



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## DIRECCIÓN DE POSGRADO

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN OPCIÓN AL GRADO  
ACADÉMICO DE MAGISTER EN GESTIÓN DE ENERGÍAS

---

**TEMA:** “ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA Y SU INFLUENCIA EN  
LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE  
CALIDAD EN LA REFINERÍA SHUSHUFINDI (LABCCRS) EN EL AÑO 2016.  
DESARROLLAR UNA PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA  
DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA”

---

**Autor:**

David Tomas Salazar Molina

**Tutor:**

PhD. Iliana González

LATACUNGA - ECUADOR

Enero - 2018



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

UNIDAD DE POSGRADO  
Latacunga – Ecuador

---

## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

En calidad de Miembros del Tribunal de Grado aprueban el presente Informe de investigación de posgrados de la Universidad Técnica de Cotopaxi; por cuanto, el maestrante: David Tomas Salazar Molina, con el título de tesis: “ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA REFINERÍA SHUSHUFINDI (LABCCRS) EN EL AÑO 2016. DESARROLLAR UNA PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA” Ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Defensa de Tesis. Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, mayo 2019.

Para constancia firman:

.....  
NOMBRES Y APELLIDOS  
PRESIDENTE

.....  
NOMBRES Y APELLIDOS  
MIEMBRO

.....  
NOMBRES Y APELLIDOS  
MIEMBRO

.....  
NOMBRES Y APELLIDOS  
OPONENTE

## **AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS**

En mi calidad de Tutora del Programa de Maestría en Gestión de Energías del Trabajo, cohorte 2014, nombrado por el Honorable Consejo de Posgrados de la UTC.

### **CERTIFICO**

Que he analizado el Proyecto de investigación y desarrollo titulado de **“ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA Y SU INFLUENCIA EN LA CALIDAD DE ENERGÍA EN EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD EN LA REFINERÍA SHUSHUFINDI (LABCCRS) EN EL AÑO 2016. DESARROLLAR UNA PROPUESTA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA”** presentado por David Tomás Salazar Molina, con cédula de ciudadanía 0501586531 como requisito previo para la aprobación y el desarrollo de la investigación para optar el grado de Magister en Gestión de Energías.

Sugiero su aprobación y permita continuar con el trabajo de investigación.

Latacunga, febrero 2019.

.....

PhD. Iliana González

CC.

TUTORA

## **RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS**

El abajo firmante, en calidad de estudiante de la Maestría en Gestión de Energías cohorte 2017, declaro que los contenidos de este Trabajo de Graduación, requisito previo a la obtención del Grado de Magíster en Gestión de Energías, son absolutamente originales, auténticos y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Latacunga, mayo 2019

Atentamente

.....

David Tomás Salazar Molina

Número de C.I.: 0501586531

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a la Universidad Técnica de Cotopaxi, a la Dirección de Posgrados, por la excelente labor que ejercen en favor de la formación profesional. A mi esposa Mónica y a mis hijos por darme su incondicional apoyo y comprensión.

A mi director de tesis PhD. Iliana González por su soporte en la presente investigación y el tiempo valioso dedicado para la misma.

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo:

A mi esposa Mónica por su constante apoyo.

A mis hijos Fátima, Roger, Diego y Mateo por ser mi constante fuente inspiración, motivación y alegría en mi vida.

A mis padres, Cornelio y Luz María, de quienes aprendí el esfuerzo, sacrificio y especialmente la perseverancia para salir adelante.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

PORTADA .....	i
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	ii
AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS .....	iii
RESPONSABILIDAD POR LA AUTORÍA DE LA TESIS .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiv
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I.....	7
1. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO .....	7
1.1. Calidad de la energía .....	7
1.1.1. Concepto.....	7
1.1.2. Introducción.....	7
1.1.3. Importancia de la calidad de energía .....	8
1.2. Evolución de carga .....	8
1.2.1. Evolución de carga y su importancia.....	8
1.2.2. Tipos de cargas .....	9
1.2.2.1. Carga lineal.....	10
1.2.2.2. Carga no lineal.....	10
1.3. Distribución eléctrica.....	11
1.3.1. Introducción.....	11
1.3.2. La distribución eléctrica y su desarrollo .....	12
1.3.3. Sistema de distribución.....	13
1.3.3.1. Clasificación de las redes .....	13
1.3.3.1.1. Sistemas radiales.....	14
1.3.3.1.2. Anillos y mallas .....	16

1.4. Normas y regulaciones de calidad de energía.....	18
1.4.1. Aspectos Generales .....	18
1.5. Equipos de medición de redes de potencia.....	25
1.5.1. RTU (Unidad Terminal Remota/Remote Terminal Unity) .....	25
1.5.2. Unidad de medida Fasorial .....	26
1.5.2.1. Aplicaciones en los sistemas de distribución de energía.....	26
1.5.2.2. Perspectivas de las unidades PMU .....	28
1.5.3. WAMS (Wide Area Monitoring System/Sistema de Monitoreo de Área Extendida) .....	28
1.5.3.1. Componentes de un WAMS .....	29
CAPÍTULO II .....	31
2. Marco metodológico.....	31
2.1. Metodología.....	31
2.1.1. Método.....	31
2.1.1.1. Métodos empíricos .....	31
2.1.1.1.1. Método de observación.....	31
2.1.1.1.2. Método de medición .....	32
2.1.1.2. Métodos teóricos .....	33
2.1.1.2.1. Metodología de modelación .....	33
2.1.1.2.2. Método analítico .....	33
2.1.2. Modalidad de la investigación .....	34
2.1.3. Definición de investigación .....	35
2.1.3.1. Estudio exploratorio .....	35
2.1.3.2. Estudio descriptivo .....	35
2.1.3.3. Estudio correlacional .....	36
2.1.3.4. Estudio explicativo .....	36
2.1.4. Metodología de medición de parámetros de calidad de energía.....	36
2.1.4.1. Medición de la energía del sistema eléctrico de PetroIndustrial .....	36
2.1.5. Metodología de modelación del sistema de distribución.....	38
2.1.5.1. Toma de datos de equipos y elementos del sistema de distribución .....	38
2.1.5.2. Modelación del sistema de distribución .....	39
2.1.5.2.4.1. Laboratorio de hidrocarburos .....	45
CAPÍTULO III .....	53
3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	53

3.1. Mediciones .....	57
3.1.1. Adquisición de datos .....	57
3.1.1.1. Evento 21 de marzo .....	57
3.1.1.2. Evento 23 de marzo .....	58
3.1.2. Análisis de la calidad de energía en tableros de distribución .....	62
3.1.2.1. Tablero central de aire. ....	62
3.1.2.1.1. Registro de mediciones.....	62
3.1.2.1.2. Gráfica voltaje y corriente .....	63
3.1.2.1.3. Registro de armónicos .....	64
3.1.2.1.4. Estadística de voltaje .....	64
3.1.2.1.5. Gráfica factor de potencia.....	65
CAPÍTULO IV .....	66
4. Propuesta .....	66
4.1. Título de la propuesta .....	66
4.2. Justificación de la propuesta .....	66
4.3. Objetivos de la propuesta.....	66
4.3.1. Objetivo General: .....	66
4.3.2. Objetivos Específicos: .....	66
4.4. Fundamentación teórica de la propuesta.....	67
4.4.1. Fundamentos Filosóficos:.....	67
4.4.2. Fundamentos Tecnológicos: .....	68
4.5. Beneficiarios .....	69
4.6. Características del plan de distribución eléctrico del laboratorio de control de calidad de la refinería Shushufindi .....	69
CONCLUSIONES.....	76
RECOMENDACIONES .....	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.1:</b> Ajustes límites para cargas de 120 V. ....	20
<b>Tabla 1.2:</b> Rango de parámetros de calidad de energía eléctrica (medidas clase A).....	22
<b>Tabla 1.3:</b> Rango de parámetros de calidad de energía eléctrica (medidas clase B).....	23
<b>Tabla 1.4:</b> Requisitos de exactitud para medición de voltaje y corriente.....	23
<b>Tabla 2.1:</b> Cálculo de Potencia Entregada por los Generadores .....	41
<b>Tabla 2.2:</b> Tabla de Potencias para el diseño de la Cámara de Transformación. ....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.1:</b>	Tipos de Cargas.....	9
<b>Figura 1.2:</b>	Señales de Tensión y Corriente en una Carga Lineal. ....	10
<b>Figura 1.3:</b>	Señales de Tensión y Corriente en una Carga No Lineal. ....	11
<b>Figura 1.4:</b>	Diagrama de un Sistema Eléctrico de Potencia o SEP. ....	11
<b>Figura 1.5:</b>	Estación de distribución eléctrica y los elementos que lo conforman. ...	13
<b>Figura 1.6:</b>	Red Radial.....	15
<b>Figura 1.7:</b>	Red en anillo. ....	16
<b>Figura 1.8:</b>	Red de mallas.....	17
<b>Figura 1.9:</b>	Unidad Terminal Remota.....	25
<b>Figura 1.10:</b>	PMU (Unidad de Medida Fasorial/Phasor Measurement Unit).....	26
<b>Figura 1.11:</b>	Conexión del PMU Dentro de la Red. ....	27
<b>Figura 1.12:</b>	Representación Fasorial de un PMU.....	27
<b>Figura 1.13:</b>	Sistema de Monitoreo de un SEP.....	29
<b>Figura 2.1:</b>	Medición Real de Tensión, Corriente Media y Potencia Activa. ....	37
<b>Figura 2.2:</b>	Medición Real de Factor de Potencia, Frecuencia y Corriente.....	37
<b>Figura 2.3:</b>	Medición Real de Potencias Aparente y Reactiva. ....	38
<b>Figura 2.4:</b>	Sistema de Control de Medición del Sistema Eléctrico de la Refinería Shushufindi. ....	38
<b>Figura 2.5:</b>	Software Power World Simulator 19.....	39
<b>Figura 2.6:</b>	Pestaña File del Software PWS 19.....	39
<b>Figura 2.7:</b>	Creación de un nuevo caso. ....	40
<b>Figura 2.8:</b>	Caso generado. ....	40
<b>Figura 2.9:</b>	Opciones del Simulador. ....	40
<b>Figura 2. 10:</b>	Cambio de Base del Sistema.....	41
<b>Figura 2.11:</b>	Selección de la Potencia de Base. ....	41
<b>Figura 2.12:</b>	Selección de Elementos. ....	42
<b>Figura 2.13:</b>	Opciones de la Barra 1.....	42
<b>Figura 2.14:</b>	Ventana del Caso a editar. ....	43
<b>Figura 2.15:</b>	Generador - Power and Voltage Control. ....	43
<b>Figura 2.16:</b>	Generador - Display Information.....	44

<b>Figura 2. 17:</b> Parámetros de la Barra 2. ....	44
<b>Figura 2.18:</b> Parámetros del Transformador. ....	45
<b>Figura 2.19:</b> Laboratorio de Hidrocarburos. ....	45
<b>Figura 2.20:</b> Selección de un valor a editar. ....	46
<b>Figura 2.21:</b> Cambio en los parámetros de las visualizaciones. ....	46
<b>Figura 2.22:</b> Selección de un elemento. ....	46
<b>Figura 2.23:</b> Selección de nuevos campos. ....	47
<b>Figura 2.24:</b> Posición de la visualización de los campos. ....	47
<b>Figura 2.25:</b> Opciones del nuevo campo. ....	47
<b>Figura 2.26:</b> Selección del nuevo campo. ....	48
<b>Figura 2.27:</b> Parámetros configurados. ....	48
<b>Figura 2.28:</b> Visualización de parámetros deseados. ....	49
<b>Figura 2.29:</b> Diagrama Unifilar del Sistema de Distribución de la Refinería hacia el Laboratorio de Control de Calidad. ....	49
<b>Figura 2.30:</b> Inicio de Flujo de Carga. ....	49
<b>Figura 2.31:</b> Flujo de Potencia en el Sistema de Distribución de la Refinería hacia el Laboratorio de Control de Calidad. ....	50
<b>Figura 2.32:</b> Triángulo de Potencias. ....	51
<b>Figura 3.1:</b> Inicio de Análisis de Fallas. ....	53
<b>Figura 3.2:</b> Condicionamiento de la Falla. ....	54
<b>Figura 3.3:</b> Cálculo de la Falla dispuesto en las Cargas. ....	54
<b>Figura 3. 4:</b> Valores de Corriente para una Falla Línea a Tierra. ....	55
<b>Figura 3.5:</b> Valores de Corriente para una Falla Trifásica. ....	55
<b>Figura 3. 6:</b> Valores de Corriente para una Falla Línea a Línea. ....	56
<b>Figura 3.7:</b> Valores de Corriente para una Falla Doble Línea a Tierra. ....	56
<b>Figura 3.8:</b> Caída de tensión en las tres fases. ....	57
<b>Figura 3.9:</b> Evolución de la frecuencia. ....	58
<b>Figura 3.10:</b> Comportamiento de las señales de tensión. ....	58
<b>Figura 3.11:</b> Comportamiento de las señales de Corriente. ....	59
<b>Figura 3.12:</b> Distorsión armónica. ....	59
<b>Figura 3.13:</b> Flickers en las líneas. ....	60
<b>Figura 3.14:</b> Tensión mínima de la línea 1. ....	60

<b>Figura 3.15:</b>	Análisis de flickers línea 1.....	61
<b>Figura 3.16:</b>	Análisis de flickers línea.....	61
<b>Figura 3.17:</b>	Registro de mediciones.....	62
<b>Figura 3.18:</b>	Gráfica voltaje y corriente.....	63
<b>Figura 3.19:</b>	Registro de armónicos.....	64
<b>Figura 3.20:</b>	Estadística de voltaje.....	64
<b>Figura 3. 21:</b>	Gráfica factor de potencia.....	65
<b>Figura 4.1:</b>	Posible ruta de nueva acometida principal.....	70
<b>Figura 4.2.:</b>	Cámara de Transformación.....	70
<b>Figura 4.3:</b>	Equipos UPS y Tableros de Distribución.....	71
<b>Figura 4.4:</b>	Cuarto Central de Aire Acondicionado.....	72
<b>Figura 4.5:</b>	Tablero de distribución de UPS 01.....	72
<b>Figura 4.6:</b>	Tablero de distribución TDL 03.....	73
<b>Figura 4.7:</b>	Instalaciones Eléctricas Superficiales.....	73
<b>Figura 4.8:</b>	Esquema de distribución de energía en Laboratorio.....	74
<b>Figura 4. 9:</b>	Lámpara para Laboratorio tipo LED.....	75

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1.</b> Factor de Potencia.....	51
<b>Ecuación 2:</b> Función Trigonométrica Coseno .....	51
<b>Ecuación 3:</b> Potencia Aparente en función del f.p. ....	51
<b>Ecuación 4:</b> Función de Pitágoras para la resolución de uno de sus catetos. ....	52

## RESUMEN

El presente documento presenta el análisis sobre la Red Eléctrica que alimenta a la Refinería Shushufindi, con el propósito de determinar la calidad energética dispuesta por dicha red y así mismo poder realizar un estudio que permita la corroboración del uso adecuado energético para la disposición de las áreas aledañas, más concisamente, para el Laboratorio de Control de Calidad. Para el estudio que se desea realizar, se ha hecho el uso de programas o software con ámbito eléctrico, como lo es Power World Simulator Versión 19, la cual, a más de tener una interfaz amistosa con el usuario, esta provee la información necesaria, precisa y confiable de todos los parámetros que daremos lugar para la determinación de la calidad de la energía dispuesta en la Refinería Shushufindi. El monitoreo y mediciones dentro de la Refinería Shushufindi, se lo realizará utilizando los medidores PowerLogic ION6200 perteneciente a la marca Schneider Electric, ubicados en los centros de control; además de los recursos de monitoreo a tiempo real bajo los sistemas SCADA y/o WAMS.

Palabras clave: Calidad de energía, flujos de potencia, Power World Simulator Version 19 (Software), monitoreo eléctrico, modelamiento eléctrico.

## **ABSTRACT**

This document presents the analysis on the Electric Network that feeds the Shushufindi Refinery, in order to determine the energy quality provided by said network and also to be able to carry out a study that allows the corroboration of the appropriate energy use for the layout of the areas more concisely, for the Laboratory of Quality Control. For the study to be carried out, the use of programs or software with an electric field, such as Power World Simulator Version 19, which, in addition to having a friendly interface with the user, provides the necessary information, accurate and reliable of all the parameters that we will give place to the determination of the quality of the energy arranged in the Refinery Shushufindi. Monitoring and measurements within the Shushufindi Refinery will be done using the PowerLogic ION6200 meters belonging to the Schneider Electric brand, located in the control centers; as well as real-time monitoring resources under the SCADA and / or WAMS systems.

Keywords: Power quality, power flows, power world simulator version 19 (Software), electrical monitoring, electrical modeling.

## INTRODUCCIÓN

La Calidad de la Energía se identifica como el control y el mantenimiento de estabilidad sobre todos aquellos fenómenos que pueden estar presentes en las formas de onda tanto de tensión como de corriente; así también como los inconvenientes dentro del sistema eléctrico que pueden traer o no consecuencias en los equipos, tales como cierres o aperturas de disyuntores, protecciones, conexión y desconexión de generadores, pérdidas súbitas de carga, entre otros muchos ejemplos más; para poder tener un sistema eléctrico equilibrado, balanceado, seguro y que no cause problemas técnicos de suma importancia y/o pérdidas económicas tanto como para los consumidores como a las compañías de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica.

Debido a esto, se han establecido métodos, regulaciones, leyes, penalizaciones, etc., por parte de instituciones que realizan un hincapié en mantener una calidad de energía.

Instituciones como que en los últimos años han estado en constante estudio y evolución del tema, como la Triple E, como se conoce coloquialmente, corresponden a una de las mayores asociaciones del mundo en el campo de la ciencia y la ingeniería. Su nombre completo en inglés es Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE), la National Electrical Manufacturers Association es una asociación estadounidense, fundada en 1926 y con sede en Virginia, EEUU, establece estándares para la manufactura de productos eléctricos (NEMA) y el La Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL) es la entidad regulatoria y de monitoreo para la operación y desarrollo del sector eléctrico en Ecuador.

Los países latinoamericanos han ido poco a poco estableciendo regulaciones de calidad de servicio eléctrico, muchos de estos países tienen en la actualidad regulaciones bien estructuradas.

Para la calidad de servicio eléctrico, el ente regulador por lo general es uno estatal y el ente regulador es la Empresa de Distribución, la misma que puede ser estatal o privada. Dado que la Empresa de Distribución es la llamada a velar por la calidad del servicio, las regulaciones o recomendaciones establecen que esta debe monitorear y corregir los problemas de calidad de energía para el bien de los usuarios.

Además, Ecuador tiene pocos años de haber iniciado el proceso de regular a las empresas de distribución más no a los usuarios en baja y media tensión. Esta tardanza le ha dado beneficio de haber recogido la experiencia de países vecinos para regular sus empresas de distribución con mayor criterio. Es por esto que la norma ecuatoriana es una de las regulaciones más coherentes y más claras de aplicar. A pesar de esto, aún se pueden emitir ciertas recomendaciones para su perfeccionamiento.

Por consiguiente la Constitución de la República del Ecuador establece en su artículo 413 que “el Estado debe promover la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto” de esta forma el estado es garante de que las empresas públicas y privadas, ya que debe ser vigilante que cumplan con las normativas establecidas por los diferentes entes rectores encargados de promocionar la innovación y excelencia en la tecnología en beneficio del país.

Así mismo establece: “Que, la modernización de las redes eléctricas debe considerar aspectos regulatorios, redes de transporte y distribución de energía, redes de comunicación, generación distribuida, almacenamiento de energía, medición inteligente, control distribuido, gestión activa de la demanda y oportunidades de brindar nuevos productos y servicios”

De tal manera, realizar redistribuciones en las interpretaciones y las variaciones de voltaje, ya que estos suelen ser los problemas asociados con la calidad de la energía eléctrica, así mismo, las fuentes generadoras de disturbios a frecuencia de potencia son parte del déficit de la calidad de energía, así mismo el fenómeno más importante relacionado con el consumo, es la distorsión armónica donde se describirá como se generan los armónicos de voltaje y de corriente; y los efectos que tienen estos en diferentes equipos, por lo tanto se debe estimar el comportamiento del sistema y de los equipos eléctricos existentes en cada empresa.

### **Situación problemática**

En la Refinería Shushufindi en la revisión realizada por la contratación de consultoría y asesoría técnica en la Norma Técnica Ecuatoriana para la implementación de un sistema de gestión de la calidad para laboratorios de ensayo y calibración NTE INEN ISO/IEC 17025:2006 se ha evidenciado posibles situaciones de riesgo eléctrico y sobrecargas, por ejemplo, en las áreas donde están ubicados los cromatógrafos de gases y donde

están los equipos de punto de inflamación, lo que podría ocasionar sobrecargas, daños de los equipos, además de poner en peligro a la seguridad del laboratorio y su personal. Se sugiere también que el laboratorio realice mejoras y adecuaciones en sus instalaciones eléctricas, por la cantidad y tipo de equipos que maneja.

### **Justificación**

Se busca mejorar la calidad de energía en el edificio LABCCRS para reducir barreras técnicas, políticas y de información; técnicamente se debe brindar mayor confiabilidad y un buen desempeño de todos los aparatos eléctricos y electrónicos conectados al sistema, ya que los mismos deben operar entre sus límites de tolerancia aceptables generando de esta forma su eficiencia y su vida útil en el laboratorio de control de calidad.

Habría menores riesgos de falla, lo cual, aumentaría la producción y se reducirían los gastos en reparación, así también como la disminución de costos por mantenimiento.

En el aspecto legal, se disminuirían los riesgos de multas y demanda, por otra parte, el estudio proporciona un punto de partida para investigaciones posteriores que guarda relación con las áreas de investigación de la Ingeniería Eléctrica.

### **Objeto y problema de la investigación**

El estudio será realizado en el edificio del Laboratorio de Control de Calidad de la Refinería Shushufindi, ubicado en el kilómetro 1 ½ vía Limoncocha, Shushufindi-Ecuador, siendo este un laboratorio de ensayos de primera parte, el cual nos entrega resultados preliminares de la calidad físico-químico de los productos obtenidos en la producción de la refinería, tomando en cuenta que estas no son las únicas pruebas que se pueden realizar ya La Agencia de Regulación y Control de Hidrocarburos (ARCH) está en la libertad de realizar otras pruebas de control de calidad cuantas veces crea necesaria.

El Laboratorio de Control de Calidad ejecuta análisis físico-químicos, de efluentes industriales provenientes de las actividades de refinación y de los productos derivados de los hidrocarburos, cumpliendo con los requisitos de las normas técnicas establecidas, lo que garantiza la calidad de los ensayos que realiza. En caso de que por los controles en terminales realizados por la Dirección Nacional de Hidrocarburos, se determine que los combustibles líquidos derivados de los hidrocarburos incumplen las normas de

calidad INEN, sin perjuicio de la acción legal correspondiente, se dispondrá la suspensión del despacho del producto, la prohibición de su comercialización y la imposición de la máxima multa prevista en la ley; y, para el caso de falsedad en la cantidad se impondrá la máxima multa prevista en la ley, según el artículo 7 de REGLAMENTO PARA EL CONTROL DE CANTIDAD Y CALIDAD DE COMBUSTIBLES, Acuerdo Ministerial 366, Registro Oficial 621 de 18-jul.-2002

### **Objetivo general**

Analizar el Sistema Eléctrico de bajo voltaje de la Refinería Shushufindi y su influencia en la calidad de la energía del Laboratorio de Control de Calidad en la Refinería, proporcionando parámetros eléctricos adecuados para el correcto funcionamiento de los equipos, facilitando condiciones seguras para la manipulación y operación de los mismos, y eliminando riesgos de accidentes eléctricos, sobre cargas, daños a los equipos y el personal.

### **Hipótesis**

La distribución eléctrica incide en la calidad de la energía en el Laboratorio de Control de Calidad en la Refinería Shushufindi en el año 2016.

### **Objetivos específicos**

- Medir en los tableros de distribución los parámetros que determinan una buena calidad de energía como amplitud del voltaje, frecuencia, armónicos, etc.
- Analizar los resultados obtenidos y verificar que los parámetros medidos estén dentro de los rangos establecidos en las normas para garantizar una buena calidad de energía.
- Simular del sistema de eléctrico de la Refinería Shushufindi en el software “Power World”, para verificar capacidad de los elementos que conforman el sistema eléctrico de la refinería en función de los nuevos equipos que se han venido implementando a lo largo de los años.

### **Sistema de tareas por objetivos específicos**

### **Métodos, técnicas y procedimientos**

### ***Introducción Modalidad de la Investigación***

### *Bibliográfica*

Se revisará toda información bibliográfica actualizada y especializada, así como de documentos fiables (manuales del fabricante), con el fin de obtener todos los conocimientos sobre el tema a investigar.

### *De campo*

Se empleará en la observación del comportamiento del fenómeno, a través de la recolección de la información obtenida directamente con el personal de planta.

Porque el investigador acudió al lugar donde se producen los hechos para obtener información confiable y confrontarlo con la realidad técnica, sustentándose en los reportes diarios de producción.

### *Experimental*

Para evaluar y analizar los parámetros operacionales del proceso de separación y bombeo del fluido de combustible trifásico, necesariamente se realizarán pruebas experimentales en los equipos y sistema en general.

Modalidad Especial – Proyecto Factible: En el desarrollo del proyecto no solo se analizará científicamente el problema, sino que además se plantea una propuesta técnica de solución al problema investigado.

### *Nivel o Tipo de la Investigación*

Por el tipo de la investigación, el presente estudio reúne las condiciones metodológicas de una investigación experimental y cuantitativa, en razón, que se utilizará la observación, registro y análisis de las variables que intervienen en la investigación, además cuantitativa porque en la investigación de campo se realizará en el lugar donde se producen los hechos y se recolectará información primaria, procesada numérica y estadísticamente y cualitativa porque los referentes estadísticos serán sometidos análisis e interpretaciones técnicas con el apoyo del marco teórico.

### *Exploratorio*

Pone al investigador en contacto con la realidad, observación preliminar del área, elementos y relaciones del objeto de estudio. Conocimiento superficial.

### *Descriptivo*

Conocimiento detallado de los rasgos externos del problema, se interesa por describir, no le preocupa explicar.

### *Correlacionado*

Permite identificar asociaciones entre variables y establecer relaciones estadísticas.

### *Explicativo*

Comprueba experimentalmente una hipótesis. Detecta los factores que determinan ciertos comportamientos.

### ***Población, Medición y muestra***

*Tabla 1. Número de personal.*

<b>Equipos</b>	<b>Población</b>
Generadores	6
Bombas de Inyección de agua.	9
Bombas booster de agua	4
Aero-enfriadores	7
<b>Total</b>	<b>26</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

### ***Método de la Investigación***

El método es el camino, la vía, la estructura del proceso de la investigación científica; es el sistema de procedimientos; la forma de estructuración de la actividad.

Los principales métodos que se utilizarán en esta investigación son:

Deductivo: Para el análisis de la optimización de la operación de bombeo y separación del fluido trifásico, se hará uso de técnicas e instrumentos, que permitan obtener los resultados que se busca confirmar la hipótesis formulada.

Análítico: Para estructurar un modelo de operación óptima y mejorar el rendimiento de los moto-generadores será necesario evaluar los parámetros de funcionamiento de todos los sistemas y de allí poder comprender el objetivo del mismo y probar con ellos.

# CAPITULO I

## 1. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

### 1.1. Calidad de la energía

#### 1.1.1. Concepto

La energía eléctrica de calidad se puede definir cuando esta es transmitida o distribuida sin ningún tipo de perturbaciones, sobretensiones o interrupciones. La energía eléctrica de calidad implica que esta debe ser estable y debe permanecer así bajo la presencia de algún tipo de perturbación o falla; casos existentes, advierten, que si no se cumple una energía eléctrica de calidad, puede ser perjudicial tanto para las empresas distribuidoras de energía eléctrica, como perjudiciales para las empresas que utilizan esta energía, debido a que influye directamente con la eficiencia de la producción de cualquier producto a cargo de dicha empresa, o incluso puede ser peligroso para la vida útil de los equipos de dicha empresa.

#### 1.1.2. Introducción

La energía eléctrica desde sus inicios, ha tenido un papel muy importante en el desarrollo social, económico e industrial en el mundo entero, debido a que su utilización ha permitido un avance enorme con la revolución industrial.

Debido a este desarrollo industrial masivo, implica que la energía receptada por las empresas debe cumplir parámetros de calidad que satisfagan a las empresas: seguridad de sus empleados, eficiencia en la producción y la suficiente energía que esta puede demandar.

La calidad de energía no es más que el estudio constante de la energía bajo circunstancias de fallas o incluso, el incremento de la demanda energética.

Es importante conocer los alcances y 'limitaciones' que un estudio de demanda energética posee, puesto a que esto puede ser satisfactorio a corto plazo, pero no

cumplirá con la demanda a largo plazo debido al incremento social que esto ha de involucrar. Dicho de otra manera, la demanda energética es directamente proporcional al incremento de la población.

### **1.1.3. Importancia de la calidad de energía**

Como se ha podido apreciar, la energía eléctrica de calidad ha permitido el aumento de productividad y a su vez, la competitividad entre empresas.

Por otro lado, las empresas para incrementar su productividad y su competitividad, es necesario que optimicen sus procesos ya sea:

- Reduciendo las pérdidas de energía y garantizando un correcto consumo
- Adecuando el dimensionamiento de carga o estudio de carga para evitar sobrecostos
- Automatizando sus procesos mediante dispositivos electrónicos inteligentes
- Realizando mantenimiento adecuado de los dispositivos y/o equipos para evitar daños de los mismos y sobrecargas.

Dentro de la automatización en una empresa, es prescindible que la calidad de energía sea la adecuada, debido a que estos equipos inteligentes por lo general son costosos. Los equipos de automatización son de igual manera, los que pueden sufrir alguna falla o daño del mismo debido a que son sensibles ante alguna perturbación que pueda estar presente en la red, esto puede ocasionar costos de producción elevadas imprevistas incluso puede llegar a ser pérdidas económicas por estos eventos.

## **1.2.Evolución de carga**

### **1.2.1. Evolución de carga y su importancia**

Durante muchos años atrás, las cargas que se conectaban a la red de distribución por lo general eran de tipo lineales, los cuales se veía reflejado en el tipo de señal que estos producían, siendo señales de tensión y corriente estables, sus cargas no eran más que para sistemas de iluminación, sistemas de calefacción e incluso pequeños motores los cuales no afectaban abruptamente a la red de distribución.

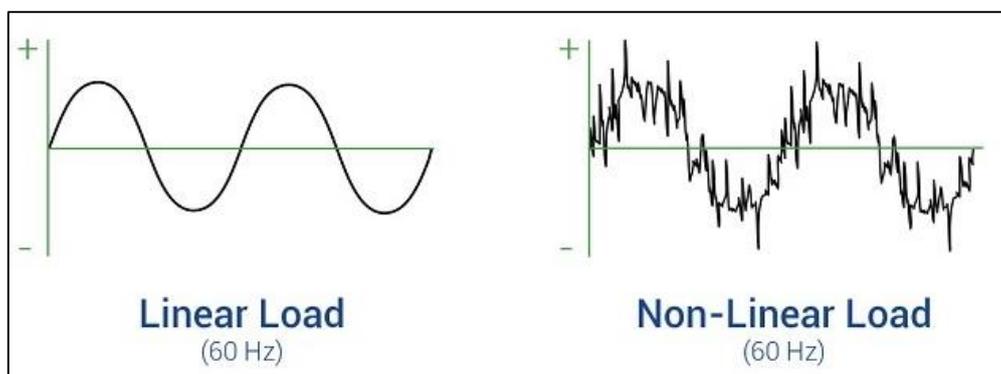
Debido a que la carga lineal predominaba en ese entonces, esto generó un criterio generalizado para todo el SEP a lo que se refiere a la calidad de energía, tanto como generación, distribución, instalación, protección e inclusive, planificación.

La gran ventaja de las cargas lineales, es que no eran sensibles a las variaciones instantáneas de tensión que ocurrían, como por ejemplo baja-tensiones y sobretensiones. Actualmente existe un incremento de población, lo que implica que la energía eléctrica de igual manera, debe incrementarse para cubrir las necesidades de todos los nuevos usuarios, con lo que ahora el inconveniente se da cuando las cargas al tener equipos de alta tecnología, estas cargas dejan de ser lineales.

Debido a esto, los criterios de planificación cambian a largo plazo, permitiendo que un SEP o una distribución eléctrica puedan adecuarse para futuras demandas de energía, dando como resultado una calidad energética que pueda permitir el progreso económico y social en todo el mundo.

### 1.2.2. Tipos de cargas

Con el pasar del tiempo, las cargas eléctricas han ido cambiando paulatinamente en los sistemas de distribución desde el tipo resistivo, inductivo o capacitivo hacia cargas que tienen comportamientos diferentes. Con la llegada de los dispositivos electrónicos, ha causado un avance muy gratificante y un desarrollo tecnológico positivo, por otro lado, con un efecto negativo, es que estos dispositivos producen armónicos en el sistema eléctrico, distorsionando la onda resultante de la corriente eléctrica.

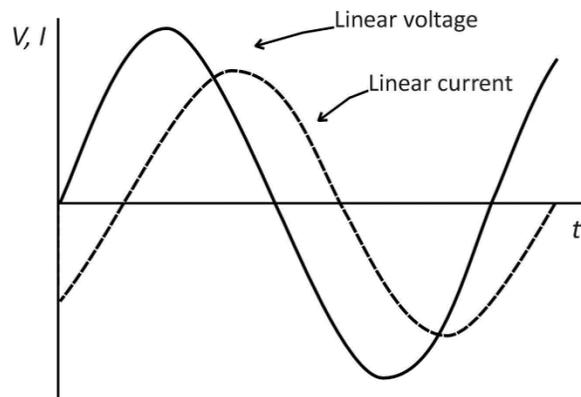


**Figura 1.1.** Tipos de Cargas.

**Fuente:** Phongchit, N. (2017). La distorsión armónica total.

### 1.2.2.1. Carga lineal

Son aquellas cargas las cuales mantienen la misma forma de onda de corriente con la forma de onda de tensión; conforman un tipo de carga que ha sido muy habitual y cuya característica fundamental es que estas cargas ocupan directamente la potencia eléctrica para realizar sus funciones. Entre los ejemplos de cargas lineales son los motores de inducción, los calefactores y las lámparas o focos incandescentes.



**Figura 1.2:** Señales de Tensión y Corriente en una Carga Lineal.

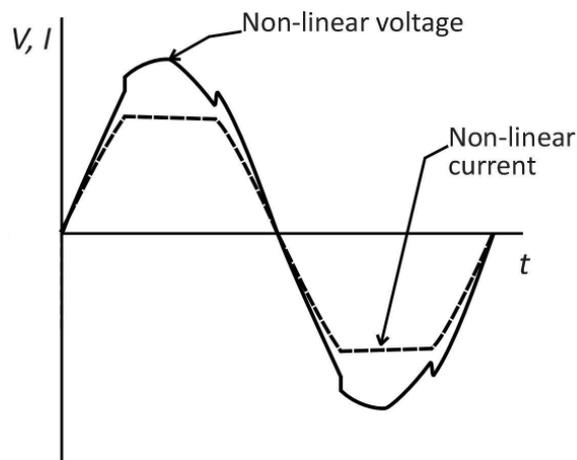
**Fuente:** McKenzie, I. (2017). Formas de onda de corriente y voltaje para una carga lineal.

### 1.2.2.2. Carga no lineal

Son aquellas cargas las cuales conserva diferente forma de onda de corriente con respecto a la forma de onda de tensión; este tipo de cargas generalmente está presente en dispositivos y/o equipos eléctricos y electrónicos con una utilidad eficiente de la energía.

Por lo general este tipo de cargas se conectan a la red previo a circuitos rectificadores que proporcionan una tensión y corriente continua a su salida, por lo que evidentemente estos circuitos no tienen la forma de onda sinusoidal, es por este motivo que las cargas no lineales no se conectan directamente a la red suministrada.

