

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**  
**SEDE CUENCA**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

*Trabajo de titulación previo  
a la obtención del título de  
Ingeniero Eléctrico*

**PROYECTO TÉCNICO CON ENFOQUE INVESTIGATIVO:**  
**“DISEÑO DE UN MANUAL DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO DE  
CALIDAD DE ENERGÍA EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA  
SALESIANA SEDE CUENCA”**

**AUTOR:**

JOSÉ LUIS CANGO CANGO

**TUTOR:**

ING. FLAVIO ALFREDO QUIZHPI PALOMEQUE, MSc.

CUENCA - ECUADOR

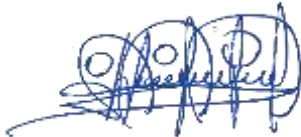
2020

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, José Luis Cango Cango con documento de identificación N° 1105352783, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN MANUAL DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: *Ingeniero Eléctrico*, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio de 2020



José Luis Cango Cango

C.I. 1105352783

## CERTIFICACIÓN

Yo, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **“DISEÑO DE UN MANUAL DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA”**, realizado por José Luis Cango Cango, obteniendo el *Proyecto Técnico con enfoque investigativo*, que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, julio del 2020

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Flavio Alfredo Quizhpi Palomeque', written in a cursive style.

Ing. Flavio Alfredo Quizhpi Palomeque, MsC.

C.I. 0102257482

## DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo, José Luis Cango Cango con documento de identificación N° 1105352783, autor del trabajo de titulación: “**DISEÑO DE UN MANUAL DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA**”, certifico que el total contenido de *Proyecto técnico con enfoque investigativo* es de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Cuenca, julio de 2020



José Luis Cango Cango

C.I. 1105352783



## **DEDICATORIA**

*Esta tesis está dedicada principalmente a Dios por brindarme salud y sabiduría para poder culminar este proyecto.*

*Dedico a mis padres Luis Antonio Cango y Mariana de Jesús Cango por darme amor, paciencia y su esfuerzo económico para poder cumplir una meta más en la vida.*

*Dedico a mi esposa Luz María Chalán por apoyarme con su amor y paciencia.*

*Dedico a mi hijo Julián Emilio Cango por llegar a mi vida y ser la inspiración para que este sueño se haga realidad.*

*Dedico a mi hermano Wilmer Cango que desde el cielo supo guiarme para seguir adelante.*

*Finalmente dedico a mis hermanos Mayra, Paúl, Yaneli y Roberth Cango, familiares y amigos que de una u otra manera me apoyaron moral y económicamente.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*Primero quiero agradecer a DIOS por la vida, salud, sabiduría y por la bendición que nos brinda a toda mi familia, y por supuesto mi profundo agradecimiento a mi PAPÁ Luis Antonio Cango Andrade y MAMÁ Mariana de Jesús Cango, a mi ESPOSA Luz María Chalán Paqui y a mi HIJO Julián Emilio Cango Chalán, por confiar y creer en mí, por los consejos y sobre todo por brindarme todo el apoyo para que esto se convierta en una realidad.*

*Agradezco también a todos los docentes de la Universidad Politécnica Salesiana por haberme impartido sus conocimientos y consejos durante los años de estudio.*

*Finalmente quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Flavio Quizhpi docente tutor del proyecto, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.*

## **RESUMEN**

El siguiente proyecto presenta el diseño de un laboratorio de Calidad de Energía Eléctrica para la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca y el diseño de un manual de prácticas para realizar la simulación y medición de los principales fenómenos electromagnéticos que dañan el sistema eléctrico de distribución, y a través de las normas vigentes analizar y establecer cuáles son los límites permisibles para estos fenómenos.

En el CAPÍTULO I se presenta el Planteamiento del problema, Justificación, Alcance y los Objetivos necesarios para la elaboración de este proyecto.

En el CAPÍTULO II se presenta una clasificación general con los principales fenómenos electromagnéticos que dañan los sistemas eléctricos, y en el CAPÍTULO III se presenta la regulación ecuatoriana y algunas normas internacionales, que están encargadas del manejo, medición y evaluación de la calidad de la energía eléctrica.

El CAPÍTULO IV se mencionan las características, funciones y manejo de los principales equipos con sus respectivos softwares, que se utilizarán para la simulación y medición de cada uno de los fenómenos electromagnéticos.

En el CAPÍTULO V se presenta la propuesta de diseño del espacio del laboratorio que se necesita para una adecuada ubicación de los materiales y equipos, así mismo, con la finalidad de tener un ambiente cómodo y sobre todo visible, se realiza el diseño de la iluminación con su respectivo circuito de luces y circuitos de tomacorrientes generales y especiales, y para complementar se realiza un estudio económico aproximado de todos los materiales y equipos que se necesitan para la implementación del laboratorio.

En cuanto al diseño del manual de prácticas de calidad de energía eléctrica, se desarrolla de manera que los estudiantes en cada práctica conozcan el origen, causas y problemas que se manifiestan al presentarse estos fenómenos electromagnéticos; y a través de las normas vigentes establecer los límites máximos aceptables para cada uno de los fenómenos estudiados.

Por último, en el CAPÍTULO VI se presentan las conclusiones y recomendaciones del proyecto en base a los resultados obtenidos.

## **ABSTRACT**

This research work has as an objective to present the design of an Electric Power Quality laboratory for the Politécnica Salesiana University, Cuenca branch and the design of a practice manual to perform the simulation and measurement of the main electromagnetic phenomena that damage the electrical distribution system and through the current standards analyze and establish what the permissible limits are for these phenomena.

CHAPTER I presents the Statement of the problem, Justification, Scope and the Objectives necessary for the elaboration of this project.

CHAPTER II presents a general classification with the main electromagnetic phenomena that damage electrical systems, and CHAPTER III presents the Ecuadorian regulation and some international standards, which are in charge of handling, measuring and evaluating the quality of electrical energy.

CHAPTER IV mentions the characteristics, functions and handling of the main equipment with their respective software, which will be used for the simulation and measurement of each of the electromagnetic phenomena.

CHAPTER V presents the design proposal for the laboratory space that is needed for an adequate location of the materials and equipment, likewise, in order to have a comfortable and especially visible environment, the lighting design is carried out with its respective light circuit and general and special outlet circuits, and to complement it, an approximate economic study of all the materials and equipment needed for the implementation of the laboratory is carried out.

Regarding the design of the electrical energy quality practice manual, it is developed in such a way that the students in each practice know the origin, causes and problems that appear when these electromagnetic phenomena occur; and through the current regulations establish the maximum acceptable limits for each of the phenomena studied.

Finally, CHAPTER VI presents the conclusions and recommendations of the project based on the results obtained.

## TABLA DE CONTENIDO

DERECHOS DE AUTOR .....	I
CERTIFICACIÓN .....	II
DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD .....	III
DEDICATORIA .....	IV
AGRADECIMIENTOS .....	V
RESUMEN .....	VI
ABSTRACT.....	VII
TABLA DE CONTENIDO.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE GRÁFICAS .....	XV
ÍNDICE DE TABLAS .....	XVIII
<b>1. CAPÍTULO I. GENERALIDADES.....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>1.1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>1.4. ALCANCE.....</b>	<b>- 2 -</b>
<b>1.5. OBJETIVOS.....</b>	<b>- 2 -</b>
1.5.1. Objetivo General.....	- 2 -
1.5.2. Objetivos específicos .....	- 3 -
<b>2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>2.1. INTRODUCCIÓN A LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>2.2. HISTORIA.....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>2.3. CONCEPTO CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA. ....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>2.4. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.-</b>	<b>5</b>
-	
<b>2.5. TIPOS DE CARGAS.....</b>	<b>- 5 -</b>
2.5.1. Cargas Lineales.....	- 5 -
2.5.2. Cargas no Lineales.....	- 5 -
<b>2.6. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS FENÓMENOS ELÉCTRICOS.....</b>	<b>- 6 -</b>
2.6.1. Transitorios.....	- 7 -
2.6.1.1. Transitorio impulsivo.....	- 7 -
2.6.1.2. Transitorio oscilatorio.....	- 8 -
2.6.2. Variaciones <i>rms</i> de corta duración.....	- 8 -
2.6.2.1. Interrupción.....	- 9 -
2.6.2.2. Disminución de tensión (Sag o dip).....	- 10 -

2.6.2.3.	Elevación de tensión (Swell).....	- 11 -
2.6.3.	Variaciones rms de larga duración.....	- 12 -
2.6.3.1.	Sobrevoltajes (overvoltage). ....	- 12 -
2.6.3.2.	Subvoltaje (undervoltage). ....	- 12 -
2.6.3.3.	Interrupciones sostenidas. ....	- 12 -
2.6.4.	Desbalance de voltaje.....	- 12 -
2.6.5.	Distorsión de la forma de onda. ....	- 13 -
2.6.5.1.	Offset de CD. ....	- 13 -
2.6.5.2.	Armónicas. ....	- 13 -
2.6.5.3.	Interarmónicas.....	- 15 -
2.6.5.4.	Muecas.....	- 15 -
2.6.5.5.	Ruido.....	- 16 -
2.6.6.	Fluctuaciones de voltaje, parpadeo o “Flicker”. ....	- 16 -
<b>3.</b>	<b>CAPÍTULO NORMAS VIGENTES RELACIONADAS A LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.....</b>	<b>- 18 -</b>
<b>3.1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN. ....</b>	<b>- 18 -</b>
<b>3.2.</b>	<b>NORMA IEEE std 1159-2019 “IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality”.....</b>	<b>- 18 -</b>
<b>3.3.</b>	<b>NORMA IEEE Std 1453-2015, “Práctica recomendada por IEEE para mediciones y límites de fluctuaciones de voltaje y parpadeo de luz asociado en sistemas de alimentación de CA”. - 19 -</b>	
3.3.1.	Niveles de planificación para parpadeo. ....	- 20 -
3.3.2.	Niveles de compatibilidad para parpadeo. ....	- 20 -
<b>3.4.</b>	<b>NORMA IEEE std 519-2014. “IEEE Guide for Application and Specification of Harmonic Filters”.....</b>	<b>- 20 -</b>
<b>3.5.</b>	<b>NORMA EN 50160. “Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución”.....</b>	<b>- 21 -</b>
<b>3.6.</b>	<b>REGULACIÓN No. ARCONEL 005/18. ....</b>	<b>- 23 -</b>
3.6.1.	Atributos de calidad. ....	- 23 -
3.6.1.1.	Atributos de calidad de la distribuidora. ....	- 23 -
3.6.1.2.	Aspecto de calidad del consumidor.....	- 23 -
3.6.2.	Obligaciones. ....	- 24 -
3.6.2.1.	Obligaciones de la distribuidora.....	- 24 -
3.6.2.2.	Obligaciones del consumidor.....	- 24 -
3.6.3.	Niveles de voltaje.....	- 24 -
3.6.3.1.	Índice.....	- 24 -
3.6.3.2.	Límites. ....	- 25 -
3.6.4.	Perturbación rápida de voltaje (Flicker).....	- 25 -
3.6.5.	Distorsión armónica de voltaje. ....	- 25 -

3.6.6.	Desequilibrio de voltaje. ....	- 26 -
<b>4.</b>	<b>CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS.....</b>	<b>- 27 -</b>
<b>4.1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN. ....</b>	<b>- 27 -</b>
<b>4.2.</b>	<b>FUENTE DE VOLTAJE PROGRAMABLE AC. ....</b>	<b>- 27 -</b>
4.2.1.	Características principales.....	- 27 -
4.2.2.	Especificaciones.....	- 28 -
4.2.3.	Descripción de las partes de la fuente AC programable. ....	- 29 -
4.2.4.	Aplicaciones.....	- 32 -
<b>4.3.</b>	<b>SOFTWARE SOFTPANEL DE CHROMA PARA LA SERIE 617XX. ....</b>	<b>- 32 -</b>
4.3.1.	Introducción. ....	- 32 -
4.3.2.	Procedimiento de instalación. ....	- 33 -
4.3.3.	Inicio del programa SoftPanel 617XX de Chroma. ....	- 34 -
4.3.4.	Pantalla de inicio.....	- 35 -
4.3.5.	Pantalla principal o pantalla de modo fijo.....	- 36 -
4.3.5.1.	Descripción de la pantalla. ....	- 36 -
4.3.5.2.	Configuración de parámetros en la pantalla principal.....	- 36 -
4.3.6.	Pantalla de control List Mode. ....	- 41 -
4.3.6.1.	Descripción de la pantalla. ....	- 41 -
4.3.6.2.	Configuración de parámetros en la pantalla de control List Mode. ....	- 42 -
4.3.7.	Pantalla de control Step Mode. ....	- 44 -
4.3.7.1.	Descripción de la pantalla. ....	- 44 -
4.3.7.2.	Configuración de parámetros en la pantalla de control Step Mode. ....	- 45 -
4.3.8.	Pantalla de control Pulse Mode.....	- 46 -
4.3.8.1.	Descripción de la pantalla. ....	- 46 -
4.3.8.2.	Configuración de parámetros en la pantalla de control Pulse Mode. ....	- 46 -
4.3.9.	Pantalla de Interarmónicos.....	- 48 -
4.3.9.1.	Descripción de la pantalla. ....	- 48 -
4.3.9.2.	Configuración de parámetros en la pantalla Interarmónicos.....	- 48 -
4.3.10.	Pantalla editor de formas de onda (Waverform Editor). ....	- 50 -
4.3.10.1.	Descripción de la pantalla. ....	- 50 -
4.3.10.2.	Configuración de parámetros en el editor de formas de onda. ....	- 51 -
<b>4.4.</b>	<b>ANALIZADOR DE REDES ELÉCTRICAS.....</b>	<b>- 53 -</b>
4.4.1.	Características de los tipos de pantallas de medida.....	- 53 -
4.4.2.	Conexiones del equipo. ....	- 54 -
4.4.3.	Configuraciones iniciales. ....	- 55 -
4.4.4.	Modos de medida. ....	- 57 -
<b>4.5.</b>	<b>SOFTWARE POWER LOG CLASSIC. ....</b>	<b>- 57 -</b>

4.5.1.	Introducción.....	- 57 -
4.5.2.	Características.....	- 57 -
4.5.3.	Instalación del software.....	- 58 -
4.5.4.	Inicio del software.....	- 58 -
4.5.5.	Descarga de datos.....	- 59 -
4.5.6.	Análisis de datos.....	- 59 -
4.5.6.1.	Pantalla de resumen.....	- 59 -
4.5.6.2.	Pantalla de tabla de datos.....	- 60 -
4.5.6.3.	Pantalla de tensión y corriente.....	- 60 -
4.5.6.4.	Pantalla de estadísticas.....	- 61 -
4.5.6.5.	Pantalla de armónicos.....	- 61 -
<b>5.</b>	<b>CAPÍTULO 5 PROPUESTA DE DISEÑO DEL LABORATORIO DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....</b>	<b>- 63 -</b>
<b>5.1.</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>- 63 -</b>
<b>5.2.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE UN LABORATORIO ELÉCTRICO.....</b>	<b>- 63 -</b>
5.2.1.	Laboratorios para propósitos generales.....	- 63 -
5.2.2.	Laboratorios industriales.....	- 63 -
5.2.3.	Laboratorios para propósitos específicos.....	- 63 -
<b>5.3.</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO PARA EL LABORATORIO DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....</b>	<b>- 64 -</b>
5.3.1.	Diseño arquitectónico del laboratorio.....	- 64 -
5.3.2.	Modelos de distribución dentro del laboratorio.....	- 65 -
<b>5.4.</b>	<b>PROPUESTA DE DISEÑO DE LA MESA DE TRABAJO.....</b>	<b>- 66 -</b>
5.4.1.	Criterios de evaluación para el diseño de la mesa de trabajo.....	- 68 -
<b>5.5.</b>	<b>DISEÑO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS PARA EL LABORATORIO DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....</b>	<b>- 68 -</b>
5.5.1.	Diseño de los circuitos de iluminación.....	- 69 -
5.5.1.1.	Cantidad de luz.....	- 69 -
5.5.1.2.	Cálculo del número de luminarias.....	- 70 -
5.5.1.3.	Circuito de iluminación.....	- 75 -
5.5.2.	Circuitos de fuerza.....	- 76 -
5.5.3.	Circuitos especiales.....	- 77 -
5.5.4.	Determinación de la demanda.....	- 78 -
<b>5.6.</b>	<b>PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO.....</b>	<b>- 79 -</b>
5.6.1.	Instalación Eléctrica.....	- 79 -
5.6.2.	Equipos de medición y simulación.....	- 81 -
<b>5.7.</b>	<b>DISEÑO DEL PLAN DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....</b>	<b>- 81 -</b>



5.7.1.	PRÁCTICA # 1. Reconocimiento de los equipos del laboratorio de calidad de energía eléctrica. - 82 -
5.7.2.	PRÁCTICA # 2. Medición de transitorios..... - 83 -
5.7.3.	PRÁCTICA # 3. Medición de depresiones de voltaje (Sag o Dip)..... - 83 -
5.7.4.	PRÁCTICA # 4. Medición de elevaciones de voltaje..... - 84 -
5.7.5.	PRÁCTICA # 5. Medición de interrupciones de voltaje. .... - 85 -
5.7.6.	PRÁCTICA # 6. Medición de desbalances de voltaje. .... - 85 -
5.7.7.	PRÁCTICA # 7. Medición de componentes armónicas. .... - 86 -
5.7.8.	PRÁCTICA # 8. Medición de Flickers. .... - 87 -
<b>6.</b>	<b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... - 88 -</b>
<b>6.1.</b>	<b>CONCLUSIONES..... - 88 -</b>
<b>6.2.</b>	<b>RECOMENDACIONES..... - 89 -</b>
<b>7.</b>	<b>Bibliografía..... - 90 -</b>
<b>8.</b>	<b>ANEXOS..... - 92 -</b>
<b>8.1.</b>	<b>ANEXO 1: DESARROLLO DE LAS PRÁCTICAS ..... - 92 -</b>
<b>8.2.</b>	<b>ANEXO 2: PLANO ARQUITECTÓNICO ..... - 92 -</b>
<b>8.3.</b>	<b>ANEXO 3: PLANO CIRCUITO DE ILUMINACIÓN ..... - 92 -</b>
<b>8.4.</b>	<b>ANEXO 4: PLANO CIRCUITO DE TOMACORRIENTES GENERALES..... - 92 -</b>
<b>8.5.</b>	<b>ANEXO 5: PLANO CIRCUITO DE TOMACORRIENTES ESPECIALES ..... - 92 -</b>
<b>8.6.</b>	<b>ANEXO 6: DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA..... - 92 -</b>
<b>8.7.</b>	<b>ANEXO 7: COTIZACIÓN FUENTE PROGRAMABLE AC..... - 92 -</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2-1:</b>	Ondas de voltaje y corriente para una carga lineal. .... - 5 -
<b>Figura 2-2:</b>	(a) Modelo carga residencial. (b) Distorsión de la forma de onda del voltaje y corriente causada por una carga no lineal. .... - 6 -
<b>Figura 2-3:</b>	(a) Comportamiento de la curva con una carga lineal. (b) Comportamiento de la curva con una carga no lineal. .... - 6 -
<b>Figura 2-4:</b>	Transitorio impulsivo de voltaje. .... - 7 -
<b>Figura 2-5:</b>	Corriente del rayo que puede provocar transitorios impulsivos en el sistema eléctrico. - 7 -
<b>Figura 2-6:</b>	Transitorio Oscilatorio de voltaje..... - 8 -
<b>Figura 2-7:</b>	Transitorio oscilatorio causado por la conmutación de condensadores. .... - 8 -
<b>Figura 2-8:</b>	Interrupción momentánea de voltaje..... - 9 -
<b>Figura 2-9:</b>	Interrupción momentánea debido a falla y posterior operación del restaurador. .... - 9 -
<b>Figura 2-10:</b>	Disminución temporal de voltaje (Sag o Dip). .... - 10 -
<b>Figura 2-11:</b>	Caída de tensión instantánea causada por una falla SLG..... - 10 -
<b>Figura 2-12:</b>	Elevación temporal de tensión. .... - 11 -
<b>Figura 2-13:</b>	Sobretensión instantáneo causado por una falla SLG. .... - 11 -
<b>Figura 2-14:</b>	Voltajes trifásicos balanceados. .... - 12 -
<b>Figura 2-15:</b>	Onda sinusoidal con offset de CD. .... - 13 -
<b>Figura 2-16:</b>	Onda sinusoidal distorsionada por armónicos..... - 15 -
<b>Figura 2-17:</b>	Muesca de voltaje causado por la operación del convertidor. .... - 16 -
<b>Figura 2-18:</b>	Señal de voltaje con ruido..... - 16 -

<b>Figura 2-19:</b> Fluctuaciones de voltaje producido por la operación del horno de arco.....	- 17 -
<b>Figura 3-1:</b> Ilustración de un hueco de tensión y de una interrupción breve del suministro eléctrico, clasificadas según EN 50160. Un - tensión nominal del sistema de alimentación eléctrica (rms). UA - amplitud de la tensión de suministro. U (rms) - valor eficaz de la tensión de entrada. ....	- 23 -
<b>Figura 4-1:</b> Fuente de voltaje programable AC Chroma 61702. ....	- 27 -
<b>Figura 4-2:</b> Partes del panel frontal de la fuente programable AC. ....	- 29 -
<b>Figura 4-3:</b> Partes del panel posterior de la fuente de CA programable. ....	- 30 -
<b>Figura 4-4:</b> Detalle panel posterior (con USB y Ethernet).....	- 31 -
<b>Figura 4-5:</b> Funciones PULSE, LIST, STEP de la fuente AC programable. ....	- 32 -
<b>Figura 4-6:</b> Forma de onda armónica (Izquierda). Forma de onda interarmónica (Derecha). ....	- 32 -
<b>Figura 4-7:</b> Archivos en la memoria USB. ....	- 33 -
<b>Figura 4-8:</b> Pantalla de inicio de instalación.....	- 33 -
<b>Figura 4-9:</b> Detalle de la ruta de instalación. ....	- 34 -
<b>Figura 4-10:</b> Instalación completada. ....	- 34 -
<b>Figura 4-11:</b> Acceso directo del software SoftPanel de Chroma. ....	- 34 -
<b>Figura 4-12:</b> Detalle del panel de inicio. ....	- 35 -
<b>Figura 4-13:</b> Detalle para la selección del protocolo de comunicación. ....	- 35 -
<b>Figura 4-14:</b> Pantalla principal o pantalla de modo fijo. ....	- 36 -
<b>Figura 4-15:</b> (a) Conexión establecida. (b) Error de conexión. ....	- 36 -
<b>Figura 4-16:</b> Ventana de simulación de forma de onda de salida. ....	- 37 -
<b>Figura 4-17:</b> Acoplador del voltaje de salida.....	- 37 -
<b>Figura 4-18:</b> Configuración del rango del voltaje de salida.....	- 37 -
<b>Figura 4-19:</b> Configuración del voltaje de salida.....	- 37 -
<b>Figura 4-20:</b> Configuración de la frecuencia de salida. ....	- 37 -
<b>Figura 4-21:</b> Configuración de la forma de onda.....	- 38 -
<b>Figura 4-22:</b> Configuración del relé de salida. ....	- 38 -
<b>Figura 4-23:</b> Configuración del voltaje CC. ....	- 38 -
<b>Figura 4-24:</b> Configuración del ángulo de fase entre las líneas.....	- 38 -
<b>Figura 4-25:</b> Configuración de la velocidad de respuesta del voltaje de salida en CA y CD. ....	- 39 -
<b>Figura 4-26:</b> Configuración del límite superior para la corriente y el voltaje de salida. ....	- 39 -
<b>Figura 4-27:</b> Configuración para la medición de I Inrush. ....	- 39 -
<b>Figura 4-28:</b> Pantalla de visualización de lecturas.....	- 39 -
<b>Figura 4-29:</b> Selección de la lectura a monitorear. ....	- 40 -
<b>Figura 4-30:</b> Botón para borrar la alarma. ....	- 40 -
<b>Figura 4-31:</b> Boton para el estado de salida.....	- 40 -
<b>Figura 4-32:</b> Selección de las funciones de Mode Selecting. ....	- 41 -
<b>Figura 4-33:</b> Pantalla de control List Mode. ....	- 41 -
<b>Figura 4-34:</b> Acoplador para la configuración de la secuencia. ....	- 42 -
<b>Figura 4-35:</b> Configuración del contador. ....	- 42 -
<b>Figura 4-36:</b> Configuración número de secuencia. ....	- 42 -
<b>Figura 4-37:</b> Configuración del ángulo de fase. ....	- 42 -
<b>Figura 4-38:</b> Configuración del voltaje AC para la secuencia.....	- 42 -
<b>Figura 4-39:</b> Configuración de la frecuencia para la secuencia.....	- 42 -
<b>Figura 4-40:</b> Configuración del voltaje DC para la secuencia.....	- 42 -
<b>Figura 4-41:</b> Configuración de la forma de onda.....	- 43 -
<b>Figura 4-42:</b> Configuración cycle/Time. ....	- 43 -
<b>Figura 4-43:</b> Botón de activación. ....	- 43 -
<b>Figura 4-44:</b> Tiempo restante (s). ....	- 43 -
<b>Figura 4-45:</b> Indicador de la pantalla principal.....	- 43 -
<b>Figura 4-46:</b> Pantalla de visualización de la simulación de forma de onda.....	- 44 -
<b>Figura 4-47:</b> Pantalla de control Step Mode. ....	- 44 -

<b>Figura 4-48:</b> Configuración de parámetros de inicio.....	- 45 -
<b>Figura 4-49:</b> Configuración de parámetros para cada paso de la forma de onda.....	- 45 -
<b>Figura 4-50:</b> Configuración de la función Degree y Count.....	- 45 -
<b>Figura 4-51:</b> Configuración del tiempo de permanencia.....	- 45 -
<b>Figura 4-52:</b> Pantalla de visualización de forma de onda en modo Step.....	- 46 -
<b>Figura 4-53:</b> Pantalla de control Pulse Mode.....	- 46 -
<b>Figura 4-54:</b> Configuración de valores nominales en Pulse Mode.....	- 47 -
<b>Figura 4-55:</b> Configuración de valores para generar el pulso.....	- 47 -
<b>Figura 4-56:</b> Configuración Pulse Duty y Pulse Start Phase.....	- 47 -
<b>Figura 4-57:</b> Configuración del periodo en Mode Pulse.....	- 47 -
<b>Figura 4-58:</b> Configuración pulse Count.....	- 47 -
<b>Figura 4-59:</b> Tiempo de duración de la secuencia (ms).....	- 47 -
<b>Figura 4-60:</b> Pantalla de visualización en modo Pulse.....	- 48 -
<b>Figura 4-61:</b> Pantalla de control de Interarmónicos.....	- 48 -
<b>Figura 4-62:</b> Configuración de la frecuencia de inicio y fin en modo Interarmónicos.....	- 49 -
<b>Figura 4-63:</b> Configuración del nivel armónico.....	- 49 -
<b>Figura 4-64:</b> Configuración del tiempo de espera.....	- 49 -
<b>Figura 4-65:</b> Configuración del modo de exploración.....	- 49 -
<b>Figura 4-66:</b> Pantalla de visualización de voltaje, corriente y tiempo de retardo.....	- 49 -
<b>Figura 4-67:</b> Pantalla de visualización en modo interarmónicos.....	- 50 -
<b>Figura 4-68:</b> Pantalla de previsualización en modo interarmónicos.....	- 50 -
<b>Figura 4-69:</b> Pantalla editor de formas de onda.....	- 51 -
<b>Figura 4-70:</b> Tabla de grupo de armónicos.....	- 51 -
<b>Figura 4-71:</b> compensación armónica de forma de onda.....	- 51 -
<b>Figura 4-72:</b> Selección de la posición de guardado de la forma de onda.....	- 52 -
<b>Figura 4-73:</b> Botón enviar.....	- 52 -
<b>Figura 4-74:</b> Botón reset.....	- 52 -
<b>Figura 4-75:</b> Ventana de simulación en modo Waveform Editor.....	- 52 -
<b>Figura 4-76:</b> botón Guardar/Abrir.....	- 52 -
<b>Figura 4-77:</b> Botón regresar.....	- 52 -
<b>Figura 4-78:</b> Analizador de calidad de energía eléctrica modelo 435 II.....	- 53 -
<b>Figura 4-79:</b> Detalle de los tipos de pantalla.....	- 53 -
<b>Figura 4-80:</b> Entradas para tensión y corriente.....	- 54 -
<b>Figura 4-81:</b> Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico.....	- 54 -
<b>Figura 4-82:</b> Diagrama de vectores del analizador correctamente conectado.....	- 55 -
<b>Figura 4-83:</b> Pantalla de inicio del analizador.....	- 55 -
<b>Figura 4-84:</b> Pantalla de muestra para la conexión de los cables de medición.....	- 56 -
<b>Figura 4-85:</b> Pantalla con menú de configuración del analizador.....	- 56 -
<b>Figura 4-86:</b> Modos de medidas del analizador.....	- 57 -
<b>Figura 4-87:</b> Acceso Power Log Classic.....	- 58 -
<b>Figura 4-88:</b> Pantalla de bienvenida de Power Log.....	- 58 -
<b>Figura 4-89:</b> Ventana principal del software Power Log.....	- 58 -
<b>Figura 4-90:</b> Descarga de datos del software Power Log.....	- 59 -
<b>Figura 4-91:</b> Pantalla de resumen de Power Log.....	- 59 -
<b>Figura 4-92:</b> Pantalla de tabla de datos de Power Log.....	- 60 -
<b>Figura 4-93:</b> Pantalla de tensión y corriente de Power Log.....	- 60 -
<b>Figura 4-94:</b> Pantalla de estadística de Power Log.....	- 61 -
<b>Figura 4-95:</b> Gráfica de barras de la distorsión armónica en Power Log.....	- 61 -
<b>Figura 4-96:</b> Evolución temporal de la distorsión armónica en Power Log.....	- 62 -
<b>Figura 4-97:</b> Detalle para imprimir informes.....	- 62 -
<b>Figura 5-1:</b> Plano arquitectónico para el laboratorio de calidad de energía eléctrica.....	- 64 -

<b>Figura 5-2:</b> Modelos de distribución en laboratorios.....	- 65 -
<b>Figura 5-3:</b> Dimensiones de la distribución para el modelo propuesto del laboratorio. ....	- 66 -
<b>Figura 5-4:</b> Propuestas de diseño de mesas de trabajo.....	- 67 -
<b>Figura 5-5:</b> Propuesta final del diseño de la mesa de trabajo. ....	- 68 -
<b>Figura 5-6:</b> Panel principal de diálogos. ....	- 70 -
<b>Figura 5-7:</b> Geometría del laboratorio. ....	- 71 -
<b>Figura 5-8:</b> Construcción del área circundante. ....	- 71 -
<b>Figura 5-9:</b> Ubicación de objetos en el laboratorio.....	- 72 -
<b>Figura 5-10:</b> Características del área. ....	- 72 -
<b>Figura 5-11:</b> Selección de la luminaria del catálogo del fabricante. ....	- 73 -
<b>Figura 5-12:</b> Distribución de las luminarias. ....	- 73 -
<b>Figura 5-13:</b> Vista superior con el resultado de la iluminación.....	- 74 -
<b>Figura 5-14:</b> Vista lateral con el resultado de la iluminación. ....	- 74 -
<b>Figura 5-15:</b> Resultado del nivel de iluminación.....	- 75 -
<b>Figura 5-16:</b> Diseño eléctrico de iluminación del laboratorio. ....	- 76 -
<b>Figura 5-17:</b> Diseño eléctrico de tomacorrientes generales del laboratorio. ....	- 77 -
<b>Figura 5-18:</b> Diseño eléctrico de tomacorrientes especiales del laboratorio. ....	- 78 -

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1:</b> Fuente Programable AC Chroma 61702. (a) Panel Frontal. (b) Panel posterior. ....	- 96 -
<b>Gráfica 2:</b> Partes de la fuente AC. (a) Panel frontal. (b) Panel posterior.....	- 96 -
<b>Gráfica 3:</b> Analizador FLUKE 435 II. ....	- 97 -
<b>Gráfica 4:</b> Partes principales del FLUKE 435. (a) Panel Frontal. (b) Panel superior. (c) Panel lateral derecho. ....	- 97 -
<b>Gráfica 5:</b> (a) Pantalla principal de funciones. (b) Pantalla List Mode. (c) Pantalla Step Mode. (d) Pantalla Pulse Mode. (e) Pantalla editor de forma de onda. (f) Pantalla de Interarmónicos.....	- 98 -
<b>Gráfica 6:</b> Motor trifásico de 0.5 HP. ....	- 99 -
<b>Gráfica 7:</b> Conexión motor trifásico a la salida de la fuente AC.....	- 99 -
<b>Gráfica 8:</b> Configuraciones de cableado del analizador. ....	- 100 -
<b>Gráfica 9:</b> Conexión del analizador en un sistema trifásico. ....	- 100 -
<b>Gráfica 10:</b> Diagrama de vectores del analizador correctamente conectado .....	- 100 -
<b>Gráfica 11:</b> Conexión equipos para el análisis de calidad de la energía eléctrica. ....	- 101 -
<b>Gráfica 12:</b> Forma de onda de salida actividad 1.....	- 102 -
<b>Gráfica 13:</b> Forma de onda de salida actividad 2.....	- 102 -
<b>Gráfica 14:</b> Forma de onda de salida actividad 3.....	- 103 -
<b>Gráfica 15:</b> Forma de onda US1. ....	- 104 -
<b>Gráfica 16:</b> Forma de onda US2. ....	- 104 -
<b>Gráfica 17:</b> Forma de onda US3. ....	- 104 -
<b>Gráfica 18:</b> Forma de onda US4. ....	- 105 -
<b>Gráfica 19:</b> Forma de onda US5. ....	- 105 -
<b>Gráfica 20:</b> Forma de onda US6. ....	- 106 -
<b>Gráfica 21:</b> Detalle Función Osciloscopio de Fluke.....	- 107 -
<b>Gráfica 22:</b> Forma de onda de salida programada en la pantalla List Mode. ....	- 108 -
<b>Gráfica 23:</b> Forma de onda de salida obtenida con el osciloscopio, programada en la pantalla List Mode. ....	- 108 -
<b>Gráfica 24:</b> Forma de onda de salida programada en la pantalla Pulse Mode.....	- 109 -
<b>Gráfica 25:</b> Forma de onda de salida obtenidas con el osciloscopio, programada en la pantalla Pulse Mode. ....	- 109 -
<b>Gráfica 26:</b> Forma de onda de salida programada en la pantalla Step Mode. ....	- 110 -

<b>Gráfica 27:</b> Forma de onda de salida obtenidas con el osciloscopio, programada en la pantalla Step Mode. ....	- 110 -
<b>Gráfica 28:</b> Forma de onda de salida programada en la pantalla Waveform Editor. ....	- 111 -
<b>Gráfica 29:</b> Posición de guardado de cada forma de onda programada. ....	- 111 -
<b>Gráfica 30:</b> Detalle de pantalla de envío de datos. ....	- 112 -
<b>Gráfica 31:</b> Detalle para la simulación de las formas de onda. ....	- 112 -
<b>Gráfica 32:</b> Forma de onda de salida obtenidas con el osciloscopio, programada en la pantalla Waveform Editor. ....	- 113 -
<b>Gráfica 33:</b> Forma de onda de salida obtenidas con el osciloscopio del Fluke, programada en la pantalla Waveform Editor. ....	- 114 -
<b>Gráfica 34:</b> Forma de onda de salida programada en la pantalla Interharmonics. ....	- 114 -
<b>Gráfica 35:</b> Forma de onda de salida obtenidas con el osciloscopio, programada en la pantalla Interharmonics. ....	- 115 -
<b>Gráfica 36:</b> Detalle forma de onda con transitorios. ....	- 118 -
<b>Gráfica 37:</b> (a) Configuración del parámetro de activación. (b) Configuración del tiempo de medición. ....	- 118 -
<b>Gráfica 38:</b> Forma de onda de voltaje con fenómenos transitorios. ....	- 119 -
<b>Gráfica 39:</b> Nivel de voltaje transitorio. ....	- 120 -
<b>Gráfica 40:</b> (a) Forma de onda de la corriente transitoria. ....	- 121 -
<b>Gráfica 41:</b> (a) Duración en el tiempo del fenómeno transitorio en la forma de onda de salida de la corriente. ....	- 121 -
<b>Gráfica 43:</b> Detalle para establecer el periodo de duración de la depresión de voltaje. ....	- 126 -
<b>Gráfica 44:</b> Detalle de la depresión de voltaje programada. ....	- 126 -
<b>Gráfica 45:</b> Detalle de la selección del modo fluctuaciones para medir depresiones de voltaje. .	- 127 -
<b>Gráfica 46:</b> (a) Detalle para la configuración del evento Voltaje Dip. (b) Detalle para la configuración del inicio del tiempo de medición de depresiones de voltaje. ....	- 127 -
<b>Gráfica 47:</b> Detalle de la pantalla de tendencia para la medición de depresiones de voltaje. ....	- 128 -
<b>Gráfica 48:</b> Detalle de la pantalla de tendencia del resultado de la medición de depresiones de voltaje. ....	- 129 -
<b>Gráfica 49:</b> Detalle del voltaje de las líneas con la presencia de depresiones de voltaje. ....	- 129 -
<b>Gráfica 50:</b> Pantalla con el detalle de las depresiones de voltaje producidas. ....	- 130 -
<b>Gráfica 51:</b> Forma de onda de la corriente al experimentar una caída de tensión. ....	- 130 -
<b>Gráfica 52:</b> Detalle para establecer el periodo de duración para la sobretensión. ....	- 135 -
<b>Gráfica 53:</b> Detalle de la forma de onda de la sobretensión programada. ....	- 135 -
<b>Gráfica 54:</b> Detalle para la selección del modo fluctuaciones para medir sobretensiones. ....	- 136 -
<b>Gráfica 55:</b> (a) Detalle para la configuración del evento Voltaje Swell. (b) Detalle para la configuración del inicio del tiempo de medición de sobretensiones. ....	- 136 -
<b>Gráfica 56:</b> Detalle de la pantalla de tendencia para la medición de sobretensiones. ....	- 136 -
<b>Gráfica 57:</b> Detalle de la pantalla de tendencia del resultado de la medición de depresiones de voltaje. ....	- 137 -
<b>Gráfica 58:</b> Detalle del voltaje de las líneas con la presencia de depresiones de voltaje. ....	- 138 -
<b>Gráfica 59:</b> Pantalla con el detalle de las depresiones de voltaje. ....	- 138 -
<b>Gráfica 60:</b> Forma de onda de la corriente al experimentar una sobretensión. ....	- 139 -
<b>Gráfica 61:</b> Detalle para establecer el periodo de duración para la interrupción de voltaje. ....	- 144 -
<b>Gráfica 62:</b> Detalle de la forma de onda de la interrupción de voltaje programada. ....	- 145 -
<b>Gráfica 63:</b> Detalle para la selección del modo fluctuaciones para medir interrupciones de voltaje. ....	- 145 -
<b>Gráfica 64:</b> Detalle de la pantalla de tendencia para la medición de interrupciones de voltaje. ....	- 146 -
<b>Gráfica 65:</b> Detalle de la pantalla de tendencia del resultado de la medición de interrupciones de voltaje. ....	- 147 -
<b>Gráfica 66:</b> Detalle del nivel de voltaje medido con la presencia de interrupciones. ....	- 148 -

<b>Gráfica 67:</b> Pantalla con el detalle de las depresiones de voltaje .....	- 148 -
<b>Gráfica 68:</b> Detalle de la forma de onda de la corriente al presentarse interrupciones de voltaje.-	149 -
<b>Gráfica 69:</b> Detalle del panel para la configuración de ángulo de fase. ....	154 -
<b>Gráfica 70:</b> Detalle de los datos y forma de onda del desequilibrio del voltaje entre la fase 1-2. -	154 -
<b>Gráfica 71:</b> Detalle de los datos y forma de onda del desequilibrio del voltaje entre la fase 1-3. -	155 -
<b>Gráfica 72:</b> Detalle de los datos y forma de onda del desequilibrio del voltaje entre la fase 1-2 y 1-3.-	156 -
<b>Gráfica 73:</b> Detalle para la selección del modo desequilibrio. ....	156 -
<b>Gráfica 74:</b> Diagrama de vectores de tensiones y corrientes del modo desequilibrio. ....	156 -
<b>Gráfica 75:</b> Diagrama de fasores de voltajes de fases (medición 1).....	157 -
<b>Gráfica 76:</b> Detalle de la pantalla multímetro en modo desequilibrio (medición 1).....	158 -
<b>Gráfica 77:</b> Detalle de la pantalla tendencia en modo desequilibrio (medición 1). ....	158 -
<b>Gráfica 78:</b> Detalle de desequilibrio de voltajes y corrientes (medición 1).....	159 -
<b>Gráfica 79:</b> Estadística del desequilibrio de voltaje (medición 1). ....	159 -
<b>Gráfica 80:</b> Estadística del desequilibrio de corriente (medición 1).....	160 -
<b>Gráfica 81:</b> Diagrama de fasores de voltajes de fases (medición 2).....	160 -
<b>Gráfica 82:</b> Detalle de la pantalla multímetro en modo desequilibrio (medición 2).....	160 -
<b>Gráfica 83:</b> Detalle de la pantalla tendencia en modo desequilibrio (medición 2). ....	161 -
<b>Gráfica 84:</b> Detalle de desequilibrio de voltajes y corrientes (medición 2).....	161 -
<b>Gráfica 85:</b> Estadística del desequilibrio de $V_n$ - medio (medición 2).....	162 -
<b>Gráfica 86:</b> Estadística del desequilibrio de corriente $A_n$ - medio (medición 2).....	162 -
<b>Gráfica 87:</b> Diagrama de fasores de voltajes de fases (medición 3).....	163 -
<b>Gráfica 88:</b> Detalle de la pantalla multímetro en modo desequilibrio (medición 3).....	163 -
<b>Gráfica 89:</b> Detalle de la pantalla tendencia en modo desequilibrio (medición 3). ....	163 -
<b>Gráfica 90:</b> Detalle de desequilibrio de voltajes y corrientes (medición 3).....	164 -
<b>Gráfica 91:</b> Estadística del desequilibrio de $V_n$ - medio (medición 3).....	164 -
<b>Gráfica 92:</b> Estadística del desequilibrio de corriente $A_n$ - medio (medición 3).....	165 -
<b>Gráfica 93:</b> Detalle forma de onda con distorsión armónica (Actividad 1). ....	170 -
<b>Gráfica 94:</b> Detalle forma de onda con distorsión armónica (Actividad 2). ....	171 -
<b>Gráfica 95:</b> Detalle para la selección del modo armónicos. ....	172 -
<b>Gráfica 96:</b> Detalle del gráfico de barras. ....	172 -
<b>Gráfica 97:</b> Detalle para la selección de forma de onda con distorsión armónica. ....	173 -
<b>Gráfica 98:</b> Detalle gráfico de barras de armónicos – Actividad 1. ....	173 -
<b>Gráfica 99:</b> Detalle del histograma de armónicos de voltaje y corriente – Actividad 1. ....	174 -
<b>Gráfica 100:</b> Detalle de la evolución temporal de armónicos de voltaje y corriente – Actividad 1. ....	174 -
<b>Gráfica 101:</b> Detalle forma de onda de salida con distorsión armónica del voltaje y corriente – Actividad 1. ....	175 -
<b>Gráfica 102:</b> Detalle gráfico de barras de armónicos – Actividad 2. ....	175 -
<b>Gráfica 103:</b> Detalle del histograma de armónicos de voltaje y corriente – Actividad 2. ....	176 -
<b>Gráfica 104:</b> Detalle de la evolución temporal de armónicos de voltaje y corriente – Actividad 2. ....	176 -
<b>Gráfica 105:</b> Detalle forma de onda de salida con distorsión armónica del voltaje y corriente – Actividad 1. ....	177 -
<b>Gráfica 106:</b> Detalle con la forma de onda para generar la fluctuación de voltaje. ....	182 -
<b>Gráfica 107:</b> Detalle para la selección del modo Flicker. ....	183 -
<b>Gráfica 108:</b> Detalle de la pantalla de medición de flicker. ....	183 -
<b>Gráfica 109:</b> (a) Pantalla de tendencia Flicker. (b) Detalle medidor de flicker. ....	184 -
<b>Gráfica 110:</b> Detalle nivel de voltaje con presencia de fluctuaciones de voltaje. ....	184 -
<b>Gráfica 111:</b> Nivel de parpadeo $P_{st}$ (1 <i>minu</i> ). ....	185 -

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 3-1:</b> Categorías y características típicas de los fenómenos electromagnéticos del sistema eléctrico.....	- 18 -
<b>Tabla 3-2:</b> Niveles de planificación para $P_{st}$ y $P_{lt}$ en sistemas de potencia MV, HV y EHV..	- 20 -
<b>Tabla 3-3:</b> Niveles de compatibilidad para $P_{st}$ y $P_{lt}$ en sistemas de potencia de BT y MT. ....	- 20 -
<b>Tabla 3-4:</b> Límites de distorsión de voltaje.....	- 21 -
<b>Tabla 3-5:</b> Límites de distorsión armónica de corriente. ....	- 21 -
<b>Tabla 3-6:</b> Requisitos de la tensión de suministro de acuerdo con la norma EN 50160.....	- 22 -
<b>Tabla 3-7:</b> Valores de las tensiones armónicas individuales en los terminales de entrada para órdenes de hasta 25, dados en porcentaje de $U_n$ . ....	- 22 -
<b>Tabla 3-8:</b> Niveles de voltaje acorde a la regulación 005/18.....	- 24 -
<b>Tabla 3-9:</b> Límites para el índice de nivel de voltaje. ....	- 25 -
<b>Tabla 3-10:</b> Límites máximos de armónicos de voltaje. ....	- 26 -
<b>Tabla 4-1:</b> Especificaciones de funcionamiento de la fuente de CA programable. ....	- 28 -
<b>Tabla 4-2:</b> Descripción del panel frontal de la fuente de CA programable. ....	- 29 -
<b>Tabla 4-3:</b> Descripción de las partes del panel posterior de fuente de AC programable. ....	- 31 -
<b>Tabla 4-4:</b> Descripción de las partes del panel posterior de la fuente AC programable.....	- 31 -
<b>Tabla 4-5:</b> Descripción de los tipos de lectura.....	- 40 -
<b>Tabla 5-1:</b> Cuadro morfológico, elementos para el diseño de la mesa de trabajo. ....	- 67 -
<b>Tabla 5-2:</b> Iluminancias mínimas para locales comerciales e industriales. ....	- 69 -
<b>Tabla 5-3:</b> Tipo de conductores utilizado en interiores.....	- 75 -
<b>Tabla 5-4:</b> Factores a utilizar. ....	- 78 -
<b>Tabla 5-5:</b> Detalle cargas del tablero de distribución general.....	- 79 -
<b>Tabla 5-6:</b> Presupuesto del material eléctrico.....	- 80 -
<b>Tabla 5-7:</b> Presupuesto mano de obra instalación eléctrica. ....	- 80 -
<b>Tabla 5-8:</b> Presupuesto equipos de simulación y medición. ....	- 81 -
<b>Tabla 5-9:</b> Presupuesto de equipos de simulación y medición. ....	- 81 -
<b>Tabla 5-10:</b> Presupuesto total de implementación. ....	- 81 -
<b>Tabla 8-1:</b> <i>Parámetros de entrada pantalla List Mode.</i> ....	- 101 -

# **1. CAPÍTULO I. GENERALIDADES.**

## **1.1. INTRODUCCIÓN.**

Los objetivos de las empresas de energía eléctrica son producir, transportar y distribuir la energía eléctrica, para satisfacer la demanda de los consumidores, cumpliendo con requisitos de calidad y confiabilidad. La mala calidad de energía es una constante preocupación de las empresas distribuidoras, transportadores y en especial por los consumidores de la energía eléctrica, de aquí que se ha establecido parámetros para evitar que las perturbaciones dañen el sistema [1], [2].

