red, así como desestabilizando el voltaje, la corriente y la frecuencia en sus formas ideales. La electrónica de potencia ha sido clave para el desarrollo del sector industrial, por lo que su ausencia causaría muchos problemas tanto económicos como social; sin embargo su existencia también causa afectaciones en ambas partes porque es prioritario que esta tecnología se siga mejorando por medio de la ciencia de tal forma que dichas afectaciones se reduzcan lo máximo posible.

En resumen, muchos de los beneficios que se plantean actualmente apuntan a una mejora en el ahorro energético que tienen las empresas actualmente, mediante los estudios de calidad de energía enfocados no solo a la parte técnica sino también al área gerencial de las mismas, instalaciones eléctricas más seguras conllevan mejoras tanto como para la empresa, como para el medio ambiente.

1.2 Antecedentes

1.2.1 Corporación Nacional de Electricidad (CNEL)

CNEL EP o La Corporación Nacional de Electricidad es una empresa eléctrica pública ecuatoriana, que tiene como objetivo principal abastecer el servicio público de distribución y comercialización de energía eléctrica en Ecuador para generar bienestar a nuestros consumidores y contribuir al desarrollo del país, con talento humano

comprometido, tecnología de punta, innovación y respeto al ambiente; todo esto dentro de determinadas áreas asignadas dadas por el régimen de exclusividad regulado por el estado ecuatoriano, a fin de satisfacer la demanda de energéticas del país, en las condiciones establecidas en la normativa aplicable al sector eléctrico y suministrar electricidad a los consumidores.

Su misión es planificar, ejecutar y controlar de manera integral la compra, distribución y comercialización de energía, así como de gestionar la expansión de la cobertura de los servicios en un marco de sustentabilidad económica y financiera, considerando aspectos técnicos, valor social y cuidado del medio ambiente [1].

CNEL EP en los últimos años de gestión, con una fuerte inversión de dinero en el desarrollo de proyectos eléctricos, ha mejorado la estructura civil, tecnológica y el sistema eléctrico de subtransmisión, distribución y alumbrado público en las 10 provincias a las cuales abastece. Esto ha permitido la incorporación de políticas, planes de operación, mantenimiento y comercialización, así como la incorporación de nuevos técnicos capacitados y debidamente equipados, ha hecho posible mejorar los índices de calidad del servicio y de pérdidas de energía eléctrica en el país.

En la actualidad por sus ingresos monetarios es considerada la cuarta mayor empresa del país, cubriendo con su abastecimiento de energía eléctrica al 44% del territorio ecuatoriano, así dando energía eléctrica al 50% de la población.

1.2.2 Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL)

Por disposición de la Ley Orgánica de Servicio Público de Energía Eléctrica, le corresponde a la ARCONEL, en su naturaleza jurídica (Art. 14), regular y controlar las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica y el servicio de alumbrado público general, precautelando los intereses del consumidor o usuario final, teniendo entre sus atribuciones el “Dictar las regulaciones a las cuales deberán ajustarse las empresas eléctricas; el Operador Nacional de Electricidad (CENACE) y los consumidores o usuarios finales; sean estos públicos o privados, observando las políticas de eficiencia energética, para lo cual están obligados a proporcionar la información que le sea requerida”, las mismas que son previamente aprobadas y expedidas por su Directorio.

La misión de la ARCONEL es de regular y controlar las actividades relacionadas con los servicios públicos de energía eléctrica y alumbrado público general, contribuyendo al desarrollo sostenible y sustentable del sector estratégico de electricidad, precautelando los intereses de la ciudadanía.

La ARCONEL posee 4 objetivos estratégicos, los cuales son:

- Objetivo Estratégico 1- Incrementar las acciones de control, priorizando la accesibilidad, calidad, eficiencia y sostenibilidad económica en la prestación de los Servicios Públicos de Energía Eléctrica y de Alumbrado Público General.
- Objetivo Estratégico 2 – Incrementar las señales regulatorias orientadas a la mejora de la accesibilidad, calidad, eficiencia y sostenibilidad económica en la prestación de los Servicios Públicos de Energía Eléctrica y de Alumbrado Público General.
- Objetivo Estratégico 3 – Incrementar la calidad, oportunidad y acceso a la información del sector eléctrico; así como la calidad de los estudios técnico-económicos para la regulación y control del sector eléctrico.

El 16 de enero de 2015, se publica la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (LOSPEE), a través de esta normativa se regula la participación de los sectores público y privado, en actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica. Esta Ley hace énfasis en el cambio de la matriz productiva y energía, buscando la optimización de los recursos naturales y la preservación del medio ambiente; precautela además los preceptos constitucionales para que los usuarios reciban un servicio de calidad, eficiente y eficaz concordante con los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad y continuidad. Este cuerpo legal representa un giro importante en cuanto al régimen del sector, a la gestión de las fuentes y energías renovables no convencionales, a la prestación del servicio, al régimen tarifario, al régimen de infracciones y sanciones, a la eficiencia energética y a la responsabilidad ambiental.

La LOSPEE creó a la ARCONEL como un organismo técnico administrativo encargado del ejercicio de la potestad estatal de regular y controlar las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica y el servicio de alumbrado público general, precautelando los intereses del consumidor o usuario final. La ARCONEL es una

institución de derecho público, con personalidad jurídica, autonomía administrativa, técnica, económica y patrimonio propio; está adscrita al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable y no ejercerá actividades empresariales en el sector eléctrico. La LOSPEE establece como atribuciones y deberes de la ARCONEL que será la encargada de regular los aspectos técnicos-económicos y operativos de las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica, controlar el cumplimiento de la normativa y las obligaciones constantes en los títulos habilitantes, así como deberá emitir las regulaciones a las cuales deberán ajustarse quienes intervienen en el sector, implementar, operar y mantener el sistema único de estadística del sector eléctrico, entre otras atribuciones.

Además, la ARCONEL establece los rangos de voltaje para los diferentes niveles de voltaje, como se muestra en la Tabla 1.1:

Bajo Voltaje	$V \leq 0.6\text{kV}$
Medio Voltaje	$0.6\text{kV} < V \leq 40\text{kV}$
Alto Voltaje Grupo 1	$40\text{kV} < V \leq 138\text{kV}$
Alto Voltaje Grupo 2	$V > 138\text{kV}$

Tabla 1.1: Niveles de Voltaje en Ecuador [2]

1.2.3 Reclamos por facturación errónea de medidores en Guayaquil

A mediados del año 2019 en la ciudad de Guayaquil surgieron quejas de usuarios por altos valores en planillas de consumo de energía eléctrica, esto debido a la mala medición de los medidores eléctricos instalados en las residencias en diferentes partes de la urbe.

Ciudadanos comentan que usan artefactos eléctricos comunes para la vida cotidiana y que aproximadamente les costaba en promedio en el planillaje \$ 40 por el consumo, pero que en diciembre pasado tuvo un alza de \$ 5 aproximadamente. No obstante, en marzo subió sus pagos a \$ 80. Y en abril y mayo debieron cancelar aproximadamente \$ 130 y \$ 200, respectivamente, en algunos casos estos usuarios viviendo en departamentos sencillos de un solo cuarto alegaban, así la facturación subiendo en la mayoría de los casos en un 200%, no encuentran una explicación coherente en el incremento exagerado del valor a pagar que le sale en las últimas facturas por servicio eléctrico.

Los reclamos se multiplicaron con el pasar de los días en las oficinas de atención al cliente de la Corporación Nacional de Electricidad (CNEL), en la cdl. La Garzota, norte

de Guayaquil. Los afectados exclamaron que los valores de facturación son más de cuatro veces superiores de un mes a otro.

La gente se siente molesta e indefensa ante estos sucesos, ya que con estos montos elevados y recibiendo el salario básico, les resulta imposible pagar dicha cantidad.

Sobre el tema, CNEL respondió a el Diario Universo que en este 2019 “ninguna tarifa de servicio público de energía eléctrica se ha incrementado”, y citó que está en vigencia el pliego tarifario de energía del 2018.

La Corporación Nacional de Electricidad refirió que los usuarios que tienen “notificaciones” sobre este tipo de facturaciones desproporcionadas pueden ir a cualquiera de sus agencias, sobre el costo de alumbrado público se aplican los cargos tarifarios vigentes en el 2018. Los valores facturados en abril se devolverán en junio, tras la derogación del tarifario del 2019.

1.3 Marco Teórico

1.3.1 La Calidad de la Energía [3]

La mala calidad de la energía básicamente es cualquier problema manifestado en la desviación del voltaje, la corriente o la frecuencia que resulta en la falla o mal funcionamiento de los equipos del consumidor. Una buena calidad de la energía se asegura de la continuidad, seguridad y adecuada operación de los equipos eléctricos y de los procesos asociados. La calidad de la energía, como la calidad en otros bienes y servicios, es difícil de cuantificar. No existe una definición única aceptada de la calidad de la energía. Existen estándares para el voltaje y otros criterios técnicos que pueden medirse, pero la medida definitiva de la calidad de la energía está determinada por el rendimiento y la productividad del equipo del usuario final. Si la energía eléctrica es inadecuada para esas necesidades, entonces falta "calidad".

Básicamente, en lo que respecta a ingeniería, la corriente y el voltaje son directamente proporcionales a la potencia que no es más que la cantidad de energía por unidad de tiempo que se suministra a los consumidores.

Es sumamente dificultoso dar una definición clara de la calidad de dicha medida. El ente que se encarga de entregar la energía solo tiene los medios para controlar la

calidad de la tensión que entrega; lo que no sucede con la corriente, ya que esta se ve alterada por el tipo de carga a la que alimenta. De esta manera, las normas en el área de calidad de energía se centran en la tensión de alimentación, que cumplan con ciertos límites estipulados.

Las redes o sistemas eléctricos de alimentación de corriente alternan se han diseñado de forma que funcionen con una tensión de onda sinusoidal con una frecuencia que oscila entre los 50 y 60 Hz, y determinada magnitud. De ahí que al existir algún tipo de desviación significativa en algunas de estas desemboca en un problema a tener en consideración respecto a la calidad de la potencia que se está entregando. Es necesario tener en cuenta de que a pesar de lograr obtener o proporcionar una tensión sinusoidal prácticamente perfecta, el no tener un control significativo sobre la corriente que atraviesa las diferentes impedancias del sistema puede provocar una serie de perturbaciones sobre la tensión. Por ejemplo:

1. La corriente resultante de un cortocircuito hace que la tensión se duplique o desaparezca por completo, según sea el caso.
2. Las corrientes provenientes de los rayos que pasan por el sistema de energía causan altos voltajes de impulso que con frecuencia se disparan sobre el aislamiento y conducen a otros fenómenos, como cortocircuitos.
3. Las corrientes distorsionadas de las cargas que producen armónicos también distorsionan el voltaje cuando pasan a través de la impedancia del sistema. Ocasionalmente que se presente un voltaje distorsionado a otros usuarios finales.
4. Las corrientes elevadas a las que opera un sistema sobrecargado, provocando así subvoltajes en la red y calentamiento en las líneas de alimentación, ya que no fueron dimensionadas para tales valores de corriente.

Por lo tanto, si bien es el voltaje que nos preocupa en última instancia, también debemos abordar los fenómenos en la corriente para comprender la base de muchos problemas de calidad de la energía.

1.3.2 Evaluación de problemas de la Calidad de la Energía [3]

En general para resolver un problema de calidad de la energía se debe seguir los siguientes pasos: identificar la categoría del problema encasillándolo en el tipo de

perturbación, caracterizar el problema por medio de recolección de datos a partir de mediciones, identificar los rangos de soluciones ya sea abarcando la transmisión o la distribución o el consumidor final, evaluar soluciones mediante simulaciones y finalmente escoger la solución óptima comprendiendo la parte económica.

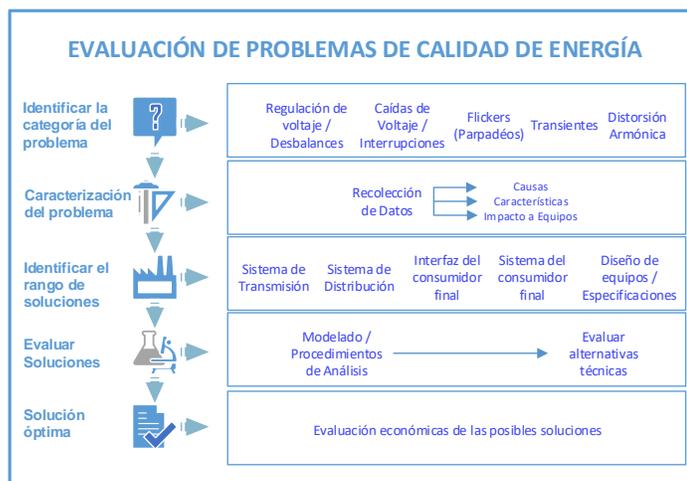


Figura 1.1: Pasos para un correcto análisis de la calidad de energía

1.3.3 Tipos de Perturbaciones

Entre los diferentes tipos de perturbaciones que afectan a la red eléctrica y sus cargas se tienen las siguientes categorías de fenómenos electromagnéticos:

- Transitorios
- Variaciones de Corta Duración
- Variaciones de Larga Duración
- Desbalances
- Distorsión de la forma de la onda sinusoidal
- Fluctuaciones de Voltaje
- Variaciones de Frecuencia

1.3.4 Atributos para análisis de Fenómenos Electromagnéticos [4]

Entre los fenómenos más significativos causantes de las perturbaciones o alteraciones electromagnéticas que considera la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC por sus siglas en inglés), se pueden enlistar los siguientes:

Para fenómenos de estado estable los siguientes atributos pueden ser usados para su análisis:

- Modulación
- Área que barca la muesca o notch
- Profundidad de la muesca o notch
- Frecuencia
- Espectro
- Amplitud
- Impedancia de la fuente

Para fenómenos de estado no estable los siguientes atributos pueden ser usados para su análisis:

- Energía potencial
- Tasa de elevación
- Tasa de ocurrencia
- Duración
- Impedancia de la fuente
- Amplitud
- Espectro
- Frecuencia

1.3.5 Transitorios

Son fenómenos de carácter momentáneo que no necesariamente ocurren en el estado transiente de algún arranque o inicio de energización de algún equipo eléctrico, ya que estos también pueden suceder en estado estable [3].

Estos pueden ser de tipo Impulsivos u Oscilatorios.

Comúnmente causados por la conmutación de carga, de capacitores o de transformadores, despeje de fusibles, arcos eléctricos en contactos en general y rayos [5].



Figura 1.2: Transitorio Impulsivo [6]

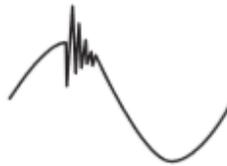


Figura 1.3: Transitorio Oscilatorio [6]

1.3.6 Variaciones de Corta Duración

Las variaciones de corta duración pueden ser de tipo instantáneo, momentáneo o temporal; y a su vez estos se pueden dividir en interrupciones, caídas de voltaje o aumentos de voltaje [4].

Las interrupciones de corta duración son causadas comúnmente por los tiempos muertos de los recierres (reclosing) en los despejes de falla, la conmutación de carga en los tableros de transferencia automática, fallas en los equipos de carga, fallas a tierra, fallas en el equipo de servicios públicos, accidentes, rayos o actos de la naturaleza [5] [6].



Figura 1.4: Interrupción [6]

Mientras que las caídas o aumentos de voltaje comúnmente son causados por arranque de carga pesada o desconexión de estos respectivamente, también se pueden deber a cortocircuitos, fallas a tierra o al cambio de servicio de alimentación [6].



Figura 1.5: Caída de Voltaje [6]

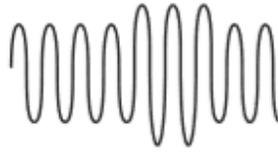


Figura 1.6: Aumento de Voltaje [6]

Los valores de la depresión de tensión son calculados a partir del diagrama de impedancias de secuencia positiva, se realiza el cálculo de la magnitud la depresión de tensión con la siguiente expresión:

$$V_{sag} = \frac{\text{Sumatoria de impedancias del punto a calcular a el punto de falla}}{\text{Sumatoria de todas las impedancias presentes}} \times V_{fuente}$$

$$V_{sag} = \frac{Z_4}{Z_1 + Z_2 + Z_3 + Z_4} \times V_{fuente} \quad (1.1)$$

1.3.7 Variaciones de Larga Duración

Las variaciones de larga duración se pueden clasificar en interrupciones sostenidas, subvoltajes, sobrevoltajes y corrientes de sobrecarga [4].

Un caso puntual de las interrupciones sostenidas son los apagones o blackouts que por lo general se dan cuando las plantas de generación llegan a un punto de sobrecarga demasiado alto por lo que terminan desconectando cargas o también por factores externos como rayos cuando estos caen en líneas de transmisión. Estas interrupciones sostenidas pueden ser causadas también por los mismos inconvenientes que provocan las interrupciones de corta duración que se mencionaron anteriormente.

Los subvoltajes y sobrevoltajes comúnmente se dan por la conexión y desconexión de cargas pesadas que además de demandar mucha corriente en estado transitorio también lo siguen demandando en estado estable, así como la desconexión o conexión de banco de capacitores respectivamente. La configuración incorrecta de las tomas en los transformadores también puede provocar subtensiones o sobretensiones en el sistema eléctrico [5].

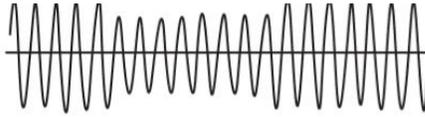


Figura 1.7: Subvoltaje [6]

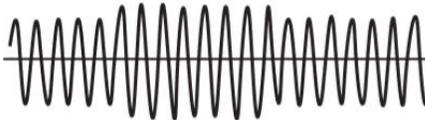


Figura 1.8: Sobrevoltaje [6]

1.3.8 Desbalances o Asimetrías o Desequilibrios

Las asimetrías pueden ser de voltaje o de corriente, estas asimetrías no son más que la desviación máxima de los valores promedios del voltaje o de la corriente denotado porcentualmente.

La fuente principal de desequilibrios de voltaje de menos del 2 por ciento son las cargas monofásicas en un circuito trifásico. El desequilibrio de voltaje también puede ser el resultado de fusibles fundidos en una fase de un banco de capacitores trifásicos [3].

El desequilibrio o desbalance de voltaje en un sistema trifásico también se puede definir como la relación de la magnitud del componente de secuencia negativa a la magnitud del componente de secuencia positiva, expresada como un porcentaje. El desequilibrio de tensión de un servicio trifásico es por lo general inferior al 3%. El desbalance puede ser considerablemente mayor, especialmente cuando hay cargas monofásicas.

$$\% \text{ Desbalance} = \frac{|V_{neg}|}{|V_{pos}|} \times 100\% \quad (1.2)$$

Una de las principales preocupaciones entre los adoptantes de la anterior definición es la dificultad para determinar los componentes de secuencia en el campo con medidores simples. Por lo que se ha formulado otra expresión aproximada en resultados a la ecuación anterior, esta nueva expresión que se detalla a continuación utiliza solo mediciones RMS fase a fase sin ángulo [4].

$$\%Desbalance = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}} \times 100\%$$

$$\beta = \frac{|V_{AB}|^4 + |V_{BC}|^4 + |V_{CA}|^4}{\left(|V_{AB}|^2 + |V_{BC}|^2 + |V_{CA}|^2\right)^2} \quad (1.3)$$

No se aplican en un sistema conectado en estrella con retorno neutral; en este caso se debe utilizar la Ecuación 1.2.

1.3.9 Distorsión de la forma de onda sinusoidal

La distorsión de la forma de onda sinusoidal se puede deber a diversos factores como la existencia de componentes DC, armónicas, interarmónicas, muesqueos o ruido.

La existencia de componentes DC en un sistema de AC se denomina también compensación DC. Son resultado de una perturbación geomagnética o asimetría de los convertidores de potencia electrónicos la mayoría de las veces, los prolongadores de vida de bombillas incandescentes son otro ejemplo ya que conllevan rectificación en su interior.

Este fenómeno puede provocar un calentamiento adicional y la pérdida de vida de un transformador. La corriente directa también puede causar la erosión electrolítica de los electrodos de puesta a tierra y otros conectores.

Los armónicos son voltajes o corrientes sinusoidales que tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Las formas de onda distorsionadas periódicamente pueden descomponerse en la suma de la frecuencia fundamental y sus armónicas.

La distorsión armónica se origina en las características no lineales de los dispositivos y las cargas en el sistema de energía como lo son equipos que poseen inversores o usan en general electrónica de potencia que a su vez tiene como principio la conmutación a diversas frecuencias, variadores de frecuencia, hornos de arco, transformadores saturados, etc. Estos a su vez además de deteriorar el voltaje y la corriente resultando en un bajo factor de potencia y calentamiento en los equipos eléctricos pueden también

provocar resonancia en los sistemas eléctricos por la existencia de componentes capacitivos e inductivos.

Las interarmónicas son voltajes o corrientes que tienen componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Son resultado del uso de convertidores de frecuencia estáticos, los convertidores ciclónicos, los hornos de inducción y los dispositivos de arco eléctrico. La mayoría de las veces son resultado de la conversión de frecuencia y a menudo no es constante; varía con la carga. Las interarmónicas pueden resultar en resonancias en el sistema eléctrico también. Estas pueden afectar la señalización del portador de la línea de alimentación y pueden desencadenarse en otro tipo de fenómeno electromagnético como lo son los parpadeos [3].



Figura 1.9: Distorsión Armónica [6]

Existen dos normas que tratan de la regularización de los armónicos, estas son:

- IEEE, "IEEE - Standard - 519 -1992, Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems", New York, NY, 2014.
- IEC 1000-3-2, "Limits for Harmonic Current Emissions", International Electrotechnical Commission Standard", Mar – 1995.

Esta norma básicamente indica que existen responsabilidades tanto entre consumidores y suministradores, estableciendo una limitación sobre la cantidad de corriente armónica que un consumidor puede inyectar en la red de distribución eléctrica y una limitación en el nivel de voltaje armónico que una compañía de distribución de electricidad puede suministrar al consumidor respectivamente; todo esto por medio de índices de calidad de armónicos que indican las distorsiones armónicas totales e individuales de corriente y voltaje, los cuales se detallan a continuación:

- Distorsión Armónica Total de Voltaje

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N V_h^2}}{V_1} \times 100 \quad (1.4)$$

- Distorsión Armónica Total de Corriente

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N I_h^2}}{I_1} \times 100 \quad (1.5)$$

- Distorsión Armónica Individual

$$IHD_h = \frac{V_h}{V_1} \times 100 \quad (1.6)$$

- Distorsión de Demanda Total

$$TDD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^N I_h^2}}{I_{demanda_m\acute{a}xima}} \times 100 \quad (1.7)$$

Donde:

V_1 = Voltaje de la fundamental

I_1 = Corriente de la fundamental

V_h = Voltaje de la armónica h seleccionada; h=2,3,4,5...

I_h = Corriente de la armónica h seleccionada; h=2,3,4,5...

La corriente de carga de demanda máxima es la suma de las corrientes correspondientes a la demanda máxima durante cada uno de los doce meses del año dividida por 12.

Los índices de distorsión armónica dados en la norma IEEE 519-2014 se recomiendan ser medidos en el punto de acoplamiento común (PCC) entre el suministrador (empresa eléctrica) y el consumidor (usuario). El punto de acoplamiento común (PCC) es donde la carga del consumidor se conecta con otras cargas en el sistema de potencia. El límite primario de los clientes individuales es la cantidad de corriente armónica que ellos

pueden inyectar en la red de distribución. Los límites de corriente se basan en el tamaño del consumidor con respecto al sistema de distribución. Los clientes más grandes se restringen más que los clientes pequeños.

Voltaje de Barra V en PCC	Armónicos individuales (%)	Distorsión Armónica Total THD (%)
$V \leq 1.0$ kV	5.0	8.0
1 kV < $V < 69$ kV	3.0	5.0
69 kV < $V < 161$ kV	1.5	2.5
161 kV < V	1.0	1.5*
*Los sistemas de alto voltaje pueden tener hasta un 2.0% de THD donde la causa es un terminal HVDC cuyos efectos se habrán atenuado en los puntos de la red donde los usuarios futuros pueden estar conectados.		

Tabla 1.2: Límites de Distorsión de Voltaje [7]

El tamaño relativo de la carga con el respecto a la fuente se define como la relación de cortocircuito (SCR). El tamaño del consumidor es definido por la corriente total de la frecuencia fundamental en la carga I_L , que incluye todas las cargas lineales y no lineales. El tamaño del sistema de abastecimiento es definido por el nivel de la corriente de cortocircuito ISC, al PCC. Estas dos corrientes definen el SCR (relación de cortocircuito).

$$SCR = \frac{\text{Short_Circuit_MVA}}{\text{Load_MW}} = \frac{I_{SC}}{I_L} \quad (1.8)$$

Donde:

I_{SC} = Máxima corriente de corto circuito en PCC.

I_L = Corriente de carga a demanda máxima (Componente de frecuencia fundamental) en el PCC bajo condiciones de operación de carga normal.

Distorsión Máxima de la Corriente Armónica en porcentaje de la Corriente de Carga I_L						
Orden armónico individual (Armónicos Impares)						
I_{SC}/I_L	$3 \leq h \leq 11$	$11 \leq h \leq 17$	$17 \leq h \leq 23$	$23 \leq h \leq 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20 ^c	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 1.3: Límites de Distorsión de Corriente para sistemas clasificados de 120V/69kV [7]

Destacando que los armónicos están limitados al 25% de los límites armónicos impares anteriores.

No se permiten las distorsiones actuales que resultan en un desplazamiento de CC, por ejemplo, convertidores de media onda. Todos los equipos de generación de energía

están limitados a estos valores de distorsión de la corriente, independientemente de la actual I_{SC}/I_L .

Las muescas o notches no son más que descensos periódicos en el voltaje, con duraciones cortas causadas por el funcionamiento de los dispositivos electrónicos de potencia [6]. Las muescas se dan cuando la corriente conmuta de una fase a otra, como por ejemplo en los convertidores trifásicos. Los componentes de frecuencia asociados con la muesca pueden ser bastante altos y pueden no caracterizarse fácilmente con el equipo de medición que se usa normalmente para el análisis de armónicos [3].



Figura 1.10: Muescas [6]

El ruido o noise o también conocidos como interferencia electromagnética (o por sus siglas en inglés, EMI) son señales eléctricas no deseadas superpuesto al voltaje o la corriente de alimentación, conductores neutros o líneas de comunicación.

El ruido en los sistemas de energía puede ser causado por dispositivos electrónicos de potencia, circuitos de control, equipos de arco, cargas con rectificadores de estado sólido y fuentes de alimentación de conmutación, comunicación de la línea eléctrica del operador o transmisiones inalámbricas.

El ruido frecuentemente se ve agravado cuando se tiene una mala puesta a tierra, que no logra alejar el ruido del sistema de potencia. El ruido afecta a dispositivos electrónicos, como el microordenador y los controladores programables [3].