Entre los ejemplos de cargas no lineales se encuentran lámparas fluorescentes, lámparas de descarga, elementos de calefacción con control de temperatura, elementos inteligentes de automatización y control, equipos de control de velocidad de motores e inclusive computadores.

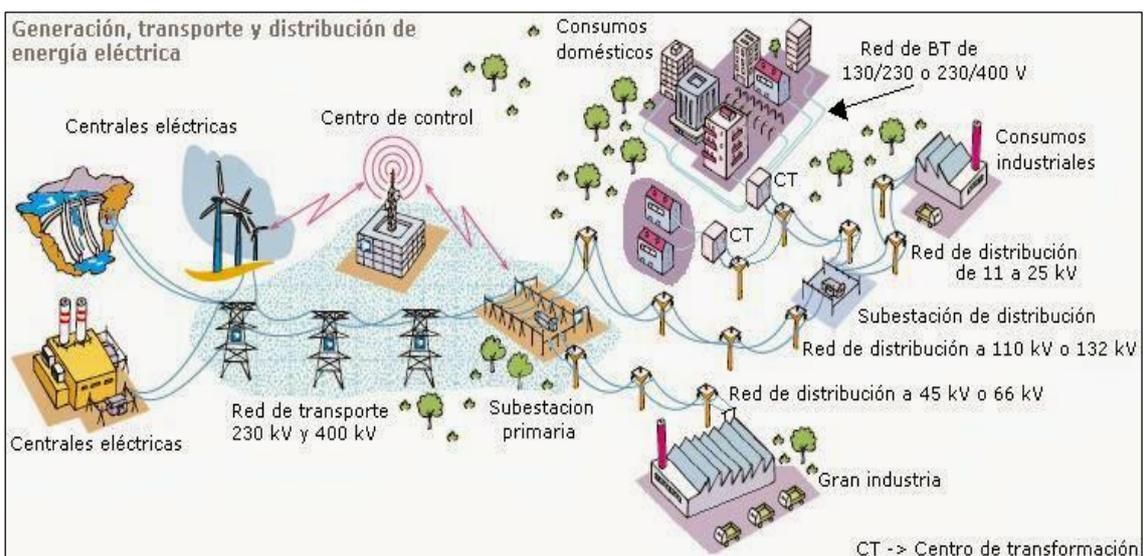


**Figura 1.3:** Señales de Tensión y Corriente en una Carga No Lineal.  
**Fuente:** McKenzie, I. (2017). Formas de onda de corriente y voltaje para una carga no lineal.

### 1.3. Distribución eléctrica

#### 1.3.1. Introducción

La distribución consiste básicamente en llevar la energía eléctrica hasta los puntos de consumo, esto se realiza distribuyendo a empresas distribuidoras las cuáles serán las que distribuyan a consumidores comerciales, industriales y residenciales; o casos especiales que se distribuirán directamente a consumidores comerciales e industriales, por ejemplo, refinerías, fundidoras, entre otros.



**Figura 1.4:** Diagrama de un Sistema Eléctrico de Potencia o SEP.  
**Fuente:** Zumba, D. (2015). Distribución de energía eléctrica.

La red de transporte o de transmisión es la encargada de abastecer la suficiente energía a la red de distribución desde las grandes centrales generadoras o de producción, y esta a su vez será la que permita que la electricidad llegue a los consumidores.

La energía eléctrica que es transportada llega a las subestaciones de distribución, desde la cual será distribuida hacia los usuarios finales mediante el medidor de luz.

Las subestaciones de distribución por otro lado, está conformado por transformadores, interruptores, seccionadores, entre otros; dispuestos a reducir los niveles de tensión que están en las líneas de transmisión a niveles de media y baja tensión que sean los adecuados para los consumidores finales.

### **1.3.2. La distribución eléctrica y su desarrollo**

Cuando se empezó la implementación eléctrica, las distribuciones eran muy cortas, debido a que, en su época, existían centrales de pequeña capacidad y suficiente potencia como para satisfacer a los usuarios a su alrededor, y, por lo tanto, no utilizaban grandes distancias de cableado.

En 1884, luego de la invención del transformador y gracias al uso de la corriente alterna, permitió que el transporte de la energía eléctrica cubra mayores distancias, alcanzando más lugares para su uso; de igual manera influyó de manera progresiva al incremento de la tensión en centrales y de esta manera, reduciendo sus cercanías y su número en los puntos de utilización.

Al mantener la misma potencia, y elevando la tensión, se reduce la corriente del circuito o SEP, permitiendo que las líneas de alta tensión utilicen conductores de calibre menor, reduciendo pérdidas eléctricas en el conductor y minimizando costos de infraestructura; por otro lado, las centrales locales generaban y distribuían electricidad en baja tensión, directamente en AC o CC, y su tendido eléctrico lógicamente tenía un alcance bastante corto.

Actualmente existen redes primarias de transporte a tensiones de 230 kV y 400 kV, estas redes atraviesan las centrales más importantes y subestaciones de las principales capitales, interconectándolas entre sí.

En las centrales de generación por lo general se produce energía de entre 5 y 13.8 kV, que posteriormente se eleva mediante centros de transformación elevadores a la tensión regulada en las líneas de transmisión, estas tensiones por lo general tienen valores estandarizados a 138, 230 y 500 kV.

Las subestaciones que reciben estos niveles de tensión de la red de transmisión, reducen el voltaje a 23, 46 y 69 kV, alimentando a otras redes secundarias encargadas de dar servicio a lugares inaccesibles por las redes primarias.

Las estaciones de transformación que reciben estos valores de tensión, reducen la tensión a valores de 23, 13.8, 7.9, 4.6 y 4.8 kV. Las redes de media tensión entonces recorren por todas las ciudades y pueblos, alimentando los centros de transformación reduciendo finalmente a baja tensión a valores de 120, 240, 380 y 480 V. Estas tensiones son las que alimentan a usuarios residenciales, comerciales e industriales.



**Figura 1.5:** Estación de distribución eléctrica y los elementos que lo conforman.  
**Fuente:** Subestación Shushufindi de 300 MVA / 230KV.

### **1.3.3. Sistema de distribución**

#### **1.3.3.1. Clasificación de las redes**

Podemos hacer una primera clasificación de las redes eléctricas según su disposición y modo de alimentación en los tres tipos siguientes.

- Red radial o en antena.

- Red en bucle o en anillo.
- Red mallada.

La red radial se caracteriza por la alimentación por uno solo de sus extremos transmitiendo la energía en forma radial a los receptores. Como ventajas resaltan su simplicidad y la facilidad que presentan para ser equipadas de protecciones selectivas. Como inconveniente su falta de garantía de servicio.

La red en bucle o en anillo se caracteriza por tener dos de sus extremos alimentados, quedando estos puntos intercalados en el anillo o bucle. Como ventaja fundamental podemos citar su seguridad de servicio y facilidad de mantenimiento, presentando el inconveniente de una mayor complejidad y sistemas de protección así mismo más complicados.

La red mallada es el resultado de entrelazar anillos y líneas radiales formando mallas. Sus ventajas radican en la seguridad de servicio, flexibilidad de alimentación y facilidad de conservación y manutención. Sus inconvenientes, la mayor complejidad, extensiva a las protecciones y el rápido aumento de las potencias de cortocircuito.

Atendiendo a la tensión, las redes se clasifican en alta y baja tensión. La baja tensión comprende hasta los 1000 voltios.

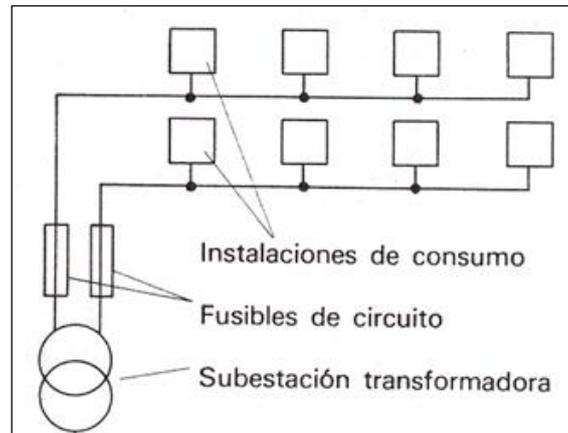
#### **1.3.3.1.1. Sistemas radiales**

Supongamos que se tiene un centro de cargas, y varias cargas que deben ser alimentadas desde este centro. Desde cada carga hasta el centro se debe encontrar un camino a través de un cable.

El cable puede ser exclusivo para cada carga o bien puede pasar por varias cargas sucesivamente.

El sistema de alimentación en el cual cada carga está unida con el centro de alimentación a través de un cable exclusivo, es característico de las instalaciones industriales en el nivel de alimentación de las cargas. Una ventaja de este sistema es que

permite el control centralizado desde el centro de alimentación, un ejemplo clásico es un centro de control de motores.



**Figura 1.6:** Red Radial.  
**Fuente:** Elaboración propia.

El sistema de alimentación en el cual un solo cable va pasando por todas las cargas sucesivamente, es característico de la distribución domiciliaria, de los circuitos de iluminación de calles. Este sistema obliga a tener los dispositivos de control de las cargas distribuidos, uno en correspondencia de cada derivación de carga, salvo que simplemente se conecten y desconecten todas las cargas juntas desde el centro de alimentación.

Ambos sistemas son de diseño intuitivo, característica muy valiosa ya que reduce la cantidad de documentación descriptiva necesaria. Una mezcla entre los dos sistemas podemos llamarla arborescente, el cable nace troncal en el centro de alimentación, y se subdivide en ramas y más ramas, llegando hasta las cargas (hojas).

El cálculo de la red es simple, el flujo de carga se puede desarrollar suponiendo pérdidas nulas, la carga que pasa por una rama cualquiera es suma de todas las cargas comprendidas entre esa rama y las hojas.

Así puede determinarse la corriente en la rama y verificar que el cable seleccionado para la rama soporta esta corriente (desde el punto de vista térmico), otra verificación de interés es determinar la caída de tensión en la rama (para lo cual se deben conocer sus parámetros resistencia y reactancia y la longitud).

Determinadas las caídas de tensión en todas las ramas, la caída de tensión total en cada camino se obtiene sumando las caídas de todas las ramas desde el punto de interés hasta el punto de alimentación.

En modo similar se pueden determinar las pérdidas en cada cable, y perfeccionar el flujo de carga teniendo en cuenta también las pérdidas.

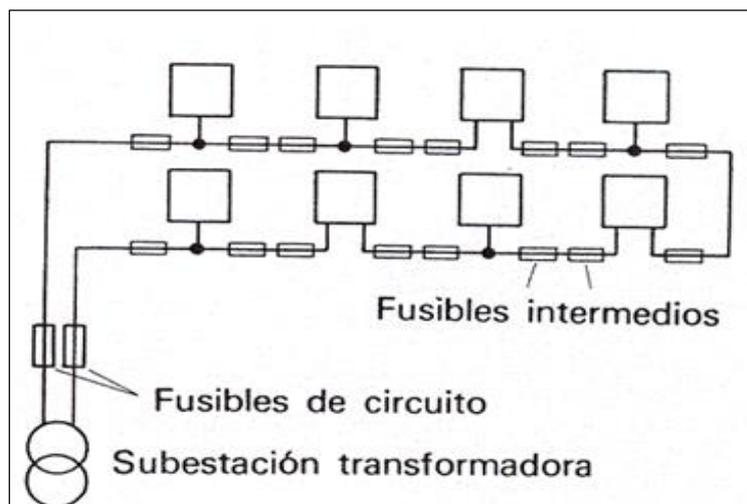
Todos los esquemas vistos presentan la particularidad de que la pérdida de un cable (de un tramo) significa la pérdida de todas las cargas que incluyen el tramo como camino de alimentación.

### 1.3.3.1.2. Anillos y mallas

Buscando soluciones a esta debilidad (desde el punto de vista de seguridad de alimentación) se plantean redes de mayor complejidad.

Los esquemas radiales se pueden duplicar, radial doble, y cada carga puede seleccionar si se alimenta desde un cable o el otro.

O bien una línea que alimenta muchas cargas puede terminar en otro centro de alimentación, alimentarse desde ambas puntas, formando un anillo.

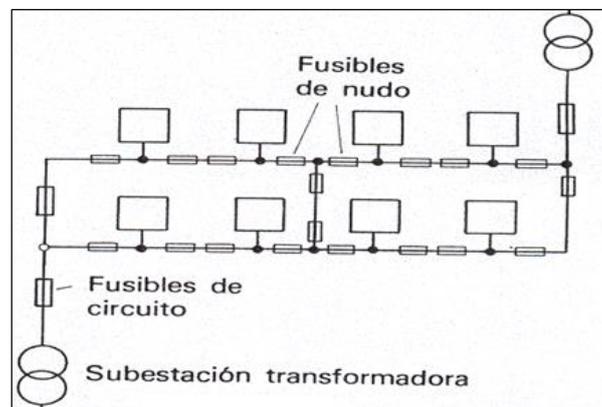


**Figura 1.7:** Red en anillo.  
**Fuente:** Elaboración propia.

Si a un sistema arborescente se le agregan más ramas entre nodos ya existentes, se forma un sistema mallado. El sistema mallado puede tener también más puntos de alimentación.

La documentación de estas redes es más compleja, ahora nada es intuitivo, es necesario que se hagan muchas aclaraciones a fin de poder calcular el funcionamiento de la red en una condición cualquiera.

Frecuentemente en el nivel de distribución el funcionamiento de las redes, aun teniendo estructura mallada es radial, es decir se abren cierta cantidad de ramas a fin de poder alimentar todas las cargas y la red queda radial. En caso de pérdida de un cable en servicio se conectan otros cables (que estaban desconectados) a fin de que nuevamente la red con un nuevo esquema radial preste servicio a todos los usuarios, se puede decir que la red mallada funciona como red radial dinámica “que cambia”.



**Figura 1.8:** Red de mallas.  
**Fuente:** Elaboración propia.

El cálculo y verificación de esta red se debe repetir para distintas configuraciones, encontrando para cada elemento las condiciones dimensionantes (críticas).

Si se desea mantener las mallas cerradas, debe considerarse que los sistemas de protecciones deberán garantizar el buen funcionamiento separando exclusivamente el tramo que en cada condición se encuentre en falla. Esta es la principal dificultad que aun cuando se plantean sistemas mallados a nivel de distribución se los hace funcionar en modo radial, para facilitar la identificación de los puntos donde ocurren las fallas.

Las redes de alta tensión (transmisión) son las que funcionan en modo mallado, a medida que se baja a tensiones menores el funcionamiento se plantea en modo radial.

## **1.4. Normas y regulaciones de calidad de energía**

### **1.4.1. Aspectos Generales**

La calidad de la energía siempre ha sido lugar de estudio para el mejoramiento y la satisfacción de los consumidores, de acuerdo a esto, instituciones y asociaciones han desarrollado estándares y métodos de mediciones y construcciones de equipos y dispositivos que permitan corroborar la calidad energética, perfeccionándolos cada vez más.

Entre algunas de estas asociaciones e instituciones se encuentran:

- IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers)
- IEC (International Electrotechnical Commission)
- CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization)
- NEMA (National Electrical Manufacturers Association)

De igual manera, la generación, transmisión y distribución del SEP tiene que ser regulado, de esta manera garantiza a todos los usuarios que la energía que recibimos sea de calidad. Dentro del país, el encargado de realizar esta función es:

- ARCONEL (Agencia de Regulación y Control de Electricidad)

El ARCONEL es el ente regulador y controlador, a través del cual el Estado ecuatoriano delega las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, a empresas concesionarias.

A continuación, se presenta una breve descripción de las normas y sus características fundamentales.

- IEEE Standard
  - o C57.138-2016 - IEEE Recommended Practice for Routine Impulse Tests for Distribution Transformers

- C62.48-2005 - IEEE Guide on Interactions Between Power System Disturbances and Surge Protective Devices
- 1676-2010 - IEEE Guide for Control Architecture for High Power Electronics (1 MW and Greater) Used in Electric Power Transmission and Distribution Systems
- C57.13.2-1991 - IEEE Standard Conformance Test Procedures for Instrument Transformers
- 1564-2014 - IEEE Guide for Voltage Sag Indices
- 1799-2012 - IEEE Recommended Practice for Quality Control Testing of External Discharges on Stator Coils, Bars, and Windings
- 1250-2011 - IEEE Guide for Identifying and Improving Voltage Quality in Power Systems
- 1159-2009 - IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality
  - Esta norma fue desarrollada y diseñada para establecer una guía para la medición de CEL, con el fin de estandarizar los algoritmos básicos y datos aplicados por los fabricantes de equipos de medición; objetivo que no fue alcanzado ya que los fabricantes proponen sus propios diseños y productos. Aunque esta norma logró establecer técnicas de uso de los instrumentos, así como también interpretación de los resultados obtenidos por medio de la medición de CEL con estos instrumentos. Para esta interpretación de datos y buenas técnicas de medición se describen ciertas condiciones y pasos para tener presentes antes y durante las mediciones y monitoreo.
    - Determinar objetivos de la medición
    - Localización de los puntos a monitorear
    - Reconocimiento del sistema eléctrico a medir (Diagramas unifilares y parámetros eléctricos del sistema).
    - Detección de las fuentes generadoras de distorsiones.
    - Recopilar toda la información relevante del sistema eléctrico.
    - Determinar límites y umbrales de medición.

- Tiempo de la medición.
- Interpretación de datos

Una vez el instrumento de medición esté conectado en el circuito, este debe estar programado con ciertos umbrales o límites de medición dependiendo de los objetivos planteados y perturbaciones a medir. En la tabla 1 se resumen los límites dependiendo del fenómeno a evaluar:

**Tabla 1.1:** Ajustes límites para cargas de 120 V.

Perturbación	Límites	Valor sugerido	Observaciones
Desequilibrio de tensión	Tensión de fase	2%	Desequilibrio de tensión <3%
Variación de frecuencia		60 Hz	
Armónico		5% THD	Limite según IEEE 519
Transitorios		200 V	Aprox. 2 veces la tensión nominal fase - neutro
Sags		108 Vrms	Menos del 10% de la tensión nominal
Swell		126 Vrms	Más del 5% de la tensión nominal
Ruido		1.5 V	1% de tensión fase - neutro
Swell	Tensión neutro-tierra	3 Vrms	
Transitorio		20 V pico	10-20 % de la tensión fase-neutro
Ruido		1.5 Vrms	Susceptibilidad del equipo
Corriente fase-neutro	Corriente	Carga/nom	
Corriente de tierra		0.5 A	Límite de seguridad
Armónicos		20% (pequeños clientes) 5% (grandes clientes)	Limite según IEEE 519

**Fuente:** Elaboración propia

- 1159.3-2003 - IEEE Recommended Practice for the Transfer of Power Quality Data
- IEC Standard
  - IEC 61000-4-30 Técnicas de ensayo y medición - Métodos de medición de calidad de potencia

- Esta parte de la norma IEC 61000-4 define los métodos para la medición e interpretación de resultados de calidad de la energía sistemas eléctricos. Se describen para cada tipo de parámetro, distorsión o perturbación para obtener resultados fiables y exactos del instrumento utilizado. Los parámetros de calidad de la energía considerados en esta norma son la frecuencia, magnitud de la tensión, flicker, huecos de tensión, interrupciones de voltaje, voltajes transitorios, desequilibrio de tensión, armónicos e inter-armónicos actuales, cambios rápidos de tensión. Dependiendo de la finalidad de la medida, la totalidad o algunos de estos parámetros de esta lista se puede medir.

Esta norma también arroja intervalos de variación de tiempo en los monitoreo y recopilación de datos para cada parámetro de CEL, así garantizar medidas más precisas. Las dos clases de mediciones son llamadas en este estándar como Medidas Clase A y Medidas Clase B, sus características y precisiones son descritas en las tablas 1.2 y 1.3.

- Medición Clase A: Esta clase de medición se utiliza cuando son necesarias medidas precisas, por ejemplo, para aplicaciones contractuales, verificar el cumplimiento de las normas, la resolución de conflictos, etc. Para la medidas de esta clase se deben utilizar medidores estipulados en la norma IEC 61000-4-30 de gran precisión para determinar valores referencia de la norma NTC 5000, puesto que al realizar las mediciones con analizadores de red que cumplan con los requerimiento de la IEC, estas no saldrán de la incertidumbre especificada en la norma, es decir cualquier medida de un parámetro llevado a cabo con dos instrumentos diferentes que cumplan los requisitos de la Clase A, al medir las mismas señales, se producirán resultados similares o dentro de la incertidumbre especificada. Para asegurar que se generen resultados acertados se requiere un equipo con un ancho de banda característico y una frecuencia de muestreo suficiente para la incertidumbre especificada de cada parámetro.

La norma define los siguientes intervalos de tiempo para la medición de parámetros (tensión de alimentación, armónica, inter-armónico y desequilibrio): un tiempo de 10

ciclos para un sistema eléctrico de 50 Hz y un intervalo de tiempo de 12 ciclos para uno 60 Hz.

Nota: La incertidumbre de esta medida se incluye en el protocolo de medida incertidumbre de cada parámetro.

Intervalos de tiempo de medición se agregan más de 3 intervalos de tiempo diferentes. Los intervalos de tiempo de agregación son:

- 3-s intervalo (150 ciclos para 50 Hz nominal o 180 ciclos para 60 Hz nominal),
- Intervalo de 10 min.
- Intervalo de 2 h.

**Tabla 1.2:** Rango de parámetros de calidad de energía eléctrica (medidas clase A).

Parámetros de CEL	Rango de variación
Frecuencia	51-69 Hz
Voltaje (estado estable)	0 - 200% voltaje de entrada
Flicker	0 – 20 parpadeos
Desbalances	0 – 5 %
Armónicos (THD)	Valores IEC 61000 – 2 -4 clase 3
Inter-armónicos	Valores IEC 61000 – 2 -4 clase 3
Señales de tensión	0 – 9% de la tensión de entrada
Transitorios de tensión	6 Kv pico
Transitorios rápidos	4 kv pico

**Fuente:** Elaboración propia.

- **Medición Clase B:** Esta clase de medición puede ser utilizada para estudios estadísticos, aplicaciones de solución de problemas y otras aplicaciones donde no se requiera un bajo valor incertidumbre. Para estas mediciones se debe tener en cuenta que cada factor o parámetro a medir tiene diferentes clases de potencia. Por esto cada fabricante de analizador de red eléctrica deberá incluir los rangos de incertidumbre que puedan influir en las mediciones.

Para recordar; un instrumento de medición puede tener diferentes clases de potencia para los diferentes parámetros y el fabricante del instrumento deberá declarar las cantidades de influencia que no figuren expresamente y que puede degradar el rendimiento del instrumento. Este método también es referenciado en la IEC 61000-4-30.

**Tabla 1.3:** Rango de parámetros de calidad de energía eléctrica (medidas clase B).

Parámetros de CEL	Rango de variación
Frecuencia	51-69 Hz
Voltaje (estado estable)	0 - 150% voltaje de entrada
Desbalances	0 – 5 %
Armónicos (THD)	Valores IEC 61000 – 2 -4 clase 3
Interarmónicos	Valores IEC 61000 – 2 -4 clase 3
Señales de tensión	0 – 9% de la tensión de entrada

**Fuente:** Elaboración propia.

Los errores máximos permitidos para cada clase de medición se muestran en la tabla 4; estos valores se refieren a las señales de una sola frecuencia y en estado estacionario, en el rango de frecuencia de operación, aplicada al instrumento, en condiciones nominales de funcionamiento, a especificar por el fabricante (rango de temperatura, rango de humedad, tensión de alimentación del instrumento, etc.).  $I_m$ ,  $U_m$  y  $P_m$  son parámetros medidos;  $I_{nom}$  y  $U_{nom}$  son los valores nominales del instrumento de medición.

**Tabla 1.4:** Requisitos de exactitud para medición de voltaje y corriente

Clase	Medición	Condición	Máximo error
A	Tensión	$U_m \geq 1\% U_{Nom}$	5% $U_m$
		$U_m \leq 1\% U_{nom}$	0.05% $U_m$
	Corriente	$I_m \geq 3\% I_{Nom}$	+/- 5% $I_m$
		$I_m \leq 3\% I_{Nom}$	+/- 0.15% $I_m$
	Potencia	$P_m < 150\text{ W}$	+/- 1.5 W
		$P_m > 150\text{ W}$	+/- 1% $P_m$
B	Tensión	$U_m \geq 3\% U_{Nom}$	5% $U_m$
		$U_m < 3\% U_{nom}$	0.15% $U_m$
	corriente	$I_m \geq 10\% I_{Nom}$	+/- 5% $I_m$
		$I_m < 10\% I_{Nom}$	+/- 0.5% $I_m$

**Fuente:** Elaboración propia.

- IEC 61000-4-7: Guía general de mediciones e instrumentación armónicas e inter-armónico, para los sistemas de suministro de energía y los equipos conectados a los mismos.
  - Esta norma es aplicable a los instrumentos que miden componentes espectrales en el rango de frecuencia hasta 9 kHz, que se superpone a la fundamental de las potencias del sistema eléctrico. También esta norma establece una diferenciación entre armónicos, inter-armónicos y componentes entre 2 kHz y 9 kHz,

donde además se dan recomendaciones para todos los tipos de instrumentos de medición.

Además, este estándar define los instrumentos de medición indicados para la medición de los corrientes y tensiones armónicas en los sistemas de suministro reales. Los detalles específicos para la medición de los armónicos de tensión en los sistemas de distribución de energía se tratan con IEC 61000-4-30 anteriormente mencionada.

- IEC 61000-4-15: Flickermeter (medición de flickers) – Especificaciones de diseño y funciones.
  - La corriente variable dibujada por muchas redes aparatos eléctricos conectados puede causar la tensión de alimentación eléctrica fluctúe. Esta fluctuación de voltaje puede a su vez conducir a un parpadeo de las luces, que pueden causar irritación y problemas médicos. Como tal, los aparatos deben ser probados por la cantidad de parpadeo que provocan antes de que puedan aprobarse para el uso. Los requisitos para esta prueba y límites en los niveles de parpadeo se dan en la norma internacional IEC 61000-3-3.

Las cargas no lineales conectadas a una red eléctrica también pueden generar fluctuaciones en la tensión, donde se el parpadeo o Flickers en la iluminación son consecuencia de estos problemas de calidad de energía eléctrica. La norma IEC 61000-4-15 describe las especificaciones que deben cumplir las mediciones y los equipos de medición para realizar un monitoreo y análisis adecuado.

Un medidor de flickers se debe ajustar al diseño estándar IEC debe informar y medir el Pst (la severidad del parpadeo evaluado durante un corto período de tiempo (normalmente 10 minutos) con una precisión de entre + 5% cuando se somete a dos tipos básicos de forma de onda, 1. Onda cuadrada y 2. Señales de frecuencia de la red de onda sinusoidal modulada. Las profundidades y frecuencias de las ondas dependen de este tipo de modulación.

- NEMA Standard

- ANSI C82.77-10-2014 – American National Standard for Lighting Equipment—Harmonic Emission Limits—Related Power Quality Requirements.
  - Species harmonic limits, their methods of measurement, and power factor (PF) for lighting equipment. This standard covers all types of lighting equipment that is used for general illumination typically found in residential, commercial, and industrial applications.

## 1.5. Equipos de medición de redes de potencia

### 1.5.1. RTU (Unidad Terminal Remota/Remote Terminal Unity)

Una RTU es un dispositivo que permite obtener señales independientes de cualquier proceso y envía esta información a un sitio a distancia o remoto para procesarlas. Generalmente el lugar de procesamiento es una sala de control SCADA el cuál mediante interfaz gráfica permite visualizar las variables obtenidas por la RTU.

Las RTU están basados en microprocesadores, las cuales funcionan con PLCs, dando como complemento a las RTU en las comunicaciones.

En las RTU se han desarrollado aditamentos como medidores de energía, relés de protecciones, reguladores automáticos entre otros.



**Figura 1.9:** Unidad Terminal Remota.

**Fuente:** Termoesmeraldas, C. (2017). Provisión, montaje e implementación del sistema scada eléctrico para la transmisión en tiempo real al CENACE en las centrales manta ii y tg.

### 1.5.2. Unidad de medida Fasorial

Las unidades PMU dependen de una señal de tiempo GPS para realizar un marcado de tiempo sumamente preciso de la información del sistema de distribución de energía. Un receptor de satélite GPS, proporciona un impulso de sincronización preciso, en correlación con las entradas de tensión e intensidad muestreadas; en general se trata de las tensiones trifásicas en una subestación y de las intensidades de las líneas, transformadores y cargas que finalizan en la subestación. A partir de estas muestras de datos, se calculan las tensiones e intensidades de secuencia positiva y se marcan en el tiempo, asignándoles permanentemente el microsegundo exacto en que se ha hecho la medición de los fasores. El dispositivo prepara un mensaje con la marca de tiempo y los datos del fasor en un formato definido en la norma IEEE 1344, de modo que puede transmitirse a un lugar distante a través de cualquier enlace de comunicaciones que se encuentre disponible. Los datos de secuencia positiva de los fasores de todas las subestaciones provistas de dichos dispositivos se centralizan en un lugar apropiado utilizando un concentrador de datos o se intercambian entre unidades locales para realizar las aplicaciones de protección/control. La recopilación y comprobación de estas mediciones proporciona una base adecuada para crear nuevas y potentes técnicas de supervisión, protección y control de las redes de distribución de energía.



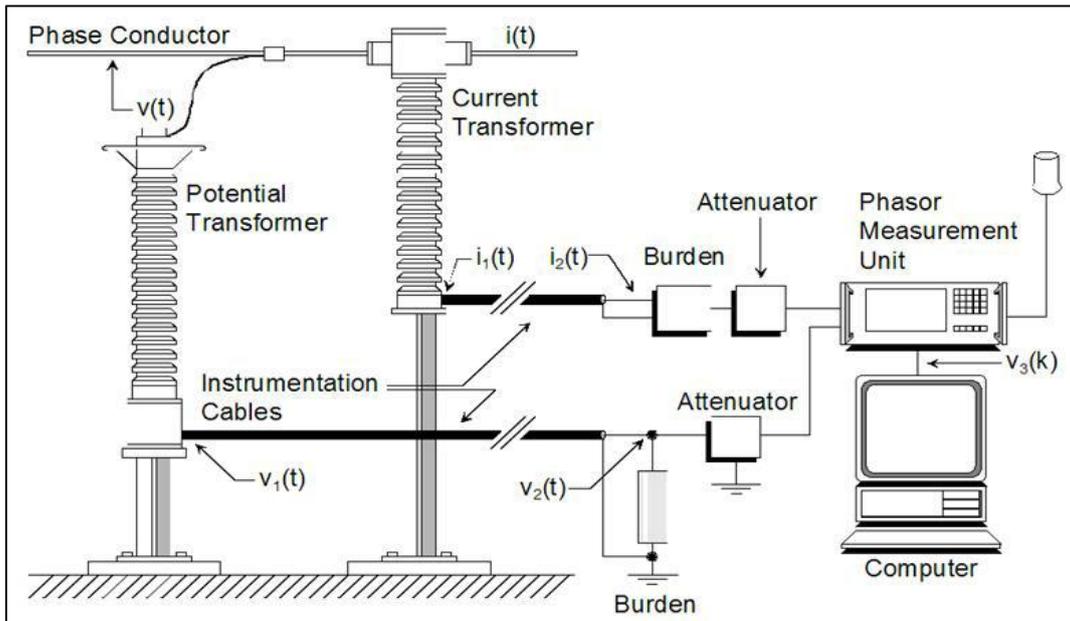
**Figura 1.10:** PMU (Unidad de Medida Fasorial/Phasor Measurement Unit).  
**Fuente:** Macrodino, I. (2010). Unidad de medición de fasores modelo 1690.

#### 1.5.2.1. Aplicaciones en los sistemas de distribución de energía

La tecnología de medición sincronizada de fasores es relativamente nueva, de modo que varios grupos de investigación de todo el mundo están desarrollando activamente

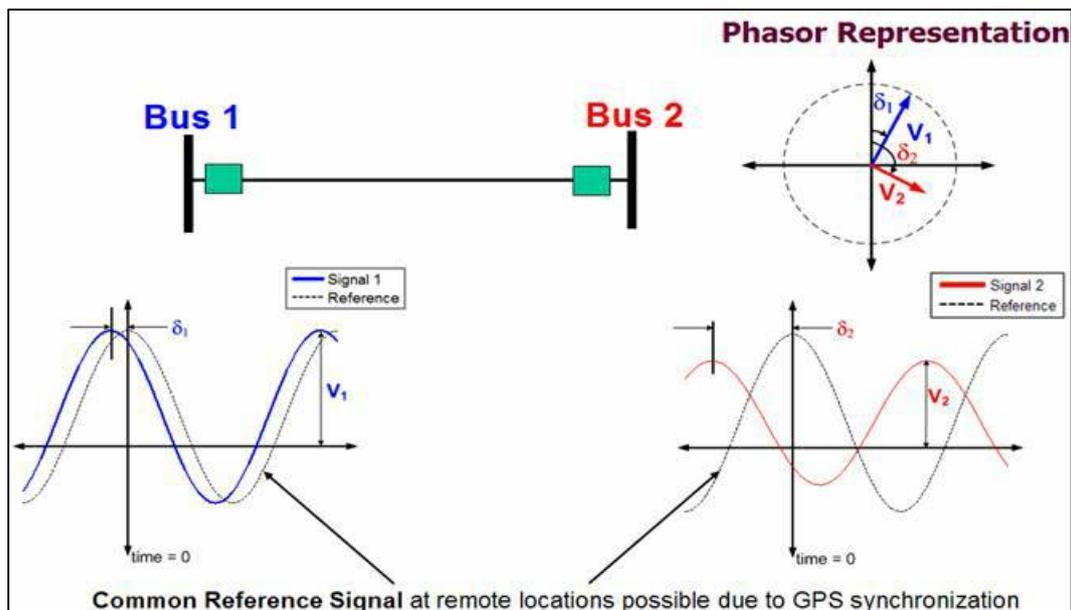
aplicaciones de esta tecnología. Muchas de estas aplicaciones se pueden agrupar convenientemente de la siguiente manera:

- Supervisión de sistemas de distribución de energía
- Protección avanzada de redes
- Esquemas de control avanzado



**Figura 1. 11:** Conexión del PMU Dentro de la Red.

**Fuente:** Spears, J. (2013). Blackout 2003: Cómo Ontario se oscureció.



**Figura 1. 12:** Representación Fasorial de un PMU.

**Fuente:** Spears, J. (2013). Blackout 2003: Cómo Ontario se oscureció.

### **1.5.2.2.Perspectivas de las unidades PMU**

Las unidades PMU facilitan la búsqueda de soluciones innovadoras a los problemas tradicionales de las compañías eléctricas y ofrecen a los ingenieros de los sistemas de distribución de energía numerosas ventajas potenciales, entre las que mencionaremos las siguientes:

- Posibilidad de hacer estimaciones precisas sobre el estado del sistema a intervalos frecuentes, lo que permite controlar los fenómenos dinámicos desde un lugar central y tomar las medidas de control apropiadas.
- Gran mejora de los análisis posteriores a las perturbaciones, ya que la sincronización GPS permite obtener instantáneas precisas de los estados del sistema.
- Posibilidad de implementar un sistema avanzado de protección a partir de las mediciones sincronizadas de fasores, con opciones para mejorar la respuesta global del sistema a los acontecimientos catastróficos.
- Posibilidad de utilizar un sistema avanzado de control con realimentación a distancia, mejorando así el rendimiento del controlador.