Por ello las empresas distribuidoras deben garantizar que exista la mínima deformación sinusoidal de la energía ocasionada por fallas o interferencias en la red, cumpliendo las distintas normas. Así evitando cortes de suministro eléctrico, y aumentando la confiabilidad de los sistemas eléctricos [1], [3].

Los indicadores de calidad se clasifican en: Indicadores de calidad primarios y secundarios. Los indicadores de calidad primarios están relacionados con la generación, transporte y distribución de la energía eléctrica, y se deben a: variaciones de frecuencia de la fuente de alimentación, variaciones de voltaje, caídas, fallas de energía, sobretensiones temporales, transitorios, entre otros. Mientras que los indicadores de calidad secundarios, están relacionados con los consumidores comerciales, industriales y residenciales, estos pueden ser: armónicos, inter armónicos, fluctuaciones de voltaje, desequilibrios entre otros [1].

Es importante conocer que las empresas distribuidoras no son las únicas responsables de que se presenten estos problemas, en muchos casos estos problemas se presentan dentro de las instalaciones de cada cliente. Además, actualmente en este problema también se encuentran involucrados los fabricantes de equipos electrónicos, fabricantes de equipos de monitoreo entre otros [4].

## **1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.**

Debido a que actualmente hay un crecimiento de las cargas no lineales ocasionado por aparatos electrónicos, se han incrementado los problemas en la calidad de energía para el suministro. Esta es la razón por la que muchas empresas eléctricas buscan diferentes alternativas para mejorar o mitigar los problemas relacionados con la calidad de energía [5].

La no adecuada calidad de energía provoca pérdidas económicas a nivel industrial debido a que los equipos de automatización son muy sensibles a estos problemas. Mientras que a nivel residencial pueden provocar un mal funcionamiento de los equipos electrónicos llegando incluso a dañarse o en ocasiones llevando al sistema a experimentar cortes de energía [6].

El objetivo que se persigue con la implementación de un laboratorio de calidad de energía en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, es propiciar a la investigación sobre temas de calidad de energía, facilitando al desarrollo e investigación de soluciones a esta problemática, esto permitirá simular las perturbaciones más comunes que se encuentran en las redes de distribución y además posibilitará realizar las mediciones en base a lo que especifican las normas y regulaciones vigentes.

Actualmente la universidad dispone del equipamiento necesario, pero no cuenta con una guía que permita seguir un proceso ordenado para realizar las prácticas relacionadas con el análisis de la calidad de energía eléctrica. La disponibilidad de una guía permitirá a los estudiantes tener una clara comprensión sobre las causas y posibles soluciones a los problemas de calidad de energía.



Adicionalmente se elaborará un manual de prácticas de laboratorio, en el cual se presentará la simulación y el análisis de los distintos problemas presentes en las redes de distribución. Y establecer los parámetros técnicos e indicadores que se utilizan para cuantificar las perturbaciones en las redes de distribución. Se tomará como base las normas IEEE 519-2014 (“*Práctica recomendada IEEE y Requisitos para el control armónico en Sistemas de energía eléctrica*”), y la norma IEEE 1159-2019 (“*Práctica recomendada de IEEE para el formato de intercambio de datos de calidad de energía (PQDIF)*”), y además se tomará como base la norma ecuatoriana de regulación ARCONEL 005/18 (“*Calidad de Servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica*”), entre otros.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN.**

El siguiente proyecto tiene como finalidad realizar una revisión general sobre los aspectos de calidad de energía y analizar cuáles son las causas posibles de dichos problemas y que normas se aplican para su medición y análisis.

Para el análisis de estos fenómenos que se presentan en la red, la Universidad cuenta con una Fuente de CA programable (trifásica) de 3.000 VA, que hasta el momento no se ha utilizado. Esta fuente permitirá simular perturbaciones tales como: fluctuaciones de voltaje, distorsiones armónicas, Distorsiones Inter armónicas, y otras perturbaciones que se podrían presentar en la red [7].

Otro de los equipos que se dispone para elaborar el manual de prácticas, es un analizador de calidad de potencia y energía de marca FLUKE, modelo 435. Este equipo permite medir los diferentes parámetros eléctricos de calidad de energía como: niveles de voltaje de fase y línea, magnitudes corrientes de fase y línea, potencias monofásicas y trifásicas, distorsiones armónicas individuales, y totales, Distorsiones Inter armónicas entre otros. Además permite obtener la forma de onda que se haya simulado con la fuente programable, y con ayuda de un software computacional será posible analizar y cuantificar los diferentes tipos de perturbaciones [8].

Al considerarse el estudio de la calidad de energía eléctrica común en todas las empresas de distribución de energía eléctrica. El documento a desarrollarse será de utilidad no solo a los estudiantes de pregrado de la Universidad Politécnica Salesiana, sino también servirá como manual de entrenamiento para diferentes profesionales que requieran iniciarse en el estudio de los fenómenos de calidad de energía o a aquellos que quieran profundizar sobre el tema.

### **1.4. ALCANCE.**

La propuesta de implementación de un Laboratorio de Calidad de Energía para la UPS, contemplará la revisión de equipos tales como: fuentes, medidores, cargas, accesorios de conexión, entre otros, disponibles actualmente en la UPS y que serán indispensables en la conformación del referido Laboratorio, además del ambiente físico y equipos necesarios que tendrán que ser adquiridos y presupuestados para una futura implementación.

Por otra parte, se desarrollará un manual de prácticas enfocado como guía docente para los profesores responsables de las diferentes carreras de Ingenierías Técnicas de la UPS. En este proceso se analizarán los fenómenos perturbadores que inciden en las redes eléctricas de distribución, específicamente hacia la medición, caracterización y mitigación de dichos fenómenos.

### **1.5. OBJETIVOS.**

#### **1.5.1. Objetivo General**

- Elaborar la propuesta de implementación de un laboratorio de Calidad de Energía Eléctrica para la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, y un manual que permita realizar prácticas y analizar las diferentes perturbaciones presentes en las redes eléctricas de distribución, para las carreras relacionadas con Ingenierías Técnicas.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Investigar y analizar las normas vigentes relacionadas con la Calidad de Energía Eléctrica y su aplicación a nivel del laboratorio.
- Analizar, determinar y desarrollar el manual con los ensayos de Calidad de Energía Eléctrica a ser implementados, como parte de un programa de ayuda al docente para la enseñanza en las carreras de Ingenierías Técnicas de la UPS.
- Determinar el equipamiento existente y el equipamiento adicional necesario, para la conformación del laboratorio de Calidad de Energía.
- Diseñar la propuesta de implementación del laboratorio de Calidad de Energía, que incluirá los requerimientos de equipos de: generación de perturbaciones, medición, cargas eléctricas, accesorios de conexionado e instalaciones necesarias.

## **2. CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.**

### **2.1. INTRODUCCIÓN A LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

Actualmente la energía eléctrica se considera como la materia prima básica para el desarrollo económico de un país, debido a que es un recurso muy utilizado para realizar las actividades industriales, comerciales y residenciales. Es por eso que este tipo de recurso debe estar disponible de manera permanente y con la adecuada calidad para los usuarios [8].

Una adecuada calidad de la energía eléctrica significa tener un servicio con la mínima cantidad de interrupciones y que las perturbaciones de la forma de onda estén dentro de los rangos establecidos por las diferentes normas. Por lo tanto, el concepto de calidad de la energía eléctrica toma interés para los usuarios y para las empresas eléctricas en general.

Así como se va dando el crecimiento en la demanda a la par con el crecimiento del número de usuarios y el crecimiento económico, además por la incorporación de nuevas tecnologías en dispositivos electrónicos se viene experimentando el crecimiento de las perturbaciones eléctricas, cuyos efectos disminuyen la vida útil de los equipos eléctricos y elevan los valores de pérdida reflejado en energía y por ende en valores económicos [2], [9].

Por consiguiente, las empresas generadoras y distribuidoras tienen que enfrentarse a dos grandes problemas que son:

- Incrementar la capacidad de generación eléctrica con el objetivo de satisfacer la demanda.
- Entregar al usuario final la energía eléctrica con una adecuada calidad, cuya finalidad es garantizar el buen funcionamiento de los equipos eléctricos que están conectados a la red.

Sin embargo, de acuerdo a un estudio realizado por la General Electric, el 20% de los fenómenos eléctricos son generados por fuentes externas al lado de la empresa distribuidora, y el 80% generados dentro de las instalaciones de cada cliente [8].

### **2.2. HISTORIA.**

La calidad de la energía eléctrica en sus inicios no tenía gran importancia, debido a que no presentaban problemas por la existencia de cargas no lineales como en la actualidad, al principio los únicos que generaban perturbaciones en las magnitudes eléctricas eran los transformadores, motores y descargas eléctricas; pero los problemas se agravaron por la aparición de cargas no lineales de acuerdo con los nuevos avances tecnológicos que surgen a partir de los 80, en especial con la aparición de los semiconductores que han estado cambiando la naturaleza de las cargas que hoy en día se ven en la industria, comercio y residencia [10].

### **2.3. CONCEPTO CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

La calidad de la energía eléctrica se puede definir como la ausencia de interrupciones, deformaciones de la forma de onda por la aparición de armónicos en la red y variaciones del valor *rms*, cuyo objetivo principal es encontrar soluciones a estos problemas que se presenta al lado del usuario, y soluciones a las fallas que se presentan en el lado del sistema de las empresas distribuidoras.

En los sistemas de distribución los problemas más comunes que se presentan son 5: distorsión armónica, interrupciones, sobrevoltajes y bajo voltajes, depresiones, elevaciones de voltaje y transitorios, en donde los problemas que más afectan a la calidad de la energía son los transitorios al igual que los incrementos y decrementos del voltaje dañando la mayoría de los equipos [11].

## 2.4. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.

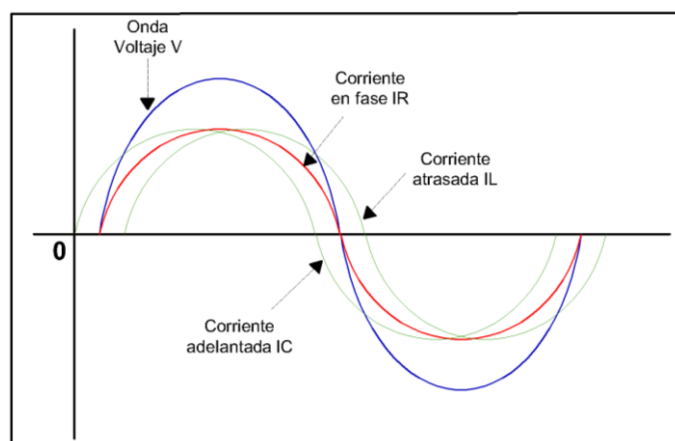
La importancia del estudio de la calidad de la energía eléctrica crece a raíz de la incorporación de nuevas tecnologías, sobre todo en el campo de la electrónica, ocasionando un incremento de cargas no lineales en el sistema eléctrico. Estas cargas no lineales son consideradas los principales responsables de provocar las perturbaciones eléctricas, que al final afectan a los equipos electrónicos que son los más sensibles.

## 2.5. TIPOS DE CARGAS.

Actualmente la mayoría de los aparatos electrónicos que se encuentran en el usuario final producen una gran cantidad de perturbaciones conocidas como distorsiones armónicas de voltaje y corriente, que deterioran y contaminan las redes de distribución eléctrica aumentando las pérdidas de potencia, y sobre todo dañando y reduciendo la vida útil de las redes eléctricas y de los dispositivos que se conecten a él [12]. Estas cargas son:

### 2.5.1. Cargas Lineales.

Las cargas lineales son aquellas cargas puramente resistivas, inductivas, capacitivas o una combinación de ellos. Al aplicar un voltaje senoidal a esta carga, se produce una corriente proporcional que es senoidal, es decir, en circuitos de AC al incrementar el voltaje también se incrementa la corriente y viceversa [12], fenómeno presentado en la figura 2-1.

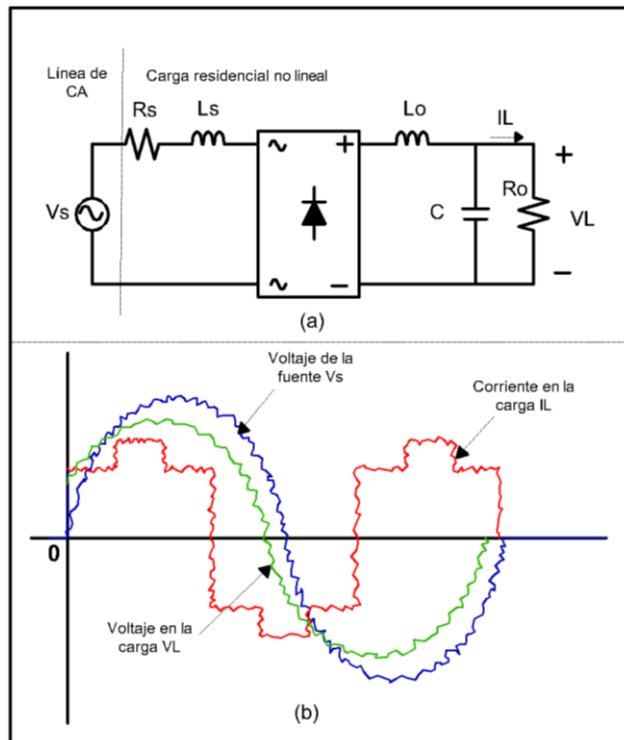


**Figura 2-1:** Ondas de voltaje y corriente para una carga lineal.  
Fuente: [12].

Es importante recordar que en un circuito Resistivo la corriente es pura, se encuentra con la onda senoidal del voltaje en fase; en un circuito inductivo la onda senoidal de la corriente esta retrasada con respecto a la del voltaje, y mientras que en un circuito capacitivo la onda de la corriente esta adelantada con respecto a la del voltaje. Es por eso que todos los circuitos R, L, C puros se consideran como cargas lineales debido a que cumplen la relación fundamental de la Ley de OHM, en donde para un determinado valor en ohmios la relación entre el voltaje y la corriente forman una línea recta (Figura 2-3, (a)) [12].

### 2.5.2. Cargas no Lineales.

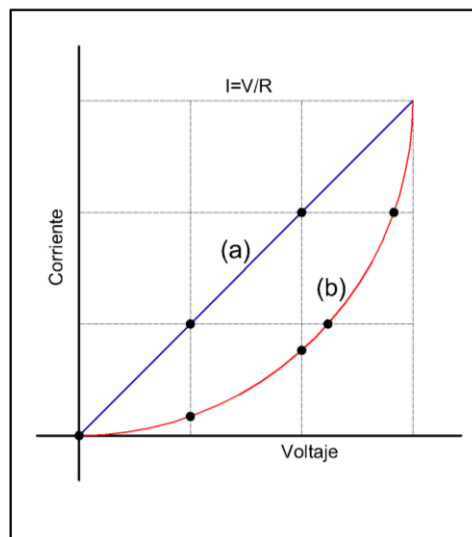
Las cargas no lineales producen gran distorsión sobre la corriente que demandan, ocasionando que la onda senoidal del voltaje también llegue a distorsionarse. Generalmente las cargas no lineales se presentan en la nueva tecnología que utiliza la electrónica de potencia [12]. En la figura 2-2 se observa cómo está representada una carga no lineal en una residencia.



**Figura 2-2:** (a) Modelo carga residencial. (b) Distorsión de la forma de onda del voltaje y corriente causada por una carga no lineal.

Fuente: [12]

A diferencia de las cargas lineales las cargas no lineales no presentan una relación directa entre el voltaje y la corriente, un comportamiento de la relación es presentada en la figura 2-3.



**Figura 2-3:** (a) Comportamiento de la curva con una carga lineal. (b) Comportamiento de la curva con una carga no lineal.

Fuente: [12].

## 2.6. CLASIFICACIÓN GENERAL DE LOS FENÓMENOS ELÉCTRICOS.

Para determinar la calidad de energía en un sistema eléctrico existe una variedad de factores medibles, sin embargo, tomando como referencia principal a la norma IEEE std 1159-2019, los factores más comunes son las siguientes:

### 2.6.1. Transitorios.

En los sistemas eléctricos los transitorios son sobrevoltajes momentáneos de muy corta duración cuya magnitud es muy grande. A los transitorios se les consideran como un tipo de fenómeno más dañino de la potencia.

De manera general, teniendo en cuenta su forma de onda de voltaje y/o corriente los transitorios se clasifican en: transitorio impulsivo y transitorio oscilatorio.

#### 2.6.1.1. Transitorio impulsivo.

Un transitorio impulsivo se considera al cambio repentino de la frecuencia, diferente a 60 Hz, con polaridad unidireccional que puede ser positiva o negativa, presenta una duración menor a medio ciclo, generalmente este fenómeno se caracteriza por el tiempo de subida y bajada; el cual se define por su contenido espectral, en magnitud y duración [8], [13].

Las principales causa de los transitorios impulsivos son las descargas atmosféricas, maniobras con interruptores, puesta a tierra deficiente, puesta en marcha de cargas inductivas, liberación de fallas de la red eléctrica, entre otros; ocasionado pérdida de datos y sobre todo el daño físico de los equipos [13], [14]. En la figura 2-4 se aprecia la forma de onda cuando se presenta un transitorio impulsivo.

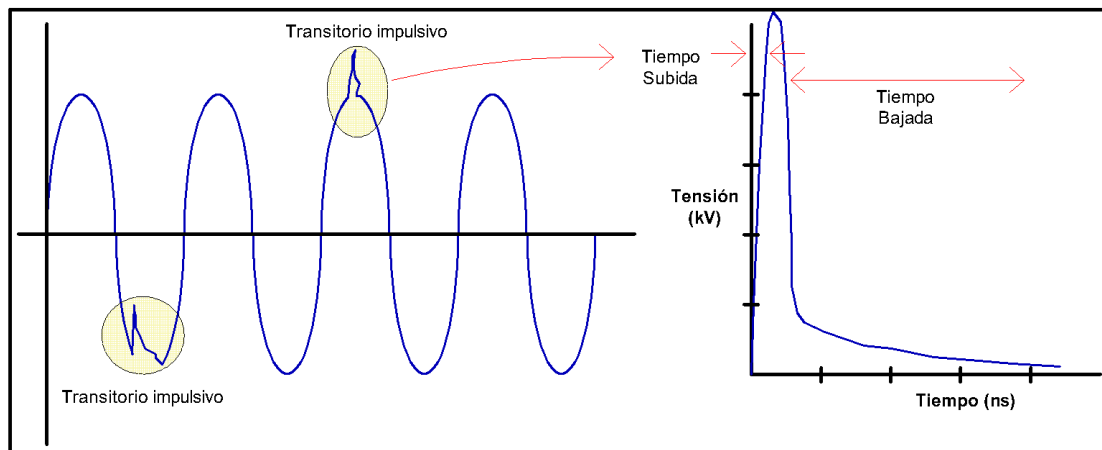


Figura 2-4: Transitorio impulsivo de voltaje.  
Fuente: [14].

La causa principal que ocasiona los transitorios impulsivos son los rayos, en la figura 2-5, se observa la corriente transitoria impulsiva típica de un rayo. No obstante, los transitorios impulsivos pueden alimentar los circuitos de resonancia del sistema de potencia y generar transitorios oscilatorios [13].

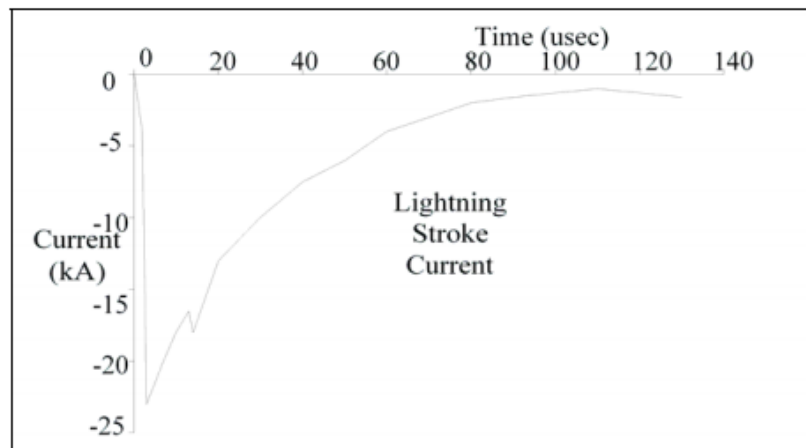


Figura 2-5: Corriente del rayo que puede provocar transitorios impulsivos en el sistema eléctrico.  
Fuente: [13].

### 2.6.1.2. Transitorio oscilatorio.

Un transitorio oscilatorio se considera al cambio repentino de la frecuencia, diferente a 60 Hz, en donde el voltaje o corriente presentan valores instantáneos con polaridad positiva y negativa que cambian rápidamente, es decir, en términos comprensibles el transitorio oscilatorio hace que la señal de la fuente tenga un acrecentamiento y luego una bajada de tensión de manera alternada y muy rápida. Generalmente los transitorios oscilatorios se caracterizan por su contenido espectral, su magnitud y su duración, [13], [14].

Los transitorios oscilatorios de alta frecuencia a menudo son el resultado de la respuesta del sistema a un transitorio impulsivo. Este fenómeno es causado por la energización de un banco de condensadores que se encuentra cercano a un banco de condensadores existente en servicio. En la figura 2-6 se presenta la forma de onda de un transitorio oscilatorio [13].

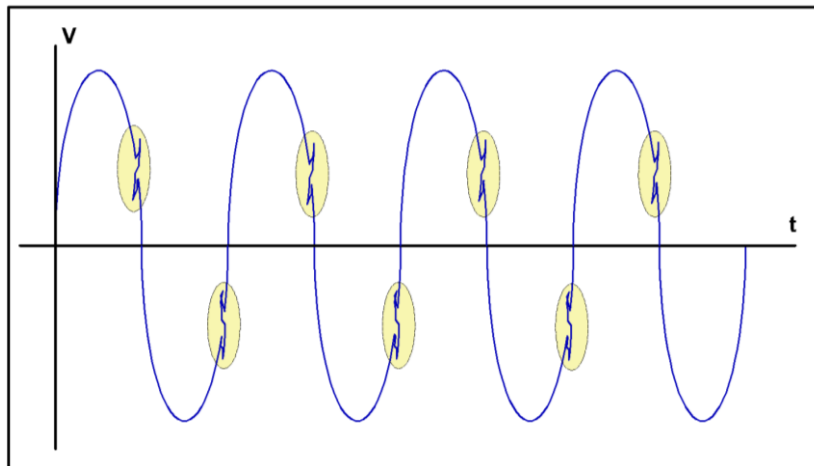


Figura 2-6: Transitorio Oscilatorio de voltaje.  
Fuente: [14].

En la figura 2-7 se ilustra el resultado de la corriente transitoria que se produce al momento de la conmutación de varios condensadores consecutivos.

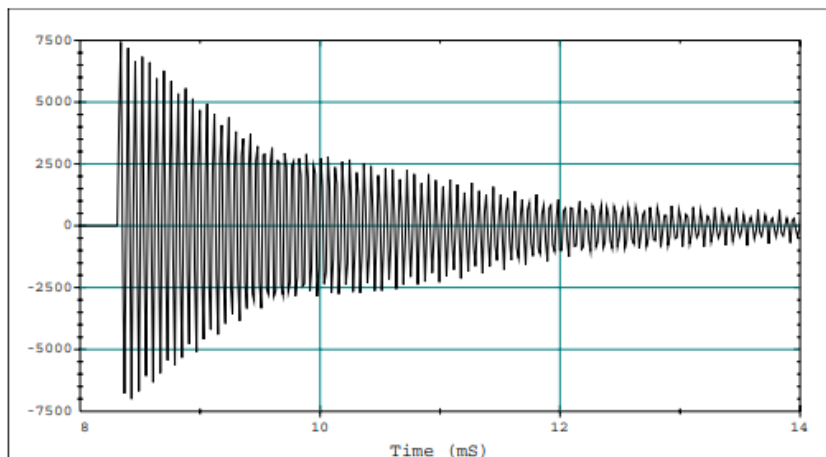


Figura 2-7: Transitorio oscilatorio causado por la conmutación de condensadores.  
Fuente: [13].

### 2.6.2. Variaciones rms de corta duración.

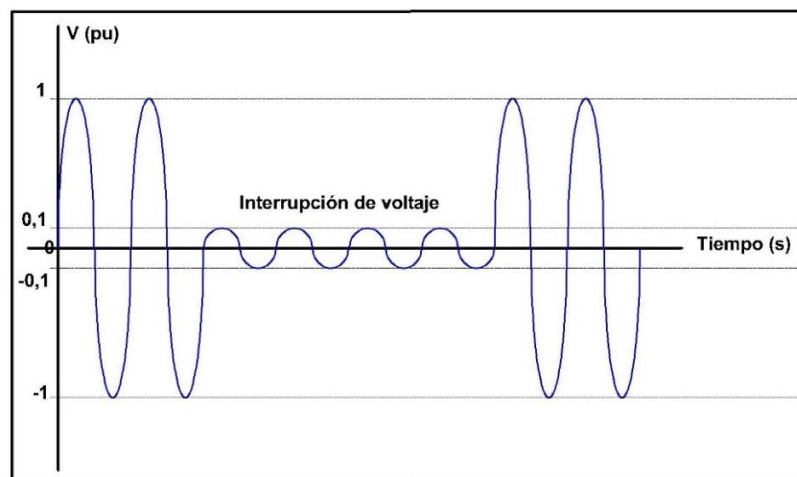
Las variaciones de voltaje de corta duración son las que se presentan en tiempos breves, estas variaciones se pueden clasificar en: interrupciones, caídas de tensión y elevaciones de tensión, las mismas que dependiendo de su duración pueden ser instantáneas, momentáneas o temporales.

En la mayoría de los casos, estas variaciones son causadas por fallas en el sistema o por la excitación de grandes cargas que requieren altas corrientes para iniciar su funcionamiento. Dependiendo de la localización de la falla se presentarán caídas de tensión, elevaciones de tensión o hasta incluso una pérdida completa del voltaje [13].

### 2.6.2.1. Interrupción.

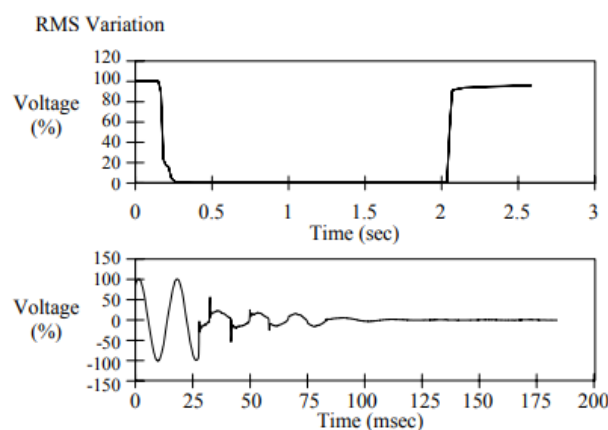
Una interrupción se considera cuando la magnitud del valor del voltaje o corriente presenta una disminución grave por debajo del 0,1 pu, o por debajo del 10 % de su valor nominal. Las interrupciones están caracterizadas por su duración y pueden ser instantáneas (entre 0.5 ciclos y 30 ciclos), momentáneas (entre 30 ciclos y 3 segundos), temporales (entre 3 segundos y 1 minuto) y sostenidas para interrupciones mayores a 1 minuto [8], [13].

Las interrupciones generalmente son ocasionadas por fallas en el sistema, por el mal funcionamiento de los equipos de protección o por la existencia de conexiones sueltas, ya que en muchos casos una interrupción viene acompañado con una disminución de tensión [13]. En la figura 2-8 se puede apreciar la forma de onda del voltaje al presentarse una interrupción.



*Figura 2-8: Interrupción momentánea de voltaje.*  
Fuente: [8].

En la figura 2-9 se observa una interrupción momentánea causada por una falla, en donde el voltaje cae a cero en un tiempo aproximado de 2.3 segundos. La figura superior representa la variación rms al producirse la interrupción mientras que la figura inferior representa la tensión instantánea del inicio del evento, en la figura 2-9 se aprecia que la tensión no cae a cero inmediatamente después de ocurrir la interrupción [13].



*Figura 2-9: Interrupción momentánea debido a falla y posterior operación del restaurador.*  
Fuente: [13].



### 2.6.2.2. Disminución de tensión (Sag o dip).

Una disminución de tensión (Sag) presente en el sistema se considera a la baja del voltaje rms (voltaje eficaz) entre un valor de 0.1 pu. y 0.9 pu, con una duración entre medio ciclo y 1 minuto. Las disminuciones de tensión se caracterizan por su duración y pueden ser instantáneas (entre 0.5 ciclos y 30 ciclos), momentáneas (entre 30 ciclos y 3 segundos), temporales (entre 3 segundos y 1 minuto) y sostenidas para interrupciones mayores a 1 minuto [8], [13].

Este tipo de problemas se presentan por fallas en el sistema o por el arranque de grandes motores debido a que algunos motores necesitan de 7 a 10 veces la corriente nominal para su arranque, ocasionando que algunas cargas sensibles salgan de su operación. En la figura 2-10 se puede apreciar la forma de onda del voltaje al presentarse una disminución de tensión [13].

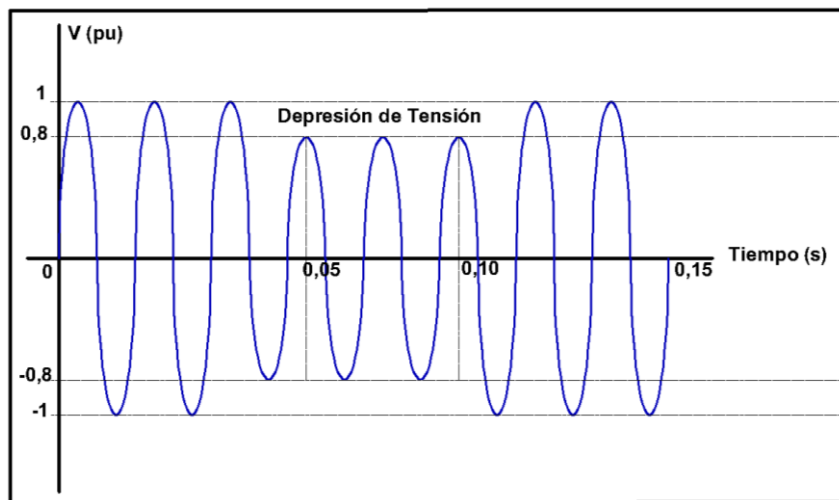
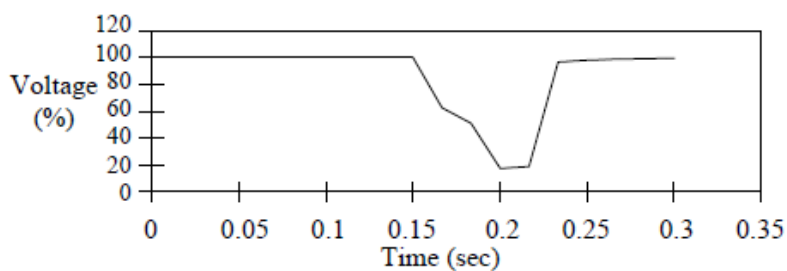
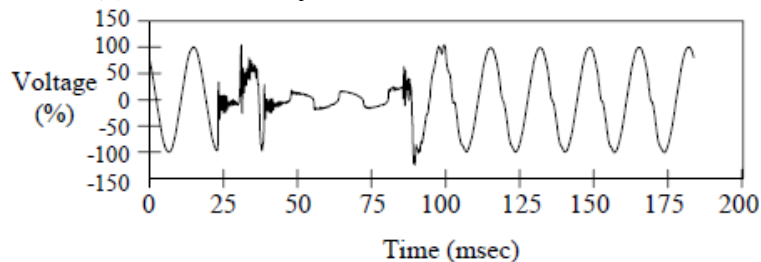


Figura 2-10: Disminución temporal de voltaje (Sag o Dip).  
Fuente: [8].

Otra causa que generalmente provocan las caídas de tensión es por la presencia de fallas del sistema, en la figura 2-11 (a,b) se observa una caída de tensión típica al sufrir una falla de una línea a tierra (SLG), el despeje de una falla tiene un tiempo de duración entre 3 ciclos y 30 ciclos dependiendo de la magnitud de la corriente de falla y del tipo de detección e interrupción de protección de sobrecorrientes [13].



(a) Variación rms al producirse una disminución de tensión.



(b) Forma de onda de la tensión instantánea del inicio y fin del evento.

Figura 2-11: Caída de tensión instantánea causada por una falla SLG.  
Fuente: [13].

### 2.6.2.3. Elevación de tensión (Swell).

Una elevación de tensión o sobretensión se considera al aumento momentáneo del valor rms de la tensión eléctrica cuyas magnitudes generalmente están comprendidas entre 1,1 pu y 1,8 pu; presenta una duración entre medio ciclo y 1 minuto, en donde este tipo de falla está caracterizado por su duración y magnitud (valor eficaz). Las sobretensiones se caracterizan por su duración y pueden ser instantáneas (entre 0.5 ciclos y 30 ciclos), momentáneas (entre 30 ciclos y 3 segundos) y temporales (entre 3 segundos y 1 minuto) [8], [13].

Al igual que las depresiones de tensión estos fenómenos son causados por fallas en el sistema, es decir, cuando una fase falla las otras dos fases se sobrecargan temporalmente. También son ocasionadas por el desprendimiento de carga, desconexión de motores grandes o cuando se realiza la conexión del banco de condensadores. Ocasionando principalmente daños en equipos electrónicos sensibles y daño en el aislamiento de conductores y equipos. En la figura 2-12 se aprecia la forma de onda del voltaje al experimentar una sobretensión [13].

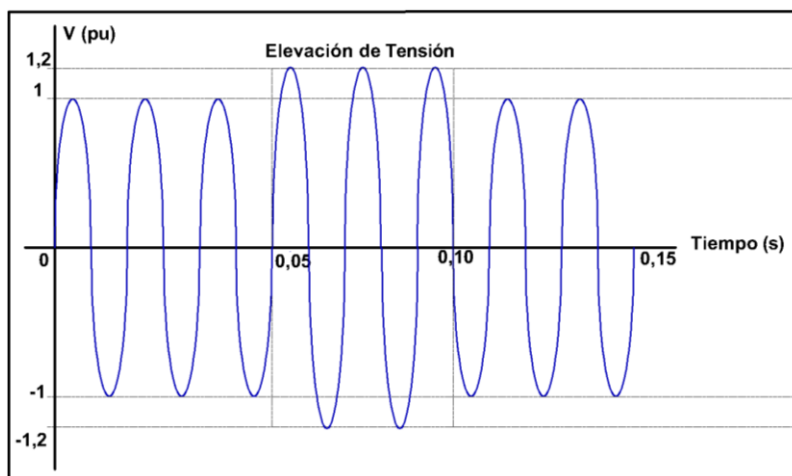
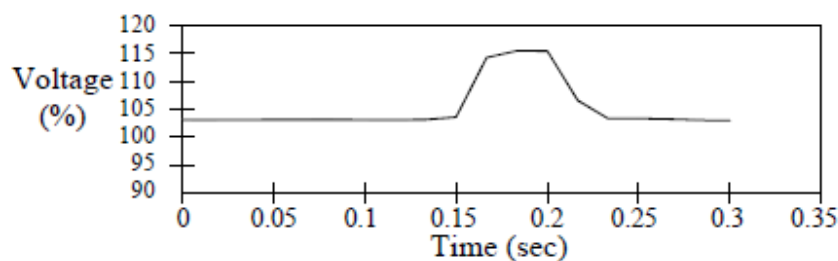
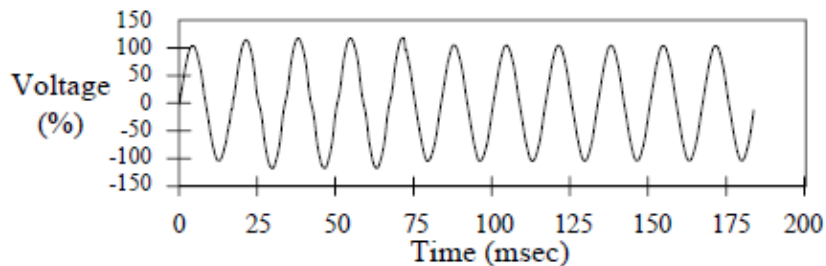


Figura 2-12: Elevación temporal de tensión.  
Fuente: [8].

En la figura 2-13 (a,b) se observa la forma de onda típica de una sobretensión al presentarse una falla de una línea a tierra (SLG), produciendo un aumento temporal en las fases sin falla.



(a) Variación rms al producirse una elevación de tensión.



(b) Forma de onda de la tensión instantánea del inicio y fin del evento.

Figura 2-13: Sobretensión instantáneo causado por una falla SLG.

Fuente: [13].

### 2.6.3. Variaciones rms de larga duración.

Se denomina variaciones de larga duración cuya variación de voltaje o corriente se presenta con una duración mayor a 1 minuto, dependiendo la causa las variaciones de larga duración pueden ser: sobrevoltajes, los bajos voltajes e interrupciones. Las variaciones de larga duración generalmente no son el resultado de fallas del sistema, sino que son causados por variaciones de carga en el sistema y por operaciones de cambio y mantenimiento del sistema [13].

#### 2.6.3.1. Sobrevoltajes (overvoltage).

Un sobrevoltaje se considera al aumento del valor rms (valor eficaz) mayor al 1.1 pu con respecto al voltaje nominal que tiene una duración mayor a 1 minuto. Para los sobrevoltajes que tengan una duración mayor a 1 minuto también se los conoce como sobretensiones sostenidas [13].

#### 2.6.3.2. Subvoltaje (undervoltage).

Un bajo voltaje es la reducción del valor rms del voltaje de alimentación cuyos valores están entre 0,8 y 0.9 pu del voltaje nominal, con una duración mayor a 1 minuto. Al igual que los sobrevoltajes, para los bajo voltajes con duración mayor a 1 minuto se les conoce como bajo voltajes sostenidas [13].

#### 2.6.3.3. Interrupciones sostenidas.

Una interrupción sostenida se considera a la disminución del valor rms por debajo del 0.1 pu, con una duración mayor a 1 minuto, en muchas ocasiones estos problemas se consideran permanentes por lo que generalmente requieren intervención manual [13].

### 2.6.4. Desbalance de voltaje.

Un sistema eléctrico se encuentra en balance, equilibrado o simétrico si los voltajes y corrientes tienen la misma magnitud y además existe un desplazamiento de  $120^\circ$  entre ellos, como se aprecia en la figura 2-14. Si cualquiera de estas características no se cumple el sistema eléctrico se encuentra desbalanceado, desequilibrado o asimétrico [8].

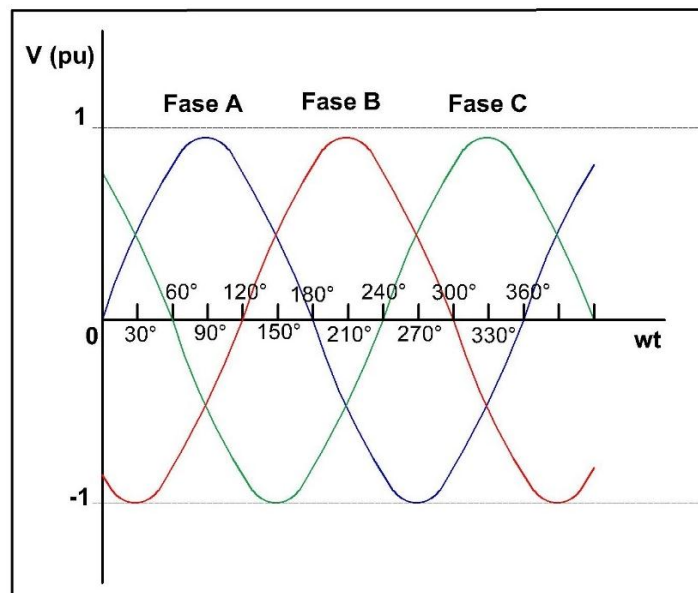


Figura 2-14: Voltajes trifásicos balanceados.

Fuente: [8].

Un desbalance de voltaje también se considera como la máxima desviación del promedio de los voltajes o corrientes trifásicas. Este desbalance se encuentra definido en función de sus componentes simétricas, cuya relación es igual a la magnitud de la componente negativa entre la magnitud de la componente

positiva expresada como un porcentaje, tal como se encuentra representado matemáticamente en la siguiente ecuación [8], [13].

$$\%Desbalance = \frac{|V_{neg}|}{|V_{pos}|} * 100\%$$

Estos desbalances de voltaje generalmente se originan por existir cargas monofásicas en circuitos trifásicos y también por el hecho de que se fundan fusibles de una de las fases de bancos de condensadores trifásicos [13].

### 2.6.5. Distorsión de la forma de onda.

Se considera a la distorsión de la forma de onda como la distorsión en estado estable de una senoide ideal cuya frecuencia es 60 Hz. Existen cinco tipos principales que originan estas distorsiones [13], los cuales son:

- Offset de CD.
- Armónicas.
- Inter armónicas.
- Muecas y,
- Ruido.

#### 2.6.5.1. Offset de CD.

La existencia de un voltaje o corriente de CD en un sistema de alimentación de corriente alterna CA se considera offset de CD, esto se debe a la existencia de disturbios geomagnéticos o debido al efecto de la rectificación de media onda en convertidores electrónicos de potencia [8], [13].

La presencia de CC en redes de CA es perjudicial por el aumento de la saturación y calentamiento del transformador, provocando que la vida útil del transformador disminuyera [13]. En la figura 2-15 se puede observar la diferencia de una onda sinusoidal con y sin offset de CD.

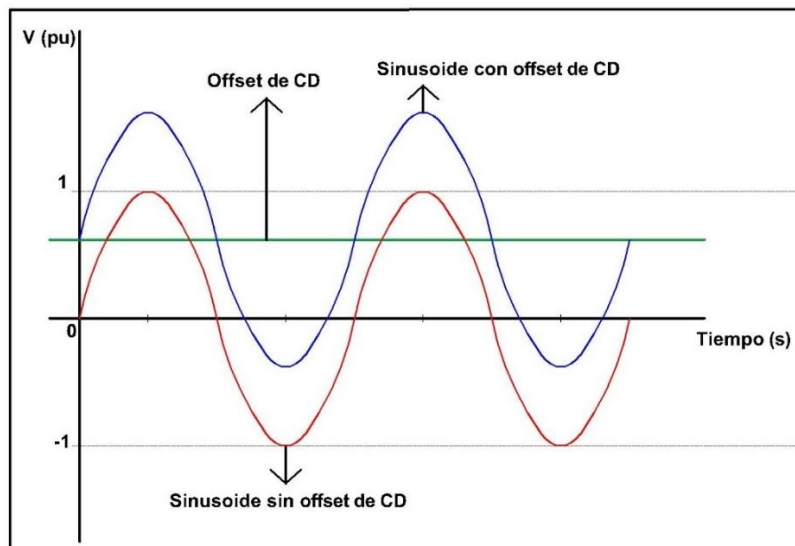


Figura 2-15: Onda sinusoidal con offset de CD.

Fuente: [8].

#### 2.6.5.2. Armónicas.

Las armónicas se consideran a las sinusoides de voltaje o corriente que tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, generalmente la frecuencia fundamental es de 50 Hz o

60 Hz al combinarse con la senoide de voltaje o corriente fundamental los armónicos producen la distorsión de la forma de onda.

Un voltaje periódico no sinusoidal que varía en el tiempo puede ser reemplazado por tres componentes procedentes de la transformación de Fourier, como se presenta en las siguientes ecuaciones.

$$v(t) = V_0 + [a_1 \text{Cos}(wt) + b_1 \text{Sen}(wt)] + \sum_{k=2}^{\infty} [a_k \text{Cos}(kwt) + b_k \text{Cos}(kwt)]$$

$$v(t) = V_0 + V_{P1} \text{Cos}(wt + \phi_1) + \sum_{k=2}^{\infty} V_{Pk} \text{Cos}(kwt + \phi_k) = V_0 + v_1(t) + v_A(t)$$

Donde:

$V_0$  = Componente de CD.

$v_1$  = Componente fundamental.

$v_A$  = Contenido armónico.

$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T v(t) \text{Cos}(kwt) dt \quad \text{para } k = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T v(t) \text{Sen}(kwt) dt \quad \text{para } k = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

$$V_{Pk} = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} = \sqrt{2} V_k \quad \text{para } k = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

$$\phi_k = -\tan^{-1} \frac{b_k}{a_k} \quad \text{para } k = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

$$V_0 = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt = \text{Componente de CD} = \text{Valor promedio de } v(t).$$

$$v_1(t) = V_{P1} \text{Cos}(wt + \phi_1) = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} V_{P1} \text{Cos}\left(wt - \tan^{-1} \frac{b_1}{a_1}\right) = \text{Componente fundamental.}$$

$$v_A(t) = \sum_{k=2}^{\infty} V_k(t) = \sum_{k=2}^{\infty} V_{Pk} \text{Cos}(kwt + \phi_k) = \sum_{k=2}^{\infty} \sqrt{a_k^2 + b_k^2} V_{P1} \text{Cos}\left(wt - \tan^{-1} \frac{b_k}{a_k}\right)$$

$v_A(t)$  = Contenido armónico.