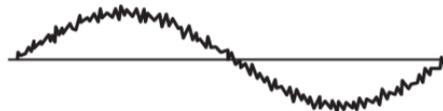


Figura 1.11. Ruido [6]

1.3.10 Fluctuaciones de Voltaje [6]

Las fluctuaciones de voltaje o también conocidas como parpadeos o flickers, son pequeñas fluctuaciones repetitivas en el nivel de voltaje, comúnmente son causadas por cargas pulsantes o no lineales o intermitentes como lo son los hornos de arco.

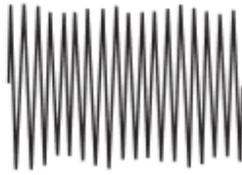


Figura 1.12: Fluctuaciones de Voltaje

Las fluctuaciones de voltaje se describen los siguientes índices:

Índice de severidad del parpadeo de corta duración (Pst). - Índice que evalúa la severidad del parpadeo en cortos intervalos de tiempo (intervalo de observación base de 10 minutos). Se considera $Pst \leq 1$ como el umbral de irritabilidad (fluctuación máxima de luminancia que puede ser soportada sin molestia por una muestra específica de población).

Índice de severidad del parpadeo de larga duración (Plt). - Índice que evalúa la severidad del parpadeo en largos intervalos de tiempo (intervalo de observación base de 2 horas), teniendo en cuenta los sucesivos valores del índice de severidad del parpadeo de corta duración según la siguiente expresión:

$$Plt = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}} \quad (1.9)$$

1.3.11 Variación de Frecuencia [6]

Causadas comúnmente por equipos de servicios públicos mal regulado o la puesta en marcha de algún generador de energía de emergencia.

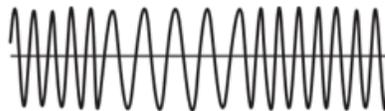


Figura 1.13: Variación de Frecuencia

1.3.12 Caracterización de las Perturbaciones [4]

Categorías	Contenido Espectral Típico	Duración Típica	Magnitud de Voltaje Típica
1.0. Transientes 1.1. Impulsivos 1.1.1. Nanosegundos 1.1.2. Microsegundos 1.1.3. Milisegundos 1.2. Oscilatorios 1.2.1. Baja Frecuencia 1.2.2. Media Frecuencia 1.2.3. Alta Frecuencia	5ns subida 1µs subida 0.1ms subida < 5 kHz 5 – 500 kHz 0.5 – 5 MHz	< 50 ns 50 ns – 1 ms > 1ms 0.3 – 50 ms 20 µs 5 µs	 0 – 4 pu 0 – 8 pu 0 – 4 pu
2.0. Variaciones de Corta Duración (RMS) 2.1. Instantáneos 2.1.1. Caída 2.1.2. Aumento 2.2. Momentáneos 2.2.1. Interrupción 2.2.2. Caída 2.2.3. Aumento 2.3. Temporales 2.3.1. Interrupción 2.3.2. Caída 2.3.3. Aumento		0.5 – 30 ciclos 0.5 – 30 ciclos 0.5 ciclos – 3 s 30 ciclos – 3 s 30 ciclos – 3 s > 3 s – 1 min > 3 s – 1 min > 3 s – 1 min	0.1 – 0.9 pu 1.1 – 1.8 pu < 0.1 pu 0.1 – 0.9 pu 1.1 – 1.4 pu < 0.1 pu 0.1 – 0.9 pu 1.1 – 1.2 pu
3.0. Variaciones de Larga Duración (RMS) 3.1. Interrupción sostenida 3.2. Subvoltaje 3.3. Sobrevoltaje 3.4. Corriente de sobrecarga		> 1 min > 1 min > 1 min > 1 min	0.0 pu 0.8 – 0.9 pu 1.1 – 1.2 pu
4.0. Desbalance 4.1. Voltaje 4.2. Corriente		Estado Estable Estado Estable	0.5 – 2% 1.0 – 30%
5.0. Distorsión de la forma de onda sinusoidal 5.1. Compensación DC 5.2. Armónicas 5.3. Inter-armónicas 5.4. Muecas 5.5. Ruido	0 – 9 kHz 0 – 9 kHz Banda Ancha	Estado Estable Estado Estable Estado Estable Estado Estable Estado Estable	0 – 0.1% 0 – 20 % 0 – 2% 0 – 1%
6.0. Fluctuaciones de Voltaje	< 25 Hz		0.1 – 7% 0.2 – 2 Pst
7.0. Variación de Frecuencia		< 10 s	± 0.10 Hz

NOTA: Estos términos y categorías se aplican a las mediciones de calidad de energía y no deben confundirse con términos similares definidos en IEEE Std 1366TM-2003 y otros estándares relacionados con confiabilidad, prácticas recomendadas y guías.

*Índice de gravedad de parpadeo Pst como se define en IEC 61000-4-15:2003 y IEEE Std 1453™-2004.

*La cantidad pu se refiere a por unidad, el cual es adimensional. La cantidad 1.0 pu corresponde al 100%. Las condiciones nominales a menudo se consideran 1.0 pu. En esta tabla, el valor máximo nominal se utiliza como base para los transitorios y el valor nominal en RMS se utiliza como base para las variaciones en RMS.

Tabla 1.4: Caracterización de las Perturbaciones

1.4 Detalles de la investigación

1.4.1 Descripción del problema

Los informes plantillas actuales que se rigen en la empresa eléctrica para indicar el estado de un sistema eléctrico, a base del análisis de los principales índices de calidad de energía, permiten a mi consumidor o cliente darse cuenta de los problemas que tiene y si se está incumpliendo con respecto a alguna de las normas dadas por la Regulación ARCONEL – 005/18. Por lo cual es de vital importancia el entendimiento pleno de dicha plantilla informe para el consumidor o cliente. En este trabajo se plantea el diseño de un nuevo modelo de evaluación de la calidad de la energía con carácter gerencial de tal manera que su revisión pueda ser abarcada por más personas que no tengan conocimiento profundo en el área eléctrica.

1.4.2 Justificación del problema

Dependiendo del producto final presentado, se puede presentar una propuesta en firme comercializable para los diferentes usuarios finales que se enmarquen en la realidad del predio seleccionado para el presente estudio, así garantizando el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos.

1.4.3 Objetivos

- Creación de un modelo de evaluación óptimo de la calidad de la energía a fin de facilitar el entendimiento de una perturbación eléctrica presente con sus causas y efectos al responsable de alguna planta industrial.
- Detallar los diferentes parámetros obtenidos durante el monitoreo dando como resultado un informe que muestre si existen o no falencias en la calidad de servicio entregado al consumidor.
- Analizar los diversos modelos existentes de evaluación de la calidad de energía de tal forma que se implemente un modelo personalizado con los factores más relevantes para futuras evaluaciones.

- Identificar los problemas presentes en el sistema eléctrico determinando si existe o no la necesidad de modificaciones a la red del sector, para la realización de propuestas que mitiguen la baja calidad de energía.
- Establecer los niveles adecuados de calidad del servicio de distribución de energía, así como los procedimientos de evaluación que debe contemplar la empresa de distribución de servicios públicos de tal manera que se tengan lineamientos a seguir en casos de una revisión general a los diferentes sectores de consumo eléctrico.
- Determinar cómo afecta la baja calidad de la energía en el sector de distribución para el ofrecimiento de una guía de soluciones ante los diversos problemas que puedan suscitarse por esta baja calidad de la energía.
- Monitorear el estado actual del servicio eléctrico que recibe algún sector en específico para la obtención de datos que sirvan para futuras correcciones.

1.5 IEEE Estándar 1159 [4]

La norma IEEE 1159 se titula "Prácticas recomendadas de IEEE para monitorear la calidad de la energía eléctrica" y, como su título lo sugiere, esta norma cubre los métodos recomendados para medir eventos de calidad de la energía. Existen muchos tipos diferentes de dispositivos de medición de calidad de energía y es importante que los trabajadores en diferentes áreas de distribución, transmisión y procesamiento de energía utilicen el mismo lenguaje y técnicas de medición.

El estándar IEEE 1159 fue desarrollado para proporcionar pautas generales para las mediciones de calidad de energía y para proporcionar definiciones estándar para las diferentes categorías de problemas de calidad de energía y proporcionar la base para un lenguaje común al describir los fenómenos de la calidad de la energía. El equipo de monitoreo de la calidad de la energía puede usar este lenguaje para diferenciar correctamente las diferentes variaciones y alteraciones de la calidad de la energía.

1.6 La Medición de la Calidad de la Energía [4]

La medición de la calidad de energía consiste, básicamente, en medir y tomar datos dentro de la monitorización de un sistema eléctrico. Esta se divide en tres fases:

Selección de los equipos de monitorización, Monitorización y Presentación de los datos obtenidos.

1.6.1 Selección de los equipos de monitorización

Con el objetivo de optimizar la monitorización y facilitar el análisis de los datos obtenidos, es aconsejable que el equipo posea: Precisión y rango de medición adecuados al momento de obtener los parámetros de calidad de energía, Facilidad de conexión, Batería auxiliar, Memoria para poder registrar datos, Facilidad para extraer la información y Cumplimiento con las diferentes normativas. Si se requiere colocar en la intemperie, el equipo debe estar diseñado para soportar condiciones ambientales.

En general estos equipos de monitoreo deben de ser capaces de medir, procesar y almacenar información referente a disturbios de hasta el orden de microsegundos y altas frecuencias.

Se debe conocer también sobre el funcionamiento del equipo medidor de la calidad de energía, sus características y sus conexiones; además del funcionamiento de los programas respectivos, como se debe configurar el programa para la toma de datos, finalmente se debe conocer como el programa realiza un análisis de datos y como presenta los datos.

Por lo general los analizadores de energía son los equipos más comunes que se utilizan en la actualidad al momento de realizar un análisis de la calidad de la energía.

La selección y el uso del tipo correcto de monitor requieren que el usuario comprenda las capacidades y limitaciones del instrumento de monitoreo, sus respuestas ante las variaciones del sistema de potencia y los objetivos específicos del análisis.

1.6.2 Monitorización

El monitoreo de la calidad de la energía es necesario para caracterizar los fenómenos electromagnéticos en una ubicación particular en un sistema eléctrico. En algunos casos, el objetivo del monitoreo es diagnosticar incompatibilidades entre la fuente de energía eléctrica y la carga. En otros, para desarrollar una línea de base de calidad eléctrica. En otros, el monitoreo puede usarse para predecir el rendimiento futuro de los equipos de carga o los dispositivos de mitigación de la calidad de la energía. El objetivo

puede ser tan simple como verificar la regulación de voltaje en estado estable en una entrada de servicio o puede ser tan complejo como analizar los flujos de corriente armónica dentro de una red de distribución.

Para la monitorización, inicialmente se debe definir el lugar donde serán instalados los equipos y también el período de la monitorización, para así poder tener un conocimiento global de los disturbios en la red. Es aconsejable que los equipos sean instalados lo más próximos posibles de las cargas sensibles. Es sugerido que estos equipos realicen una monitorización de tiempo determinado por normas. Los puntos comunes estratégicos de medición son a la salida de la fuente de energía ya sea este generador o banco de baterías, antes y después de barras de potencia y transformadores, en banco de capacitores, en cargas no lineales, en cargas sensibles y en el panel principal.

1.6.3 Presentación de los datos obtenidos

Los equipos deben registrar los datos de todas las ocurrencias de los diferentes fenómenos electromagnéticos presentes en la red; presentando el día, la hora, así como también la magnitud y la duración, a sea en gráficos intuitivos o en tabla de resultados. Cabe destacar que la precisión de los datos recae en el muestreo, ya que si la toma de datos es numerosa con respecto a un intervalo de tiempo o en otras el tiempo de muestreo es pequeño esto resultara en un comportamiento de gráficas más fieles al comportamiento original de la señal que se está midiendo.

1.7 Equipos de Medición de la Calidad de la Energía [3]

Los instrumentos que por lo general se tienen al momento de medir la calidad de la energía son muy variados, ya que así también los son los diferentes fenómenos electromagnéticos o perturbaciones que puede tener un sistema eléctrico. Estos son:

- Dispositivos de prueba de cableado y puesta a tierra
- Multímetros
- Osciloscopios
- Analizadores de perturbaciones
- Analizadores de armónicos y analizadores de espectro
- Medidores de parpadeo

- Monitores de energía

Independientemente del tipo de instrumentación necesaria para una prueba en particular, hay una serie de factores importantes que deben considerarse al seleccionar el equipo. Algunos de los factores más importantes incluyen:

- Número de canales (voltaje y/o corriente)
- Especificaciones de temperatura del instrumento
- Robustez del instrumento
- Rango de voltaje de entrada
- Requisitos de energía
- Capacidad para medir voltajes trifásicos
- Aislamiento de entrada
- Capacidad para medir corrientes
- Carcasa del instrumento (portátil, montaje en rack, etc.)
- Facilidad de uso (interfaz de usuario, capacidad de gráficos, etc.)
- Documentación
- Capacidad de comunicación (módem, interfaz de red)
- Software de análisis

1.8 Curvas CBEMA e ITIC [6]

La sensibilidad del equipo informático a las depresiones e incrementos de voltaje de alimentación se puede registrar en curvas de aceptabilidad de amplitud de depresiones e incrementos de voltaje versus la duración del evento. En la década de 1970, la Asociación de Fabricantes de Equipo de Negocios de Computación (CBEMA) desarrolló la curva de la Figura 1.14 utilizando datos históricos de operaciones de computadora mainframe, mostrando el rango de voltajes de alimentación aceptables para equipos de computación. El eje horizontal muestra la duración de la depresión o del incremento, y el eje vertical muestra el porcentaje de cambio en el voltaje de línea. En la década de 1990, la curva del Consejo de la Industria de la Tecnología de la Información (ITIC) fue desarrollada por un grupo de trabajo de CBEMA. En los últimos años, la curva ITIC ha

reemplazado la curva CBEMA en el uso general para sistemas monofásicos, 120 V, 60 Hz.

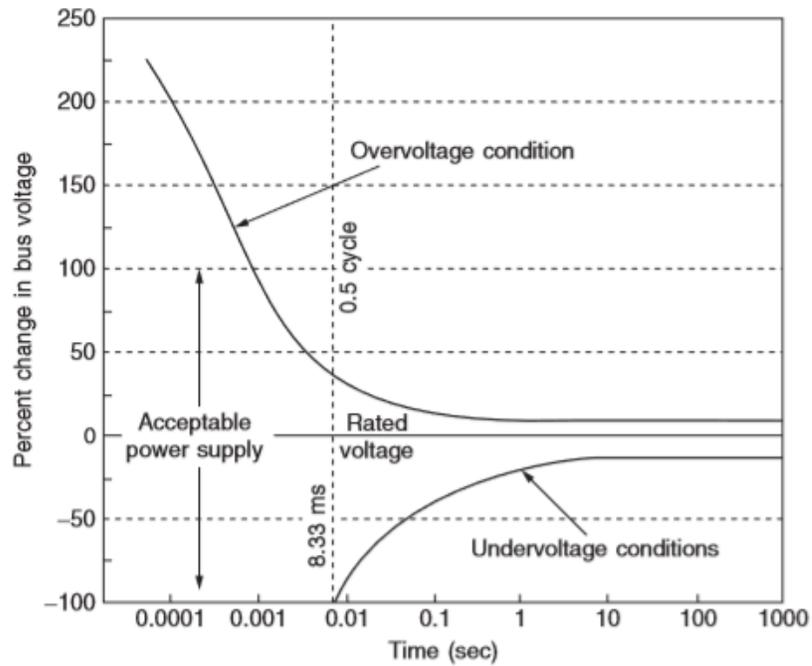


Figura 1.14: Curva CBEMA

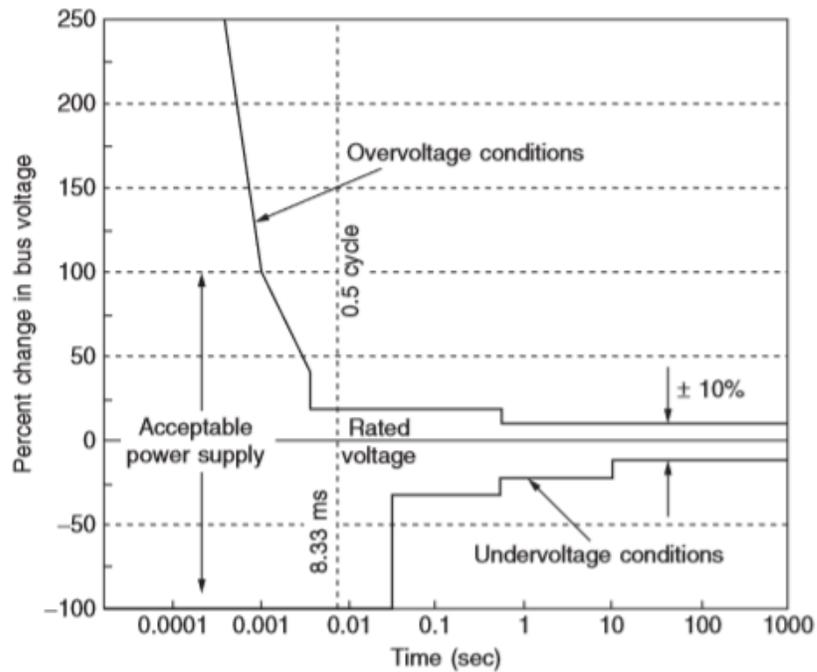


Figura 1.15: Curva ITIC

1.9 Calidad del Servicio [2]

En la actualidad, se debe tener en consideración un aspecto sumamente importante en todo tipo de empresa cuyo fin sea el de entregar un servicio, y es el de mantener en alto la calidad de lo que se dispone a ofrecer, lo mismo sucede con la calidad del servicio de distribución eléctrica dentro del país, dictaminada por el ente regulador actualmente conocido como ARCONEL.

La calidad del servicio es el conjunto de atributos técnicos y comerciales inherentes a la prestación del servicio de energía eléctrica, y que constituyen las condiciones bajo las cuales dicha prestación debe desarrollarse. Se divide en calidad de producto, calidad del servicio técnico y calidad del servicio comercial.

Recordando que el objetivo de la calidad de la energía es establecer los niveles adecuados de calidad del servicio de distribución de energía, así como los procedimientos de evaluación que debe observar la empresa de distribución de servicios públicos.

Esta regulación da premisa al control de tres aspectos significativos que se detallan a continuación:

- Calidad del servicio técnico
- Calidad del servicio comercial
- Calidad del producto

1.9.1 Calidad del Producto

Atributo de la calidad del servicio relacionado con la forma en la que las señales de voltaje son entregadas por la distribuidora, y que se caracteriza, entre otros, por el nivel de voltaje, perturbaciones rápidas de voltaje y armónicos.

La evaluación de la calidad del producto se efectuará considerando los siguientes indicadores:

- Nivel de voltaje
- Perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker)
- Distorsión armónica de voltaje
- Desequilibrio de voltaje

Básicamente el conjunto de parámetros a considerar para que la distribuidora entregue una salida de voltaje adecuada para el cliente, estos son:

Parámetro	Índice de Calidad
Nivel de voltaje	Variación de voltaje respecto al voltaje nominal
Flicker	Índice de severidad por Flicker (parpadeo) de corta duración
Armónicos	Factor de distorsión total por armónicos de voltaje
Factor de Potencia	Factor de potencia en el punto de entrega al consumidor

Tabla 1.5: Índices para la Calidad del Producto

Uno de los detalles a considerar sobre los cuatro parámetros que se evalúan es que para todos ellos se han definido una serie de aspectos:

- Índice de Calidad: No es más que la definición de que fórmula se empleará para el cálculo de dicho índice.
- Mediciones: El muestro llevado a cabo, selección de los puntos a considerar para la toma de datos, energía suministrada durante el proceso de evaluación, el tiempo que tarda en realizarse las mediciones, período de registro de variables, especificación del equipo de medición a utilizar.
- Límites: Establece los rangos para los cuales se puede considerar que se está incumpliendo con una buena calidad de producto.

1.9.2 Calidad del Servicio Técnico

Atributo de la calidad del servicio relacionado con la atención al consumidor final prestado por la distribuidora, y que se caracteriza, entre otros, con los tiempos de atención a nuevos suministros, resolución de reclamos, reposición del suministro, la adecuada facturación y la percepción de satisfacción por el servicio de energía eléctrica por parte de los consumidores.

La evaluación de la calidad del servicio técnico se efectuará considerando los siguientes indicadores:

- Frecuencia de interrupciones a nivel global y por consumidor
- Duración de interrupciones a nivel global y por consumidor

Este es el apartado encargado de la evaluación sobre la confiabilidad del sistema de distribución, llevada a cabo mediante la medición de cuán frecuentes y duraderas resultan las interrupciones en la red de estudio. La forma en que se realiza la evaluación es mediante el cálculo de algunos índices que toman como base los kVA

nominales desconectados y kVA nominales instalados, también se incluye como parte del cálculo todas las interrupciones que se susciten, ya sean por causas externas, programadas o no programadas.

Dentro de este caso se puede encontrar dos fases de evaluación:

- Fase 1

Primero se busca corroborar el acatamiento dentro de los rangos propuestos para los índices de calidad referentes al periodo de duración y frecuencia con la que se dan los cortes o interrupciones por cada alimentador primario y a su vez a la altura de lo que es el sistema de distribución.

Frecuencia media de interrupción por kVA nominal instalado	$FMIK = \frac{\sum kVA_i}{kVA_T} \quad (1.10)$
Tiempo total de interrupción por kVA nominal instalado	$TTIK = \frac{\sum kVA_i \cdot t_i}{kVA_T} \quad (1.11)$
<p>$kVA_i =$ Cantidad de kVA nominales fuera de servicio debido a la interrupción i $kVA_T =$ Cantidad de kVA nominales instalados $t_i =$ Tiempo de duración de la interrupción i</p>	

Tabla 1.6: Fase 1 de la evaluación de la Calidad del Servicio Técnico

- Fase 2

En esta fase se busca cumplir con los mismos índices, pero esta vez con respecto al consumidor.

$FI_c = N_c \quad (1.12)$	Frecuencia de interrupciones por consumidor, el cual representa el número de veces que un consumidor sufrió interrupción del servicio durante el período de control (mensual o anual).
$DI_c = \sum_i k_i \cdot tc_i \quad (1.13)$	Duración de las interrupciones por consumidor, el cual corresponde a la sumatoria ponderada de las duraciones individuales de todas las interrupciones del suministro de electricidad que afectaron al consumidor durante el período de control (mensual o anual).
<p>$N_c =$ Número de interrupciones que afectaron al consumidor, durante el período de control. $tc_i =$ Tiempo de duración de la interrupción del consumidor. $k_i =$ Factor de ponderación de las interrupciones.</p>	

Tabla 1.7: Fase 2 de la evaluación de la Calidad del Servicio Técnico

1.9.3 Calidad del Servicio Comercial

Atributo de la calidad del servicio relacionado con la continuidad con la que se prestará el servicio de energía eléctrica, y que se caracteriza por la frecuencia y la duración de las interrupciones de suministro.

La evaluación de la calidad de la prestación del servicio comercial se efectuará considerando los siguientes indicadores:

- Porcentaje de atención a nuevos suministros
- Porcentaje de errores en la facturación
- Tiempo promedio de resolución de reclamos
- Porcentaje de resolución de reclamos
- Porcentaje de restablecimiento de servicio
- Porcentaje de respuestas a consultas
- Satisfacción de consumidores

Una de las obligaciones que le competen a la distribuidora, es la de proporcionar un banco de servicios comerciales que son requeridos para establecer el mantenimiento de un nivel idóneo de satisfacción para los consumidores, lo que conlleva a definir niveles de calidad tanto individuales como globales, los individuales destinados al consumidor como tal, y los globales, que están ligados directamente a la evaluación global de la empresa, todo esto con fines pertinentes a la calidad comercial.

A continuación, se enlistan los indicadores que se consideran para la evaluación:

Índice Individual	Índice Global
Conexión del servicio eléctrico y el medidor	Conexión del servicio
Estimación en la facturación	Calidad de la facturación
Resolución de reclamos comerciales	Tratamiento de reclamos
Restablecimiento del servicio suspendido	Rehabilitación del suministro
Plazo de respuesta a consultas de los consumidores	Respuesta a consultas a los consumidores
Notificación de interrupciones programadas	-
Reposición del servicio después de una interrupción	Consumidores conectados después de una interrupción

Tabla 1.8: Índices Individuales y Globales de la Calidad del Servicio

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

Capítulo 2 Metodología

2.1 Consideraciones Generales

Este capítulo se lo ha dividido en tres fases, para la elaboración de un modelo óptimo de informe para el estudio de la calidad de la energía en el área de distribución; la primera fase detalla los equipos que se utilizan para realizar los análisis de energía, y a su vez una breve comparativa con sus predecesores, indicando los aspectos más relevantes en cuanto a sus características generales, incluye también los datos técnicos de las sondas disponibles, y las que se emplearon para la toma de datos en este estudio.

Además, se detalla la manera en la que se implementa el uso del equipo seleccionado para la recolección de datos, a partir de un conjunto de pasos a seguir, abarcando además el software que emplea dicho equipo, con una breve reseña de la forma de uso del programa, adquisición e importación de datos a hojas de Excel para su posterior uso.

Una vez que el equipo ha pasado por todo lo anteriormente mencionado, se puede apreciar algunas de las típicas conexiones a las que se puede poner a prueba el equipo, haciendo énfasis en las conexiones que le competen a este estudio.

En lo que respecta a la segunda fase, se selecciona el conjunto de normas que la ARCONEL estipula en su regulación 005/18, en base a los datos adquiridos por el registrador, ya sea de forma gráfica o por los datos tabulados en hojas de cálculo. Se han anotado una lista de problemas y soluciones a raíz de la normativa a seguir en esta fase.

Finalmente, a la elaboración de la plantilla o modelo óptimo, se le ha designado una fase completa, ya que requiere del análisis completo de toda la información recaba hasta este punto, incluyendo los diferentes puntos de estudio, y el planteamiento de las mejoras que optimicen el informe final a ser entregado para una buena elaboración de estudio de Calidad de Energía.

2.2 Equipos de Medición de Calidad de Energía

2.2.1 Fluke 1744 [8]

Uno de los dispositivos más utilizados, ya que es un equipo portátil, sumamente ligero cuyos aspectos generales se mencionan en el punto 3.2.1, carece de un display, lo que conlleva a que la visualización de datos sea realizada a través de un computador, sin embargo, cuenta con una serie de leds que indican el correcto funcionamiento de este equipo al momento de conectarse, e informar al usuario que la señal de corriente o voltaje está siendo debidamente captada.

Su gran uso se debe a que cuenta con certificación IP65 que da la opción a poder ser implementado para conexiones en la intemperie, además de que su fuente de alimentación puede ser tomada directamente de la red en cuestión.

Este dispositivo es clave de detallar ya que ha sido implementado para este informe, ayudando con la toma de datos por un período de tiempo que ha sido especificado por la regulación ARCONEL N°005/18 de mínimo una semana completa de medición.

Posteriormente se habla del software que maneja este equipo, dando detalle de los pasos a seguir para realizar una toma adecuada de datos, dicho software tiene el nombre de PQ Log, propio de la marca FLUKE.