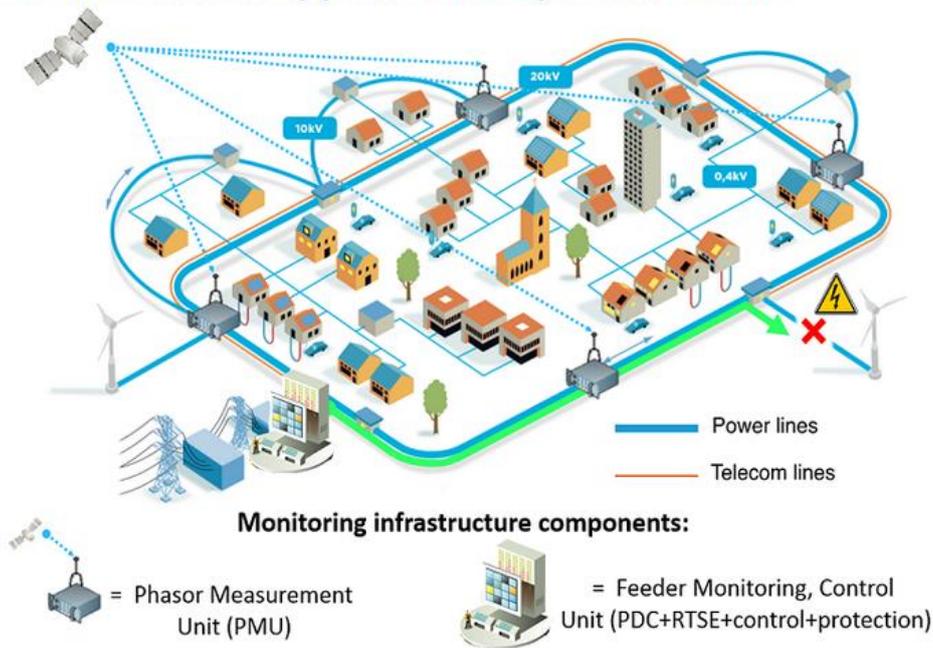
### **1.5.3. WAMS (Wide Area Monitoring System/Sistema de Monitoreo de Área Extendida)**

Consiste en una tecnología de medición y monitoreo avanzados, herramientas informativas e infraestructura operacional que facilita la comprensión y la gestión del comportamiento cada vez más compleja exhibida por los sistemas de energía de gran tamaño.

Los WAMS implica el uso y la combinación de los diferentes métodos y equipos de medición, como los son los PMU, sistemas de comunicaciones y software que permiten la visualización de todo el SEP, su comportamiento y la toma de medición precisa en tiempo real.

Estas mediciones son sincronizadas con la señal de tiempo de un Sistema Global de Posicionamiento o GPS y de esta manera, la información se riga en el orden de los milisegundos; de esta manera, se proporciona a los operarios, una planificación y análisis post operativo, mejoramiento de las herramientas de supervisión y análisis de la calidad de energía en un SEP.

## A PMU-based approach to operate ADNs



**Figura 1.13:** Sistema de Monitoreo de un SEP.

**Fuente:** Bontius, H. (2017). Creación de la red inteligente - Monitoreo y control seguros de redes eléctricas a través de Internet.

### 1.5.3.1. Componentes de un WAMS

Como principales componentes de un WAMS tenemos:

- Unidad de medición fasorial (PMU)
  - o Las PMU (Phasor Measurement Unit) son dispositivos que permiten estimar sincrofasores (fasores que tienen como referencia angular a una onda coseno de frecuencia nominal, sincronizada con el tiempo UTC - Universal Time Coordinated) de las ondas sinusoidales de corriente y voltaje AC, en diferentes nodos de un SEP.

Para calcular un sincrofasor la PMU utiliza un algoritmo de estimación fasorial. Estos algoritmos utilizan un número  $N$  de muestras en el tiempo para efectuar la estimación del fasor. El algoritmo más comúnmente utilizado es la transformada discreta de Fourier [2]. La alta precisión, velocidad de respuesta y sincronización de tiempo hacen de las PMU equipos apropiados para el monitoreo global en estado estable y dinámico, así como para aplicaciones en protección y control, como parte básica de un sistema de monitorio de área extendida.

- Concentrador de datos de fasores (PDC)
  - o La función del PDC (Phasor Data Concentrator) es recibir y almacenar la información de los datos medidos por las PMU y dependiendo de la complejidad del sistema de otros PDC. En resumen, las funciones que realiza un PDC son:
    - Organizar los datos fasoriales de acuerdo a la estampa de tiempo, concentrando todas las medidas de la red de PMU.
    - Enviar información a los históricos o hacia otros PDC.
    - Registrar las pérdidas de conexión y de recepción de información.
    - Registrar los errores de información e insertar banderas que indican la calidad de los datos.

Los PDC de acuerdo a su utilización y ubicación pueden ser locales, regionales y centrales o Súper PDC, dependiendo de la arquitectura utilizada. Y pueden ser de hardware o de software.

Para el caso del CENACE los PDC utilizados son de software y están instalados en el mismo servidor en donde se encuentran las aplicaciones WAMS. Estos PDC son del tipo Central o Super PDC ya que concentran la información de todas las PMU instaladas en el SNI.

- Estándar IEEE C37.118
  - o Este estándar se aplica a las mediciones sincrofasoriales utilizadas por los sistemas WAMS en condiciones normales de operación.

## **CAPÍTULO II**

### **2. Marco metodológico**

#### **2.1. Metodología**

Hace referencia a la lógica adoptada para hacer un trabajo de investigación y se entiende como la explicación coherente de un método a seguir. Aquí se señala cual es el procedimiento a seguir, en otras palabras, el planteamiento del problema, como razonarlo y como abordarlo mediante los diferentes métodos existentes; inductivo, deductivo, análisis síntesis, etc.

##### **2.1.1. Método**

El término “Método” se deriva del griego “meta” que significa “a lo largo” y “odos” que significa camino (Barrantes 1999; 48). El método es un conjunto de operaciones para ordenar las actividades.

En el presente trabajo de investigación utilizaremos el método de medición, combinado con el método analítico, pues se realizará la medición de los diferentes parámetros que determinan las formas de onda de corriente y voltaje como son; voltaje, corriente, frecuencia, etc., para en base a estas variables determinar las diferentes perturbaciones que podrían existir. Una vez obtenidos estos datos los mismos serán analizados para verificar que estén dentro de los rangos que las normas exigen para garantizar una buena calidad de energía.

##### **2.1.1.1. Métodos empíricos**

###### **2.1.1.1.1. Método de observación**

Es la percepción dirigida a la obtención de información sobre objetos y fenómenos de la realidad.

Se utilizaron diferentes medios con la finalidad de conocer de primera fuente la realidad que presenta la organización en estudio. La técnica utilizada fue la observación directa, en el edificio de control de calidad y el registro de mediciones. En primer lugar, se

realizó el levantamiento preliminar utilizando la operacionalización de las variables. El mismo está estrechamente relacionado con las dimensiones y los indicadores de las variables en estudio y los objetivos planteados.

En el Laboratorio se encuentran las siguientes áreas

- Laboratorio De Hidrocarburos
- Laboratorio De Aguas
- Área De Análisis Instrumental
- Área Octanómetro
- Área De Balanzas
- Oficina De Coordinación
- Oficina De Supervisión
- Cafetería
- Central De Aire Acondicionado
- Bodega
- Baños

En cada una de estas áreas se encuentran equipos que funcionan con tensiones de 110 V y 220 V.

#### **2.1.1.1.2. Método de medición**

Es la observación cuantitativa de las variables en análisis. En nuestro caso utilizaremos el método de medición para obtener los valores de parámetros que influyen directamente en la calidad de energía como son;

Los datos serán obtenidos mediante el “Analizador Trifásico de Energía y Calidad de la Energía Eléctrica Fluke 434-II” el mismo que puede ser programado para tomar datos de forma continua durante un periodo de tiempo haciendo una toma de datos cada determinado tiempo según sea el requerimiento. Este dispositivo tiene una capacidad de almacenamiento de 4 GB la cual se llenará en un mayor o menor tiempo dependiendo de las variables que se pretendan medir.

## **2.1.1.2.Métodos teóricos**

### **2.1.1.2.1. Metodología de modelación**

Es la reproducción artificial o natural de un objeto para el estudio de sus particularidades. En nuestro caso se realizará el modelado del sistema de distribución eléctrica de la Refinería Shushufindi a fin de poder identificar mediante un programa computación posibles puntos calientes y elementos de la red con posibles sobrecargas, además de poder simular diferentes escenarios y detectar posibles fallas del sistema. Adicional a esto la simulación permitirá contrastar la información obtenida mediante la medición, para comprobar la veracidad de los resultados.

La modelación del sistema se realizará en el programa “Power World Simulator”, es un programa que analiza flujos de cargas, capaz de resolver sistemas de hasta 60.000 nudos. Permite introducir datos económicos en la solución, por lo que evalúa, no sólo los aspectos técnicos del sistema, sino también su importancia económica. La principal característica del Power World es que muestra el flujo de potencia en el sistema de forma animada, con flechas coloreadas en las líneas de transporte, cargas y generadores cuyo movimiento, tamaño y dirección es proporcional a la magnitud y dirección del flujo de cargas. Además, permite acceder a los parámetros del modelo, funciones y herramientas de manera muy sencilla, a través de una interface gráfica de usuario (GUI).

### **2.1.1.2.2. Método analítico**

Consiste en la separación mental o material del objeto de estudio en sus partes integrales para descubrir los elementos esenciales que lo conforman y sus características más importantes.

Una vez tomadas las mediciones se realizará un análisis minucioso de las variables y sus valores para contrastar con los resultados obtenidos de las simulaciones y verificar si las mediciones están dentro de los rangos que establece la norma para garantizar una buena calidad de energía.

### **2.1.2. Modalidad de la investigación**

El presente estudio se enmarcó en la modalidad de Proyecto Factible ya que es una investigación que consiste en la propuesta de un Plan de mejoramiento del suministro eléctrico en el laboratorio de control de calidad de la refinería Shushufindi.

Pérez ob. cit. (2005), explica que el Proyecto Factible es un diseño metodológico, que viene ocurriendo debido a las necesidades de las instituciones, empresas que contemplan en sus diseños curriculares las especialidades de mercadeo, administración financiera, seguro, informática, electricidad, dibujo técnico, electrónica, entre otros” (p.24).

Motivo por el cual resultaba evidente la necesidad de elaboración de proyectos de esta especialidad, en este caso la refinería Shushufindi tiene la necesidad de verificar que los parámetros y variables que determinan la forma de onda de voltaje y corriente estén dentro de los rangos adecuados para garantizar una buena calidad de energía.

La presente investigación se apoya en un diseño de campo y además documental. Al respecto Tamayo y Tamayo (2008), define que el diseño de campo “es la que se realiza con la presencia del investigador o científico en el lugar de ocurrencia del fenómeno” (p. 83). Así mismo López (2002) plantea que la investigación de campo implica formular un programa de acción que involucra a los propósitos del trabajo emprendido y los elementos necesarios para su logro (p.210).

Por lo tanto, es indispensable mejorar el sistema eléctrico del edificio de Control de Calidad, proporcionando parámetros eléctricos adecuados para el correcto funcionamiento de los equipos, facilitando condiciones seguras para la manipulación y operación de los distintos equipos, eliminando riesgos de accidentes eléctricos.

Realizar todas las medidas correspondientes en el edificio del laboratorio de control de calidad de la refinería Shushufindi, así como establecer el conjunto más amplio de indicadores de calidad para el estudio a realizar, de igual manera tener personal preparadas o dedicadas a enfrentar a estos tipos de problemáticas planteadas.

Considerando el amplio espectro de equipos del edificio del laboratorio de control de calidad de la refinería Shushufindi, se utilizó como población la totalidad de los equipos y acometidas que se encuentran allí mismo.

Una vez definidas conceptualmente las variables se procedió a operacionalizarlas. Esto consiste en descomponerlas de contenidos generales a enunciados más precisos, con la finalidad de poderlas medir. Este proceso se denomina operacionalización de la variable, es decir, hacer manejables las variables, llevarlas de lo teórico a lo real empírico.

Para verificar que la energía ingresada al laboratorio sea la adecuada, primero partimos de un estudio de carga, de esta manera podremos comprobar que todos los parámetros como, por ejemplo, las características del transformador, se encuentren correctamente dimensionados.

Dichos cálculos serán anexados al final del presente documento.

### **2.1.3. Definición de investigación**

#### **2.1.3.1. Estudio exploratorio**

Su objetivo es estudiar un tema u objeto que no ha sido abordado antes o que ha sido poco estudiado, pone al investigador en contacto con la realidad y lo relaciona con el objeto de estudio de forma directa. Esta investigación será de tipo exploratorio ya que el investigador va a realizar las mediciones entrando en contacto en forma directa con los elementos tangibles y reales de la red de distribución la misma que no ha sido objeto de otro estudio similar.

#### **2.1.3.2. Estudio descriptivo**

Describe las propiedades importantes del objeto de estudio, en esta investigación se hará una descripción detallada de cada uno de los elementos que conforman el laboratorio de control de calidad de la Refinería Shushufindi para su posterior ordenamiento de datos y análisis.

### **2.1.3.3. Estudio correlacional**

Mide el grado de relación que existe entre dos o más variables. En el presente trabajo se relacionan las variables independientes como son los parámetros que determinan la calidad de la energía y la variable dependiente que es la energía entregada al laboratorio.

### **2.1.3.4. Estudio explicativo**

Trata de explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se da el mismo, para comprobar experimentalmente una hipótesis. El trabajo de investigación trata de explicar que parámetros son los más importantes para garantizar una buena calidad de energía y mediante estos parámetros demostrar que tan buena es la calidad de energía que se está entregando al laboratorio de control de calidad de la Refinería Shushufindi.

### **2.1.4. Metodología de medición de parámetros de calidad de energía**

El analizador Fluke 434-II se ubicara en los tableros de distribución de baja tensión del laboratorio de control de calidad de la Refinería Shushufindi, el mismo que será programado para tomar datos en intervalos de 1 segundo y se escogerá como parámetros de medición el voltaje y corriente nominal, voltaje y corriente pico, voltaje y corriente de medio ciclo, factor de cresta, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, THD de voltaje y corriente, frecuencia , entre otros para luego determinar si estos parámetros están dentro de los rangos especificados que garanticen una energía de buena calidad.

#### **2.1.4.1. Medición de la energía del sistema eléctrico de PetroIndustrial**

Para la comprobación de la calidad de energía que se establece en el Laboratorio de Control de Calidad de la Refinería Shushufindi, se hará el uso de los medidores existentes en el mismo, así como también los sistemas de control SCADA y/o WAMS.

Las mediciones que se deben realizar para nuestro caso son:

- Tensiones
- Ángulo de desfase de la Corriente
- Factor de Potencia

De la figura 2.1, podemos apreciar que los valores obtenidos del medidor son los siguientes respectivamente:

- Voltaje medio: 4,132 Kv
- Corriente media: 104,9 A
- Potencia Activa: 645,5 kW



**Figura 2.1:** Medición Real de Tensión, Corriente Media y Potencia Activa.  
**Fuente:** Elaboración propia en Laboratorio de Control de Calidad de la Refinería Shushufindi (2018).

De la figura 2.2, los valores obtenidos de la medición son:

- Factor de Potencia: 85
- Frecuencia: 60 Hz



**Figura 2.2:** Medición Real de Factor de Potencia, Frecuencia y Corriente.  
**Fuente:** Elaboración propia en Laboratorio de Control de Calidad de la Refinería Shushufindi (2018).

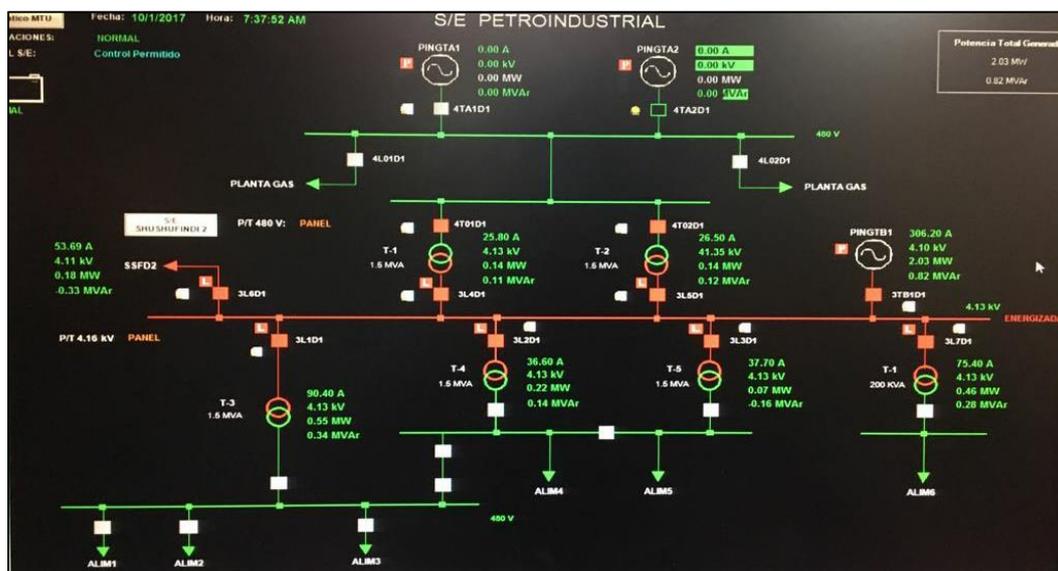
En la figura 2.3 podemos apreciar los valores de:

- Potencia Aparente: 751.2 KVA
- Potencia Reactiva: 382.4 KVAR



**Figura 2.3:** Medición Real de Potencias Aparente y Reactiva.  
**Fuente:** Elaboración propia en Laboratorio de Control de Calidad de la Refinería Shushufindi (2018).

En la figura 2.4 se muestra la parte de control del Sistema Eléctrico de la Refinería Shushufindi, con sus respectivos indicadores como son potencias, tensiones y la operación de los elementos dentro del sistema.



**Figura 2.4:** Sistema de Control de Medición del Sistema Eléctrico de la Refinería Shushufindi.  
**Fuente:** Centro de control de Calidad Petroindustrial (2018).

## 2.1.5. Metodología de modelación del sistema de distribución

### 2.1.5.1. Toma de datos de equipos y elementos del sistema de distribución

Se realizará el levantamiento de todos los equipos y elementos que conforman el sistema de distribución del laboratorio de control de calidad, considerando voltajes y corriente de placa de cada equipo.

Los datos obtenidos se organizarán en tablas que determinen el número de elementos del mismo tipo los datos de placa de cada equipo y la carga total en el caso hipotético que todos estén conectados a la vez.

### 2.1.5.2. Modelación del sistema de distribución

Con los datos obtenidos durante el levantamiento de los equipos y dispositivos se procede a diseñar el sistema en el programa Power World Simulator versión 19, mediante los siguientes pasos.

Abrimos el software Power World Simulator versión 19.

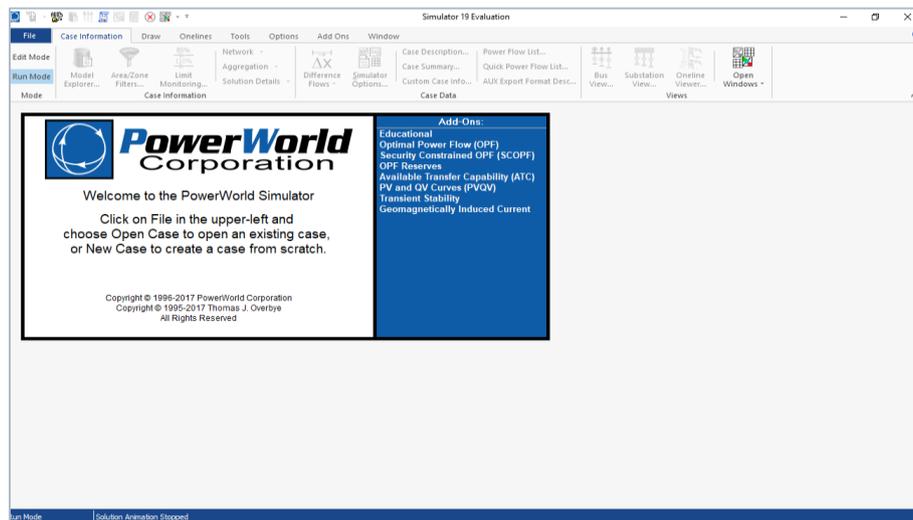


Figura 2.5: Software Power World Simulator 19.  
Fuente: Elaboración propia en PowerWorld.

A continuación, se selecciona la pestaña FILE, ubicada en la barra de tareas.

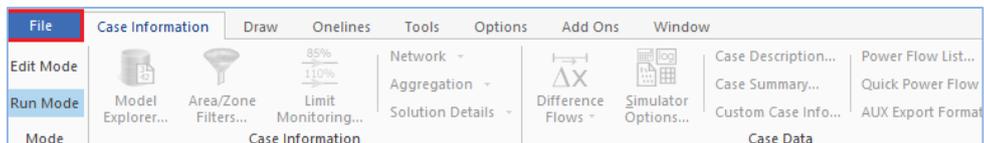
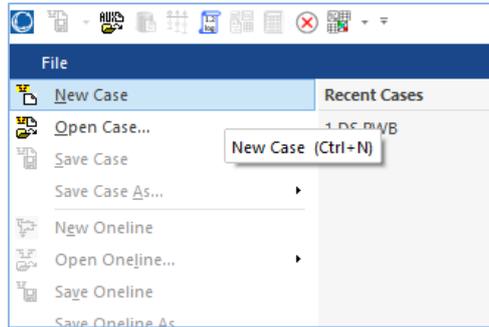


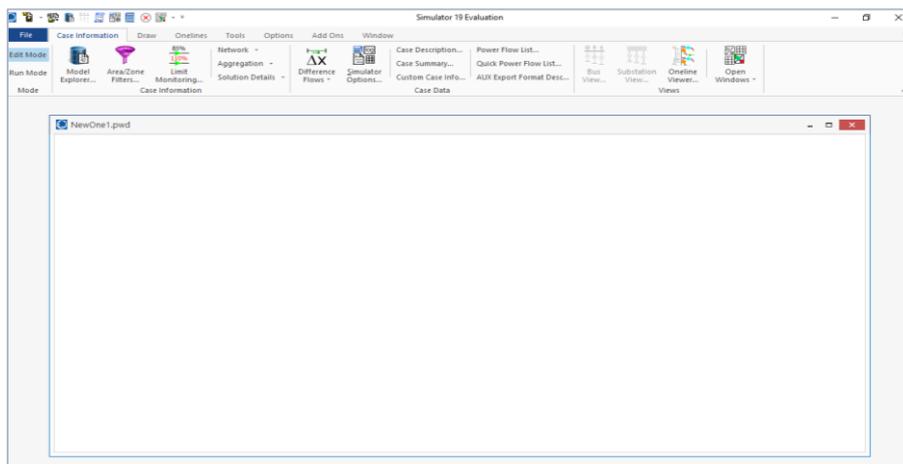
Figura 2.6: Pestaña File del Software PWS 19.  
Fuente: Elaboración propia en PowerWorld.

Luego, en el menú de selección, se hace clic en New Case, como se observa en la imagen.



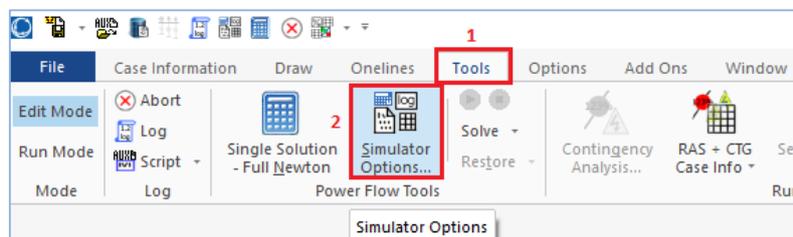
**Figura 2.7:** Creación de un nuevo caso.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

Obtendremos una ventana de este aspecto:



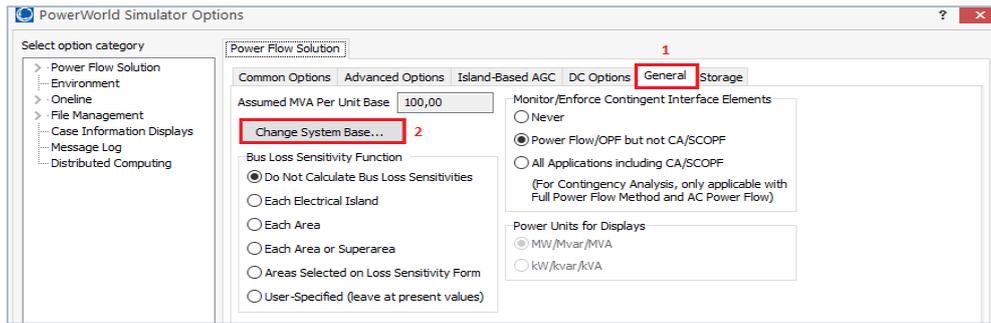
**Figura 2.8:** Caso generado.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

A continuación, en la barra de tareas, se selecciona la pestaña TOOLS, y le damos clic en la opción Simulator Options, como se muestra en la figura.



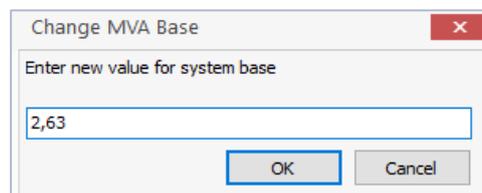
**Figura 2.9:** Opciones del Simulador.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld

En la ventana que se muestra, se selecciona la pestaña General, y le damos clic en el botón Change System Base, como se muestra en la figura.



**Figura 2.10:** Cambio de Base del Sistema  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

Se escribe el valor de 2.63, que, para este caso, representa 2631 kVA transformados a MVA.



**Figura 2.11:** Selección de la Potencia de Base.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

Este valor, se tiene en los datos registrados por el Software ETAP, y representa el funcionamiento de los dos generadores, los cuales están marcados cada uno con una potencia de 1250 kW; entonces se realizó lo siguiente:

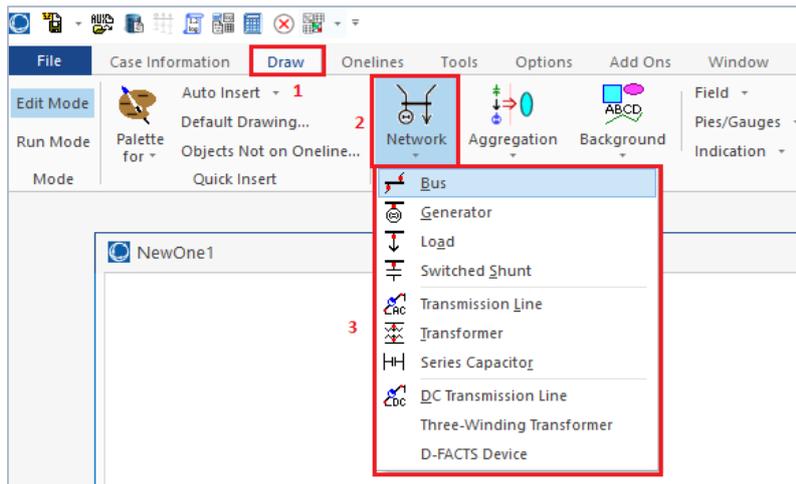
**Tabla 2.1:** Cálculo de Potencia Entregada por los Generadores

<b>Potencia de cada generador (Kw)</b>	<b>1250</b>
<b>Número de generadores</b>	<b>2</b>
<b>Potencia total (kW)</b>	<b>2500</b>
<b>fp</b>	<b>0.95</b>
<b>Potencia total (Kva)</b>	<b>2631.578947</b>
<b>Potencia total (MVA)</b>	<b>2.631578947</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Este valor aproximado, representa 2.63, una vez ingresado, se da clic, en OK, y luego en OK. Con esto, se hace que todo el sistema trabaje con una potencia de base de 2.63 MVA y poder determinar un correcto flujo de potencia.

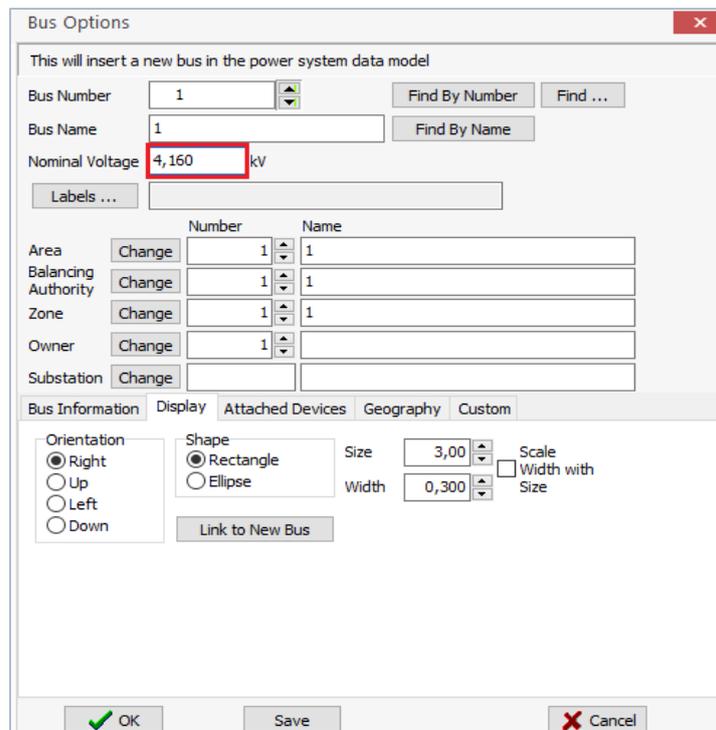
A continuación, se procede a dibujar nuestro diagrama unifilar, para realizar esto, se selecciona la pestaña DRAW, luego se da clic en Network, y desplegará todos los elementos que se puede colocar en el diagrama unifilar, como se muestra en la figura.



**Figura 2.12:** Selección de Elementos.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

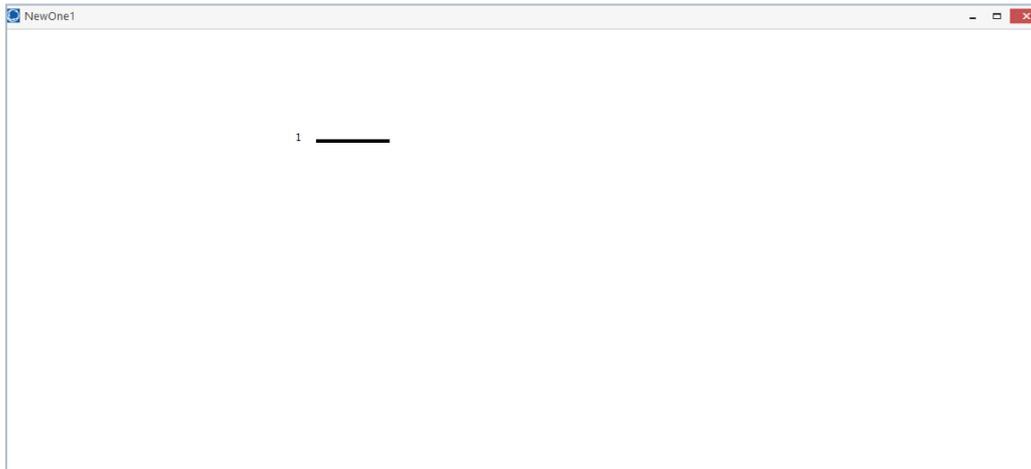
Para este caso, se colocan dos barras a las cuales se conectarán un generador que actuará como una Grid Power y las cargas individuales del laboratorio respectivamente; entre ambas barras se conectará el transformador.

A continuación, para colocar la barra o bus, se dará clic en bus y se seleccionará en cualquier parte de nuestro caso, y se desplegará una ventana nueva, como se muestra en la figura; se introducirán los valores que se muestran.



**Figura 2.13:** Opciones de la Barra 1.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

Una vez realizado esto, se tiene el caso de la siguiente manera:

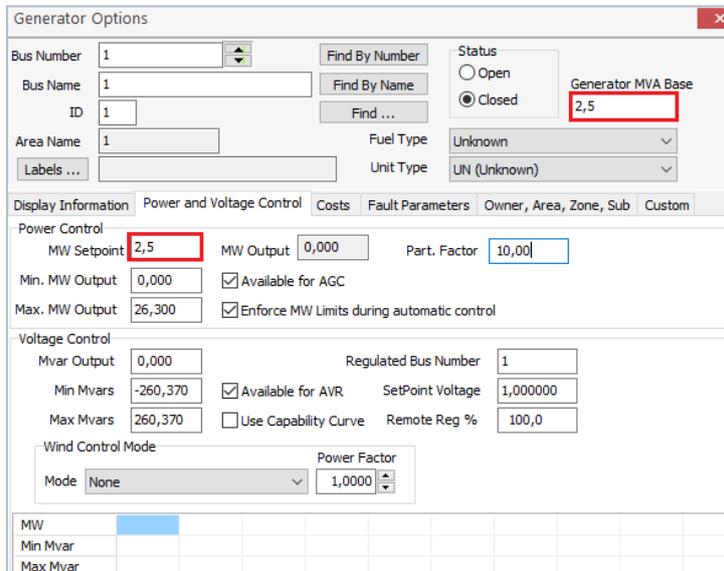


**Figura 2.14:** Ventana del Caso a editar.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

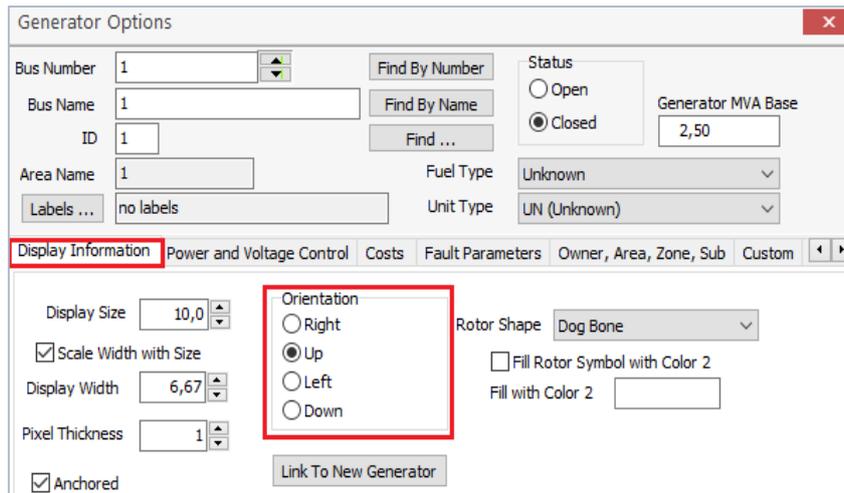
De esta manera se realizará el diagrama unifilar de nuestro sistema.

A continuación, se mostrará las ventanas de cada uno de los elementos a ingresar en el sistema con sus respectivos parámetros.