Al trabajar con armónicas en sistemas eléctricos es más común trabajar la serie trigonométrica de Fourier en forma seno que en coseno, por ejemplo, para las corrientes la ecuación de la serie de Fourier es:

$$i(t) = I_0 + [a_1 \text{Cos}(wt) + b_1 \text{Sen}(wt)] + \sum_{k=2}^{\infty} [a_k \text{Cos}(kwt) + b_k \text{Cos}(kwt)]$$

$$i(t) = I_0 + I_{P1} \text{Sen}(wt + \theta_1) + \sum_{k=2}^{\infty} I_{Pk} \text{Sen}(kwt + \theta_k) = I_0 + i_1(t) + i_A(t)$$

Donde:

$$V_0 = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) dt$$

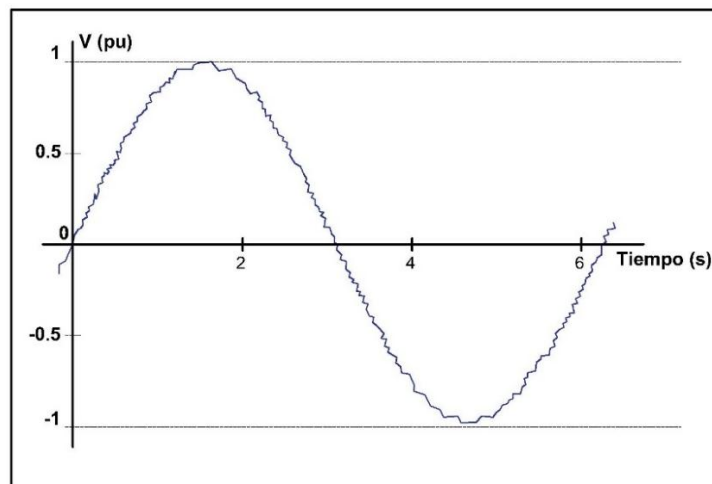
$$a_k = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \cos(k\omega t) dt \quad \text{para } k = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

$$b_k = \frac{2}{T} \int_0^T i(t) \sin(k\omega t) dt \quad \text{para } k = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

$$I_{Pk} = \sqrt{a_k^2 + b_k^2} = \sqrt{2} I_k \quad \text{para } k = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

$$\theta_k = \tan^{-1} \frac{a_k}{b_k} \quad \text{para } k = 1, 2, 3, \dots, \infty$$

La distorsión armónica es producida por características no lineales de dispositivos y cargas que están basados sobre todo en la electrónica de potencia [8], [13]. En la figura 2-16 se aprecia la forma de onda del voltaje que está contaminado por las distorsiones armónicas.



*Figura 2-16: Onda sinusoidal distorsionada por armónicos.*  
Fuente: [8].

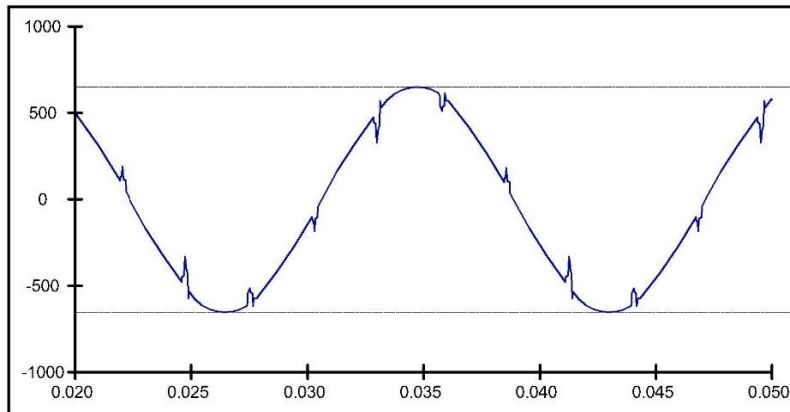
Los niveles de distorsión armónica se pueden caracterizar en función de su magnitud y ángulo de fase de cada componente individual, o de manera general a través de la distorsión armónica total (THD) que representa la medida de la magnitud de la distorsión armónica [13].

### 2.6.5.3. Interarmónicas.

Los interarmónicos se denomina a las sinusoides de voltaje o corriente que presentan componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental. Las interarmónicas se pueden encontrar en todas las redes de voltaje, donde las principales fuentes generadoras de la distorsión de la forma de onda interarmónica son los: convertidores de frecuencia estáticos, los ciclos convertidores, los hornos de inducción y los dispositivos de arco [8], [13].

### 2.6.5.4. Muestras.

Se denomina muesca a una perturbación periódica de voltaje originada por la operación normal de los dispositivos de electrónica de potencia al conmutarse la corriente de una fase a otra. Debido a que este fenómeno se presenta de manera continua y a su contenido de frecuencia alto, tiene características que puede ser considerado como transitorio o como distorsión armónica. En la figura 2-17 se presenta el ejemplo de una muesca de voltaje.



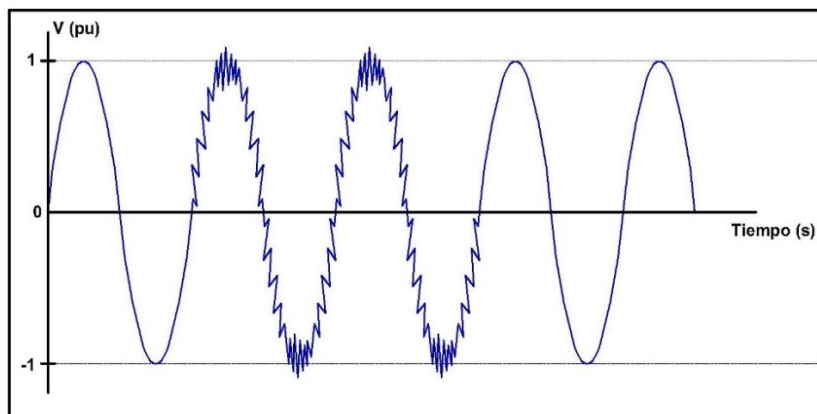
**Figura 2-17:** Muesca de voltaje causado por la operación del convertidor.

Fuente: [13].

### 2.6.5.5. Ruido.

El ruido en los sistemas de potencia son señales eléctricas no deseadas que están superpuestas en la señal de voltaje o corriente que dañan a los dispositivos electrónicos tales como microcomputadoras y controladores programables, la magnitud típica del ruido es menor al 1 % de la magnitud del voltaje.

Los problemas de ruido se dan regularmente por una inadecuada puesta a tierra, por lo que este fenómeno se considera como cualquier distorsión no deseada de la señal de potencia que no puede clasificarse como distorsión armónica o como transitorio [8], [13], [15]. En la figura 2-18 se puede apreciar una señal de voltaje superpuesta por una señal de ruido.



**Figura 2-18:** Señal de voltaje con ruido.

Fuente: [15].

En los sistemas de potencia el ruido generalmente puede ser causado por dispositivos electrónicos de potencia, circuitos de control, equipos de arco, cargas con rectificadores de estado sólido y fuentes de alimentación conmutadas. Para reducir los problemas causados por ruido a menudo se utilizan filtros, transformadores de aislamiento y acondicionadores de línea [13].

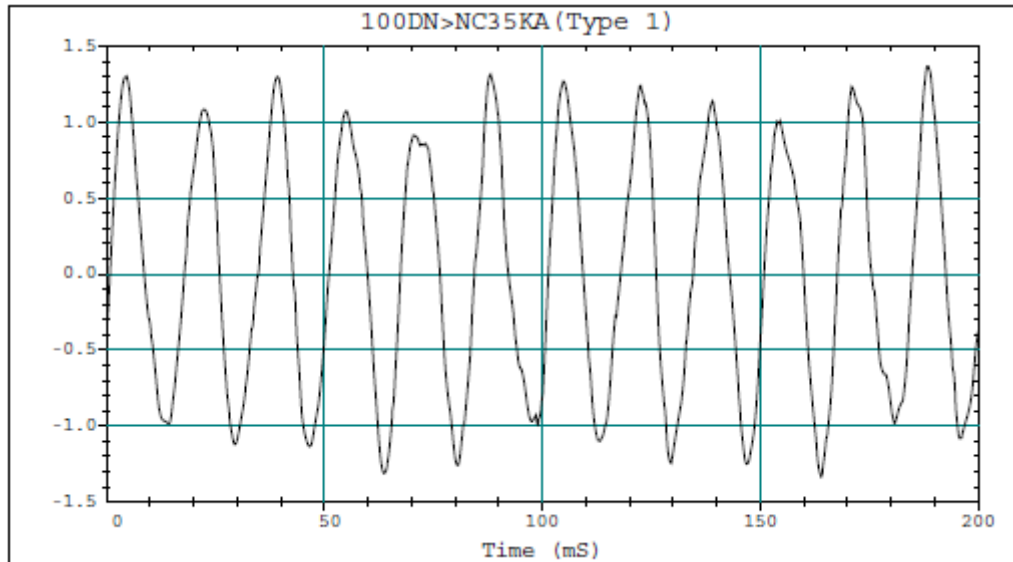
### 2.6.6. Fluctuaciones de voltaje, parpadeo o “Flicker”.

El efecto flicker o parpadeo está relacionado al efecto más notorio ocasionado por las fluctuaciones de voltaje. Las fluctuaciones de voltaje pueden ser observadas por los humanos debido a los cambios en la intensidad luminosa de las lámparas y en algunos casos se aprecia el parpadeo en los monitores de las computadoras [8], [13].

Generalmente el parpadeo se da por la energización de cargas que necesitan de corrientes muy elevadas para su arranque, si estos arranques se dan con frecuencia o si la exigencia de corriente para la carga

fluctúa rápidamente el efecto de parpadeo puede ser muy notable. Otras causas que pueden generar el parpadeo son los elevadores, hornos de arco y soldadoras de arco [8].

Debido a que la causa más común de las fluctuaciones de voltaje en los sistemas de transmisión y distribución son los hornos de arco, en la figura 2-19 se aprecia un ejemplo de la forma de onda del voltaje que produce el parpadeo de la lámpara debido a un horno de arco [13].



**Figura 2-19:** Fluctuaciones de voltaje producido por la operación del horno de arco.  
Fuente: [13].



### 3. CAPÍTULO

## NORMAS VIGENTES RELACIONADAS A LA CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.

#### 3.1. INTRODUCCIÓN.

Las normas en el sector eléctrico son varias debido a que existen muchas entidades las que las publican, por lo que es importante tener claro que norma o entidad es la más adecuada y la más utilizada en nuestro medio, también es importante tomar a consideración el año de publicación de cada una de ellas con finalidad de no llegar a tener inconvenientes a la hora de realizar un diseño, conexión de equipos de medición, elección de maquinaria, entre otros.

Las entidades más importantes que han desarrollado estándares para el estudio de la calidad de la energía eléctrica son:

- IEC: International Electrotechnical Commission (Normas IEC).
- IEEE: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Estándares IEEE).
- CENELEC: European Committee for electrotechnical Standardization (Normas EN).
- ANSI: American National Standards Institute (Normas ANSI) [8].
- ARCONEL: Agencia de regulación y control de la electricidad (Ecuador).

Actualmente las normas más utilizadas son la IEEE y la IEC a nivel internacional, en el caso de Ecuador ARCONEL tiene regulaciones aplicables que sustentan su normativa y valores a las normas internacionales; a continuación, se sintetiza las normas que se utilizarán para realizar de manera correcta las diferentes mediciones, análisis y conclusiones.

#### 3.2. NORMA IEEE std 1159-2019 “IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality”.

La norma IEEE 1159-2019 abarca las características que presentan los sistemas eléctricos de CA monofásicos y polifásicos, en la misma se incluyen las respectivas descripciones de los diferentes fenómenos electromagnéticos que deterioran el sistema eléctrico. También presenta el origen de estas anomalías, estas pueden originarse dentro de la fuente de suministro, en los dispositivos de carga o en la interacción entre fuente y carga. Además, la norma analiza las técnicas de medición, aplicación e interpretación de los resultados [13].

En la tabla 3-1 se presenta una clasificación de los fenómenos electromagnéticos de acuerdo a su contenido espectral, magnitud y duración para cada categoría.

*Tabla 3-1: Categorías y características típicas de los fenómenos electromagnéticos del sistema eléctrico.*  
FUENTE: [16].

Categorías.	Contenido espectral típico.	Duración típica.	Magnitud de voltaje típico.
1.0 Transitorios			
1.1 Impulsivo			
1.1.1 Nanosegundo	5 ns de elevación	< 50 ns	
1.1.2 Microsegundo	1 μs de elevación	50 ns – 1 ms	
1.1.3 Milisegundo	0.1 ms de elevación	>1 ms	
1.2 Oscilatorio			
1.2.1 Baja frecuencia	< 5 kHz	0.3 – 50 ms	0 – 4 pu
1.2.2 Media frecuencia	5 – 500 kHz	20 μs	0 – 8 pu
1.2.3 Alta frecuencia	0.5 – 5 MHz	5 μs	0 – 4 pu

2.0 Variaciones rms de corta duración.			
2.1 Instantáneo			
2.1.1 Sag		0.5 – 30 ciclos	0.1 – 0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5 – 30 ciclos	1.1 – 1.8 pu
2.2 Momentáneo			
2.2.1 Interrupción		0.5 ciclos – 3s	< 0.1 pu
2.2.2 Sag		30 ciclos – 3s	0.1 – 0.9 pu
2.2.3 Swell		30 ciclos – 3s	1.1 – 1.4 pu
2.2.4 Desbalance de voltaje		30 ciclos – 3s	2% - 15%
2.3 Temporal			
2.3.1 Interrupción		> 3s – 1 min	< 0.1 pu
2.3.2 Sag		> 3s – 1 min	0.1 – 0.9 pu
2.3.3 Swell		> 3s – 1 min	1.1 – 1.2 pu
2.3.4 Desbalance de voltaje		> 3s – 1 min	2% - 15%
3.0 Variaciones rms de larga duración.			
3.1 Interrupción, sostenida		> 1 min	0.0 pu
3.2 Subvoltaje		> 1 min	0.8 – 0.9 pu
3.3 Sobrevoltaje		> 1 min	1.1 – 1.2 pu
3.4 Sobrecarga de corriente		> 1 min	
4.0 Desbalance			
4.1 Voltaje		Estado estable	0.5 – 5 %
4.2 Corriente		Estado estable	1.0 – 3.0%
5.0 Distorsión de forma de onda.			
5.1 Offset de DC		Estado estable	0 – 0.1 %
5.2 Armónicos		Estado estable	0 – 20 %
5.3 Interarmónicos	0 – 9 kHz	Estado estable	0 – 2 %
5.4 Muecas	0 – 9 kHz	Estado estable	
5.5 Ruido	Banda ancha	Estado estable	0 – 1 %
6.0 Fluctuaciones de voltaje.	< 25 kHz	Intermitente	0.1 – 7 % 0.2 – 2 $P_{st}$
7.0 Variaciones de frecuencia de potencia.		< 10 s	± 0.10 Hz

Algo importante que recalcar de este apartado es la clasificación que se presentan de los fenómenos electromagnéticos presentes en los sistemas eléctricos, en esta norma los define en 7 categorías tales como: Transitorios, Variaciones de corta duración, Variaciones de larga duración, Desequilibrio de tensión, Distorsión de la forma de onda, Fluctuaciones de tensión y Variaciones de frecuencia.

### 3.3. NORMA IEEE Std 1453-2015, “Práctica recomendada por IEEE para mediciones y límites de fluctuaciones de voltaje y parpadeo de luz asociado en sistemas de alimentación de CA”.

Las fluctuaciones de voltaje presentes en los sistemas de voltaje generalmente dan lugar a parpadeos en los equipos de iluminación, provocando molestias y quejas por parte de los clientes al observar los cambios en la iluminación. La frecuencia que presentan estos fenómenos es mucho menor en comparación con la frecuencia de suministro de 50 Hz o 60 Hz [17].

Por tal razón la norma IEEE 1453- 2015, recomienda niveles aceptables de parpadeo para sistemas eléctricos de corriente alterna de 120 V a 60 Hz y 230 V a 50 Hz, además presenta algunas especificaciones para su medición.

### 3.3.1. Niveles de planificación para parpadeo.

Este estudio hace referencia al nivel de  $P_{st}$  o  $P_{lt}$ , cuyo objetivo es evaluar el impacto que produce al incorporar cargas fluctuantes al sistema eléctrico.

Donde:

$P_{lt}$  es la medida de percepción de parpadeo a largo plazo comprendido en un periodo de 2 horas, dicho valor se compone de 12 valores  $P_{st}$  consecutivos de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} * \sum_{j=1}^{12} P_{stj}^3}$$

Y,  $P_{st}$  es la medida de percepción de parpadeo a corto plazo comprendido en un periodo de 10 minutos, cuyo valor es la salida estándar de parpadeo.

En la tabla 3-2 se presentan enumerados los niveles de parpadeo que se deben utilizar al evaluar el impacto de las cargas fluctuantes en el sistema eléctrico.

**Tabla 3-2:** Niveles de planificación para  $P_{st}$  y  $P_{lt}$  en sistemas de potencia MV, HV y EHV.  
FUENTE: [17].

	Niveles de planificación	
	MV	HV-EHV
$P_{st}$	0,9	0.8
$P_{lt}$	0,7	0.6

### 3.3.2. Niveles de compatibilidad para parpadeo.

El nivel de compatibilidad hace referencia como el nivel de  $P_{st}$  o  $P_{lt}$ , por encima del cual exista la probabilidad de ocurran molestias o quejas por parte de los usuarios.

En la tabla 3-3 se presentan enumerados los niveles de parpadeo en sistemas de alimentación de BT y MT, los cuales se basan en niveles de probabilidad del 95 %.

**Tabla 3-3:** Niveles de compatibilidad para  $P_{st}$  y  $P_{lt}$  en sistemas de potencia de BT y MT.  
FUENTE: [17].

	Niveles de compatibilidad
	$P_{st}$
$P_{lt}$	0.8

## 3.4. NORMA IEEE std 519-2014. “IEEE Guide for Application and Specification of Harmonic Filters”.

El uso de cargas no lineales cambia la naturaleza de la forma de onda de la corriente y voltaje del sistema de alimentación, provocando el calentamiento de equipos como motores, transformadores, entre otros.

Por lo tanto, esta norma presenta los límites de distorsión armónica que debe existir en el PCC (punto acoplamiento común), que es la interfaz entre fuente y usuario. Para usuarios industriales que utilizan el servicio a través de un transformador privado (único), el PCC se encuentra al lado de alta tensión del transformador; y, para usuarios comerciales que utilizan el servicio a través de un transformador común el PCC está situado al lado de baja tensión del transformador.

A continuación, se presenta los límites de distorsión del voltaje y corriente, en caso de no cumplir con estos límites las empresas distribuidoras deben tomar medidas para modificar las características del sistema de modo que los niveles de distorsión de voltaje sean aceptables.

En la tabla 3-3 se presentan los límites de distorsión de voltaje recomendados.

**Tabla 3-4: Límites de distorsión de voltaje.**

FUENTE: [18].

Voltaje V en PCC	Harmónico individual (%)	Distorsión armónica total THD (%)
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5

Los límites de distorsión de corriente recomendados en sistemas cuyo rango de tensión nominal va desde 120 V a 69 kV, se presenta en la tabla 3-4.

**Tabla 3-5: Límites de distorsión armónica de corriente.**

FUENTE: [18].

Distorsión máxima de corriente armónica en porcentaje de $I_L$						
Orden de armónico individual ( <i>armónicos impares</i> ) <sup>a,b</sup>						
$I_{SC}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$> 1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

a. Los armónicos pares están limitados al 25% de los límites de armónicos impares anteriores.

b. No se permiten las distorsiones de corriente que resultan en un desplazamiento de CC, por ejemplo, convertidores de media onda.

c. Todos los equipos de generación de energía están limitados a estos valores de distorsión de corriente, independientemente de  $I_{SC}/I_L$  real.

Dónde:

$I_{SC}$  = corriente máxima de cortocircuito en PCC

$I_L$  = corriente de carga de demanda máxima (componente de frecuencia fundamental) en el PCC en condiciones de funcionamiento de carga normal [18].

### 3.5. NORMA EN 50160. “Características de la tensión suministrada por las redes generales de distribución”.

Esta norma UNE EN 50160, es una norma europea publicada en el año 2001, la norma “proporciona los principales parámetros de tensión y los correspondientes márgenes de desviación permisibles en el punto de acoplamiento común (PCC), en sistemas públicos de distribución de electricidad en Baja tensión (BT) y Media tensión (MT)” [19].

En la tabla 3-6 se presentan los límites generales para la tensión suministrada de acuerdo con esta norma.

**Tabla 3-6:** Requisitos de la tensión de suministro de acuerdo con la norma EN 50160.

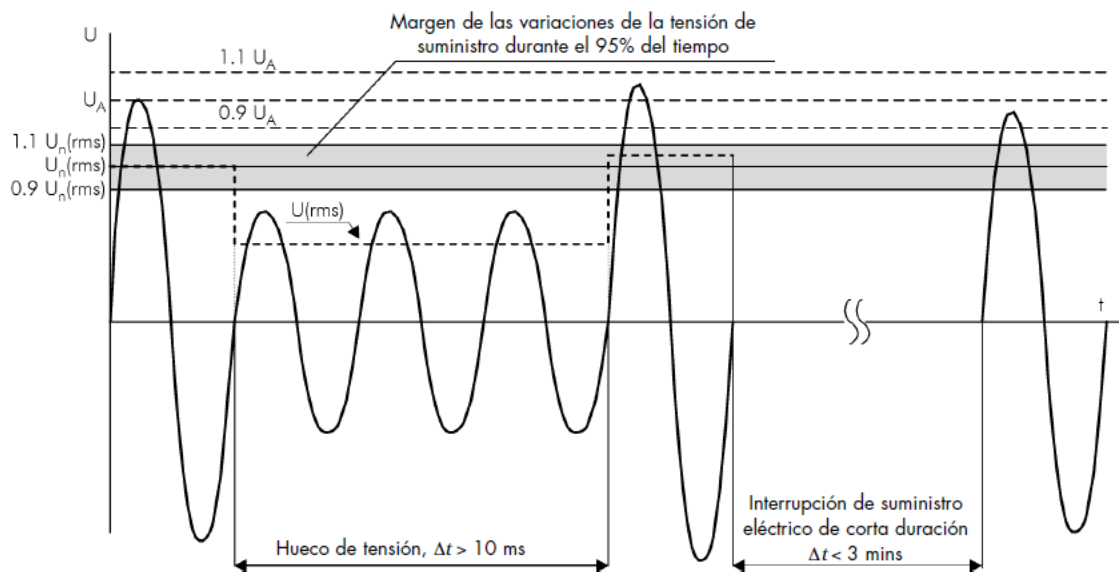
FUENTE: [19].

No.	Parámetro.	Característica de la tensión de entrada.
1	Frecuencia	BT, MT: valor medio de la fundamental medida lo largo de 10 segundos. ± 1 % (49,5 – 50,5 Hz) durante el 99,5% de la semana. -6%/+4% (47 – 52 Hz) durante el 100% de la semana.
2	Variaciones de la tensión suministrada.	BT, MT: ±10% durante el 95% de la semana, media de valores eficaces, medidos en periodos de 10 minutos. (Figura 3-1)
3	Cambios bruscos de tensión.	BT: 5% normal 10% infrecuente. Plt ≤ 1 para el 95 % de la semana.
4	Huecos en la tensión suministrada.	La mayoría: duración < 1 seg., caída < 60%. Caídas locales limitadas causadas por una carga al conectarse: BT: 10 – 50%, MT: 10 – 50% (Figura 3-1)
5	Interrupción breve de la tensión de suministro.	BT, MT: (hasta 3 minutos) Pocas decenas – pocas centenas / año Duración del 70% de las interrupciones < 1 segundo.
6	Interrupción prolongada de la tensión de suministro.	BT, MT: (mayor de 3 minutos) < 10 – 50/año
7	Sobretensión temporal a la frecuencia de la red.	BT: < 1.5 kV rms MT: 1.7 Uc (sin toma de tierra o tierra compensada)
8	Sobretensiones transitorias.	BT: generalmente < 6 kV, ocasionalmente mayor. Tiempo de subida: ms - μs. MT: No definido.
9	Desequilibrio de tensión.	BT, MT hasta 2% durante el 95% de la semana, media de valores eficaces medidos en periodos de 10 minutos, hasta el 3% en algunos lugares.
10	Tensión armónica.	BT, MT: ver tabla 3-7.

**Tabla 3-7:** Valores de las tensiones armónicas individuales en los terminales de entrada para órdenes de hasta 25, dados en porcentaje de Un.

FUENTE: [19].

Armónicos impares				Armónicos Pares	
No múltiplos de 3		Múltiplos de 3			
Orden h	Tensión relativa (%)	Orden h	Tensión relativa (%)	Orden h	Tensión relativa (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6 ... 24	0.5
13	3	21	0.5		
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				



**Figura 3-1:** Ilustración de un hueco de tensión y de una interrupción breve del suministro eléctrico, clasificadas según EN 50160.  $U_n$  - tensión nominal del sistema de alimentación eléctrica (rms).  $U_A$  - amplitud de la tensión de suministro.  $U$  (rms) - valor eficaz de la tensión de entrada.  
FUENTE: [19].

### 3.6. REGULACIÓN No. ARCONEL 005/18.

La siguiente regulación nace a través de la resolución No. 0116/01 el 23 de mayo de 2001, en donde el ente regulador CONELEC emite la regulación No. CONELEC 004/01, llamándolo “**Calidad del servicio eléctrico de distribución**”. Actualmente existe la nueva regulación 005/18, expedida bajo decreto ministerial Nro. ARCONEL 053/18, el 28 de diciembre de 2018, cuyo objetivo es presentar los indicadores, índices y límites de calidad de energía eléctrica para el servicio de distribución y comercialización que deben ser cumplidos tanto por la empresa distribuidora como por el consumidor, además presenta los diferentes procedimientos de medición y registro [20].

A continuación, se presenta un resumen únicamente con los puntos que serán aplicados en la ejecución de la guía de prácticas.

#### 3.6.1. Atributos de calidad.

##### 3.6.1.1. Atributos de calidad de la distribuidora.

Los atributos con lo que la distribuidora examinará la calidad de servicio de la energía eléctrica consta de varios índices e indicadores, se tomarán los índices de calidad de producto.

##### a) Calidad de producto.

Con respecto a la calidad del producto toma a consideración el:

- Nivel de voltaje.
- Perturbaciones rápidas de voltaje (Flicker).
- Distorsión armónica de voltaje.
- Desequilibrio de voltaje [20].

##### 3.6.1.2. Aspecto de calidad del consumidor.

Comprende a la evaluación hacia el consumidor tomando a consideración la:

- Distorsión armónica de corriente [20].

### 3.6.2. Obligaciones.

Para la aplicación y cumplimiento de la presente regulación, tanto la distribuidora como el cliente tienen que cumplir las siguientes obligaciones:

#### 3.6.2.1. Obligaciones de la distribuidora.

Las obligaciones con lo que la distribuidora eléctrica debe cumplir son:

- Facilitar el servicio de distribución y comercialización de electricidad a los consumidores, cumpliendo requisitos de calidad que se encuentran en la presente regulación.
- Tener implementado y actualizado la base de datos que contiene los componentes del sistema de distribución acorde a la presente regulación.
- Levantar, registrar, procesar ya analizar la información para establecer los índices e indicadores de calidad.
- Realizar campañas de mediciones periódicamente para evaluar la calidad del producto, acorde a la presente regulación.
- Entregar en forma oportuna y completa la información que solicita la presente regulación, a todos los organismos relacionados con el sector eléctrico.
- Identificar, notificar y solicitar a los consumidores que incumplan los requisitos de calidad del consumidor [20].

#### 3.6.2.2. Obligaciones del consumidor.

- Cumplir con lo establecido en la presente regulación con respecto a la calidad.
- Realizar las respectivas correcciones con la finalidad de cumplir con los límites de calidad.
- Permitir la entrada al personal de la distribuidora para evaluar los sistemas de medición e instalaciones [20].

### 3.6.3. Niveles de voltaje.

#### 3.6.3.1. Índice.

A continuación, se presentan los valores de niveles de voltaje de acuerdo a la presente regulación.

*Tabla 3-8: Niveles de voltaje acorde a la regulación 005/18.*

FUENTE: [20].

NIVEL	VOLTAJE
Bajo voltaje	$V \leq 0,6 \text{ kV}$
Medio voltaje	$0,6 \leq V \leq 40 \text{ kV}$
Alto voltaje grupo 1	$40 \leq V \leq 138 \text{ kV}$
Alto voltaje grupo 2	$V \geq 138 \text{ kV}$

Con respecto a la calidad del nivel voltaje que debe existir en un punto del sistema de distribución se determina con la siguiente ecuación:

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_N}{V_N} * 100 \%$$

Donde:

$\Delta V_k$	Variación del voltaje de suministro con respecto al voltaje nominal en el punto k.
$V_k$	Voltaje de suministro en el punto k, determinado como el promedio de las medidas registradas al menos cada 3 segundos en un intervalo de 10 minutos.
$V_N$	Voltaje nominal en el punto k

### 3.6.3.2. Límites.

Las variaciones de voltaje permisibles son:

*Tabla 3-9: Límites para el índice de nivel de voltaje.*  
FUENTE: [20].

NIVEL DE VOLTAJE	RANGO ADMISIBLE
Alto voltaje (Grupo 1 y 2)	± 5 %
Medio voltaje	± 6 %
Bajo voltaje	± 8 %

La empresa distribuidora cumple con los niveles de voltaje, únicamente si más del 95 % de las variaciones de voltaje registrados se encuentra en los límites establecidos.

### 3.6.4. Perturbación rápida de voltaje (Flicker).

Esta perturbación se evaluará mediante el índice de severidad por flicker de corta duración ( $P_{st}$ ), el índice se evaluará conforme a la norma IEEE 1453.

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

Donde:

$P_{st}$  = Índice de severidad de flicker de corta duración.

$P_{0,1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$  = Niveles de efecto flicker que se sobrepasan durante el 0,1 %, 1 %, 3 %, 10 %, 50% del tiempo total del intervalo de medición.

Es importante recalcar que el índice de severidad del flicker  $P_{st}$ , en el punto de medición no debe superar la unidad. La distribuidora eléctrica cumple con el índice cuando el 95 % de los datos registrado o más, es menor al límite establecido cuyo periodo no debe ser inferior a 7 días consecutivos [20].

### 3.6.5. Distorsión armónica de voltaje.

Los índices de la distorsión armónica individual y total, son los siguientes:

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

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_n} * 100 [\%]$$

$$THD_k = \left[ \frac{1}{V_n} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,k})^2} \right] * 100 [\%]$$

Donde:

$V_{h,k}$  = Armónica de voltaje  $h$  en el intervalo  $k$  de 10 minutos.

$V_{h,i}$  = Valor eficaz (*rms*) de la armónica de voltaje  $h$  (para  $h = 2, 3, \dots, 50$ ), medido cada 3 segundos ( $i = 1, 2, \dots, 200$ ).



$DV_{h,k}$  = Factor de distorsión individual de voltaje de la armónica  $h$  (*para*  $h = 2, 3, \dots, 50$ ) en el intervalo  $k$  de 10 minutos.

$THD_k$  = Factor de distorsión armónica total de voltaje.

$V_n$  = voltaje nominal en el punto de medición.

Los límites máximos permisibles para la distorsión armónica de voltaje individual y total son:

**Tabla 3-10:** Límites máximos de armónicos de voltaje.

FUENTE: [20].

NIVEL DE VOLTAJE	ARMÓNICA INDIVIDUAL (%)	THD (%)
Bajo voltaje	5	8
Medio voltaje	3	5
Alto voltaje Grupo 1	1,5	2,5
Alto voltaje Grupo 2	1	1,5

La distribuidora eléctrica cumple con el factor de distorsión armónica de voltaje individual y total en el punto de medición si más del 95 % de los valores registrados son menores a los límites establecidos en un periodo de al menos 7 días consecutivos [20].

### 3.6.6. Desequilibrio de voltaje.

Para la evaluación del desequilibrio de voltaje en cualquier punto del sistema de distribución se realiza con la siguiente ecuación:

$$\text{Desequilibrio de Voltaje} = \left| \frac{V^-}{V^+} \right| * 100 [\%]$$

Donde:

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

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

Los límites establecidos para el desequilibrio de voltaje serán del 2 % para todos los niveles de voltaje.

La distribuidora eléctrica cumple con los niveles de desequilibrio de voltaje si el 95 % de los datos registrados son menores a los límites establecidos en un periodo no menor a 7 días consecutivos [20].

## 4. CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE EQUIPOS.

### 4.1. INTRODUCCIÓN.

En este capítulo se presentan las funciones y características de los equipos más importantes que se utilizarán y se encuentran disponibles para la simulación y medición de los fenómenos eléctricos, además se explica el funcionamiento y manejo de los softwares para la programación de los fenómenos eléctricos y el software para la obtención de los datos registrados.

### 4.2. FUENTE DE VOLTAJE PROGRAMABLE AC.

La fuente de voltaje programable es una fuente de CA trifásica que permite al usuario programar el voltaje y la frecuencia de salida. A través de sus funciones se puede simular algunas perturbaciones que encontramos en los sistemas eléctricos de distribución. Además, en su pantalla LCD permite tener las mediciones de V, I, P, FC y FP [21].

Existe una variedad de modelos de dicha fuente en el mercado con diferentes características y funciones. Para el estudio se tomó el equipo CHROMA modelo 61702, en la figura 4-1 se observa el detalle de la fuente.



*Figura 4-1: Fuente de voltaje programable AC Chroma 61702.*  
FUENTE: [21].

#### 4.2.1. Características principales.

##### A. Configuración.

- Operación local desde el panel frontal.
- Operación remota mediante el bus GPIB o RS-232C.
- Protección contra el incremento del voltaje, corriente y temperatura.
- La velocidad del ventilador es controlada en función de la temperatura.
- Relés de aislamiento incorporados en la salida.

##### B. Entrada/Salida.

- Tensión de salida variable cuyo rango es de 150 V/300 V.
- Voltaje de entrada universal con rango de 100 V/240 V.
- Permite la medición de V, I, P, FC, FP.
- Señal de salida en CA (ON/OFF).

#### 4.2.2. Especificaciones.

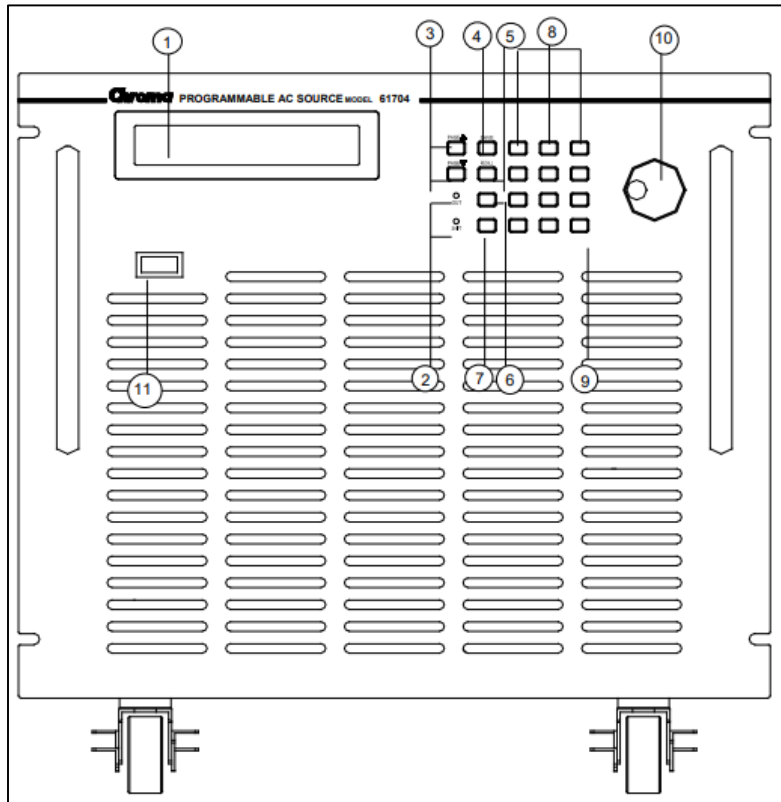
En la tabla 4-1 se presenta un resumen con las especificaciones de operación de la fuente programable 61702.

*Tabla 4-1: Especificaciones de funcionamiento de la fuente de CA programable.*  
FUENTE: [21]

<b>MODELO</b>	<b>CHROMA 61702</b>
<b>Grado de salida en CA</b>	
Potencia máxima	3000 VA
Potencia por fase	1000 VA
<b>Voltaje</b>	
Rango	150 V/300 V
Voltaje de salida	0~150 V/0~300 V, 0~140 V/0~280 V
Distorsión	0,3% @ 50/60 Hz 1,5% @ 15-1,2 KHz
<b>Corriente máx. (por fase):</b>	
r.m.s	8A/4A
Pico	48A/24A
<b>Frecuencia:</b>	
Rango	DC, 15-1,2 KHz
Exactitud	0,15 %
<b>Fase:</b>	
Rango	0 ~ 360°
Exactitud	< 0,8° @ 50/60 Hz
<b>Grado de salida en CC (por fase)</b>	
Potencia	500 W
Voltaje	212 V/424 V
Corriente	4 A/2 A
<b>Entrada 3-Phase en CA (por fase)</b>	
Rango de voltaje	100-240 V
Rango de frecuencia	47-63 Hz
Corriente	16 A Máx.
Factor de potencia	0,98 Mín.
<b>Medición</b>	
Voltaje:	
Rango	150 V/300 V
Precisión	0,2%+0,2% F.S.
<b>Corriente:</b>	
Rango (pico)	48 A
Exactitud (r.m.s.)	0,4%+0,3%F.S.
Exactitud (pico)	0,4%+0,6%F.S.
<b>Potencia:</b>	
Exactitud	0,4%+0,4%F.S.
<b>Otros:</b>	
Eficiencia	77 %
Dimensiones (WxHxD)	483 mm x 399 mm x 600 mm
Peso	74 Kg

### 4.2.3. Descripción de las partes de la fuente AC programable.

#### A. Panel Frontal.




**Figura 4-2:** Partes del panel frontal de la fuente programable AC.  
FUENTE: [21].

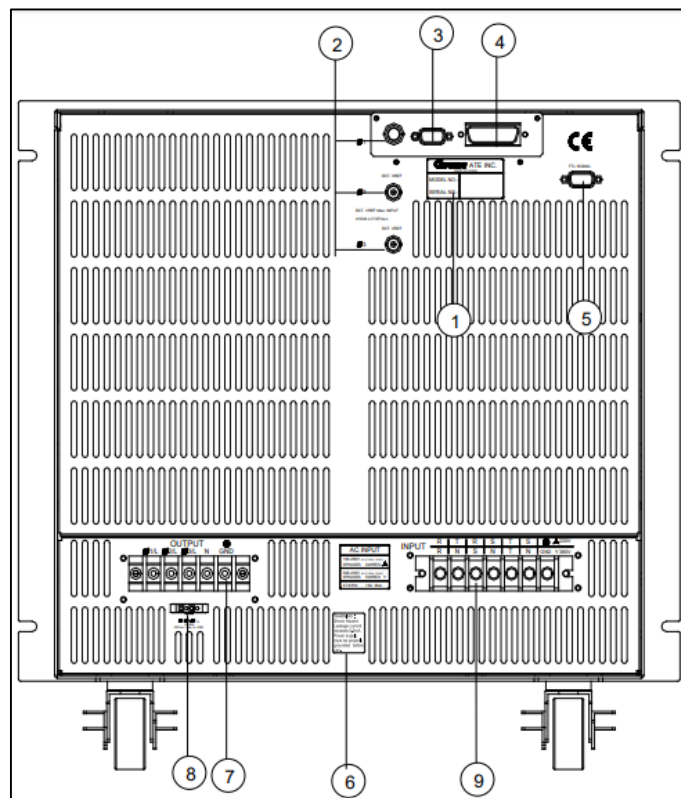
En la tabla 4-2 se presenta la descripción de cada una de las partes que componen el panel frontal de la fuente programable AC.

**Tabla 4-2:** Descripción del panel frontal de la fuente de CA programable.  
FUENTE: [21].

ÍTEM	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
1		<b>Pantalla:</b> la pantalla LCD muestra la configuración, el estado de operación y los resultados de la medición.
2		<b>Leds indicadores:</b> “OUT” y “SHIFT”, se utiliza para mostrar la activación de la salida y del modo de cambio.
3		<b>Teclas para el movimiento del cursor:</b> estas teclas se utilizan para mover el cursor a diferentes direcciones. ▲ esta tecla nos permite cambiar la pantalla LCD hacia la última página o página siguiente, y la tecla ▼ se utiliza para desplazarse hacia los patrones del lado derecho que están ubicados en la parte inferior de la pantalla.
4		<b>Tecla de comando (Página o Salida):</b> al pulsar esta tecla la pantalla cambiará entre MAIN PAGE (página principal) y CHOICE PAGE (página elección). En CHOICE PAGE se presenta las funciones que ofrece la fuente AC, que más adelante se detalla.
5		<b>Tecla de retroceso o comando menos:</b> al pulsar la tecla se borrará el número; o puede mostrar “-”, en caso de existir un numero delante del cursor.

6	<b>OUT/QUIT</b>	<b>Tecla de comando OUT/QUIT:</b> esta tecla sirve para habilitar el voltaje de salida.
7	<b>SHIFT</b>	<b>Tecla de selección modo cambio:</b> al presionar esta tecla, la fuente de CA cambiara de modo operativo normal al modo de cambio.
8	<b>0 to 9, and .</b> ----- <b>OR</b> <b>HELP</b>	<b>Teclas numéricas y decimales:</b> estas teclas sirven para que el usuario pueda programar los datos numéricos.
9	<b>ENTER</b>	<b>Tecla ENTER:</b> sirve para confirmar la configuración o programación establecida.
10		<b>RPG:</b> se utiliza para ingresar datos u opciones de programación únicamente girando el RPG.
11		<b>Interruptor principal de encendido:</b> se utiliza para encender o apagar la fuente de CA.

**B. Panel Posterior.**



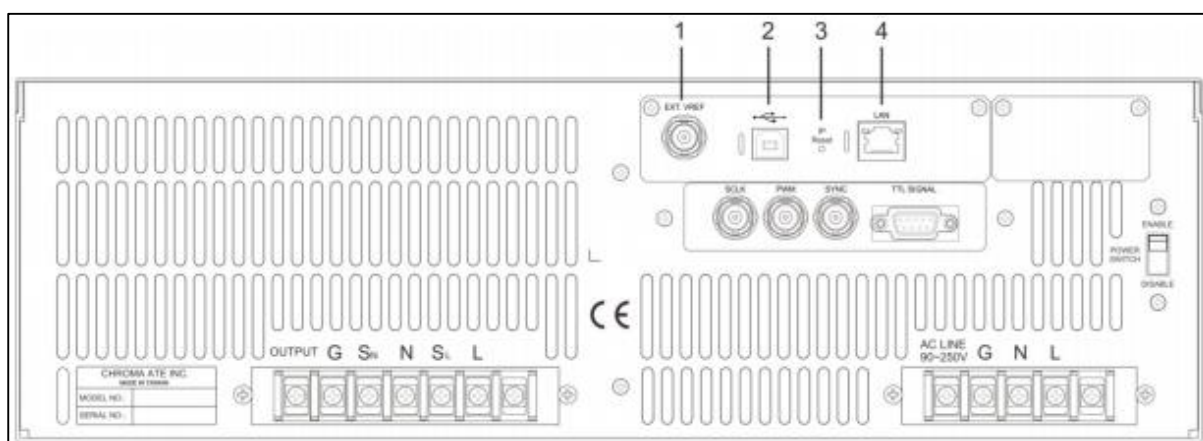
**Figura 4-3:** Partes del panel posterior de la fuente de CA programable.  
FUENTE: [21].

En la tabla 4-3 se presenta la descripción de cada una de las partes que componen el panel trasero de la fuente programable AC.

**Tabla 4-3:** Descripción de las partes del panel posterior de fuente de AC programable.  
FUENTE: [21]

ÍTEM	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	Etiqueta	La etiqueta presenta el modelo y el número de serie de la fuente de CA programable.
2	Ext. Ref.	Son las entradas de los conectores BNC, controlan la amplitud de la forma de onda de la señal analógica.
3	RS-232C	Es un conector hembra de 9 pines tipo D, permite la transferencia de datos hacia y desde el computador.
4	Conector GPIB	El bus GPIB se utiliza para la operación remota entre un controlador y la fuente de CA programable.
5	Señal TTL	Este conector hembra de 9 pines se utiliza para la transferencia de señales de control.
6	Etiqueta de precaución	Sirve para la advertencia de la corriente de fuga.
7	Conector de salida	Estos conectores se utilizan para la conexión de la carga.
8	Conector para la detección remota	Elimina cualquier caída de voltaje directamente en los terminales de la carga.
9	Conector para la línea de alimentación	Se utiliza para la alimentación de la fuente de CA programable.

### C. Panel posterior (con USB y Ethernet).



**Figura 4-4:** Detalle panel posterior (con USB y Ethernet).  
FUENTE: [21].

En la tabla 4-4 se presenta la descripción de cada una de las partes que componen el panel posterior de la fuente programable AC.

**Tabla 4-4:** Descripción de las partes del panel posterior de la fuente AC programable.  
FUENTE: [21].

ÍTEM	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	Ext. Ref.	Posee un conector BNC que se utiliza para controlar la amplitud de la forma de onda a través de un controlador externo (simulado).
2	USB	Sirve para la transferencia de datos entre la computadora y la fuente AC.
3	IP Reset	Se utiliza para resetear la dirección IP.
4	LAN	Sirve para la conexión entre la fuente de CA y la PC para la comunicación de red.