Figura 2.1: Dispositivo Fluke 1744

❖ Funciones y Parámetros de Fluke 1744

Entre los parámetros y funciones de registro que posee este dispositivo se encuentran las siguientes:

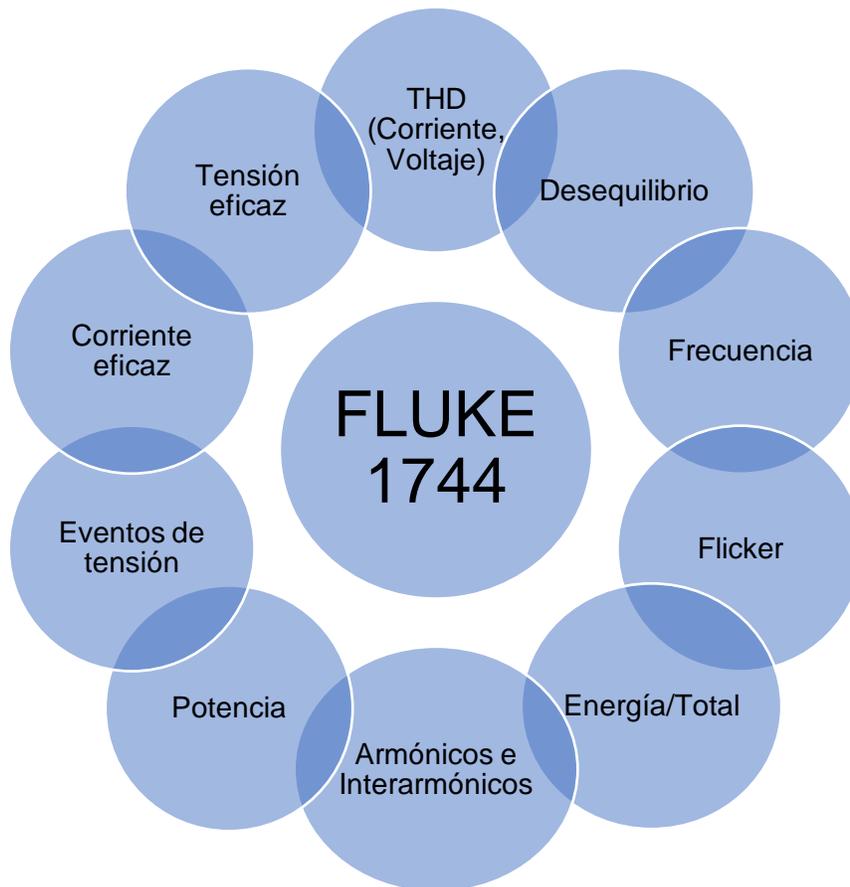


Figura 2.2: Funciones y Parámetros de Fluke 1744

- Partes y Accesorios de Fluke 1744

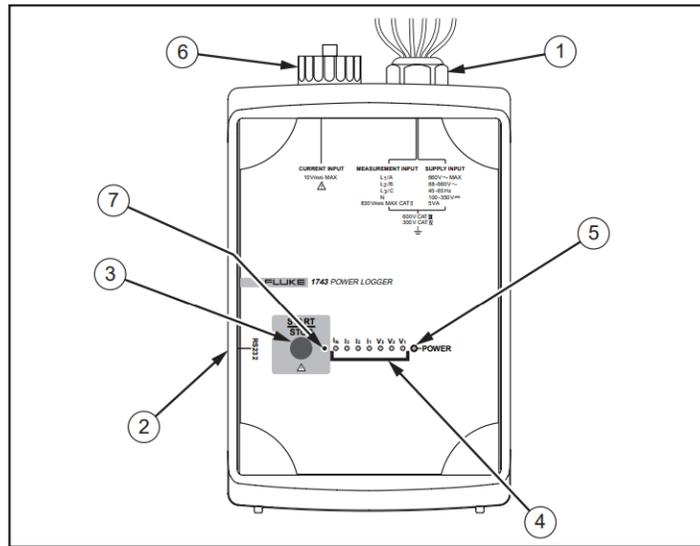


Figura 2.3: Partes y Accesorios de Fluke 1744

1	Cables de alimentación y cables de prueba para la medición de la tensión de tres fases más neutro
2	Puerto de interfaz RS232
3	START/STOP
4	Indicadores LED de canales
5	Indicador LED de estado de la alimentación
6	Conector para juego flexible o pinzas amperimétricas
7	Indicador LED de estado registro

Tabla 2.1: Partes y Accesorios de Fluke 1744

La Figura 2.4 muestra la mayoría de accesorios con los que viene acompañado el FLUKE 1744, de entre las cuales se encuentran las sondas de corriente y las sondas de voltaje.



Figura 2.4: Accesorios de Fluke 1744

2.2.2 Fluke 1760 [9]



Figura 2.5: Dispositivo Fluke 1760

También conocido como registrador o analizador trifásico para la calidad eléctrica, es uno de los equipos más completos del mercado, siendo catalogado como clase A por la normativa IEC 61000-4-30 ya que cumple a cabalidad con todos los parámetros que la norma estipula.

Posee una capacidad de memoria muy superior a los otros equipos en el mercado, con 2 GB, es capaz de registrar la información de forma detallada y de manera simultánea numerosos parámetros eléctricos por períodos de tiempo programables que pueden llegar a ser extremadamente largos si se pone a prueba la cantidad de memoria que se mencionó anteriormente.

Permite al usuario la posibilidad de realizar varias funciones, entre ellas se puede mencionar algunas como son: análisis detallado de las perturbaciones, la correlación de eventos en varios lugares, y estudios tanto de carga como de calidad de la potencia eléctrica.

❖ Funciones y Parámetros de Fluke 1760

A continuación, se enlistan las funciones y parámetros que este equipo es capaz de medir, aumentando una opción más que el Fluke 1744, que es la transmisión de señales.

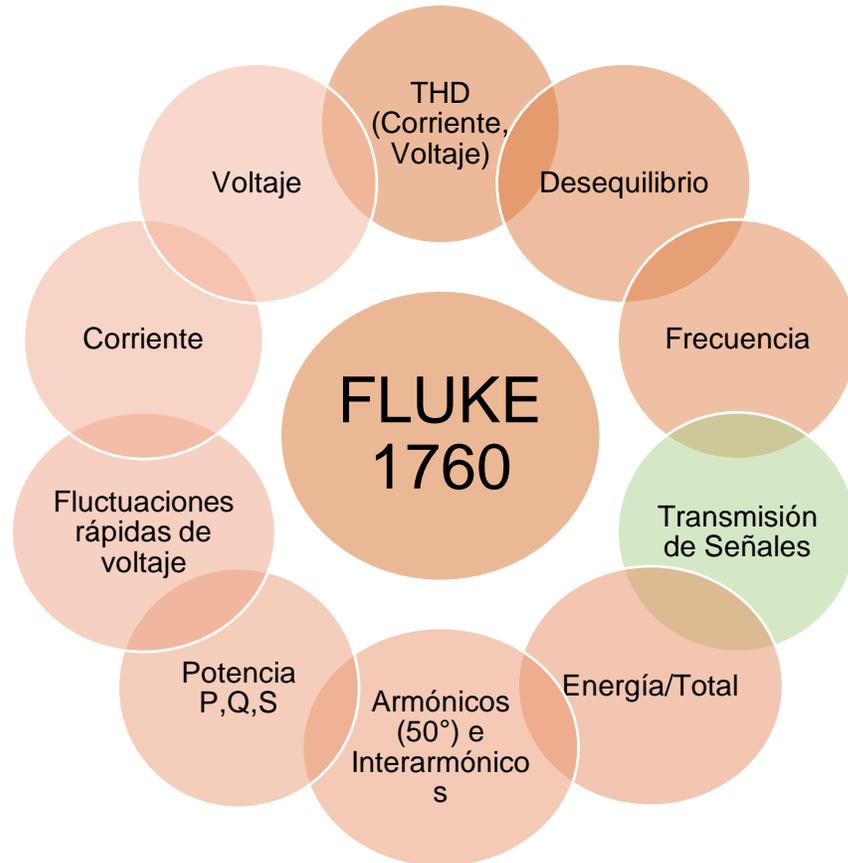


Figura 2.6: Funciones y Parámetros de Fluke 1760

❖ Partes y Accesorios de Fluke 1744

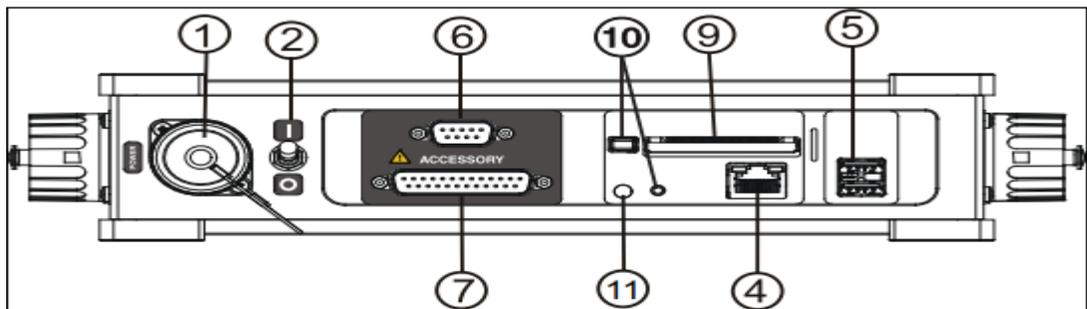


Figura 2.7: Partes y Accesorios de Fluke 1760 vista lateral

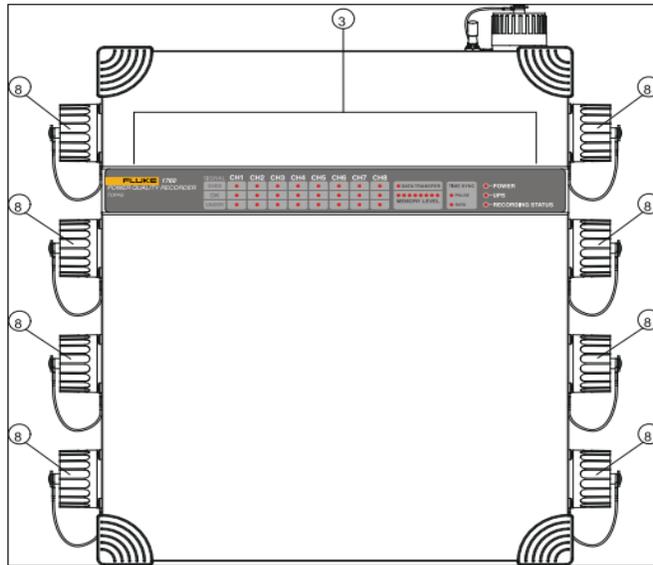


Figura 2.8: Partes y Accesorios de Fluke 1760 vista superior

1	Conexiones de Red
2	Interruptor de Red
3	Indicadores LED
4	Conector Ethernet
5	Conectores USB tipo A
6	COM 1 – puerto serial (RS232)
7	Conector de funciones
8	Conectores de entrada de medidas
9	Ranura para tarjeta flash compacta
10	Botón de expulsión de tarjeta flash y LED
11	Botón de reinicio

Tabla 2.2: Partes y Accesorios de Fluke 1760

En la Figura 2.9 se puede apreciar el equipo Fluke 1760 con todos sus accesorios.



Figura 2.9: Accesorios Fluke 1760

2.2.3 Sondas de Corriente

- ❖ Características del Transformador de Corriente tipo pinza TPS CLAMP de Fluke 1760 de 200 A / 20 A.



Figura 2.10: Transformador de Corriente tipo pinza TPS CLAMP de Fluke 1760

Especificaciones Generales	
Rangos de medición seleccionables por software	De 0.2 a 20 A de 2 a 200 A
Corriente pico para corrientes sinusoidales	74 A 300 A
Error intrínseco	0.5%
Rango de frecuencia	De 40 Hz a 10 kHz
Tensión de trabajo	CAT IV 300 V
Error de fase	0.5°
Apertura de la mordaza	< 15 mm de diámetro obarras colectoras de 15 x 17 mm
Errores en % del rango de medición a 23° C ±2 K; 74° F ±2 K, de 48 a 65 Hz	
Error del ángulo de fase en la corriente nominal	
Corriente I _{max} máxima sin límite de tiempo (para derivaciones CA y CC)	

Tabla 2.3: Especificaciones Generales de Transformador de Corriente tipo pinza TPS CLAMP de Fluke 1760

- ❖ Fluke 1743/4 Thin Flexi Set 3000A Ip65 4-Ph

En este apartado se mencionan las características generales de las pinzas que se tuvieron disponibles para el presente estudio, ya que una gran ventaja como su nombre lo indica, es su flexibilidad, que permite abarcar una gran cantidad de cableado, y de igual manera por su rango de medición que es bastante amplio, constan de cuatro anillos o sondas para mediciones trifásicas, bifásicas o monofásicas, incluyendo el neutro de un sistema de 4 hilos.



Figura 2.11: Fluke 1743/4 Thin Flexi Set

Especificaciones Generales	
Rangos de Corriente L1 o A, L2 o B, L3 o C, N	15, 150, 1500 o 3000 A ac
Rango de Medición	0.75 A a 3000 A ac
Error intrínseco	< 2% de I
Posición de influencia	Máx. ±2% de m.v. para conductor de distancia al cabezal de medición >30mm
Influencia de pérdida de campo	<±2 para I _{ext} = 500 A ac y distancias al cabezal de medición > 200mm
Coficiente de Temperatura	0.005%/K
Transformador de Corriente	Ratio: ≤999kA/I
Selección del Ratio	Por trabajo de programación
Conexiones	Trifásicas, trifásicas 3 hilos y Neutro, Bifásica, Monofásica.

Tabla 2.4: Especificaciones Generales de Fluke 1743/4 Thin Flexi Set

2.2.4 Sondas de Prueba

❖ Juego de cables de voltaje VL1735/1745

El conjunto de cables de prueba para medir la tensión que utilizan los equipos analizadores de energía previamente expuestos en los puntos anteriores son los que se muestran en la Figura 2.12, constan de 4 cables o sondas de prueba adaptados con pinzas dolphin para un mejor agarre a la estructura a la que se le va a realizar la medición, cada uno nombrado como F1, F2, F3 y N, que define las tres fases y el neutro.



Figura 2.12: Juego de cables de voltaje VL1735/1745

Rangos de Voltaje para las distintas conexiones en AC	
Conexión en Estrella	57V 66V 110V 120V 127V 220V 230V 240V 260V 277V 347V 380V 400V 417V 480V
Conexión en Delta	100V 115V 190V 208V 220V 380V 400V 415V 450V 480V 600V 660V 690V 720V 830V

Tabla 2.5: Rangos de Voltaje para las distintas conexiones en AC de juego de cables de voltaje VL1735/1745

Los rangos de voltaje se ven limitados a las capacidades del equipo en cuestión que se esté empleando.

2.2.5 Comparativas entre dispositivos actuales y sus versiones previas

❖ Memobox Smart 330 vs. Fluke 1744 [8]

Tabla comparativa de equipos de medición empleados en las pruebas de Calidad de Energía		
Marca	Memobox Smart 300	Fluke serie 1744
Memoria	4 MB	8 MB
Protección contra el polvo/agua	IP65	IP65
Consumo de Energía	Aprox. 7 w	Aprox. 5 w
Conexiones	3 fases, 3 fases y neutro, 2 fases L1 y L3	Delta, 2 elementos en Delta, Estrella, Monofásica, Fase dividida
Software	CODAM Plus	PQ Log
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Seguro de calidad • Análisis de Perturbaciones • Medición de Potencia • Optimización de Red 	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento de la calidad de servicio. • Estudios de calidad de energía • Evaluación de la energía y calidad de la energía. • Estudios de carga • Análisis de perturbaciones

Tabla 2.6: Memobox Smart 330 vs. Fluke 1744

❖ TOPAS 1000 vs. Fluke 1760 [9]

Tabla comparativa de equipos de medición empleados en las pruebas de Calidad de Energía		
Marca	TOPAS 1000	Fluke serie 1760
Memoria	512 MB memoria interna, expandible con tarjeta de memoria flash compacta hasta 2 GB	2GB de memoria flash
Protección contra el polvo/agua	IP65 según EN 60529 con tapa de interfaz cerrada	IP40 Carcasa aislada de plástico resistente
Consumo de Energía	Max 30 VA	Max 54VA
Conexiones	-	4 voltajes + 4 corrientes para 3 fases y neutro u 8 voltajes
Software	TOPAS	PQ Analyze
Aplicaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de perturbaciones y sus causas • Determinar las reservas de transformador/alimentador • Adquirir y analizar eventos transitorios • Calidad de Energía según EN 50160 • Detección de interferencias, picos de potencia • Prueba de función de los sistemas de control de ondulación • Valores extremos del día • Escritor de informes 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis detallado de perturbaciones • Cumplimiento con la calidad del servicio de clase A • Correlación de eventos en lugares variados • Mediciones llevadas en paralelo al mismo tiempo en sistemas independientes de alimentación • Estudios de calidad de la electricidad y de carga de electricidad

Tabla 2.7: TOPAS 1000 vs. Fluke 1760

2.3 Software y Programación

2.3.1 PQ Analyze (Fluke 1760) [9]

En similitud al PQ Log del Fluke 1744, el software que emplea el Fluke 1760 se encarga de permitir al usuario la configuración del dispositivo, así como la visualización de los diferentes datos tomados durante un periodo de tiempo determinado por el usuario.

Dado que este dispositivo cuenta con una amplia memoria, puede llegar a tomar una gran cantidad de datos, todos estos pueden ser exportados a un formato Word o Excel, facilitando así el trabajar con los valores tomados, el programa también cuenta con la norma respectiva, donde especifican valores límites permitidos, entre otros parámetros que avalan un correcto estudio, las diferentes aplicaciones se las pueden encontrar en la tabla comparativa de la sección 2.2.5.



Figura 2.13: PQ Analyze Software

2.3.2 PQ Log (Fluke 1744) [8]

Dentro de los instrumentos de medición, en este caso para el Fluke 1744, viene con el software PQ Log, el cual permite al usuario la lectura de todos los datos que se han censado durante el periodo de medición determinado por las normas actuales que rigen la adecuada elaboración de un proceso de estudio de la calidad de la energía.

El programa cumple varias funciones, entre ellas permite al usuario la visualización de los datos que están en formato ASCII, mediante una presentación gráfica conforme a la norma EN 50160, y su papel fundamental, el de ingresar los diferentes parámetros de configuración entre ellos los más relevantes como lo son: La hora y fecha actual, el tipo de memoria, el tiempo de medición, el muestreo, el tipo de conexión a la que se está ubicando el dispositivo, entre otros aspectos.



Figura 2.14: PQ Log Software

En el siguiente punto se ofrece una serie de paso de como iniciar el programa PQ Log y la manera sencilla de obtener los datos recabados por el equipo de medición Fluke 1744.

2.3.3 Pasos básicos para el análisis de datos con el programa PQ Log

Una vez hecha las mediciones en el lugar de análisis por medio del equipo Fluke 1744 se procede a adquirir la información que nos ofrece el equipo, esta información se dividen en 2 archivos. El primer archivo es un documento de texto donde registraron todos los datos en el tiempo de muestreo, mientras que el segundo es un archivo más complejo en su composición ya que este es con el cual se procede a abrir los datos de este estudio en el software PQ Log.

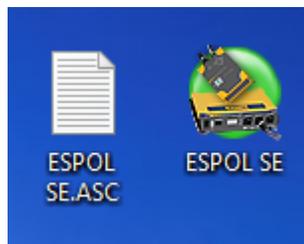


Figura 2.15: Archivos provenientes del software PQ Log

Entonces se procede a abrir el archivo propio del software PQ Log, con lo cual aparecerá la siguiente ventana:

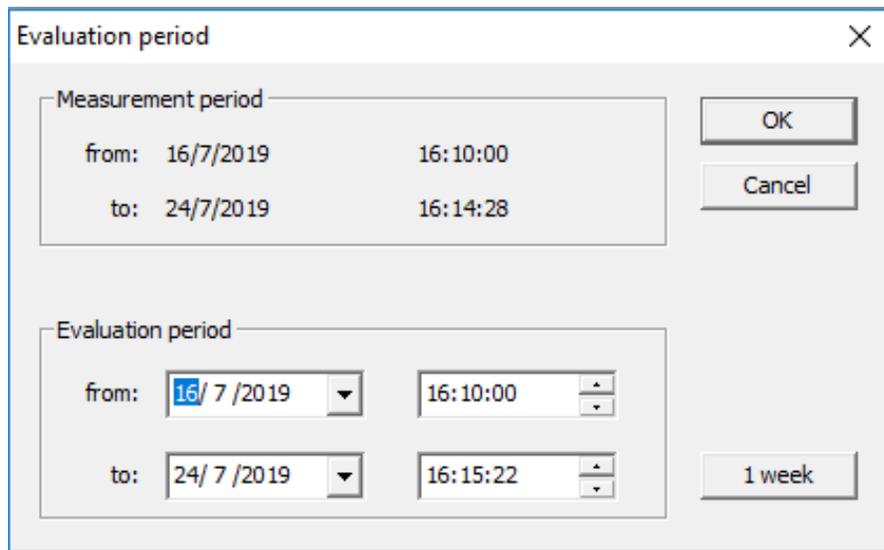


Figura 2.16: Ventana para fijar el periodo de evaluación

En el cual se muestra el periodo de medición y el periodo de evaluación, para el periodo de evaluación solo se tomará una semana de análisis de todo el periodo de medición.

A continuación, se muestra el canal de selección en el cual se puede escoger la o las mediciones que se necesitan analizar de una vasta lista de cantidades de medición como lo son voltajes, corrientes, potencia, factor de potencia y diversos índices de calidad de la energía. Cabe destacar que estas cantidades de medición al ser seleccionadas para su análisis están sujetas al tipo de conexión que se allá realizado con el equipo en el sistema eléctrico analizado.

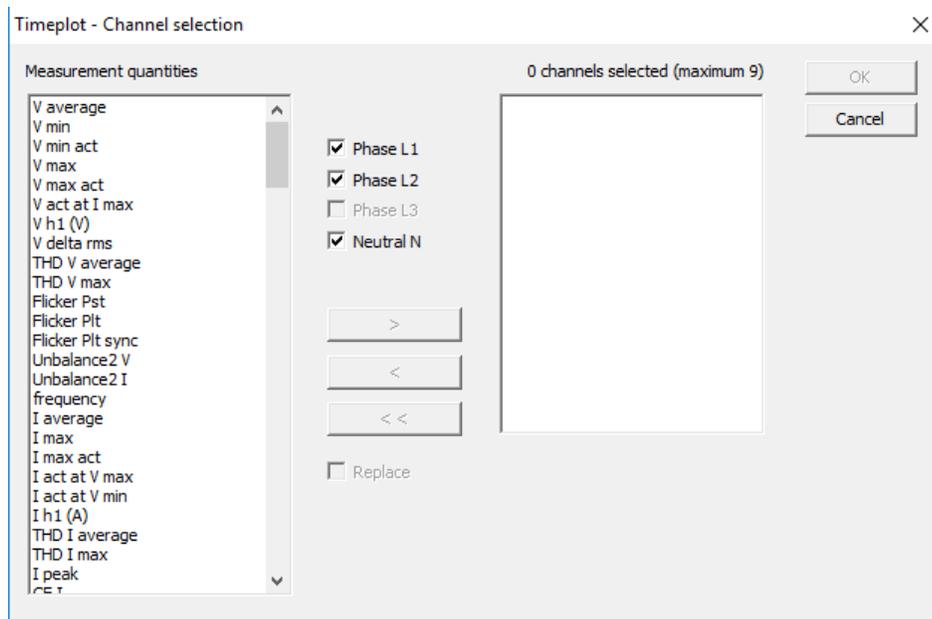


Figura 2.17: Ventana de selección de canales para las mediciones a graficar

Después de haber seleccionado la medición requerida se muestra un gráfico del comportamiento de los valores que toma la medición a través del tiempo, cabe destacar que si se selecciona más de una medición, las gráficas respectivas se superpondrán.

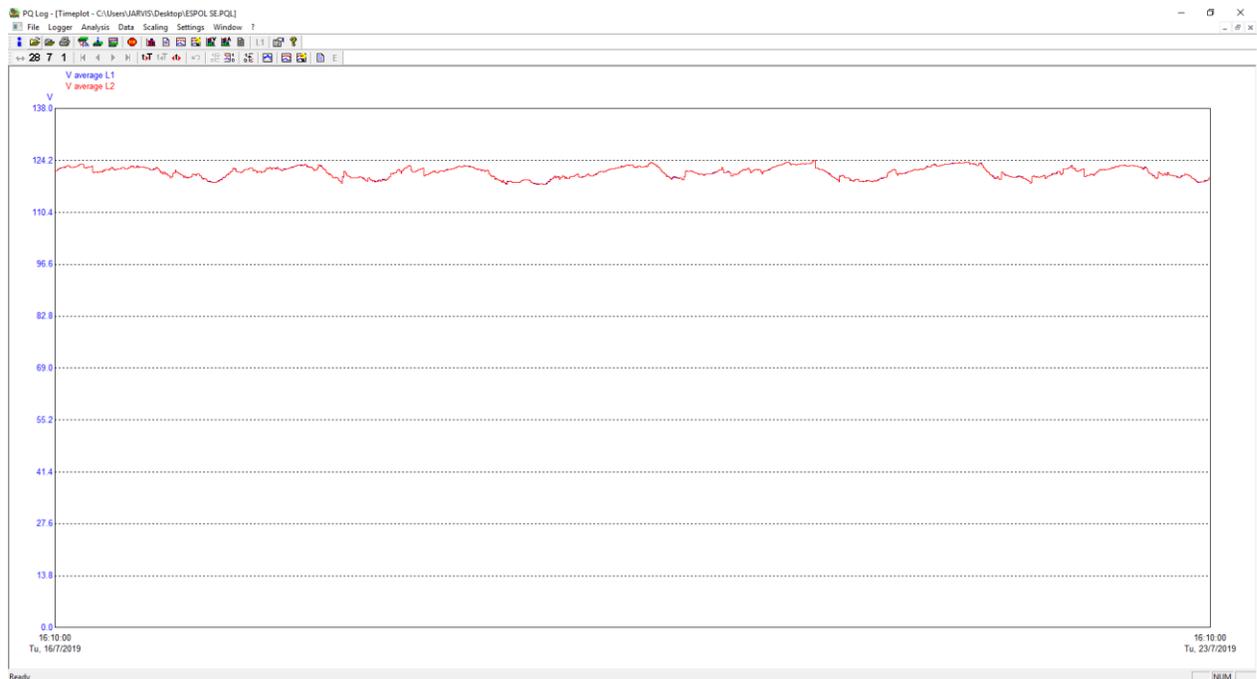


Figura 2.18: Ejemplo de grafico en el software PQ Log

Para dar más precisión al análisis de resultados se puede poner en el grafico los límites a los que está sujeta la medición por norma, la norma por defecto que se tiene en este software de Fluke es la norma europea EN 50160.