### 2.1.5.2.1. Parámetros del generador

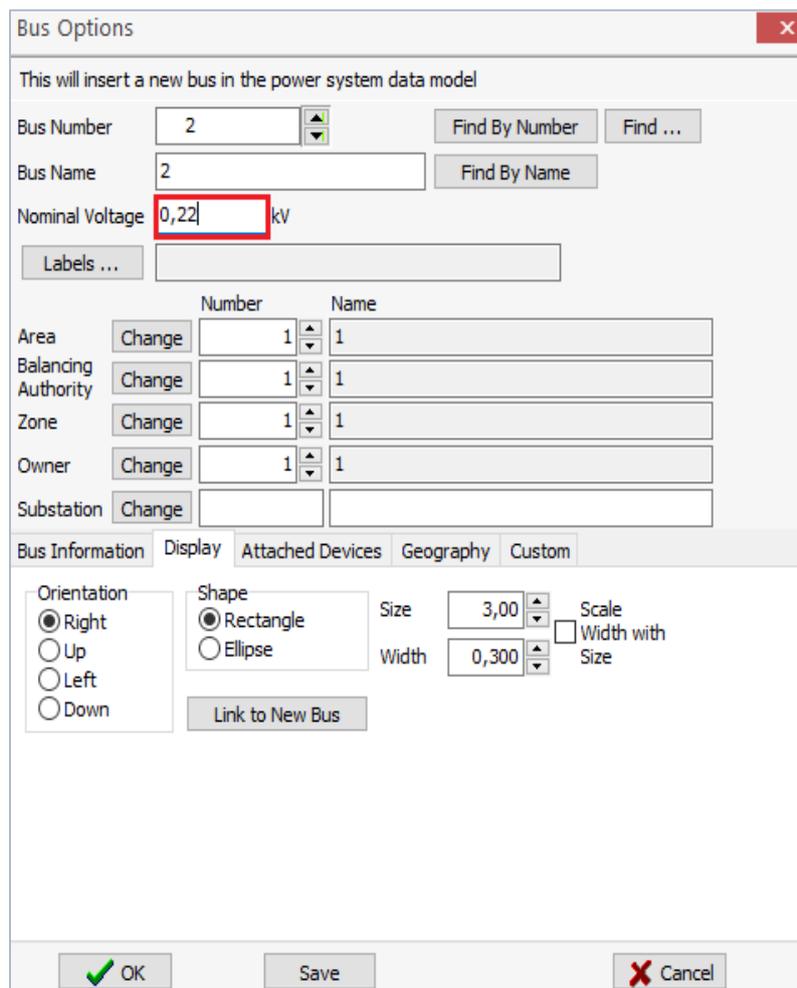


**Figura 2.15:** Generador - Power and Voltage Control.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.



**Figura 2.16:** Generador - Display Information.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

### 2.1.5.2.2. Parámetros de la barra 2



**Figura 2. 17:** Parámetros de la Barra 2.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

### 2.1.5.2.3. Parámetros del transformador

The screenshot shows the 'Branch Options' dialog box. The 'Parameters' tab is active, displaying 'Per Unit Impedance Parameters'. The 'Series Reactance (X)' field is highlighted with a red box and contains the value '0,01'. Other parameters include Series Resistance (R) at 0,000000, Shunt Charging (B) at 0,000000, Shunt Conductance (G) at 0,000000, Magnetizing Conductance at 0,000000, and Magnetizing Susceptance at 0,000000. The 'MVA Limits' section on the right lists Limit A through Limit L, all set to 0,000. The 'Status' is set to 'Closed'. The 'From Bus' is 1 and the 'To Bus' is 2. The 'Nominal kV' is 4,160 and 0,2200. The 'Default Owner' is checked and set to 'Same as From Bus'.

Figura 2.18: Parámetros del Transformador.  
Fuente: Elaboración propia en PowerWorld.

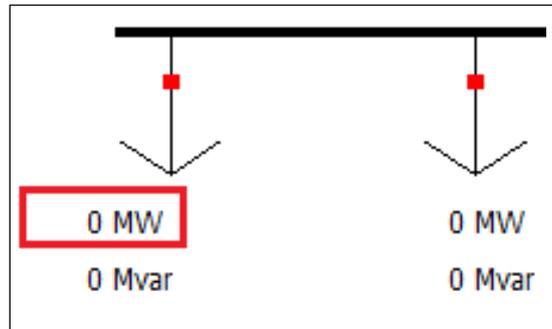
### 2.1.5.2.4. Parámetros de las cargas individuales

#### 2.1.5.2.4.1. Laboratorio de hidrocarburos

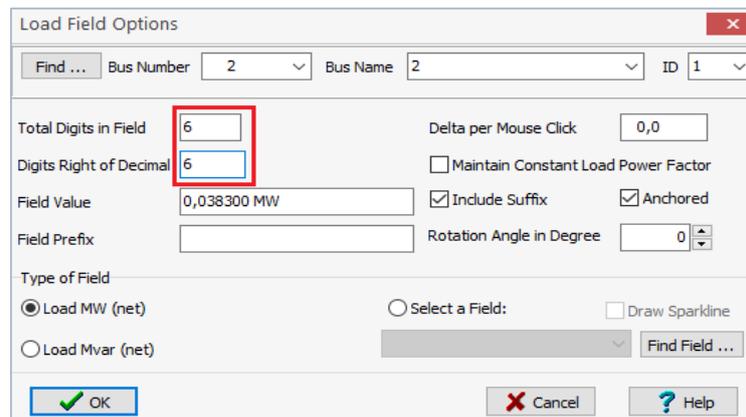
The screenshot shows the 'Load Options' dialog box. The 'Bus Number' is 2 and the 'Bus Name' is 2. The 'Area' is 1 and the 'Zone' is 1. The 'MW Value' is 0,0383 and the 'Mvar Value' is 0,0126, both highlighted with red boxes. The 'Constant Power' is 0,000, 'Constant Current' is 0,000, and 'Constant Impedance' is 0,000. The 'Distributed Generation' is set to 'Closed'. The 'Display Information' section shows 'Display Size' at 10,00, 'Display Width' at 3,75, and 'Pixel Thickness' at 1. The 'Orientation' is set to 'Down'. The 'Anchored' checkbox is checked. The 'Link To New Load' button is visible. The 'Status' is set to 'Closed'.

Figura 2.19: Laboratorio de Hidrocarburos.  
Fuente: Elaboración propia en PowerWorld.

Para poder apreciar de mejor manera los resultados, se configuran los valores en 6 dígitos, esto se realiza seleccionando cualquier valor, como se muestra en la figura (2.20) y editando como se muestra en la figura (2.21).



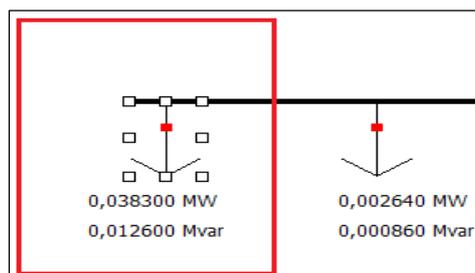
**Figura 2.20:** Selección de un valor a editar.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.



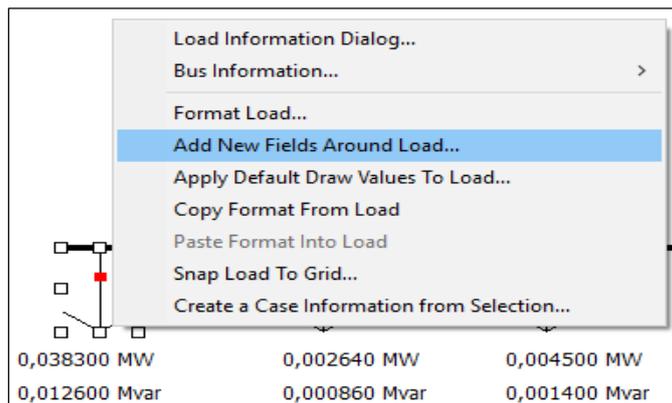
**Figura 2.21:** Cambio en los parámetros de las visualizaciones.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

De esta manera se procederá a cambiar todos los parámetros.

Para poder apreciar los valores como factor de potencia o de la corriente, se selecciona cualquier elemento del sistema como muestra la figura (2.22), y se hace click derecho y mostrará el menú de la figura (2.23).

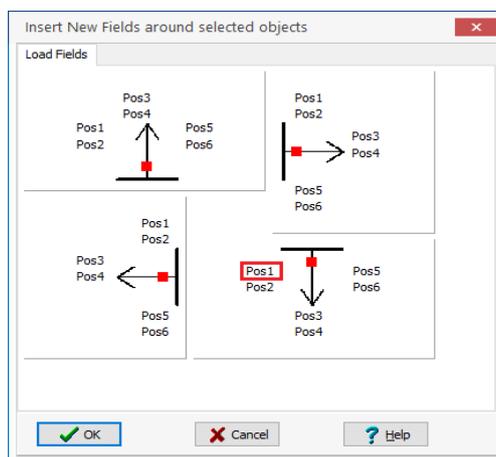


**Figura 2.22:** Selección de un elemento.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.



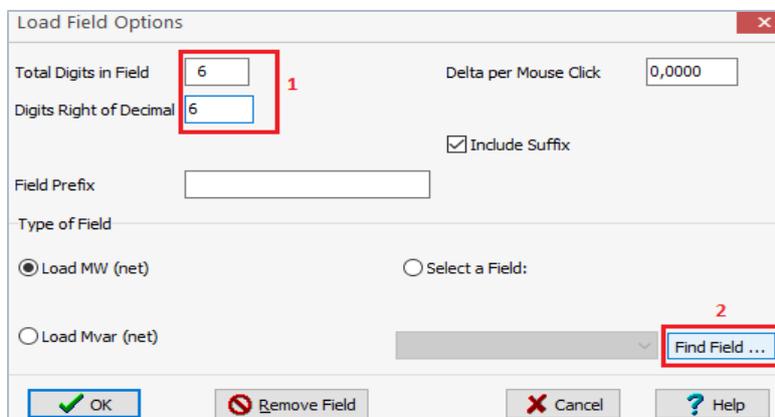
**Figura 2.23:** Selección de nuevos campos.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

Al añadir un nuevo campo, aparecerá una nueva ventana, donde se seleccionará la posición donde se quiere que se muestren los valores, como se indica en la figura (2.24).



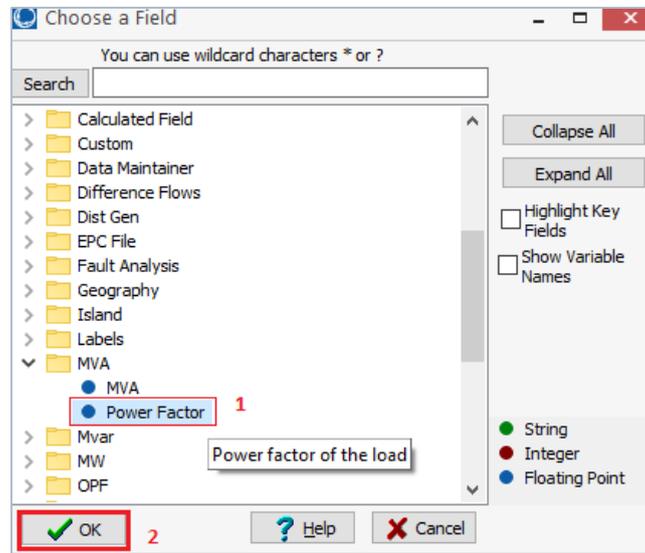
**Figura 2. 24:** Posición de la visualización de los campos.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

Luego se modifica el número de decimales que se requieren visualizar y a continuación, se selecciona buscar campos, como se muestra en la figura (2.25).



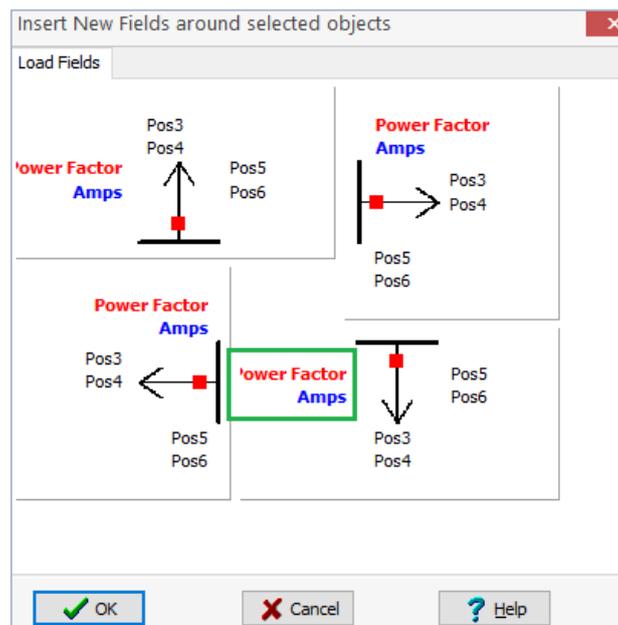
**Figura 2.25:** Opciones del nuevo campo.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

Luego desplegará una ventana como se muestra en la figura 41, donde se selecciona el nuevo campo que se desea añadir, en este caso, el factor de potencia de nuestra carga, para poder apreciar cualquier tipo de variación que se presente ante algún evento en el sistema.



**Figura 2. 26:** Selección del nuevo campo.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

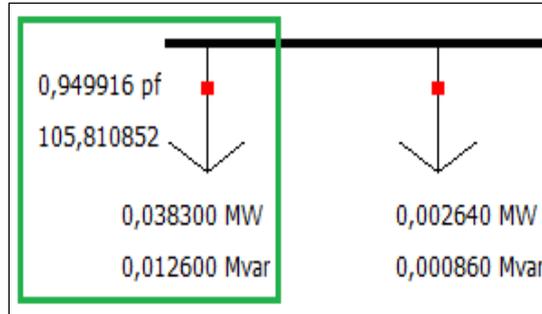
Luego de haber configurado los parámetros deseados, se obtiene una ventana como se muestra a continuación.



**Figura 2. 27:** Parámetros configurados.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

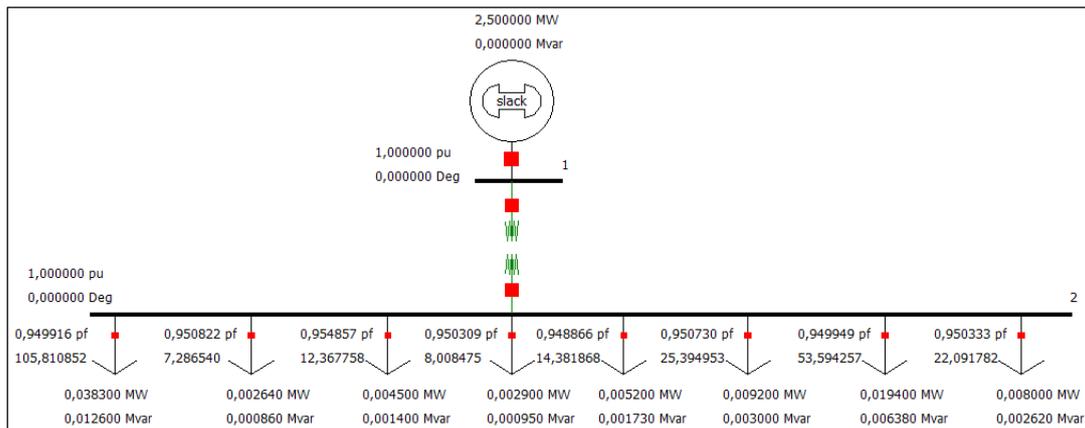
Y finalmente se acepta todo.

En este caso aparecerán los parámetros ya configurados, y posteriormente se procederá a realizar la misma configuración para todas las cargas.



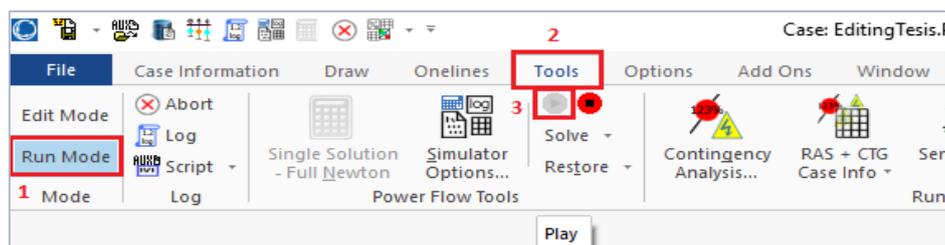
**Figura 2. 28:** Visualización de parámetros deseados.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

El diagrama unifilar de este caso quedará entonces de la siguiente manera.



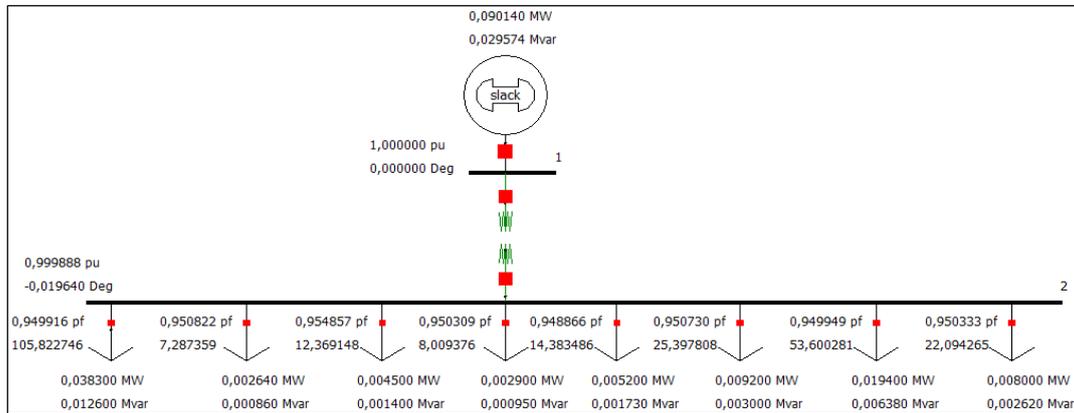
**Figura 2.29:** Diagrama Unifilar del Sistema de Distribución de la Refinería hacia el Laboratorio de Control de Calidad.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

A continuación, se dará inicio a un flujo de carga, el cual permitirá analizar el sistema bajo cualquier evento; para realizar esto, se pondrá en RUN MODE, como se muestra en la figura 45, y se selecciona la pestaña TOOLS de la barra de herramientas, y finalmente se da clic en el botón de PLAY.



**Figura 2.30:** Inicio de Flujo de Carga.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

Se obtiene entonces la siguiente figura.



**Figura 2.31:** Flujo de Potencia en el Sistema de Distribución de la Refinería hacia el Laboratorio de Control de Calidad.

**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

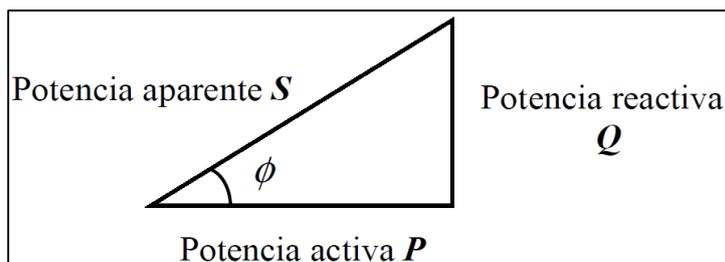
A continuación, se presenta la tabla general de potencias de cada área, incluida la parte lumínica del laboratorio.

**Tabla 2.2:** Tabla de Potencias para el diseño de la Cámara de Transformación.

Área	Potencia					
	Potencia aparente (MVA)	P(MW)	Potencia activa real	S al cuadrado	P al cuadrado	Q (MVAr)
Laboratorio de hidrocarburos	0.04034765 9	0.03833027 6	39330.275 8	0.00162793 4	0.00146921	0.01259855 2
Bodega	0.00277894 7	0.00264	2640	7.72255E-06	6.9696e-06	0.00086772 6
Cafetería	0.00469110 5	0.00445655	4456.55	2.20065E-05	1.98608e-05	0.00146479 7
Oficina	0.00307378 9	0.0029201	2920.1	9.44818E-06	8.52698e-06	0.00095979
Área octanómetro	0.00554726 3	0.0052699	5269.9	3.07721E-05	2.77718e-05	0.00173213 2
Laboratorio de aguas	0.00972713 7	0.00924078	9240.78	9.46172E-05	8.5392e-05	0.00303729 8
Área de análisis instrumental	0.02043578 9	0.019414	19414	0.00041762 4	0.00037690 3	0.00638107 3
luminarias	0.00842105 3	0.008	8000	7.09141E-05	0.000064	0.00262947 3

**Fuente:** Elaboración propia

Para la obtención de la potencia Aparente, se procedió a obtener mediante el triángulo de potencias, donde se tiene que:



**Figura 2. 32:** Triángulo de Potencias.

**Fuente:** García, J. (2012). Relación entre potencia aparente, potencia útil y factor de potencia.

Donde se conoce que:

**Ecuación 1.** Factor de Potencia

$$\cos \phi = fp$$

Dónde:

- fp: factor de potencia
- $\phi$ : ángulo de la corriente
- 

Trigonométricamente conocemos que:

**Ecuación 2:** Función Trigonométrica Coseno

$$\cos \phi = \frac{\text{Cateto adyacente}}{\text{Hipotenusa}} = \frac{\text{Potencia Activa}}{\text{Potencia Aparente}} = \frac{P}{S}$$

Donde se despeja la Potencia Aparente:

**Ecuación 3:** Potencia Aparente en función del f.p.

$$S = \frac{P}{\cos \phi} = \frac{P}{fp}$$

De esta manera se obtiene la Potencia Aparente, para lo cual, con los criterios obtenidos por las empresas distribuidoras, se tiene en consideración un valor de 0.95 para el factor de potencia, lo que equivale a un 95 % de aprovechamiento de la energía eléctrica, lo cual es un indicador muy bueno en términos eléctricos.

Posteriormente, se obtienen los valores de la Potencia Reactiva, solo para cuestiones paramétricas dentro del software Power World, el cual trabaja con ambas potencias, la activa y la reactiva.

La Potencia Reactiva entonces, se calcula mediante:

**Ecuación 4:** Función de Pitágoras para la resolución de uno de sus catetos.

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Que no es más que el despeje de la función pitagórica del triángulo de potencias.

Obtenidas todas las potencias, estos valores hay que cambiar de unidades, debido a que las obtenidas mediante cálculo están dadas en Watts, y las que se necesitan en el software Power World son en MW, MVA y MVAR.

## CAPÍTULO III

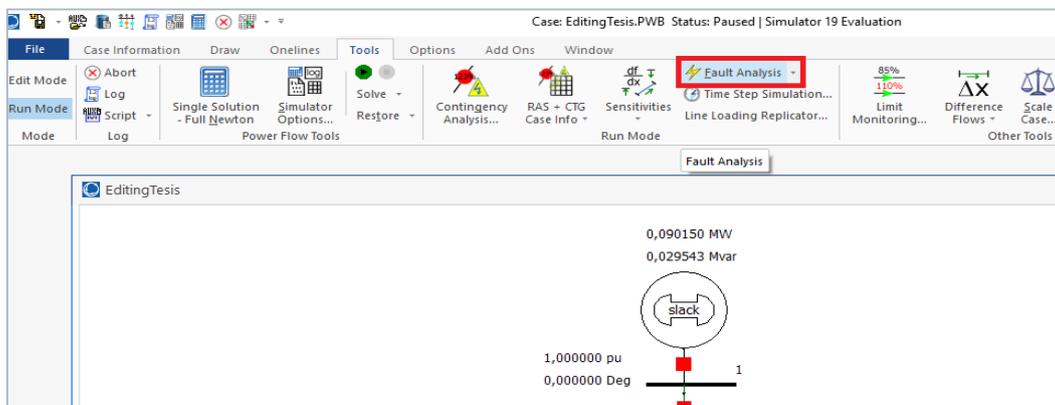
### 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para establecer si el Sistema Eléctrico de Distribución de la Refinería Shushufindi cumple con los parámetros de calidad energética, se compararán los valores reales o prácticos, así como los valores teóricos y simulados en el capítulo anterior.

Dentro de los estudios realizados mediante las mediciones dispuestas por los sistemas de control, se puede verificar que el factor de potencia entregado al Sistema Eléctrico de la Refinería Shushufindi permanece dentro de los estándares, con un valor de 0,95 (ver Figura 48) o lo que es lo mismo, un 95% de aprovechamiento de la energía eléctrica; se verifico también, el valor predispuesto en la simulación el cual fue de un 95% (ver Tabla 6), lo que implicó que el sistema sea mucho más eficiente, sin riesgo a pérdidas considerables de factor de potencia aguas abajo, manteniendo así un correcto funcionamiento de las cargas de la Refinería.

Para poder apreciar un desbalance en el sistema, se procede a realizar un análisis de fallas, simulando en el programa Power World, de la siguiente manera:

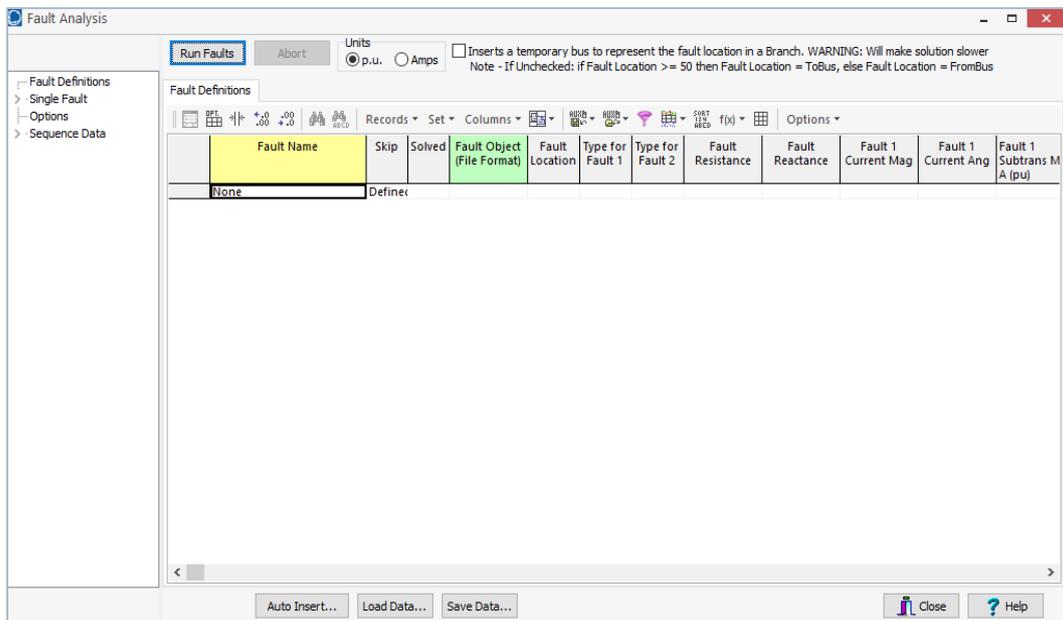
Luego obtenido la simulación del flujo de potencia (ver Figura 46), se procederá a colocar en análisis de fallas, ubicada en la barra de tareas, como se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3.1:** Inicio de Análisis de Fallas.

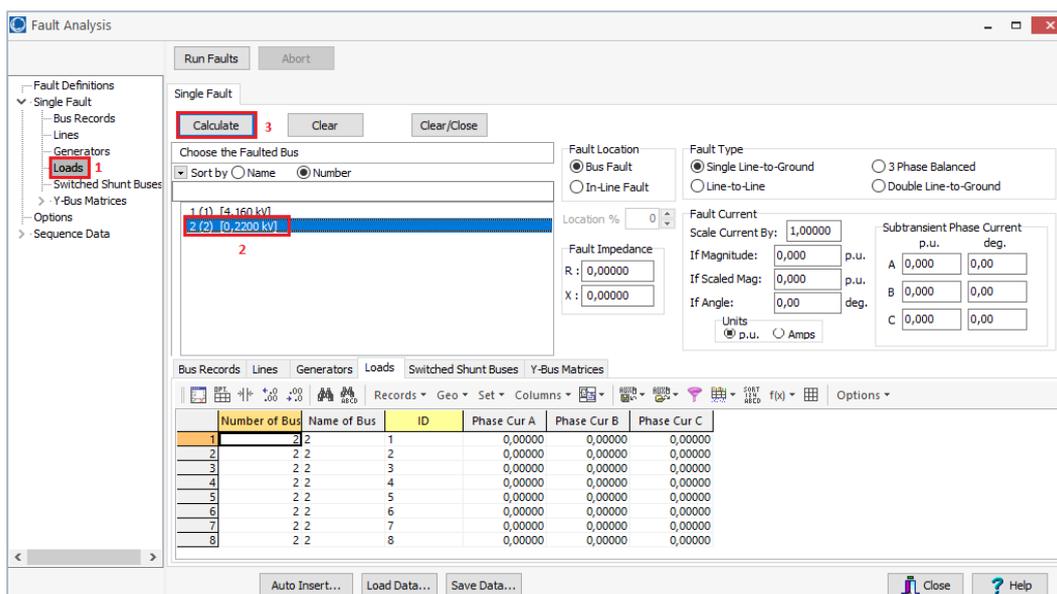
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

Luego, se desplegará una nueva ventana, como se muestra en la figura siguiente.



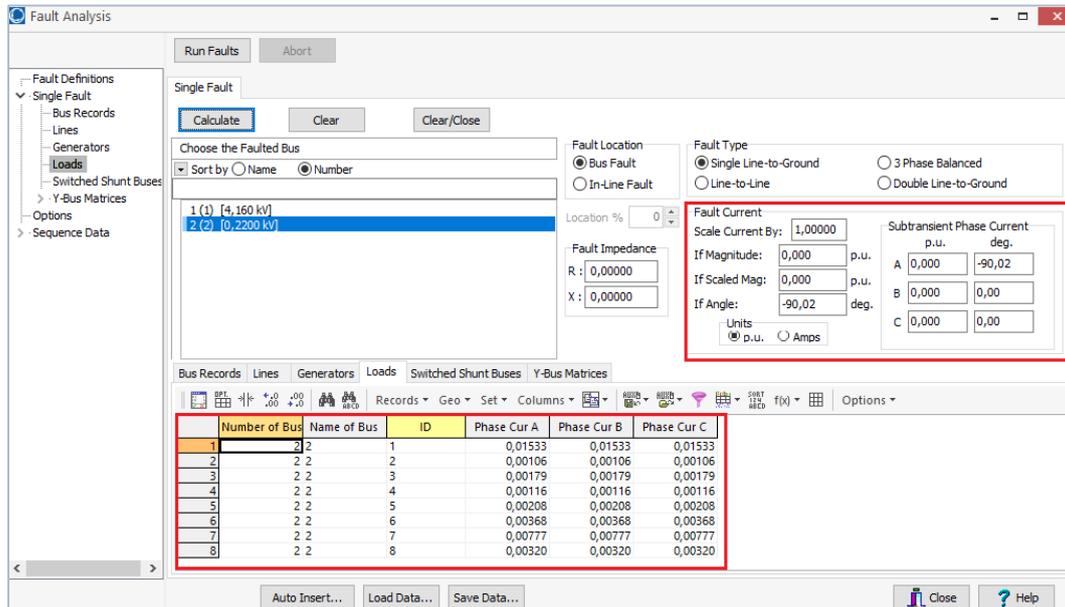
**Figura 3.2:** Condicionamiento de la Falla.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

A continuación, seleccionaremos el tipo de falla que deseamos simular, para nuestra ocasión, desplegaremos una falla sobre las cargas, para poder verificar que no exista un desbalance en el sistema aguas arriba; para lo cual seleccionamos la falla en la carga como se muestra en la figura siguiente.



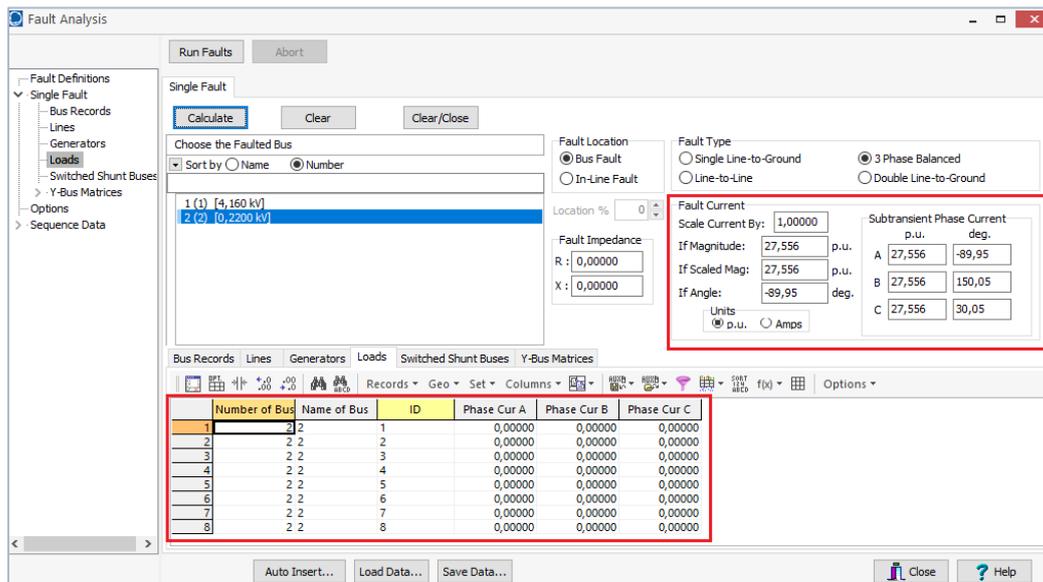
**Figura 3.3:** Cálculo de la Falla dispuesto en las Cargas.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

Luego de haber realizado la configuración y su respectivo cálculo, se obtendrán inmediatamente los valores presentes en dicha falla, como se muestra en la figura.

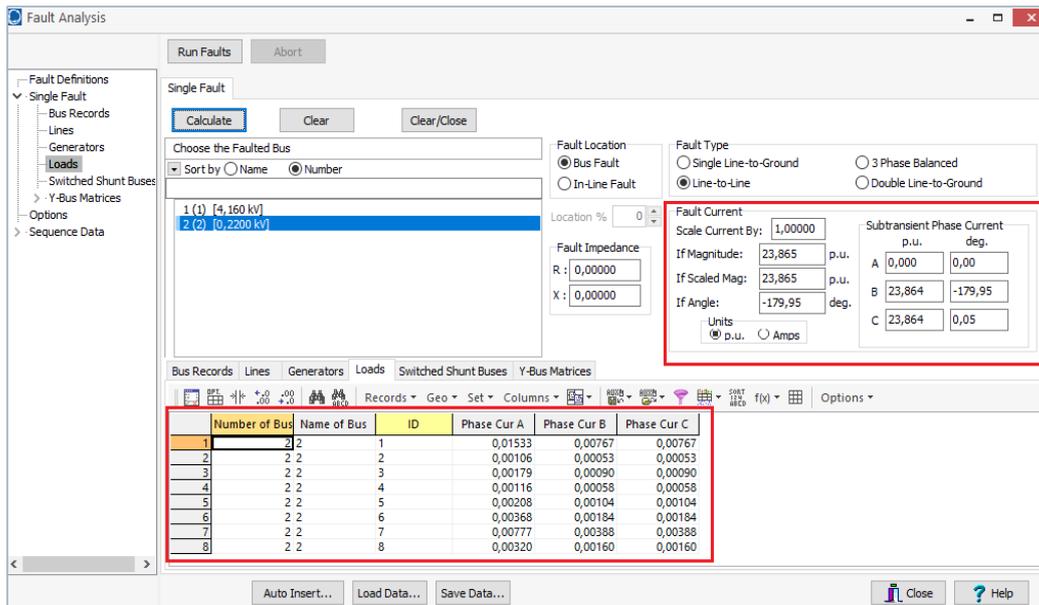


**Figura 3.4:** Valores de Corriente para una Falla Línea a Tierra.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

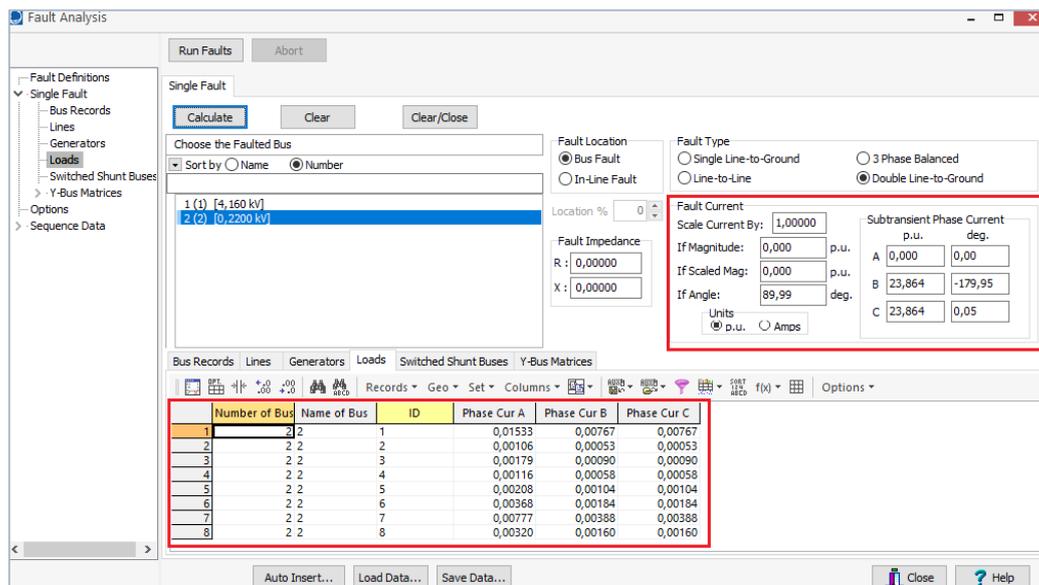
De la misma manera, se procede a realizar la simulación para los otros tipos de fallas, tales como trifásica, doble línea a tierra y línea a línea, como se muestra en las figuras a continuación.