#### 4.2.4. Aplicaciones.

##### A. Simulación de perturbaciones presentes en los sistemas de distribución eléctrica.

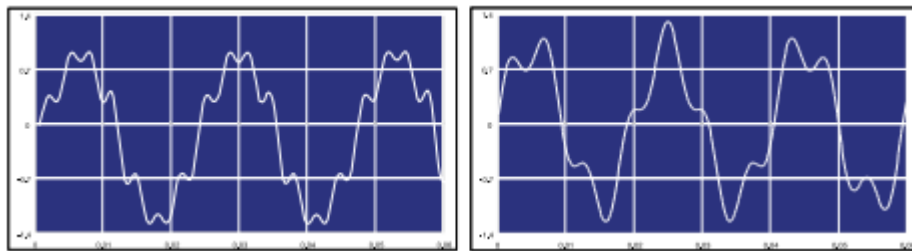
La fuente AC programable además de la programación del voltaje y la frecuencia, presenta funciones adicionales muy potentes tales como PULSE, LIST, STEP, que permiten simular los distintos tipos de perturbaciones presentes en los sistemas de distribución eléctrica, en la figura 4-5 se presenta una ilustración de estas funciones [22].



**Figura 4-5:** Funciones PULSE, LIST, STEP de la fuente AC programable.  
FUENTE: [22].

##### B. Síntesis de forma de onda de armónicos e interarmónicos.

Con la ayuda de un software SoftPanel de Chroma los usuarios pueden extraer la información para el análisis de la forma de onda que contienen armónicos y al mismo tiempo almacenarlos en la memoria de la fuente AC. Estos modelos de fuentes AC presentan una función de barrido interarmónico desde 0,01 Hz hasta 2400 Hz, permitiendo generar una forma de onda no periódica distorsionada directamente desde el panel frontal de la fuente AC. A través de la figura 4-6 se presenta una ilustración de estas perturbaciones [22].



**Figura 4-6:** Forma de onda armónica (Izquierda). Forma de onda interarmónica (Derecha).  
FUENTE: [22].

### 4.3. SOFTWARE SOFTPANEL DE CHROMA PARA LA SERIE 617XX.

#### 4.3.1. Introducción.

El software es únicamente aplicable a la serie Chroma 617XX, para los modelos: 61701, 61702, 61703, 61704 y 61705.

La característica principal al utilizar este software es la previsualización de la forma de onda de salida que se esté simulando, es decir, una vez establecido los parámetros el usuario puede tener una vista previa de la forma de onda para después ser confirmada y activada. El software además permite guardar la configuración de los parámetros para que después se pueda ejecutar fácilmente [23].

Para realizar la programación de los fenómenos eléctricos en la fuente programable AC, se puede ejecutar de dos maneras diferentes:

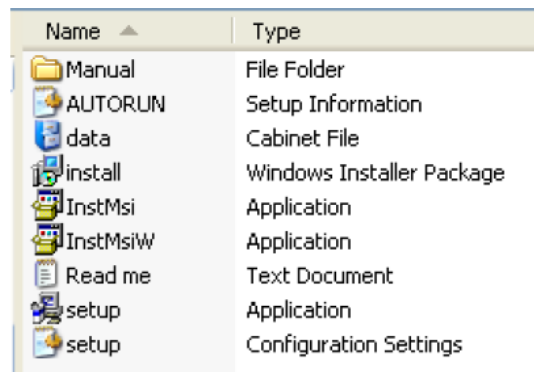
1. El primer método consiste en realizar la programación directamente en la fuente programable AC a través de los botones de control que están ubicados en la parte frontal de la fuente (figura 4-2). Este método no es recomendable debido a que, al momento de programar un fenómeno eléctrico, no se puede observar el detalle de la forma de onda de salida, sino hasta después de

conectar un osciloscopio o cualquier otro equipo de medida a la salida de la fuente. Este método se recomienda utilizar solo en el caso de no tener una PC con el software instalado.

2. El segundo método consiste en realizar la programación desde del software SoftPanel de Chroma, en este caso, a diferencia del primer método el software es muy amigable y dinámico con el usuario debido a que permite tener una previsualización de la forma de onda del fenómeno eléctrico que se esté programando.

#### 4.3.2. Procedimiento de instalación.

- a. En la memoria USB que viene con la aplicación contiene los archivos que se van a utilizar para la instalación como se observa en la figura 4-7. Antes de instalar el software SoftPanel de Chroma se deben instalar en la PC los controladores GPIB, VISA, CVI RTE, luego con doble clic en *setup.exe* se inicia la instalación como muestra la figura 4-8.



Name	Type
Manual	File Folder
AUTORUN	Setup Information
data	Cabinet File
install	Windows Installer Package
InstMsi	Application
InstMsiW	Application
Read me	Text Document
setup	Application
setup	Configuration Settings

Figura 4-7: Archivos en la memoria USB.

FUENTE: [23].

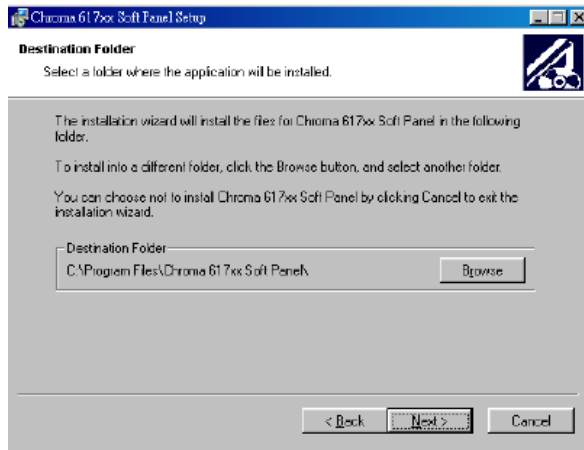


Figura 4-8: Pantalla de inicio de instalación.

FUENTE: [23].

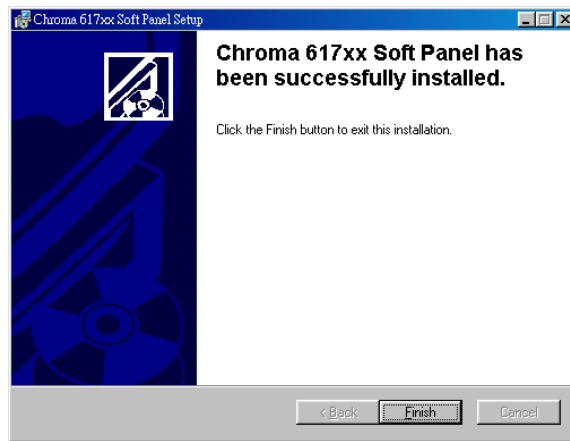
- b. El programa está predefinido para instalarse en el directorio C:\Archivos de programa \ Chroma AC Source 617XX SoftPanel, como se observa en figura 4-9, en caso de que se desee instalar en otro directorio, se hace clic en *Browse* para elegir la nueva ruta de instalación, y clic en *Next* para continuar con la instalación.





**Figura 4-9:** Detalle de la ruta de instalación.  
FUENTE: [23].

- c. Por último, si la instalación se ha realizado con éxito se presentará la pantalla como se observa en la figura 4-10 indicando que la instalación ha finalizado.



**Figura 4-10:** Instalación completada.  
FUENTE: [23].

### 4.3.3. Inicio del programa SoftPanel 617XX de Chroma.

Una vez instalado el programa en el escritorio se crea un acceso directo del software, como se presenta en la figura 4-11. Para ingresar al software se da doble clic en el icono y automáticamente el programa presentará la pantalla de inicio.

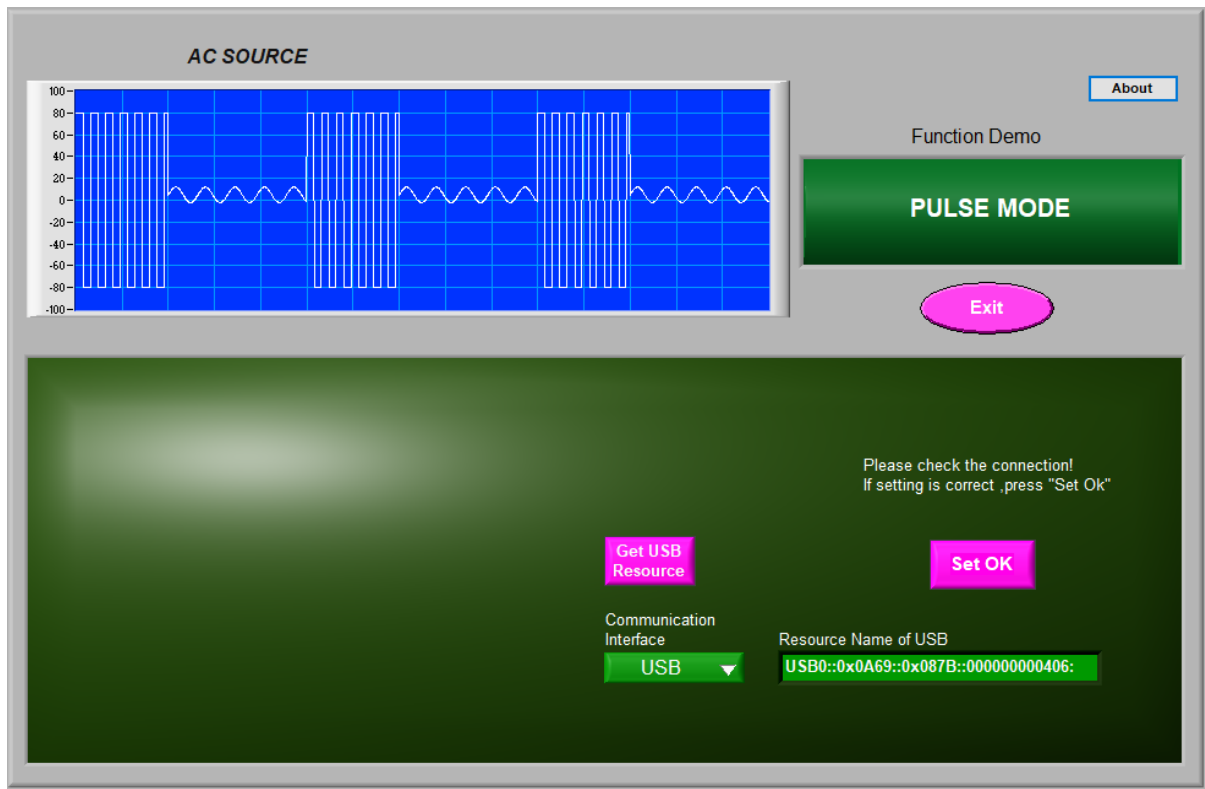


**Figura 4-11:** Acceso directo del software SoftPanel de Chroma.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

#### 4.3.4. Pantalla de inicio.

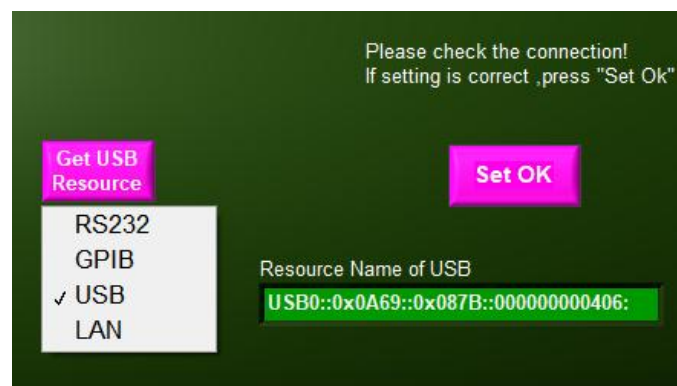
La pantalla de inicio, como se observa en la figura 4-12, se compone de los siguientes módulos:

1. **Funciones de Chroma (*function demo*):** en este panel se presentan las opciones de FIXED MODE, LIST MODE, STEP MODE, PULSE MODE e INTERHARMONICS.
2. **Ventana de demostración de forma de onda (*AC Source*):** presenta la forma de onda de salida de acuerdo con la opción presentada en el panel de *function demo*.
3. **Selección de comunicación:** en esta opción se asigna cual será el protocolo de comunicación entre el PC y la fuente AC.



*Figura 4-12: Detalle del panel de inicio.*  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

Los protocolos de comunicación que proporciona el software para realizar la comunicación entre la fuente y la PC son: GPIB, puerto serie RS232, LAN y puerto USB, como se aprecia en la figura 4-13.



*Figura 4-13: Detalle para la selección del protocolo de comunicación.*  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

Después de haber seleccionado el protocolo de comunicación se da clic en *Set OK* para ingresar a la siguiente pantalla denominada pantalla principal o pantalla de modo fijo.

### 4.3.5. Pantalla principal o pantalla de modo fijo.

#### 4.3.5.1. Descripción de la pantalla.

El detalle de la pantalla principal o pantalla de modo fijo se observa en la figura 4-14.

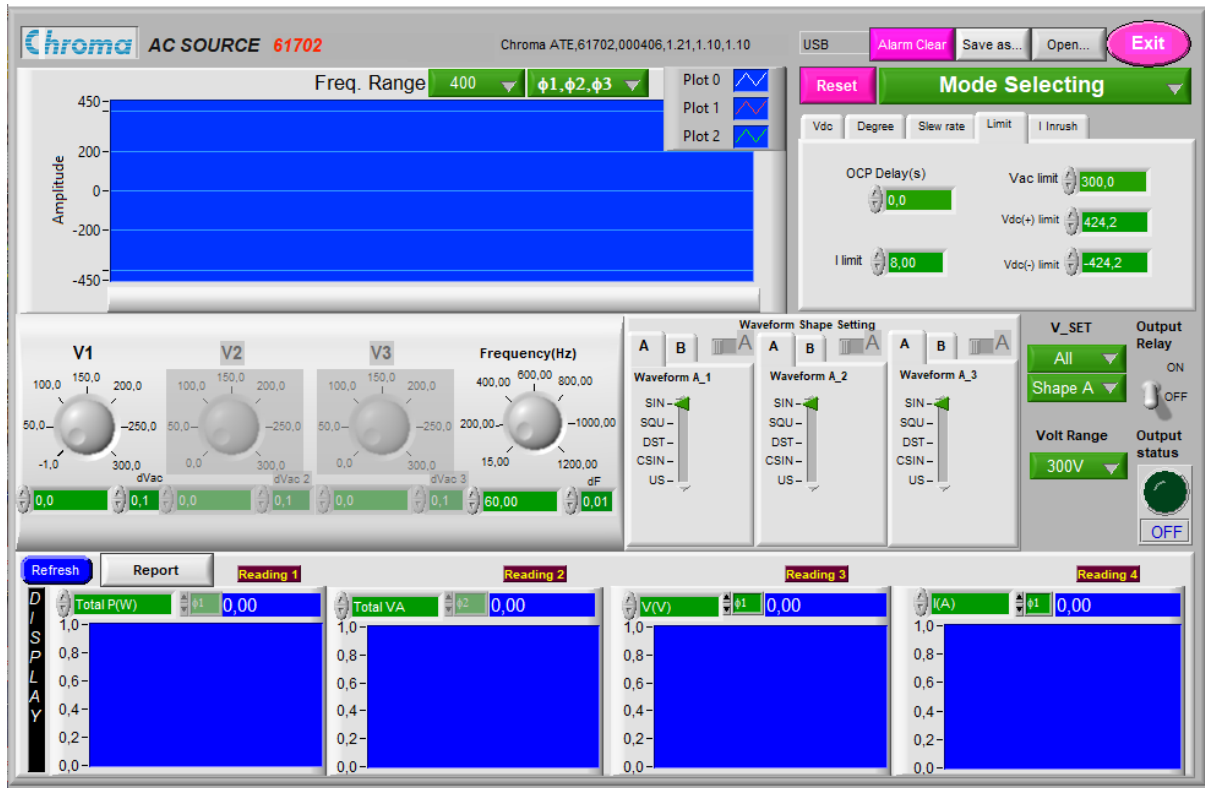


Figura 4-14: Pantalla principal o pantalla de modo fijo.

FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

Para verificar que la conexión entre la fuente y PC se haya establecido correctamente, al ingresar a la pantalla principal en la parte superior se observa el modelo y la serie de la fuente AC, cuando existe la comunicación, como se observa en la figura 4-15 (a).

En caso de no existir la comunicación se presentará un mensaje de *error de conexión* como se ve en la figura 4-15 (b). No obstante, cuando exista el mensaje de error de conexión se recomienda regresar a la pantalla de inicio a través del botón *Reset* y comprobar si el protocolo de comunicación es el correcto.

Chroma ATE,61702,000406,1.21,1.10,1.10

(a)

Connection Error !!

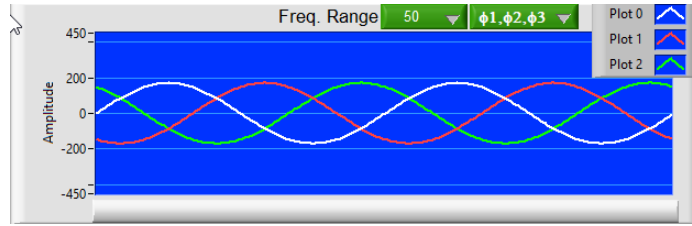
(b)

Figura 4-15: (a) Conexión establecida. (b) Error de conexión.

FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

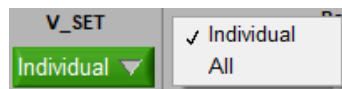
#### 4.3.5.2. Configuración de parámetros en la pantalla principal.

1. **Ventana de salida de simulación de forma de onda:** esta ventana (figura 4.16) presenta el estado del voltaje de salida al establecer una configuración de entrada, además permite al usuario comprobar si los parámetros establecidos están correctamente y cumplen con los requisitos.



**Figura 4-16:** Ventana de simulación de forma de onda de salida.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

- Configuración del voltaje set (V\_SET):** esta opción (figura 4-17) es un acoplador de voltaje. Al seleccionar la opción *Individual* se necesita establecer el nivel de voltaje de salida para cada fase, no obstante, si se selecciona la opción *All* el voltaje de salida establecido en la fase 1 controla el voltaje de las 3 fases simultáneamente.



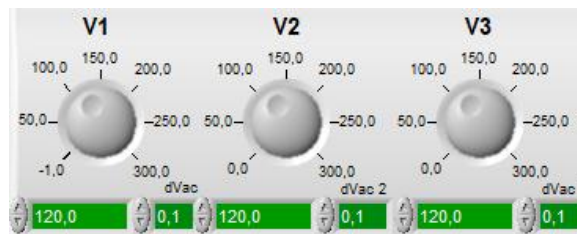
**Figura 4-17:** Acoplador del voltaje de salida.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

- Configuración del rango del voltaje de salida:** esta opción permite establecer el rango del voltaje de salida que puede ser 150 V o 300 V (figura 4-18).



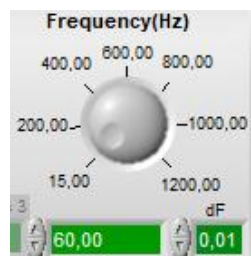
**Figura 4-18:** Configuración del rango del voltaje de salida.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

- Configuración del voltaje de salida:** esta opción (figura 4-19) permite configurar el valor del voltaje de salida, en función del rango de voltaje de salida seleccionado.



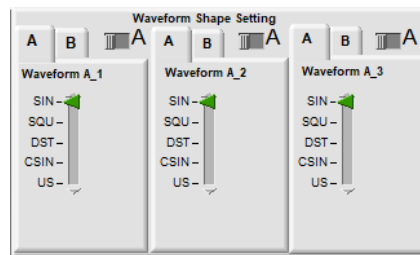
**Figura 4-19:** Configuración del voltaje de salida.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

- Configuración de la frecuencia de salida:** esta opción como se observa en la figura 4-20, permite configurar el nivel de la frecuencia de salida para las tres fases.



**Figura 4-20:** Configuración de la frecuencia de salida.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

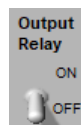
6. **Configuración de forma de onda:** este panel (figura 4-21) se utiliza para establecer la forma de onda para las 3 fases por separado, cada configuración puede tener una forma de onda A y una forma de onda B.



**Figura 4-21:** Configuración de la forma de onda.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

El usuario puede predefinir una forma de onda  $A_x$  o una forma de onda  $B_x$  en cada fase para luego poder utilizarlo. Las opciones para la configuración tanto para la forma de onda A y para la forma de onda B son 5: SIN, SQU, DST y CSIN, en donde cada uno tiene sus parámetros de configuración, es decir, si un usuario desea establecer la forma de onda DST, simplemente selecciona la opción DST e inmediatamente solicitará un parámetro de configuración, luego ingrese o elija cualquier valor del 1 al 30 para configurarlo.

7. **Relé de salida:** este elemento (figura 4-22) al estar en la posición *ON* se escuchará un sonido de conexión del relé cada vez que se habilite o deshabilite la salida.



**Figura 4-22:** Configuración del relé de salida.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

8. **Configuración Vdc:** esta opción de la figura 4-23, permite establecer el voltaje Vdc para las tres fases.



**Figura 4-23:** Configuración del voltaje CC.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

9. **Configuración grados:** en este panel (figura 4-24), se establece el ángulo de fase entre Phase 1-2 y Phase 1-3.



**Figura 4-24:** Configuración del ángulo de fase entre las líneas.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

**10. Configuración Slew rate:** figura 4-25.

$V_s(V/ms)$ = esta opción permite establecer la velocidad de respuesta del voltaje de salida en CA, y  $DCs(V/ms)$ = permite establecer la velocidad de respuesta del voltaje de salida en CD.

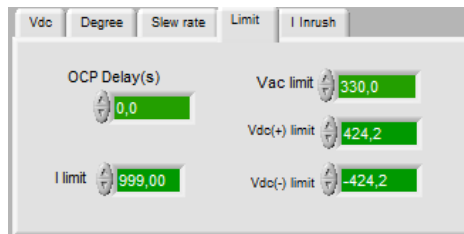


*Figura 4-25: Configuración de la velocidad de respuesta del voltaje de salida en CA y CD.*  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

**11. Configuración limit:** figura 4-26.

$I\ limit$ = se utiliza para establecer el límite superior de la corriente de salida, si se excede el límite entra en modo de protección.

$OCP\ Delay(s)$ = esta opción se utiliza para establecer el tiempo de retraso para la advertencia, en caso de exceder el límite de la corriente de salida.

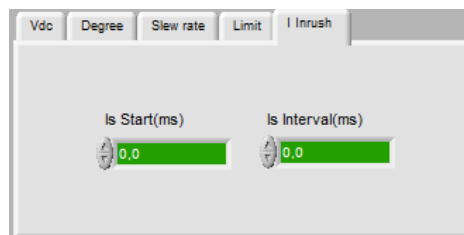


*Figura 4-26: Configuración del límite superior para la corriente y el voltaje de salida.*  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

**12. Configuración I Inrush:** figura 4-27.

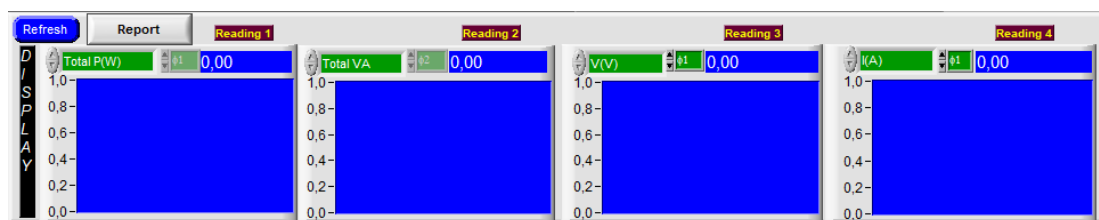
$I_s\ Start\ (ms)$ = permite establecer el tiempo de retraso para que inicie con la medición de la corriente Inrush y evite medir el ruido.

$I_s\ Interval\ (ms)$ = permite establecer el intervalo de tiempo para la medición.



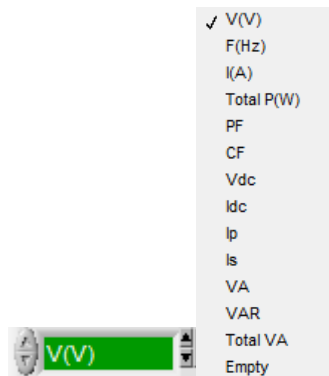
*Figura 4-27: Configuración para la medición de I Inrush.*  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

**13. Pantalla de visualización de lecturas:** esta pantalla, como se observa en la figura 4-28, presenta las lecturas de los parámetros eléctricos, únicamente cuando el estado de salida este activo.



*Figura 4-28: Pantalla de visualización de lecturas.*  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

Para cambiar el parámetro de medición hacemos clic en la lectura y se despliega un menú de lecturas que el usuario puede seleccionar, tal como se presenta en la figura 4-29. Los ajustes son los mismos para Reading1 – Reading4.



**Figura 4-29:** Selección de la lectura a monitorear.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

En la tabla 4-5 se presenta la descripción de cada parámetro de lectura, de la figura 4-29.

**Tabla 4-5:** Descripción de los tipos de lectura.  
FUENTE: [23].

FUNCIÓN	DEFINICIÓN
<i>V</i>	Es la lectura de la medición del voltaje. (Medición RMS)
<i>F</i>	Es la lectura de la medición de frecuencia.
<i>I</i>	Es la lectura de la medición de corriente. (Medición RMS)
<i>Total_P</i>	Es la medida de la potencia real total de las 3 fases.
<i>PF</i>	Es el factor de potencia y el cálculo es <i>potencia real / (Vrms × Irms)</i> .
<i>CF</i>	Es el factor de cresta y el cálculo es <i>Ipeak / Irms</i> .
<i>Vdc</i>	Es la lectura de la medición del voltaje DC. (Medición RMS)
<i>Idc</i>	Es la lectura de medición de corriente DC. (Medición RMS)
<i>Ip</i>	Es la medición de la corriente pico, que es una vez cada 200 ms.
<i>Is</i>	Es el oleaje, que mide la conversión de salida que ocurre hasta que "Es medido el tiempo " y termina.
<i>VA</i>	Es la potencia aparente y el cálculo es $V_{rms} \times I_{rms}$ .
<i>VAR</i>	Es el cálculo de $\sqrt{VA^2 - P^2}$
<i>Total_VAR</i>	Es el total VAR de las 3 fases.

Botón actualizar (*Refresh*): este botón que se encuentra en la figura 4-28, al hacer clic borra y actualiza las mediciones en la pantalla de visualización.

- 14. Botón *Alarma clear*:** el botón de la figura 4-30, se presenta en todas las funciones, y se utiliza para borrar la alarma y el estado de advertencia cuando se produce una alarma.



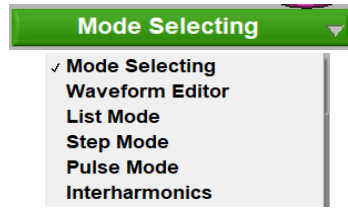
**Figura 4-30:** Botón para borrar la alarma.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

- 15. Botón *Output status*:** este botón de la figura 4-31, se utiliza para activar o desactivar la señal de voltaje en la salida de la fuente, únicamente cuando la salida este activada la pantalla de visualización devolverá las lecturas correspondientes.



**Figura 4-31:** Boton para el estado de salida.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

**16. Botón *Mode Selecting*:** (figura 4-32) se utiliza para acceder a los otros modos o funciones que ofrece la fuente programable AC.



**Figura 4-32:** Selección de las funciones de *Mode Selecting*.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

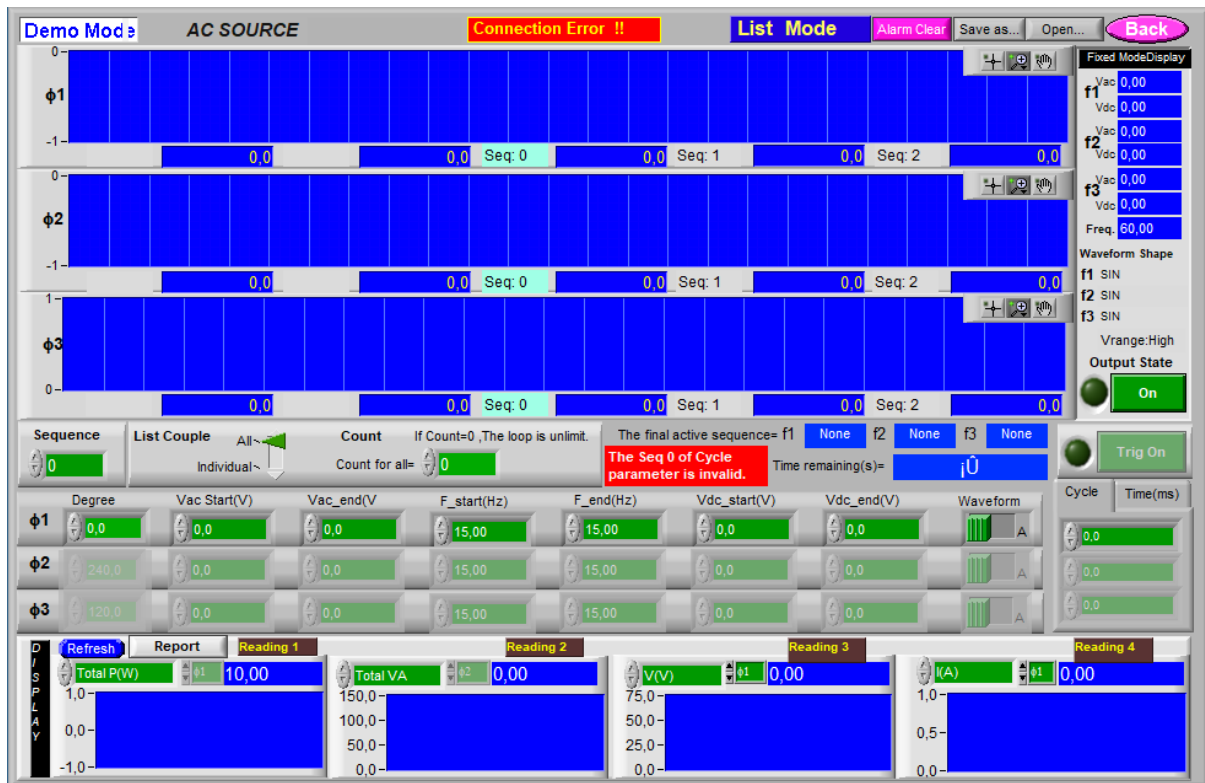
A continuación, se presenta las características de cada una de las funciones que están disponibles en *Mode Selecting*. Cada función esta provisto de distintas características para realizar la simulación de los diferentes fenómenos eléctricos.

Por lo que el *mode selecting* tiene las siguientes funciones o modos: List Mode, Step Mode, Pulse Mode, Interharmonics y Waveform Editor.

#### 4.3.6. Pantalla de control List Mode.

##### 4.3.6.1. Descripción de la pantalla.

La pantalla de control List mode como se observa en la figura 4-33, presenta 100 secuencias, en cada secuencia se puede configurar los grados,  $V_{start}(V)$ ,  $V_{end}(V)$ ,  $F_{start}(Hz)$ ,  $F_{end}(Hz)$ ,  $V_{dc\_start}(V)$ ,  $V_{dc\_end}(V)$ , Waverform (forma de onda) y Time/cycle. Las ventanas divididas en la pantalla de simulación permiten verificar a los usuarios si los parámetros establecidos para la configuración de cada secuencia son correctos, además presenta las opciones para guardar/abrir las configuraciones realizadas.

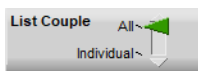


**Figura 4-33:** Pantalla de control List Mode.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.



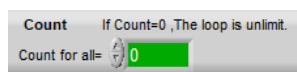
#### 4.3.6.2. Configuración de parámetros en la pantalla de control List Mode.

1. **List Couple (All and Individual):** esta opción de la figura 4-34, permite definir si la configuración de los parámetros de cada secuencia es individual para cada fase (*Individual*), o simultáneamente para las 3 fases (*All*).



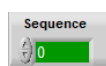
*Figura 4-34: Acoplador para la configuración de la secuencia.*  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

2. **Count:** en esta opción se establece el número de veces que se ejecuta la secuencia configurada. Si COUNT=0 la secuencia es infinita (figura 4-35).



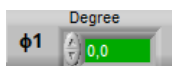
*Figura 4-35: Configuración del contador.*  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

3. **Sequence:** en esta opción (figura 4-36) se establece el número de secuencia a configurar, la secuencia inicia en 0, y tiene máximo 99 secuencias. Los usuarios pueden usar la flecha arriba/abajo para cambiar la configuración de la secuencia o ingresar directamente el número de la secuencia.



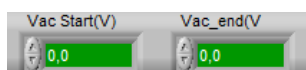
*Figura 4-36: Configuración número de secuencia.*  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

4. **Degree:** se establece el ángulo de fase para el inicio de la secuencia figura 4-37.



*Figura 4-37: Configuración del ángulo de fase.*  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

5. **Vac\_start(V) y Vac\_end(V):** en estas opciones (figura 4-38), se establece el nivel de voltaje en CA para el inicio y final de la secuencia. El nivel está limitado en función del rango de voltaje establecido en la pantalla principal.



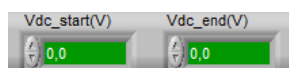
*Figura 4-38: Configuración del voltaje AC para la secuencia.*  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

6. **F\_start(Hz) y F\_end(Hz):** en esta opción (figura 4-39), se establece el nivel de la frecuencia para el inicio y final de la secuencia. Su rango es de 15 a 1200 Hz.



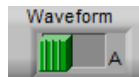
*Figura 4-39: Configuración de la frecuencia para la secuencia.*  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

7. **Vdc\_start(V) y Vdc\_end(V):** en esta opción (figura 4-40), se establece el nivel de voltaje en DC para el inicio y final de la secuencia. El nivel está limitado en función del rango de voltaje establecido en la pantalla principal.



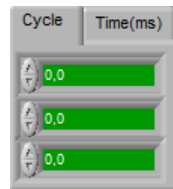
*Figura 4-40: Configuración del voltaje DC para la secuencia.*  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

8. **Forma de onda:** esta función (figura 4-41), se utiliza para establecer la forma de onda A o B configurada en la pantalla principal.



**Figura 4-41:** Configuración de la forma de onda.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

9. **Cycle/Time (ms):** en esta función (figura 4-42), se establece el ciclo o el tiempo para la duración de la secuencia configurada.



**Figura 4-42:** Configuración cycle/Time.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

10. **Botón Trig On:** este botón (figura 4-43) se utiliza para activar la secuencia a la salida de la fuente. Finalizara automáticamente al ejecutarse todas las secuencias configuradas, caso contrario si COUNT=0 la secuencia es infinita. Este botón también se presenta en las funciones Step Mode e interarmonicos.



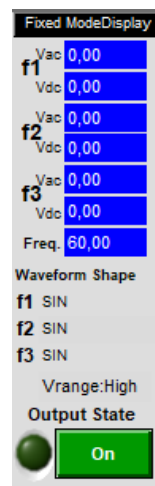
**Figura 4-43:** Botón de activación.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

11. **Time remaining (s):** esta ventana (figura 4-44), muestra el tiempo total de todas las secuencias programadas. Al activar la secuencia, mostrará al usuario la cuenta regresiva para informar el tiempo restante de la secuencia programada.



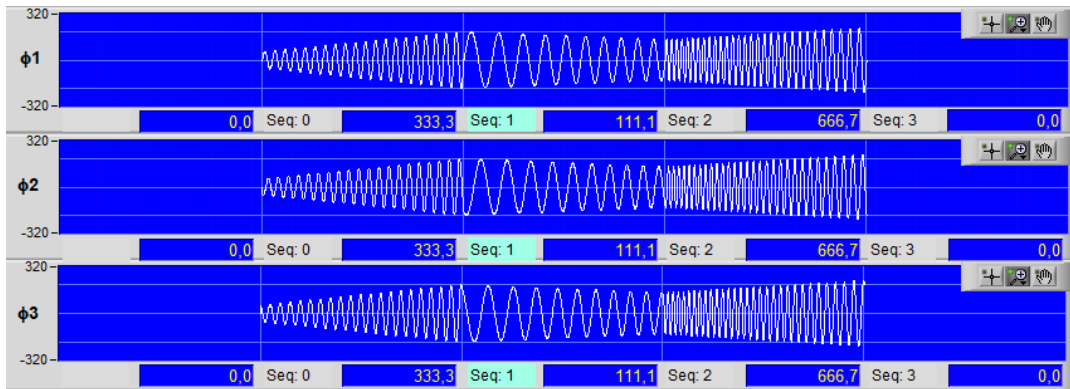
**Figura 4-44:** Tiempo restante (s).  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

12. **Pantalla de modo fijo:** esta pantalla como se observa en la figura 4-45, al activar el botón *Output State (ON)* muestra la configuración del voltaje y frecuencia de las tres fases que fueron establecidos en la pantalla principal.



**Figura 4-45:** Indicador de la pantalla principal.  
FUENTE:

**13. Pantalla de simulación de forma de onda:** esta pantalla de la figura 4-46, presenta la forma de onda de la secuencia configurada para la salida de las tres fases.



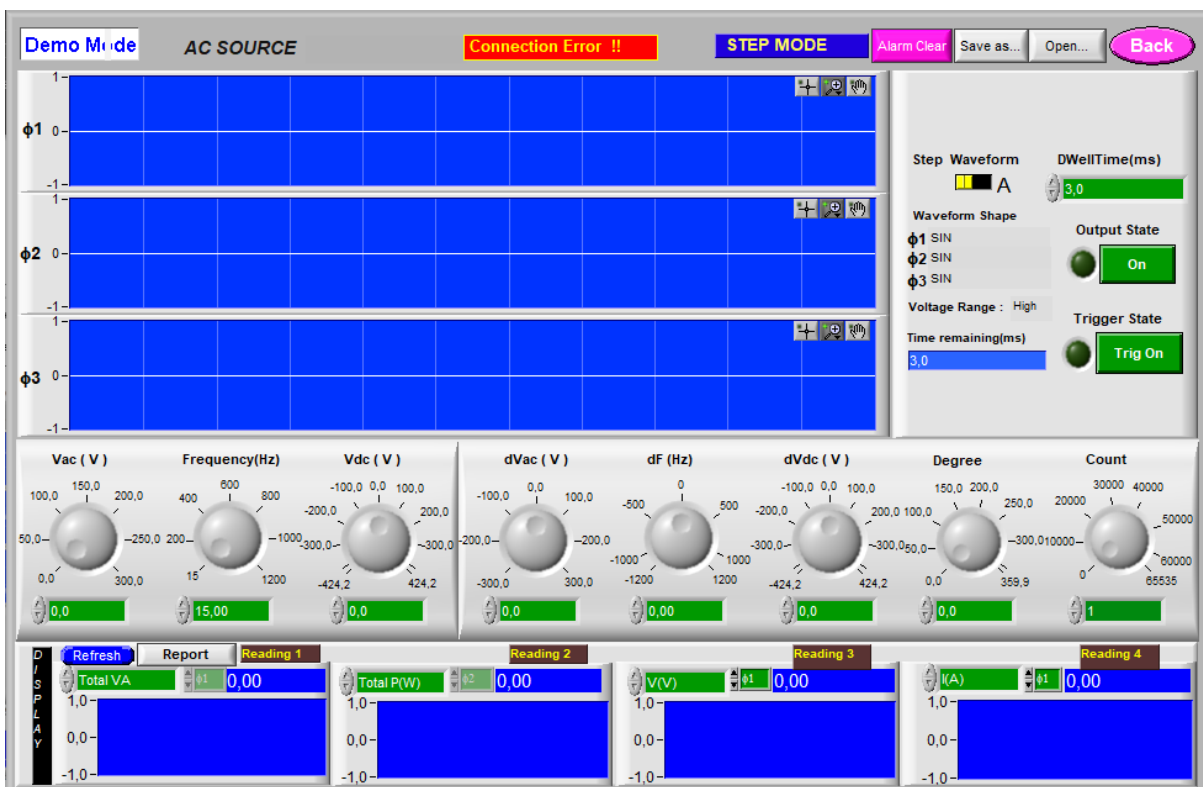
**Figura 4-46:** Pantalla de visualización de la simulación de forma de onda.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

Esta pantalla se divide en 3 áreas ( $\Phi 1$ ,  $\Phi 2$ ,  $\Phi 3$ ) para la visualización de la forma de onda del voltaje. En la parte inferior del área de simulación para cada fase se muestra el valor y el tiempo de ejecución de cada secuencia. Si la secuencia configurada tiene el Ciclo o Tiempo = 0, la secuencia no es válida por lo tanto no se mostrará en la ventana de simulación.

#### 4.3.7. Pantalla de control Step Mode.

##### 4.3.7.1. Descripción de la pantalla.

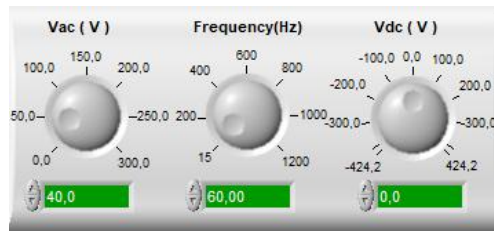
La pantalla de control Step Mode (figura 4-47) proporciona una forma de onda a la salida con el nivel de voltaje y frecuencia, de forma ascendente o descendente. En el programa se puede establecer el tiempo de permanencia para cada paso de ascenso o descenso, así como la función Count que permite repetir la configuración.



**Figura 4-47:** Pantalla de control Step Mode.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

#### 4.3.7.2. Configuración de parámetros en la pantalla de control Step Mode.

1. **Configuración de  $V_{ac}$  (V),  $Frequency$  (Hz) y  $V_{dc}$  (V):** en estas opciones (figura 4-48) se establece el voltaje en CA, la frecuencia y el voltaje en DC para el inicio de la perturbación.



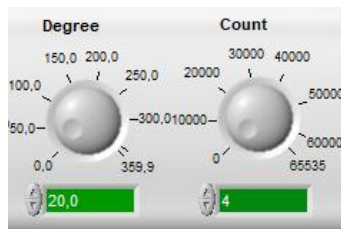
**Figura 4-48:** Configuración de parámetros de inicio.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

2. **Configuración de  $dV_{ac}$  (V),  $dF$  (Hz) y  $dV_{dc}$  (V):** en estas opciones como se observa en la figura 4-49, se establecen los valores de voltaje CA, frecuencia y voltaje CD para el ascenso o descenso de la forma de onda del voltaje de salida.



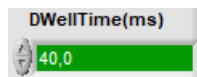
**Figura 4-49:** Configuración de parámetros para cada paso de la forma de onda.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

3. **Configuración  $Degree$  y  $Count$ :** en las opciones de Degree y Count (figura 4-50), se establece el ángulo de inicio de fase y en la función Count se establece el número de pasos para cada salto de la forma de onda.



**Figura 4-50:** Configuración de la función Degree y Count.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

4. **Configuración  $DWellTime$  (ms):** en esta función de la figura 4-51, se establece el tiempo de permanencia de cada paso.



**Figura 4-51:** Configuración del tiempo de permanencia.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

5. **Pantalla de visualización de forma de onda:** esta pantalla como se observa en la figura 4-52, muestra la configuración de la forma de onda de cada paso para las 3 fases.

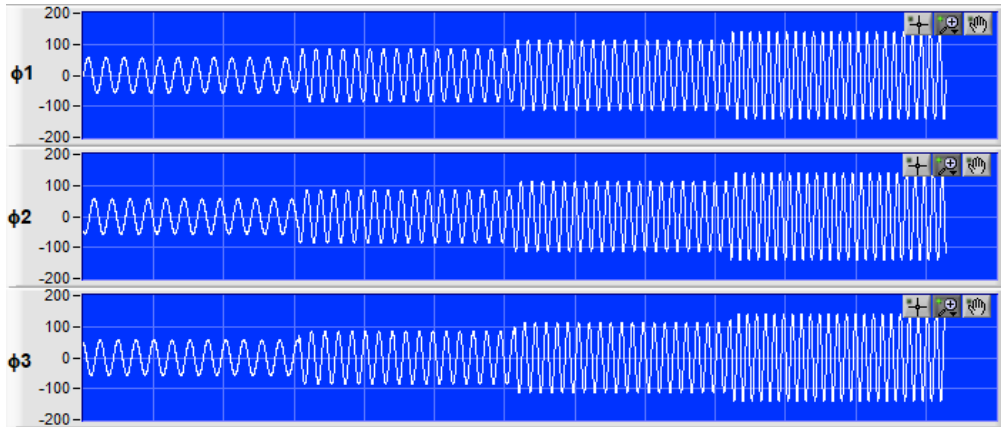


Figura 4-52: Pantalla de visualización de forma de onda en modo Step.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

### 4.3.8. Pantalla de control Pulse Mode.

#### 4.3.8.1. Descripción de la pantalla.

En la pantalla de control Pulse Mode como se observa en la figura 4-53, los usuarios pueden especificar el porcentaje de carga sobre el transitorio programado.