Para mostrar los límites a los que están sujetos los valores, se va a la parte superior del programa en la barra de herramientas y se da clic en el siguiente botón:

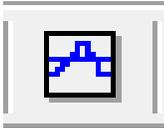


Figura 2.19: Botón para mostrar límites en el software PQ Log

Con lo cual aparecerá instantáneamente los limites en la gráfica que se está analizando de la siguiente forma:

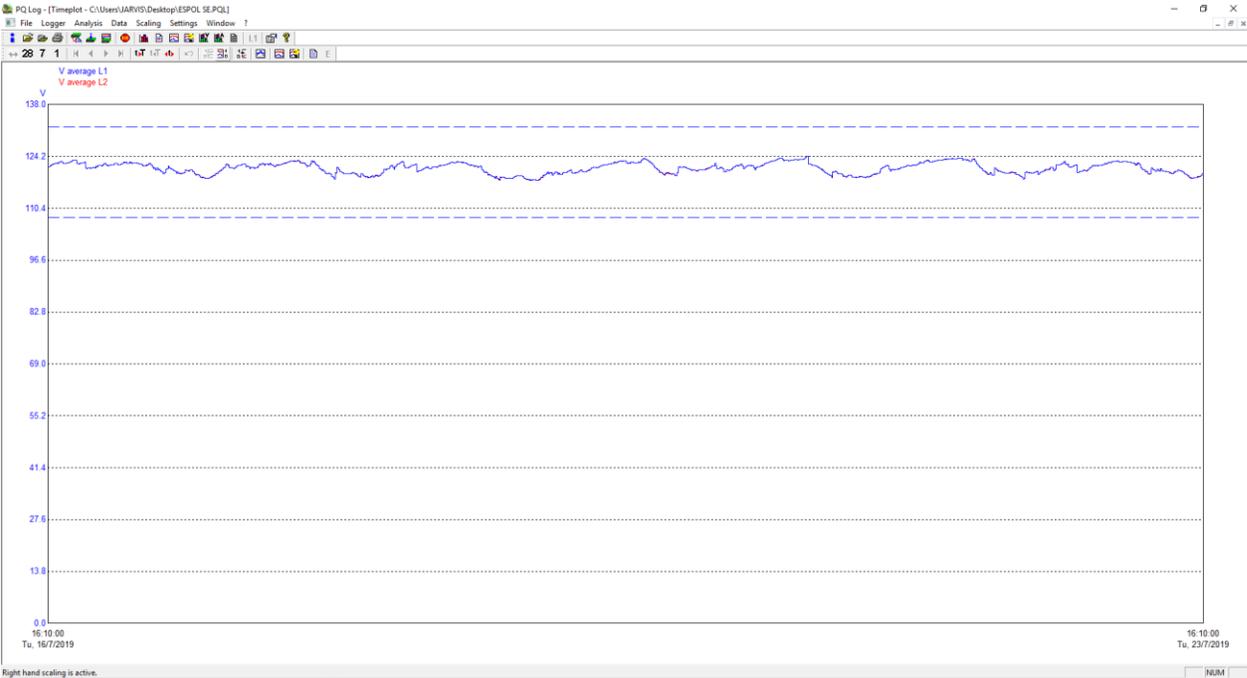


Figura 2.20: Ejemplo de grafico con limites en el software PQ Log

Pero debido a que en Ecuador no se utiliza esta norma, estos límites que se muestran solo sirven como referencia del estado actual del sistema, ya sea que esté en mal estado o no.

La ventaja más visible que radica para la persona encargada de manejar este programa, es la adquisición de datos que se puede obtener mediante su exportación a Excel.

Para la exportación a Excel de los datos del equipo de medición, se lleva a cabo la siguiente secuencia de pasos, ir a la barra de menús y se selecciona File > Export > Interval data, con lo cual aparecerá lo siguiente:

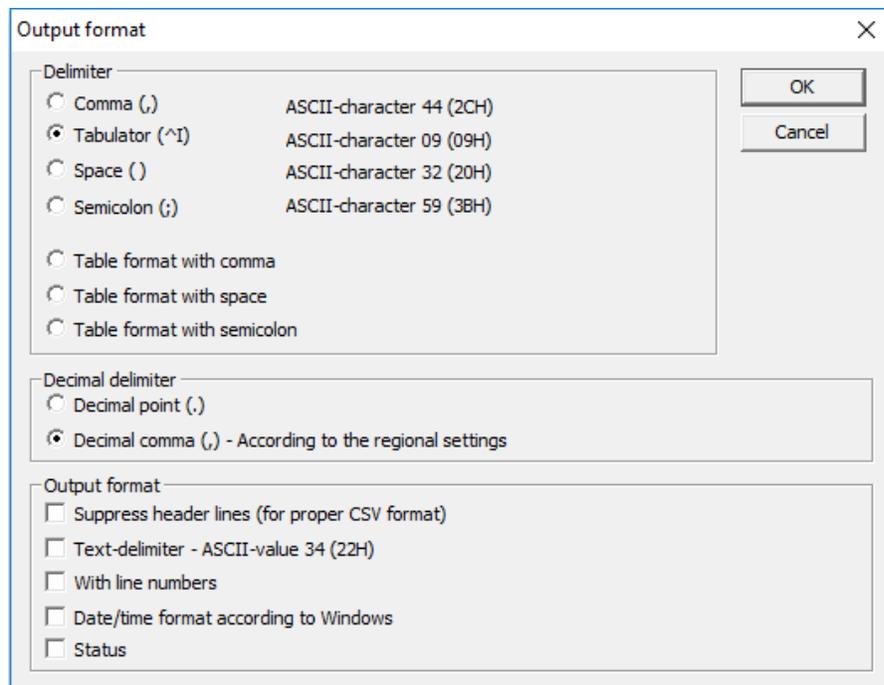


Figura 2.21: Ventana de formato de salida

En esta parte se selecciona Tabulator como delimitador, esta selección permitirá que los datos en la hoja de Excel estén delimitados por los casilleros de Excel.

Posteriormente sale una nueva ventana que muestra otra vez la lista de los diferentes tipos de mediciones que se puede obtener de este equipo de medición, las mediciones que el usuario requiere que aparezcan en la hoja de Excel pueden abarcar como máximo 999 canales, que a diferencia del momento de graficar en el software PQ Log esta solo permitía escoger 9 canales para mostrar por pantalla

Por último, aparece otra ventana en la cual se solicita el periodo de análisis que se quiere exportar del período de medición, el cual se lo puede ajustar a una semana.

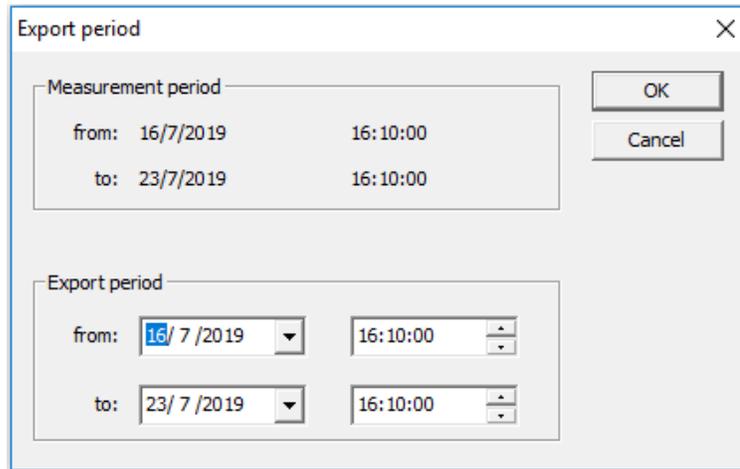


Figura 2.22: Ventana de periodo de exportación

Se procede a guardar el archivo y después que se haya generado el archivo para Excel, simplemente se arrastra dicho archivo ASCII en Excel, con lo cual mostrará siguiente:

	Date	Time	V average L1	V average L2	I average L1	I average L2	I average N
			V	V	A	A	A
12	16/7/2019	16:20:00	121,49	121,47	5,11	6,28	1,56
13	16/7/2019	16:30:00	121,51	121,49	5,13	6,29	1,54
14	16/7/2019	16:40:00	121,68	121,66	5,12	6,27	1,54
15	16/7/2019	16:50:00	122,05	122,02	5,12	6,28	1,54
16	16/7/2019	17:00:00	122,11	122,08	5,12	6,27	1,54
17	16/7/2019	17:10:00	122,12	122,1	5,11	6,27	1,54
18	16/7/2019	17:20:00	122,38	122,36	5,12	6,28	1,54

Figura 2.23: Tabla de datos en EXCEL dado por el software PQ Log

De aquí en adelante depende de cómo se manejen estos datos para poder obtenerse la mayor cantidad de información útil en forma clara y concisa.

2.4 Conexiones de las sondas para las distintas configuraciones

2.4.1 Diagrama de conexión para toma de datos a un sistema monofásico

El siguiente diagrama muestra cómo se debe realizar las debidas conexiones al momento de hacer un registro de datos a un sistema monofásico, donde se emplean las sondas de voltaje para analizar tanto la L1 y el Neutro, y una única sonda de corriente para lo que es la línea monofásica.

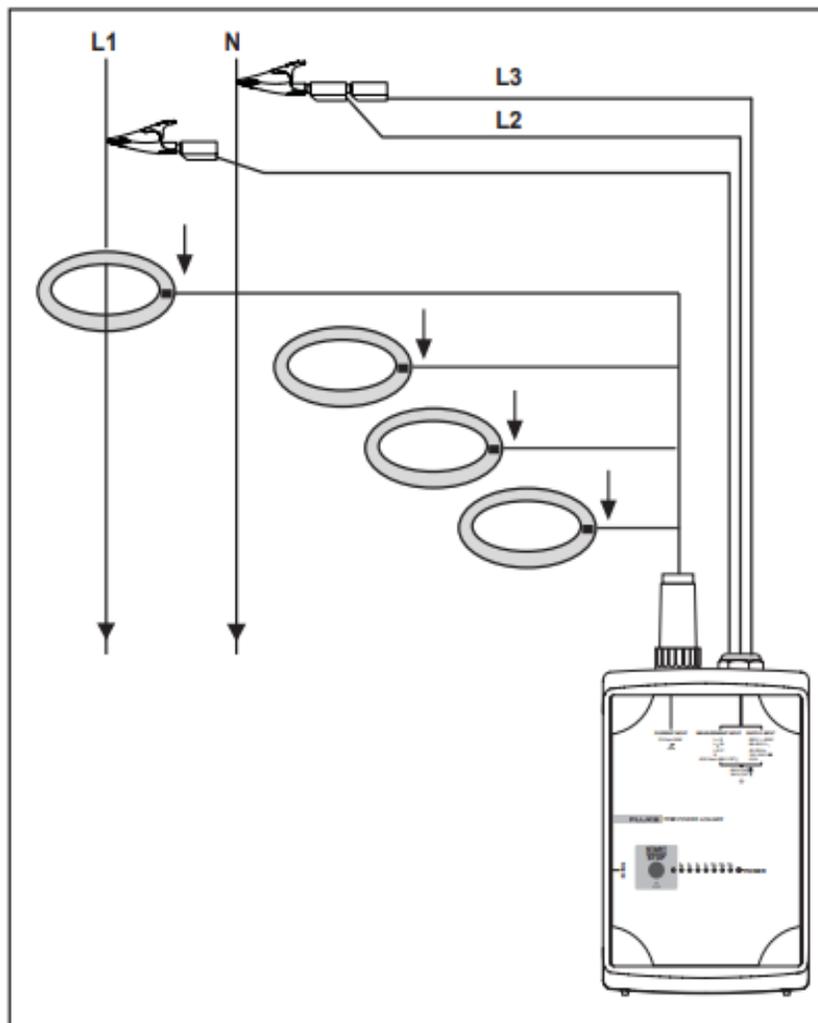


Figura 2.24: Diagrama de conexión para toma de datos a un sistema monofásico

2.4.2 Diagrama de conexión para toma de datos a un sistema de fase dividida

El siguiente diagrama muestra una red bifásica o de fase dividida, una de las redes en cuestión para este documento, donde se emplean tanto tres sondas de corriente como tres sondas de voltaje, dos para cada línea de tensión y una respectivamente para el neutro, usualmente se suele encontrar estos casos, en los tableros de distribución.

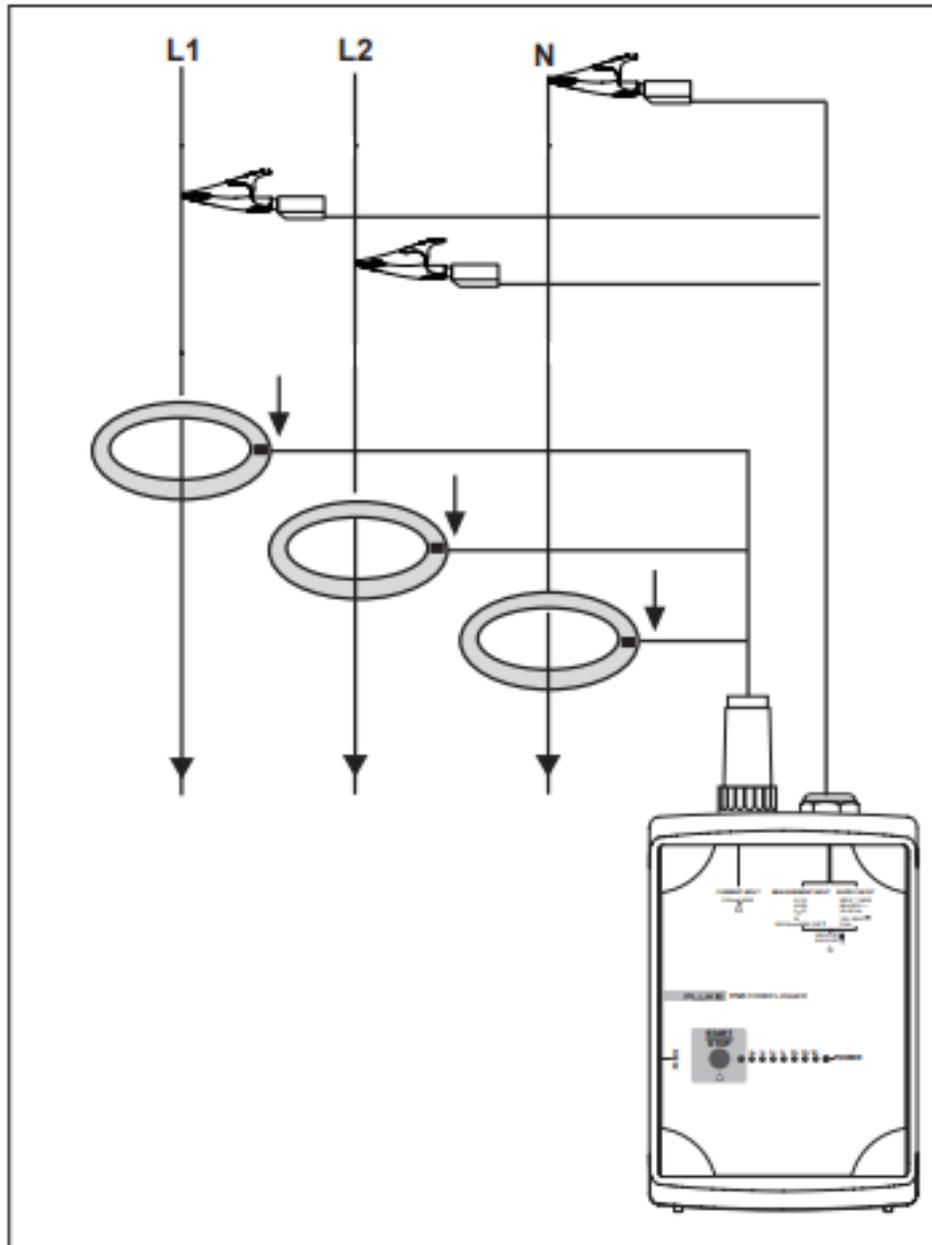


Figura 2.25: Diagrama de conexión para toma de datos a un sistema bifásico o de fase dividida

2.4.3 Diagrama de conexión para toma de datos a un sistema de 4 hilos

En similitud a los diagramas anteriormente presentados, se puede realizar la toma de datos para las conexiones de 4 hilos, claramente variando la posición de las sondas y el número de ellas que se emplean, en este caso se es necesario implementar las cuatro sondas de corriente tanto como las cuatro sondas de voltaje.

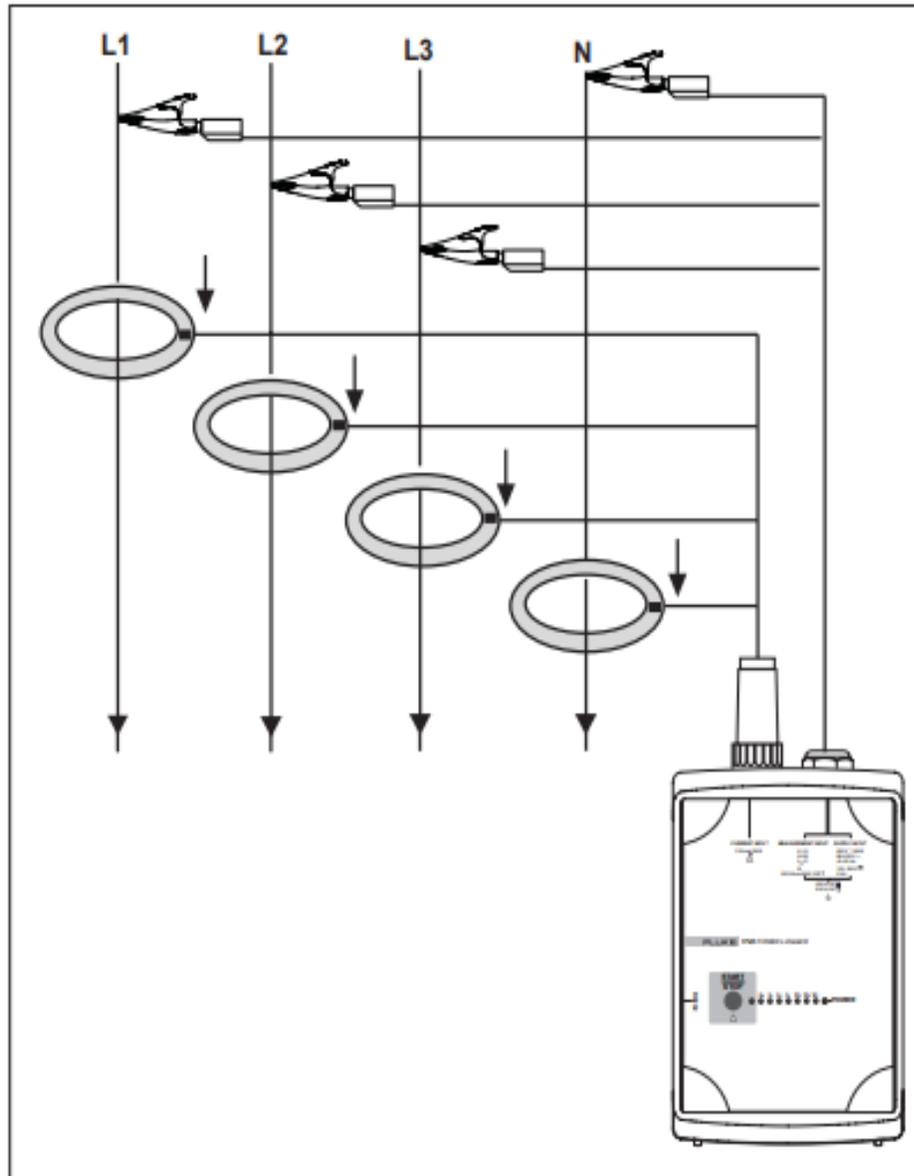


Figura 2.26: Diagrama de conexión para toma de datos a un sistema de 4 hilos (estrella)

2.5 Norma ARCONEL - 005/18 que se utilizan para un informe estándar de medición de Calidad de Energía a un cliente [2]

Los índices de Calidad de Energía que se analizan principalmente en Ecuador son el nivel de voltaje, las perturbaciones y el factor de potencia.

La recolección de datos en cada punto de medición se realizará durante un período no inferior a 7 días continuos, en tiempos de muestreo de 10 minutos.

Los equipos analizadores de energía se tienen que conectar en paralelo a los medidores.

2.5.1 Límite de Desviación de Voltaje

La desviación de voltaje con respecto al voltaje nominal permitido en Ecuador para los diferentes niveles de tensión son los siguientes:

Nivel de Voltaje	Rango Admisible
Bajo Voltaje	±8%
Medio Voltaje	±6%
Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	±5%

Tabla 2.8: Límite de Desviación de Voltaje para los diferentes Niveles de Voltaje

El Distribuidor no cumple con el nivel de voltaje en el punto de medición respectivo, cuando durante un 5% o más del período de medición de 7 días continuos la desviación del voltaje sale de los límites establecidos por la tabla anterior.

2.5.2 Límite de Bajo Fator de Potencia

El bajo factor de potencia de acuerdo a la norma ARCONEL – 005/18 establece que el valor límite es 0.92, de ahí si el factor de potencia es menor se procederá con una multa regida bajo la expresión del Pliego Tarifarios para Penalización por Bajo Factor de Potencia [10], como se indica a continuación:

$$P_{BFP} = B_{FP} \cdot FSPEE_i \quad (2.1)$$

$$B_{FP} = \frac{0.92}{FP_r} - 1 \quad (2.2)$$

Donde:

P_{BFP} = Penalización por Bajo Factor de Potencia

B_{FP} = Factor de Penalización

$FSPEE_i$ = Factura por servicio público de energía eléctrica inicial

FP_r = Factor de Potencia Registrado

Si el factor de potencia es menor a 0.60, la distribuidora previa notificación podrá suspender el servicio público de energía eléctrica hasta que el consumidor corrija el factor de potencia.

2.5.3 Límite de Presencia de Flicker

El límite permitido de presencia de Flickers en el sistema eléctrico es de 1 de acuerdo con la norma ARCONEL – 005/18. Para cumplir con la norma los Flickers presentes en la red que superen la unidad no deben exceder su presencia en más del 5% en todo el periodo de medición.

2.5.4 Límite de Asimetría de Voltaje

La norma EN50160 establece como límite máximo de asimetría de voltaje presente en la red el 2%. Para cumplir con la norma los picos de asimetría de voltaje presentes en la red que superen el límite no deben exceder su presencia en más del 5% en todo el periodo de medición.

2.5.5 Límite de Distorsión Armónica Total

Los límites de Distorsión total de Armónicos (THD) establecidos por la Norma ARCONEL - 005/18 en Ecuador se describen en la siguiente tabla:

Nivel de Voltaje	Armónicos Individuales (%)	Distorsión Armónica Total THD (%)
$V \leq 0.6 \text{ kV}$	5.0	8.0
$0.6 \text{ kV} < V \leq 40 \text{ kV}$	3.0	5.0
$40 \text{ kV} < V \leq 138 \text{ kV}$	1.5	2.5
$V > 138 \text{ kV}$	1.0	1.5

Tabla 2.9: Límites de Distorsión de Voltaje en Ecuador

Para cumplir con la norma los picos de distorsión armónica total presentes en la red que superen el límite no deben exceder su presencia en más del 5% en todo el periodo de medición.

2.6 Soluciones ante diversas Perturbaciones [6]

2.6.1 Solución ante Transitorios

Instalación y dimensionamiento apropiado de apartarrayos y supresores de picos, sea el caso, para así drenar a tierra las sobretensiones producidas por esta perturbación.

2.6.2 Solución ante Variaciones de Corta Duración

Instalación y dimensionamiento apropiado de UPS para cargas sensibles o simplemente uso de reguladores de voltaje para el sector residencial.

2.6.3 Solución ante Variaciones de Larga Duración

Instalaciones y dimensionamiento apropiado de generadores de emergencia con tableros de transferencia automática o algún sistema de respaldo compuesto por banco de baterías e inversores en caso de interrupciones de larga duración; mientras que para sobrevoltajes y subvoltajes, el cambio del TAP del transformador o puesta de banco de capacitores son las soluciones más comunes; o simplemente se usaría supresores de voltaje si la perturbación no es tan prolongada.

2.6.4 Solución ante Desbalances

Instalación y dimensionamiento apropiado de supresores de voltaje.

2.6.5 Solucion ante Bajo Factor de Potencia

Instalación y dimensionamiento apropiado de banco de capacitores.

2.6.6 Solución ante Armónicas

Ante la presencia de armónicos en la red las soluciones más comunes son: cambiar la conexión del transformador, aumento del número de pulsos en los convertidores de las fuentes trifásicas, uso de transformador tipo K y filtros.

- Conexión del Transformador: La conexión Delta – Estrella es muy útil para la retención de armónicos en la delta y el drenaje de excesos de corriente en lado de la estrella.
- Aumento del número de pulsos: El aumento de número de pulsos en las fuentes trifásicas permite tener una onda resultante más fiel a una señal sinusoidal, debido a que los intervalos de tiempo que conforman la señal resultante y que se dan en la superposición de señales son cada vez más pequeños.
- Transformador tipo K: Los armónicos al producir calentamiento en los transformadores estos tuvieron que ser mejorados para poder soportarlas, de aquí surge el transformador tipo K, el cual es un transformador con bobinado y núcleo espacial con mayor capacidad térmica para cargas no lineales que produzcan armónicos. Los valores de K para transformadores según el nivel de calentamiento ante las cargas no lineales catalogados son: 1, 4, 9, 13, 20, 30 y 40.
- Filtros: Los sistemas eléctricos en las industrias por lo general poseen condensadores para mejorar el factor de potencia suministrando potencia reactiva para así mantener el voltaje a un cierto nivel. Cuando el sistema incluye cargas no lineales estas inyectan corrientes armónicas a la red, los condensadores se pueden usar también como filtros de armónicos para así minimizar el voltaje armónico, aplicándolo a la carga del sistema en el punto de acoplamiento común (PCC). Los armónicos pueden mitigarse de una de las siguientes formas: (1) reactores en serie en la línea de entrada, (2) el uso de una conexión de 12 pulsos o superior en los puentes rectificadores, y (3) el uso de una modulación mejorada de ancho de pulso para la corriente de línea proporcionado por el controlador del sistema. Cuando estas soluciones no reducen los armónicos a un nivel aceptable se pueden instalar filtros de armónicos para obtener una reducción adicional. Los filtros armónicos se instalan en un sistema eléctrico para absorber corrientes armónicas específicas generadas por cargas no lineales. Los filtros pueden ser pasivos, sintonizados a una frecuencia fija que generalmente está ligeramente por debajo de la frecuencia armónica o activos, detectando armónicos e inyectando armónicos

inversos activamente para cancelar dichos armónicos presentes en la línea. La aplicación de filtros armónicos que incluyen elementos tanto pasivos como activos también se ha propuesto en los llamados filtros híbridos. En este método, la reducción de armónicos y la compensación de potencia reactiva se comparten entre un filtro pasivo y un filtro activo.