**Figura 3.5:** Valores de Corriente para una Falla Trifásica.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.



**Figura 3. 6:** Valores de Corriente para una Falla Línea a Línea.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.



**Figura 3.7:** Valores de Corriente para una Falla Doble Línea a Tierra.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

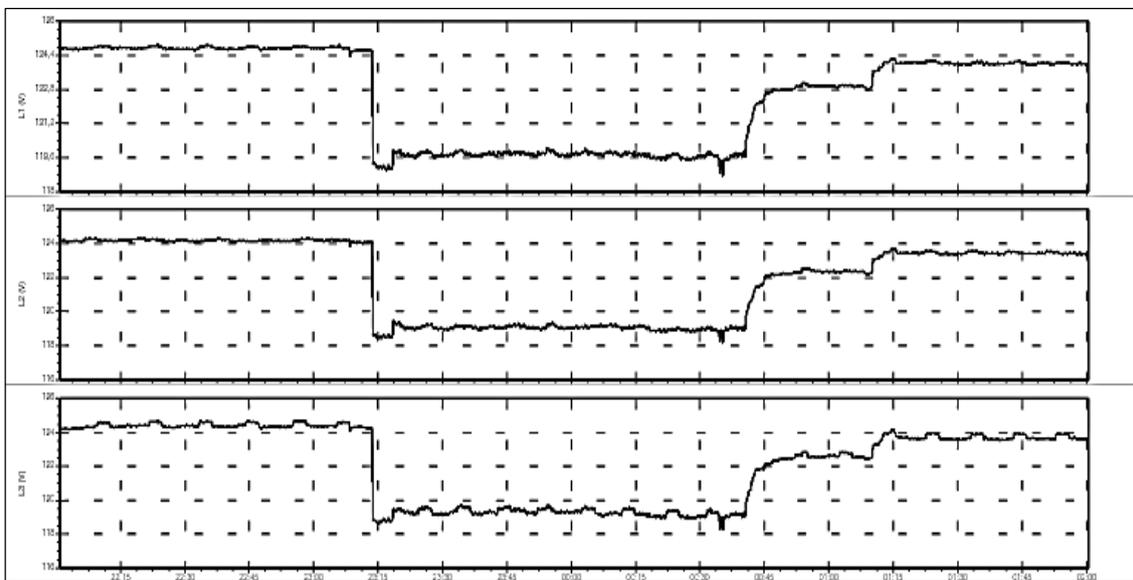
De donde se puede apreciar que el sistema ingresa en desbalance al realizar fallas sobre las cargas de tipo trifásicas, línea a línea y doble línea a tierra; en este tipo de fallas, eventualmente, se producen corrientes de fase sub-transitorias, esto quiere decir que sus valores nominales variarán desproporcionalmente en periodos de tiempo muy cortos, lo que posteriormente, puede causar daños sobre los equipos, tanto aguas arriba como aguas abajo.

### 3.1.Mediciones

Se realizaron las mediciones con el analizador de redes FLUKE 434 en varios periodos de tiempo realizando la adquisición de datos requeridos para su análisis posterior y de esta manera poder concluir con lo referente a la calidad de energía.

#### 3.1.1. Adquisición de datos

##### 3.1.1.1. Evento 21 de marzo

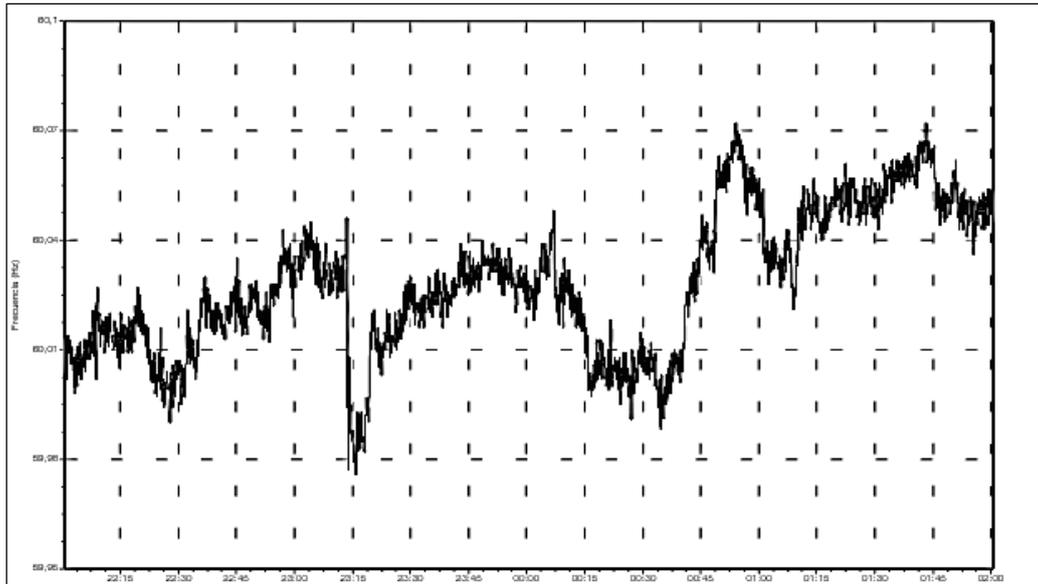


**Figura 3.8:** Caída de tensión en las tres fases.

**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

En la figura se puede observar el efecto en la tensión debido al arranque de un compresor de la central de aire acondicionado. Donde se puede observar que existe un bajo voltaje, pero no excede los límites de calidad de energía del CONELEC regulación N° 004/01 donde indica que el porcentaje máximo de variación debe ser un 10% del voltaje nominal.

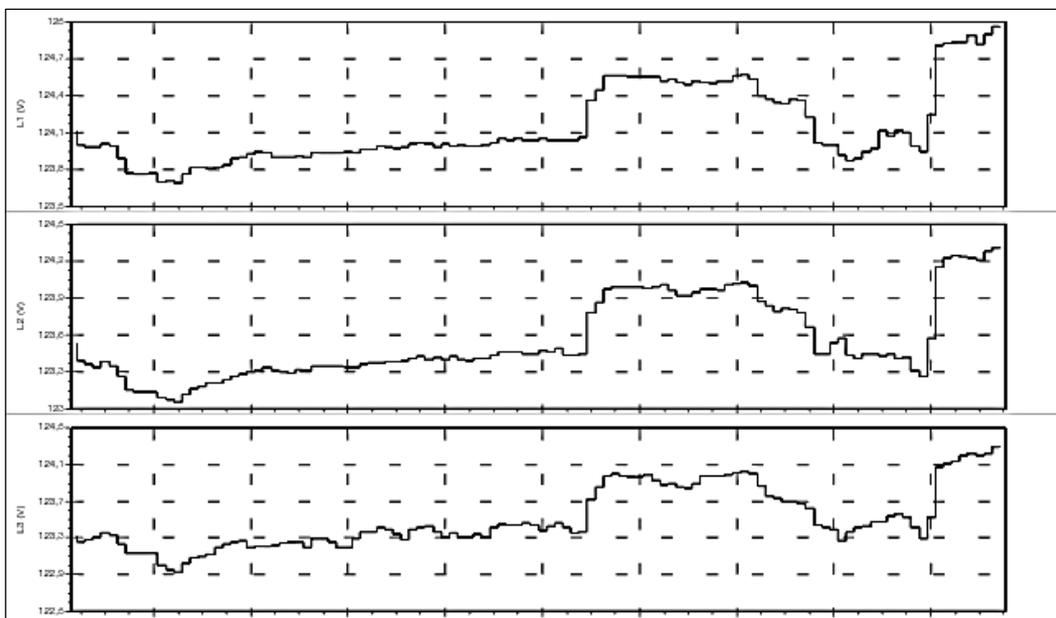
En la figura se puede observar que el valor más crítico de voltaje es 118 (V) que representa el 95,16% del voltaje nominal que es 124 (V). Por tal razón se puede concluir que está dentro de los rangos que garantizan una buena calidad de energía.



**Figura 3. 9:** Evolución de la frecuencia.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

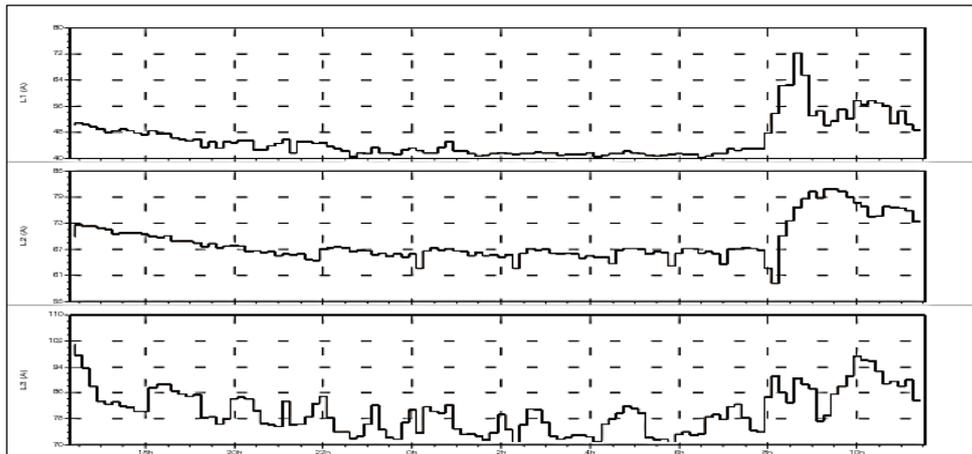
En esta grafica se puede observar la evolución de la frecuencia cuya variación es mínima con 0,07(Hz) hacia arriba y 0,03 (Hz) hacia abajo lo que implica que está dentro de los rangos permitidos y no afecta a la calidad de energía.

### 3.1.1.2.Evento 23 de marzo



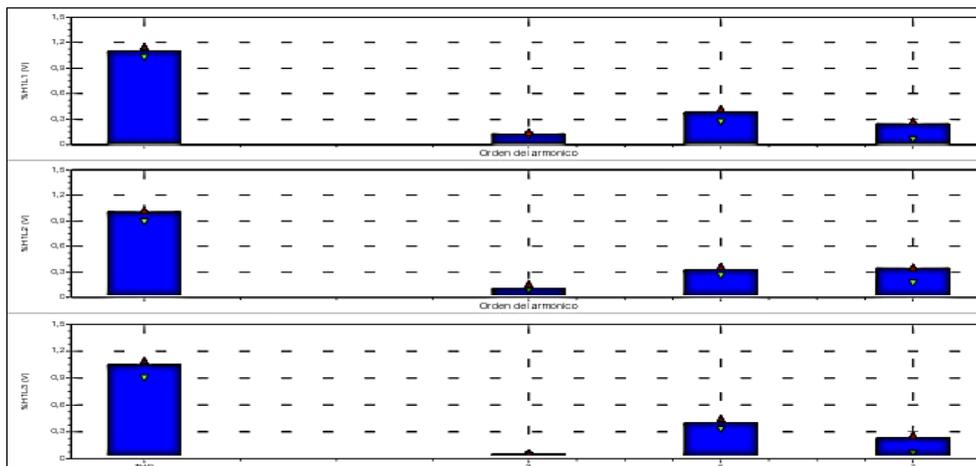
**Figura 3. 10:** Comportamiento de las señales de tensión.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

En esta gráfica se observa un análisis del voltaje durante una jornada completa de trabajo donde se puede observar como varia el voltaje a medida que avanza el día pero la variación máxima en el límite superior es de 124 (V) a 125 (V) que representa una variación de 1 (V) en el peor de los casos, por el contrario en el límite inferior la variación va de 124 (V) a 122,9 (V) en el peor de los casos que representa una variación de 2,1(V). Estas variaciones están dentro de los rangos permitidos por la norma para garantizar una buena calidad de energía.



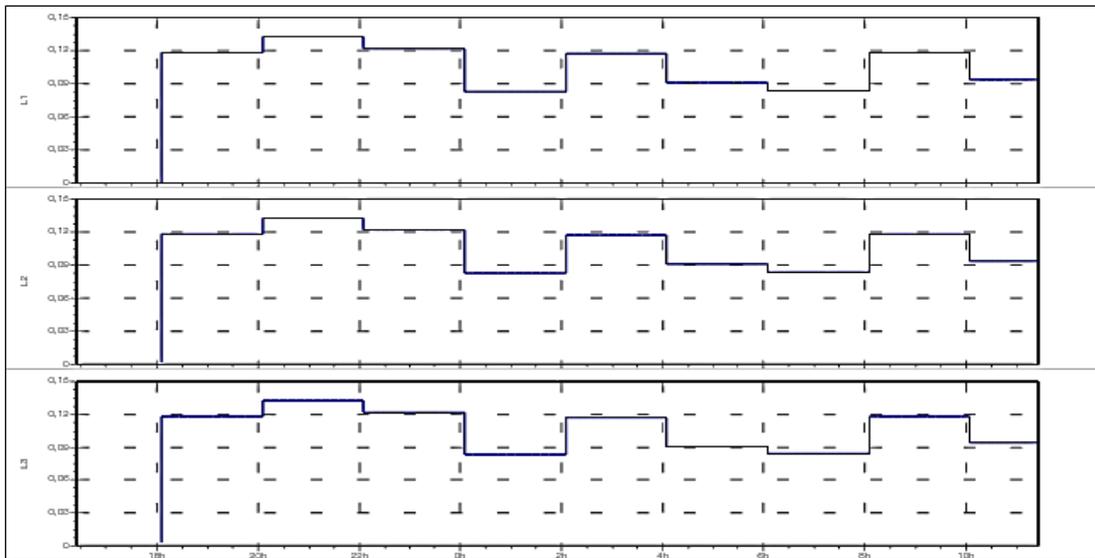
**Figura 3. 11:** Comportamiento de las señales de Corriente.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

Como se observa en la gráfica anterior los datos de corriente medidos en el mismo intervalo de tiempo de la tensión, representan gran variación lo que se debe entender en función de los equipos que se conectan y desconectan a diario dentro del laboratorio de cálida de la Refinería Shushufindi.



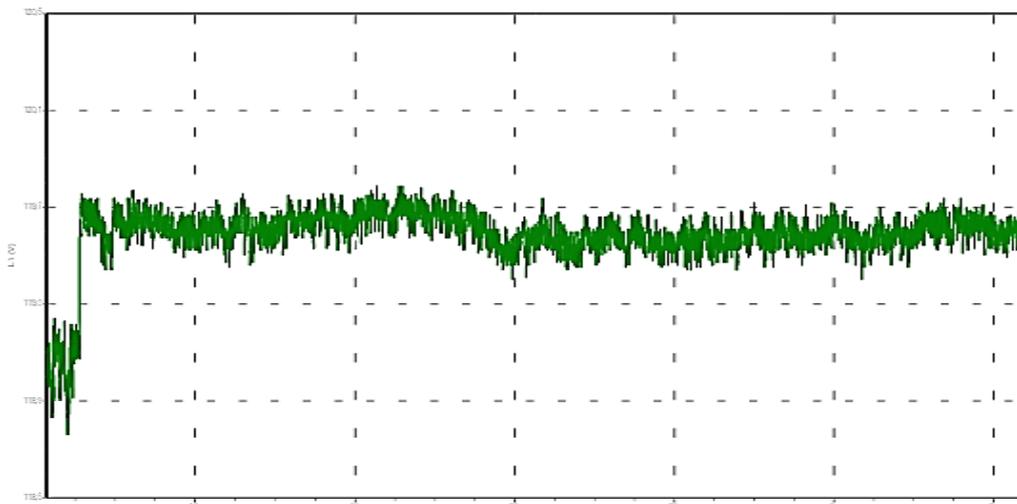
**Figura 3.12:** Distorsión armónica.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

Según la regulación del CONELEC 004-0, donde indica que la distorsión máxima del armónico 3 es 5%, del armónico 5 es 6%, del armónico 7 es 5%, y el THD no debe superar el 8% además considerando que estos son los armónicos más representativos en los resultados obtenidos de la toma de datos y que en ninguno de los casos supera el 1% de distorsión y el THD no supera el 1% como se puede observar en la gráfica se puede concluir que la calidad de energía no será afectada por este parámetro.



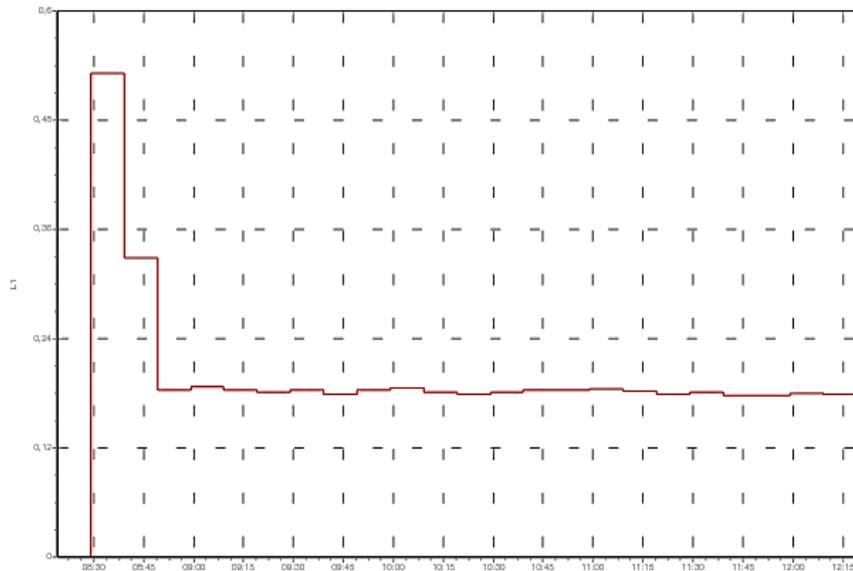
**Figura 3. 13:** Flickers en las líneas.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

El índice de severidad del Flicker Pst en el punto de medición respectivo, no debe superar la unidad, es lo que dice la regulación del CONELEC y como se observa en la gráfica anterior el Flicker no supera el 0,2 de índice de severidad, razón por la cual tampoco sería este un parámetro que afecta a la calidad de energía.

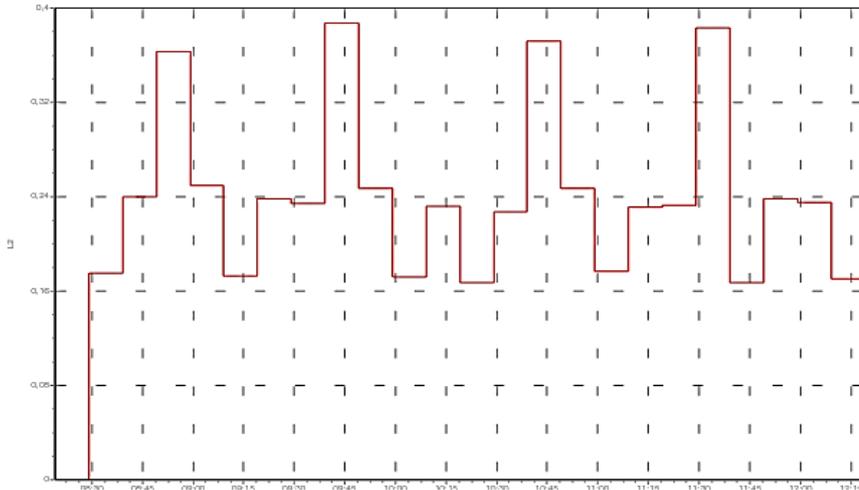


**Figura 3.14:** Tensión mínima de la línea 1.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

En esta gráfica nuevamente se observa una caída de voltaje que no excede los rangos aceptables según la regulación del CONELEC para garantizar una buena calidad de energía.



**Figura 3. 15:** Análisis de flickers línea 1.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.



**Figura 3. 16:** Análisis de flickers línea.  
**Fuente:** Elaboración propia en PowerWorld.

En las gráficas anteriores se observa otras medidas del índice de severidad del flicker y nuevamente se garantiza que no supere la unidad como es la exigencia de la regulación del CONELEC, por lo tanto, este parámetro no determina una mala calidad de la energía.

### 3.1.2. Análisis de la calidad de energía en tableros de distribución

#### 3.1.2.1. Tablero central de aire.

##### 3.1.2.1.1. Registro de mediciones

Fecha	Función	L1 Max	L2 Min	L2 Med	L2 Max	L3 Min	L3 Med	L3 Max	N Min	N Med	N Max	Total Min	Total Med	Total Max
08/04/2017 7:16:54 602ms	Tensión	122,8 V	123,56 V	123,69 V	123,86 V	123,4 V	123,85 V	124,18 V	0,16 V	0,26 V	0,39 V			
08/04/2017 7:16:54 602ms	Corriente	62,7 A	39,2 A	39,3 A	39,4 A	25,6 A	36,5 A	49 A	7,8 A	17 A	27,5 A			
08/04/2017 7:16:54 602ms	Tensión de Pico	173,2 V	176 V	176,6 V	177,2 V	174,9 V	175,6 V	176,1 V	0,6 V	1,2 V	1,9 V			
08/04/2017 7:16:54 602ms	Corriente de Pico	98,8 A	58,6 A	59 A	59,8 A	39,6 A	60 A	84,6 A	13,2 A	29,2 A	51,4 A			
08/04/2017 7:16:54 602ms	V Factor de Cresta	1,41	1,42	1,43	1,43	1,42	1,42	1,42	327,67	327,67	327,67			
08/04/2017 7:16:54 602ms	A Factor de Cresta	1,58	1,49	1,51	1,53	1,55	1,66	1,87	1,67	1,83	2,14			
08/04/2017 7:16:54 602ms	Tensión de Medio Ciclo	122,83 V	123,51 V	123,67 V	123,94 V	123,08 V	123,84 V	124,35 V	0,16 V	0,26 V	0,48 V			
08/04/2017 7:16:54 602ms	Corriente de Medio Ciclo	68,7 A	37,6 A	39,3 A	41 A	21,2 A	36,5 A	58,3 A	6,3 A	17 A	34,3 A			
08/04/2017 7:16:54 602ms	Potencia Activa	6,484 kW	4,652 kW	4,672 kW	4,688 kW	2,84 kW	4,152 kW	5,844 kW				13,196 kW	14,884 kW	16,228 kW
08/04/2017 7:16:54 602ms	Potencia Aparente	7,684 kVA	4,84 kVA	4,856 kVA	4,876 kVA	3,176 kVA	4,416 kVA	6,044 kVA				15,012 kVA	16,416 kVA	17,932 kVA
08/04/2017 7:16:54 602ms	Potencia Reactiva	4,12 kVAR	1,324 kVAR	1,328 kVAR	1,336 kVAR	1,408 kVAR	1,472 kVAR	1,544 kVAR				6,8 kVAR	6,884 kVAR	6,972 kVAR
08/04/2017 7:16:54 602ms	Factor de Potencia	0,84	0,96	0,96	0,96	0,9	0,94	0,97				0,88	0,89	0,91
08/04/2017 7:16:54 602ms	DPF	0,95	0,96	0,96	0,96	0,9	0,94	0,97				0,88	0,9	0,91
08/04/2017 7:16:54 602ms	Frecuencia	59,984 Hz												
08/04/2017 7:16:54 602ms	Factor K A	1,18	1,02	1,02	1,02	1,31	1,33	1,35	1,32	1,35	1,36			
08/04/2017 7:16:54 602ms	THD V	1,2%	0,98%	0,98%	0,98%	1,1%	1,11%	1,11%	36,12%	37,61%	38,43%			
08/04/2017 7:16:54 602ms	THD A	3,85%	3,73%	3,76%	3,78%	7,97%	8,23%	8,41%	8,43%	8,81%	9,17%			
08/04/2017 7:16:54 602ms	THD w	0,02%	0%	0%	0%	0,02%	0,02%	0,02%						
08/04/2017 7:16:54 602ms	Phi		0			0								
08/04/2017 7:16:54 602ms	Pot		0			0								
08/04/2017 7:16:54 602ms	Desequilibrio Vn											0,18%	0,26%	0,32%
08/04/2017 7:16:54 602ms	Desequilibrio An											10,07%	22,32%	32,17%
08/04/2017 7:16:54 602ms	Cos Phi	0,86	0,97	0,97	0,97	0,91	0,95	0,98						
08/04/2017 7:16:55 602ms	Tensión	122,8 V	123,6 V	123,71 V	123,83 V	123,57 V	123,88 V	124,16 V	0,18 V	0,27 V	0,36 V			
08/04/2017 7:16:55 602ms	Corriente	60,9 A	39,2 A	39,3 A	39,4 A	28,6 A	37,1 A	45,2 A	10,3 A	17,6 A	24,4 A			
08/04/2017 7:16:55 602ms	Tensión de Pico	173,2 V	176,1 V	176,4 V	177,2 V	175,2 V	175,7 V	176,3 V	0,6 V	0,9 V	1,7 V			
08/04/2017 7:16:55 602ms	Corriente de Pico	99,4 A	58,4 A	58,8 A	59,4 A	51,2 A	63,4 A	79 A	22,6 A	33,4 A	48,4 A			
08/04/2017 7:16:55 602ms	V Factor de Cresta	1,41	1,42	1,43	1,43	1,42	1,42	1,42	327,67	327,67	327,67			
08/04/2017 7:16:55 602ms	A Factor de Cresta	1,66	1,48	1,5	1,51	1,53	1,76	2,11	1,73	2,08	2,67			
08/04/2017 7:16:55 602ms	Tensión de Medio Ciclo	122,84 V	123,39 V	123,7 V	123,98 V	123,19 V	123,87 V	124,5 V	0,12 V	0,27 V	0,45 V			
08/04/2017 7:16:55 602ms	Corriente de Medio Ciclo	69,2 A	37,6 A	39,3 A	40,9 A	16,9 A	37,1 A	54,4 A	3,4 A	17,6 A	32 A			
08/04/2017 7:16:55 602ms	Potencia Activa	6,216 kW	4,656 kW	4,672 kW	4,688 kW	3,112 kW	4,192 kW	5,392 kW				13,636 kW	14,816 kW	16,172 kW
08/04/2017 7:16:55 602ms	Potencia Aparente	7,468 kVA	4,844 kVA	4,86 kVA	4,88 kVA	3,544 kVA	4,5 kVA	5,592 kVA				15,512 kVA	16,588 kVA	17,836 kVA
08/04/2017 7:16:55 602ms	Potencia Reactiva	4,144 kVAR	1,316 kVAR	1,332 kVAR	1,344 kVAR	1,38 kVAR	1,588 kVAR	1,716 kVAR				6,864 kVAR	7,02 kVAR	7,124 kVAR
08/04/2017 7:16:55 602ms	Factor de Potencia	0,83	0,96	0,96	0,96	0,88	0,93	0,96				0,88	0,89	0,91
08/04/2017 7:16:55 602ms	DPF	0,84	0,96	0,96	0,96	0,92	0,95	0,97				0,89	0,9	0,91

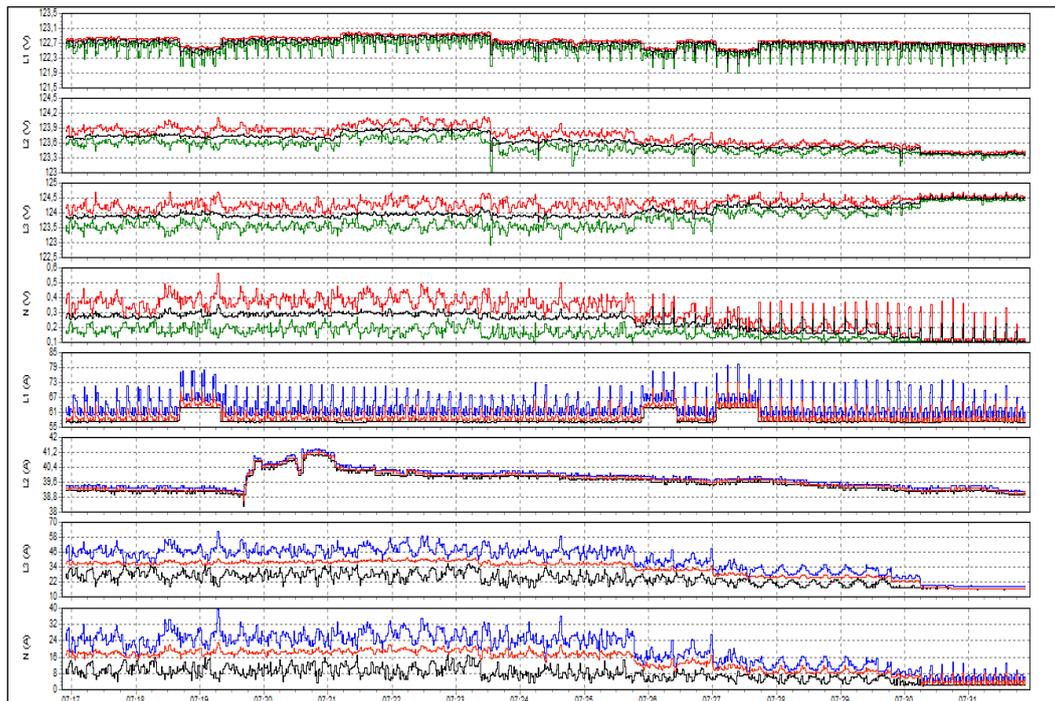
Figura 3.17: Registro de mediciones.

Fuente: Elaboración propia en Power Log 2.9.2.

En la gráfica anterior se puede observar las medidas tomadas de los parámetros más importantes que determinan una buena calidad de energía.

En función de los resultados obtenidos y mediante una comparación de los valores aquí dados y los rangos establecidos por las normas y regulaciones se podrá determinar si cada uno de los parámetros cumplen con los requisitos mínimos para no afectar a la forma de onda de corriente y voltaje y por ende concluir que calidad de energías está entregando al laboratorio de control de calidad de la Refinería Shushufindi.

### 3.1.2.1.2. Gráfica voltaje y corriente



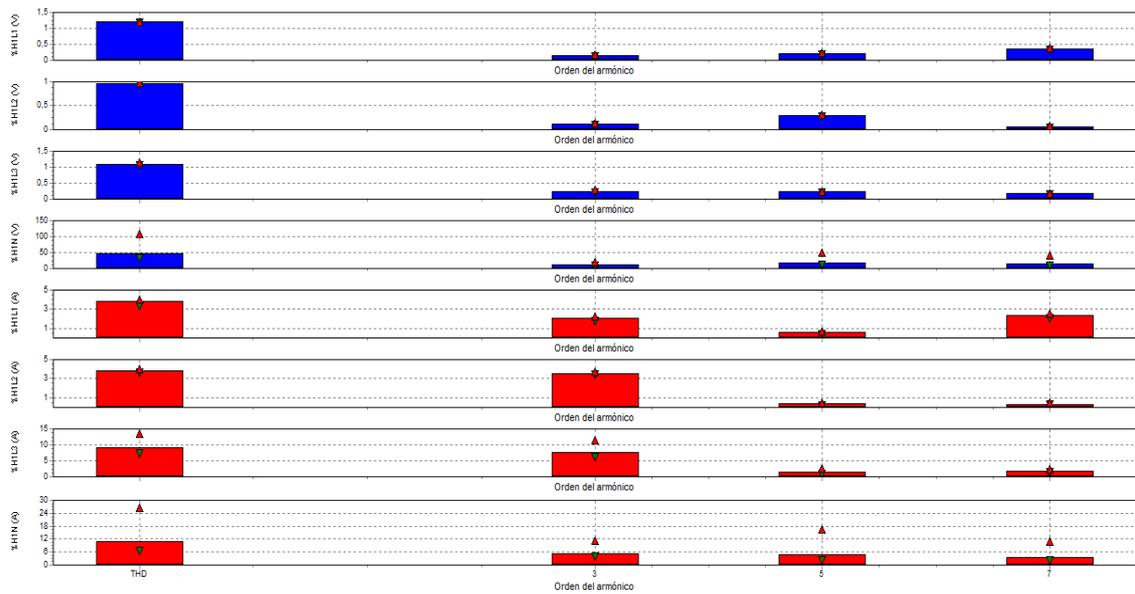
**Figura 3. 18:** Gráfica voltaje y corriente.

**Fuente:** Elaboración propia en Power Log 2.9.2.

Los valores de tensión son prácticamente constantes como se puede observar en la gráfica, con mínimas variaciones de decimas de voltaje que no representan ni el 1% de variación, y considerando que según la regulación del CONELEC la variación máxima permitida es del 10% del voltaje nominal se puede decir que las variaciones están muy por debajo de niveles que afecten a la calidad de energía del laboratorio de calidad de la refinería Shushufindi.

Por otro lado, también se observan curvas de corriente que no ayudan a determinar un parámetro claro de medición para determinar la calidad de energía sino más bien describen los consumos de corriente que demandan los dispositivos conectados al sistema de distribución en determinadas horas del día.

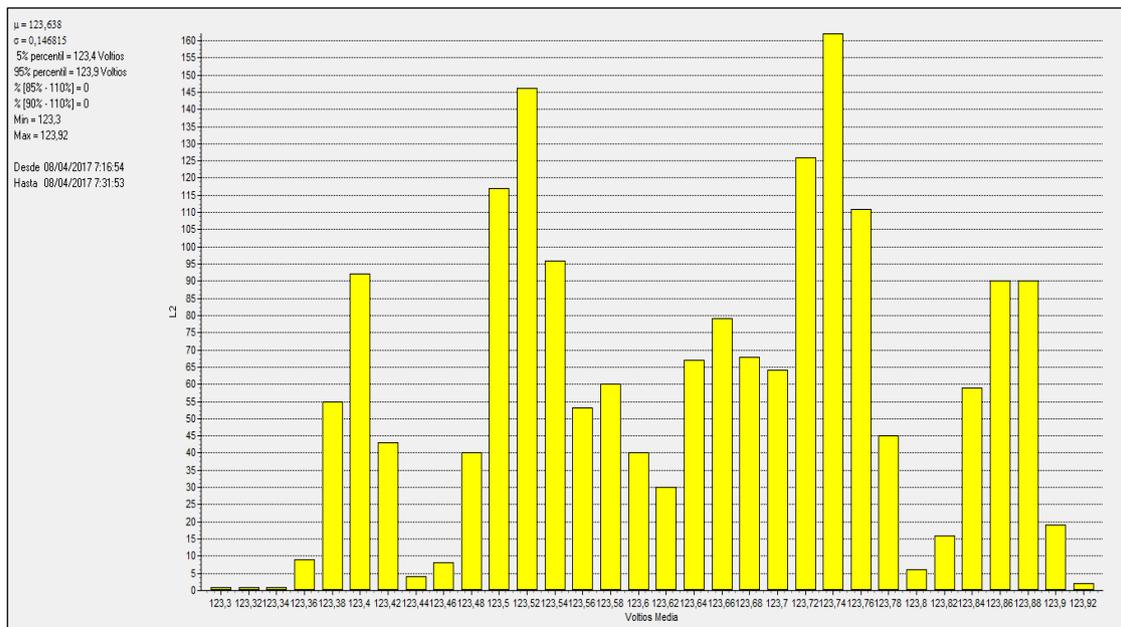
### 3.1.2.1.3. Registro de armónicos



**Figura 3.19:** Registro de armónicos.  
**Fuente:** Elaboración propia en Power Log 2.9.2.

En esta gráfica se puede observar con mayor claridad los resultados de las mediciones de armónicos en las formas de onda de corriente y voltaje y como se ve no existen en ninguno de los casos ni en corriente ni en voltaje armónicos que superen el 6% de distorsión armónica o el 8% del THD como exige la norma para garantizar una buena calidad de energía.