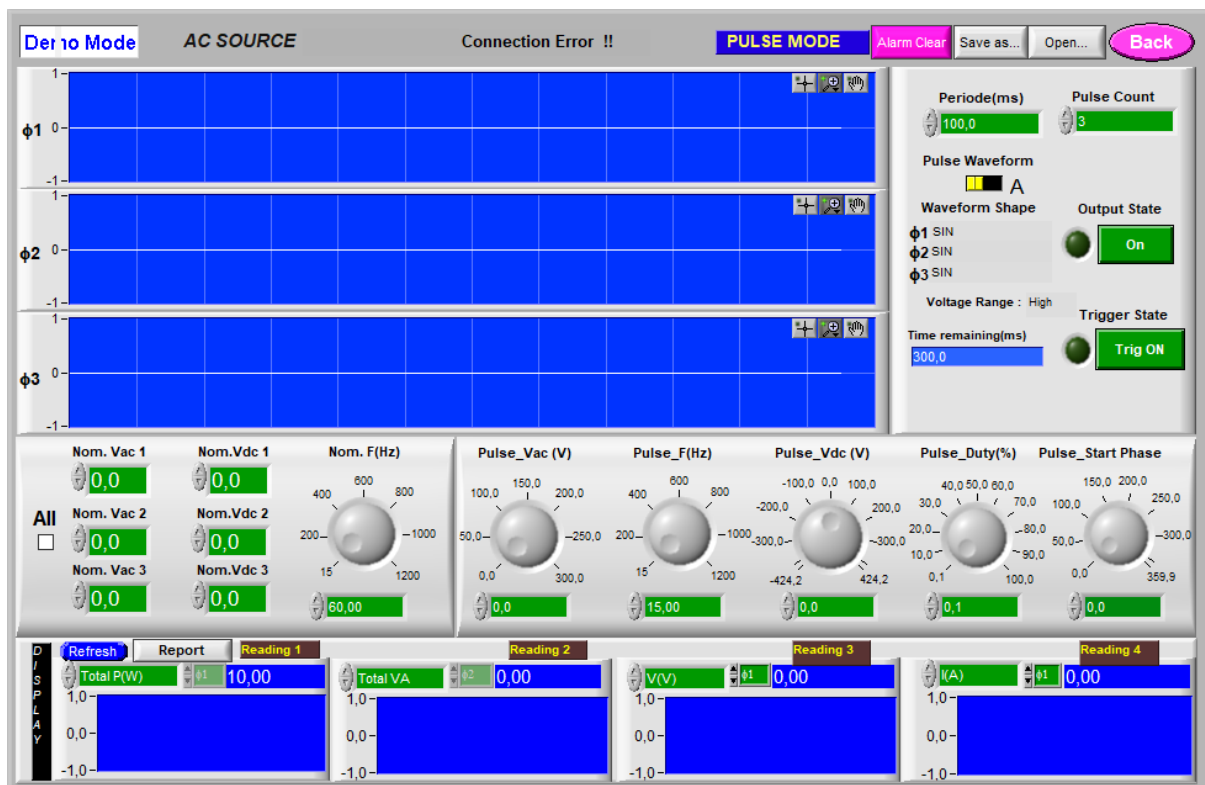
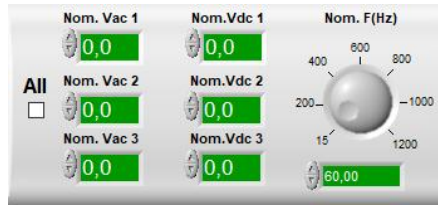


Figura 4-53: Pantalla de control Pulse Mode.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

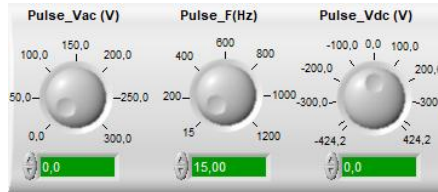
#### 4.3.8.2. Configuración de parámetros en la pantalla de control Pulse Mode.

1. **Nom. Vac, Nom. Vdc y Nom. F(Hz):** en estas opciones como se observa en la figura 4-54, se establecen los valores nominales de voltaje en AC, voltaje en DC y frecuencia. Al igual que la pantalla principal tiene un controlador de salida de voltaje, es decir, cuando se selecciona la opción ALL solo se necesita establecer el voltaje en la primera fase para controlar la salida de las demás fases.



**Figura 4-54:** Configuración de valores nominales en Pulse Mode.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

- Pulse\_Vac(V), Pulse\_F(Hz) y Pulse\_Vdc(V):** en estas opciones de la figura 4-55, se establecen los valores de voltaje en AC, frecuencia y voltaje DC para generar el pulso.



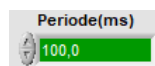
**Figura 4-55:** Configuración de valores para generar el pulso.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

- Pulse Duty(%) y Pulse\_Start Phase:** en la opción de Pulse Duty se establece el pulso de trabajo para la onda de salida del estado transitorio, mientras que en la opción Pulse Start Phase se establece el ángulo de fase para el inicio del pulso, como se observa en la figura 4-56.



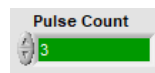
**Figura 4-56:** Configuración Pulse Duty y Pulse Start Phase.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

- Periodo (ms):** en esta opción se establece el periodo de impulso para la salida de la señal distorsionada, como se observa en la figura 4-57.



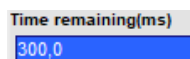
**Figura 4-57:** Configuración del periodo en Mode Pulse.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

- Pulse Count:** en esta opción se define el número de pulsos para la señal de salida, como se observa en la figura 4-58.



**Figura 4-58:** Configuración pulse Count.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

- Output State:** activa (ON) o desactiva (OFF) la señal de voltaje a la salida de la fuente programable AC.
- Time remaining (ms):** presenta el tiempo total empleado en milisegundos de la forma de onda programada. Este parámetro dependerá del número de Pulse count (figura 4-59).



**Figura 4-59:** Tiempo de duración de la secuencia (ms).  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

8. **Área de visualización de la forma de onda:** muestra la forma de onda programada para cada fase (figura 4-60).

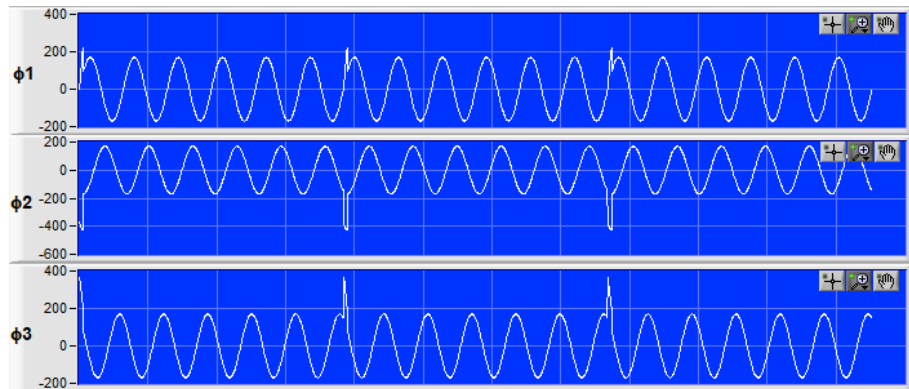


Figura 4-60: Pantalla de visualización en modo Pulse.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

### 4.3.9. Pantalla de Interarmónicos.

#### 4.3.9.1. Descripción de la pantalla.

En la pantalla de Interarmónicos como se muestra en la figura 4-61, se puede establecer una frecuencia de exploración armónica de inicio y final voltaje de salida de las 3 fases.

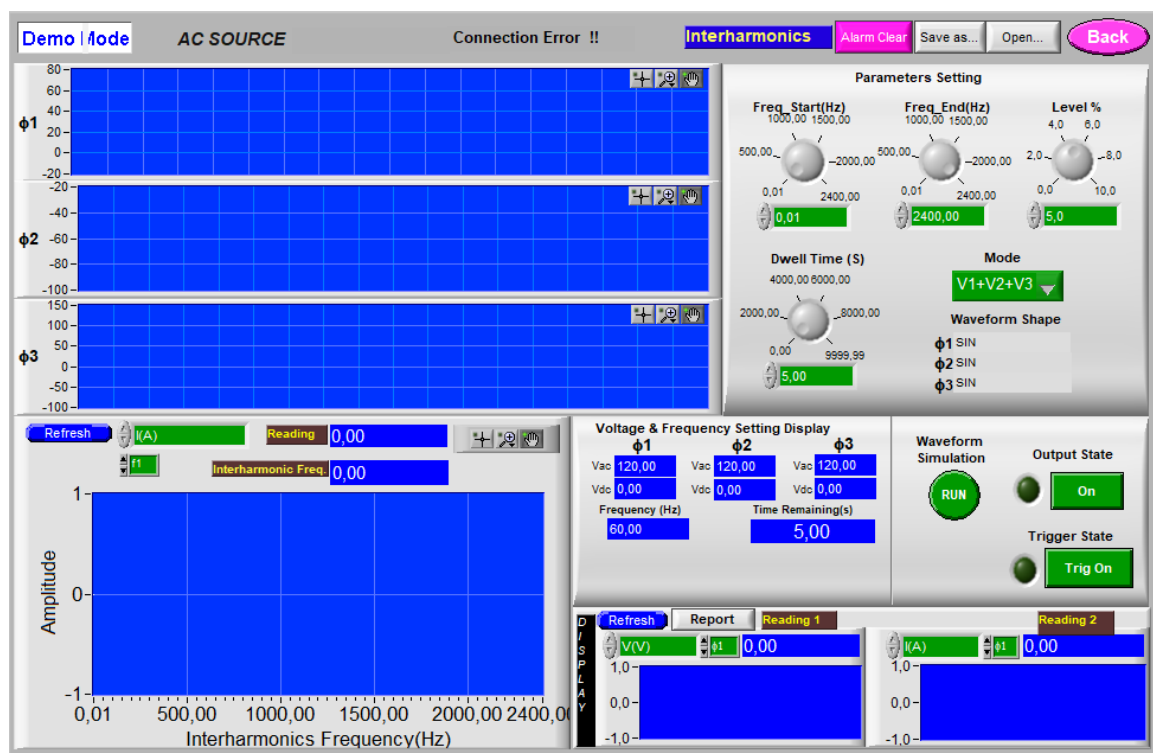
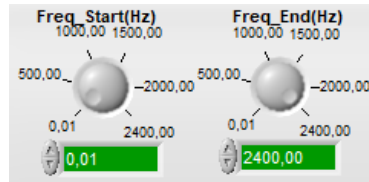


Figura 4-61: Pantalla de control de Interarmónicos.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

#### 4.3.9.2. Configuración de parámetros en la pantalla Interarmónicos.

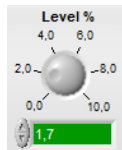
1. **Freq\_Start (Hz) y Freq\_End (Hz):** en estas funciones se establece la frecuencia de inicio y final del armónico. El rango es 0.01 ~ 2400 Hz, como se observa en la figura 4-62.





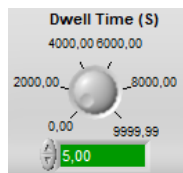
**Figura 4-62:** Configuración de la frecuencia de inicio y fin en modo Interarmónicos.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

2. **Nivel (%)**: se establece el nivel armónico para la onda de exploración. La unidad es el porcentaje de RMS. Como se observa en la figura 4-63.
- Para el nivel de 0 ~ 30%,  $Freq\_Start \sim Freq\_End$  es 0.01 ~ 500Hz.
  - Para el nivel de 0 ~ 20%,  $Freq\_Start \sim Freq\_End$  es 500.01 ~ 1000Hz.
  - Para el nivel de 0 ~ 10%,  $Freq\_Start \sim Freq\_End$  es 1000.01 ~ 2400Hz.



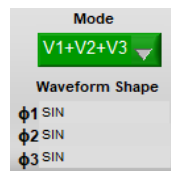
**Figura 4-63:** Configuración del nivel armónico.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

3. **Dwell Time (s)**: en esta función se establece el tiempo de exploración armónica. El rango es 0.01 ~ 9999.99 (s), como se observa en la figura 4-64.



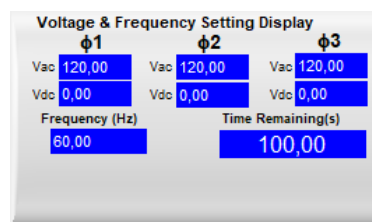
**Figura 4-64:** Configuración del tiempo de espera.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

4. **Mode**: esta opción se utiliza para activar la exploración de la fase armónica. Puede ser un escaneo monofásico o un escaneo de 3 fases, como se observa en la figura 4-65.



**Figura 4-65:** Configuración del modo de exploración.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

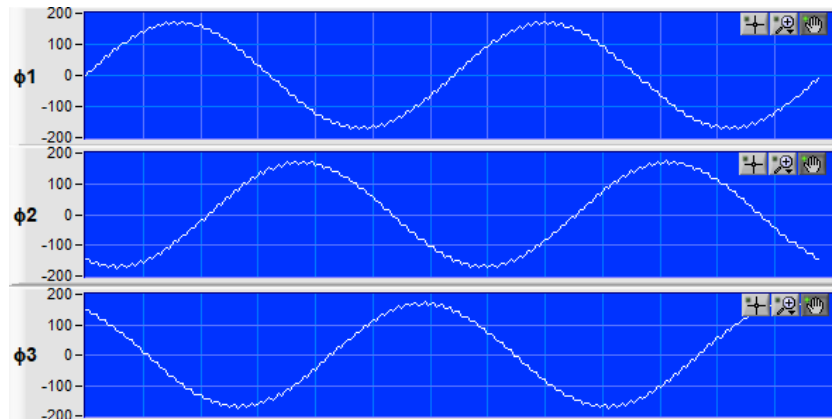
5. **Pantalla de voltaje y frecuencia**: muestra el voltaje y la frecuencia de CA establecidos para cada fase en la pantalla principal. Además, en esta pantalla se presenta el tiempo total que emplea la simulación de la forma de onda con interarmónicos (figura 4-66).



**Figura 4-66:** Pantalla de visualización de voltaje, corriente y tiempo de retardo.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

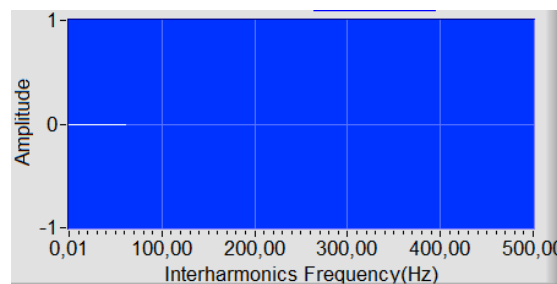


6. **Área de simulación de forma de onda:** emite forma de onda después de establecer el parámetro de simulación dinámica. Puede simular y escanear la forma de onda de una sola fase o 3 fases al mismo tiempo, según la función *Mode* (figura-67).



*Figura 4-67: Pantalla de visualización en modo interarmónicos.*  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

7. **Simulación de forma de onda:** puede previsualizar la forma de onda de escaneo de interarmónicos (figura 4-68).



*Figura 4-68: Pantalla de previsualización en modo interarmónicos.*  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

#### 4.3.10. Pantalla editor de formas de onda (Waverform Editor).

##### 4.3.10.1. Descripción de la pantalla.

La característica principal de esta pantalla (figura 4-69) es que se puede ingresar los parámetros para generar la distorsión armónica en la forma de onda, para lo cual existe una tabla de ingreso de datos en 4 páginas para 39 conjuntos (excepto la primera frecuencia fundamental).

La forma de onda definida por el usuario es visualizada en la ventana de simulación para luego ser enviada hacia la carga, se puede generar un máximo de 6 distintas formas de onda de US1 a US6.

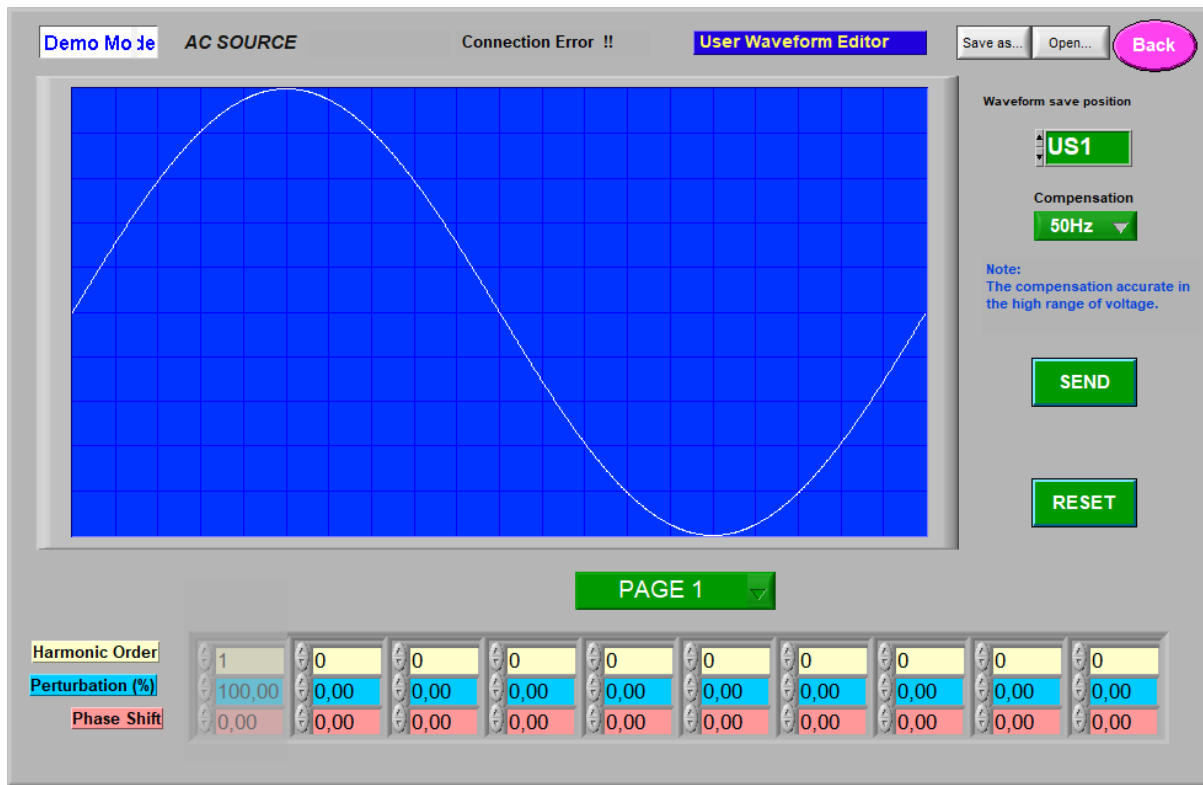


Figura 4-69: Pantalla editor de formas de onda.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

#### 4.3.10.2. Configuración de parámetros en el editor de formas de onda.

1. **Tabla de armónicos:** en la tabla de armónicos de la figura 4-70, se establecen los parámetros de los componentes armónicos que está compuesta por 4 páginas para un total de 39 conjuntos.

**Harmonic Order** : área amarilla, se establece el orden armónico.

**Perturbation (%)** : área azul, se establece el porcentaje de distorsión del componente armónico.

**Phase Shift** : área roja, se establece el desfase armónico del ángulo de fase.

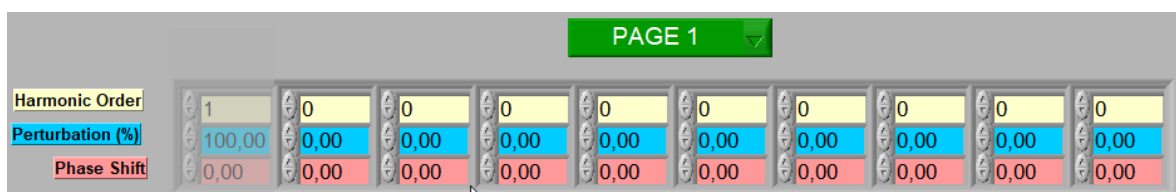


Figura 4-70: Tabla de grupo de armónicos.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

2. **Compensación:** esta función (figura 4-71) se utiliza para la selección de la compensación armónica o frecuencia fundamental, para que durante la simulación de forma de onda armónica a la salida sea más precisa. Existen 2 opciones 50 Hz, 60Hz y otros.

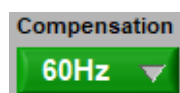
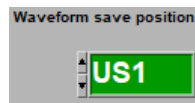


Figura 4-71: compensación armónica de forma de onda.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

3. **Waveform save position:** esta opción (figura 4-72) se utiliza para establecer la posición en donde se va a guardar la forma de onda. Existe US1, US2, US3, US4, US5 y US6 disponibles para dicho proceso.



**Figura 4-72:** Selección de la posición de guardado de la forma de onda.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

4. **Send:** este botón como se observa en la figura 4-73, se utiliza para enviar la forma de onda con el nivel de armónico establecido hacia la fuente AC.



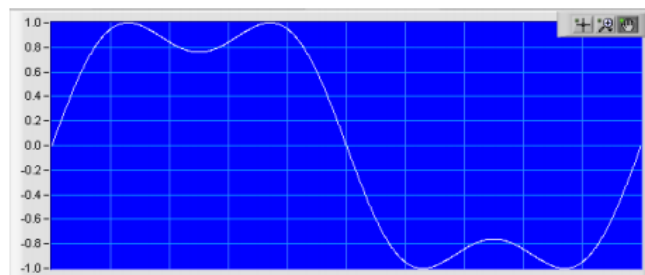
**Figura 4-73:** Botón enviar.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

5. **Reset:** el botón reset (figura 4-74) se utiliza para borrar todos los parámetros que fueron establecidos en la tabla de armónicos, excepto la primera frecuencia fundamental.



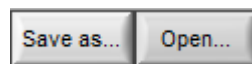
**Figura 4-74:** Botón reset.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

6. **Ventana de simulación:** esta ventana de la figura 4-75, muestra la forma de onda sintetizada con todos los parámetros definidos.



**Figura 4-75:** Ventana de simulación en modo Waveform Editor.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

7. **Botón Guardar/Abrir:** esta opción (figura 4-76) que está disponible en todas las funciones se utiliza para guardar la configuración de cualquier programación y después abrir fácilmente para de esta manera ahorrar tiempo.



**Figura 4-76:** botón Guardar/Abrir.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

8. **Botón Exit:** este botón (figura 4-77) disponible en todas las funciones se utiliza para regresar a la pantalla principal. En caso de haber realizado algún cambio a la configuración y no se ha guardado, se presentará un mensaje que pedirá a los usuarios si desea guardar o no.



**Figura 4-77:** Botón regresar.  
FUENTE: Software SoftPanel de Chroma.

#### 4.4. ANALIZADOR DE REDES ELÉCTRICAS.

El analizador es un equipo de medida completo y potente utilizado para averiguar los problemas que afectan a la calidad de la energía eléctrica, es capaz de medir voltajes, corrientes, potencias, armónicos en forma de histogramas, gráficas fasoriales, formas de onda, entre otros. Las características de los equipos dependen de las diferentes marcas que se encuentran en el mercado, por lo que para el desarrollo de este manual se utilizará el analizador FLUKE 435 disponible en el laboratorio de la Universidad, en la figura 4-78 se aprecia el modelo del equipo.



Figura 4-78: Analizador de calidad de energía eléctrica modelo 435 II.  
FUENTE: [24].

##### 4.4.1. Características de los tipos de pantallas de medida.

El analizador eléctrico (FLUKE 435) presenta 5 pantallas diferentes para indicar los resultados de una medición como se observa en la figura 4-79. A continuación, se presenta una breve descripción de las características de estas pantallas.

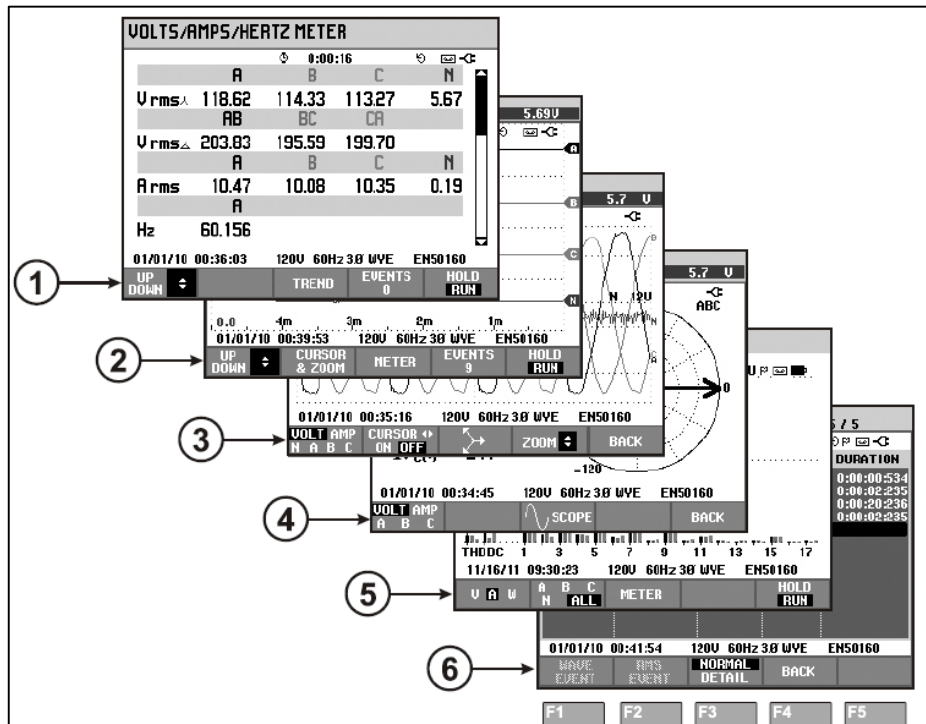


Figura 4-79: Detalle de los tipos de pantalla.  
FUENTE: [24].

1. **Pantalla de multímetro:** esta pantalla presenta los valores instantáneos de los parámetros eléctricos más importantes como: voltaje rms, corriente rms y frecuencia.
2. **Pantalla de tendencia:** este tipo de pantalla está relacionado con la pantalla de multímetro, la única diferencia es que en la pantalla de tendencia se observan los cambios que sufren los valores en un intervalo de tiempo programable, está disponible en todas las medidas.
3. **Pantalla de forma de onda:** esta pantalla permite la visualización de la forma de onda del voltaje y corriente (L-N o L-L) en tiempo real.
4. **Pantalla de fasor:** esta pantalla muestra la relación de los ángulos que existe entre voltajes y corrientes en un diagrama de vectores. La medición de estos ángulos sirve también para verificar si las conexiones están correctas.
5. **Pantalla gráfica de barras:** esta pantalla muestra el porcentaje de la densidad de un parámetro medido, generalmente utilizado para la medición de armónicos.
6. **Pantalla lista de eventos:** en esta pantalla se puede observar todos los eventos ocurridos al realizar una medición. Cada evento es registrado con fecha, hora y duración.

#### 4.4.2. Conexiones del equipo.

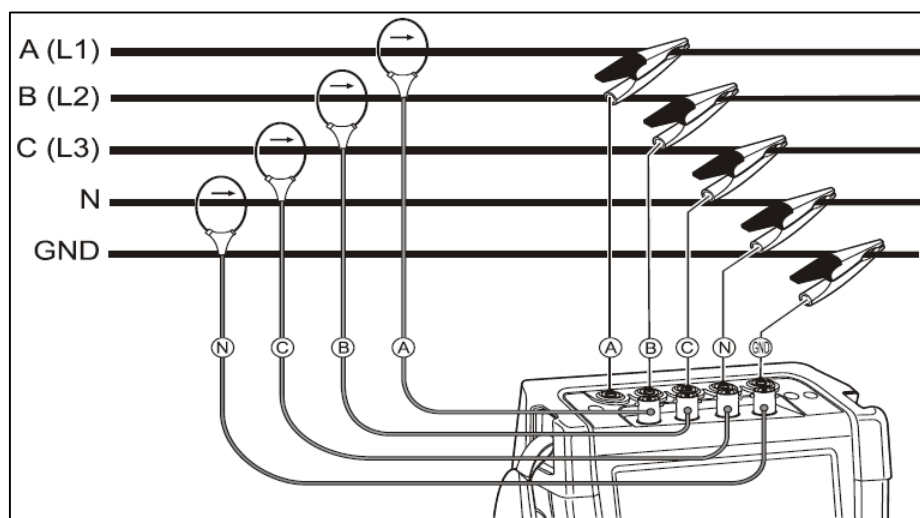
Para evitar problemas a la hora de realizar cualquier tipo de medición, es importante conocer la forma de conexión del equipo analizador de redes.

En la parte superior del analizador encontramos 4 entradas BNC para pinzas amperométricas y 5 entradas tipo bananas para tensiones, como se observa en la figura 4-80.



*Figura 4-80: Entradas para tensión y corriente.*  
FUENTE: [24].

En la figura 4-69 se presenta el detalle de la conexión para medir en un sistema trifásico.



*Figura 4-81: Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico.*  
FUENTE: [24].

Como se puede apreciar en la figura anterior las pinzas amperométricas se conectan alrededor de las líneas A(L1), B(L2), C(L3) y N. Al conectar cada pinza es importante fijarse en la flecha que viene marcada ya que este señala la dirección de la corriente.

Para la conexión de los cables de tensión, se recomienda iniciar con la conexión a tierra GND y luego con las demás líneas N, C(L3), B(L2) y A(L1). La conexión de tierra es importante para obtener resultados de medidas correctas [24].

Una manera de comprobar si las conexiones de los cables de tensión y las pinzas amperométricas están correctas, es a través de las pantallas de osciloscopio y fasor. En la pantalla de fasor, los voltajes y corrientes de A(L1), B(L2) y C(L3) deben estar en secuencia en sentidos a las manecillas del reloj como se muestra en la figura 4-82.

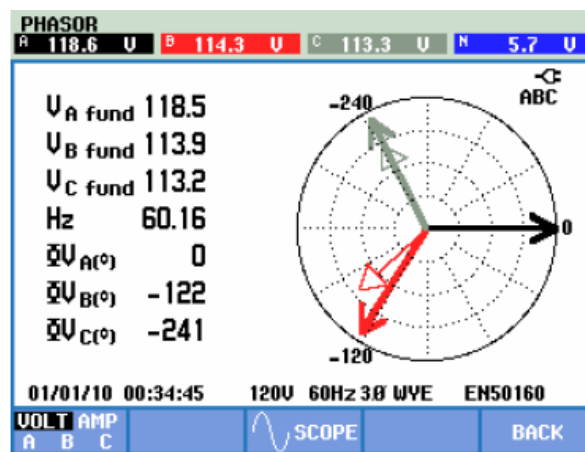


Figura 4-82: Diagrama de vectores del analizador correctamente conectado.  
FUENTE: [24].

#### 4.4.3. Configuraciones iniciales.

Las configuraciones iniciales y primordiales que se hace al prender por primera vez el equipo son: idioma, frecuencia nominal, voltaje nominal, color de las fases, fecha y hora. No obstante, se recomienda verificar estos parámetros cada vez que se requiera realizar una nueva medición.

Una vez configurado los parámetros iniciales, se mostrará la pantalla inicial como se observa en la figura 4-83, desde esta pantalla permite el acceso a todos los ajustes del analizador. Además, en esta pantalla se puede verificar la fecha, hora, frecuencia, voltaje, configuración de la conexión que se va a utilizar, entre otros.

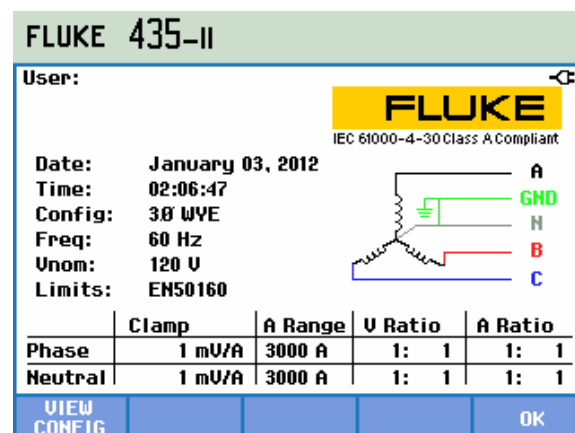


Figura 4-83: Pantalla de inicio del analizador.  
FUENTE: [24].

Para observar más detalladamente como se debe conectar los cables a la fuente de alimentación que se desea medir pulsamos la tecla F1 tanto para ingresar como para regresar, esta ilustración se observa en la figura 4-84.

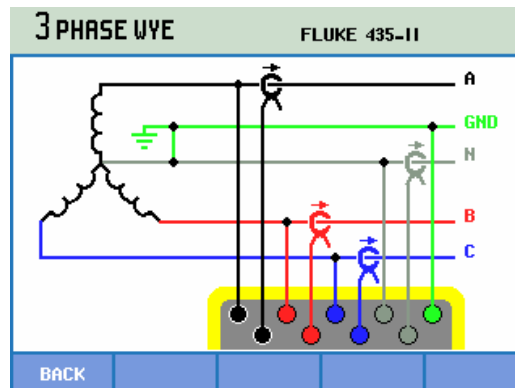


Figura 4-84: Pantalla de muestra para la conexión de los cables de medición.  
FUENTE: [24].

Desde la pantalla de inicio pulsamos la tecla SETUP para mostrar todos los ajustes del analizador como se observa en la figura 4-85.

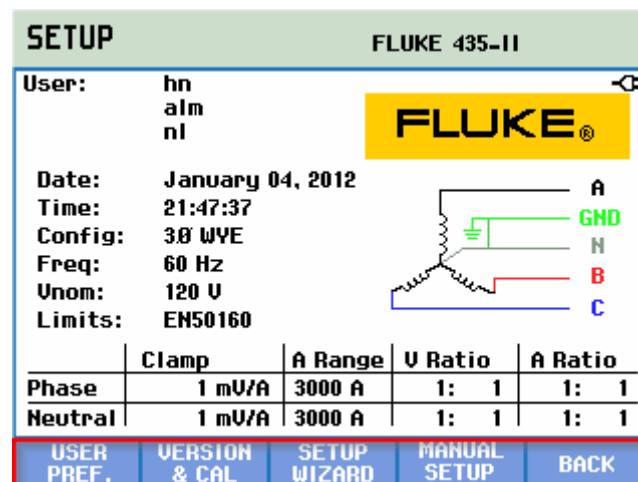


Figura 4-85: Pantalla con menú de configuración del analizador.  
FUENTE: [24].

Las configuraciones más importantes que se realiza en los ajustes de la figura anterior son:

1. **Ajuste USER PREF.:** para acceder pulsamos la tecla F1 e inmediatamente aparecerá una pantalla, en donde indica los ajustes que se puede realizar como: idioma, identificación de fase, colores de fase, velocidad en baudios, formato de la tarjeta SD.
2. **VERSION & CAL.:** para acceder pulsamos la tecla F2 e inmediatamente se mostrará una pantalla de lectura que contiene el número de modelo, número de serie, número de calibración y fecha de calibración.
3. **Ajuste SETUP WIZARD:** para acceder pulsamos la tecla F3, en esta parte se puede realizar los ajustes de tensión nominal, frecuencia nominal, configuración de la conexión para realizar el cableado, entre otros.
4. **MANUAL SETUP:** para ingresar pulsamos la tecla F4, en este menú se puede configurar muchas opciones de acuerdo con los requisitos, además también permite configurar la fecha, hora, frecuencia nomina, voltaje nominal, entre otros.

#### 4.4.4. Modos de medida.

El analizador 435 ofrece distintos modos de medida, cada modo presenta características únicas en función del fenómeno eléctrico que se requiera medir. Para ingresar, una vez encendido el analizador, pulsamos la tecla MENÚ y se desplegará una pantalla con los modos de medida como se observa en la figura 4-86, luego se presenta las características principales de cada modo.

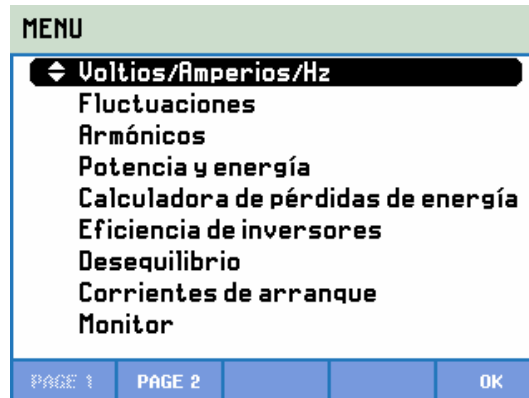


Figura 4-86: Modos de medidas del analizador.

FUENTE: [24].

1. **Modo Voltios/Amperios/Hz:** este modo cumple la función de un multímetro, permite observar un resumen con los valores numéricos más importantes como: voltaje, corriente, frecuencia y factor de cresta.
2. **Modo fluctuaciones:** este modo permite registrar cambios repentinos en la forma de onda de la tensión como: caídas de voltaje, sobretensiones e interrupciones de voltaje.
3. **Modo desequilibrio:** presenta una pantalla donde se puede observar las relaciones entre voltajes y corrientes a través de un diagrama de vectores, para averiguar si el sistema esta equilibrado, balanceado o simétrico.
4. **Modo Transitorios:** este modo permite capturar formas de onda de alta resolución al presentarse una caída de tensión, sobretensión, interrupciones y transitorios.
5. **Modo armónicos:** este modo permite registrar y medir la contaminación armónica e interarmónica. Además, registra la distorsión armónica total THD y el factor K.
6. **Modo registrador:** este modo permite registrar varias lecturas que pueden ser configuradas por el usuario, para un análisis completo del sistema eléctrico.

#### 4.5. SOFTWARE POWER LOG CLASSIC.

##### 4.5.1. Introducción.

El software POWER LOG CLASSIC es un software libre para PC compatible con el equipo analizador (FLUQUE 435), que permite la transferencia de los datos registrados hacia la PC, para la evaluación de las gráficas de una manera más detallada y clara.

##### 4.5.2. Características.

las características que permite el software son:

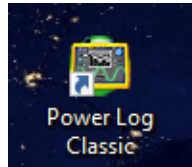
- Descargar datos registrados a la PC.
- Generar tablas de datos.
- Ver, imprimir y exportar diagramas.
- Realizar estudios armónicos.
- Imprimir tablas, gráficos e informes completos.
- Exportar datos para la manipulación en otros programas, por ejemplo, Excel.



### 4.5.3. Instalación del software.

El software *Power Log Classic* se puede descargar directamente del sitio web de FLUKE ([www.fluke.com](http://www.fluke.com)), y se puede instalar utilizando las instrucciones que están disponibles en la página del producto.

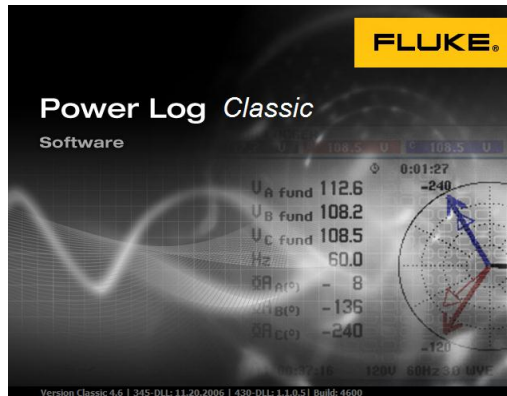
Luego de haber instalado correctamente el programa, en la pantalla escritorio de la PC se creará un acceso directo del software, como se observa en la figura 4-87.



**Figura 4-87:** Acceso Power Log Classic.  
FUENTE: Software Power log Classic.

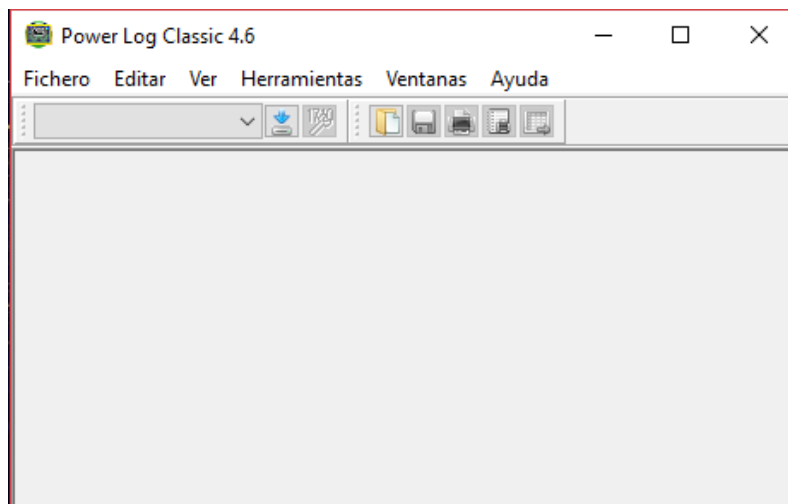
### 4.5.4. Inicio del software.

Cuando se inicia el software *Power Log* se muestra brevemente la pantalla de bienvenida, como se observa en la figura 4-88.



**Figura 4-88:** Pantalla de bienvenida de Power Log.  
FUENTE: Software Power log Classic.

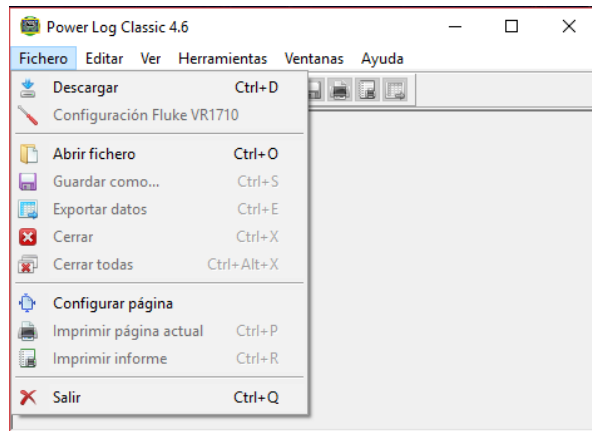
Posteriormente se abre una ventana con un panel en blanco, en cuya barra de menú se muestran las funciones básicas como: Fichero, Editar, Ver, Herramientas, Ventanas y ayuda, en la figura 4-89 se aprecia esta ventana.



**Figura 4-89:** Ventana principal del software Power Log.  
FUENTE: Software Power log Classic.

#### 4.5.5. Descarga de datos.

La descarga de datos se realiza una vez que se haya realizado cualquier tipo de medición, para ello se conecta el cable USB a la PC con el puerto USB del equipo que está ubicado en el lado derecho, luego seleccione *Fichero/Descargar*, como se observa en la figura 4-90.



**Figura 4-90:** Descarga de datos del software Power Log.  
FUENTE: Software Power log Classic.

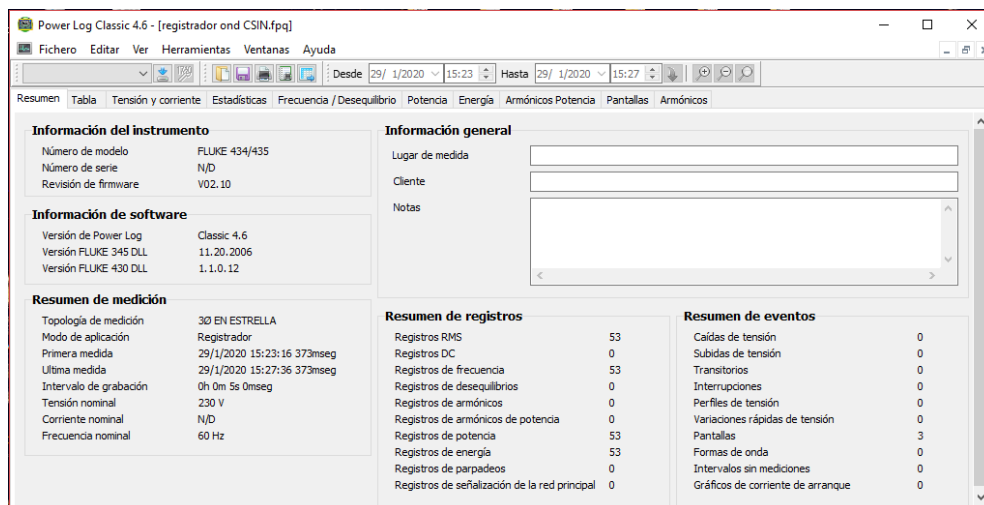
La transferencia de datos puede tomar segundos o minutos, dependiendo de la velocidad en baudios y la cantidad de datos, una vez completada la descarga aparece un diagrama de tiempo con los datos medidos, cada archivo de datos se puede guardar con nombre y fecha para su posterior verificación y análisis.

#### 4.5.6. Análisis de datos.

Luego de haber descargado el archivo desde el equipo, o cargado desde la PC un archivo existente, los datos se pueden ver e imprimir en distintos tipos de pantalla de medida o incluso se puede exportar los datos para su uso en otro programa, como Excel u otro programa de base de datos. A continuación, se presenta de manera general los distintos tipos de pantallas de medida utilizados para el análisis de datos.

##### 4.5.6.1. Pantalla de resumen.

En la pantalla de resumen como se observa en la figura 4-91, permite ingresar la información general como el lugar de medida, cliente y notas. Además, presenta un resumen con los registros y eventos con la finalidad de tener una idea general de la medición.



**Figura 4-91:** Pantalla de resumen de Power Log.  
FUENTE: Software Power log Classic.

#### 4.5.6.2. Pantalla de tabla de datos.

La pantalla de tabla de datos como se observa en la figura 4-92, muestra la medición con hora y fecha de los datos registrados, el registro puede darse cada segundo, minuto u hora, dependiendo de la configuración realizada en el analizador.

Fecha	Función	L1N(V) / L1(A) Min.	L1N(V) / L1(A) Med	L1N(V) / L1(A) Máx.	L2N(V) / L2(A) Min.	L2N(V) / L2(A) Med	L2N(V) / L2(A) Máx.	L3N(V) / L3(A) Min.	L3N(V) / L3(A) Med	L3N(V) / L3(A) Máx.
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Tensión	120,15 V	120,16 V	120,16 V	120,15 V	120,15 V	120,15 V	120,07 V	120,07 V	120,07 V
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Corriente	1 A	1 A	3 A	1 A	1 A	2 A	1 A	1 A	2 A
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Tensión de Medio Ciclo	120,13 V	120,14 V	120,16 V	120,13 V	120,15 V	120,16 V	120,06 V	120,07 V	120,08 V
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Corriente de Medio Ciclo	0 A	1 A	3 A	0 A	1 A	2 A	1 A	1 A	2 A
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Tensión de Pico	152,5 V	152,5 V	152,5 V	142,4 V	142,5 V	142,5 V	135,2 V	135,2 V	135,3 V
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Corriente de Pico	2 A	2 A	4 A	2 A	2 A	4 A	2 A	2 A	4 A
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Potencia Activa	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W	0 W
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Factor de Potencia	---	---	---	---	---	---	---	---	---
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Cos Phi	99	0	99	0	0	99	0	0	0
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Potencia Apparente	100 VA	100 VA	100 VA	100 VA	100 VA	100 VA	100 VA	100 VA	100 VA
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Potencia Reactiva	100 var	100 var	100 var	100 var	100 var	100 var	100 var	100 var	100 var
29/1/2020 15:23:16 373mseg	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	0,00 Wh
29/1/2020 15:23:16 373mseg	THD V	9,26%	9,27%	18,91%	18,91%	18,91%	28,62%	28,62%	28,62%	28,63%
29/1/2020 15:23:16 373mseg	THD A	30,07%	32,2%	35,45%	7,73%	9,1%	11,46%	25,3%	26,25%	28,05%
29/1/2020 15:23:16 373mseg	THD W	2,28%	327,67%	327,67%	19,09%	52,86%	130,97%	1,57%	6,71%	14,28%
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Frecuencia	---	---	---	---	---	---	---	---	---
29/1/2020 15:23:16 373mseg	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	0,00 VARh
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Tensión Fundamental	118,5 V	119,3 V	119,9 V	116,9 V	117,7 V	118 V	114,3 V	115,1 V	115,4 V
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Corriente Fundamental	0 A	0 A	0 A	0 A	0 A	0 A	0 A	0 A	0 A
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Energía Apparente	0,00 VAh	0,00 VAh	0,00 VAh	0,00 VAh	0,00 VAh	0,00 VAh	0,00 VAh	0,00 VAh	0,00 VAh
29/1/2020 15:23:16 373mseg	Factor K A	2,18	2,25	2,44	1,62	1,77	1,94	2,11	2,23	2,32

Figura 4-92: Pantalla de tabla de datos de Power Log.  
FUENTE: Software Power log Classic.