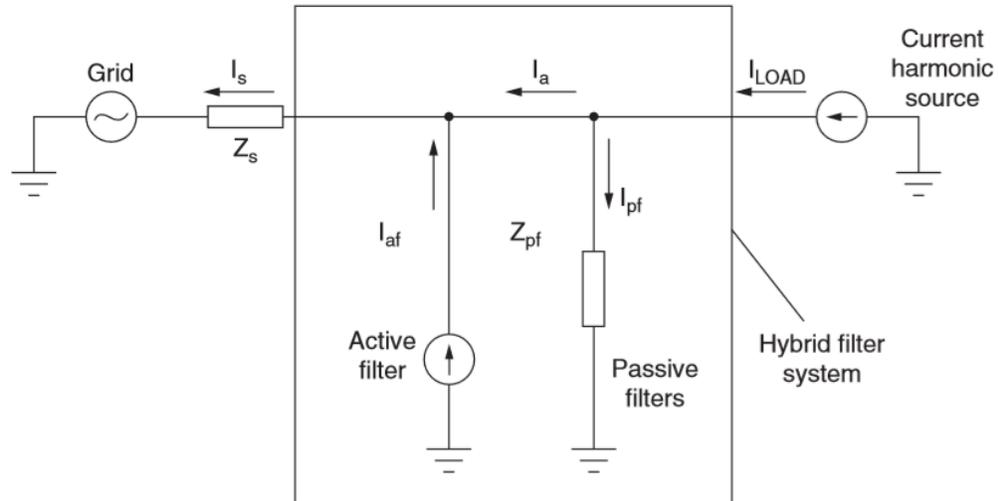


Figura 2.27: Filtro Híbrido

2.6.7 Solución ante Muesqueos o Notches

Instalación y dimensionamiento apropiado de supresores de voltaje.

2.6.8 Solución ante Ruido

Instalación y dimensionamiento apropiado de transformadores de aislamiento o acondicionadores de línea.

2.6.9 Solución ante Fluctuaciones de Voltaje

Ante problemas de fluctuaciones de voltajes la solución más factible es la remoción de las cargas que las ocasionan o en tal caso mejorar su sistema de operación por ejemplo el uso de controladores más eficientes.

2.6.10 Solución ante Variaciones de Frecuencia

La variación de frecuencia en un sistema eléctrico es un problema muy grave y global, esto solo se puede corregir mediante la manipulación de los generadores que alimentan el sistema eléctrico, corrigiendo problemas internos o cambiándolos por mejores.

CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y RESULTADOS

Capítulo 3 Análisis de Resultados

3.1 Descripción del lugar donde se realiza la medición y del procedimiento realizado para la adquisición de datos de los sistemas a analizar

Se realizó las mediciones de calidad de energía en la subestación de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, para esto se usó el Fluke 1744, el cual es un analizador de energía muy común en el área de análisis de calidad de la energía. El analizador de energía se lo conecto en paralelo al panel de distribución del cuarto de control de la subestación, se lo dejo por una semana que es el promedio de tiempo por norma con respecto a periodo de medición concierne, dejando seteado antes el número de muestras por segundo a 5. La conexión que tenía el panel de distribución era de fase dividida, teniendo un voltaje de línea a línea de 240.

Una vez pasado la semana se retiró el equipo y se obtuve los datos que este había recolectado en el periodo de medición. Para el análisis de los datos se usó el software PQ Log del Fluke 1744, el análisis consistió en medir los principales índices de calidad de la energía de los datos del sistema para posteriormente compararlos con las normas con las que se ampara el estado ecuatoriano en la Regulación ARCONEL – 005/18 y determinar el estado de mi sistema eléctrico. Proveyéndole si el caso lo amerita los posibles agentes causantes del problema, los efectos que este problema podría desencadenar en la planta y las alternativas a soluciones para mitigar el problema.

Para la creación de un modelo de evaluación más optimo se requiere el análisis de una mayor base de datos que aporte con más presión los puntos que se requieren evaluar en un sistema eléctrico para determina el estado de un sistema eléctrico de forma amplia pero concisa, por lo que aparte del anterior análisis que se realiza denotado como Caso Cuarto de Control Subestación ESPOL, se vio la necesidad de adquirir más casos para realizar un análisis más exhaustivo, para esto también se hizo una análisis de calidad de la energía al Caso Comercializadora de Aceros “Iván Bohman” y al Caso Interagua Mapasingue.

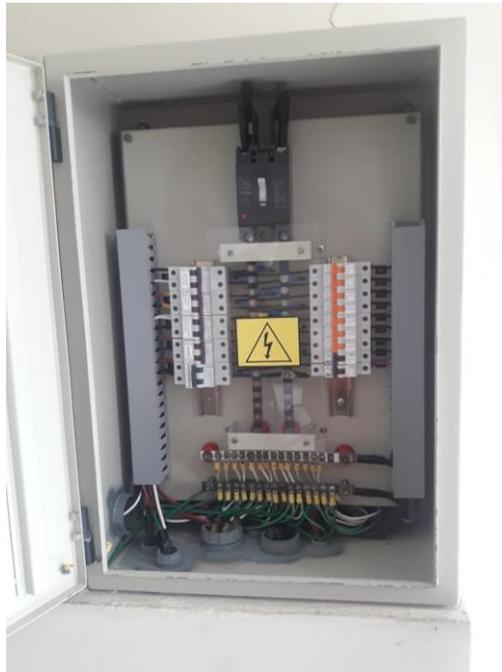


Figura 3.1: Panel de Distribución del Cuarto de Control de la Subestación ESPOL antes de realizar mediciones

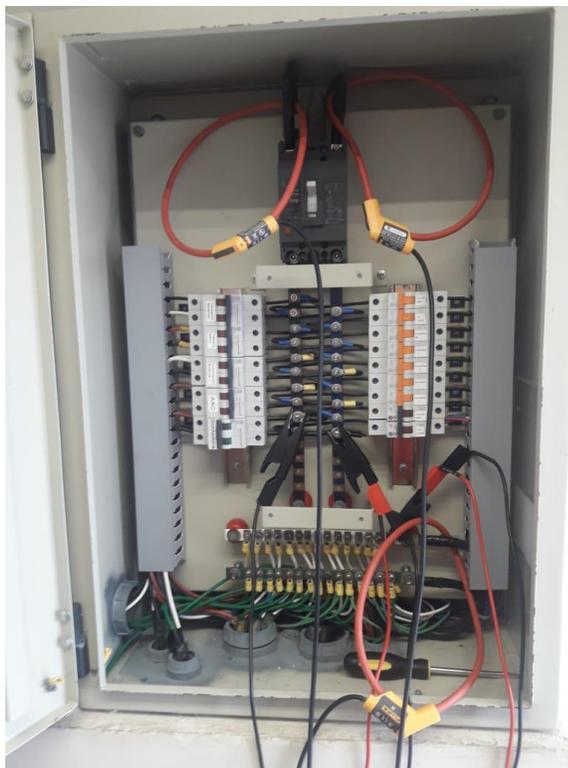


Figura 3.2: Panel de Distribución del Cuarto de Control de la Subestación ESPOL con las pinzas y sondas de medición

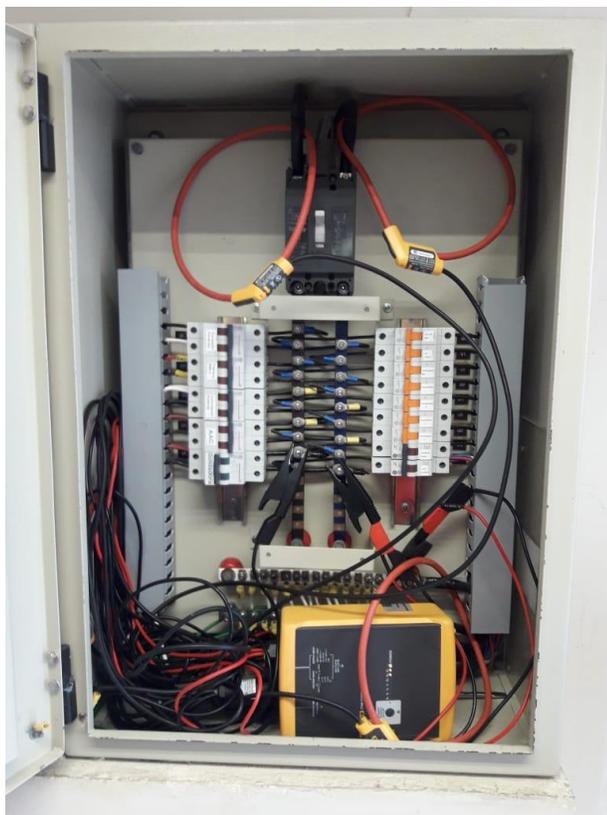


Figura 3.3: Panel de Distribución del Cuarto de Control de la Subestación ESPOL después de instalar el Fluke 1744

3.2 Analisis de Calidad de la Energia para el Caso Cuarto de Control Subestación ESPOL

➤ Baja tensión

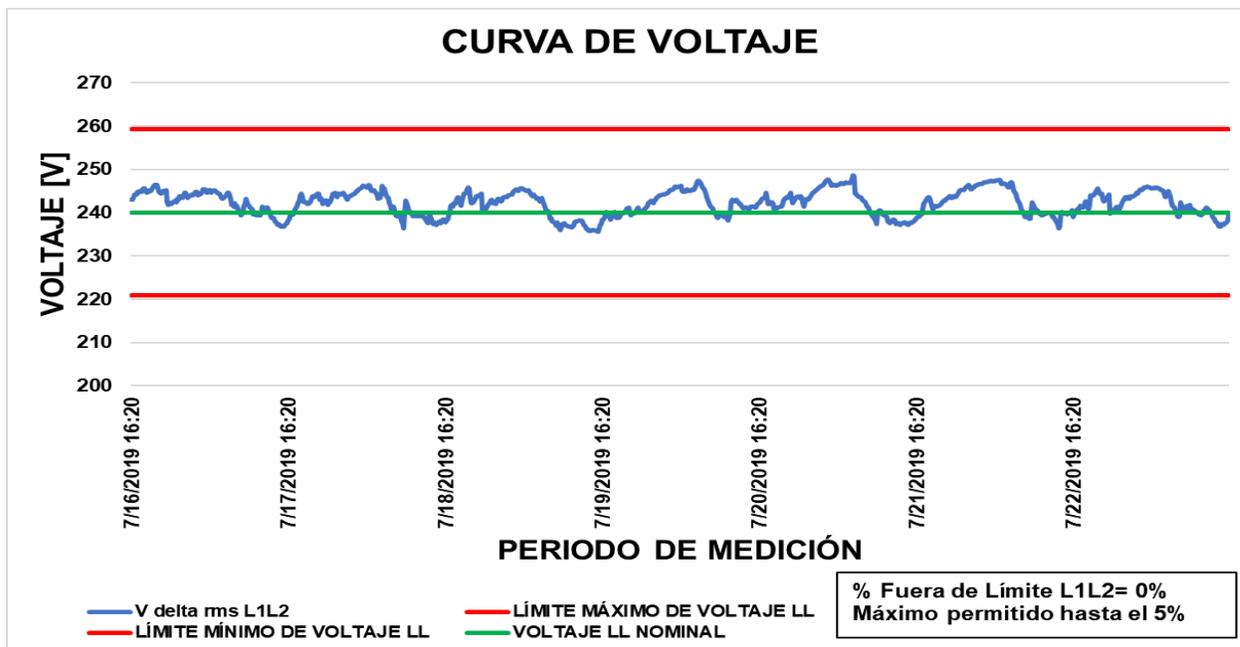


Figura 3.4: Curva de Voltaje Cuarto de Control Subestación ESPOL

Para la curva de Voltaje obtenida del panel de distribución del cuarto de control de la subestación ESPOL, con voltaje de línea a línea nominal de 240V, se cumple con la norma de voltaje estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos medidos fuera de los límites superior e inferior es del 0%.

La norma de voltaje de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos fuera de los límites del $\pm 8\%$ del voltaje nominal tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

➤ Media tensión

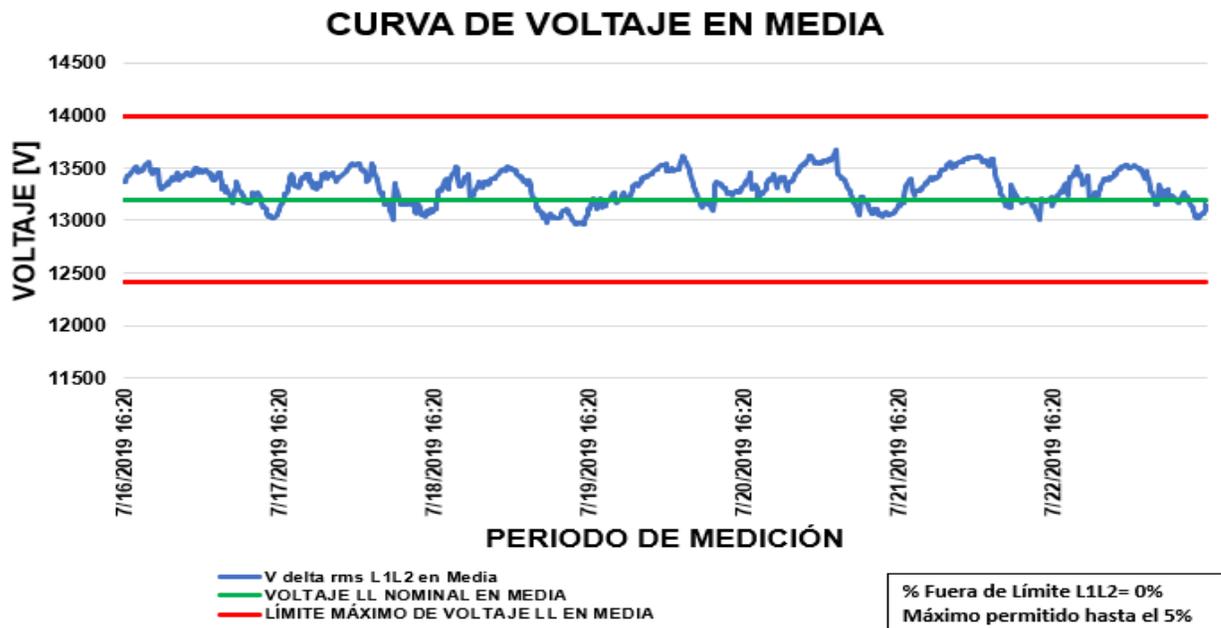


Figura 3.5: Curva de Voltaje en Media Cuarto de Control Subestación ESPOL

Para la curva de Voltaje en Media obtenida al referir la curva de Voltaje en Baja del panel de distribución del cuarto de control de la subestación ESPOL, con voltaje de línea a línea nominal de 240V, se cumple con la norma de voltaje estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos medidos fuera de los límites superior e inferior es del 0%.

La norma de voltaje de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos fuera de los límites del $\pm 6\%$ del voltaje nominal tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

➤ Flicker

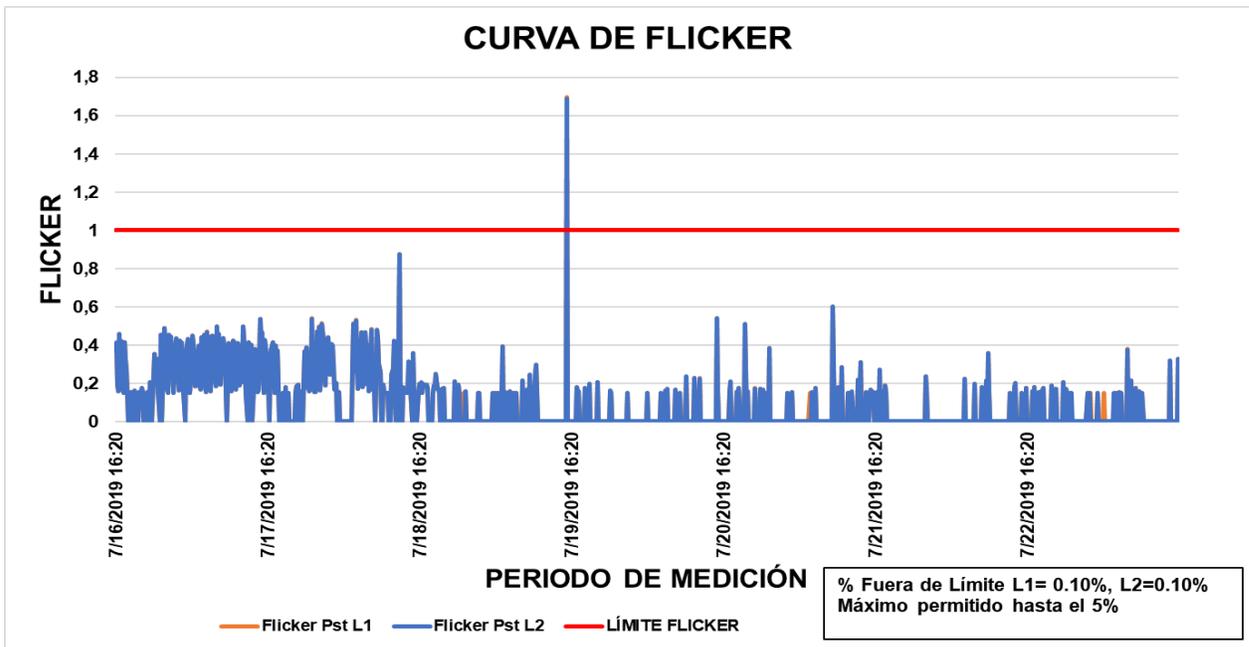


Figura 3.6: Curva de Flicker Cuarto de Control de la Subestación ESPOL

Para la curva de Flicker obtenida del panel de distribución del cuarto de control de la subestación ESPOL, se cumple con la norma de Flicker estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos medidos fuera del límite superior es del 0.10%.

La norma de Flicker de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos fuera del límite superior de 1 tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

➤ Factor de Potencia

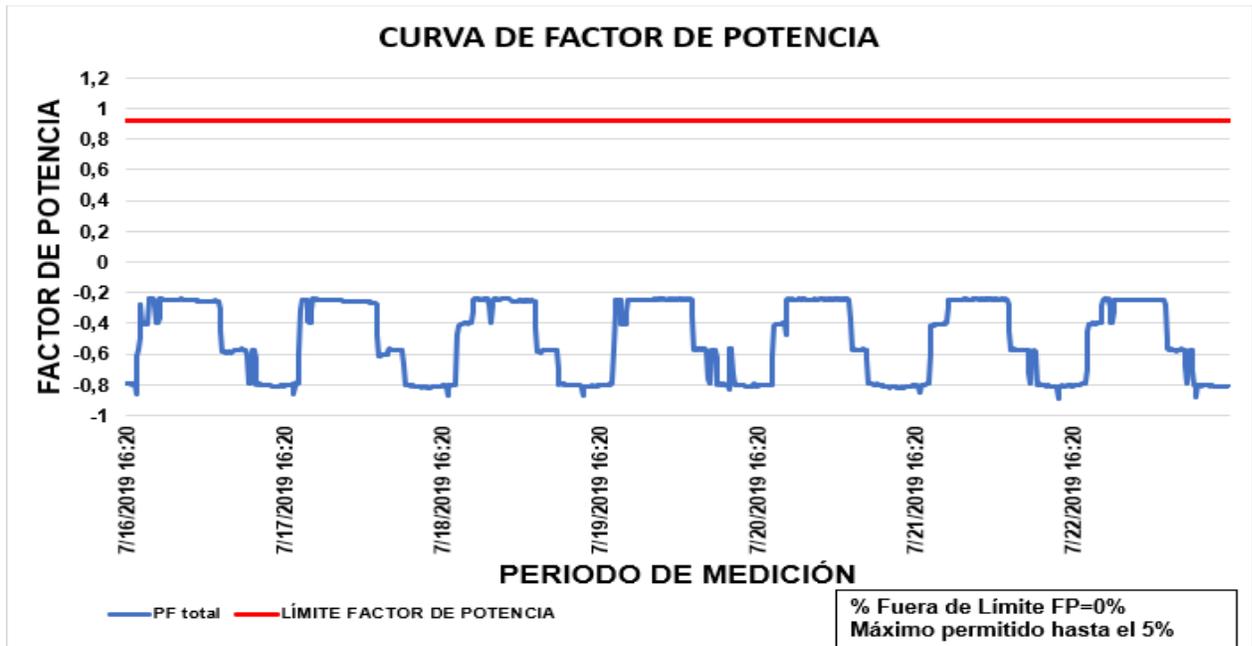


Figura 3.7: Curva de Factor de potencia Cuarto de Control de la Subestación ESPOL

Para la curva de Factor de Potencia obtenida del panel de distribución del cuarto de control de la subestación ESPOL, se cumple con la norma de Factor de Potencia estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos positivos medidos fuera del límite inferior es del 0%.

La norma de Factor de Potencia de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos positivos fuera del límite inferior de 0.92 tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

➤ Distorsión Armónica Total de Voltaje (THD V)

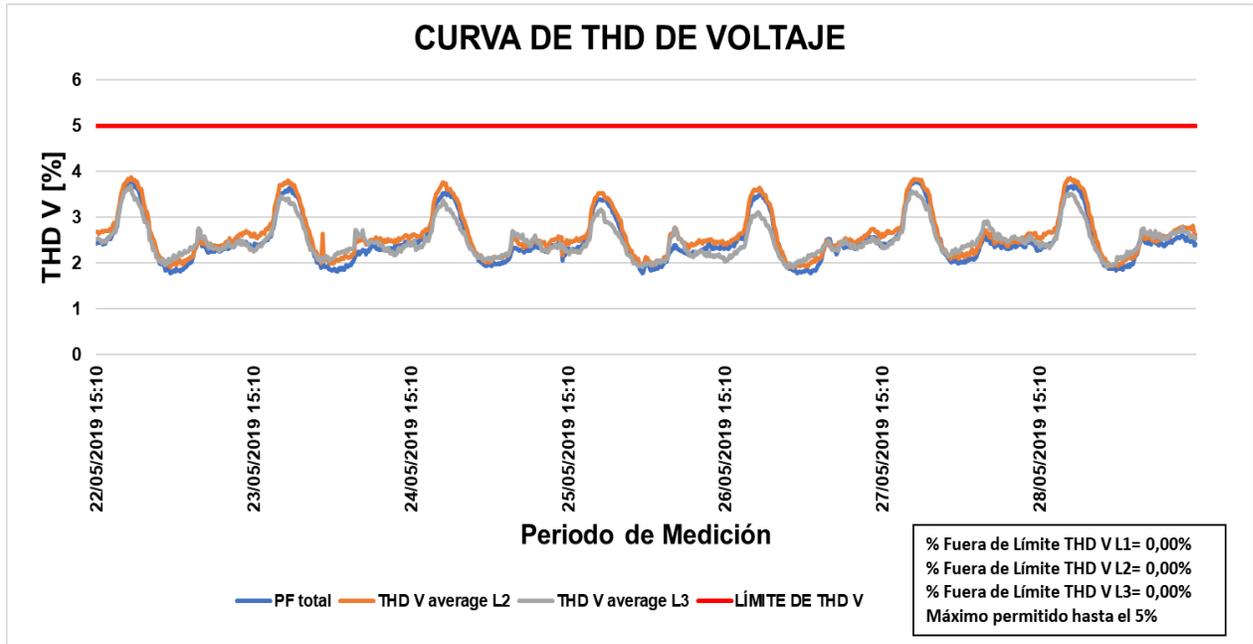


Figura 3.8: Curva de THD de Voltaje Cuarto de Control de la Subestación ESPOL

Para la curva de THD de Voltaje obtenida del panel de distribución del cuarto de control de la subestación ESPOL, se cumple con la norma de THD de Voltaje estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos medidos fuera del límite superior es del 0%.

La norma de THD de Voltaje de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos fuera del límite superior del 8% tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

➤ Asimetría de Voltaje

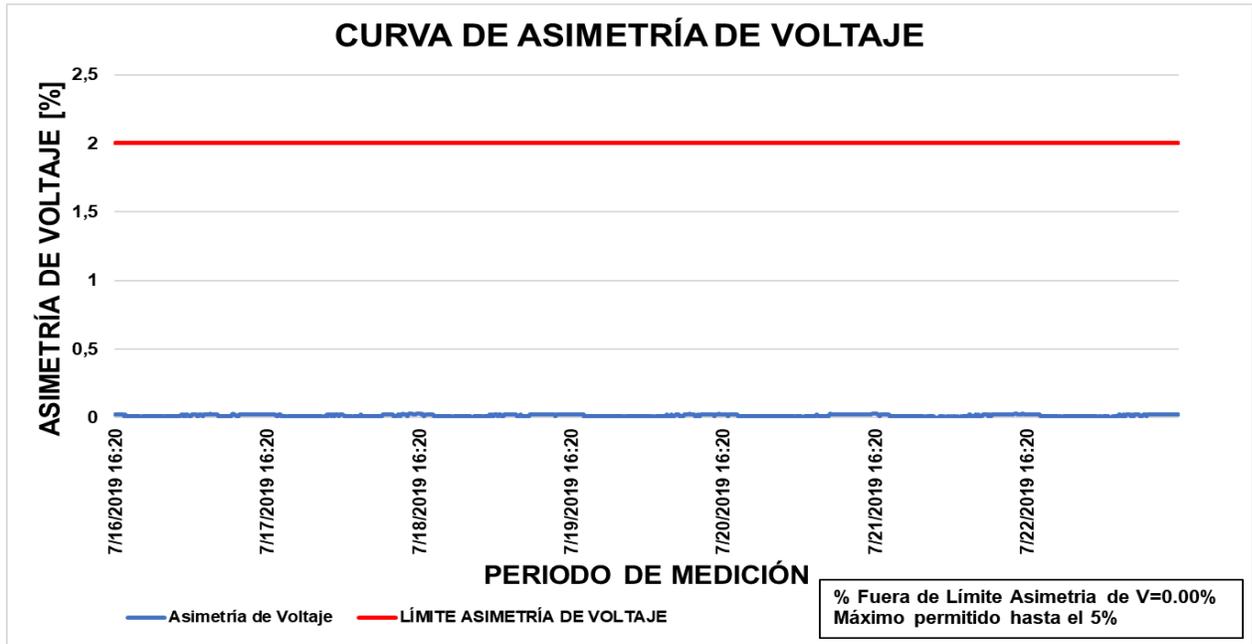


Figura 3.9: Curva de Asimetría de Voltaje Cuarto de Control de la Subestación ESPOL

Para la curva de Asimetría de Voltaje obtenida del panel de distribución del cuarto de control de la subestación ESPOL, se cumple con la norma de Asimetría de Voltaje estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos medidos fuera del límite superior es del 0%.