### 3.1.2.1.4. Estadística de voltaje

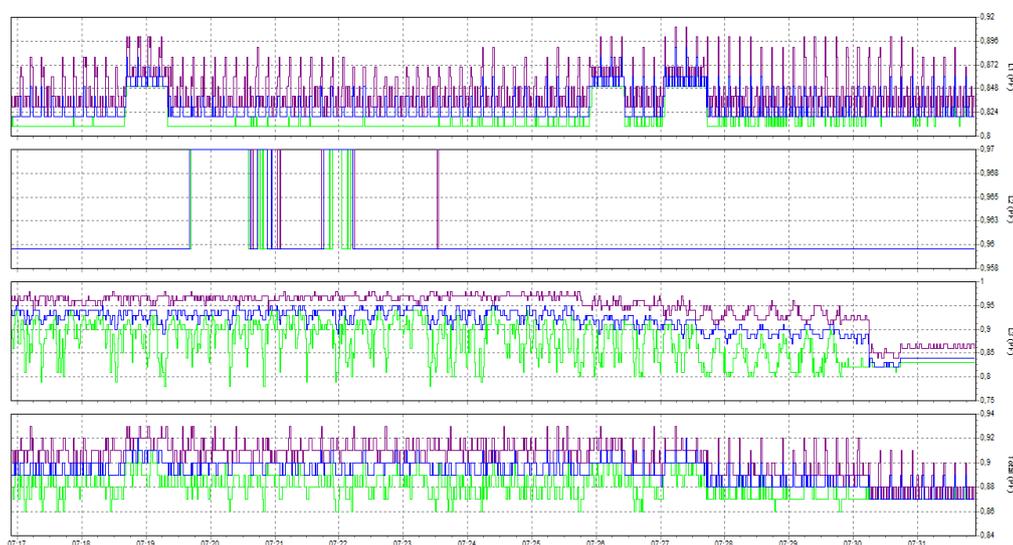


**Figura 3.20:** Estadística de voltaje.  
**Fuente:** Elaboración propia en Power Log 2.9.2.

Se puede observar en la gráfica que los niveles de voltaje están dentro de los parámetros establecidos por la normativa, en decir no superan la variación máxima permitida, que es del 5% hacia arriba o hacia abajo. Entonces se puede concluir que este no es un parámetro que interfiera con la calidad de la energía del laboratorio de control de calidad.

### 3.1.2.1.5. Gráfica factor de potencia

Como se puede observar en la medida del factor de potencia de la figura 3.21, no existen valores que estén fuera del rango para garantizar un buen funcionamiento de los equipos. Es decir, este parámetro no está afectando a la calidad de energía.



**Figura 3. 21:** Gráfica factor de potencia.  
**Fuente:** Elaboración propia en Power Log 2.9.2.

Estos son los resultados de las medidas de los parámetros más importantes para lograr una buena calidad de energía, para garantizar un buen funcionamiento del laboratorio de control de calidad de la Refinería Shushufindi.

Se ha realizado un análisis similar en los tableros de la cámara de central de aire, el tablero del área de cromatografía y el tablero del área de hidrocarburos. Obteniendo resultados que cumplen con los rangos establecidos por la norma al igual que en el tablero principal. Garantizando de esta manera formas de onda de voltaje y corriente sin perturbación y así una buena calidad de energía para el correcto funcionamiento de los equipos y dispositivos del laboratorio de control de calidad de la Refinería Shushufindi. Los resultados de las medidas de los tableros adicionales se presentan en el ANEXO 1

## CAPÍTULO IV

### **4. Propuesta**

#### **4.1. Título de la propuesta**

Migración de la alimentación del Laboratorio de Control de la Refinería Shushufindi, disminuyendo la incidencia de cortes de energía no programados.

#### **4.2. Justificación de la propuesta**

Se propone la reconexión de la alimentación del Laboratorio de Control de la Refinería Shushufindi, donde, sería mucho más factible que este sea conectado en el barraje de 480 V debido a que originalmente, está conectado en la línea de 4,160 kV, lo cual, por términos de seguridad, dicha conexión no debería estar así; es así como el laboratorio pudiera trabajar de manera más eficiente, y sin riesgo a daños debido a los armónicos que se pudieran producir en la línea de 4,160 kV.

#### **4.3. Objetivos de la propuesta**

##### **4.3.1. Objetivo General:**

Desarrollar un plan de Mejoras del Sistema Eléctrico del Edificio de Control de Calidad, proporcionando parámetros eléctricos adecuados para el correcto funcionamiento de los equipos, facilitando condiciones seguras para la manipulación y operación de los distintos equipos, eliminando riesgos de accidentes eléctricos.

##### **4.3.2. Objetivos Específicos:**

Describen las perturbaciones que generan distorsión a las señales de parámetros eléctricos y que son tenidas en cuenta en el estudio y monitoreo de Calidad de Energía Eléctrica CEL

Analizar las acometidas existentes en la distribución eléctrica y su incidencia en la calidad de energía.

Determinar mediciones en diferentes puntos del sistema del suministro eléctrico en el área de Laboratorio de Control de Calidad.

Identificar la medición y el registro de estos parámetros obtenidos por un analizador de redes (Fluke 434), en diferentes sitios del laboratorio de Control de Calidad en el Complejo Industrial Shushufindi.

Establecer acciones que conlleven al mantenimiento de los equipos

#### **4.4.Fundamentación teórica de la propuesta**

##### **4.4.1. Fundamentos Filosóficos:**

La sociedad y la industria actual poseen una penetración de alto grado en cuanto a equipamiento electrónico de diversas generaciones, vinculados al control de procesos, accionamiento, procesamiento de datos, comunicaciones y transmisión de información, dispositivos domésticos, comerciales y de entretenimiento entre otros.

Los fabricantes de este equipamiento electrónico, en un mercado altamente competitivo, diseñan la carga de sus equipos en el nivel de los normalizados por el sistema, de manera que las desviaciones dentro de esos límites no afecten el funcionamiento del mismo.

En el mundo, la electricidad se trata como una mercancía en un mercado con características peculiares, desde los mercados centralizados hasta los mercados desregulados, por ello, la definición de parámetros de calidad permite determinar las características de competitividad del producto de determinado suministrador.

Una deficiente calidad en el suministro de la energía eléctrica afecta, en mayor o menor grado, a otras tecnologías y procesos industriales, donde las pérdidas económicas que se generan por este concepto han crecido con el paso de los años.

La deficiente calidad en el suministro provoca una operación ineficiente e impropia, entre otros, en las redes eléctricas, y puede conducir a fallas o a incrementos en los costos de operación, los que, al final, redundan en pérdidas para las compañías del servicio eléctrico.

La propuesta Plan de mejoramiento del suministro de la energía en el laboratorio de control de calidad de energía en la refinería Shushufindi, posee principios basados en los límites de distorsión armónica estipulados en el estándar 519-1992 de la IEEE, establecen los límites que deben cumplir como mínimo las compañías proveedoras de electricidad y los usuarios individuales para garantizar un nivel apropiado de pureza en todo el sistema de distribución eléctrica.

Es menester resaltar que PSE para el laboratorio de control calidad tiene como fin presentar las especificaciones técnicas para una redistribución eléctrica basada en los resultados de carga obtenidas en la investigación. Incentivar al personal técnico una cultura, desarrollo de destrezas y experticia en el manejo del monitoreo y medición de CEL, teniendo presente que pueden sacarle provecho a los equipos de medición con los que disponen los diferentes departamentos de mantenimiento, así mismo proponiendo una alternativa que le de relevancia a la distribución eléctrica existente en otras estructuras o edificios del complejo industrial Shushufindi.

#### **4.4.2. Fundamentos Tecnológicos:**

El Plan de distribución de energía eléctrica, posee un significado psicológico, lo que quiere decir que es siempre idiosincrásico y se alcanza cuando el individuo asimila un significado lógico, en este caso sería el conocimiento de la distribución de la energía eléctrica. Es decir, en función de la nueva información y de su relación con las estructuras mentales del individuo se activan una serie de ideas que permite al ser humano lograr el aprendizaje.

Desde el punto de vista metodológico se asume la enseñanza de la ingeniería eléctrica, la cual se enfoca en múltiples aspectos, que van dando pertenencia a la sostenibilidad y la aplicación en todos los edificios del complejo industrial Shushufindi, en este caso es el plan de mejoramiento del suministro de la energía eléctrica en el laboratorio de control de calidad de la refinería Shushufindi.

Tras estos conceptos iniciales se puede definir la calidad de la energía.

#### **4.5. Beneficiarios**

La propuesta involucra como beneficiarios primeramente a los miembros del laboratorio de control de calidad de la Refinería Shushufindi ya que evitará riesgo de accidentes hacia el personal que manipula los equipos y riesgo de variación de parámetros eléctricos, así como provocar daños a los equipos, mediante la generación de acciones y estrategias perfectamente estructuradas se impulsará el bienestar social, ambiental y económico de la Refinería Shushufindi.

#### **4.6. Características del plan de distribución eléctrico del laboratorio de control de calidad de la refinería Shushufindi**

El Plan está concebido como un documento donde se esbozan y formulan líneas de acción para direccionar las estrategias a seguir cuyo fin es el formar una conducta preventiva como alcance evaluar las condiciones en las cuales se encuentran las instalaciones eléctricas en el edificio de control de calidad en el Complejo Industrial Shushufindi, para su posterior mejoramiento de acuerdo a especificaciones técnicas elaboradas con la ayuda de los resultados obtenidos. El enfoque de la investigación está dirigido al registro de los parámetros eléctricos, los efectos en el consumo de energía de los equipos y dotar de un buen estudio de la Calidad de Energía para ser presentada a empresas que exigen previa la venta e instalación de equipos para laboratorio. Siguiendo la definición de un plan de desarrollo sustentable, al respecto Sánchez (2005), alega que “plan se define como el conjunto coherente de metas e instrumentos que tiene como fin orientar una actividad humana en cierta dirección anticipada” (p.25).

En virtud a esta característica, es conveniente precisar que este plan se presenta como una herramienta flexible, en estrecha vinculación con los intereses y necesidades que presenta el laboratorio de control de calidad de la Refinería Shushufindi.

Es importante dar a conocer que el PSE mejora la calidad de energía eléctrica haciendo de la teoría del aprendizaje social la cual consiste en que la mente analiza el medio, lo interpreta, le da significado y dirige la conducta a través de las expectativas, actitudes, atribuciones y otros factores internos (Álvarez et. at., 2004). Cabe destacar, que el PSE está estructurado de la siguiente manera:

En primer lugar, los tableros de distribución serán estratégicamente instalados con la finalidad de cubrir todas las necesidades energéticas del Edificio de Control de Calidad.



**Figura 4.1:** Posible ruta de nueva acometida principal.  
**Fuente:** Refinería Shushufindi (2018).

En la parte exterior a LABCCRS se encuentra una Cámara de Transformación de 4160V a 220V/110V con un transformador de 150 KVA. Actualmente se encuentra con fusibles de 400Amp y un tablero de distribución de 220V /110V (TDE01) del cual salen las acometidas hacia el interior LABCCRS más específicamente al área de la central de aire acondicionado, en este lugar se encuentra un sub-tablero de distribución (PDL 01) y varios tableros pequeños que se requieren eliminar y colocar un nuevo tablero para distribución de tomacorrientes de 220V/110 V y otro tablero auto-soportado para control de toda la iluminación interior y exterior.



**Figura 4.2.:** Cámara de Transformación.  
**Fuente:** Refinería Shushufindi (2018)



**Figura 4.3:** Equipos UPS y Tableros de Distribución.  
**Fuente:** Refinería Shushufindi (2018).

La Cámara de Transformación cuenta con los siguientes equipos

- Transformador de 150 kVA.
- Tablero de distribución principal TDE 01
- Ups de 10 kVA Powerware 9155
- Ups Powerware 9170 plus
- Gabinete de baterías
- Tablero de distribución voltaje auto-soportado

Se construirá una nueva acometida desde la cámara de transformación desde el extremo izquierdo de forma soterrada con cajas de revisión, ductos de tubería rígida de 4 Pulgadas de diámetro con uniones y coronas en los extremos dos en paralelo una para cableado de acometidas de Voltaje Normal y la otra para acometidas de Voltaje auto-soportado de UPS 1 y 2 hacia los tableros según corresponda.

Cambio de acometidas principales desde la cámara de transformación hacia los nuevos tableros ubicados en central de aire acondicionado, Estas acometidas se realizarán con cables de calibre adecuado de acuerdo al resultado de análisis de carga presentado por la contratista previa aprobación de fiscalización

Montaje y conexionado de dos nuevos tableros de distribución eléctrica en donde se concentran todas las cargas eléctricas del edificio LABCCRS Estos tableros de

distribución tendrán un breaker principal de la capacidad que abastezca y proteja el tablero en general.



**Figura 4.4:** Cuarto Central de Aire Acondicionado.  
**Fuente:** Refinería Shushufindi (2015).

Del TDL 01 se distribuye para dos sub-tableros de distribución 220V/110V trifásicos, uno ubicado en Laboratorio de Hidrocarburos y el otro instalado en el área de Análisis Instrumental a estos los denominaremos como TDL 02 y TDL 03 respectivamente. De estos tableros se distribuyen según sea el área todos los circuitos de tomas 220V/110V incluido los circuitos de alumbrado.

Adicionalmente se encuentra un tablero UPS 2 de distribución de voltaje auto-soportado 220V/110V que viene del UPS 02 que se encuentra en la cámara de transformación y que alimenta varios circuitos que actualmente no poseen registros, al igual que el UPS 01. Posee un tablero UPS 01 que se encuentra en Laboratorio de Hidrocarburos.



**Figura 4.5:** Tablero de distribución de UPS 01.  
**Fuente:** Refinería Shushufindi (2018)



**Figura 4.6:** Tablero de distribución TDL 03.  
**Fuente:** Refinería Shushufindi (2018).

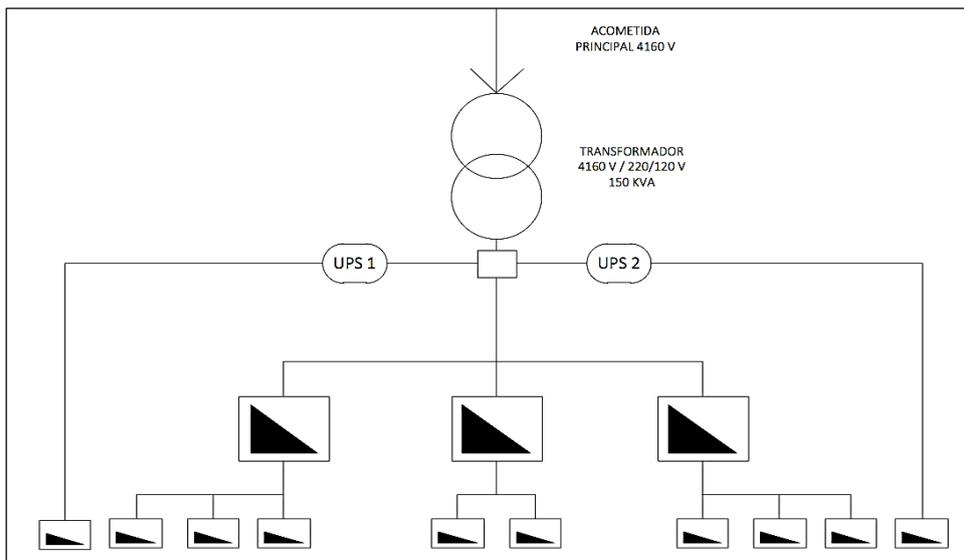
El TDL 03 está ubicado en el área de Análisis Instrumental y la distribución eléctrica tanto para tomas como para el alumbrado se encuentra tendido superficialmente (sobre pared) dando un mal aspecto y un desorden generado por la improvisación al momento de la instalación de equipos nuevos que se han incorporado en LABCCRS. Este tablero será reubicado en un sitio adecuado con la aprobación de fiscalización. Todos los tableros e instalaciones eléctricas serán empotrados.



**Figura 4.7:** Instalaciones Eléctricas Superficiales.  
**Fuente:** Refinería Shushufindi (2018).

Todos los equipos eléctricos de la cámara de transformación serán reubicados de tal forma que exista el espacio suficiente para realizar maniobras de control y mantenimiento: Estas tareas implican cambio de acometidas, construcción de trincheras y trabajos de obra civil que permitan dicho objetivo.

El esquema propuesto para la distribución de energía eléctrica para el edificio de control de calidad es el siguiente:



**Figura 4.8:** Esquema de distribución de energía en Laboratorio.  
**Fuente:** Elaboración Propia.

Tendrán tableros de distribución secundaria por separado para el sistema de tomacorrientes, sistema de iluminación, cargas especiales.

Se diseñarán circuitos en los que abarcarán varios tomacorrientes dependiendo la carga. Para empotrar la tubería habrá que picar las paredes con moladora o manual dependiendo de las condiciones en cada uno de los cuartos, se colocará la tubería con los soportes necesarios y luego se resanará, cubrirá, se dará el tratamiento y se pintará. El cable que se utilizará será cable flexible de cobre del diámetro apropiado según el diseño de la ingeniería.

Para el sistema de iluminación se reutilizarán las lámparas tipo fluorescente que están montadas actualmente en su mayoría. Se retirarán las lámparas fluorescentes de un solo ambiente (Laboratorio de Hidrocarburos) y se reemplazarán con luminarias tipo led.

La luminaria tipo LED que se utilice será similar a la siguiente figura y será de buena calidad y que cumpla las normas de fabricación y seguridad y certificada para instalación en Laboratorios de Hidrocarburos o lugares similares.



**Figura 4. 9:** Lámpara para Laboratorio tipo LED.  
**Fuente:** Refinería Shushufindi (2018).

Se incluye además la implementación del circuito de tomacorrientes alimentados con energía ininterrumpida que vendrá de los UPS's.

Para la verificación del mejoramiento del sistema eléctrico se realizarán nuevas mediciones utilizando el mismo procedimiento seguido al inicio cuando se detectaron los problemas con la finalidad de corroborar las mejoras implementadas. Luego de la implementación, se harán pruebas de calidad y eficiencia de la conexión a tierra de todo el edificio de control de calidad. La medida aceptada será menos de 5 ohm. El nuevo sistema de tierra se instalará al lado de la cámara de transformación, todos los equipos deben estar conectados a tierra.

## CONCLUSIONES

- Se realizaron las mediciones de los parámetros eléctricos con el equipo Fluke 434 en todos los tableros eléctricos instalados en el edificio de control de calidad durante varios días y diferentes espacios de tiempo de operación de los equipos obteniendo varios registros que permitieron analizar los resultados.
- Se analizaron los resultados obtenidos y se constató que los parámetros que determinan una buena calidad de energía se encuentran dentro de los rangos exigidos por la Resolución del CONELEC N° 004-01.
- Se utilizó el software Power World Simulator debido, permite la conexión de ‘cargas’ individuales, los cuales representaron a cada área dentro del laboratorio, pudiendo así simular como puede verse afectado cada área con el desbalance del sistema eléctrico de potencia aguas arriba, el simulador Power World, permite un adecuado flujo de potencia, incluido el análisis especificado de los tipos de fallas que este puede presentar.
- En el caso real, el factor de potencia, si bien está dentro de los parámetros, este es un valor con el que se debe considerar un mejoramiento, dicho en otras palabras, se podría mejorar este valor aplicando compensadores reactivos tales como banco de capacitores, justo en el barraje del laboratorio.
- Tanto en la simulación como en el aspecto real, se considera que la calidad energética es la adecuada para el laboratorio de control de calidad según los límites admisibles para los parámetros eléctricos según la Resolución del CONELEC N°004-01.

## RECOMENDACIONES

- Se debería implementar un sistema de coordinación de aislamientos, para proteger a los equipos de laboratorio en caso de algún desbalance dentro del sistema eléctrico aguas arriba.
- La presente investigación dejó al descubierto varias deficiencias con respecto al incremento de equipos durante los años de existencia del laboratorio de control de calidad, especialmente la de no exigir a los proveedores la información sobre la calidad eléctrica exigida para un funcionamiento correcto.
- Los equipos de respaldo UPS (Uninterruptible Power Supply) que son los encargados de suministrar energía cuando no hay fluido en la red se encuentran en mal estado se recomienda cambio de equipos más modernos y de mejores prestaciones.
- Los estudios de calidad de energía eléctrica se deben realizar con mayor frecuencia, y observando los parámetros exigidos por los fabricantes de los equipos, para generar los informes cuando se produzca un daño y por ende un reclamo a la empresa que suministra los mencionados equipos.
- Finalmente, antes de adquirir un equipo para el laboratorio coordinar con el departamento eléctrico para verificar la disponibilidad de carga, y puntos apropiados para proporcionar instalaciones más seguras tanto para el personal que labora en el departamento como para la integridad de los equipos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguinsaca, J., & Miranda, C. (2015). Modelamiento y Monitoreo del Sistema Eléctrico de la Cámara de Transformación CT2 de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L Empleando Software ETAP. Latacunga, Ecuador.
- Bolivia, P. d. (17 de junio de 2017). AJUSTE DE TARIFA ELÉCTRICA NO DEBE PASAR EL 3%. La Paz, Bolivia.
- Cargas no lineales en los transformadores de distribución. (12 de Julio de 2013). Obtenido de EnergyTel: <http://energytel.typepad.com/energytel/2013/07/cargas-no-lineales-en-los-transformadores-de-distribuci%C3%B3n.html>
- Cervantes, O. (enero de 2014). Metodología de Medicion de Calidad de Energía Eléctrica en Base a Normas Nacionales e Internacionales para la Universidad de la Costa - CUC. Barranquilla.
- D4V1D83FY. (30 de abril de 2015). Distribución de la energía eléctrica. Obtenido de Electro FY: <http://electrofy.blogspot.com/2015/04/distribucion-de-la-energia-electrica.html>
- De La Torre, A., Cepeda, J., & Herrera, J. (2013). Implementación de un sistema de monitoreo de área extendida WAMS en el Sistema Nacional Interconectado del Ecuador SNI. INGENIUS - Revista de Ciencia y Tecnología, 34-43.
- EMPRESAS DISTRIBUIDORA DE ENERGÍA. (2016-2017). Obtenido de Directorio Eléctrico ecuatoriano: [http://www.directorioelectricoecuadoriano.com/index.php?option=com\\_mtree&task=listcats&cat\\_id=130&Itemid=6](http://www.directorioelectricoecuadoriano.com/index.php?option=com_mtree&task=listcats&cat_id=130&Itemid=6)
- Hart, D., Uy, D., Gharpure, V., Novosel, D., Karlsson, D., & Kaba, M. (2001). Unidades PMU Supervisión de las redes eléctricas: un nuevo enfoque. Revista ABB.

Holguin, M., & Gomez, D. (marzo de 2010). Análisis de Calidad de Energía Eléctrica en el Nuevo Campus de la Universidad Politécnica Salesiana. Guayaquil, Ecuador.

IEEE. (2017). Obtenido de IEEE-SA: <http://standards.ieee.org/index.html>

NEMA The Association of Electrical Equipment and Medical Imaging Manufacturers. (2017). Obtenido de NEMA: <https://www.nema.org/pages/default.aspx>

Wikipedia, C. d. (3 de agosto de 2017). Unidad Terminal Remota. Obtenido de Wikipedia, La enciclopedia libre: [https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Unidad\\_Terminal\\_Remota&oldid=100903771](https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Unidad_Terminal_Remota&oldid=100903771)

# **ANEXOS**

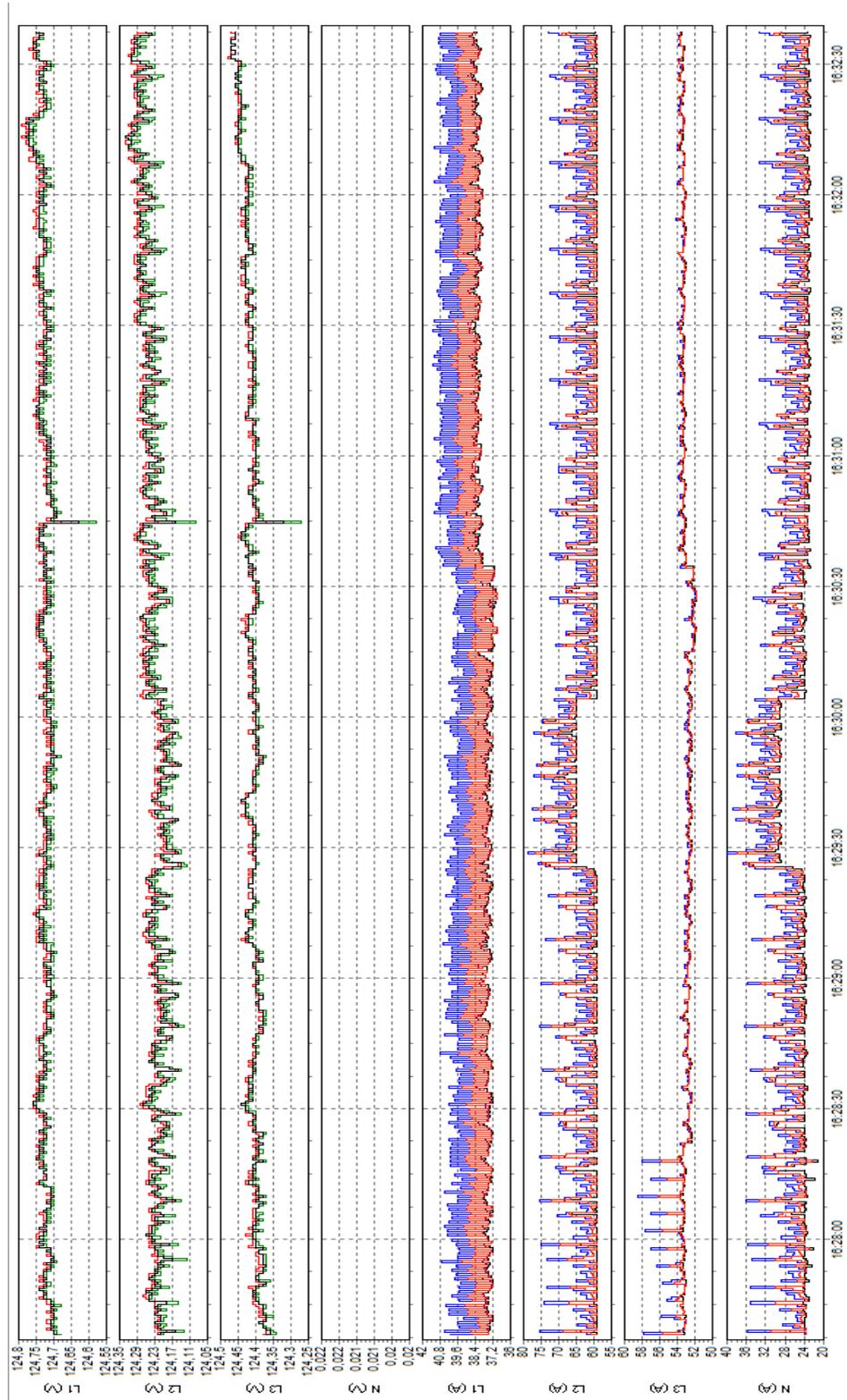
ANEXO 1.

TABLERO CÁMARA DE TRANSFORMACIÓN  
REGISTRO DE MEDICIONES

Fecha	Función	L1 Min	L1 Med	L1 Max	L2 Min	L2 Med	L2 Max	L3 Min	L3 Med	L3 Max	N Min	N Med	N Max	Total Min
29/07/2017 16:27:30.22ms	Tensión	124.68V	124.69V	124.69V	124.21V	124.22V	124.22V	124.37V	124.37V	124.38V	0.02V	0.02V	0.02V	
29/07/2017 16:27:30.22ms	Corriente	37.5A	38.5A	40.1A	59.2A	59.2A	59.3A	53.4A	53.8A	53.8A	23.6A	23.7A	23.8A	
29/07/2017 16:27:30.22ms	Tensión de Pico	176.2V	176.2V	176.3V	175.2V	175.3V	175.4V	176.6V	176.8V	177V	0V	0V	0.1V	
29/07/2017 16:27:30.22ms	Corriente de Pico	63.6A	65.4A	69.4A	86.4A	86.5A	86.9A	82A	86.4A	91A	40.2A	41.4A	43.2A	
29/07/2017 16:27:30.22ms	V Factor de Cuesta	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.42	1.42	1.42	327.67	327.67	327.67	
29/07/2017 16:27:30.22ms	A Factor de Cuesta	1.69	1.7	1.73	1.44	1.45	1.45	1.54	1.6	1.69	1.7	1.75	1.81	
29/07/2017 16:27:30.22ms	Tensión de Medio Ciclo	124.65V	124.67V	124.69V	124.19V	124.21V	124.24V	124.34V	124.37V	124.38V	0.02V	0.02V	0.02V	
29/07/2017 16:27:30.22ms	Corriente de Medio Ciclo	37.3A	38.5A	42.6A	59.5A	59.2A	59.9A	53.1A	53.4A	58A	20A	23.7A	24.8A	
29/07/2017 16:27:30.22ms	Potencia Activa	4.688 kW	4.688 kW	4.884 kW	6.3 kW	6.312 kW	6.32 kW	6.516 kW	6.532 kW	6.564 kW				17.38 kW
29/07/2017 16:27:30.22ms	Potencia Aparente	4.636 kVA	4.756 kVA	4.952 kVA	7.348 kVA	7.352 kVA	7.355 kVA	6.628 kVA	6.648 kVA	6.676 kVA				18.612 kW
29/07/2017 16:27:30.22ms	Potencia Reactiva	-0.808 kVAR	-0.804 kVAR	-0.795 kVAR	3.76 kVAR	3.768 kVAR	3.78 kVAR	1.216 kVAR	1.224 kVAR	1.236 kVAR				4.188 kW
29/07/2017 16:27:30.22ms	Factor de Potencia	0.98	0.98	0.98	0.86	0.86	0.86	0.98	0.98	0.98				0.93
29/07/2017 16:27:30.22ms	DPF	0.98	0.99	0.99	0.86	0.86	0.86	0.98	0.98	0.98				0.93
29/07/2017 16:27:30.22ms	Frecuencia	60.008 Hz	60.008 Hz	60.008 Hz										
29/07/2017 16:27:30.22ms	Factor K A	3.77	3.8	3.82	1.26	1.26	1.26	1.78	1.79	1.8	7.37	7.47	7.56	
29/07/2017 16:27:30.22ms	THD V	0.98%	0.98%	0.98%	0.91%	0.91%	0.91%	0.96%	0.96%	0.96%	75.09%	75.71%	76.36%	
29/07/2017 16:27:30.22ms	THD A	13.08%	13.13%	13.16%	3.94%	3.94%	3.94%	5%	5.06%	5.1%	18.37%	18.52%	18.68%	
29/07/2017 16:27:30.22ms	THD W	0.03%	0.04%	0.04%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%				
29/07/2017 16:27:30.22ms	Phi		0			0		0	0					
29/07/2017 16:27:30.22ms	Pst		0			0		0	0					
29/07/2017 16:27:30.22ms	Desequilibrio Vn													0.13%
29/07/2017 16:27:30.22ms	Desequilibrio An													28.22%
29/07/2017 16:27:30.22ms	Cos Phi	0.99	1	1	0.87	0.87	0.87	0.99	0.99	0.99				
29/07/2017 16:27:30.22ms	Energía activa		0.00 Wh	0.00 Wh	0.00 Wh	0.00 Wh	0.00 Wh	0.00 Wh	0.00 Wh	0.00 Wh				
29/07/2017 16:27:30.22ms	Energía Aparente		0.00 VAh	0.00 VAh	0.00 VAh	0.00 VAh	0.00 VAh	0.00 VAh	0.00 VAh	0.00 VAh				
29/07/2017 16:27:30.22ms	Energía Reactiva		0.00 VARh	0.00 VARh	0.00 VARh	0.00 VARh	0.00 VARh	0.00 VARh	0.00 VARh	0.00 VARh				
29/07/2017 16:27:30.22ms	Tensión	124.69V	124.7V	124.7V	124.2V	124.21V	124.22V	124.34V	124.35V	124.37V	0.02V	0.02V	0.02V	
29/07/2017 16:27:30.22ms	Corriente	37.5A	37.5A	37.5A	59.2A	60.7A	62.1A	53.2A	55.8A	57.8A	23.6A	23.7A	23.9A	
29/07/2017 16:27:30.22ms	Tensión de Pico	176.2V	176.3V	176.3V	175.2V	175.3V	175.3V	176.7V	176.7V	176.7V	0V	0V	0.1V	
29/07/2017 16:27:30.22ms	Corriente de Pico	63.6A	63.6A	63.8A	86.4A	91.4A	92.2A	81.6A	88.4A	95A	40.2A	44A	47.6A	
29/07/2017 16:27:30.22ms	V Factor de Cuesta	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.42	1.42	1.42	327.67	327.67	327.67	
29/07/2017 16:27:30.22ms	A Factor de Cuesta	1.69	1.7	1.7	1.44	1.5	1.57	1.53	1.59	1.64	1.69	1.85	2.02	
29/07/2017 16:27:30.22ms	Tensión de Medio Ciclo	124.67V	124.68V	124.7V	124.14V	124.21V	124.23V	124.3V	124.36V	124.39V	0.01V	0.02V	0.02V	

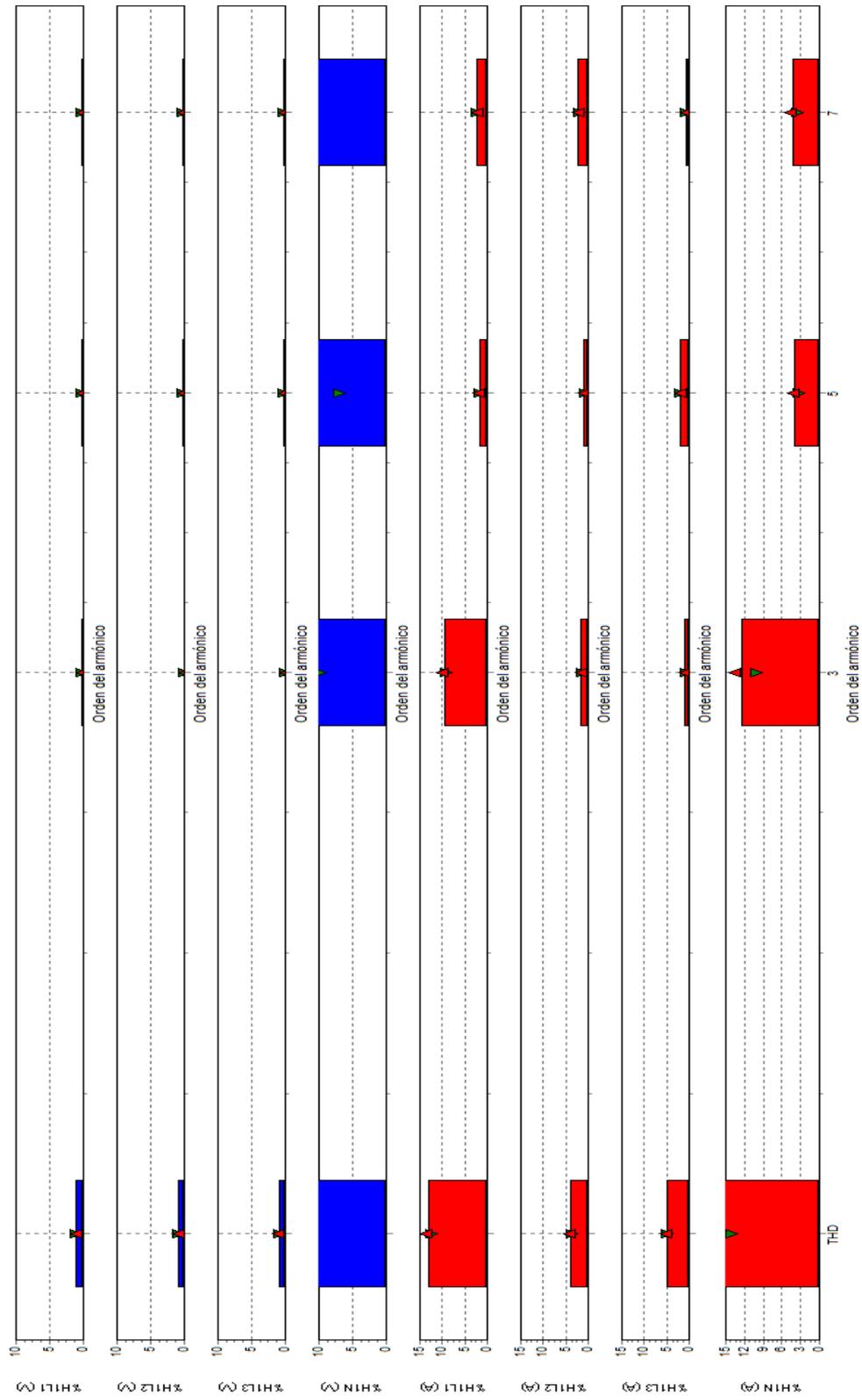
## ANEXO 2.