#### 4.5.6.3. Pantalla de tensión y corriente.

la pantalla de tensión y corriente como se observa en la figura 4-93, muestra los voltajes y corrientes en un diagrama de tiempo. Se puede seleccionar los canales para obtener un informe general o individual de cada fase. Esta pantalla cumple las mismas características para la pantalla de frecuencia, potencias, energías, factor de potencia, entre otros.

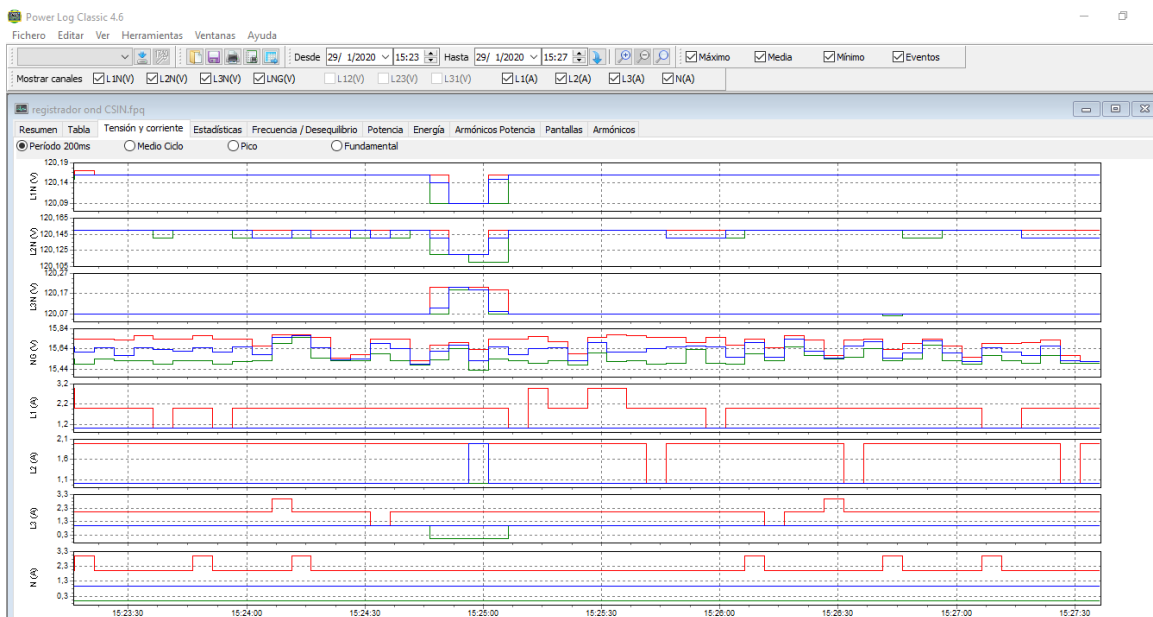


Figura 4-93: Pantalla de tensión y corriente de Power Log.  
FUENTE: Software Power log Classic.

#### 4.5.6.4. Pantalla de estadísticas.

En la pantalla de estadísticas como se observa en la figura 4-94, presenta la estadística de los valores mínimos, medios y máximos, medidos en un periodo de tiempo. Se puede tener una estadística del voltaje, corriente, potencia, energía, entre otros.

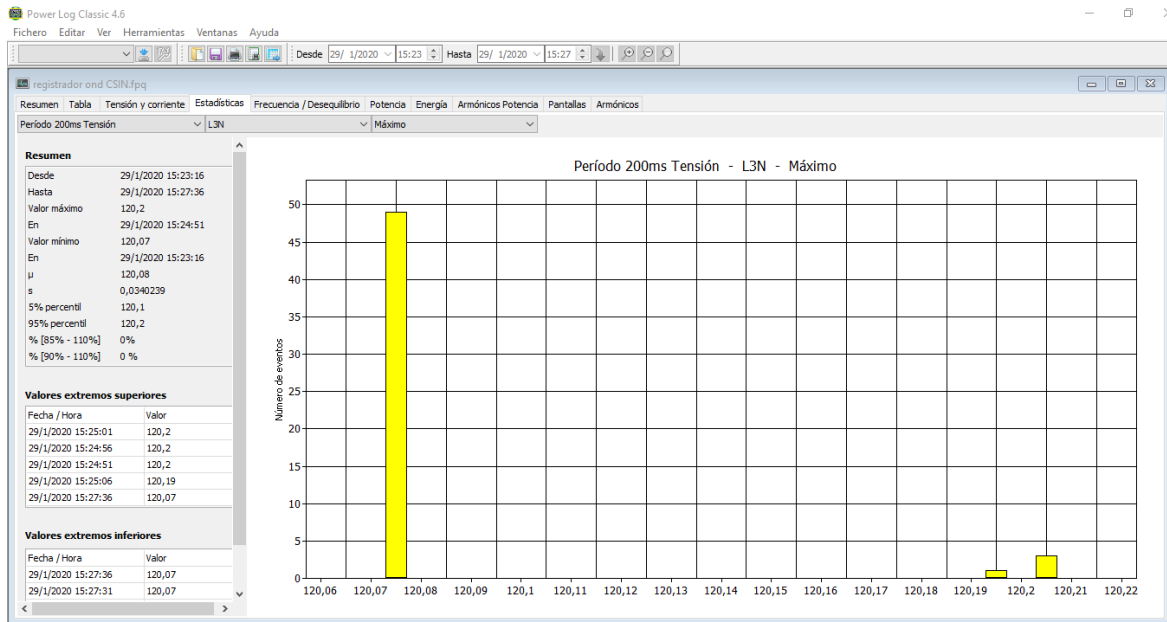


Figura 4-94: Pantalla de estadística de Power Log.  
FUENTE: Software Power log Classic.

#### 4.5.6.5. Pantalla de armónicos.

La pantalla de armónicos es como se observa en la figura 4-95 y 4-96. La primera figura presenta un histograma con los datos en un gráfico de barras, que indica el porcentaje de la distorsión armónica total y en la segunda gráfica se observa una evolución temporal de la distorsión armónica.

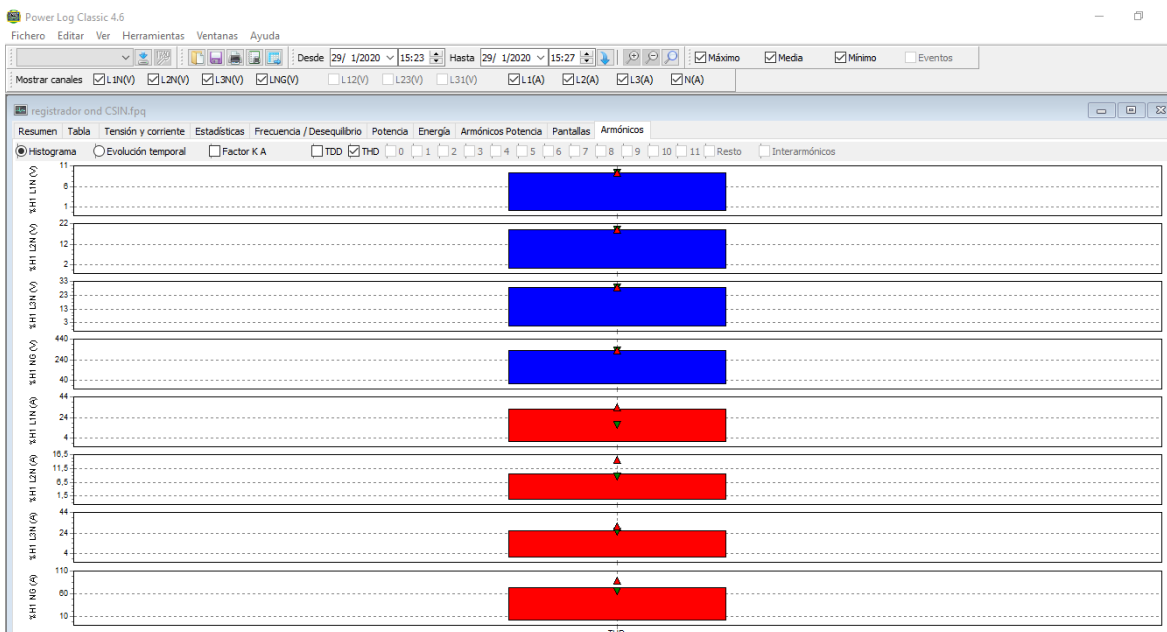
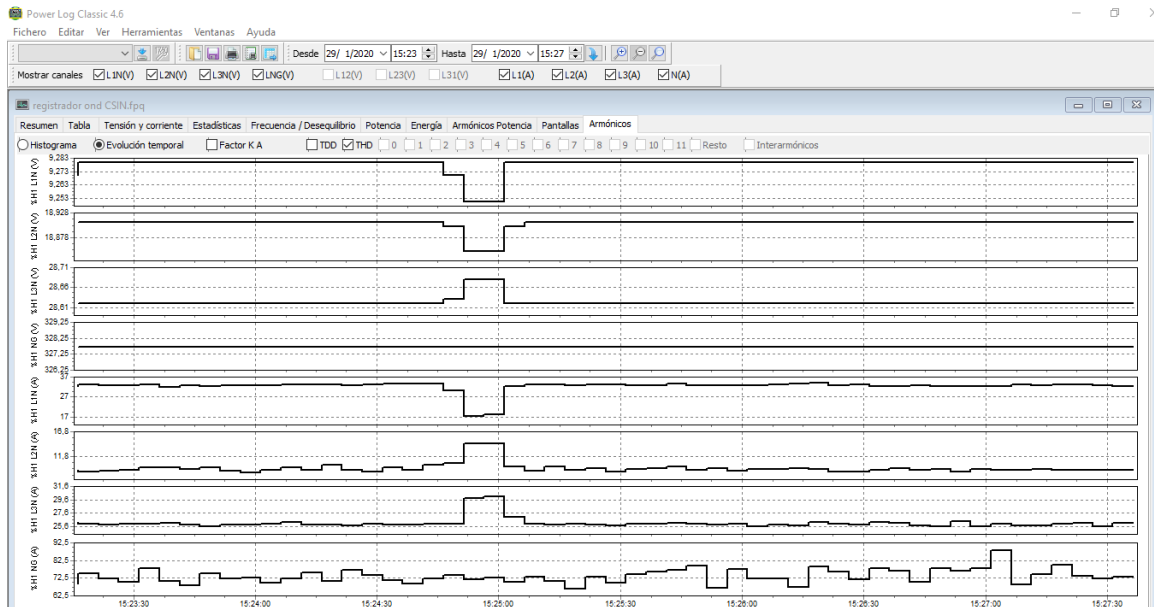


Figura 4-95: Gráfica de barras de la distorsión armónica en Power Log.  
FUENTE: Software Power log Classic.



**Figura 4-96:** Evolución temporal de la distorsión armónica en Power Log.  
FUENTE: Software Power log Classic.

Además de ver los datos, los usuarios tienen la opción de imprimir informes para la revisión, esto puede ser en formato PDF o en otro tipo de formato. Por lo cual en la barra de herramientas se selecciona la opción imprimir informe y se mostrará una pantalla como se observa en la figura 4-85, colocamos el nombre y elegimos la ruta donde se guardará el informe y por último seleccionamos aceptar.

**Figura 4-97:** Detalle para imprimir informes.  
FUENTE: Software Power log Classic.

## **5. CAPÍTULO 5**

### **PROPUESTA DE DISEÑO DEL LABORATORIO DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

#### **5.1. INTRODUCCIÓN.**

A lo largo de los años, desde su creación, la Universidad Politécnica Salesiana, se ha caracterizado por formar profesionales competitivos tanto en la parte teórica como práctica, la creación del laboratorio busca fortalecer los conocimientos de los estudiantes de pregrado y posgrado, en el área de Calidad de la Energía Eléctrica.

La propuesta de diseño del Laboratorio de Calidad de Energía Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, tiene como finalidad guiar, para que en su futura implementación brinde las condiciones óptimas para realizar las prácticas. Cada práctica cumplirá con normativas para el fortalecimiento de los conocimientos de los estudiantes.

La implementación de la guía de prácticas y la validación de las mismas se realizó utilizando equipos existentes en el laboratorio de electricidad y electrónica de la UPS. Así mismo, se deja planteado el diseño para la ampliación o emplazamiento del laboratorio que se denominará de Calidad de energía eléctrica.

#### **5.2. CARACTERÍSTICAS DE UN LABORATORIO ELÉCTRICO.**

Un laboratorio eléctrico es un área específica en donde se encuentren equipos de medida que permiten realizar los distintos experimentos, y posteriormente obtener suficiente y precisa información para futuras investigaciones relacionados con la electricidad [25].

Generalmente se consideran tres tipos de laboratorios, estos son:

- Laboratorios para propósitos generales.
- Laboratorios industriales.
- Laboratorios para propósitos específicos.

##### **5.2.1. Laboratorios para propósitos generales.**

Estos laboratorios están destinados para realizar todo tipo de ensayos que son exigidos por clientes como fabricantes, empresas suministradoras de energía eléctrica, entre otros. Este tipo de laboratorios van creciendo y adecuándose acorde al avance tecnológico.

##### **5.2.2. Laboratorios industriales.**

Este tipo de laboratorios se encuentran instaladas en las propias empresas, cuya finalidad busca que el fabricante pueda realizar sus propios ensayos, y así poder controlar los procesos de fabricación y diseño.

##### **5.2.3. Laboratorios para propósitos específicos.**

Este tipo de laboratorio es el que tomaremos como referencia para nuestro proyecto, debido a que el laboratorio de Calidad de la Energía Eléctrica tiene como finalidad estudiar las distintas perturbaciones presentes en los sistemas de distribución, a través de las siguientes mediciones:

- Mediciones de transitorios.
- Mediciones de variaciones de corta duración.
- Mediciones de variaciones de larga duración.
- Mediciones de desbalance de voltaje.
- Mediciones de distorsión de la forma de onda.

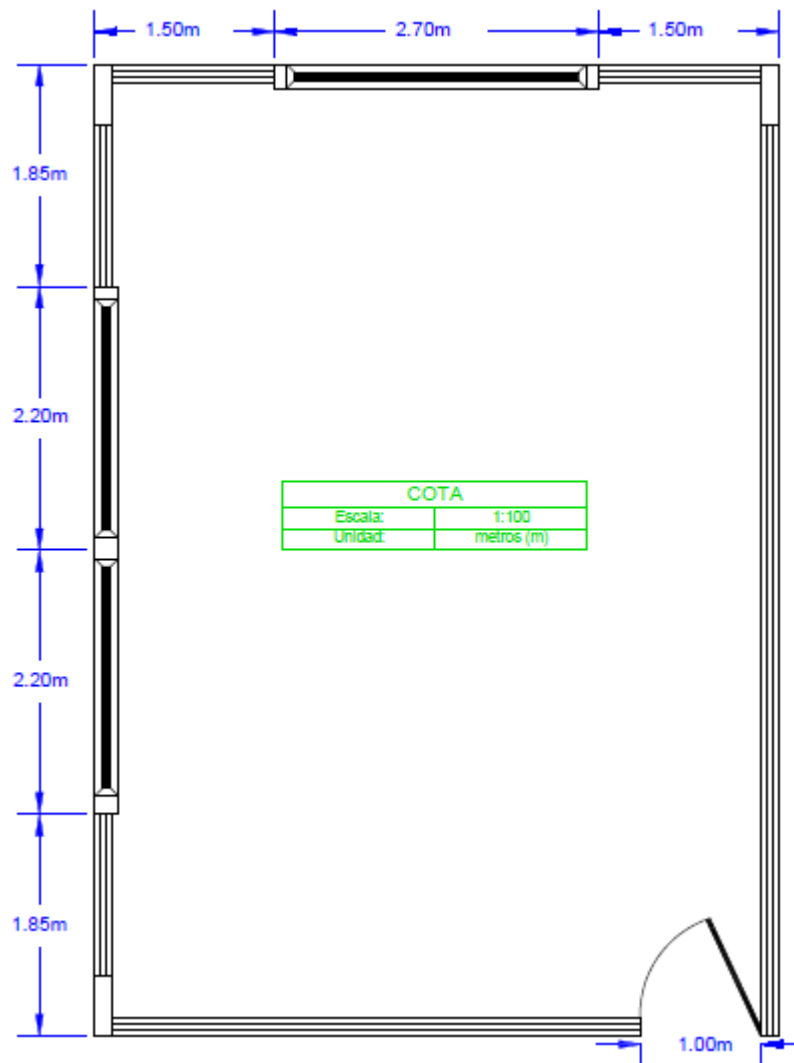
### 5.3. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO PARA EL LABORATORIO DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

#### 5.3.1. Diseño arquitectónico del laboratorio.

Para el diseño arquitectónico de un laboratorio se debe tener a consideración lo siguiente: brindar un lugar accesible, ordenado, seguro, limpio con adecuada iluminación y ventilación; para ello se considera un área mínima recomendable de  $50 \text{ m}^2$  ( $2 \text{ m}^2$  para cada alumno) [26].

Es por eso que el mobiliario presenta un espacio disponible para 25 personas como máximo. Es importante mencionar que no existe un número fijo de agrupación de personas por equipo, por lo que el laboratorio debe permitir la agrupación de 2, 3 o 4 personas de acuerdo con la necesidad que se presente.

En la figura 5.1, se presenta la propuesta del modelo para el laboratorio de calidad de energía eléctrica.



*Figura 5-1: Plano arquitectónico para el laboratorio de calidad de energía eléctrica*  
FUENTE: [27].

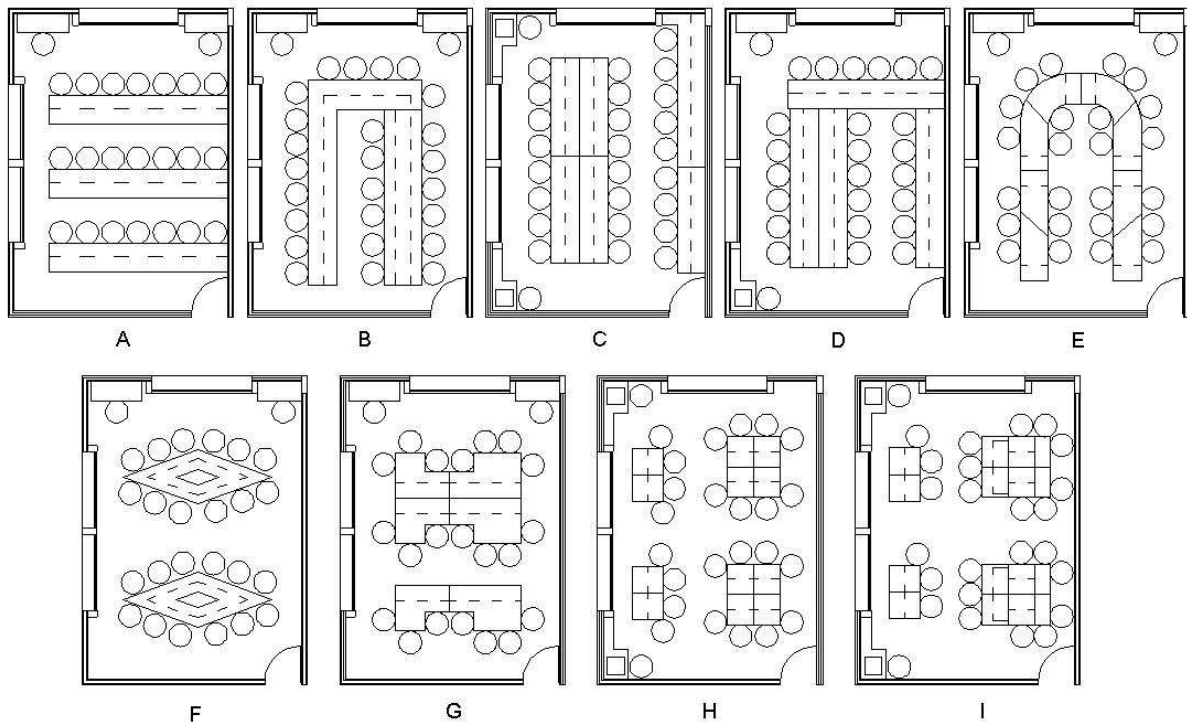
Además, el laboratorio debe estar equipado con lo siguiente:

- Sistema de seguridad (extintores, contra incendios, reglamentos, etc.)
- Sistema de primeros auxilios (botiquín).
- Simbología de precaución.

- Señalizaciones para evacuación.
- Pizarrón, basureros, etc.

### 5.3.2. Modelos de distribución dentro del laboratorio.

Para la distribución dentro del laboratorio se debe considerar la ubicación de las mesas, sillas, banco equipos, etc. En la figura 5.2, se presentan modelos de diferentes distribuciones dentro de los laboratorios de electricidad [27].



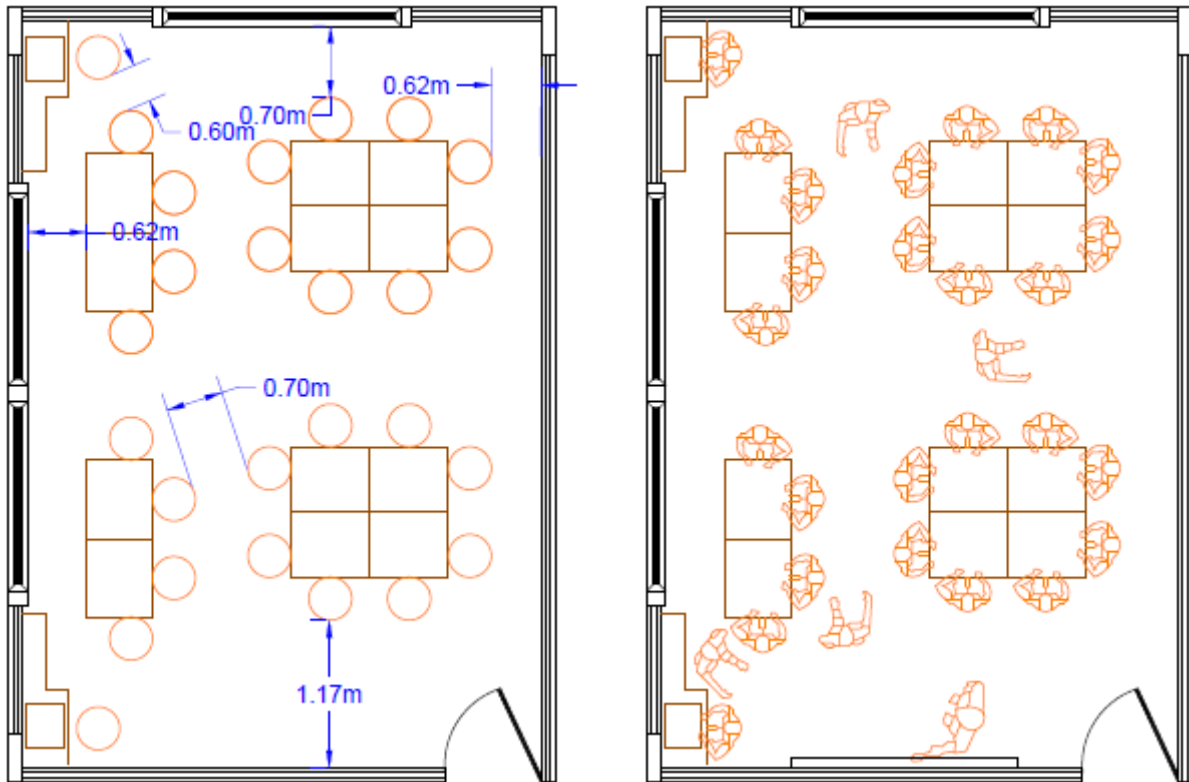
**Figura 5-2:** Modelos de distribución en laboratorios.  
FUENTE: [27].

Para establecer que distribución se considera la más apropiada para los laboratorios de electricidad, se toma a consideración los siguientes aspectos más relevantes como: capacidad del número de personas, circulaciones adecuadas, flexibilidad para equipos de 3 y 4 personas, área de trabajo suficiente por persona y visibilidad hacia el pizarrón [27].

Por lo tanto, analizando las distribuciones de los laboratorios (Figura 5-2), se llega a concluir que las distribuciones de forma lineales A, B, C, D, E, F y G, no se consideran factibles para el laboratorio de calidad de energía eléctrica, debido a que su configuración no cumple con la flexibilidad para poder realizar grupos de trabajo de 3, 4 o 5 personas, el cual podría ocasionar malestar e incomodidad entre los estudiantes al momento de trabajar por estar en contacto con una grande cantidad de estudiantes, además existe una mayor pérdida visual hacia el pizarrón para los estudiantes que se encuentran ubicados al fondo, no obstante es importante aclarar que dichas distribuciones no son aplicables para el presente estudio pero pueden ser útiles para otro tipo de laboratorios eléctricos.

Las distribuciones H e I, para el caso de diseño del laboratorio de calidad de energía eléctrica, presenta los requerimientos establecidos, la misma que permite realizar grupos de trabajo de 3, 4 o 5 personas en donde la mayoría puedan implementar, medir y analizar las prácticas, además existe espacios suficientes para circulaciones y que el tutor pueda desplazarse sin mayor obstáculo por todo el laboratorio ayudando a cada grupo de trabajo a cumplir con los objetivos que se hayan planteado para cada práctica. En la figura 5-3 se observan las dimensiones de la distribución elegida, que para el caso de diseño se tomará como referencia la opción H. En el anexo 1 se presenta el plano con su respectiva simbología.





*Figura 5-3: Dimensiones de la distribución para el modelo propuesto del laboratorio.*  
FUENTE: [27].

Las características principales que presenta este modelo de distribución son:

- La capacidad máxima es para 25 estudiantes, distribuidos en grupos de 2, 3 o 4 estudiantes por cada mesa de trabajo.
- La entrada se encuentra libre de obstáculos, además existe una distancia mínima de 60 cm entre los elementos.
- El pizarrón se encuentra en la pared junto a la entrada principal con un espacio adecuado para el tutor y con una vista lateral para los estudiantes.

Es importante aclarar que la distribución dentro del laboratorio dependerá en gran parte del modelo de banco de trabajo que se vaya a utilizar, ya que debido a que es un laboratorio eléctrico de medición se utilizará constantemente varios equipos de trabajo, por lo que es necesario que el banco de trabajo por lo menos cuente con espacio suficiente para computadoras, fuentes de CA, osciloscopio, equipos de medición, entre otros que se vayan a utilizar para realizar las prácticas.

También para el correcto diseño del laboratorio tiene que ver la ubicación de las ventanas y aberturas con la finalidad de aprovechar la iluminación natural, ya que esta iluminación natural ayuda positivamente con el estado de ánimo de las personas al tener contacto visual con el exterior y algo muy importante ayuda en la reducción de costos [27].

#### **5.4. PROPUESTA DE DISEÑO DE LA MESA DE TRABAJO.**

El diseño de una mesa de trabajo es primordial para realizar las diferentes prácticas en los laboratorios de electricidad. En un laboratorio de medición de Calidad de la Energía Eléctrica la mesa de trabajo debe brindar un espacio suficiente para los equipos de simulación (Fuente AC), de medición (Fluke), para el computador, entre otros equipos que se utilizaran en cada práctica.

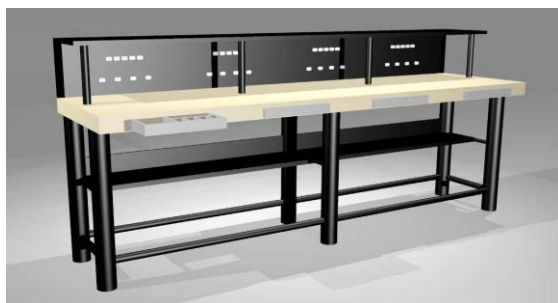
De acuerdo con un estudio realizado por un Ingeniero de diseño (BAUTISTA MONTESINOS, 2009), para el diseño de las mesas de trabajo se basa en 5 requerimientos más importantes como: repisa, plano

de trabajo, estructura general del mueble, instalación eléctrica y compartimiento para objetos escolares. En la tabla 5-1, se presenta un cuadro morfológico con las posibles soluciones a cada requerimiento considerado [27].

**Tabla 5-1:** Cuadro morfológico, elementos para el diseño de la mesa de trabajo.  
FUENTE: [27].

<i>Elemento</i>	<i>Función</i>	<i>Subsolución</i>			
<b>Repisa</b>	Contener equipos de medición	Alto, con bandejas deslizables	Baja, sin bandejas		
	Organizar cables del equipo de medición	Comportamiento externo posterior	Canal a desnivel interno	Perforación para la salida de cables	
<b>Plano de trabajo</b>	Base para desarrollo de actividades	Superficie horizontal	Superficie inclinado	Horizontal con cajones	
<b>Estructura</b>	Soporte total de equipo y componentes del mueble	Planos robustos	Postes metálicos robustos	Tubular redondo metálico curvado	Tubular rectangular metálico con cubiertas
<b>Instalación eléctrica</b>	Fuente de alimentación para equipos y circuitos	Contactos empotrados en tablero frontal	Contactos empotrados en soportes laterales	Barras multicontactos	
<b>Compartimiento</b>	Almacenar útiles escolares	Repisa inferior	Cajonera individual corrediza		

Así mismo, el Ingeniero de diseño (BAUTISTA MONTESINOS, 2009) tomando en cuenta los requerimientos de la tabla 5-1, presenta una variedad de propuestas de diseños de mesas de trabajo para los laboratorios de electricidad como se presenta en la gráfica 5-4. Cada propuesta de diseño A,B, C y D cumple con diferentes características, por lo que se realiza una evaluación con los requerimientos que más se acomoden a las necesidades de un laboratorio de medición, y a raíz de la evaluación se pueda elegir la mesa de trabajo que más se asemeje a las necesidades del laboratorio.



(a) Propuesta de diseño A



(b) Propuesta de diseño B



(c) Propuesta de diseño C



(d) Propuesta de diseño D

**Figura 5-4:** Propuestas de diseño de mesas de trabajo.

FUENTE: [27].

#### 5.4.1. Criterios de evaluación para el diseño de la mesa de trabajo.

Para elegir que mesa es la más conveniente para el laboratorio de Calidad de Energía Eléctrica, presentamos los siguientes criterios de evaluación.

- *Repisa:* la repisa tiene que ser capaz de concentrar los principales equipos de medición como el analizador de redes y el osciloscopio, para lo cual se debe tener presente una altura considerable que facilite al usuario el acceso manual y visual hacia el equipo, además debe comprender con un espacio adecuado para organizar los cables de los equipos de medición.
- *Plano de trabajo:* el plano de trabajo será el lugar donde se desarrollarán las actividades correspondientes, por lo que se debe maximizar el área de trabajo evitando en lo mínimo su uso para otros elementos y para los cables de los equipos. Los principales equipos que debe comprender el plano de trabajo son la Fuente programable CA y la PC.
- *Estructura:* la estructura de la mesa de trabajo debe ser capaz de soportar los equipos y componentes que se necesitan para la ejecución de las prácticas. Esta estructura puede ser de postes tubular redondo o rectangular.
- *Instalación eléctrica:* en la mesa de trabajo las instalaciones eléctricas para los equipos deben estar empotrados ya sea en la parte frontal del tablero o en los soportes laterales del tablero de manera que sea de fácil acceso para enchufar los equipos y comprobando que no sea un obstáculo en el plano de trabajo.
- *Compartimiento:* el compartimiento tiene como finalidad almacenar los elementos escolares, materiales de instalación, herramientas, entre otros, cuya ubicación generalmente se encuentra por debajo del plano de trabajo.

En función de esta evaluación se deja un diseño de la mesa de trabajo de la opción D presentada en la figura 5-4, debido a que este diseño es la que cumple con los requerimientos para desarrollar las prácticas.



*Figura 5-5: Propuesta final del diseño de la mesa de trabajo.*  
FUENTE: [27].

#### 5.5. DISEÑO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS PARA EL LABORATORIO DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

La instalación eléctrica tiene como objetivo principal transportar y distribuir la energía eléctrica desde la fuente de suministro hasta los equipos y/o dispositivos eléctricos, garantizando seguridad y confiabilidad. Para que una instalación eléctrica se considere segura y confiable, debe cumplir normas para su diseño y construcción.

Una instalación eléctrica está compuesta por conductores, canalizaciones, ductos, tuberías, accesorios, entre otros, que están conectados entre sí. No obstante, dichos elementos cumplen características diferentes, de acuerdo con el uso que se dará y el lugar donde se vaya a realizar la instalación.

Para el diseño de las instalaciones eléctricas se han individualizado los circuitos de iluminación, tomacorrientes generales y tomacorrientes especiales, para de esta manera obtener la carga instalada de cada circuito y la carga total instalada.

Mientras que para el dimensionamiento de los circuitos se realiza considerando el número de puntos por cada circuito, potencia por punto, factor de demanda, factor de coincidencia, así como la intensidad admisible de los conductores y la caída de voltaje.

Por lo tanto, al momento de realizar las dimensiones en las instalaciones eléctricas, es importante tener presente los siguientes aspectos [28]:

- Los conductores de fase y neutro serán de cobre, aislados para un voltaje mínimo de 600 V.
- El conductor de tierra será de cobre desnudo o aislado que se extiende por la misma tubería de los conductores activos.
- La caída de voltaje máxima permitida para la acometida será del 1%, para la alimentación del tablero de distribución será del 2 %, y para los circuitos internos será del 3 %.
- El conductor neutro tendrá el mismo calibre que el conductor fase.

En efecto, para realizar el diseño de todas las instalaciones eléctricas en el laboratorio, se cumple el siguiente orden:

1. Diseño de los circuitos de iluminación.
2. Diseño de los circuitos de fuerza.
3. Diseño de los circuitos especiales.
4. Determinación de la demanda.

### **5.5.1. Diseño de los circuitos de iluminación.**

#### **5.5.1.1. Cantidad de luz.**

Para el diseño de los circuitos de iluminación, se debe tener presente la cantidad de luz que se necesita para el puesto de trabajo, esto es debido a que hoy en día la luz es considerada como un factor importante en el estado de ánimo, fatiga y bienestar de cada persona, de manera que un inadecuado diseño provocaría que el ojo humano presente inconvenientes para diferenciar color, textura y forma de los objetos [28], [27].

Por lo que al realizar el diseño de la iluminación para un área determinada no es simplemente proporcionar luz, sino permitir que el ojo humano pueda distinguir los distintos objetos sin mucho esfuerzo y errores con un tiempo aceptable sin que exista fatiga. Por lo tanto, una de las características principales que debe tener en el laboratorio de calidad de energía eléctrica para realizar las prácticas es un correcto diseño de la iluminación [27], es por eso que en la siguiente tabla 5-2 se presenta la cantidad de lux que debe existir para una determinada área o tipo de trabajo.

*Tabla 5-2: Iluminancias mínimas para locales comerciales e industriales.*  
FUENTE: [27].

<b>Tipo de local</b>	<b>Iluminancia [Lux]</b>
Auditorios	300
Bancos	500
Bodegas	150
Bibliotecas publicas	400
Casinos, restoranes, cocina	300
Comedores	150
Fábricas en general	300
Imprentas	500
Laboratorios	500

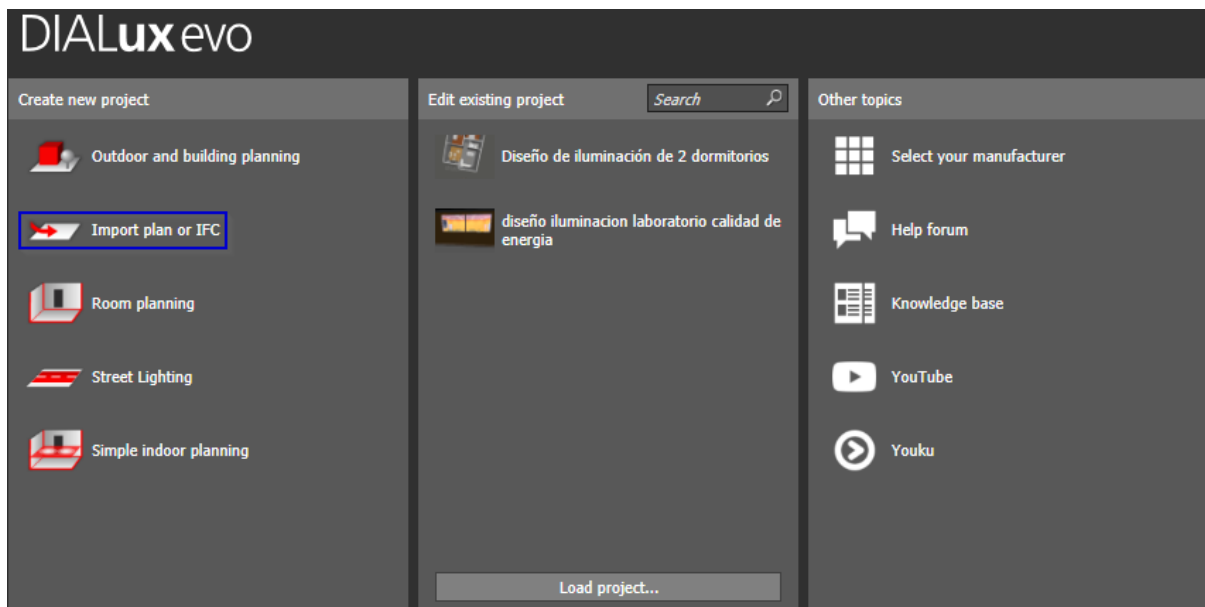
Laboratorios de instrumentación	700
Naves de máquinas herramientas	300
Oficinas en general	400
Pasillos	50
Salas de trabajo con iluminación suplementaria en cada punto	150
Salas de dibujo profesional	500
Salas de tableros eléctricos	300
Subestaciones	300
Salas de venta	300
Talleres de servicio, reparaciones	200
Vestuarios industriales	100

De acuerdo a la tabla anterior, la cantidad mínima de lúmenes que se necesita en los laboratorios es de 500 lux, con este valor y dependiendo del área y de la potencia de la lámpara se encuentra el número total de luminarias necesarias para el laboratorio.

### 5.5.1.2. Cálculo del número de luminarias.

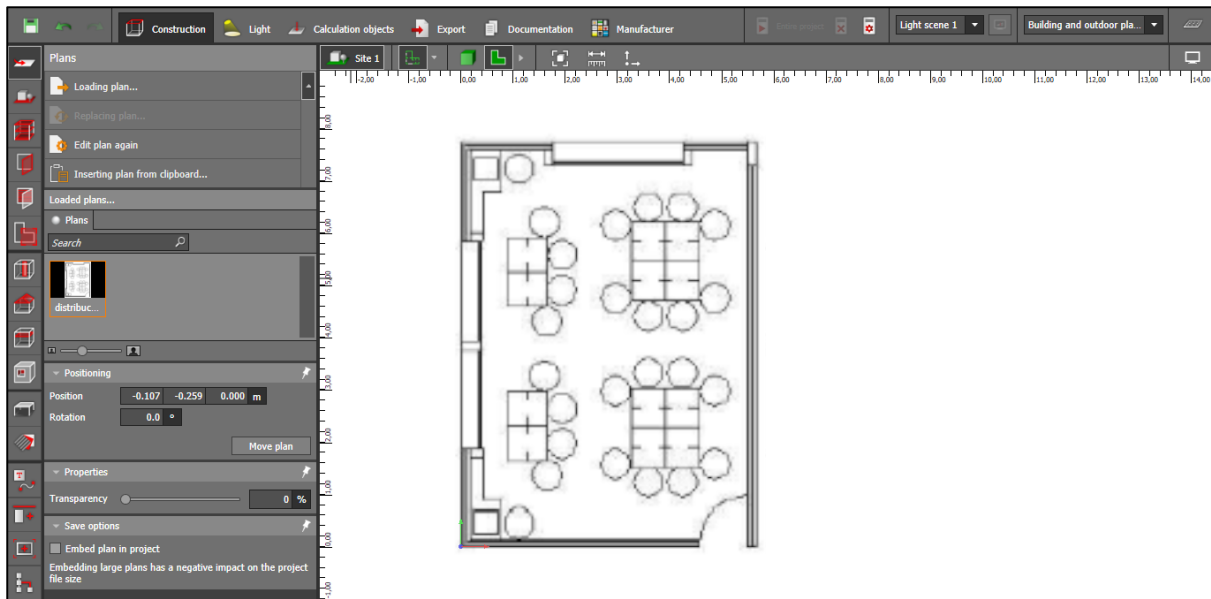
Para este proyecto el diseño de la iluminación se realizará con ayuda de un software libre (DIALux evo), este software es muy utilizado por diseñadores e ingenieros ya que permite diseñar, calcular y visualizar la luz de una manera profesional de cualquier espacio o área en específico. A continuación, se detalla paso a paso el procedimiento para el diseño de distribución de la iluminación en el laboratorio.

1. Al ingresar en el software DIALUX EVO como se observa en la figura 5-6, se presentará una ventana con varias opciones para el diseño, sin embargo, para el diseño se parte de importar un plano existente creado en AUTOCAD (figura 5-3), para ello se hace clic en la opción **Import plan or IFC**.



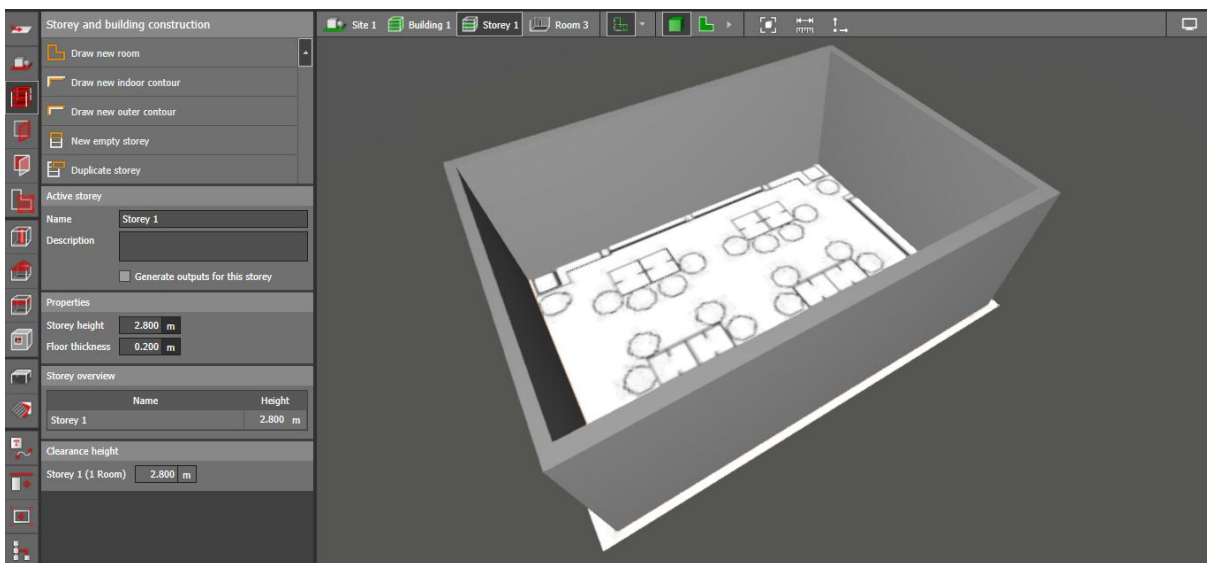
**Figura 5-6:** Panel principal de diálogos.  
FUENTE: Software DIALux evo.

2. Luego de importar el plano DWG se presentará el área de trabajo de *DIALux evo* con el modelo en 2D que fue creado en AUTOCAD, como se aprecia en la figura 5-7.



**Figura 5-7: Geometría del laboratorio.**  
FUENTE: Software DIALux evo.

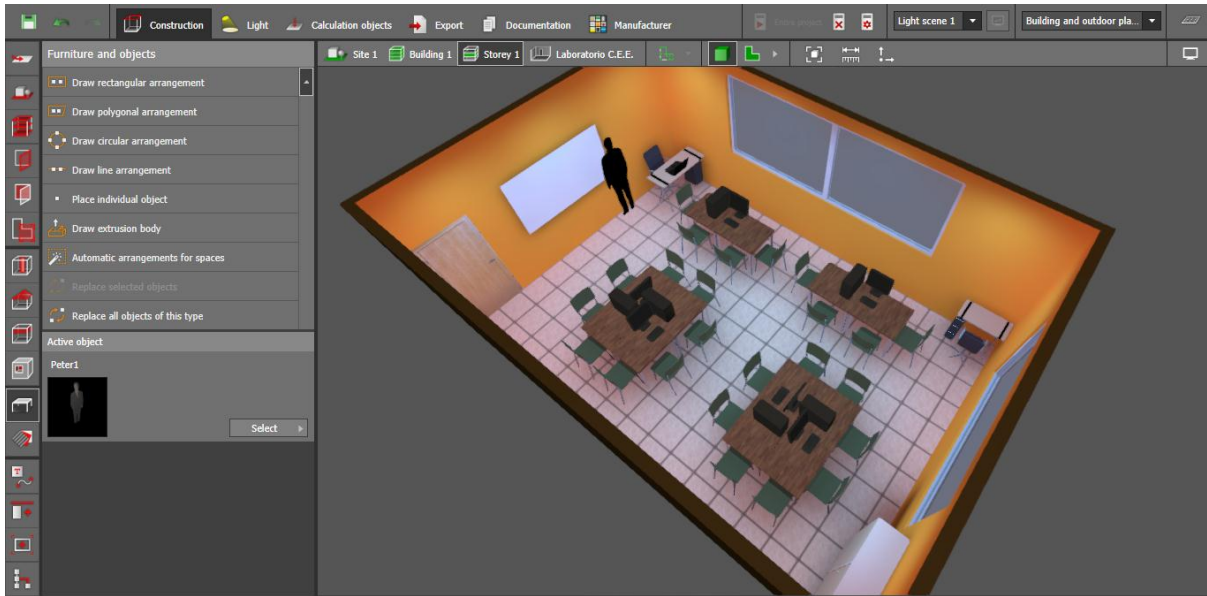
3. A través de la opción *Site* se construye el área del laboratorio sobre el plano existente, obteniendo el modelo como se observa en la figura 5-8.