La norma de THD de Voltaje de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos fuera del límite superior del 2% tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

3.3 Analisis de Calidad de la Energia para el Caso Comercializadora de Aceros.

➤ Media tensión

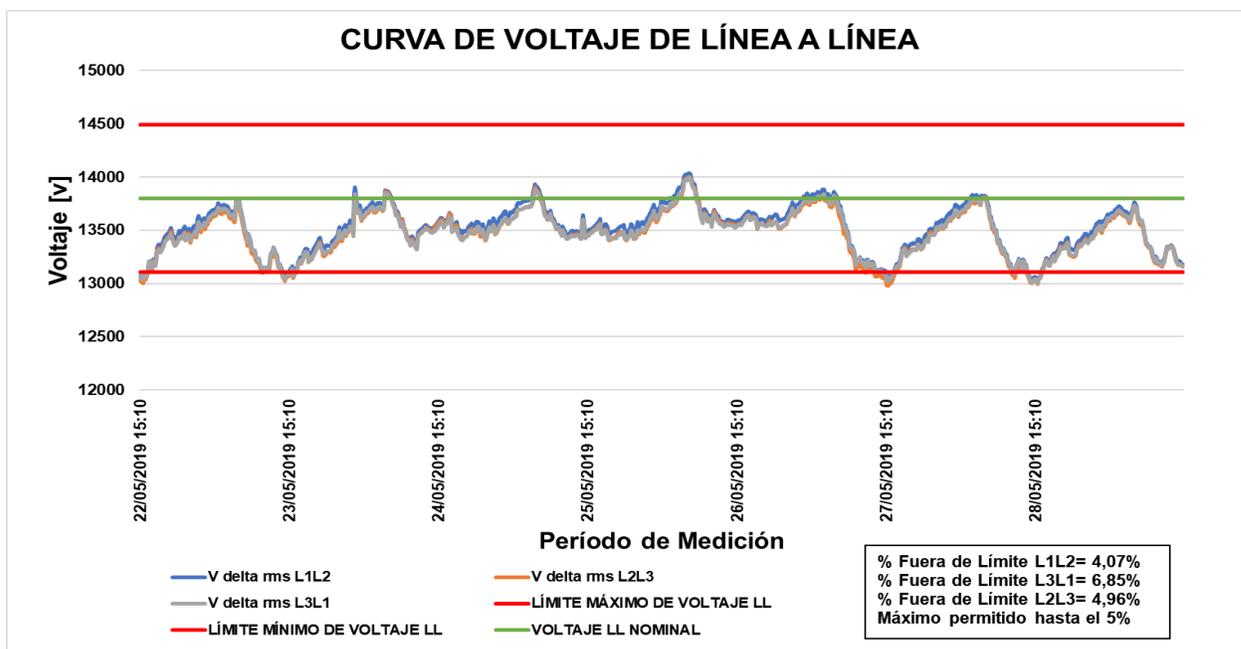


Figura 3.10: Curva de Voltaje Comercializadora de Aceros.

Para la curva de Voltaje obtenida de la Comercializadora de Aceros, con voltaje de línea a línea nominal de 13800V, no se cumple con la norma de voltaje estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos medidos fuera de los límites superior e inferior para uno de los voltajes de línea a línea es de 6.95%.

La norma de voltaje de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos fuera de los límites del $\pm 8\%$ del voltaje nominal tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

El porcentaje de datos fuera de los límites para el voltaje entre la línea 1 y la línea 2 es del 4.07%.

El porcentaje de datos fuera de los límites para el voltaje entre la línea 3 y la línea 1 es del 6.85%.

El porcentaje de datos fuera de los límites para el voltaje entre la línea 2 y la línea 3 es del 4.96%.

Como se puede ver gráfica y cuantitativamente el voltaje entre la línea 3 y la línea 2 está incumpliendo la norma por bajo voltaje, por lo que se requiere una inmediata corrección, a fin de evitar la suspensión del servicio eléctrico a la planta industrial.

Este inconveniente se podría deber a la conexión de cargas o maquinas eléctricas que demande mucha energía de la red.

Como alternativas de solución más comunes ante este inconveniente se tienen las siguientes:

- Aumentar una posición el TAP del transformador principal
- Instalación de banco de capacitores.

Este inconveniente es una variación de larga duración y se la conoce como Subvoltaje. Este Subvoltaje en la planta puede provocar sobrecalentamiento en las cargas y conductores debido al aumento de la corriente, para poder abastecer con la misma energía a las diferentes cargas o maquinas eléctricas.

➤ Flicker

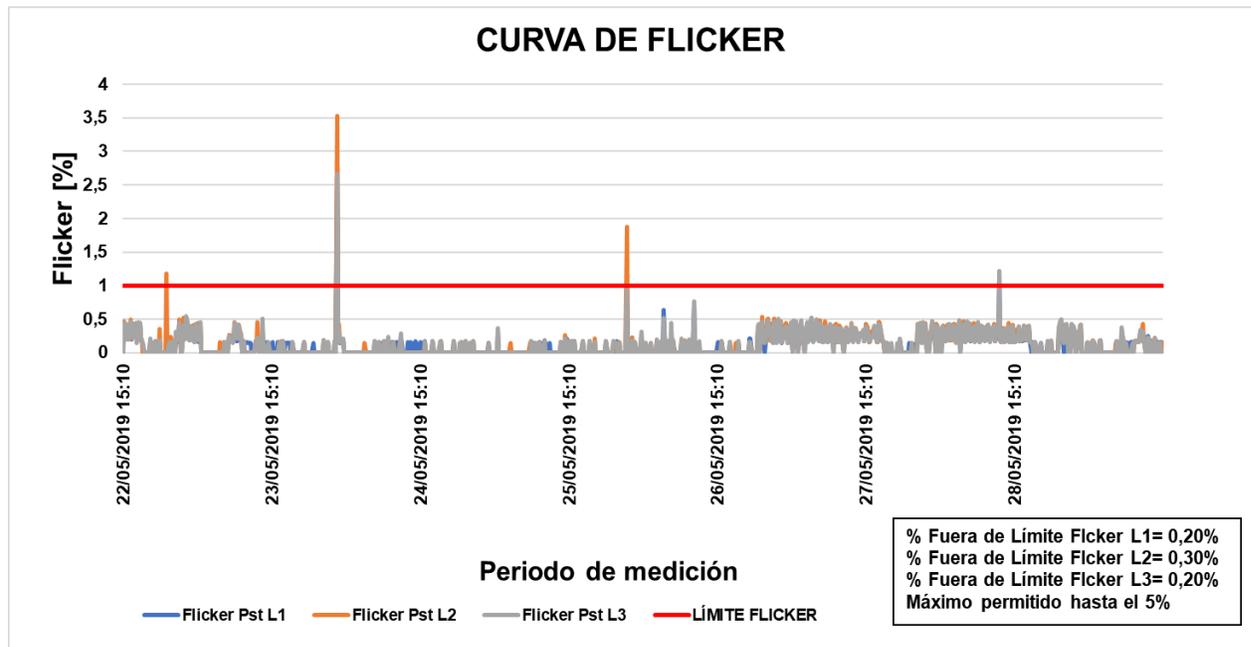


Figura 3.11: Curva de Flicker Comercializadora de Aceros.

Para la curva de Flicker obtenida de la Comercializadora de Aceros, se cumple con la norma de Flicker estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos medidos fuera del límite superior es del 0.20% para la línea 1, del 0.30% para la línea 2 y del 0.20% para la línea 3.

La norma de Flicker de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos fuera del límite superior de 1 tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

➤ Distorsión Armónica Total de Voltaje (THD V)

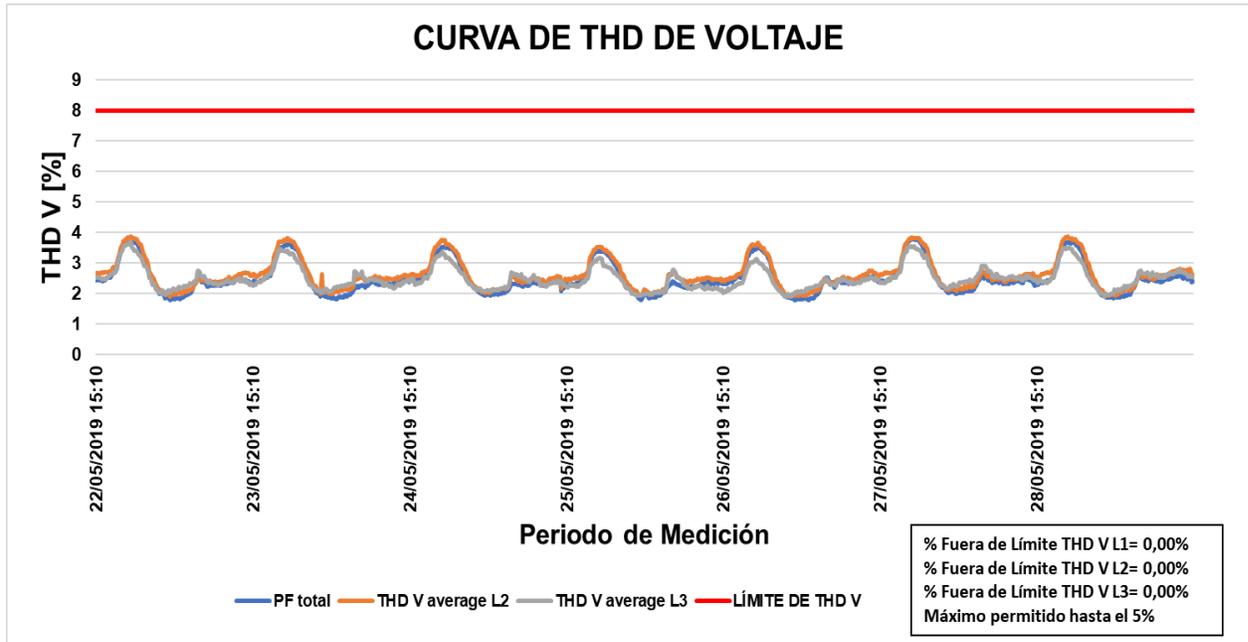


Figura 3.12: Curva de THD de V Comercializadora de Aceros.

Para la curva de THD de Voltaje obtenida de la Comercializadora de Aceros, se cumple con la norma de THD de Voltaje estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos medidos fuera del límite superior es del 0%.

La norma de THD de Voltaje de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos fuera del límite superior del 5% tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

➤ Factor de Potencia

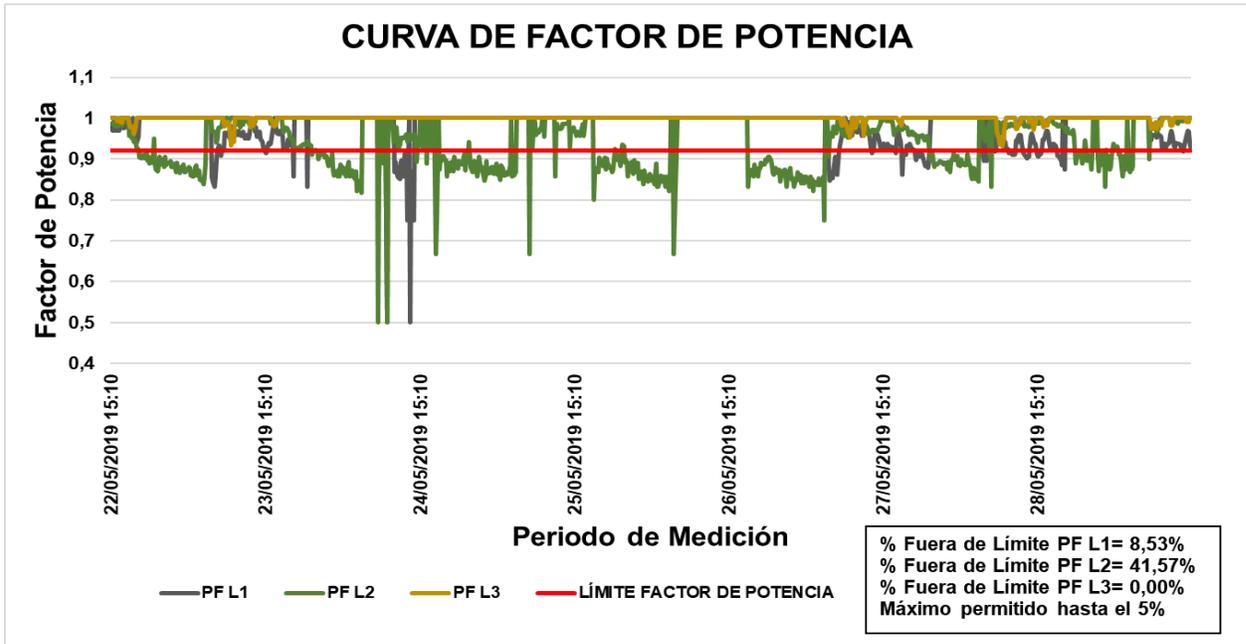


Figura 3.13: Curva de Factor de Potencia Comercializadora de Aceros.

Para la curva de Factor de Potencia obtenida de la Comercializadora de Aceros no se cumple con la norma de Factor de Potencia estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos positivos medidos fuera del límite inferior es del 8.53% para la línea 1 y del 41.57% para la línea 2.

La norma de Factor de Potencia de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos positivos fuera del límite inferior de 0.92 tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

El porcentaje de datos fuera de los límites para el Factor de Potencia para la línea 1 es del 8.53%.

El porcentaje de datos fuera de los límites para el Factor de Potencia para la línea 2 es del 41.57%.

El porcentaje de datos fuera de los límites para el Factor de Potencia para la línea 3 es del 0%.

Como se puede ver gráfica y cuantitativamente el Factor de Potencia en la línea 1 y en la línea 2 está incumpliendo la norma por bajo Factor de Potencia, por lo que se requiere una inmediata corrección, a fin de evitar la suspensión del servicio eléctrico a la planta industrial.

Este inconveniente se podría deber a la conexión de cargas o maquinas eléctricas con componente inductiva muy alta, provocando así una alta demanda de potencia reactiva y por ende reduciendo el factor de potencia.

Como alternativas de solución más comunes ante este inconveniente se tienen las siguientes:

- Instalación de banco de capacitores.
- Redistribución de cargas o maquinas eléctricas para cada fase a fin de disminuir la componente inductiva en cada una de estas.

Este inconveniente es una variación de larga duración y se la conoce como Subvoltaje. Este bajo factor de potencia en la planta provoca ineficiencia energética ya que demanda potencia reactiva de la red la cual no es útil para el trabajo de las cargas o maquinas eléctricas provocando mayor consumo de energía de la que se necesitaría, repercutiendo en pérdidas económicas a la planta industrial, además de costos por sanciones provenientes de la empresa eléctrica.

➤ Asimetría de Voltaje

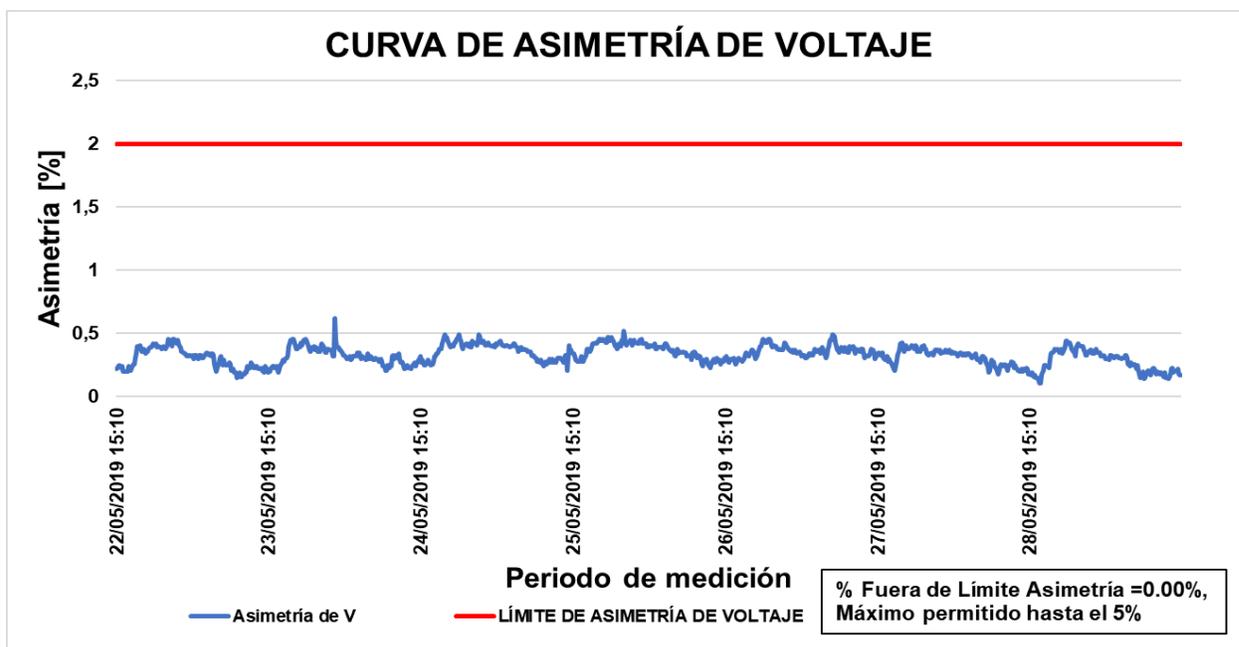


Figura 3.14: Curva de Asimetría de Voltaje Comercializadora de Aceros.

Para la curva de Asimetría de Voltaje obtenida de la Comercializadora de Aceros, se cumple con la norma de Asimetría de Voltaje estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos medidos fuera del límite superior es del 0%.

La norma de Asimetría de Voltaje de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos fuera del límite superior del 2% tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

En conclusión, después del análisis con los diferentes índices de calidad energía, se tiene como problemas detectados subvoltaje y bajo factor de potencia en la planta industrial, estos probablemente debido a la existencia de cargas pesadas con una alta componente inductiva. Las soluciones más factibles escogidas de las alternativas anteriormente mencionadas se tienen ya sea la instalación de banco de capacitores o la redistribución de cargas inductivas con el fin de no sobrecargar alguna de las líneas.

3.4 Analisis de Calidad de la Energia para el Caso Consecionaria Ambiental

➤ Baja tensión

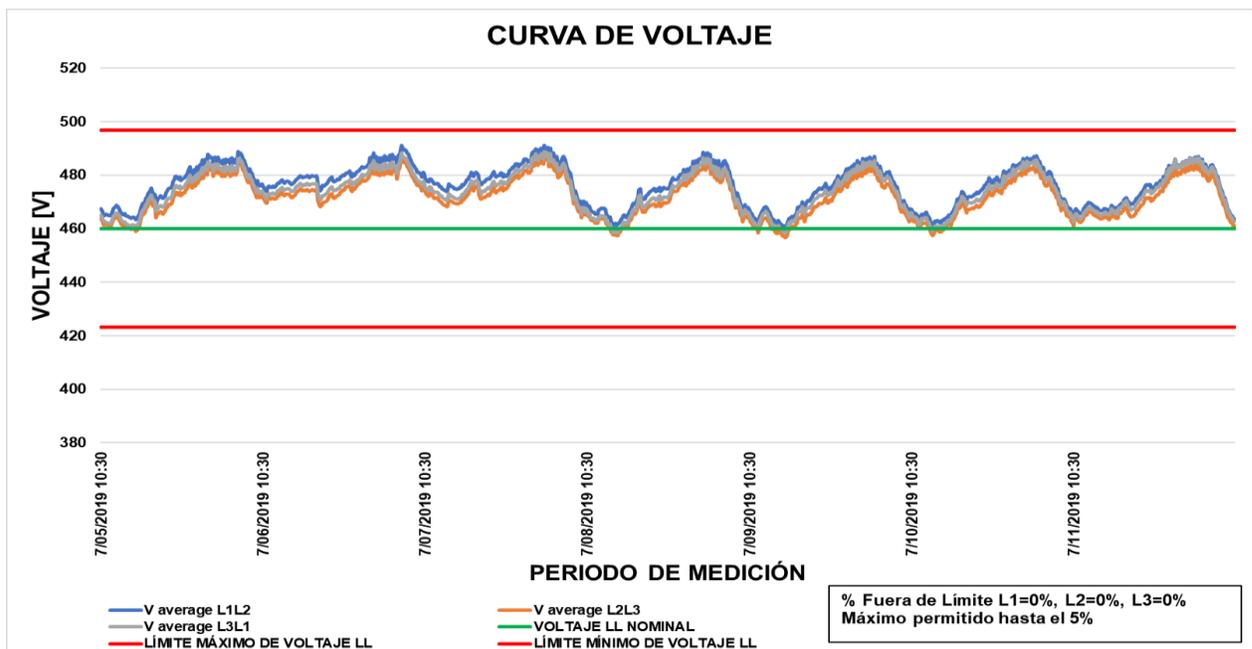


Figura 3.15: Curva de Voltaje Caso Concesionaria Ambiental

Para la curva de Voltaje obtenida del caso Concesionaria Ambiental, con voltaje de línea a línea nominal de 460V, se cumple con la norma de voltaje estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos medidos fuera de los límites superior e inferior es del 0%.

La norma de voltaje de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos fuera de los límites del $\pm 8\%$ del voltaje nominal tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

➤ Media tensión

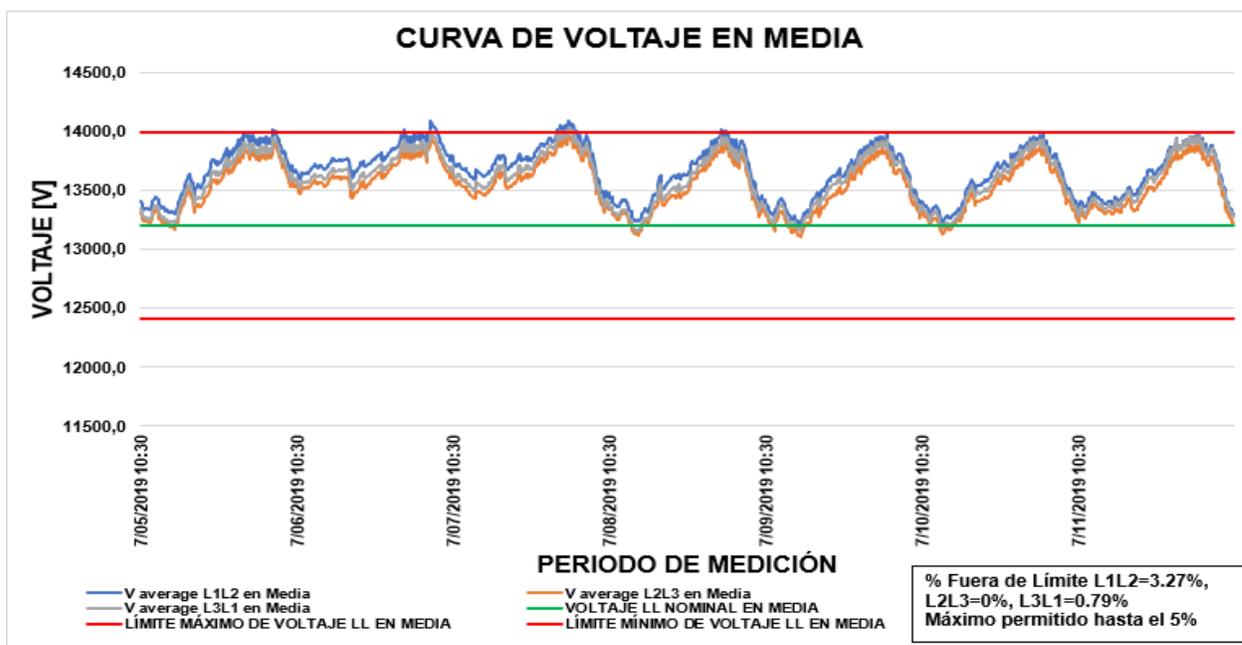


Figura 3.16: Curva de Voltaje en Media Caso Concesionaria Ambiental

Para la curva de Voltaje obtenida al referir la curva de Voltaje en Baja del caso Concesionaria Ambiental, con voltaje de línea a línea nominal de 460V, se cumple con la norma de voltaje estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos medidos fuera de los límites superior e inferior es del 3.27% para la línea 1, del 0% para la línea 2 y del 0.79% para la línea 3.

La norma de voltaje de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos fuera de los límites del $\pm 6\%$ del voltaje nominal tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

➤ Flicker

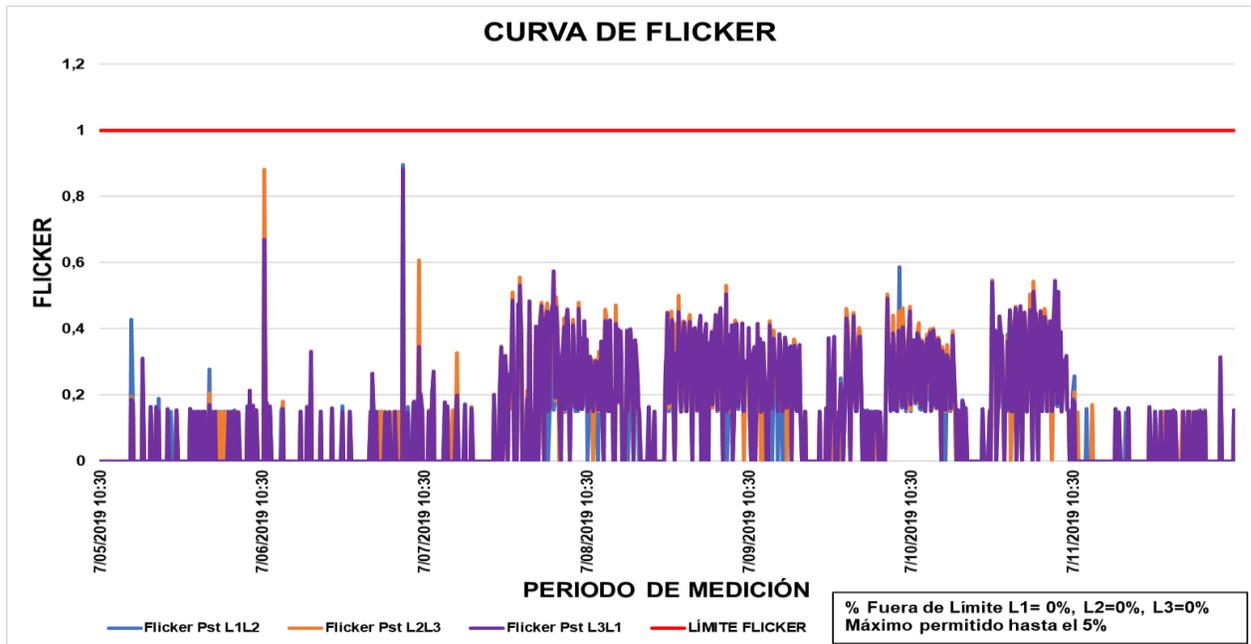


Figura 3.17: Curva de Flicker Caso Concesionaria Ambiental

Para la curva de Flicker obtenida del caso Concesionaria Ambiental, se cumple con la norma de Flicker estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos medidos fuera del límite superior es del 0% para la línea 1, del 0% para la línea 2 y del 0% para la línea 3.