### GRÁFICA VOLTAJE Y CORRIENTE



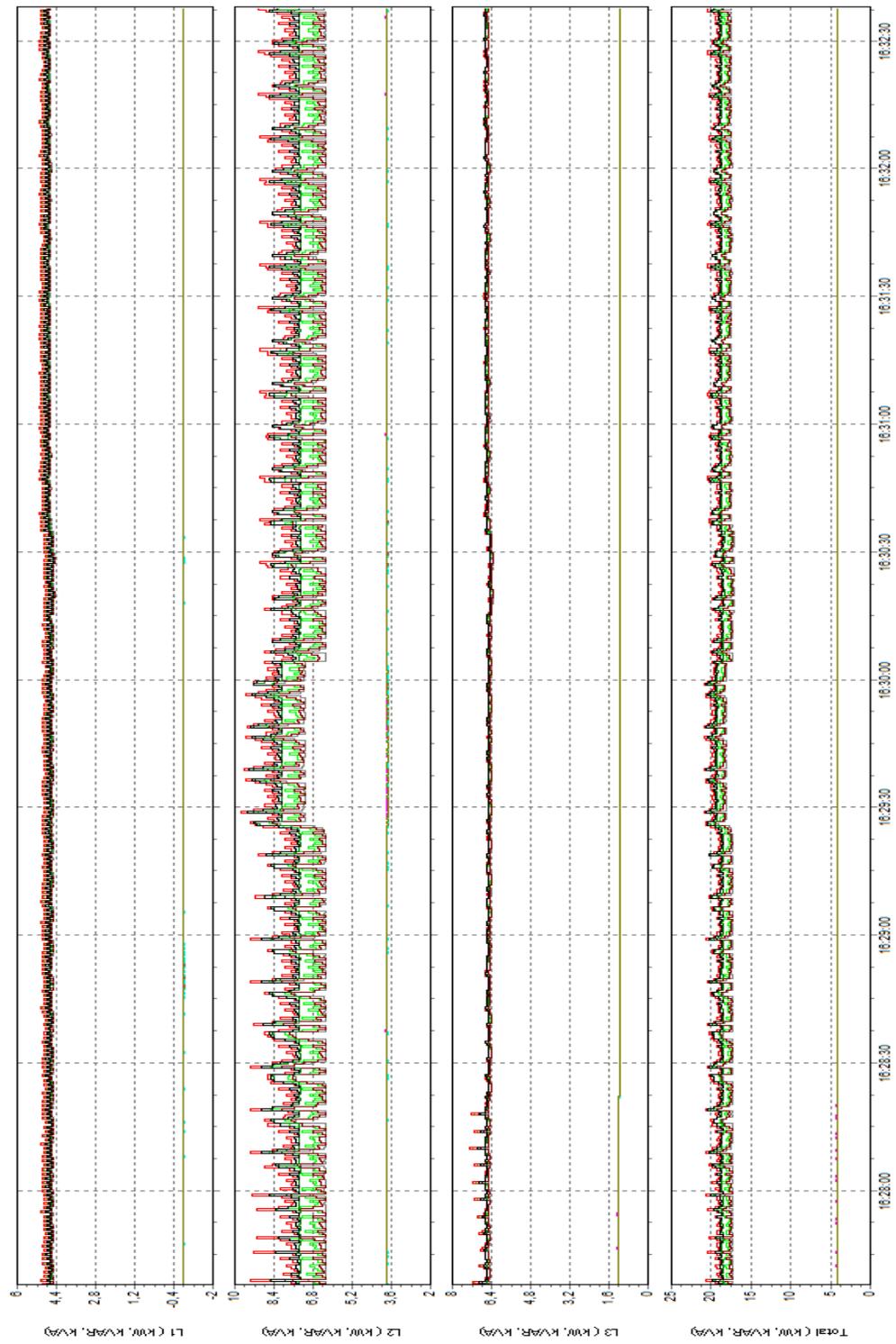
# ANEXO 3.

## REGISTRO DE ARMÓNICOS



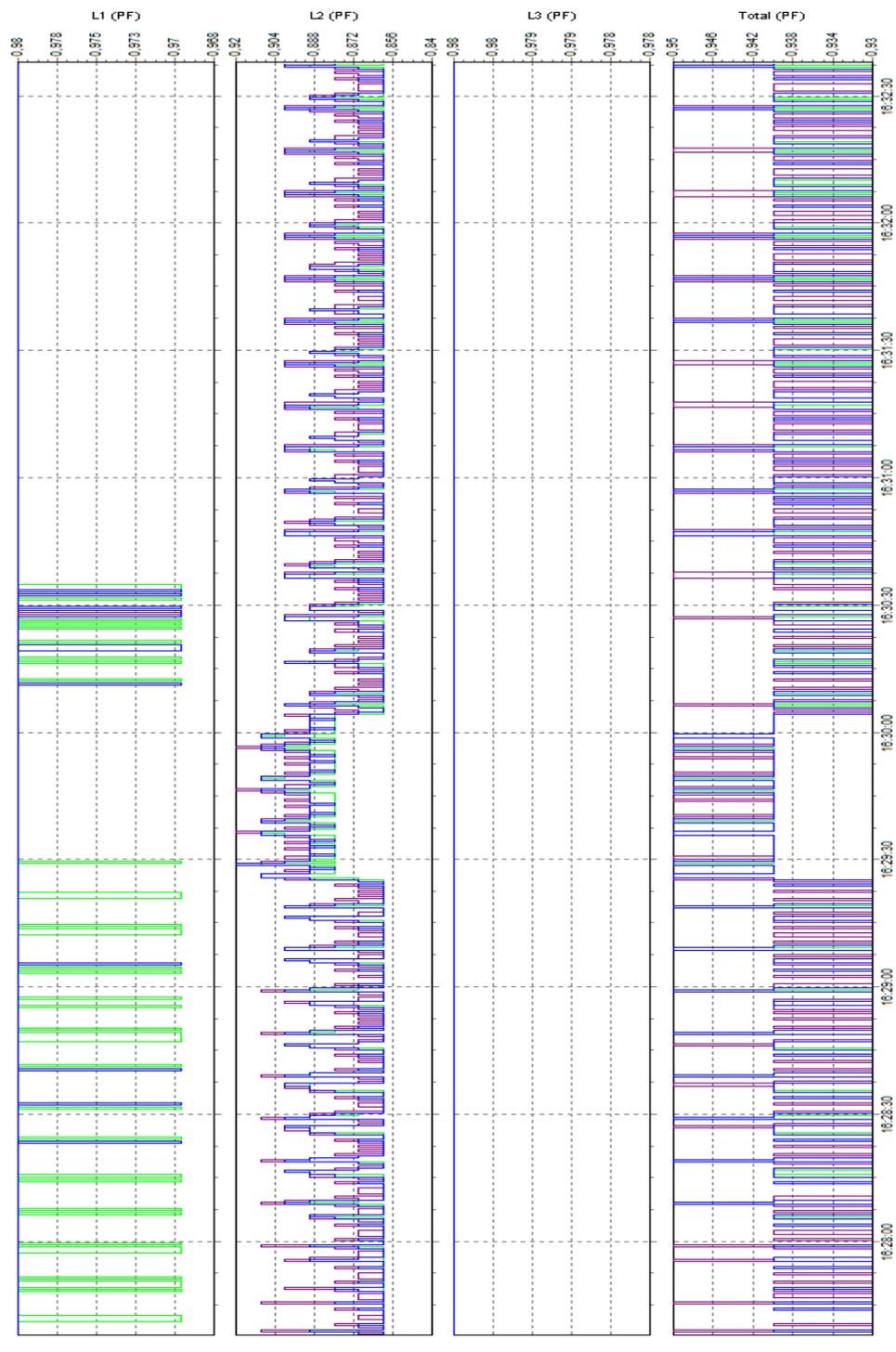
## ANEXO 4.

### GRÁFICA DE POTENCIA



## ANEXO 5.

### GRÁFICA DE FACTOR DE POTENCIA



# ANEXO 6.

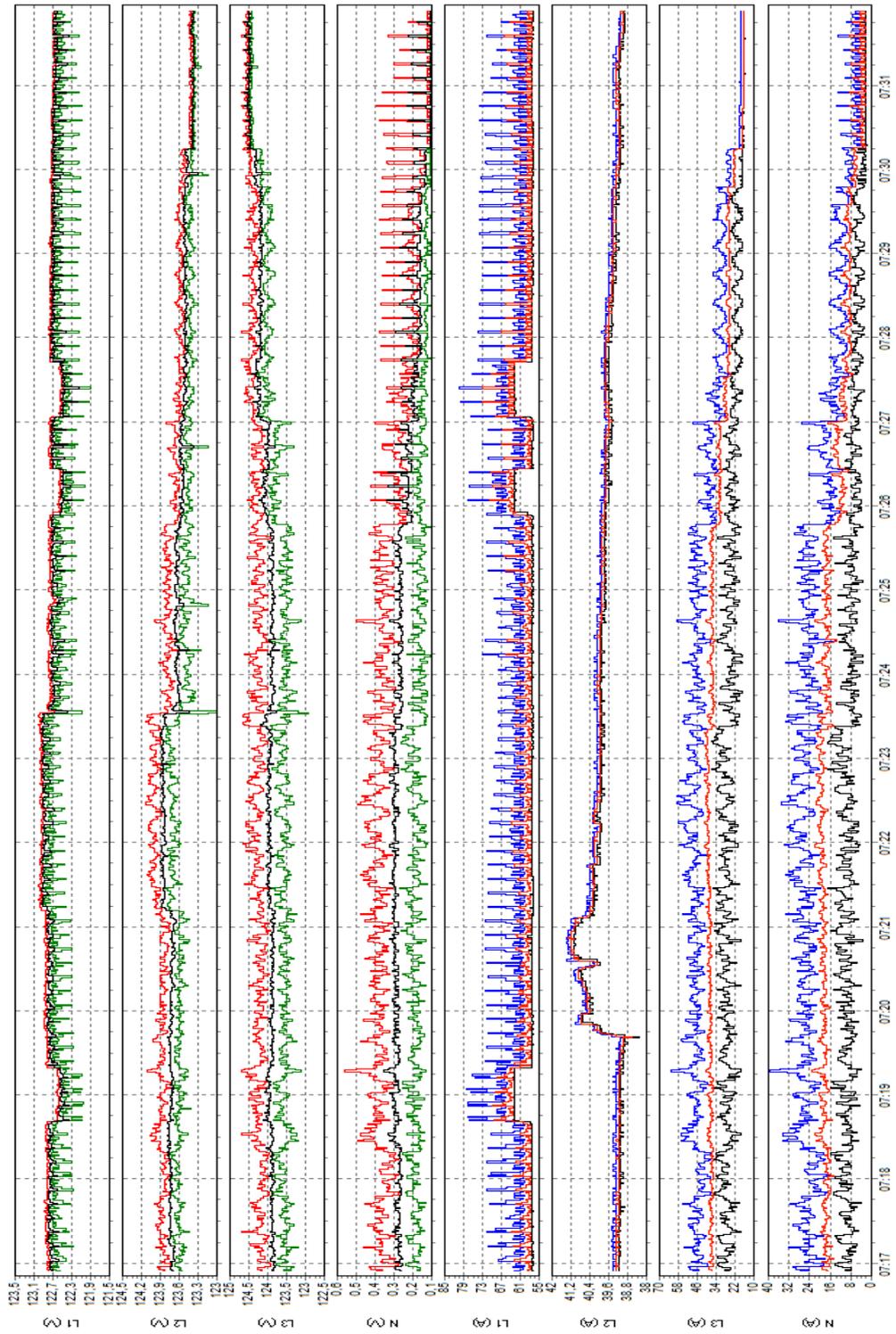
## TABLERO CENTRAL DE AIRE

### REGISTRO DE MEDICIÓN

Fecha	Función	L1 Max	L2 Min	L2 Med	L2 Max	L3 Min	L3 Med	L3 Max	N Min	N Med	N Max	Total Min	Total Med	Total Max
30/04/2017 7:16:54 602ms	Tensión	122,8V	123,55V	123,69V	123,96V	123,4V	123,85V	124,18V	0,16V	0,26V	0,39V			
30/04/2017 7:16:54 602ms	Corriente	62,7 A	39,3A	39,3A	39,4A	25,6A	36,5A	49A	7,8A	17A	27,5A			
30/04/2017 7:16:54 602ms	Tensión de Pico	173,2V	176V	176,6V	177,2V	174,9V	176,6V	176,1V	0,6V	1,2V	1,9V			
30/04/2017 7:16:54 602ms	Corriente de Pico	98,8A	58,6A	59A	59,8A	38,6A	60A	84,6A	13,2A	29,2A	51,4A			
30/04/2017 7:16:54 602ms	V Factor de Cresta	1,41	1,42	1,43	1,43	1,42	1,42	1,42	327,67	327,67	327,67			
30/04/2017 7:16:54 602ms	A Factor de Cresta	1,58	1,49	1,51	1,53	1,55	1,66	1,87	1,67	1,83	2,14			
30/04/2017 7:16:54 602ms	Tensión de Medio Ciclo	122,83V	123,51V	123,67V	123,94V	123,08V	123,84V	124,35V	0,16V	0,26V	0,48V			
30/04/2017 7:16:54 602ms	Corriente de Medio Ciclo	68,7 A	37,6A	39,3A	41A	21,2A	36,5A	58,3A	6,3A	17A	34,3A			
30/04/2017 7:16:54 602ms	Potencia Activa	6,484 kW	4,652 kW	4,672 kW	4,688 kW	2,84 kW	4,152 kW	5,844 kW				13,195 kW	14,684 kW	16,228 kW
30/04/2017 7:16:54 602ms	Potencia Aparente	7,684 kVA	4,84 kVA	4,856 kVA	4,876 kVA	3,176 kVA	4,416 kVA	6,044 kVA				15,012 kVA	16,416 kVA	17,932 kVA
30/04/2017 7:16:54 602ms	Potencia Reactiva	4,12 kVAR	1,324 kVAR	1,328 kVAR	1,336 kVAR	1,408 kVAR	1,472 kVAR	1,544 kVAR				6,88 kVAR	6,884 kVAR	6,972 kVAR
30/04/2017 7:16:54 602ms	Factor de Potencia	0,84	0,96	0,96	0,96	0,9	0,94	0,97				0,88	0,89	0,91
30/04/2017 7:16:54 602ms	DIFF	0,85	0,96	0,96	0,96	0,9	0,94	0,97				0,88	0,9	0,91
30/04/2017 7:16:54 602ms	Frecuencia	59,984 Hz												
30/04/2017 7:16:54 602ms	Factor K A	1,18	1,02	1,02	1,02	1,31	1,33	1,35	1,32	1,35	1,36			
30/04/2017 7:16:54 602ms	THD V	1,2%	0,98%	0,98%	0,98%	1,1%	1,11%	1,11%	36,12%	37,61%	38,43%			
30/04/2017 7:16:54 602ms	THD A	3,85%	3,73%	3,76%	3,78%	7,97%	8,23%	8,41%	8,43%	8,81%	9,17%			
30/04/2017 7:16:54 602ms	THD W	0,02%	0%	0%	0%	0,02%	0,02%	0,02%						
30/04/2017 7:16:54 602ms	PII		0	0	0		0							
30/04/2017 7:16:54 602ms	Pst		0	0	0		0							
30/04/2017 7:16:54 602ms	Desajuste Vn											0,18%	0,26%	0,32%
30/04/2017 7:16:54 602ms	Desajuste An											10,07%	22,32%	32,17%
30/04/2017 7:16:54 602ms	Cos Phi	0,86	0,97	0,97	0,97	0,91	0,95	0,98						
30/04/2017 7:16:55 602ms	Tensión	122,8V	123,6V	123,71V	123,93V	123,57V	123,88V	124,16V	0,18V	0,27V	0,36V			
30/04/2017 7:16:55 602ms	Corriente	60,9 A	39,2A	39,3A	39,4A	28,6A	37,1A	45,2A	10,3A	17,6A	24,4A			
30/04/2017 7:16:55 602ms	Tensión de Pico	173,2V	176,1V	176,4V	177,2V	175,2V	176,3V	176,3V	0,6V	0,9V	1,7V			
30/04/2017 7:16:55 602ms	Corriente de Pico	99,4A	58,4A	58,8A	59,4A	51,2A	63,4A	79A	22,8A	33,4A	48,4A			
30/04/2017 7:16:55 602ms	V Factor de Cresta	1,41	1,42	1,43	1,43	1,42	1,42	1,42	327,67	327,67	327,67			
30/04/2017 7:16:55 602ms	A Factor de Cresta	1,66	1,49	1,5	1,51	1,53	1,76	2,11	1,73	2,08	2,67			
30/04/2017 7:16:55 602ms	Tensión de Medio Ciclo	122,84V	123,39V	123,7V	123,98V	123,19V	123,87V	124,5V	0,12V	0,27V	0,45V			
30/04/2017 7:16:55 602ms	Corriente de Medio Ciclo	69,2A	37,6A	39,3A	40,9A	16,9A	37,1A	54,4A	3,4A	17,6A	32A			
30/04/2017 7:16:55 602ms	Potencia Activa	6,216 kW	4,656 kW	4,672 kW	4,686 kW	3,112 kW	4,192 kW	5,392 kW				13,636 kW	14,816 kW	16,172 kW
30/04/2017 7:16:55 602ms	Potencia Aparente	7,468 kVA	4,844 kVA	4,86 kVA	4,88 kVA	3,544 kVA	4,5 kVA	5,992 kVA				15,512 kVA	16,588 kVA	17,836 kVA
30/04/2017 7:16:55 602ms	Potencia Reactiva	4,144 kVAR	1,316 kVAR	1,332 kVAR	1,344 kVAR	1,38 kVAR	1,588 kVAR	1,716 kVAR				6,864 kVAR	7,02 kVAR	7,124 kVAR
30/04/2017 7:16:55 602ms	Factor de Potencia	0,83	0,96	0,96	0,96	0,88	0,93	0,96				0,88	0,89	0,91
30/04/2017 7:16:55 602ms	DIFF	0,84	0,96	0,96	0,96	0,92	0,95	0,97				0,89	0,9	0,91

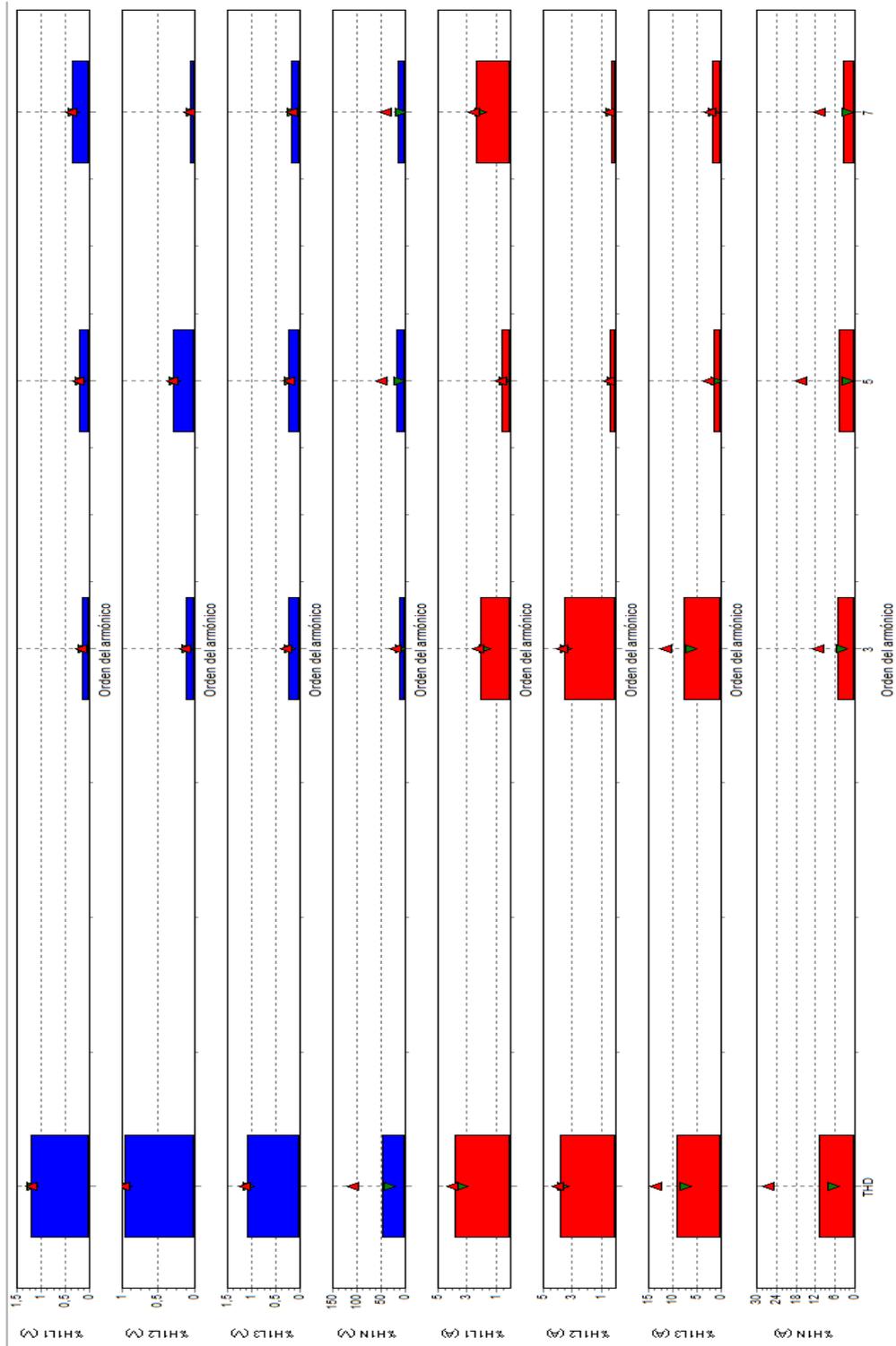
# ANEXO 7.

## GRÁFICA VOLTAJE Y CORRIENTE



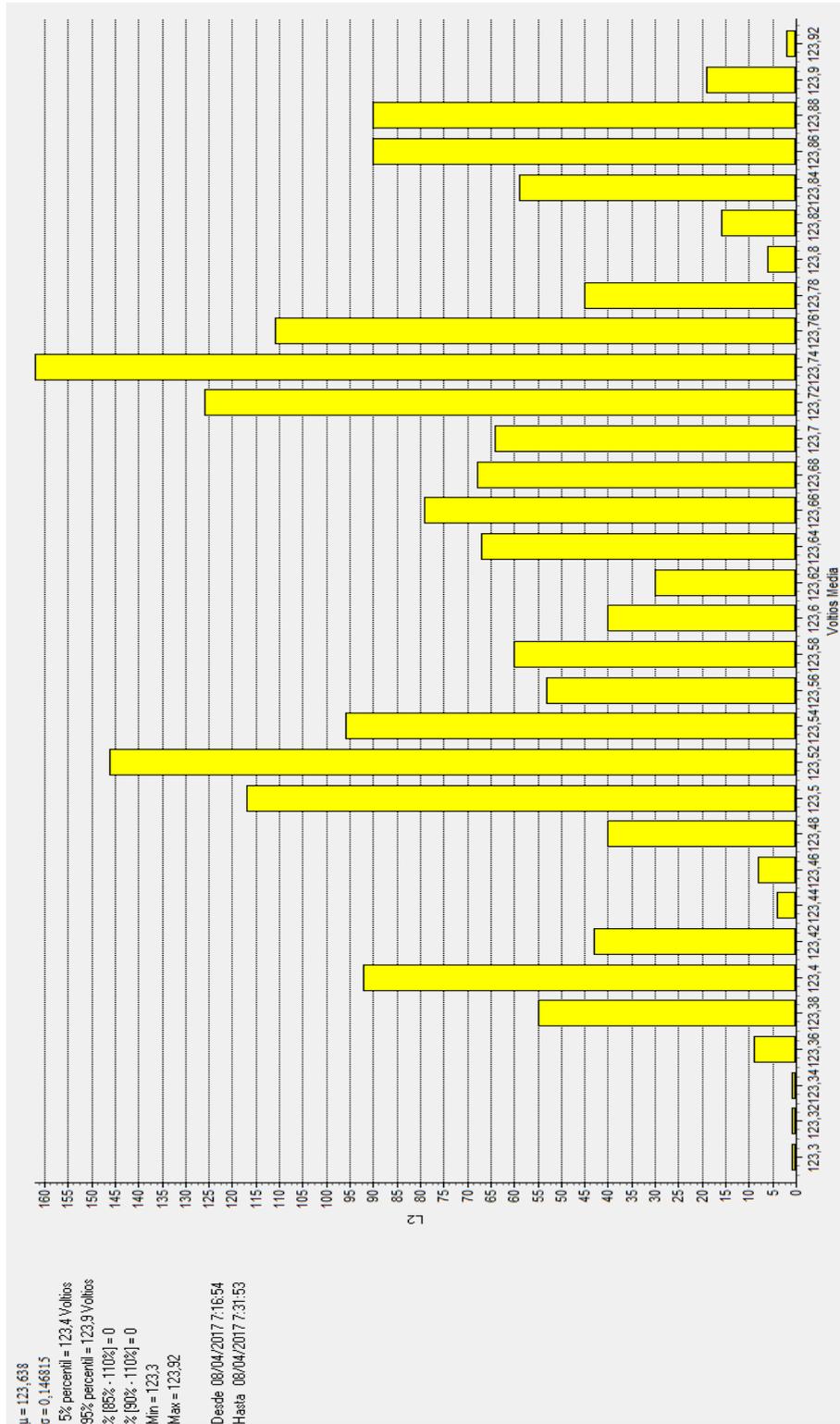
# ANEXO 8.

## REGISTRO DE ARMÓNICOS



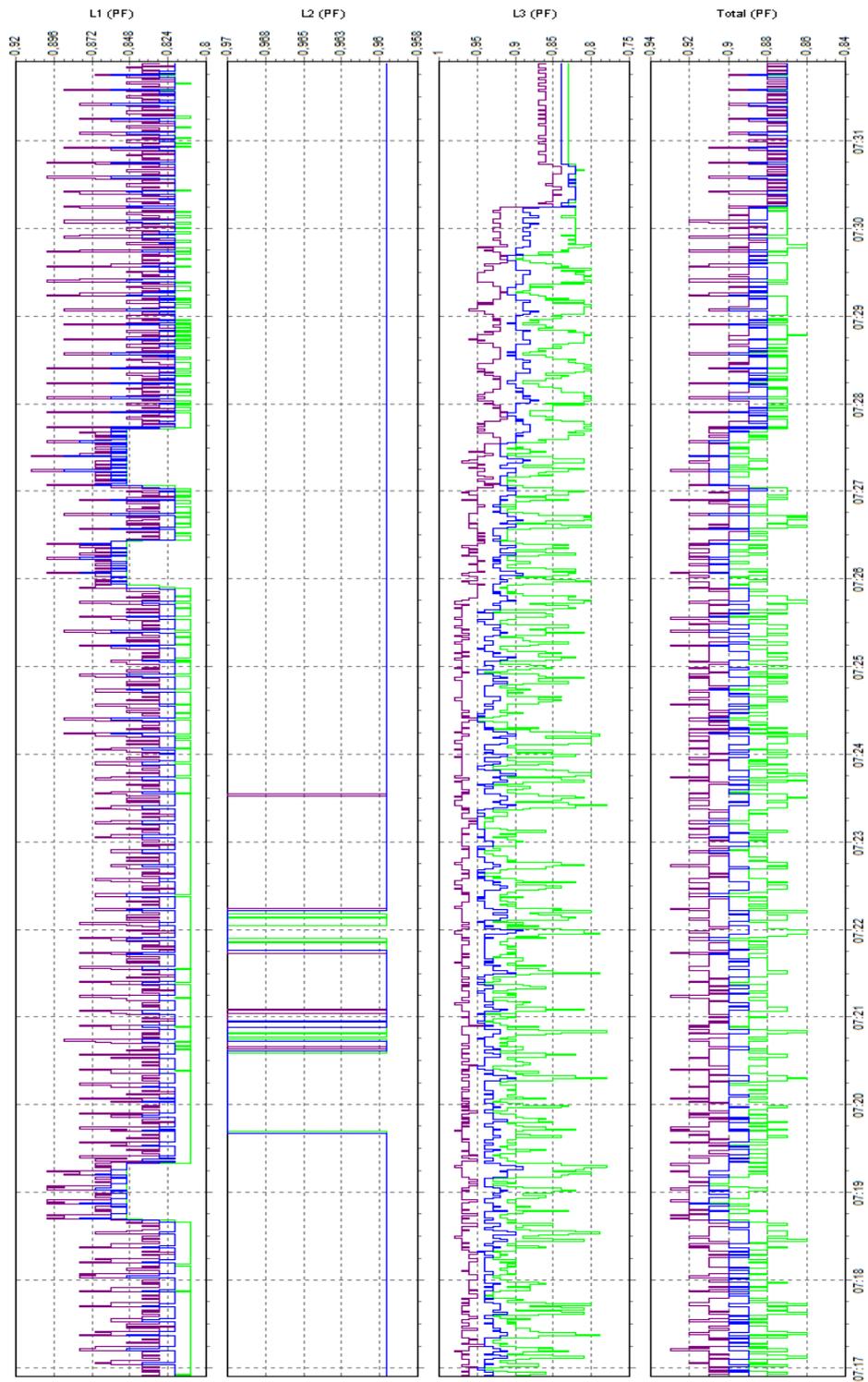
# ANEXO 9.

## ESTADÍSTICA DE VOLTAJE



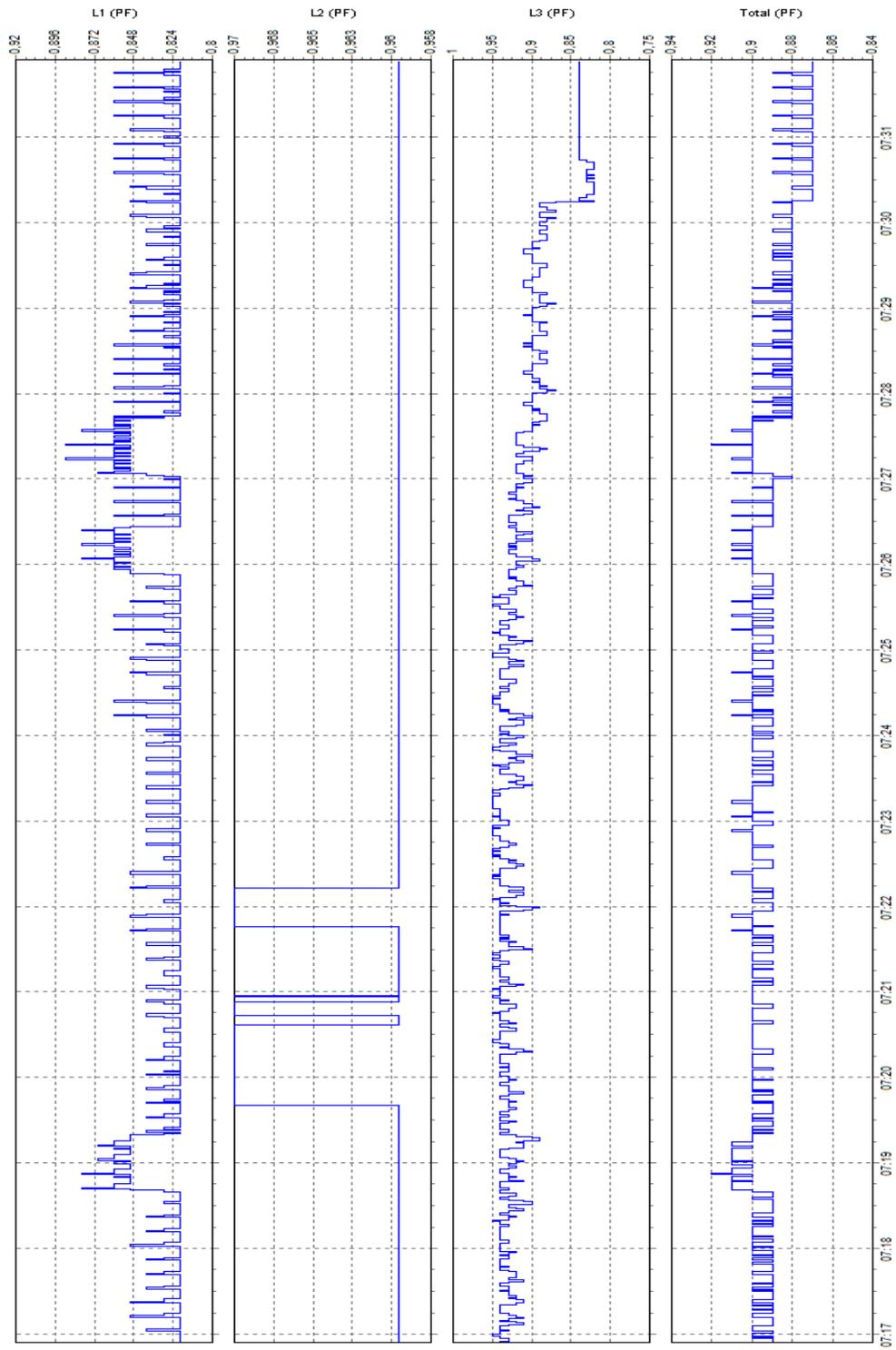
# ANEXO 10.

## GRÁFICA DE POTENCIA



# ANEXO 11.

## GRÁFICA DE FACTOR DE POTENCIA



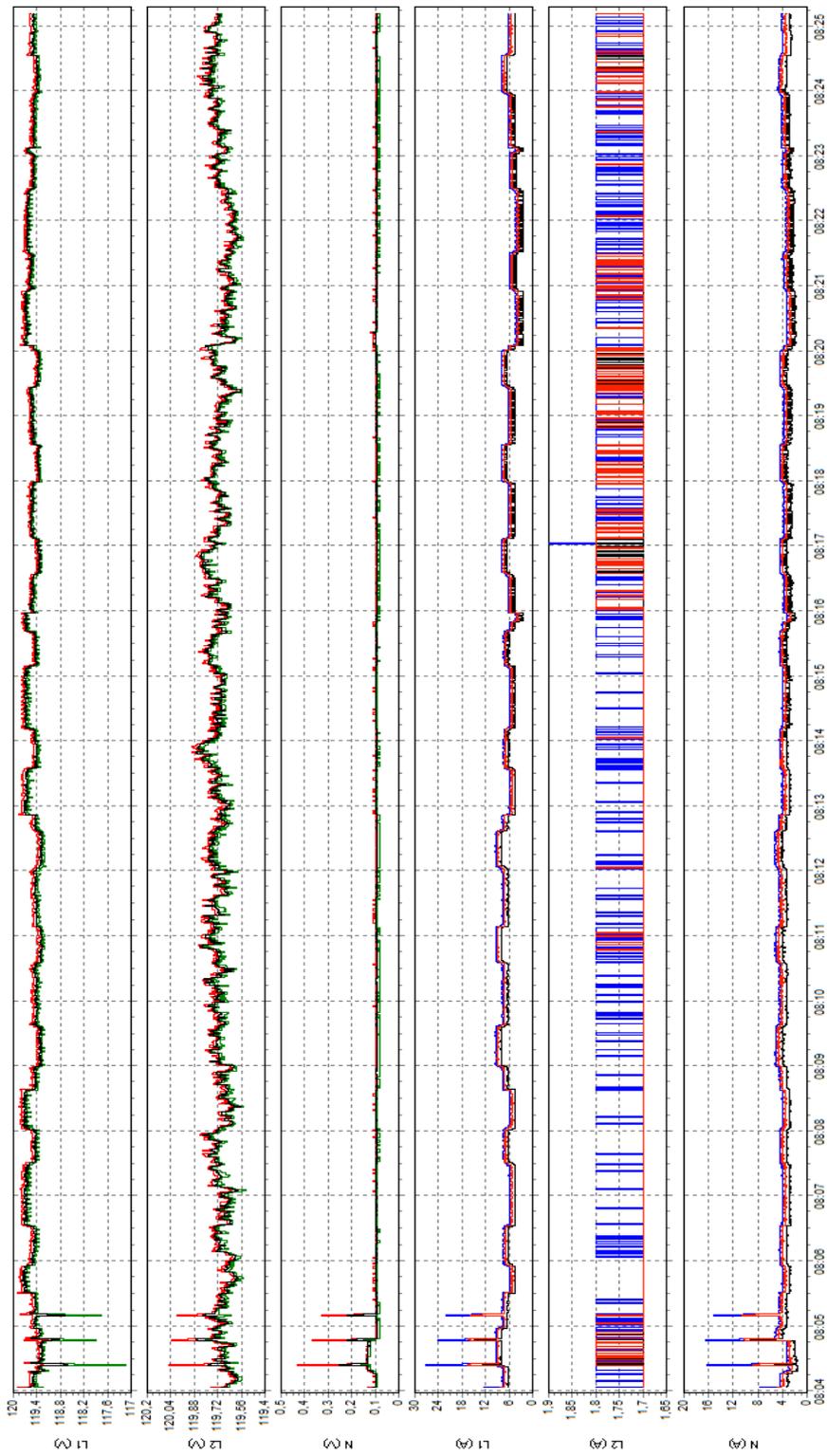
ANEXO 12.