**Figura 5-8: Construcción del área circundante.**  
FUENTE: Software DIALux evo.

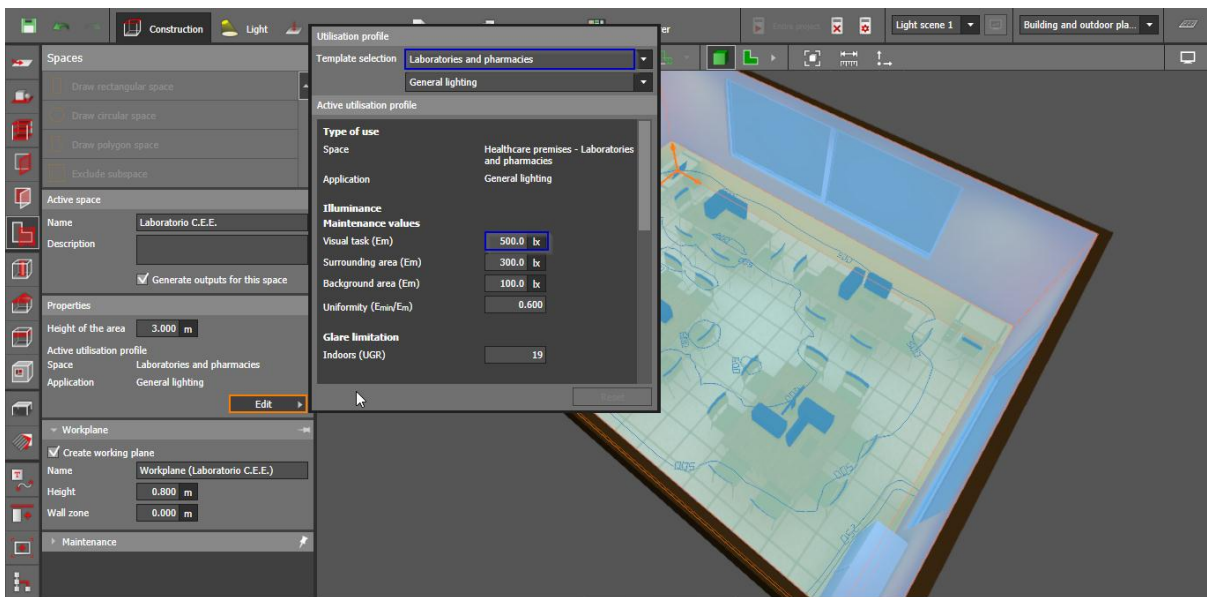
4. Una vez construida la geometría del laboratorio a través de la opción *Furniture and objects*, se procede a ubicar las puertas, ventanas, muebles, mesas, sillas, computadoras y demás accesorios, en cada área del laboratorio, obteniendo el resultado de la figura 5-9.





**Figura 5-9:** Ubicación de objetos en el laboratorio.  
FUENTE: Software DIALux evo.

5. Antes de insertar la luminaria se debe configurar las características del área en la opción *Spaces*, en este caso sería *Laboratories and Pharmacies* el cual se asemeja para la aplicación de ensayos en laboratorios eléctricos, como se aprecia en la figura 5-10.



**Figura 5-10:** Características del área.  
FUENTE: Software DIALux evo.

6. Posteriormente, para insertar una luminaria primero se debe cargarlo. No obstante, DIALux permite trabajar con muchos fabricantes de iluminación, por lo cual para este proyecto utilizaremos el catálogo de la marca LEDES C4 cuya lámpara es un Led cuadrado de 55 W, como se observa en la figura 5-11.

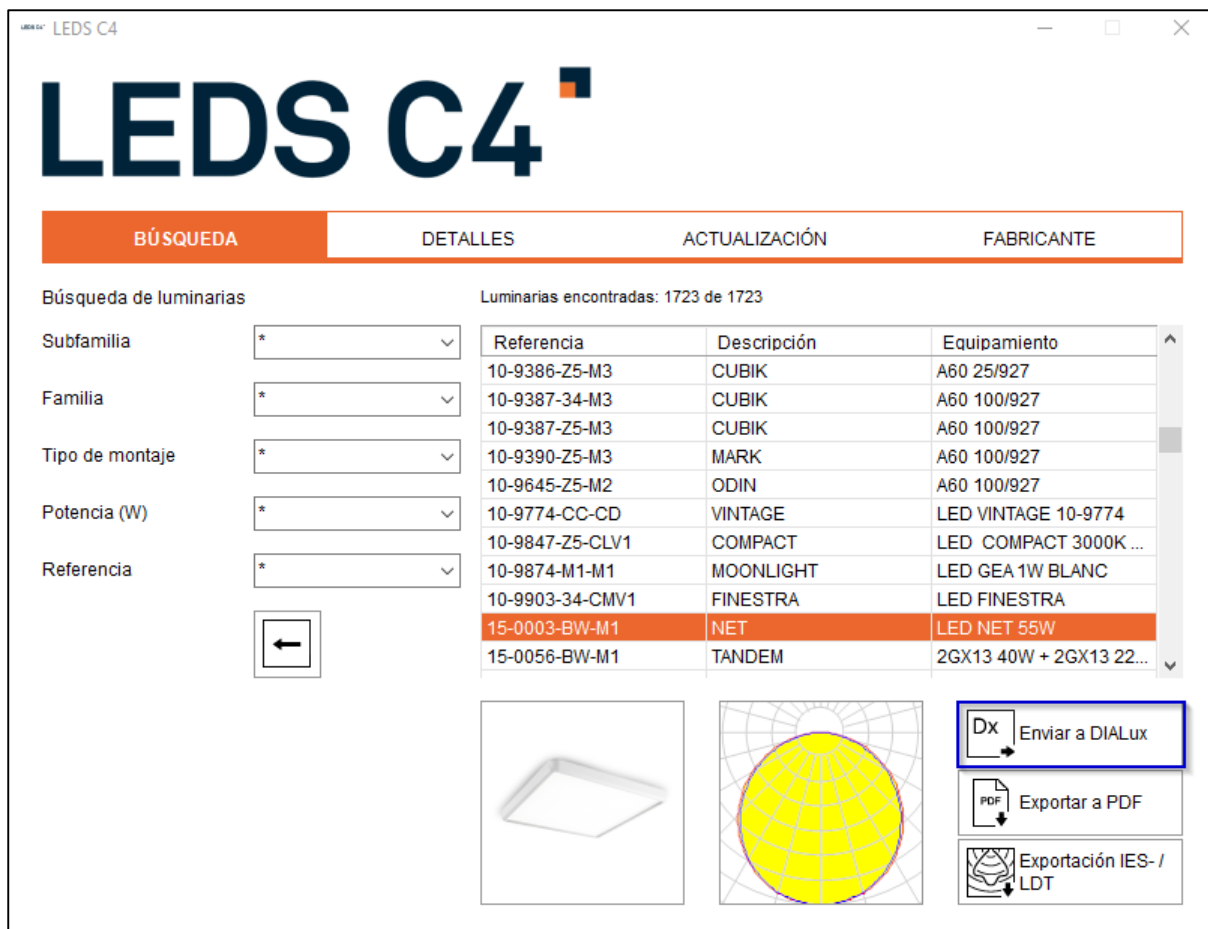


Figura 5-11: Selección de la luminaria del catálogo del fabricante.  
FUENTE: Software DIALux evo.

- Luego de haber enviado la luminaria del catálogo a DIALux, accedemos a la opción *Light*, en esta pantalla hacemos clic en *Automatic arrangements for spaces* para realizar la distribución de las luminarias dentro del área, obteniendo el resultado de la figura 5-12.

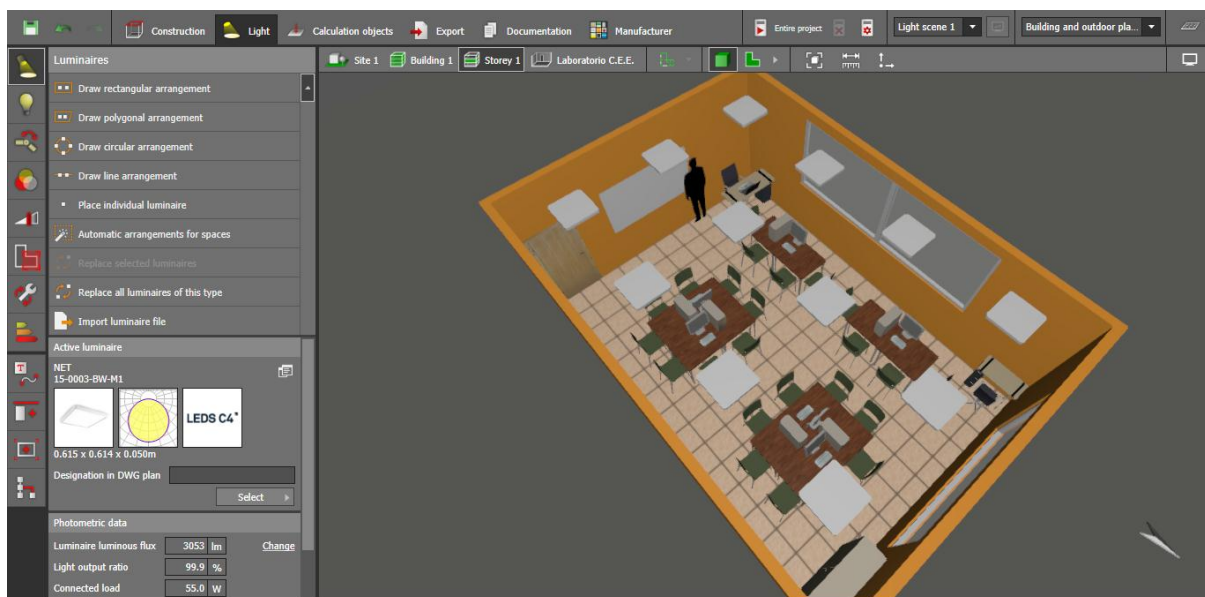
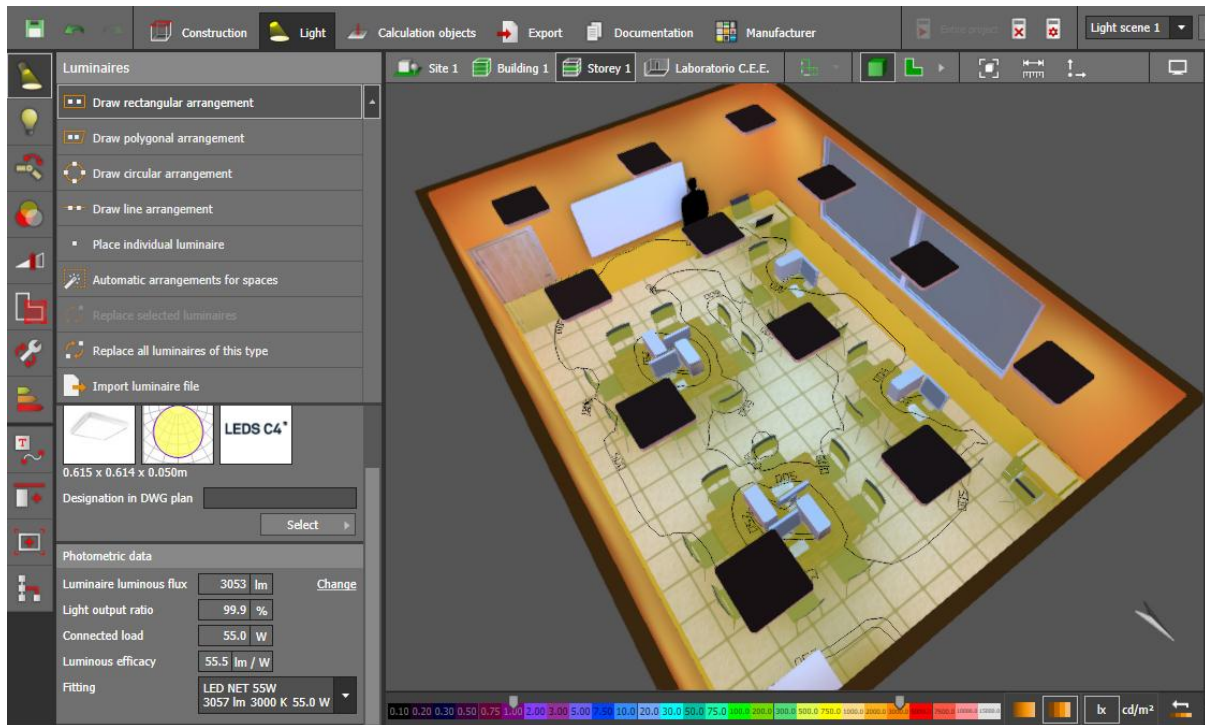


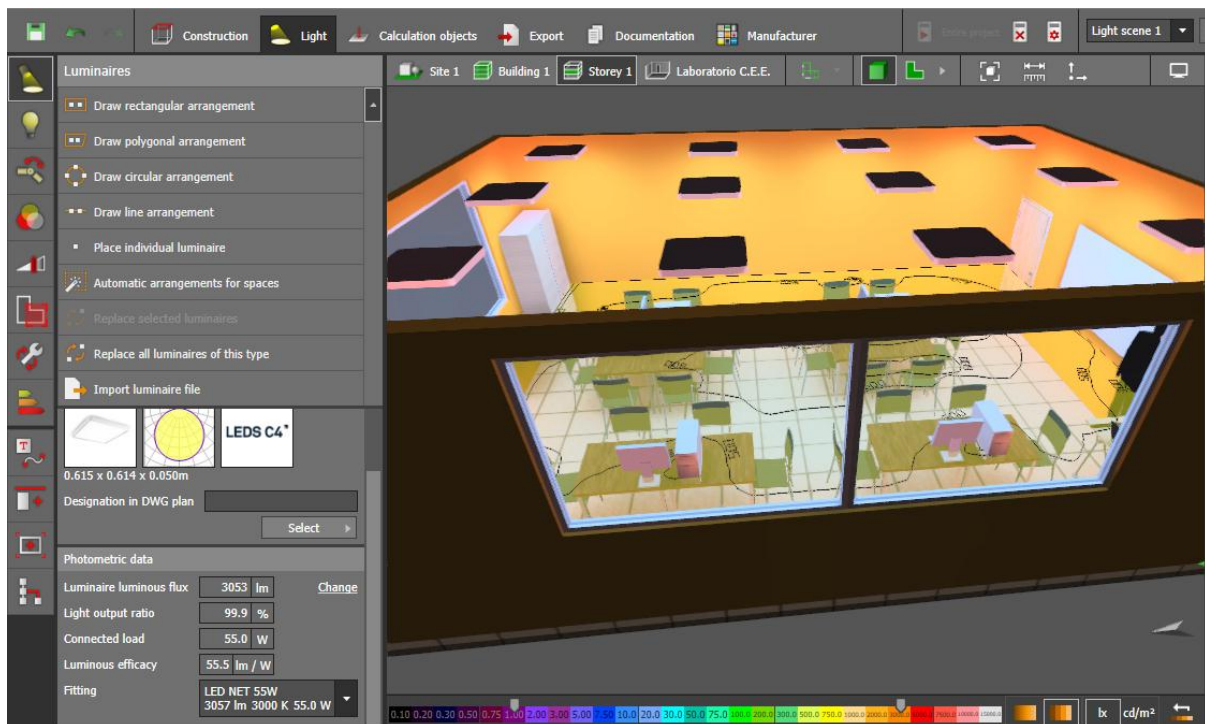
Figura 5-12: Distribución de las luminarias.  
FUENTE: Software DIALux evo.



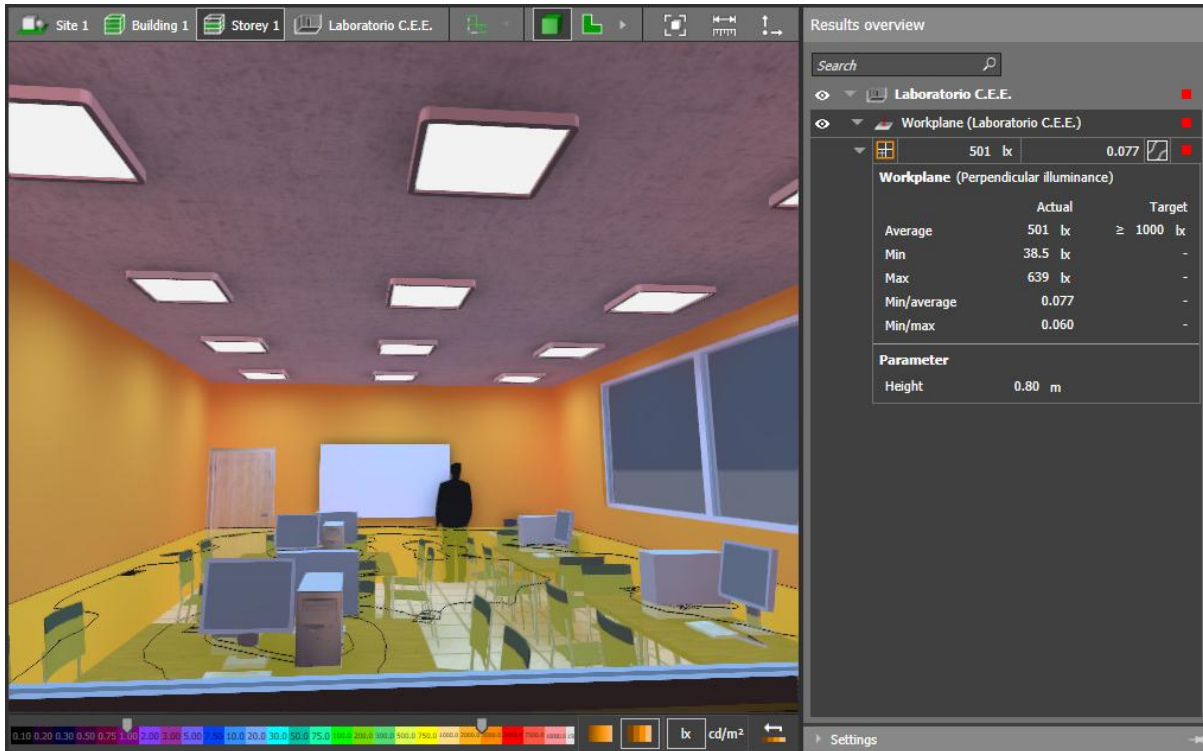
8. Por último, luego de haber realizado la distribución de las luminarias se procede a realizar el cálculo de la iluminación para verificar si cumple con la cantidad de luz suficiente, en el caso de diseño fué de 500 lux, en caso de no cumplir se incrementa el número de luminarias, en las figuras 5-13, 5-14 y 5-15 se presentan los resultados obtenidos.



**Figura 5-13:** Vista superior con el resultado de la iluminación.  
FUENTE: Software DIALux evo.



**Figura 5-14:** Vista lateral con el resultado de la iluminación.  
FUENTE: Software DIALux evo.



**Figura 5-15:** Resultado del nivel de iluminación.  
 FUENTE: Software DIALux evo.

Por lo tanto, la iluminación real en esta área con este modelo de distribución es de 501 lux como se observa en la figura 5-13, de esta manera cumpliendo con el requisito principal del nivel de iluminación para los laboratorios de electricidad.

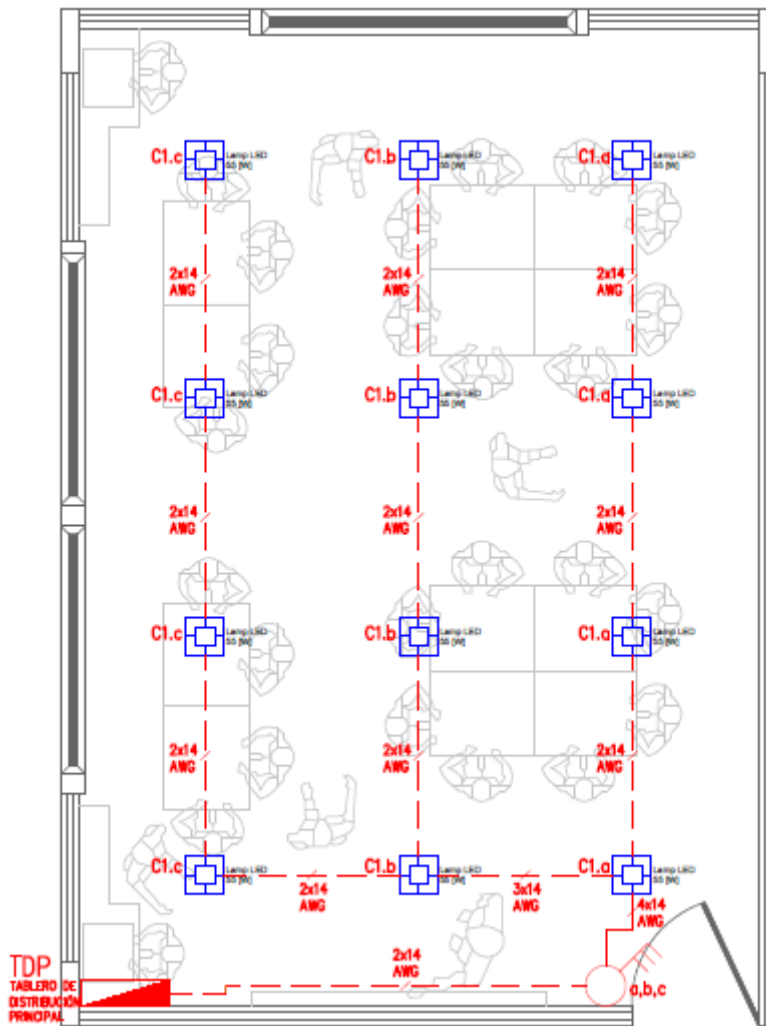
**5.5.1.3. Circuito de iluminación.**

De acuerdo con el instructivo de la CENTRO SUR para instalaciones interiores, los circuitos de iluminación se diseñan para una demanda máxima de 1500 W, considerando como mínimo 60 W de potencia instalada por cada punto y con un conductor # 14 AWG como mínimo, como se observa en la tabla 5-3. El calibre del conductor puede cambiar en función de las características del circuito.

**Tabla 5-3:** Tipo de conductores utilizado en interiores.  
 FUENTE: [29].

<i>Denominación del tipo de circuito.</i>	<i>Potencia individual mínima instalada (W)</i>	<i>Potencia total máxima instalada por circuito (W)</i>	<i>Conductor mínimo # AWG</i>
Puntos de iluminación	60	1500	14
Toma de corriente	200	2000	12
Cocina eléctrica (inducción)	4000	4000	10
Ducha eléctrica.	4000	4000	10
Cargas especiales	2000 o diseño	2000	12
Auxiliares (aire acondicionado)	3000 o diseño	3000	12

El circuito de iluminación parte desde el tablero de distribución principal hacia el interruptor de control para luego distribuirse a cada una de las lámparas LED, en la figura 5-16 se observa el plano con el recorrido del circuito de iluminación. En el ANEXO 3, se presenta el plano con más detalle con su respectiva simbología.



*Figura 5-16: Diseño eléctrico de iluminación del laboratorio.*  
 FUENTE: Software AutoCAD.

### 5.5.2. Circuitos de fuerza.

Los circuitos de fuerza o circuitos de tomacorrientes en una instalación eléctrica son indispensables para alimentar a los equipos eléctricos, por lo que se recomienda realizar un correcto dimensionamiento para que el calibre del conductor este de acorde a la corriente que vaya a transportar [28].

Con respecto a la tabla 5-3 los circuitos de tomas de corriente se diseñan para una demanda máxima de 2000 W, considerando como mínimo 200 W de potencia instalada por cada punto y con un conductor # 12 AWG como mínimo.

Los circuitos de tomacorrientes se derivan desde el tablero de distribución principal para luego ir distribuyendo a cada tomacorriente, en la figura 5-17 se observa el plano con el recorrido del circuito. En el ANEXO 4, se observa el plano con más detalle con su respectiva simbología.

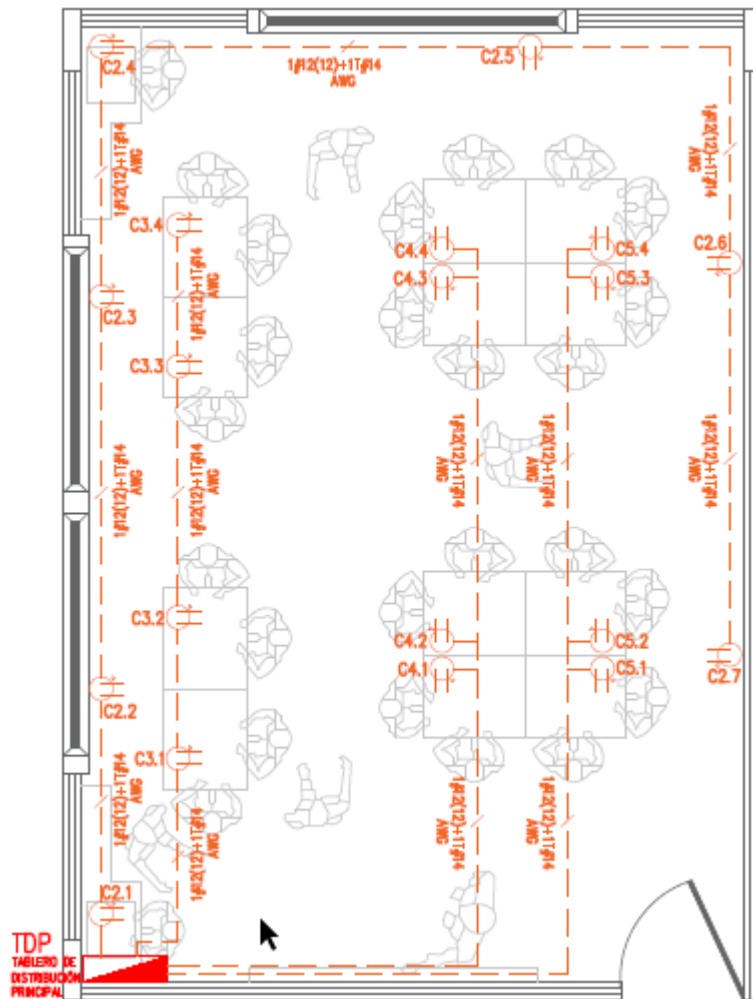


Figura 5-17: Diseño eléctrico de tomacorrientes generales del laboratorio.  
FUENTE: Software AutoCAD.

### 5.5.3. Circuitos especiales.

Estos circuitos son aquellos que serán de mayor capacidad que los circuitos de fuerza, debido al alto consumo de los equipos o por requerir protección individual. En este proyecto los circuitos especiales se utilizarán para dar servicio a las fuentes programables AC [28].

Los circuitos pueden ser de 110 o 220 V que se derivan directamente del tablero de distribución secundario, de acuerdo con la tabla 5-2 se dimensiona para una carga de 2000 W con un conductor # 12 como mínimo, que puede cambiar dependiendo de las características del circuito.

Los circuitos especiales se derivan directamente desde el tablero de distribución principal a cada tomacorriente. En la figura 5-18 se observa el plano con el recorrido de los circuitos especiales. En el ANEXO 5, se observa el plano con más detalle con su respectiva simbología.

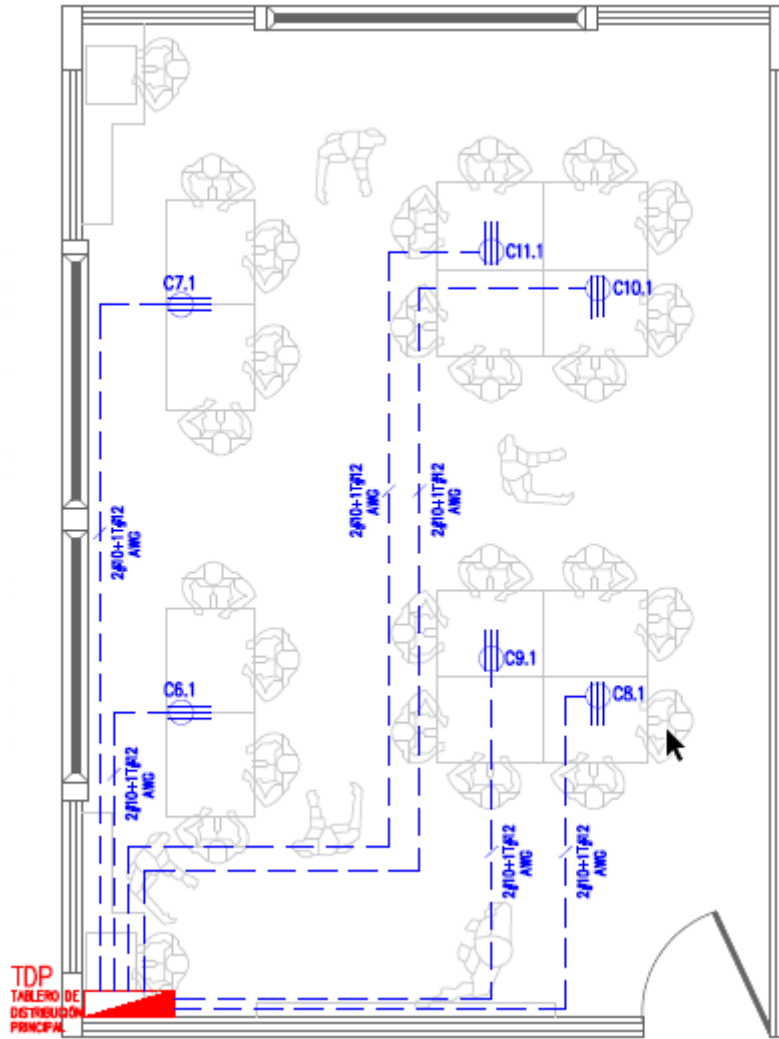


Figura 5-18: Diseño eléctrico de tomacorrientes especiales del laboratorio.  
FUENTE: Software AutoCAD.

#### 5.5.4. Determinación de la demanda.

El cálculo de la demanda consiste en determinar de manera más detallada la carga instalada de los circuitos de iluminación, tomacorrientes generales y tomacorrientes especiales. Para dicho proceso se aplicarán los factores de diseño correspondientes para lograr un adecuado dimensionamiento de las instalaciones eléctricas [28].

De acuerdo al instructivo de la CENTRO SUR para la aprobación de diseños de instalaciones eléctricas interiores para demandas inferiores a 12 kW y cargas instaladas menores a 20 kVA, recomienda aplicar el factor de diversificación (FD) en los circuitos internos (iluminación, fuerza, especiales, etc.) y el factor de coincidencia (FC) para los subtableros de distribución para encontrar la demanda total del sistema [29], en la siguiente tabla 5-4 se presentan los factores FD y FC a utilizarse.

Tabla 5-4: Factores a utilizar.  
FUENTE: [29].

Factores a Utilizar	Residencial	Comercial	Industrial
<b>Diversificación</b>			
Punto de iluminación	0.70	1.00	1.00
Toma de corriente	0.35	0.70	0.70
Cocina eléctrica (inducción)	0.80	1.00	1.00
Cargas especiales, Ducha	1.00	1.00	1.00
<b>Coincidencia</b>	0.70	0.80	1.00
Factor de potencia	0.92	0.92	0.92

A continuación, se detallará el resumen del cuadro de cargas a las que servirá el tablero de distribución general. El desglose del tablero de distribución principal, el cual distribuirá los circuitos para el laboratorio, se encuentra detallado en el ANEXO 6.

**Tabla 5-5: Detalle cargas del tablero de distribución general.**  
FUENTE: Autor.

DETALLE DE CARGAS PARA EL TABLERO DE DISTRIBUCIÓN GENERAL						
TABLERO	Carga Inst. [KW]	Deman. Máx. [KVA]	In [A]	Protección	Configuración	ΔV %
TABLERO DE DISTRIBUCIÓN PRINCIPAL	22,46	19,10	50,11	3x 63	3X8(8) [AWG] {F(N)} + 12 [AWG] {T}	1,15

\*F(N)=FASES Y (NEUTRO) \*T= TIERRA

- **Fórmulas utilizadas.**

**POTENCIA:**

$$P = V * I * \sqrt{3} * FP$$

$$S (KVA) = \frac{P (KW)}{FP}$$

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

**CAÍDA DE TENSIÓN:**

$$\% \Delta = \frac{2 * L * I_F}{S * V_F}$$

## 5.6. PRESUPUESTO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO.

El presupuesto que se presentará a continuación sirve como una referencia para la Universidad sobre el monto aproximado que se necesita para la implementación del laboratorio, el mismo que puede presentar cambios.

### 5.6.1. Instalación Eléctrica.

El presupuesto para la instalación eléctrica se realiza teniendo en cuenta el costo del material eléctrico más el costo de la mano de obra para realizar dicha instalación. En las tablas 5-6 y 5-7 se presenta este presupuesto.



**Tabla 5-6: Presupuesto del material eléctrico.**

FUENTE: Autor.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	CONDUCTOR Cu # 14 AWG 600 V	150 m (1 rollo y 1/2)	0,28	42,00
2	CONDUCTOR Cu # 12 AWG 600 V	200 m (2 rollos)	0,39	78,40
3	CONDUCTOR Cu # 10 AWG 600 V	100 m (1 rollo)	0,62	61,60
4	CONDUCTOR Cu # 8 AWG 600 V	100 m (1 rollo)	0,95	95,20
5	TUBERIA EMT 1/2"x3mx1,07 mm	9	2,23	20,06
6	CAJETIN OCTOGONAL grande 8 huecos	15	0,45	6,72
7	CONECTOR EMT 1/2"	30	0,50	15,00
8	UNIÓN EMT 1/2"	7	0,50	3,50
9	CANALETA LISA 2mx20mmx12 mm	12	1,90	22,85
10	CANALETA LISA 2mx40mmx25 mm	25	4,82	120,40
11	UNIÓN CANALETA 20mmx12mm	6	0,60	3,60
12	UNIÓN CANALETA 40mmx25mm	12	0,60	7,20
13	CINTA AISLANTE TEMPLEX 1500 20 YDS 3M	5	0,78	3,92
14	CAJETIN DE CANALETA P/TOMA	25	1,34	33,60
15	INTERRUPTOR TRIPLE	1	3,70	3,70
16	LAMP. LED 55W 3000K 615x614x50mm	12	25,00	300,00
17	TOMA MONOFASICOPOLARIZADO 110/250V-15A	19	3,68	69,92
18	TOMA BIFÁSICO POLARIZADO 50A 125/250V	6	4,95	29,70
19	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN (3F 4 HILOS) 20 espacios	1	120,00	120,00
20	BREAKER BIFÁSICO 40A	6	9,50	57,00
21	BREAKER MONOFÁSICO 20A	4	4,50	18,00
22	BREAKER MONOFÁSICO 16A	1	4,50	4,50
			TOTAL= \$	1.116,87

**Tabla 5-7: Presupuesto mano de obra instalación eléctrica.**

FUENTE: Autor.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	TENDIDO DE TUBO EMT 1/2"x3mx1,07 mm	27 m	0,9	24,3
2	TENDIDO DE CANALETA	74 m	1,1	81,4
3	TENDIDO DE CONDUCTOR # 14 AWG	150 m	0,6	90
4	TENDIDO DE CONDUCTOR # 12 AWG	200 m	0,6	120
5	TENDIDO DE CONDUCTOR # 10 AWG	100 m	0,8	80
6	TENDIDO DE CONDUCTOR # 8 AWG	100 m	1	100
7	INSTALACIÓN TOMAS POLARIZADOS (110 Y 220 V)	25 U	3	75
8	INSTALACIÓN INTERRUPTOR TRIPLE	1 U	2,8	2,8
9	INSTALACIÓN LÁMP. LED 55W	12 U	2,5	30
10	INSTALACIÓN BREAQUERS DE PROTECCIÓN	17 U	3	51
			TOTAL= \$	654,50

**Tabla 5-8: Presupuesto equipos de simulación y medición.**

FUENTE: Autor.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO TOTAL
1	MATERIALES INSTALACIÓN ELÉCTRICA	\$ 1.116,87
2	MANO DE OBRA INSTALACIÓN ELÉCTRICA	\$ 654,50
TOTAL=		\$ 1.771,37

### 5.6.2. Equipos de medición y simulación.

Para la implementación de las prácticas los equipos que se necesitan son: la fuente AC generadora de perturbaciones (Chroma modelo 61702), el analizador de redes (FLUKE 435), carga (motores, luminarias, etc), osciloscopios, cables de conexión, entre otros.

Sim embargo, muchos de los equipos mencionados ya existen en la universidad como: osciloscopios, cargas y cables de conexión, por lo que estos equipos no es necesario asumir en el presupuesto final. A continuación, en tabla 5-9 se presenta el presupuesto de los equipos faltantes que se necesitan para complementar el laboratorio.

**Tabla 5-9: Presupuesto de equipos de simulación y medición.**

FUENTE: Autor.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	FUENTE PROGRAMABLE AC DE CHROMA MODELO 61702	5	\$13.520,00	\$67.600,00
2	ANALIZADOR DE REDES (FLUKE 435)	3	\$10.415,00	\$31.245,00
TOTAL=			\$	\$98.845,00

En la siguiente tabla 5-10 se presenta el presupuesto total para la implementación del laboratorio.

**Tabla 5-10: Presupuesto total de implementación.**

FUENTE: Autor.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	PRESUPUESTO INSTALACIÓN ELÉCTRICA	\$ 1.771,37
3	PRESUPUESTO EQUIPOS Y MATERIALES	\$ 98.845,00
4	PRESUPUESTO MESAS DE TRABAJO	\$ 1.800,00
5	PRESUPUESTO SILLAS DE TRABAJO	\$ 600,00
6	PRESUPUESTO OBRA CIVIL	\$ 13.850,00
7	TOTAL	\$ 116.866,37
8	IMPREVISTOS 5%	\$ 5.843,32
9	TOTAL	\$ 122.709,69

## 5.7. DISEÑO DEL PLAN DE PRÁCTICAS PARA EL LABORATORIO DE CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

El diseño del plan de prácticas para el laboratorio de calidad de energía eléctrica sirve para que el estudiante pueda adquirir conocimientos sobre la calidad de la energía, además diferenciar los distintos fenómenos que se pueden presentar en las redes de distribución eléctrica, de esta manera con el conocimiento de los conceptos y la aplicación práctica pueda reconocer, analizar, sintetizar y concluir dichos fenómenos.

El diseño de cada práctica tiene como finalidad de que los estudiantes se familiaricen con los equipos de simulación y medición de los fenómenos eléctricos que se encuentran disponibles en la Universidad como son: La fuente programable AC (Chroma modelo 61702), Medidor de calidad de energía (Fluke



435) y demás elementos físicos; y de esta forma conocer su configuración y funcionamiento de cada equipo a utilizarse.

Cada práctica de laboratorio se desarrolla de manera que el estudiante pueda interactuar y manipular el equipo de simulación, y posterior a esto pueda utilizar correctamente el equipo analizador de calidad con el fin de entender la funcionalidad, para ello en cada práctica se inicia con una revisión previa de conceptos para luego realizar la programación, montaje y la obtención de los resultados.

A continuación, se presenta la síntesis de la estructura de cada práctica, con los objetivos a alcanzar y las normas que se utilizarán para su evaluación y análisis. En el anexo 1 se presenta el desarrollo de cada práctica.

### **5.7.1. PRÁCTICA # 1. Reconocimiento de los equipos del laboratorio de calidad de energía eléctrica.**

En esta práctica se dará a conocer a los estudiantes los equipos, herramientas, softwares que se utilizarán para realizar todas las prácticas posteriores, además se realizará las conexiones respectivas de los equipos de simulación y medición de acorde a las normas y manuales que se presentará.

Como motivo de práctica y para verificar si las conexiones son adecuadas se realizará un ejemplo con cada pantalla de control (List Mode, Pulse Mode, Step Mode, Waveform Editor e Interharmonics) y luego a través del analizador y osciloscopio capturar y comparar las formas de onda, para lo cual el desarrollo de la práctica se fundamentará en el siguiente proceso:

#### 1. Introducción teórica.

En este apartado se presentará de manera rápida los conceptos de los equipos más importantes para la simulación y medición de los fenómenos eléctricos como: fuente AC, analizador, osciloscopio, carga AC entre otros.

#### 2. Planteamiento de los objetivos.

Los objetivos planteados para esta práctica son:

- Identificar y conocer las partes que componen la fuente variable AC (Chroma model 61702).
- Identificar y conocer las partes del equipo de medición de calidad de energía eléctrica (Fluke 435).
- Conocer e interactuar con el software SoftPanel que se utiliza para programar la fuente AC.
- Realizar la conexión de los equipos de simulación (Fuente AC y PC) y medición (Fluke 435, osciloscopio).
- Simular desde el software SoftPanel una forma de onda desde la pantalla list mode, pulse mode, entre otros.
- Comparar las mediciones de la forma de onda obtenidas tanto con el analizador y osciloscopio.

#### 3. Análisis de resultados obtenidos.

Una vez que se haya cumplido con todos los objetivos propuestos el análisis de los resultados se realizará conforme a las inquietudes y datos obtenidos durante el desarrollo de esta práctica.

### **5.7.2. PRÁCTICA # 2. Medición de transitorios.**

La implementación de esta práctica tiene como finalidad enseñar a los estudiantes su concepto, tipos, como se generan, que tipo de daños producen y cuál es su proceso de medición y evaluación de acuerdo a las normas vigentes.

Para la implementación de esta práctica se tendrá a consideración el siguiente procedimiento:

1. Introducción teórica.

En esta parte se presentará la definición, tipos y se conocerá su forma de onda al presentarse un transitorio de voltaje, además se investigará como se originan y que daños producen.

2. Planteamiento de los objetivos.

Los objetivos planteados para esta práctica son:

- Realizar la programación en la fuente AC (Chroma modelo 61702) para obtener los transitorios.
- Identificar los transitorios impulsivos y oscilatorios en la señal de tensión simulada con la fuente AC.
- Identificar los transitorios impulsivos y oscilatorios en las señales de tensión y corriente obtenidas con el analizador y osciloscopio en la carga.

3. Desarrollo de la práctica.

Para el desarrollo de la práctica primero se iniciará con la programación del transitorio, para lo cual se deberá identificar qué tipo de función del software SoftPanel es la adecuada para la simulación de este fenómeno y posterior a esto poder elegir en el analizador de redes la función correcta para su medición.

4. Análisis de resultados.

Una vez que se hayan cumplido con los objetivos propuestos el análisis de los resultados se realizará conforme se especifica en la norma IEEE 1159-2019 y en la norma EN 50160 respecto a los transitorios, cuya revisión de estas normas se realizó en el capítulo 3.

### **5.7.3. PRÁCTICA # 3. Medición de depresiones de voltaje (Sag o Dip).**

Con la implementación de esta práctica se busca que los estudiantes conozcan los conceptos, causas y efectos que producen las depresiones de voltaje, además conocer el procedimiento para su medición y obtención de datos para evaluar de acuerdo a la norma vigente.

Para la implementación de esta práctica se tendrá a consideración el siguiente procedimiento.

1. Introducción teórica.

En este punto se presentará un recuento de la definición y la forma de onda al producirse una depresión de voltaje, también se investigará cuáles son las causas y efectos más comunes que producen estos fenómenos.

2. Planteamiento de los objetivos.

Los objetivos que se plantean para esta práctica son los siguientes.

- Realizar la programación en la fuente AC (Chroma modelo 61702) para simular las depresiones de voltaje.
- Realizar las conexiones y configuraciones adecuadas del analizador de calidad para realizar las mediciones.

- Obtener gráficos, diagramas e informes de calidad una vez realizado las mediciones.
  - Evaluar y analizar las depresiones de voltaje de acuerdo a las normas vigentes.
3. Desarrollo de la práctica.

En el desarrollo de esta práctica se buscará primeramente programar la fuente variable AC a través del software SoftPanel para simular una depresión de voltaje, y después elegir cuál será la función correcta del analizador de calidad para realizar este tipo de mediciones.

4. Análisis de resultados.

Luego de que se haya cumplido con los objetivos propuestos se realizará la evaluación y análisis de las mediciones obtenidas, para lo cual se usarán las normas IEEE 1159-2019, la norma EN 50160 y la regulación ecuatoriana 005/18 respecto a las depresiones de voltaje, cuyo detalle de estas normas se realizó en el capítulo 3.

#### **5.7.4. PRÁCTICA # 4. Medición de elevaciones de voltaje.**

Con la implementación de esta práctica se pretende que los estudiantes conozcan los conceptos, causas y efectos de las sobretensiones en los sistemas eléctricos, además conocer el proceso de medición y evaluación de acuerdo a las normas vigentes.

Para la implementación de esta práctica se tendrá a consideración el siguiente procedimiento.

1. Introducción teórica.

En esta parte se presentará los conceptos y su representación de la forma de onda al producirse una sobretensión, además se detallará las causas y los efectos más comunes que producen estos fenómenos de acuerdo con la investigación realizada.

2. Planteamiento de los objetivos.

Los objetivos que se seguirán para esta práctica son:

- Realizar la programación en la fuente AC (Chroma modelo 61702) para simular las elevaciones de voltaje.
  - Realizar las conexiones y configuraciones adecuadas del analizador de calidad para realizar las mediciones.
  - Obtener gráficos, diagramas e informes de calidad una vez realizado las mediciones.
  - Evaluar y analizar las sobretensiones de acuerdo a las normas vigentes.
3. Desarrollo de la práctica.

Para el desarrollo de esta práctica primero se programará la fuente variable AC con ayuda del software SoftPanel de Chroma para simular las sobretensiones, para luego elegir la función correcta en el analizador para realizar las mediciones de estos fenómenos.

4. Análisis de resultados.

Una vez que se haya cumplido los objetivos propuestos se procede a la evaluación y análisis de los resultados obtenidos, esto se realizará basándonos en las normas IEEE 1159-2019, EN 50160 y en la regulación ecuatoriana 005/18, cuya revisión de estas normas con respecto a las sobretensiones se realizó en el capítulo 3.

### **5.7.5. PRÁCTICA # 5. Medición de interrupciones de voltaje.**

La práctica de interrupciones de voltaje se implementa con la finalidad de que los estudiantes conozcan los conceptos, causas y efectos de estos fenómenos al presentarse en los sistemas eléctricos, además para conocer el procedimiento de medición y evaluación de acuerdo a las normas vigentes.

Para la implementación de esta práctica se seguirá el siguiente procedimiento.