La norma de Flicker de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos fuera del límite superior de 1 tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

➤ Factor de Potencia

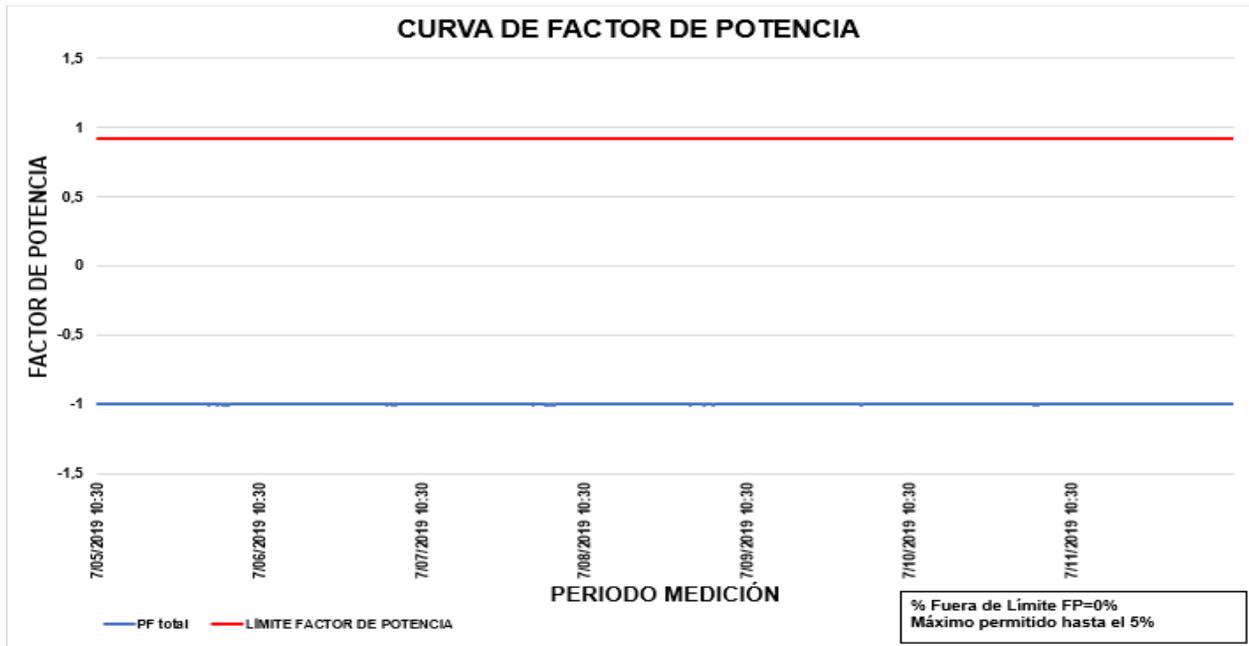


Figura 3.18: Curva de Factor de Potencia Caso Concesionaria Ambiental

Para la curva de Factor de Potencia obtenida del Caso Concesionaria Ambiental, se cumple con la norma de Factor de Potencia estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos positivos medidos fuera del límite inferior es del 0%.

La norma de Factor de Potencia de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos positivos fuera del límite inferior de 0.92 tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

➤ Distorsión Armónica Total de Voltaje (THD V)

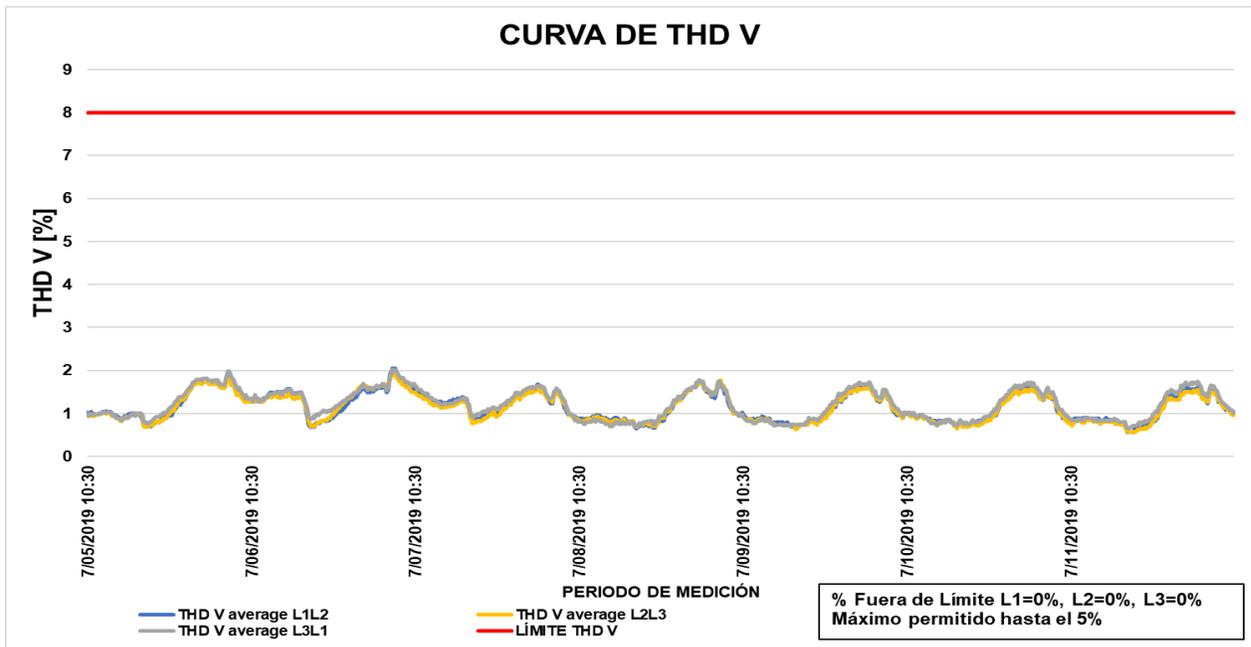


Figura 3.19: Curva de THD de Voltaje Caso Concesionaria Ambiental

Para la curva de THD de Voltaje obtenida de la Caso Concesionaria Ambiental, se cumple con la norma de THD de Voltaje estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos medidos fuera del límite superior es del 0%.

La norma de THD de Voltaje de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos fuera del límite superior del 8% tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

➤ Asimetría de Voltaje

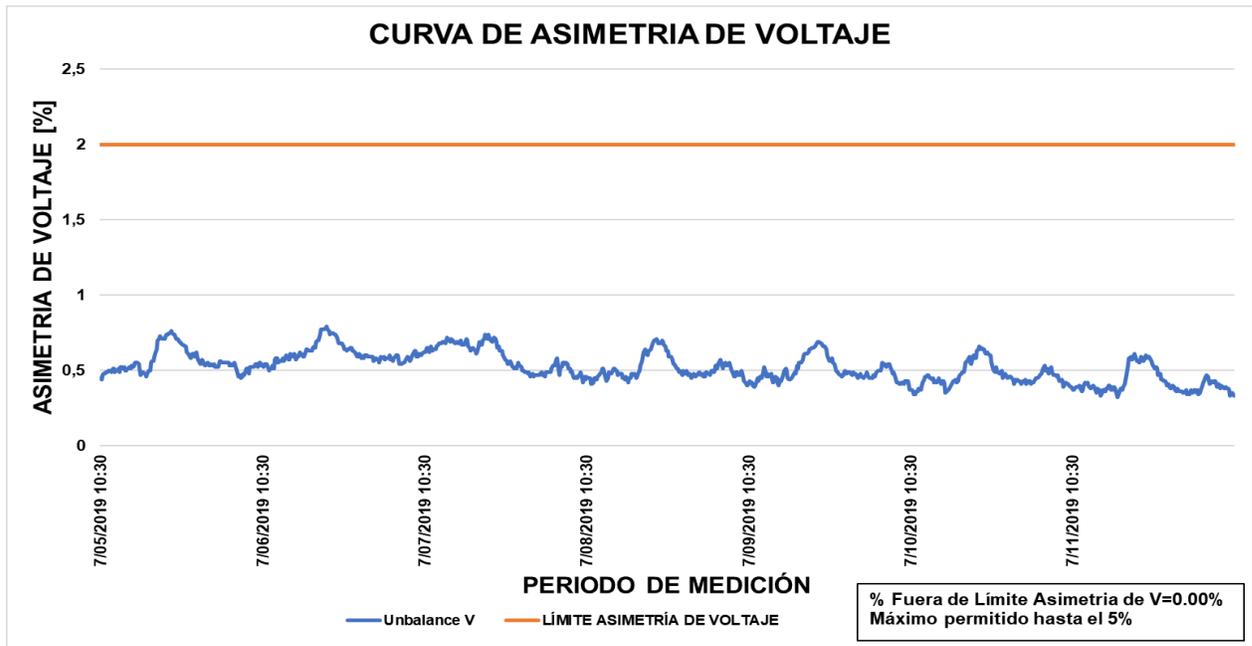


Figura 3.20: Curva de Asimetría de Voltaje Caso Concesionaria Ambiental

Para la curva de Asimetría de Voltaje obtenida del caso Concesionaria Ambiental, se cumple con la norma de Asimetría de Voltaje estipulada en la Regulación ARCONEL – 005/18, ya que el porcentaje de datos medidos fuera del límite superior es del 0%.

La norma de Asimetría de Voltaje de la Regulación ARCONEL – 005/18 estipula que el porcentaje de datos fuera del límite superior del 2% tiene que ser menor al 5% de los datos totales.

3.5 Informe Final de Calidad de la Energía para cada uno de los casos de estudio



INFORME GENERAL DE CALIDAD DE ENERGÍA

CASO: CONCESIONARIA AMBIENTAL

Descripción del lugar

Se encuentra ubicada en el sector de Mapasingue y requiere de un estudio de calidad de energía con un análisis general.

Kevin David Carmona Toral - Juan Carlos Saltos Núñez

kevdacar@espol.edu.ec – juacasal@espol.edu.ec

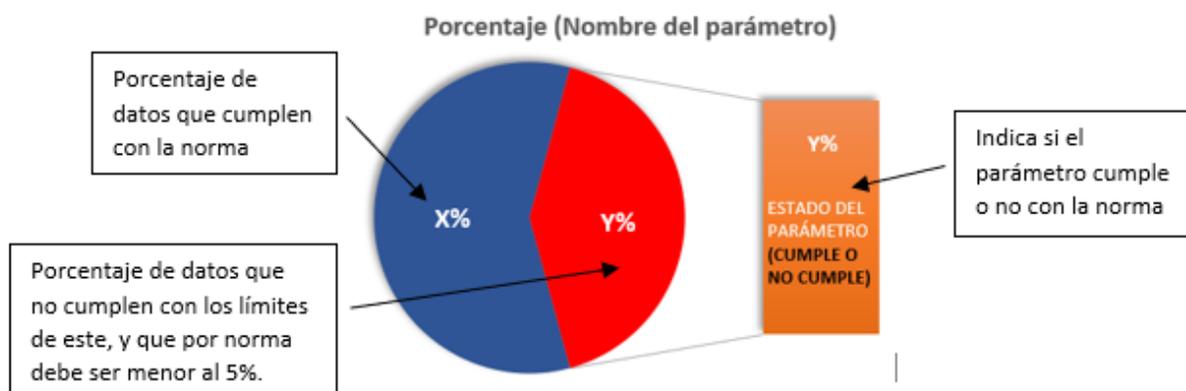
CONSIDERACIONES GENERALES

Partes del informe

El presente informe consta de dos partes en forma de resumen del precedente informe técnico realizado en simultaneo, dichas partes son las siguientes:

- Componente gráfico de los parámetros considerados por la regulación ARCONEL 005/18
- Componente general que detalla:
 - Abreviaturas y siglas técnicas mencionadas en el informe
 - Problemas presentes
 - Soluciones y Recomendaciones

Partes del gráfico de Estado de los parámetros



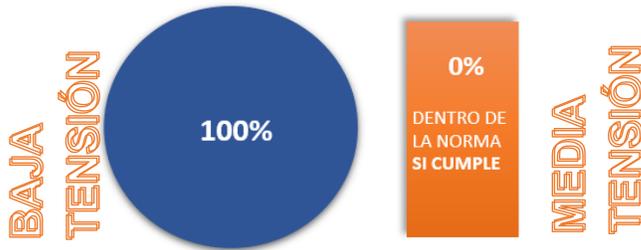
Normativa de la Regulación ARCONEL 005/18

La normativa que se maneja dentro de Ecuador resalta los siguientes aspectos a tomar en consideración dentro de un buen estudio de calidad de energía:

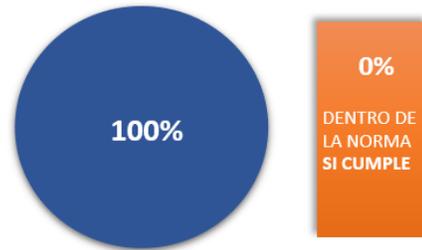
- El periodo de medición al que se expone la red es de una semana completa, con una toma de datos cada 10 minutos, de lo que se llegan a evaluar exactamente 1008 datos.
- Entre los parámetros mas importantes o de interés se tienen los siguientes: Voltaje en media y baja tensión, Flicker, THD voltaje, Factor de potencia y Asimetría de Voltaje.
- De este conjunto de datos ya mencionados, especifica que para cada parámetro existe un nivel de tolerancia propio de cada uno, y de los cuales es permisible que **máximo el 5%** de estos 1008 datos puedan salirse de dichos límites

ESTADO DE LOS PARÁMETROS DEL ESTUDIO

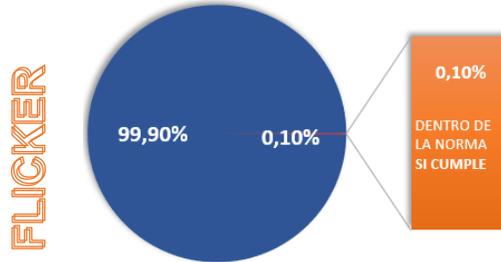
Porcentaje Voltaje delta L1L2:



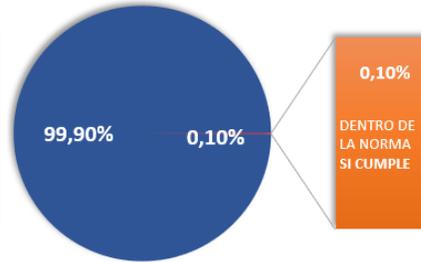
Porcentaje Voltaje delta L1L2:



Porcentaje Flicker L1



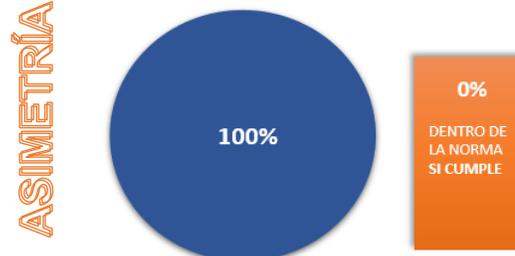
Porcentaje Flicker L2



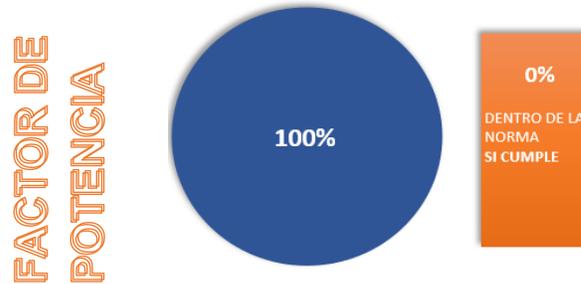
Porcentaje THD V L1 y L2:



Porcentaje Asimetría de Voltaje:



Porcentaje Factor de potencia Total:



TÉRMINOS Y ABREVIATURAS TÉCNICAS

- a. **Flicker:** Son pequeñas fluctuaciones repetitivas en el nivel de voltaje.
- b. **Voltaje:** Presión que ejerce una fuente de suministro eléctrico sobre un dispositivo de la misma índole.
- c. **Media y Baja Tensión:** Son los niveles de voltaje a los que se encuentra conectada la red de la empresa o domicilio.
- d. **THD:** La distorsión armónica total es un índice de calidad de la energía que mide la existencia de armónicos, y a su vez los armónicos de voltajes o corrientes son frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental.
- e. **Factor de Potencia:** Es un índice de la capacidad de una carga de absorber potencia útil.
- f. **Asimetría:** Es un indicador que ayuda a conocer que tan desbalanceadas están las fases de voltaje entre sí.
- g. **Delta:** Tipo de conexión de una red eléctrica.

PROBLEMAS PRESENTES

En este informe al momento de revisar los porcentajes de cada parámetro se puede notar claramente que no existe ninguna anomalía con el estado de la red durante el periodo de medición de una semana estipulado por la norma ARCONEL 005/18.

Lo único que se puede detallar es que el factor de potencia de la red es negativo, indicando el hecho de que existe una compensación continua en la red.

Con lo que se concluye que la red se encuentra en un estado óptimo de funcionamiento, considerando que este estudio de calidad de energía fue realizado como un estudio de rutina para corroborar dicho estado.

SOLUCIONES Y RECOMENDACIONES

En este apartado no se detalla ninguna solución o recomendación dado que el estado de la red se encuentra en un funcionamiento óptimo.



INFORME GENERAL DE CALIDAD DE ENERGÍA

CASO: CONCESIONARIA AMBIENTAL

Descripción del lugar

Empresa encargada de la comercialización de aceros, soldadura, maquinaria,
entre otros productos.

Se encuentra ubicada Vía Daule y requiere de un estudio de calidad de energía con
un análisis general

Kevin David Carmona Toral - Juan Carlos Saltos Núñez
kevdacar@espol.edu.ec – juacasal@espol.edu.ec

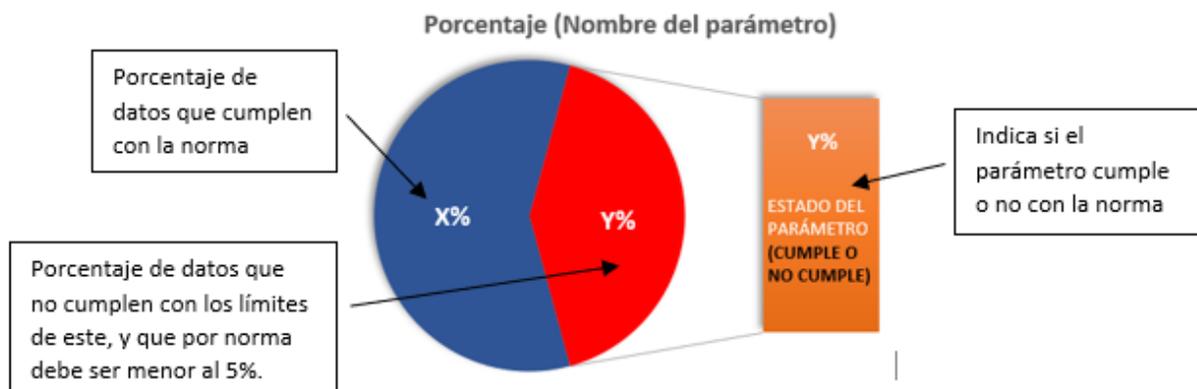
CONSIDERACIONES

Partes del informe

El presente informe consta de dos partes en forma de resumen del precedente informe técnico realizado en simultaneo, dichas partes son las siguientes:

- Componente gráfico de los parámetros considerados por la regulación ARCONEL 005/18
- Componente general que detalla:
 - Abreviaturas y siglas técnicas mencionadas en el informe
 - Problemas presentes
 - Soluciones y Recomendaciones

Partes del gráfico de Estado de los parámetros



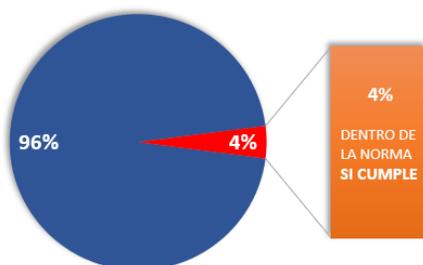
Normativa de la Regulación ARCONEL 005/18

La normativa que se maneja dentro de Ecuador resalta los siguientes aspectos a tomar en consideración dentro de un buen estudio de calidad de energía:

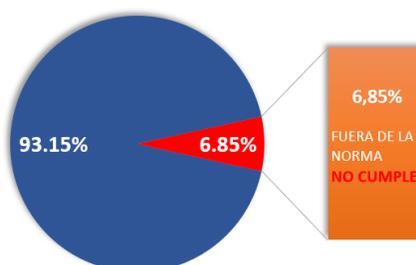
- El periodo de medición al que se expone la red es de una semana completa, con una toma de datos cada 10 minutos, de lo que se llegan a evaluar exactamente 1008 datos.
- Entre los parámetros mas importantes o de interés se tienen los siguientes: Voltaje en media y baja tensión, Flicker, THD voltaje, Factor de potencia y Asimetría de Voltaje.
- De este conjunto de datos ya mencionados, especifica que para cada parámetro existe un nivel de tolerancia propio de cada uno, y de los cuales es permisible que **máximo el 5%** de estos 1008 datos puedan salirse de dichos límites

ESTADO DE LOS PARÁMETROS DEL ESTUDIO

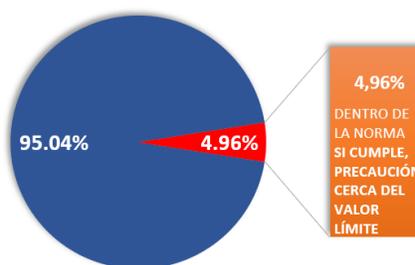
VOLTAJE



Porcentaje Flicker L1

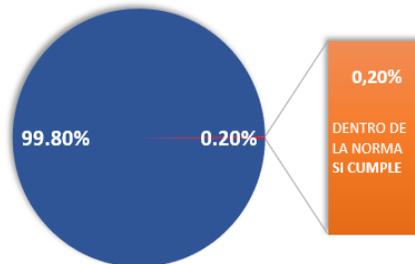
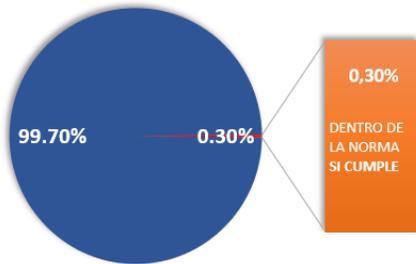
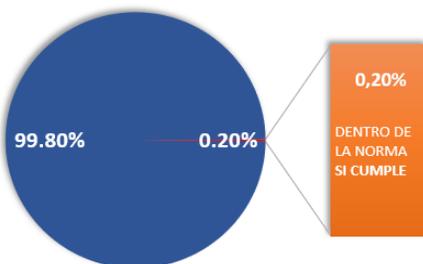


Porcentaje Flicker L2



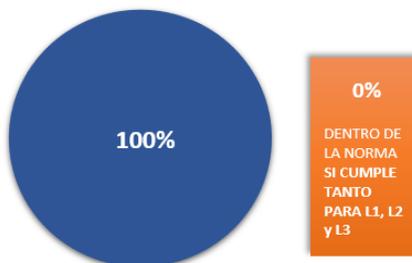
Porcentaje Flicker L3

FLICKER



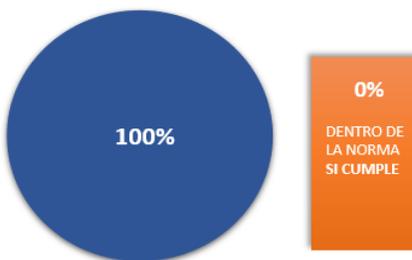
Porcentaje THD V L1,L2,L3:

THD V



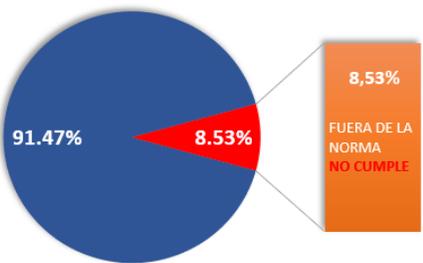
Porcentaje Asimetría de Voltaje:

ASIMETRÍA

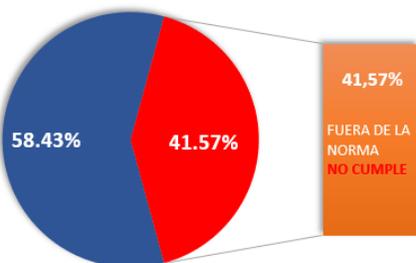


FACTOR DE POTENCIA

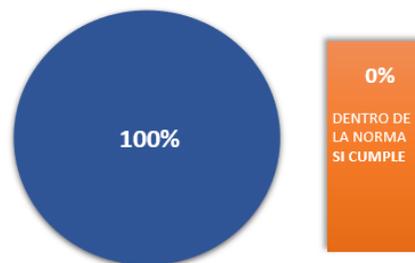
Porcentaje Factor de potencia L1



Porcentaje Factor de potencia L2



Porcentaje Factor de potencia L3



TÉRMINOS Y ABREVIATURAS TÉCNICAS

- h. Flicker:** Son pequeñas fluctuaciones repetitivas en el nivel de voltaje.
- i. THD:** La distorsión armónica total es un índice de calidad de la energía que mide la existencia de armónicos, y a su vez los armónicos de voltajes o corrientes son frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental.
- j. Factor de Potencia:** Es un índice de la capacidad de una carga de absorber potencia útil.
- k. Subvoltaje:** Valores de voltaje por debajo del voltaje nominal.
- l. Cargas Inductivas:** Son cargas constituidas principalmente por bobinas como transformadores, motores, compresores, etc.
- m. Potencia Reactiva:** Es una potencia que no produce trabajo útil.
- n. TAP:** Es la parte del transformador que permite modificar el nivel de voltaje de salida.
- o. Banco de Capacitores:** Es un equipo eléctrico que compensa la potencia reactiva con el fin de mejorar el factor de potencia de la red.

PROBLEMAS PRESENTES

Presencia de Subvoltaje y Bajo Factor de Potencia.

Después del análisis de calidad de la energía se tiene como posible causante de ambos problemas, la existencia de un gran número de cargas inductivas o pocas de estas pero que demanden alta energía.

La presencia de Subvoltaje en la planta puede provocar sobrecalentamiento en las cargas y conductores debido al aumento de la corriente, para poder abastecer con la misma energía a las diferentes cargas o maquinas eléctricas.

El bajo factor de potencia en la planta provoca ineficiencia energética ya que demanda potencia reactiva de la red la cual no es útil para el trabajo de las cargas o maquinas eléctricas provocando mayor consumo de energía de la que se necesitaría, repercutiendo en pérdidas económicas a la planta industrial, además de costos por sanciones provenientes de la empresa eléctrica.

SOLUCIONES Y RECOMENDACIONES

Como alternativas de solución más comunes ante la presencia de Subvoltajes se tienen las siguientes:

- Aumentar una posición el TAP del transformador principal
- Instalación de banco de capacitores.

Como alternativas de solución más comunes ante un bajo factor de potencia se tienen las siguientes:

- Instalación de banco de capacitores.
- Redistribución de cargas o maquinas eléctricas para cada fase a fin de disminuir la componente inductiva en cada una de estas.

Las soluciones más factibles escogidas de las alternativas anteriormente mencionadas se tienen ya sea la instalación de banco de capacitores o la redistribución de cargas inductivas con el fin de no sobrecargar alguna de las líneas.



INFORME GENERAL DE CALIDAD DE ENERGÍA

CASO: CONCESIONARIA AMBIENTAL

Descripción del lugar

Se encuentra ubicada en el sector de Mapasingue y requiere de un estudio de calidad de energía con un análisis general.