REGISTRO EN TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ÁREA DE CROMATOGRFÍA

Fecha	Función	Duración	L1 Min	L1 Med	L1 Max	L2 Min	L2 Med	L2 Max	N Min	N Med	N Max
08/04/2017 8:04:03 220ms	Tensión		119,23 V	119,63 V	119,89 V	119,66 V	119,69 V	119,77 V	0,09 V	0,11 V	0,13 V
08/04/2017 8:04:03 220ms	Corriente		6,3 A	8,4 A	12,3 A	1,7 A	1,7 A	1,8 A	3,2 A	4,8 A	7,7 A
08/04/2017 8:04:03 220ms	Tensión de Pico		171,3 V	171,4 V	171,6 V	169,1 V	169,2 V	169,3 V	0,3 V	0,4 V	0,4 V
08/04/2017 8:04:03 220ms	Corriente de Pico		15 A	21 A	25,6 A	4,8 A	4,8 A	5 A	8,6 A	12,8 A	15,6 A
08/04/2017 8:04:03 220ms	V Factor de Cresta		1,43	1,43	1,44	1,41	1,41	1,41	327,67	327,67	327,67
08/04/2017 8:04:03 220ms	A Factor de Cresta		1,99	2,68	3,35	327,67	327,67	327,67	1,98	327,67	327,67
08/04/2017 8:04:03 220ms	Tensión de Medio Ciclo		119,47 V	119,61 V	119,96 V	119,51 V	119,67 V	119,88 V	0,08 V	0,11 V	0,17 V
08/04/2017 8:04:03 220ms	Corriente de Medio Ciclo		6,1 A	8,4 A	15,8 A	1,7 A	1,7 A	1,8 A	2,5 A	4,8 A	10,1 A
08/04/2017 8:04:03 220ms	Potencia Activa		0,688 kW	0,852 kW	1,352 kW	148 W	148 W	148 W			
08/04/2017 8:04:03 220ms	Potencia Aparente		0,756 kVA	0,964 kVA	1,464 kVA	208 VA	208 VA	208 VA			
08/04/2017 8:04:03 220ms	Potencia Reactiva		0,352 kVAR	0,448 kVAR	0,588 kVAR	144 VAR	148 VAR	148 VAR			
08/04/2017 8:04:03 220ms	Factor de Potencia		0,85	0,88	0,92	0,7	0,71	0,71			
08/04/2017 8:04:03 220ms	DPF		0,91	0,93	0,98	0,96	0,97	0,97			
08/04/2017 8:04:03 220ms	Frecuencia		60,034 Hz	60,035 Hz	60,034 Hz				1,85	2,18	2,55
08/04/2017 8:04:03 220ms	Factor K.A		1,47	1,62	1,77	8,53	8,58	8,61	49,02%	52,08%	55,14%
08/04/2017 8:04:03 220ms	THD V		1,43%	1,47%	1,52%	0,66%	0,7%	0,73%	16,51%	18,84%	21,16%
08/04/2017 8:04:03 220ms	THD A		10,13%	10,86%	11,56%	55,36%	55,53%	55,86%			
08/04/2017 8:04:03 220ms	THD W		0,06%	0,06%	0,07%	0,15%	0,16%	0,17%			
08/04/2017 8:04:03 220ms	Pf		0	0	0	0	0	0			
08/04/2017 8:04:03 220ms	Pst		0,92	0,94	0,99	0,97	0,98	0,98			
08/04/2017 8:04:03 220ms	Cos Phi		119,48 V	119,54 V	119,59 V	119,64 V	119,66 V	119,68 V	0,09 V	0,1 V	0,1 V
08/04/2017 8:04:04 220ms	Tensión		6,3 A	7,4 A	7,7 A	1,7 A	1,7 A	1,7 A	3,2 A	4,1 A	4,4 A
08/04/2017 8:04:04 220ms	Corriente		170,9 V	171,1 V	171,2 V	169,1 V	169,2 V	169,2 V	0,3 V	0,4 V	0,4 V
08/04/2017 8:04:04 220ms	Tensión de Pico		15 A	23,6 A	26,2 A	4,8 A	4,8 A	5 A	9 A	14,8 A	16,6 A
08/04/2017 8:04:04 220ms	Corriente de Pico		1,43	1,43	1,43	1,41	1,41	1,41	327,67	327,67	327,67
08/04/2017 8:04:04 220ms	V Factor de Cresta		2,38	3,16	3,39	327,67	327,67	327,67	3,7	327,67	327,67
08/04/2017 8:04:04 220ms	A Factor de Cresta		119,3 V	119,52 V	119,74 V	119,54 V	119,67 V	119,91 V	0,08 V	0,1 V	0,2 V
08/04/2017 8:04:04 220ms	Tensión de Medio Ciclo		6,1 A	7,4 A	16,4 A	1,7 A	1,7 A	1,8 A	2,8 A	4,1 A	10,8 A
08/04/2017 8:04:04 220ms	Corriente de Medio Ciclo		0,688 kW	0,756 kW	0,79 kW	148 W	148 W	148 W			
08/04/2017 8:04:04 220ms	Potencia Activa		0,756 kVA	0,884 kVA	0,924 kVA	208 VA	208 VA	208 VA			
08/04/2017 8:04:04 220ms	Potencia Aparente		0,352 kVAR	0,46 kVAR	0,496 kVAR	144 VAR	148 VAR	148 VAR			
08/04/2017 8:04:04 220ms	Potencia Reactiva		0,84	0,86	0,89	0,7	0,71	0,71			
08/04/2017 8:04:04 220ms	Factor de Potencia		0,91	0,93	0,93	0,97	0,97	0,97			
08/04/2017 8:04:04 220ms	DPF		60,04 Hz	60,045 Hz	60,046 Hz				2,7	3,04	3,39
08/04/2017 8:04:04 220ms	Frecuencia		1,83	1,96	2,09	8,6	8,61	8,62	56,95%	59,73%	62,52%
08/04/2017 8:04:04 220ms	Factor K.A		1,37%	1,39%	1,41%	0,61%	0,63%	0,65%			
08/04/2017 8:04:04 220ms	THD V										

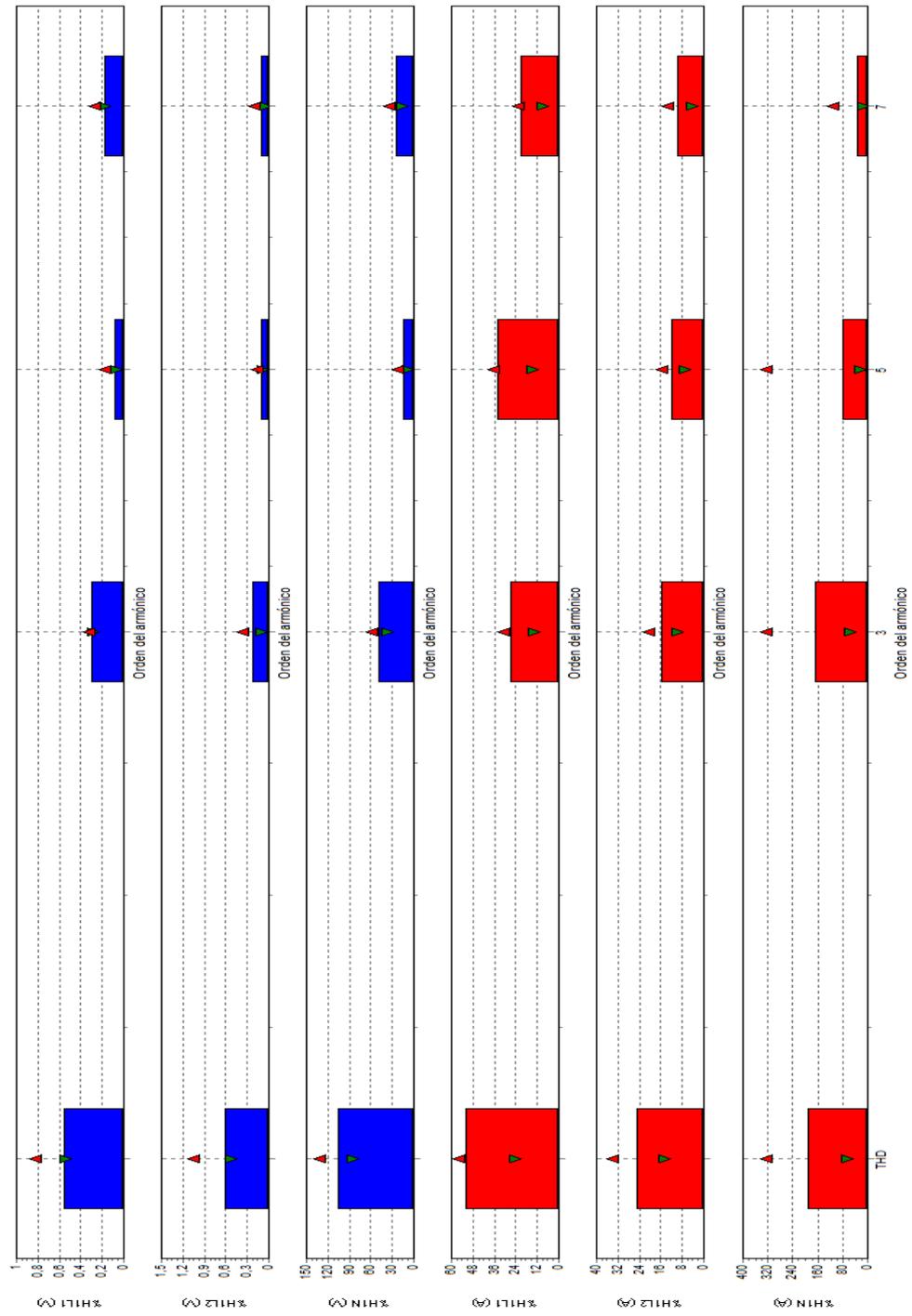
# ANEXO 13.

## GRÁFICA VOLTAJE Y CORRIENTE



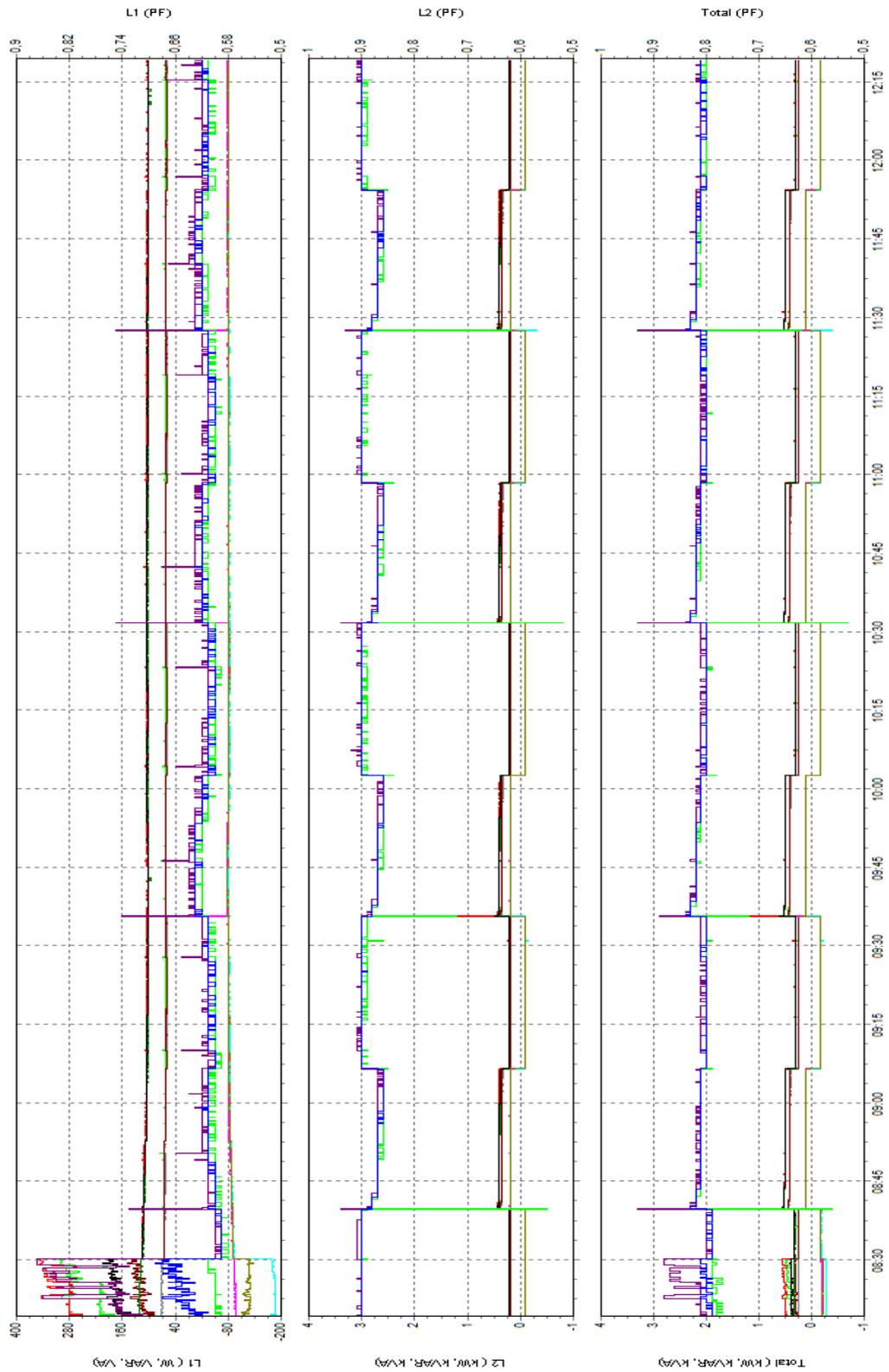
# ANEXO 14.

## REGISTRO DE ARMÓNICOS



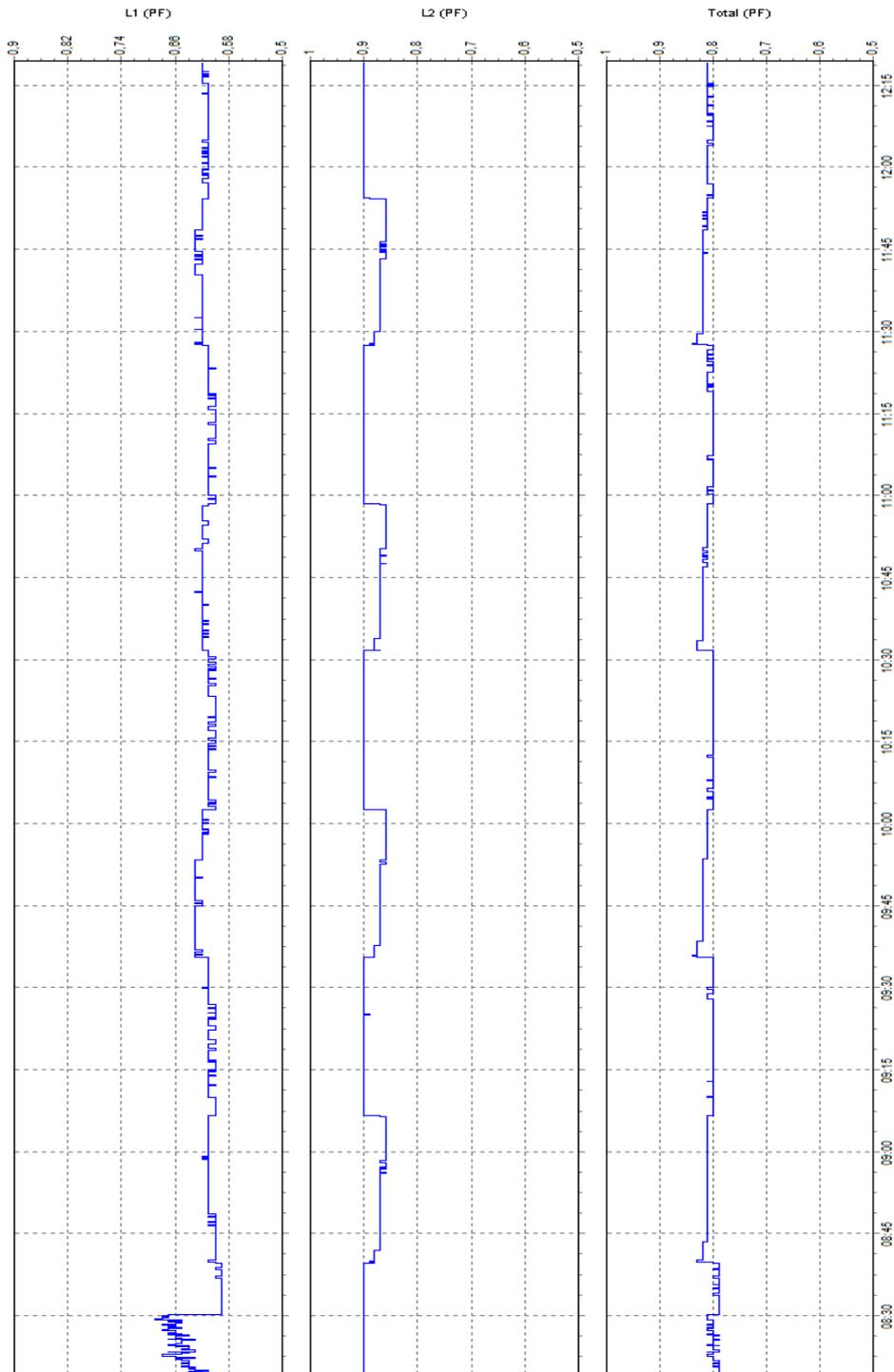
# ANEXO 15.

## GRÁFICA DE POTENCIA



## ANEXO 16.

### GRÁFICA FACTOR DE POTENCIA MEDIA



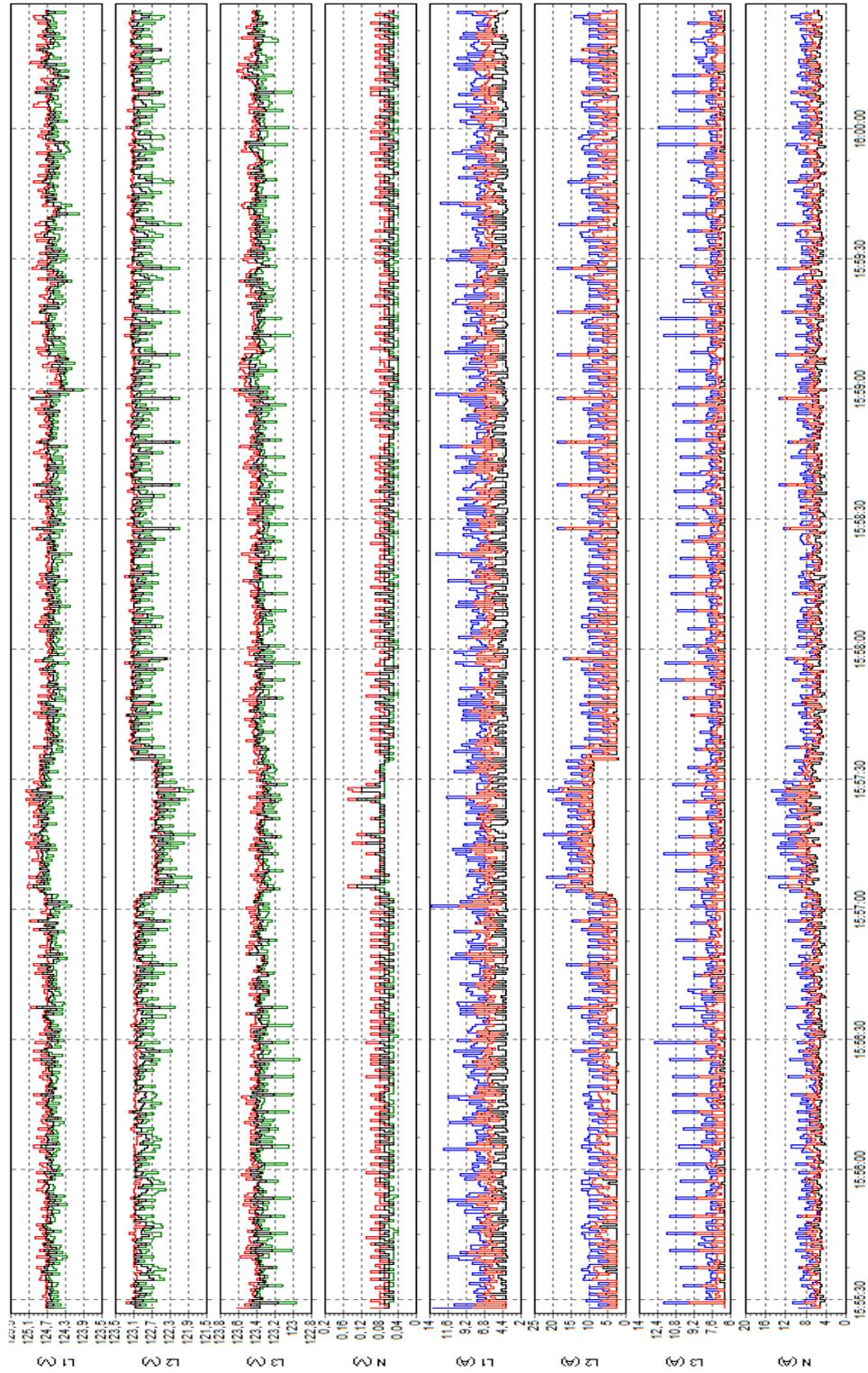
ANEXO 17.

REGISTRO EN TABLERO DE DISTRIBUCIÓN ÁREA DE HIDROCARBUROS

Fecha	Función	L1 Min	L1 Med	L1 Max	L2 Min	L2 Med	L2 Max	L3 Min	L3 Med	L3 Max	N Min	N Med	N Max	Total Min
29/07/2017 15:55:28.65ms	Tensión	124.3V	124.58V	124.74V	122.65V	122.93V	123.08V	123.39V	123.46V	123.62V	0.06V	0.07V	0.1V	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Comente	4A	8.5A	13.7A	2.3A	6.2A	9.9A	6.6A	6.6A	6.6A	5.3A	7A	9.4A	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Tensión de Pico	176.6V	177V	177.2V	173.6V	173.7V	173.7V	175.8V	175.9V	176.2V	0.2V	0.2V	0.2V	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Comente de Pico	7.2A	17.4A	37.2A	5.4A	16.4A	22.2A	10A	10A	10.2A	8A	16A	22.8A	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Y Factor de Cresta	1.42	1.42	1.43	1.41	1.41	1.42	1.42	1.42	1.43	327.67	327.67	327.67	
29/07/2017 15:55:28.65ms	A Factor de Cresta	1.83	2.15	2.72	2.23	327.67	327.67	1.5	1.52	1.54	1.52	2.36	3.16	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Tensión de Medio Ciclo	123.22V	124.57V	125.1V	122.19V	122.91V	123.09V	123.31V	123.45V	124.03V	0.04V	0.07V	0.13V	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Comente de Medio Ciclo	4A	8.5A	24.6A	2A	6.2A	14.6A	6.6A	6.6A	6.7A	4.4A	7A	14.3A	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Potencia Activa	0.236 kW	0.696 kW	1.616 kW	0.252 kW	0.604 kW	1.2 kW	0.412 kW	0.412 kW	0.412 kW	0.896 kW	0.896 kW	0.896 kW	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Potencia Aparente	0.464 kVA	0.872 kVA	1.684 kVA	0.252 kVA	0.604 kVA	1.2 kVA	0.808 kVA	0.812 kVA	0.816 kVA	1.528 kVA	1.528 kVA	1.528 kVA	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Potencia Reactiva	0.4 kVAR	0.424 kVAR	0.478 kVAR	-0.036 kVAR	-0.02 kVAR	-0.004 kVAR	0.696 kVAR	0.7 kVAR	0.704 kVAR	1.064 kVA	1.064 kVA	1.064 kVA	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Factor de Potencia	0.47	0.58	0.8	0.69	0.8	0.91	0.5	0.5	0.51	0.54	0.54	0.54	
29/07/2017 15:55:28.65ms	DPF	0.5	0.66	0.96	1	1	1	0.5	0.51	0.51	0.59	0.59	0.59	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Frecuencia	59.996 Hz	59.996 Hz	59.997 Hz										
29/07/2017 15:55:28.65ms	Factor K.A	1.45	1.55	1.61	2.14	2.23	2.36	1.06	1.06	1.06	2.59	2.66	2.74	
29/07/2017 15:55:28.65ms	THD V	1.24%	1.26%	1.28%	1.28%	1.3%	1.32%	1.1%	1.12%	1.14%	37.16%	38.77%	39.71%	
29/07/2017 15:55:28.65ms	THD A	13.97%	15.32%	16.13%	15.43%	16.37%	17.4%	6%	6%	6.01%	21.02%	21.43%	21.98%	
29/07/2017 15:55:28.65ms	THD W	0.03%	0.06%	0.08%	0.07%	0.07%	0.08%	0.03%	0.04%	0.04%				
29/07/2017 15:55:28.65ms	Pl	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
29/07/2017 15:55:28.65ms	Pst	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
29/07/2017 15:55:28.65ms	Desequilibrio Vh													0.31%
29/07/2017 15:55:28.65ms	Desequilibrio An													33.23%
29/07/2017 15:55:28.65ms	Cos Phi	0.51	0.67	0.97	1.01	1.01	1.01	0.51	0.52	0.52				
29/07/2017 15:55:28.65ms	Energía activa													
29/07/2017 15:55:28.65ms	Energía Aparente													
29/07/2017 15:55:28.65ms	Energía Reactiva													
29/07/2017 15:55:28.65ms	Tensión	124.7V	124.71V	124.72V	123.05V	123.06V	123.07V	123.36V	123.37V	123.37V	0.06V	0.06V	0.06V	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Comente	4A	4A	4A	2.3A	2.3A	2.3A	6.6A	6.6A	6.6A	5.2A	5.3A	5.3A	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Tensión de Pico	176.6V	176.7V	176.7V	173.7V	173.7V	173.7V	175.4V	175.5V	175.5V	0.2V	0.2V	0.2V	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Comente de Pico	7.2A	7.2A	7.2A	5.4A	5.4A	5.4A	10A	10A	10.2A	7.8A	8A	8A	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Y Factor de Cresta	1.42	1.42	1.42	1.41	1.41	1.41	1.42	1.42	1.42	327.67	327.67	327.67	
29/07/2017 15:55:28.65ms	A Factor de Cresta	1.82	1.82	1.82	327.67	327.67	327.67	1.51	1.52	1.53	1.49	1.51	1.53	
29/07/2017 15:55:28.65ms	Tensión de Medio Ciclo	124.39V	124.69V	124.73V	123.03V	123.06V	123.1V	123.35V	123.37V	123.51V	0.06V	0.06V	0.06V	

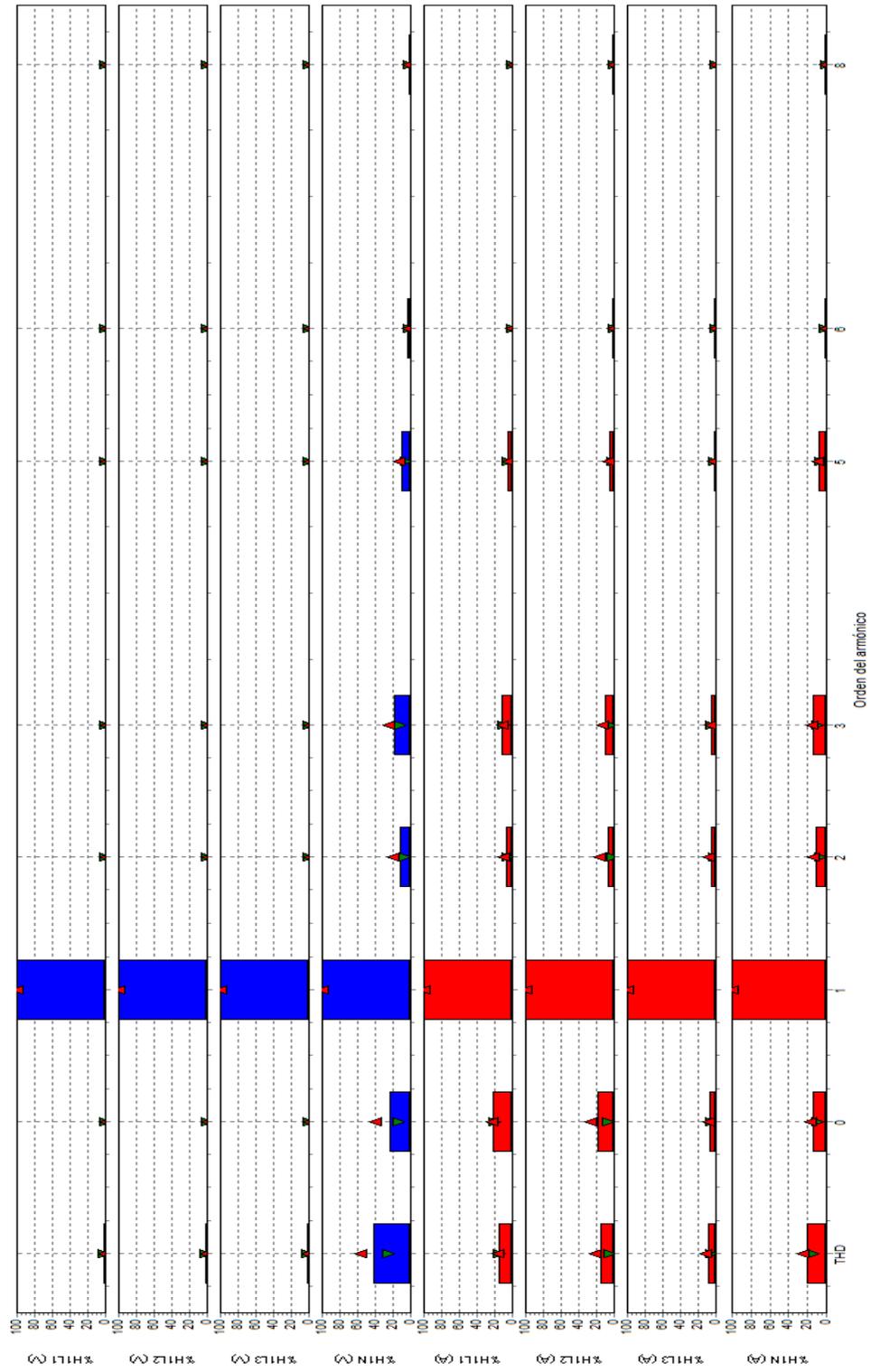
ANEXO 18.

GRÁFICA VOLTAJE Y CORRIENTE



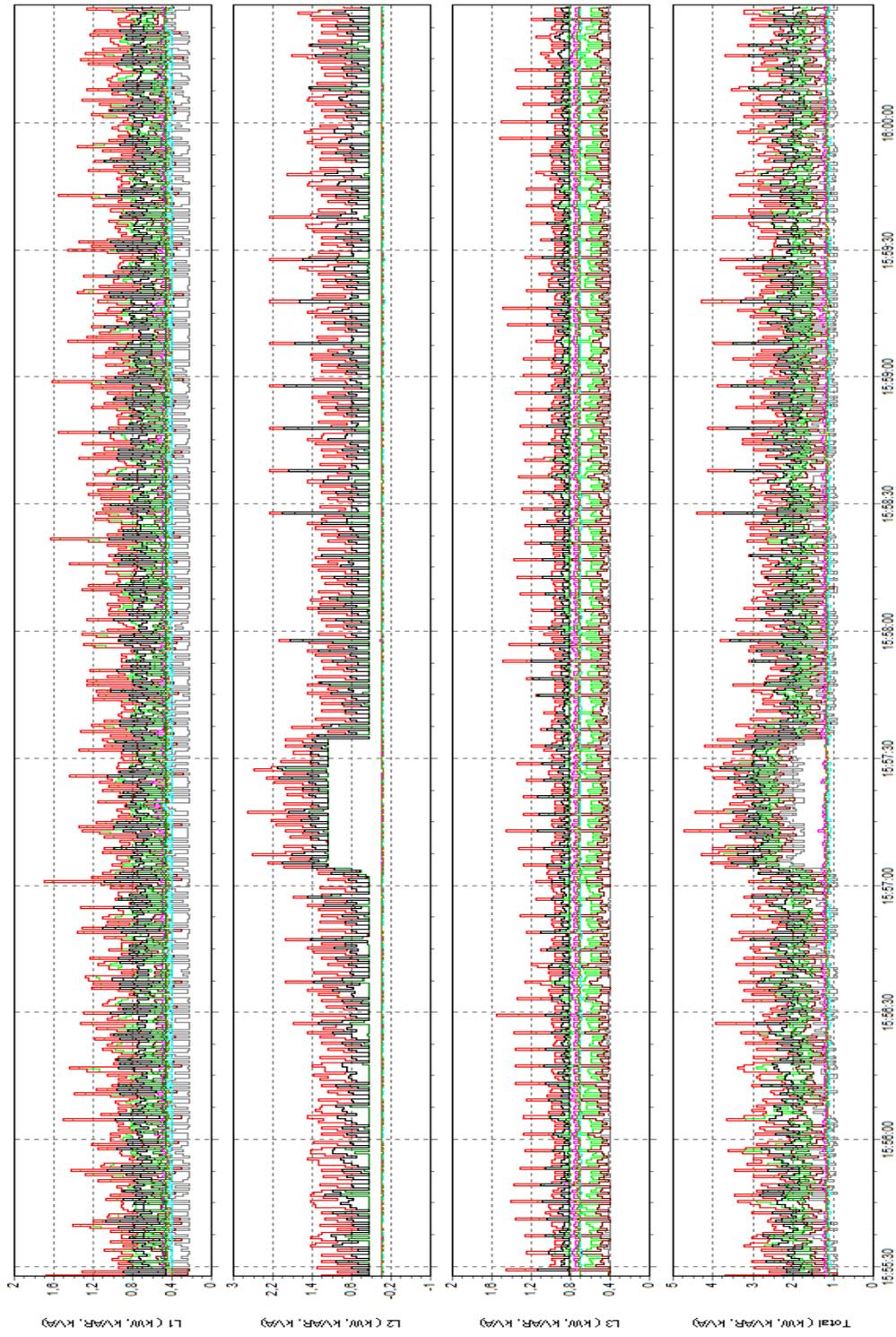
ANEXO 19.

REGISTRO DE ARMÓNICOS



## ANEXO 20.

### GRÁFICA DE POTENCIA



## ANEXO 21.

### GRÁFICA DE FACTOR DE POTENCIA