Kevin David Carmona Toral - Juan Carlos Saltos Núñez

kevdacar@espol.edu.ec – juacasal@espol.edu.ec

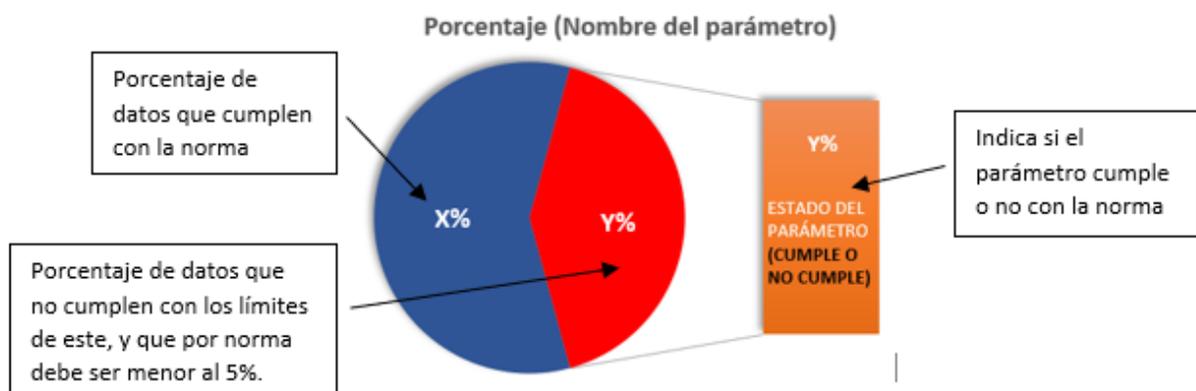
CONSIDERACIONES GENERALES

Partes del informe

El presente informe consta de dos partes en forma de resumen del precedente informe técnico realizado en simultaneo, dichas partes son las siguientes:

- Componente gráfico de los parámetros considerados por la regulación ARCONEL 005/18
- Componente general que detalla:
 - Abreviaturas y siglas técnicas mencionadas en el informe
 - Problemas presentes
 - Soluciones y Recomendaciones

Partes del gráfico de Estado de los parámetros



Normativa de la Regulación ARCONEL 005/18

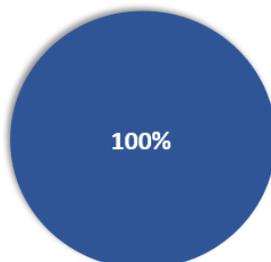
La normativa que se maneja dentro de Ecuador resalta los siguientes aspectos a tomar en consideración dentro de un buen estudio de calidad de energía:

- El periodo de medición al que se expone la red es de una semana completa, con una toma de datos cada 10 minutos, de lo que se llegan a evaluar exactamente 1008 datos.
- Entre los parámetros mas importantes o de interés se tienen los siguientes: Voltaje en media y baja tensión, Flicker, THD voltaje, Factor de potencia y Asimetría de Voltaje.
- De este conjunto de datos ya mencionados, especifica que para cada parámetro existe un nivel de tolerancia propio de cada uno, y de los cuales es permisible que **máximo el 5%** de estos 1008 datos puedan salirse de dichos límites

ESTADO DE LOS PARÁMETROS DEL ESTUDIO

Porcentaje Voltaje Delta L1L2, L2L3,L3L1:

VOLTAJE



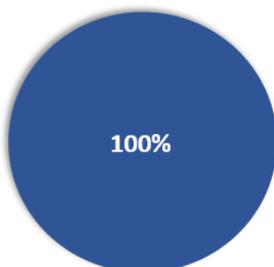
0%
DENTRO DE LA NORMA SI CUMPLE PARA TODOS LOS VOLTAJES DE LÍNEA A LÍNEA

Porcentaje Flicker L1L2:

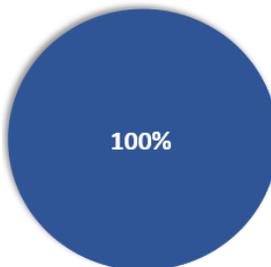
Porcentaje Flicker L2L3:

Porcentaje Flicker L3L1:

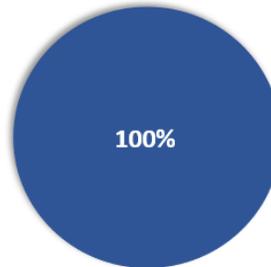
FLICKER



0%
DENTRO DE LA NORMA SI CUMPLE



0%
DENTRO DE LA NORMA SI CUMPLE



0%
DENTRO DE LA NORMA SI CUMPLE

Porcentaje THD V Total:

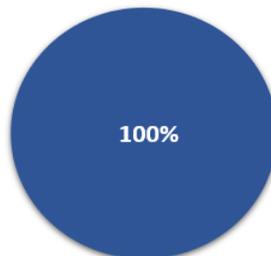
THD V



0%
DENTRO DE LA NORMA SI CUMPLE

Porcentaje Asimetría de Voltaje:

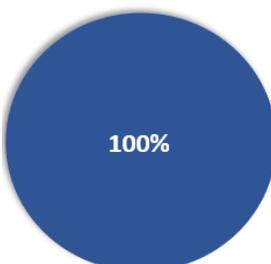
ASIMETRÍA



0%
DENTRO DE LA NORMA SI CUMPLE

Porcentaje Factor de potencia Total:

FACTOR DE POTENCIA



0%
DENTRO DE LA NORMA SI CUMPLE

TÉRMINOS Y ABREVIATURAS TÉCNICAS

- p. **Flicker:** Son pequeñas fluctuaciones repetitivas en el nivel de voltaje.
- q. **Voltaje:** Presión que ejerce una fuente de suministro eléctrico sobre un dispositivo de la misma índole.
- r. **Media y Baja Tensión:** Son los niveles de voltaje a los que se encuentra conectada la red de la empresa o domicilio.
- s. **THD:** La distorsión armónica total es un índice de calidad de la energía que mide la existencia de armónicos, y a su vez los armónicos de voltajes o corrientes son frecuencias múltiplos de la frecuencia fundamental.
- t. **Factor de Potencia:** Es un índice de la capacidad de una carga de absorber potencia útil.
- u. **Asimetría:** Es un indicador que ayuda a conocer que tan desbalanceadas están las fases de voltaje entre sí.
- v. **Delta:** Tipo de conexión de una red eléctrica.

PROBLEMAS PRESENTES

En este informe al momento de revisar los porcentajes de cada parámetro se puede notar claramente que no existe ninguna anomalía con el estado de la red durante el periodo de medición de una semana estipulado por la norma ARCONEL 005/18.

Con lo que se concluye que la red se encuentra en un estado óptimo de funcionamiento, considerando que este estudio de calidad de energía fue realizado como un estudio de rutina para corroborar dicho estado.

SOLUCIONES Y RECOMENDACIONES

En este apartado no se detalla ninguna solución o recomendación dado que el estado de la red se encuentra en un funcionamiento óptimo.

CAPÍTULO 4: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Capítulo 4 Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

A continuación, se detallan las conclusiones obtenidas a partir de los tres estudios de calidad de energía realizados a diferentes tipos de instalaciones, donde se resalta la importancia que ofrece este nuevo servicio, se ha tomado en consideración mayormente como afecta el uso de este nuevo modelo de informe.

- Un documento netamente técnico carece de la posibilidad de ofrecer al consumidor en general el completo entendimiento de la información presentada en dicho informe, por lo que la presentación simplificada de datos es una de las soluciones óptimas que se llevó a cabo dentro del modelo de evaluación de la calidad de la energía enfocado al área gerencial.
- La descripción en términos básicos de voltaje y corriente en lo que concierne al problema del sistema eléctrico es fundamental si se quiere dar entender la problemática en su totalidad al consumidor de la red.
- Dar a entender porque el sobrepasar las limitaciones en los índices de calidad de la energía afecta al consumidor y a la red eléctrica, y el porqué de las penalizaciones, es fundamental si se quiere generar conciencia y así no se vuelva a incurrir en el incumplimiento de los límites de los índices de calidad de la energía.
- Mostrar una comparación entre el estado del sistema eléctrico con respecto a los límites dados por la norma es muy importante para denotar que tanto se está incumpliendo con la norma y que tan mal está el estado del sistema.
- Dar una descripción breve y sencilla de los índices de calidad energía que se van a analizar, así como sus repercusiones en el sistema si este paso el límite permitido por la norma ecuatoriana permite un entendimiento general de la problemática del sistema y la aceptación ante correcciones necesarias.
- Para una empresa es importante que, ante problemas en su red eléctrica ocasionada por equipos internos o factores externos, recibir una solución inmediata a fin de evitar pérdidas económicas por paro de procesos.
- Un buen manejo de la información en su forma más clara y precisa puede evitar molestias y trifulcas en la comunidad consumidora de energía eléctrica.

- La visualización de problemas por medio de graficas porcentuales en lugar de palabras técnicas permite un entendimiento más rápido a la comunidad en general.

Recomendaciones

- ❖ Se recomienda a la Corporación Nacional de Electricidad mejorar en lo que concierne al agrado y entendimiento de las personas al recibir sus planillas eléctricas.
- ❖ Utilización de gráficos y no uso de muchas palabras al momento de emitir un documento para mostrar el estado de un sistema eléctrico. [5]
- ❖ Mostrar una explicación breve de las variables que juegan papel importante en el análisis del sistema eléctrico, así como los índices de calidad de energía y como el incumplimiento de estos afecta al cliente del suministro eléctrico y a la red eléctrica.
- ❖ La adición de soluciones que mitiguen las violaciones a la norma que maneja la ARCONEL, para de esa manera captar la atención de la persona que solicita el servicio.

Bibliografía

- [1] CNEL EP, Actualización de Indicadores y Metas del Plan Estratégico 2017-2021, 2017.
- [2] Agencia de Regulacion y Control de Electricidad ARCONEL, Regulación No. ARCONEL 005/18 Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica, 2018.
- [3] R. Dugan, M. McGranaghan, S. Santoso y W. Beaty, Electrical Power Systems Quality, McGraw Hill, 2004.
- [4] IEEE Power and Energy Society, IEEE 1159 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, 2009.
- [5] A. Abreu, Calidad de Potencia Eléctrica en Redes de Distribución, 2005.
- [6] A. Kusko y M. Thompson, Power Quality in Electrical Systems, The McGraw-Hill Companies, Inc., 2007.
- [7] IEEE Power and Energy Society, IEEE 519 Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, 2014.
- [8] Fluke Corporation, 1744/1743 Power Quality Logger Users Manual, 2006.
- [9] Fluke Corporation, 1760 Power Quality Recorder Users Manual, 2006.
- [10] Agencia de Regulacion y Control de Electricidad ARCONEL, Pliego Tarifarios SPEE, 2019.

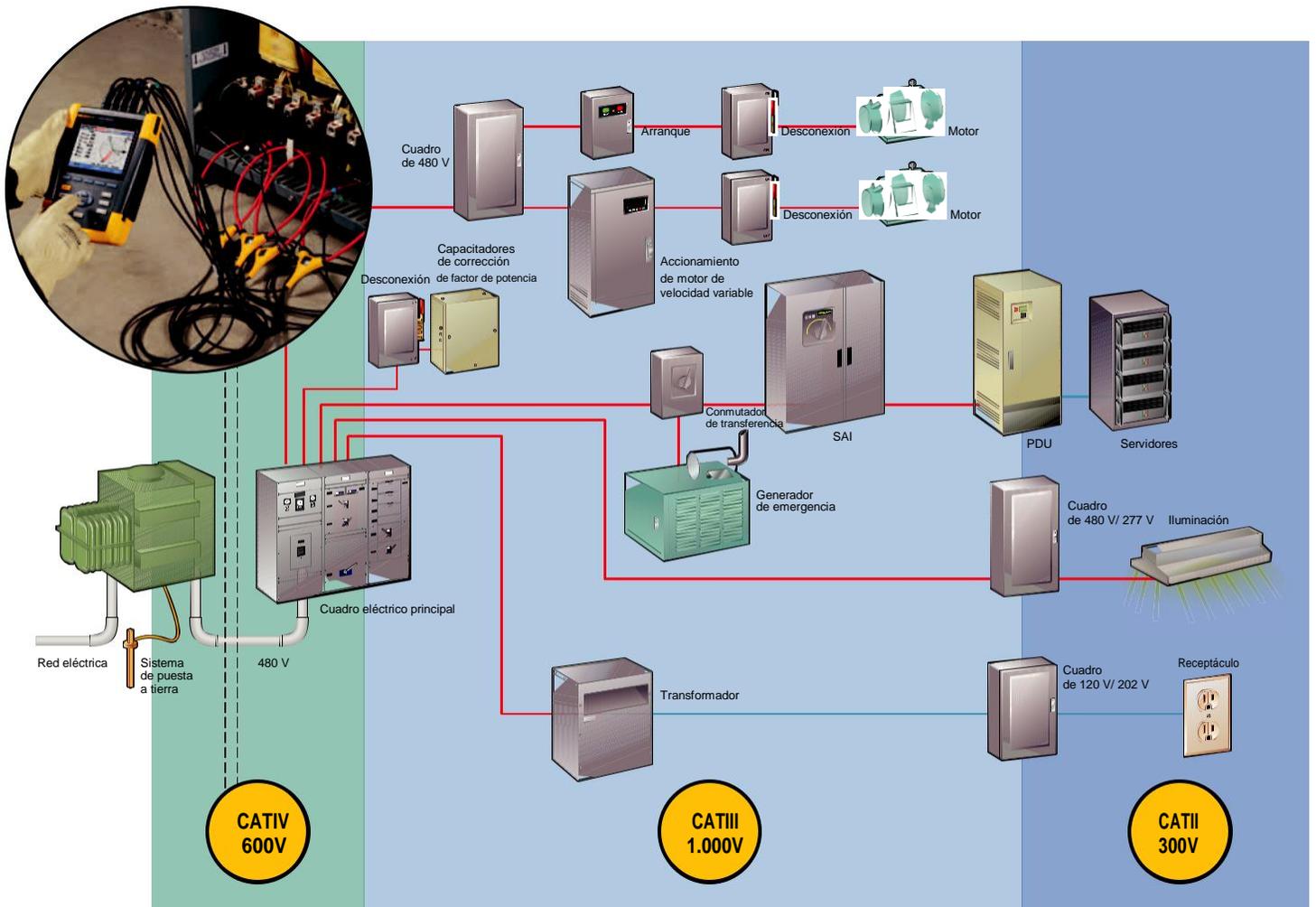
ANEXOS

Los costos de la mala calidad de la energía eléctrica.

Nota de aplicación

La productividad es la clave de supervivencia en el mundo competitivo actual. Cuando piensa en los elementos básicos de la producción (tiempo, mano de obra y materiales), usted puede ver que hay poco margen de maniobra para la optimización. Dispone de 24 horas al día, la mano de obra es cara y no tiene mucha alternativa en cuanto a materiales. Por eso, cada empresa debe utilizar la automatización para incrementar la productividad, o perecer.

Por lo tanto, confiamos en una automatización que, a su vez, se basa en un suministro de energía estable. Los problemas de calidad eléctrica pueden provocar el funcionamiento incorrecto de procesos y equipos o llegar a la interrupción de los mismos. Y las consecuencias de esto varían desde el costo excesivo de la energía hasta el cese completo del funcionamiento. Obviamente la calidad eléctrica es crítica.



La dependencia entre diversos sistemas añade complejidad a los problemas de calidad eléctrica. Sus computadoras trabajan bien, pero la red no funciona, por lo que nadie puede reservar un vuelo o archivar un informe de gastos. El proceso está funcionando correctamente, pero el sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado se ha apagado y la producción debe interrumpirse. Los sistemas imprescindibles para la empresa están repartidos por toda la instalación, por lo que los problemas de calidad eléctrica pueden ocasionar que algunos se detengan en cualquier momento.

Y seguramente sucederá en el peor momento posible.

¿De dónde proceden los problemas de calidad eléctrica? La mayoría se originan dentro de las instalaciones. Puede deberse a problemas con:

- Instalación: conexión incorrecta a tierra, cableado inadecuado o distribución sub-dimensionada.
- Funcionamiento: los equipos funcionan fuera de los parámetros de diseño.
- Métodos de mitigación: blindaje inadecuado o falta de corrección del factor de potencia.
- Mantenimiento: aislamiento del cable deteriorado o la conexión a tierra.

Incluso los equipos que se han instalado y a los que se les efectúa el mantenimiento correctamente en una instalación perfectamente diseñada, pueden presentar problemas de

calidad eléctrica con el paso del tiempo.

La medición eléctrica de las pérdidas, debido a una mala calidad eléctrica se puede realizar con los instrumentos 430 Serie II de Fluke, que miden directamente la energía desaprovechada a causa de armónicos y desequilibrio y cuantifican el costo de la pérdida basado en el costo unitario de la energía proveniente de la red eléctrica.

Los problemas de calidad eléctrica también se pueden originar fuera de la instalación. Vivimos con la amenaza impredecible de cortes del suministro eléctrico, caídas de tensión y sobretensiones. Obviamente, hay un costo en esto. ¿Cómo se cuantifica?

Medición los costos de la calidad eléctrica

Los problemas de calidad eléctrica causan estragos en tres áreas generales: tiempo de inactividad, problemas en los equipos y costos de consumo de energía.



Veamos un ejemplo. En la actualidad es sorprendentemente accesible y siempre es menos costoso que la inactividad. Por lo tanto, sus ingresos son de 9.000 \$ por hora. Si sus costos de producción son de 3.000 \$ por hora, su ingreso operativo es de 6.000 \$ por hora cuando la producción está en marcha. Cuando no está produciendo, la pérdida de ganancias es de 6.000 \$ por hora y además, tiene que añadir los gastos fijos (como los gastos generales y sueldos). Ese es el precio de la inactividad. Pero existen otros costos derivados de la inactividad:

- Desechos. De cuánta materia prima o en proceso de producción tiene que deshacerse si la producción se detiene?
- Reinicios. ¿Cuánto cuesta resolver y reiniciar el proceso tras una interrupción no planificada?
- Trabajo adicional. ¿Debe pagar horas extra o servicios externos para solucionar un incidente que conduce a la inactividad?

Interrupciones imprevistas.

Para cuantificar los costes derivados del tiempo de inactividad del sistema, necesita saber dos cosas:

1. Los ingresos por hora que genera el sistema.
2. Los costes de producción.

Debe tener en cuenta también el proceso empresarial. ¿Se trata de un proceso continuo y totalmente aprovechado (p.ej., una refinería)? ¿El producto debe consumirse después de haberse producido (p. ej., en una central eléctrica)? ¿Los clientes pueden disponer de una alternativa si el producto no está disponible (p.ej., una tarjeta de crédito)? Si la respuesta a cualquiera de estas preguntas es afirmativa, es difícil o imposible recuperar los ingresos perdidos.

¿Es usted un productor OEM? Si no puede hacer entregas a tiempo, sus clientes podrían cambiar de proveedor.

Problemas en los equipos

Los costos exactos son difíciles de cuantificar, ya que se deben tener en cuenta muchas variables. ¿La falla en ese motor se debe a un exceso de armónicos o ha ocurrido por cualquier otra causa? ¿Ha tenido que desechar la producción de la línea tres, debido a que las variaciones en el suministro eléctrico provocan variaciones en el funcionamiento de la máquina? Para saber las respuestas correctas, usted debe hacer dos cosas:

1. Identificar la raíz de problema.
2. Determinar los costos reales.

Este es el ejemplo. En su fábrica se produce un tipo de malla de plástico que debe tener un grosor uniforme. Al terminar la jornada, los operarios consistentemente informan que gran parte de la producción se ha tenido que desechar. Usted puede directamente identificar las variaciones de velocidad de la máquina debido a la baja tensión provocada por las pesadas cargas en los sistemas de climatización. El jefe de operaciones calcula que las pérdidas netas son de 3.000 \$ diarios. Este es el sobre costo derivado de la baja tensión. Pero no se olvide de otros costos, por ejemplo aquellos identificados con los periodos de inactividad.

Kilovatios útiles
(potencia disponible)

Potencia reactiva (inutilizable)

Kilovatios inutilizados por
problemas de desequilibrios

Kilovatios inutilizados
por armónicos

Corriente en el neutro

Costo total de kilovatio-hora
desperdiciado.

ENERGY LOSS CALCULATOR				
0:04:25				
	Total	Loss	Cost	
Effective kW	16.3	W 44	\$	0.00 /hr
Reactive kvar	- 4.7	W 4	\$	0.00 /hr
Unbalance kVA	15.5	W 92	\$	0.01 /hr
Distortion kVA	29.2	W 422	\$	0.04 /hr
Neutral A	118	W 539	\$	0.05 /hr
Total			\$	964 /y
05/17/12 13:59:42 277V 60Hz 3Ø WYE EN50160				
LENGTH	DIAMETER	METER	RATE	HOLD
100 ft	4 AWG		0.10 /kWh	RUN

Costos de la energía.

Para reducir la factura de electricidad, usted tendrá que registrar los patrones de consumo y ajustar el sistema y el tiempo de las cargas para reducir uno o más de los siguientes factores:

1. Uso de energía activa (kWh).
2. Las penalizaciones por el factor de potencia
3. Estructura de cargos adicionales por demanda pico.

Hasta ahora, calcular el costo de las pérdidas de energía ocasionadas por problemas de calidad eléctrica era una tarea para ingenieros expertos. El costo de las pérdidas solo podía calcularse mediante métodos numéricos complejos, es decir, no era posible realizar una medición directa y una cuantificación económica de las pérdidas. Con los algoritmos patentados que utilizan los productos 430 Serie II de Fluke, las pérdidas ocasionadas por los frecuentes problemas de calidad eléctrica, como los armónicos y el desequilibrio, pueden medirse de forma directa. Al introducir el costo de la energía eléctrica en el instrumento, el costo es calculado directamente.

Puede reducir el consumo de energía si elimina las deficiencias en su sistema de distribución. Entre las fuentes de estas deficiencias se incluyen:

- Altos valores de intensidad de corriente en el conductor neutro causado por desequilibrio de cargas y armónicos "Triplen".
- Transformadores con cargas pesadas, en especial los que producen cargas no lineales.

- Motores viejos, accionamientos viejos y otras cuestiones relacionadas con motores.
- Señales eléctricas muy distorsionadas, que pueden provocar un calentamiento excesivo de los sistemas de alimentación eléctrica.

Usted puede evitar penalidades económicas del factor potencia mediante la corrección del mismo. En general, esto se consigue instalando condensadores de corrección. No obstante, lo primero es corregir la distorsión del sistema: los condensadores presentan una baja impedancia a los armónicos e instalando correctores de factor de potencia inapropiados puede producir resonancia o quemar los condensadores. Consulte a un especialista en calidad eléctrica antes de corregir el factor de potencia si existen armónicos en la instalación.

Es posible reducir los cargos adicionales por exceder la demanda pico gerenciándola. Por desgracia, muchas personas pasan por alto uno de los factores fundamentales de este

costo -el efecto de una mala calidad eléctrica en los picos de consumo eléctrico -y en consecuencia, no son conscientes de su impacto en una factura elevada. Para determinar los costos reales de las cargas pico, necesita conocer tres datos:

1. El consumo de energía "normal"
2. El consumo de energía "estable"
3. La estructura de cargos adicionales por exceder la demanda pico.

Al eliminar problemas de calidad de energía, se reduce el tamaño de las demandas de pico y de la base de donde se empiezan. Ahora sus instalaciones consumen un promedio de 515 kWh y sus cargas pico han bajado hasta 650 kWh. Pero, si incorpora la gestión de cargas para redistribuir algunas, la cantidad que se apila una sobre otra es menor y su nueva carga pico raramente sobrepasa los 595 kWh.

Veamos un ejemplo. En su fábrica/oficina se consume un promedio de 570 kWh durante la jornada de trabajo, pero se alcanzan picos de 710 kWh casi todos los días. La empresa de suministro eléctrico le cobra un recargo de electricidad por cada 10 kWh por encima de los 600 kWh en su factura mensual, cada vez que el consumo sobrepasa el umbral de los 600 kWh durante 15 minutos. Si usted corrige el factor de potencia, mitiga los armónicos, corrige las alteraciones e instala un sistema de gestión de cargas, tendrá ante usted un consumo de energía diferente: uno que puede usted mismo puede calcular.

Ahorre dinero con la calidad eléctrica

Ya ha conocido los costos de la mala calidad eléctrica. Ahora, debe aprender a eliminar dichos costos. Lo conseguirá si sigue estos pasos.

- Compruebe el diseño. Determine de qué modo su sistema puede soportar mejor los procesos y qué infraestructura necesita para evitar fallas. Verifique la capacidad del circuito antes de instalar un nuevo equipo. Vuelva a comprobar los equipos críticos después de realizar cambios de configuración.
- Cumpla las normativas. Por ejemplo, compruebe que su sistema de conexión a tierra cumple con la norma IEEE-142. Compruebe que su sistema de distribución de alimentación eléctrica cumple con la norma IEEE-141.
- Compruebe los sistemas de protección eléctrica. Esto incluye la protección contra rayos, los supresores de sobretensiones permanentes y transitorias. ¿Cuentan con la especificación apropiada y están correctamente instalados?
- Obtenga datos básicos sobre todas las cargas. Esta es la clave del mantenimiento predictivo y permite detectar problemas antes de que ocurran.
- Piense en métodos de mitigación. Los métodos de mitigación de problemas de calidad eléctrica incluyen la corrección (p.ej., reparación de la conexión a tierra) o aceptar la situación (p.ej., utilizando transformadores clasificados K). Considere acondicionar el suministro eléctrico e instalar una fuente de alimentación de reserva.



- Considere acondicionar el suministro eléctrico e instalar una fuente de alimentación de reserva. ¿Está realizando pruebas y llevando a cabo inspecciones periódicas en los puntos críticos; por ejemplo, compruebe la tensión entre neutro a tierra y la corriente de tierra en las acometidas y los circuitos derivados críticos. Lleve a cabo inspecciones de los equipos infrarrojos de distribución Determine las causas de las fallas para prevenir la recurrencia de las mismas.
- Use la función Monitor. ¿Puede detectar las distorsiones de tensión antes de que se sobrecalienten los motores? ¿Puede seguir la pista de los transitorios? Si no tiene instalado un sistema de monitoreo eléctrico, probablemente no verá los próximos problemas, pero sí verá la inactividad que producen.

Llegado este punto, usted necesita determinar los costos de prevención y reparación para, a continuación, compararlos con los costos de la mala calidad eléctrica. Esta comparación le permitirá a usted justificar la inversión necesaria para solucionar los problemas de calidad eléctrica. Dado que esto debería ser un esfuerzo continuo utilice los instrumentos adecuados de modo que pueda realizar sus propias mediciones de calidad eléctrica y realizar monitoreos, en vez de subcontratar a otras empresas o profesionales. En la actualidad es sorprendentemente accesible y siempre es menos costoso que la inactividad.

Fluke. Manteniendo su mundo en marcha

Fluke Corporation
Everett, WA 98206 EE.UU..

Latin America:
Tel: +1 (425) 446-5500
Web: www.fluke.com/laam

Fluke Ibérica, S.L.
Pol. Ind. Valportillo
C/ Valgrande, 8
Ed. Thanworth II - Nave B1A
28108 Alcobendas Madrid

Tel: 91 4140100
Fax: 91 4140101
Email: info.es@fluke.com
Web: www.fluke.es

Para obtener información adicional, póngase en contacto con:
En EE.UU. (800) 443-5853 o
Fax (425) 445-5116
En Europa/Medio Oriente/Africa
+31 (0) 40-2675-200 o
Fax +31 (0) 40-2675-222 En
Canadá (800)-36-FLUKE o Fax
+1 (425) 446-5116
Acceso a Internet: <http://www.fluke.com>