#### 1. Introducción teórica.

En esta parte se presenta los conceptos y la representación de la forma de onda de una interrupción de voltaje, y sobre todo presentar cuales son las causas y efectos más comunes que producen estos fenómenos de acuerdo a la investigación que se realice.

#### 2. Planteamiento de objetivos.

Los objetivos que se plantean para esta práctica son los siguientes.

- Realizar la programación en la fuente AC (Chroma modelo 61702) para simular las interrupciones de voltaje.
- Realizar las conexiones y configuraciones adecuadas del analizador de calidad para realizar las mediciones.
- Obtener gráficos, diagramas e informes de calidad una vez realizado las mediciones.
- Evaluar y analizar las interrupciones de voltaje de acuerdo a las normas vigentes.

#### 3. Desarrollo de la práctica.

Para iniciar con la práctica primero realizaremos la programación de la fuente variable AC con ayuda del software SoftPanel para simular estos fenómenos, una vez programado se presentará el procedimiento para configurar el analizador con la función adecuada para realizar las mediciones de las interrupciones de voltaje.

#### 4. Análisis de resultados.

Para la evaluación y análisis de estos fenómenos luego de haber obtenido los resultados, se lo hará en lo referente a las normas IEEE 1159-2019 y EN 50160, cuyo detalle de evaluación de este fenómeno se presenta en el capítulo 3.

### **5.7.6. PRÁCTICA # 6. Medición de desbalances de voltaje.**

La implementación de esta práctica busca que los estudiantes conozcan los conceptos, causas y efectos que producen estos fenómenos, y sobre todo conocer el procedimiento de medición y evaluación de acuerdo a las normas vigentes.

Para la implementación de esta práctica se tendrá a consideración el siguiente procedimiento.

#### 1. Introducción teórica.

En este apartado se presentarán los conceptos para conocer cuando un sistema eléctrico se encuentra en desbalance o en desequilibrio, además se presentará las causas y los efectos más comunes que producen estos fenómenos de acuerdo con la investigación realizada.

#### 2. Planteamiento de objetivos.

Los objetivos planteados para esta práctica son los siguientes.

- Realizar la programación en la fuente AC (Chroma modelo 61702) para simular los desequilibrios de voltaje.

- Realizar las conexiones y configuraciones adecuadas del analizador de calidad para realizar las mediciones.
  - Obtener gráficos, diagramas e informes de calidad una vez realizado las mediciones.
  - Evaluar y analizar los desequilibrios de voltaje de acuerdo a las normas vigentes.
3. Desarrollo de la práctica.

Para el desarrollo de esta práctica se buscará primeramente programar la fuente variable AC a través del software SoftPanel para simular los desequilibrios de voltaje, y después elegir cuál será la función correcta del analizador de calidad para realizar las mediciones, y a través del software Power Log Classic imprimir los resultados.

4. Análisis de resultados.

Luego de que se haya cumplido con los objetivos propuestos se realizará la evaluación y análisis de las mediciones obtenidas, para lo cual se usarán las normas IEEE 1159-2019, la norma EN 50160 y la regulación ecuatoriana 005/18, cuyo detalle para la evaluación de este fenómeno se presenta en el capítulo 3.

#### **5.7.7. PRÁCTICA # 7. Medición de componentes armónicas.**

La implementación de esta práctica busca que los estudiantes conozcan los conceptos, causas y efectos que producen estos fenómenos, y sobre todo conocer el procedimiento de medición y evaluación de acuerdo a las normas vigentes.

Para la implementación de esta práctica se tendrá a consideración el siguiente procedimiento.

5. Introducción teórica.

En este apartado se presentarán los conceptos para conocer sobre la distorsión de la forma de onda por la contaminación de las componentes armónicas que producen las cargas no lineales, además se presentará las causas y los efectos más comunes que producen estos fenómenos de acuerdo con la investigación realizada.

6. Planteamiento de objetivos.

Los objetivos planteados para esta práctica son los siguientes.

- Realizar la programación en la fuente AC (Chroma modelo 61702) para simular la forma de onda con componentes armónicas.
  - Realizar las conexiones y configuraciones adecuadas del analizador de calidad para realizar las mediciones.
  - Obtener gráficos, diagramas e informes de calidad una vez realizado las mediciones.
  - Evaluar y analizar los desequilibrios de voltaje de acuerdo a las normas vigentes.
7. Desarrollo de la práctica.

Para el desarrollo de esta práctica se buscará primeramente programar la fuente variable AC a través del software SoftPanel para simular las componentes armónicas, y después elegir la función correcta del analizador de calidad para realizar las mediciones, y a través del software Power Log Classic imprimir los resultados.

8. Análisis de resultados.

Luego de que se haya cumplido con los objetivos propuestos se realizará la evaluación y análisis de las mediciones obtenidas, para lo cual se usarán las normas IEEE 1159-2019, la norma EN 50160, la norma IEEE 519-2014 y la regulación ecuatoriana 005/18.

### **5.7.8. PRÁCTICA # 8. Medición de Flickers.**

La implementación de esta práctica busca que los estudiantes conozcan los conceptos, causas y efectos que producen estos fenómenos, y sobre todo conocer el procedimiento de medición y evaluación de acuerdo a las normas vigentes.

Para la implementación de esta práctica se tendrá a consideración el siguiente procedimiento.

#### 9. Introducción teórica.

En este apartado se presentarán los conceptos para conocer cuando un sistema eléctrico se encuentra con las fluctuaciones de voltaje, además se presentará las causas y los efectos más comunes que producen estos fenómenos de acuerdo con la investigación realizada.

#### 10. Planteamiento de objetivos.

Los objetivos planteados para esta práctica son los siguientes.

- Realizar la programación en la fuente AC (Chroma modelo 61702) para simular los Flickers.
- Realizar las conexiones y configuraciones adecuadas del analizador de calidad para realizar las mediciones.
- Obtener gráficos, diagramas e informes de calidad una vez realizado las mediciones.
- Evaluar y analizar los desequilibrios de voltaje de acuerdo a las normas vigentes.

#### 11. Desarrollo de la práctica.

Para el desarrollo de esta práctica se buscará primeramente programar la fuente variable AC a través del software SoftPanel para simular los flickers, y después elegir la función correcta del analizador de calidad para realizar las mediciones, y a través del software Power Log Classic imprimir los resultados.

#### 12. Análisis de resultados.

Luego de que se haya cumplido con los objetivos propuestos se realizará la evaluación y análisis de las mediciones obtenidas, para lo cual se usarán las normas IEEE 1159-2019, la norma IEEE 1453-2015 y la regulación ecuatoriana 005/18.

En el anexo 1 se presentan los resultados al implementar cada una de las prácticas propuestas.

## **6. CAPÍTULO 7.**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

#### **6.1. CONCLUSIONES.**

- En este proyecto se ha presentado la propuesta de diseño para la implementación del laboratorio de calidad de la energía eléctrica, el mismo que viene acompañado por un estudio técnico y económico para que la Universidad tenga como una base para su posterior ejecución.
- La distribución del espacio del laboratorio está diseñada para un determinado número de estudiantes comprendido entre unos 20 a 25 estudiantes distribuidos en 6 bancos de trabajo, para que de esta manera se puedan ejecutar las prácticas en confort y sobre todo que cada estudiante pueda intervenir en la realización del mismo.
- Para el diseño del laboratorio también se ha optado por presentar un adecuado diseño de la iluminación, ya que como hemos visto la iluminación es un factor importante para este tipo de laboratorios, así mismo se presenta un diseño para los circuitos de cargas generales y especiales.
- El diseño del manual de prácticas se presenta de una manera ordenada acorde al aprendizaje que deben llevar los estudiantes relacionados a carreras de Ingenierías Técnicas y en especial a los estudiantes de Ingeniería Eléctrica. No obstante, también este manual de prácticas es de gran utilidad a todos quienes desean enriquecer o adentrarse en el estudio de la calidad de la energía eléctrica.
- El manual está compuesto por 8 prácticas en donde cada una está previamente simulada para luego ser medida con las perturbaciones o fenómenos eléctricos más representativos que están presentes en los sistemas de distribución eléctrica.
- Para la caracterización de cada uno de los fenómenos eléctricos simulados y medidos se lleva a cabo gracias a las normas vigentes estudiadas como son las normas IEEE y la norma europea EN 50160, así como a la regulación ecuatoriana de Calidad, servicio y comercialización de la energía eléctrica (005/18).
- En la ejecución de cada práctica además de conocer el comportamiento de los fenómenos eléctricos, se aprendió a identificar y a configurar el equipo simulador que en este caso utilizamos una fuente AC programable modelo 61702, así mismo se aprendió a configurar la función adecuada en el analizador de redes Fluke 435 para realizar la medición correcta de cada fenómeno.
- Con la implementación de este proyecto se aprendió la importancia que tiene la medición de la calidad de la energía eléctrica en el área industrial, comercial y residencial para mitigar los problemas que ocasionan los fenómenos eléctricos y sobre todo la importancia que tiene este proyecto para que los estudiantes conozcan y fortalezcan los conocimientos relacionados al tema y de esta manera dando un punto de partida para posibles estudios más profundos con respecto a la calidad de la energía eléctrica.

## **6.2. RECOMENDACIONES.**

- Se recomienda hacer uso del presente proyecto para la rápida implementación del laboratorio de calidad de la energía eléctrica para la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca para cumplir con las necesidades académicas y técnicas de los estudiantes relacionados con Ingenierías Técnicas y sobre todo a la carrera de Ingeniería Eléctrica luego de su respectiva aprobación.
- El desarrollo de las prácticas es un gran aporte para complementar los estudios tanto académicos como profesionalmente, por lo que se sugiere contar con los equipos necesarios para implementar cada una de las prácticas propuestas.
- El montaje del laboratorio por el momento se recomienda implementar en el laboratorio de circuitos o en el laboratorio de máquinas eléctricas debido al espacio reducido que existe en el laboratorio de electricidad de la universidad.



## 7. Bibliografía.

- [1] C. Nicola *et al.*, "Quality analysis of electric energy using an interface developed in LabVIEW environment," *2016 Int. Conf. Appl. Theor. Electr. ICATE 2016 - Proc.*, 2016, doi: 10.1109/ICATE.2016.7754669.
- [2] M. Holguin and D. Gomezcoello, "Análisis de la calidad de energía eléctrica en el 'Nuevo Campus' de la iniversida politécnica salesiana," pp. 1–234, 2010, doi: 10.20868/UPM.thesis.39079.
- [3] P. Rozehnal and P. Krejci, "Power quality complaints and monitoring of flicker in selected areas of northern Moravia," *Proc. 2017 18th Int. Sci. Conf. Electr. Power Eng. EPE 2017*, pp. 1–4, 2017, doi: 10.1109/EPE.2017.7967253.
- [4] J. . Arizpe, S. Neira, and A. López, "Calidad de energía y sistemas eléctricos de potencia," no. 01, pp. 29–54, 2013.
- [5] J. Anuszczyk and B. Terlecki, "Analysis of electric power quality: A case study: Kamiensk wind power plant," *2009 10th Int. Conf. Electr. Power Qual. Util. EPQU'09*, no. 98, pp. 1–6, 2009, doi: 10.1109/EPQU.2009.5318801.
- [6] N. Gourov, P. Tzvetkov, G. Milushev, and V. Vassilev, "Remote monitoring of the electrical power quality," *Proceeding Int. Conf. Electr. Power Qual. Util. EPQU*, p. 594, 2011, doi: 10.1109/EPQU.2011.6128842.
- [7] B. Collaborate, "Manual de uso Manual de uso," vol. 10, no. March 2006, pp. 1–55, 2010.
- [8] M. Angel and S. Cortés, "I n s t i t u t o T e c n o l ó g i c o d e P u e b l a Calidad de la Energía Eléctrica," 2009.
- [9] E. Harper, "El ABC de la calidad de la ENERGÍA ELÉCTRICA," vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2013, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- [10] D. F. Ramírez, "UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE GUAYAQUIL," 2010.
- [11] T. Ion, "No Title."
- [12] M. A. Mora Barajas and P. Bañuelos Sánchez, "Contaminación armónica producida por cargas no lineales de baja potencia: modelo matemático y casos prácticos Harmonic Pollution Produced by Low Power Nonlinear Loads: Mathematical Model and Practical Cases," *Ing. Investig. y Tecnol. Núm.*, vol. 2, pp. 189–198, 2010.
- [13] IEEE Std 1159-2019 (Revision of IEEE Std 1159-2009), *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, vol. 2019. 2019.
- [14] "Problema N°1: TRANSITORIOS - Bethelca - Medium." [Online]. Available: <https://medium.com/@Bethelca1/problema-nº1-transitorios-4a5a7cfe442d>. [Accessed: 18-Mar-2020].
- [15] "Problema N°5: Distorsión de la forma de onda - Bethelca - Medium." [Online]. Available: <https://medium.com/@Bethelca1/problema-nº5-distorsión-de-la-forma-de-onda-8bd25cb73680>. [Accessed: 20-Mar-2020].
- [16] Institute of Electrical and Electronics Engineers, *IEEE Std 1159 - IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality.*, vol. 2009, no. June. 2009.
- [17] IEEE Standard 1453-2015, *IEEE Recommended Practice for the Analysis of Fluctuating*

- Installations on Power Systems*, vol. 2015. 2015.
- [18] IEEE Power and Energy Society, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems IEEE Power and Energy Society," *ANSI/IEEE Std. 519*, vol. 2014, pp. 5–9, 2014, doi: 10.1109/IEEESTD.2014.6826459.
- [19] A. K. Henryk Markiewicz, "Perturbaciones de Tensión," *Leonardo Power Qual. Initiative*, 2004.
- [20] "Regulacion-de-Calidad-Suscrita-005-18.pdf." .
- [21] R. Geometry and G. Analysis, "Programmable AC Source (61701/61702/61703/61704) User's Manual.," *Society*.
- [22] K. Features, "AC Power Source MODEL 6500 SERIES PROGRAMMABLE AC POWER SOURCE MODEL 6500 SERIES," no. 61701, pp. 61702–61705.
- [23] "AC Source Soft Panel User ' s Manual," *Source*, no. January, 2007.
- [24] Fluke Corporation, "Catalogo Fluke 434-II/435-II/437-II," p. 182, 2012.
- [25] A. Roberto, P. González, I. O. Alvarez, and C. – Ecuador, "Universidad Politecnica Salesiana Diseño De Laboratorio Para Practicas En Media Tension Para La Universidad Politecnica Salesiana," 2009.
- [26] J. J. Rodríguez Ochoa, "Universidad Nacional De Trujillo Facultad De Ingeniería Escuela Profesional De Ingeniería Civil," 2017.
- [27] C. Robusto, P. Un, and C. Boost, *Universidad tecnológica de la mixteca*. 2013.
- [28] D. M. Daniel Carpio, ""INSTRUCTIVO PARA LA ELABORACIÓN DE DISEÑOS DE REDES DE DISTRIBUCIÓN E INSTALACIONES INTERIORES APLICABLES EN LA EMPRESA ELÉCTRICA REGIONAL CENTRO SUR C.A.," 2014.
- [29] D. E. D. D. E. I. Eléctricas, "Página 1 de 27," pp. 1–27.
- [30] J. Oliver, "濟無No Title No Title," *Hilos Tensados*, vol. 1, no., pp. 1–476, 2019, doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.

## **8. ANEXOS**

**8.1. ANEXO 1: DESARROLLO DE LAS PRÁCTICAS**

**8.2. ANEXO 2: PLANO ARQUITECTÓNICO**

**8.3. ANEXO 3: PLANO CIRCUITO DE ILUMINACIÓN**

**8.4. ANEXO 4: PLANO CIRCUITO DE TOMACORRIENTES GENERALES**

**8.5. ANEXO 5: PLANO CIRCUITO DE TOMACORRIENTES ESPECIALES**

**8.6. ANEXO 6: DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA**

**8.7. ANEXO 7: COTIZACIÓN FUENTE PROGRAMABLE AC**

## ANEXO 1.

Formato: Guía de Práctica de Laboratorio / Talleres / Centros de Simulación

Universidad Politécnica Salesiana



### FORMATO DE INFORME DE PRÁCTICA DE LABORATORIO / TALLERES / CENTROS DE SIMULACIÓN – PARA ESTUDIANTES

**CARRERA:** Ingeniería Eléctrica.

**LABORATORIO DE:** Calidad de energía eléctrica.

**NRO. PRÁCTICA:** 1

**TÍTULO PRÁCTICA:** Reconocimiento del banco de trabajo del laboratorio de calidad de energía eléctrica.

#### 1. INTRODUCCIÓN:

Para realizar el estudio y el análisis de las perturbaciones más comunes es primordial conocer las partes, sus características y las conexiones de todos los equipos que conforman el laboratorio de calidad de la energía eléctrica.

A continuación, se presentará un resumen de la descripción de los equipos más importantes que se encuentran disponibles en la universidad para el desarrollo de las prácticas, estos son: fuente programable AC modelo Chroma 61702, Analizador de calidad de la energía eléctrica (Fluke 435), osciloscopio, sondas de voltaje y corriente, cables de conexión, carga CA, entre otros.

##### a) FUENTE PROGRAMABLE DE VOLTAJE AC.

La fuente programable AC, es un equipo con el cual se realizará la programación para simular las distintas perturbaciones que dañan los sistemas eléctricos, esta programación se lo realiza ya sea en la misma fuente o desde la PC con la ayuda del software de control SoftPanel de Chroma.

El modelo de la fuente que se utilizará para el desarrollo de este manual es una fuente programable AC modelo 61702 (figura 1.a). Las características tanto del equipo como del software se presentan con más detalle en el capítulo 4.



*Figura 1.a: Fuente programable AC (Modelo Chroma 61702).*

**FUENTE:** [1].

## b) ANALIZADOR DE CALIDAD DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA.

El analizador es un equipo que cuenta con un conjunto de medidas, el cual se utiliza para verificar que los parámetros eléctricos cumplan los rangos de calidad con respecto a la norma que se encuentre vigente.

Uno de los modelos con los que se dispone en la universidad es el medidor de calidad de energía eléctrica Fluke 435 (gráfica 1.b), cuyas características se presentan en el capítulo 4, las mediciones que permite realizar este equipo son:

- Voltios/Amperios/Hz.
- Fluctuaciones.
- Armónicos.
- Potencia y energía.
- Flicker.
- Desequilibrio.
- Transitorios.
- Corriente de arranque.
- Transmisión de señales.
- Registrador.

Cada una de estas mediciones se ira analizando con más detalle conforme se vaya desarrollando cada una de las practicas.



Figura 1.b: Analizador de calidad de energía eléctrica (Fluke 435).

FUENTE: [2].

## c) OSCILOSCOPIO.

Un osciloscopio es un equipo de visualización de señales eléctricas que varían con el tiempo en la que generalmente el eje (X horizontal) representa tiempo y el eje (Y vertical) representa voltajes o corrientes. En la figura 1.c se presenta un osciloscopio con las principales características que se utilizan.

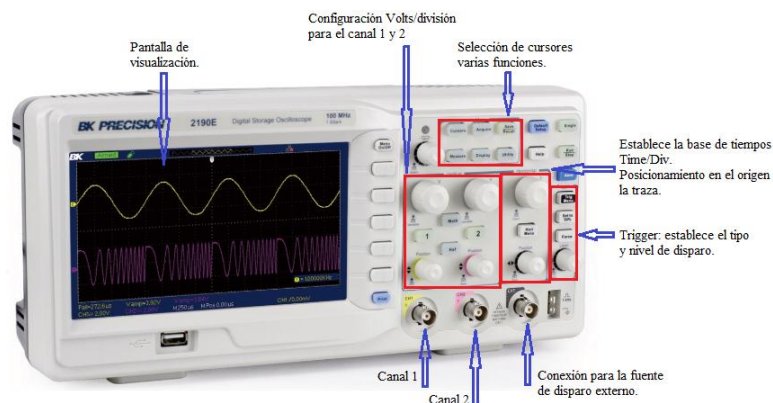


Figura 1.c: Osciloscopio.

## 2. ALCANCE DE LA PRÁCTICA:

A través de la siguiente práctica lo que se pretende es interactuar y conocer los diferentes equipos y software que se van a utilizar en el laboratorio de calidad de la energía eléctrica para el desarrollo de las posteriores prácticas.

## 3. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA:

- Identificar y conocer las partes que componen la fuente variable AC (Chroma model 61702).
- Identificar y conocer las partes del equipo de medición de calidad de energía eléctrica (Fluque 435).
- Conocer e interactuar con el software SoftPanel que se utiliza para programar la fuente AC.
- Realizar la conexión de los equipos de simulación (Fuente AC y PC) y medición (Fluque 435, osciloscopio).
- Simular desde el software SoftPanel una forma de onda desde la pantalla List Mode, Pulse Mode, Step Mode, Waveform editor e Interharmonics.
- Comparar las mediciones de la forma de onda obtenidas tanto con el analizador de redes y el osciloscopio.

## 4. MATERIALES:

Los materiales que se utilizan para el desarrollo de esta práctica son:

- Fuente programable CA (Model Chroma 61702).
- Medidor de calidad de energía eléctrica (Fluke 435).
- Osciloscopio.
- Carga (Motor trifásico).
- Multímetro digital.
- Cables de conexión.

## 5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA:

El desarrollo de la práctica se lo realiza por etapas con la finalidad de cumplir los objetivos planteados, es por eso que primero realizamos el reconocimiento y descripción de las partes más importantes que componen los equipos de simulación y medición, luego se realiza el reconocimiento y descripción del software de simulación (SoftPanel de Chroma) el cual se utilizará durante todo el desarrollo de este manual.

Con la finalidad de interactuar con los equipos se realizarán ejemplos de aplicación en cada una de las pantallas del software SoftPanel para que con la ayuda de los equipos de medición se pueda realizar una comparación entre las formas de onda simuladas y las formas de ondas medidas.

A continuación, se presenta el desarrollo de la práctica:

### a) Reconocimiento de la fuente variable AC Chroma 61702.

La fuente variable AC Chroma 61702 presentado en la gráfica 1, es el modelo que está disponible en la universidad para el desarrollo de las prácticas de este manual.



(a)



(b)

**Gráfica 1:** Fuente Programable AC Chroma 61702. (a) Panel Frontal. (b) Panel posterior.  
**FUENTE:** Autor.

Las principales partes de la fuente AC del panel frontal y panel posterior se presenta en la gráfica 2.



**Gráfica 2:** Partes de la fuente AC. (a) Panel frontal. (b) Panel posterior.  
**FUENTE:** Autor.

En la siguiente tabla se presenta una breve descripción de las partes que componen la fuente AC.

<b>PARTES PANEL FRONTAL</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
Tecla ON/OFF.	Se utiliza para encender o apagar la fuente AC.
Pantalla LCD.	sirve para observar la configuración que se realice, los niveles de voltaje y corriente y el estado de operación.
Teclas de configuración.	Se utiliza para ingresar, cambiar y ejecutar los datos de programación.
RPG.	Se utiliza para ingresar los valores únicamente girando el RPG.
<b>PARTES PANEL POSTERIOR</b>	
<b>Nombre</b>	<b>Descripción</b>
Conector de transferencia de datos.	Los conectores GPIB, RS-232C o USB se utilizan para la transferencia de datos hacia y desde el computador.
Conector de alimentación.	Este conector se utiliza para la alimentación de la fuente programable AC.
Conector de salida.	Este conector sirve para la alimentación de la carga.

**b) Reconocimiento del medidor de calidad de la energía eléctrica FLUKE 435.**

El medidor de calidad de energía eléctrica presentada en la gráfica 3 es el modelo FLUKE 435 II, disponible en la universidad para realizar las mediciones de los fenómenos eléctricos que serán simulados con la fuente AC.

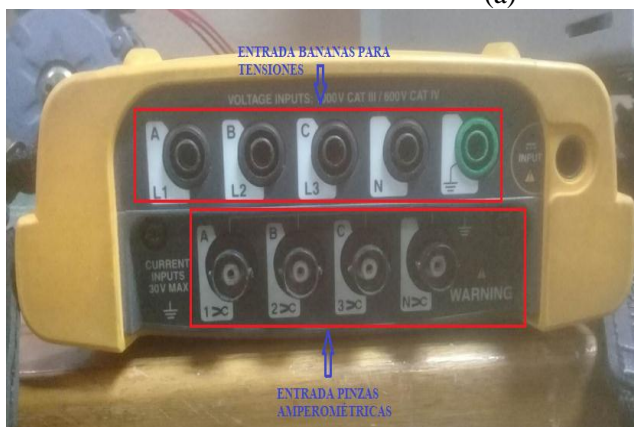


**Gráfica 3:** Analizador FLUKE 435 II.  
**FUENTE:** Autor.

Las partes principales que presenta el analizador se observa en la gráfica 4, en la gráfica 4.(a) se observan las partes que se utilizan para configurar el tipo de medición que se desee analizar, en la gráfica 4.(b) se observan las partes que se utilizan para conectar las bananas de tensión y pinzas amperométricas para realizar la medición y en la gráfica 4.(c) se observa el conector de transferencia de datos que se utilizará para descargar los datos hacia la PC luego de haber realizado cualquier tipo de medición.



(a)



(b)



(c)

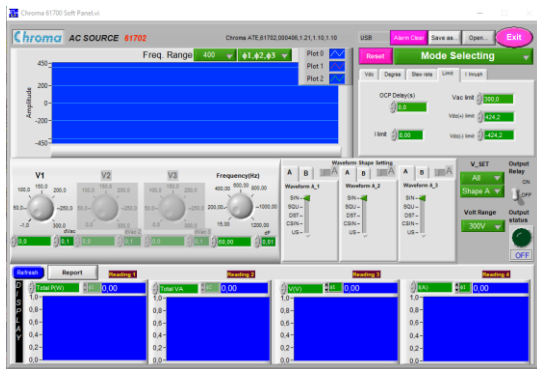
**Gráfica 4:** Partes principales del FLUKE 435. (a) Panel Frontal. (b) Panel superior. (c) Panel lateral derecho.  
**FUENTE:** Autor.



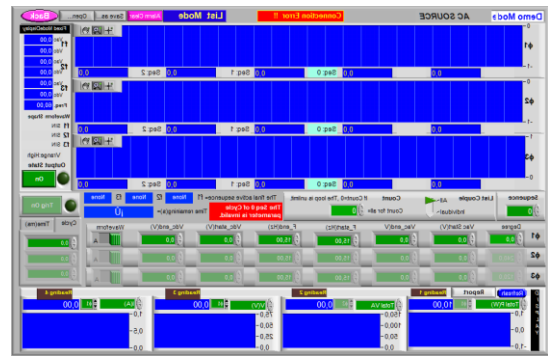
c) **Reconocimiento del Software SoftPanel.**

El software SoftPanel es propiamente de Chroma el cual se utiliza para realizar la programación de algunos de los fenómenos eléctricos.

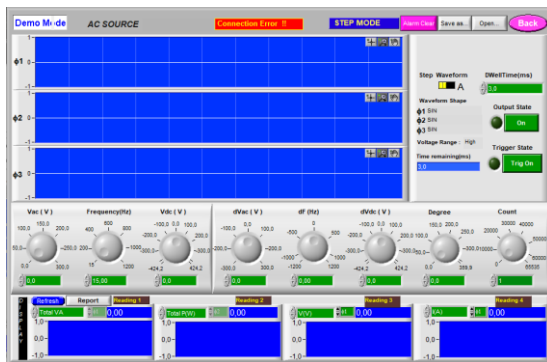
El software se compone de 6 pantallas para realizar la programación, cada pantalla cumple características diferentes permitiendo implementar las prácticas propuestas, en la siguiente gráfica 5 se presenta las pantallas principales de este software.



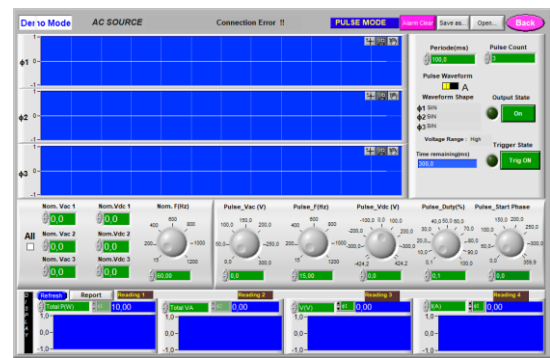
(a)



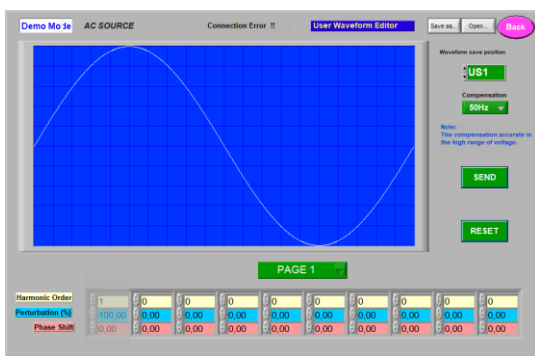
(b)



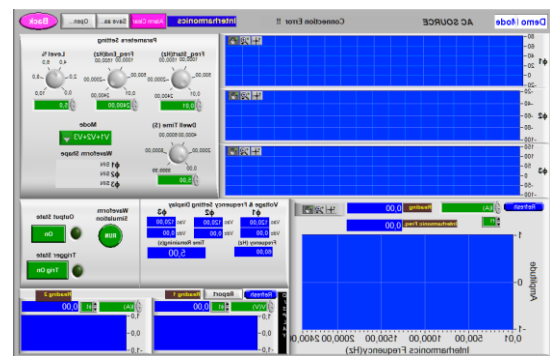
(c)



(d)



(e)



(f)

**Gráfica 5:** (a) Pantalla principal de funciones. (b) Pantalla List Mode. (c) Pantalla Step Mode. (d) Pantalla Pulse Mode. (e) Pantalla editor de forma de onda. (f) Pantalla de Interarmónicos.

**FUENTE:** Software de control SoftPanel.

La configuración de los parámetros de cada una de las pantallas está expuesta con más detalle en el capítulo 4.

**d) Conexión de la carga y el equipo de medición a la salida de la fuente AC**

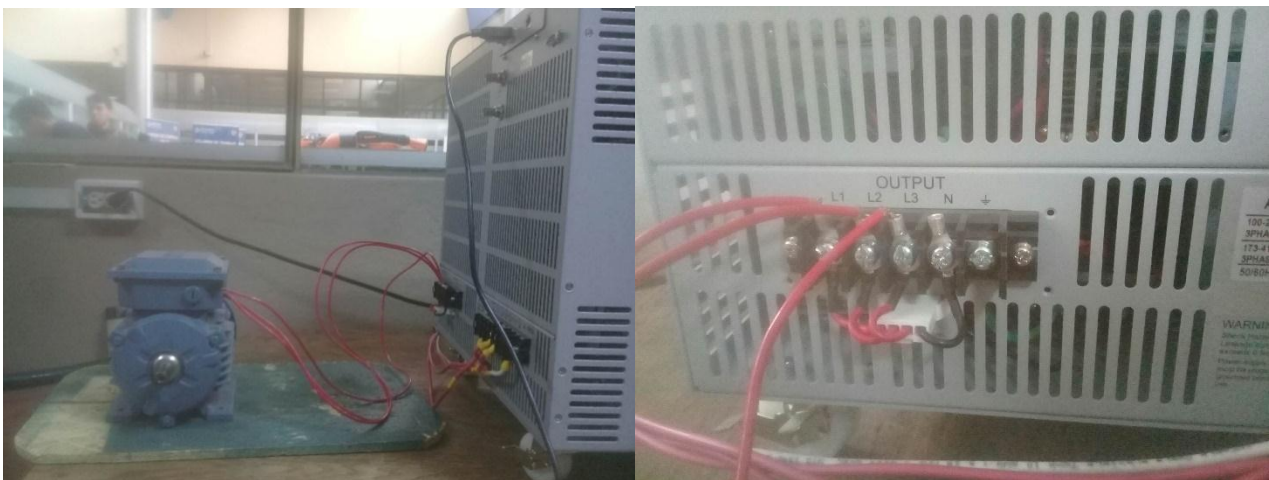
Luego de conocer las características principales del software y de la fuente AC, se realiza la conexión de la carga y del equipo analizador de energía eléctrica.

La carga que se utilizará para todas las prácticas a desarrollarse será un motor trifásico de 0.5 HP como se observa en la gráfica 6. No obstante se podría utilizar cualquier otro tipo de carga.



**Gráfica 6:** Motor trifásico de 0.5 HP.  
**FUENTE:** Autor.

El motor trifásico se conecta a los conectores de salida L1, L2 y L3 de la fuente AC, cuyo montaje se observa en la gráfica 7.



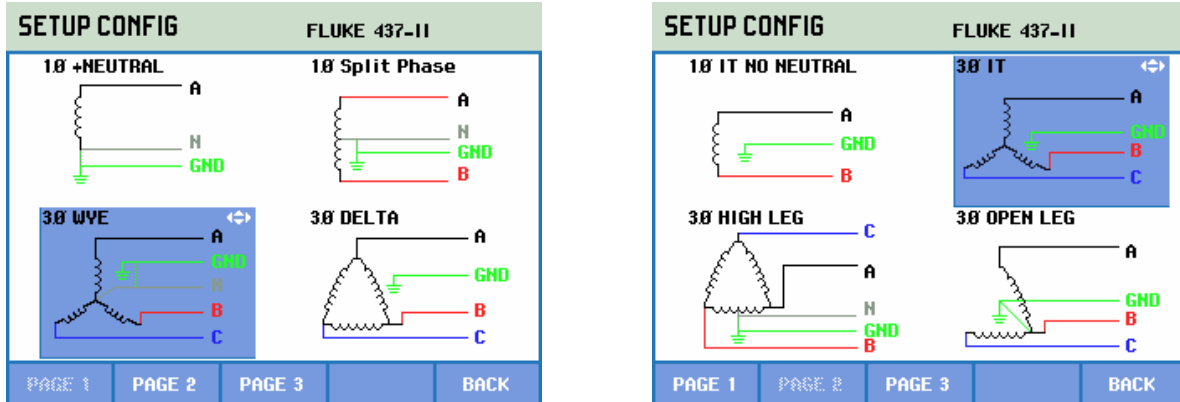
**Gráfica 7:** Conexión motor trifásico a la salida de la fuente AC.  
**FUENTE:** Autor.

Una vez realizado la conexión del motor se realiza el montaje del analizador de calidad de energía eléctrica, para lo cual nos basamos en el manual de usuario del FLUKE 435.

- **Configuración y conexión del cableado para el analizador de calidad.**

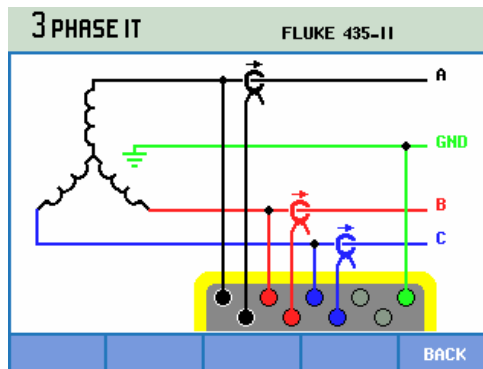
El analizador de calidad de energía eléctrica presenta 4 entradas BNC para pinzas amperométricas y 5 entradas de tipo banana para tensiones, como se observa en la gráfica 4(b). Es importante recordar que antes de realizar cualquier conexión se recomienda desconectar el sistema de alimentación para evitar cualquier tipo de accidente.

Para realizar la medición se debe tener a consideración el tipo de sistema eléctrico donde se va a realizar la conexión, que bien puede ser un sistema trifásico, bifásico o monofásico. Por lo que en la siguiente gráfica 8 se presentan las diferentes configuraciones de cableado del analizador que el usuario puede seleccionar en función del sistema a medir.



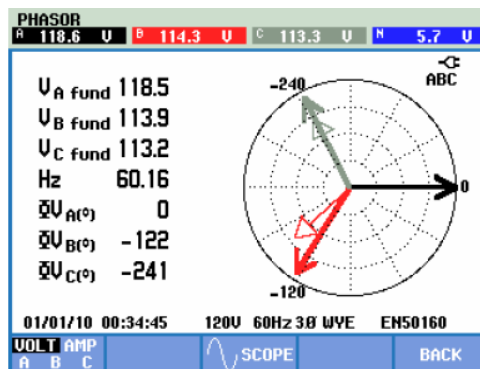
Gráfica 8: Configuraciones de cableado del analizador.  
FUENTE: Analizador FLUKE 435.

Una vez seleccionado la configuración del cableado, el analizador presenta el detalle del diagrama para conectar las sondas de tensión y corriente al sistema de alimentación, como se observa en la gráfica 9.



Gráfica 9: Conexión del analizador en un sistema trifásico.  
FUENTE: Analizador FLUKE 435.

Las pantallas de osciloscopio y fasor son importantes para comprobar si las bananas de tensión y pinzas amperométricas se encuentran conectadas correctamente. En el diagrama de vectores, las tensiones de fase (A, B, C) y las corrientes (L1, L2, L3) deben aparecer en secuencia, por lo que, en la gráfica 10 se presenta un ejemplo al observar la secuencia en sentido a las agujas del reloj.



Gráfica 10: Diagrama de vectores del analizador correctamente conectado  
FUENTE: Analizador FLUKE 435.

Luego de realizar todas las configuraciones y conexiones necesarias en la gráfica 11 se presenta el montaje de todos los equipos, que se encuentran listos para programar cualquier tipo de perturbación y a través del analizador y osciloscopio observar el comportamiento de los parámetros eléctricos.



**Gráfica 11:** Conexión equipos para el análisis de calidad de la energía eléctrica.  
**FUENTE:** Autor.

**e) Implementación.**

Con el objetivo de comenzar a interactuar con la fuente AC y el analizador, realizamos la programación de distintas formas de onda a través del software de control SoftPanel.

A continuación, se presenta la configuración en cada una de las pantallas de control.

- **Actividad 1: Programación en la pantalla de control List Mode.**

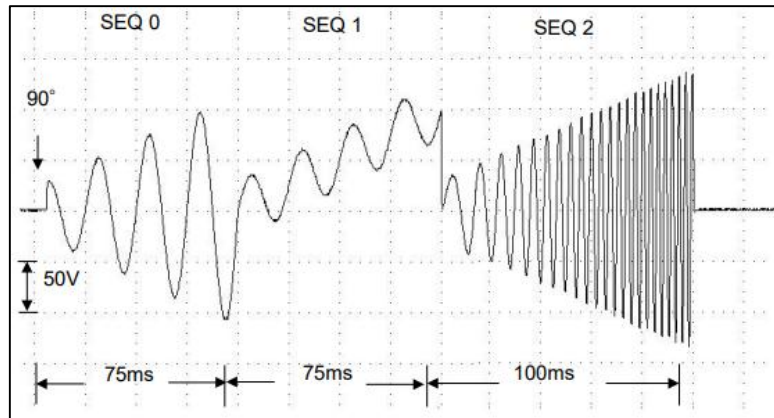
La programación de la forma de onda en la pantalla List Mode (gráfica 5.b) es un conjunto de secuencias programadas, es decir, la forma de onda de salida iniciara en la secuencia 0 y luego secuencia por secuencia. Su duración estará referida en función del tiempo o ciclo establecido.

Al ingresar al software SoftPanel en la pantalla principal de funciones ingresamos el valor de la tensión (V1, V2 y V3) de 120 V y la frecuencia nominal del sistema 60 Hz.

Luego accedemos a la pantalla de control List Mode e ingresamos los siguientes parámetros que se presentan en la tabla 8-1 para obtener la forma de onda de salida de la gráfica 12.

**Tabla 8-1:** Parámetros de entrada pantalla List Mode.

Parámetro	Secuencia 0	Secuencia 1	Secuencia 2
Degree	0	0	0
Vac_Start (V)	20	20	20
Vac_end (V)	80	80	100
F_Start (Hz)	60	60	60
F_Start (Hz)	60	60	60
Vdc_Start (V)	0	0	0
Vdc_end (V)	0	100	0
Time (ms)	75	75	100



**Gráfica 12:** Forma de onda de salida actividad 1.  
**FUENTE:** [1].

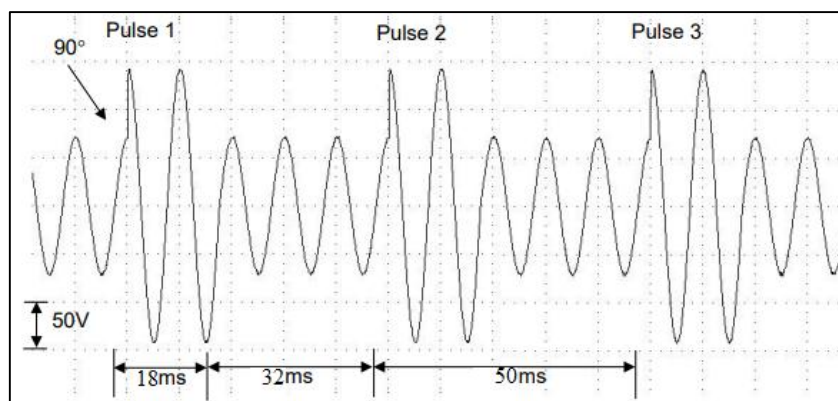
- **Actividad 2: Programación en la pantalla de control Pulse Mode.**

En la pantalla de control Pulse Mode se puede programar una forma de onda particular, adjunta a la forma de onda normal que fué establecida en la pantalla principal. La forma de onda programada es para especificar el porcentaje de trabajo en la parte superior de la salida programada y el estado transitorio.

Al ingresar al software SoftPanel en la pantalla principal de funciones ingresamos los valores de tensión (V1, V2 y V3) de 100 V y frecuencia de 60 Hz. Luego accedemos a la pantalla de control Pulse Mode e ingresamos los siguientes parámetros que se presentan en la tabla 8-2 para obtener la forma de onda de salida de la gráfica 13.

*Tabla 8-2: Parámetros de entrada pantalla Pulse Mode.*

PARÁMETRO	VALOR
Nom. Vac 1	100
Nom. F(Hz)	60
Pulse_Vac (V)	250
Pulse_F(Hz)	100
Pulse_Duty(%)	35
Periode (ms)	50
Pulse Count	3



**Gráfica 13:** Forma de onda de salida actividad 2.  
**FUENTE:** [1].

- **Actividad 3: Programación pantalla de control Step Mode.**

Esta pantalla ofrece una función para el cambio fácil y automático de la forma de onda de salida con un nivel de voltaje y tiempo regulables. La programación de la forma de onda consiste en establecer una forma de onda inicial,

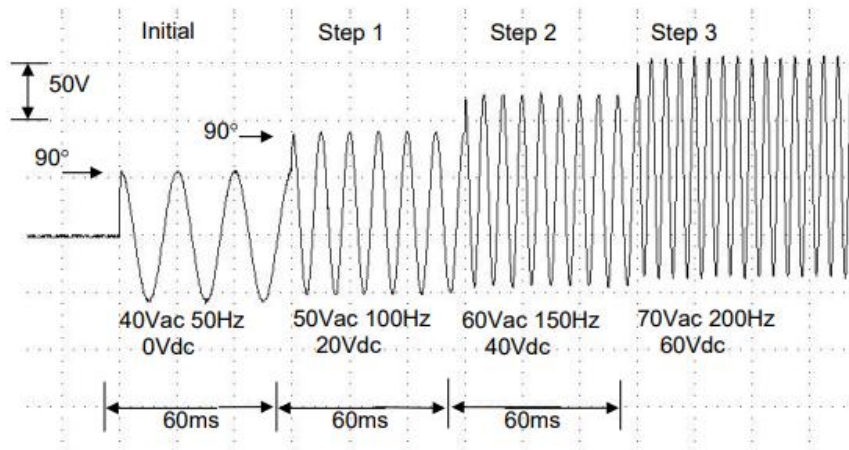


en donde se especifica el tiempo de permanencia, los valores de dVac, dF, dVdc para el cambio de cada paso y el número de cada ejecución de cambio. Después de la ejecución la forma de onda se mantendrá en el último paso.

En la pantalla principal del software ingresamos los valores nominales de voltaje (100 V) y frecuencia (60 Hz), luego desde la opción Mode Selecting elegimos la pantalla Step Mode e ingresamos los valores que se presenta en la tabla 8-3, para obtener la forma de onda de la gráfica 14.

**Tabla 8-3:** Parámetros de entrada pantalla Step Mode.

PARÁMETRO	VALOR
Vac (V)	40
F (Hz)	60
Vdc (V)	0
dVac (V)	10
dF (Hz)	60
dVdc (V)	20
Count	3
Time (ms)	60



**Gráfica 14:** Forma de onda de salida actividad 3.

FUENTE: [1].

- **Actividad 4: Programación pantalla Waveform Editor.**

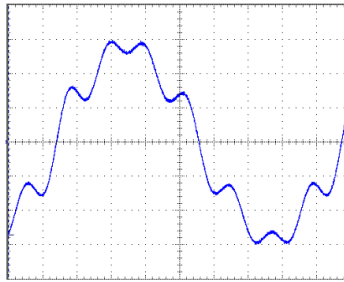
Esta pantalla permite ingresar los parámetros de los componentes armónicos para la distorsión de la forma de onda de salida, existe 4 páginas para ingresar 39 parámetros excepto la primera frecuencia fundamental. Cada forma de onda definida por el usuario que tiene para un máximo de 6 (US1-US2), son enviados y grabados en la pantalla principal para luego ser utilizados.

Como motivo de práctica se establecerá 6 formas de onda con distorsiones armónicas diferentes, en las siguientes tablas se presentan los parámetros a ingresar para obtener las formas de ondas de las gráficas correspondientes.

**EJEMPLO FORMA DE ONDA US1.**

**Tabla 8-4:** Parámetros forma de onda US1

HARMÓNICO	%	$\phi$
5	9,8	0
7	15,8	0
9	2,16	0

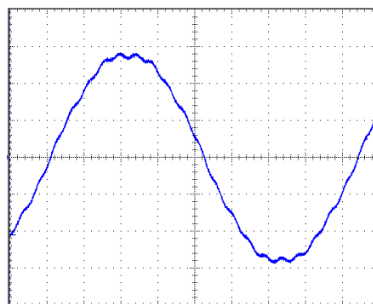


Gráfica 15: Forma de onda US1.

EJEMPLO FORMA DE ONDA US2.

Tabla 8-5: Parámetros forma de onda US2

HARMÓNICO	%	$\vartheta$
3	1,44	0
7	1,47	0
19	1,95	0

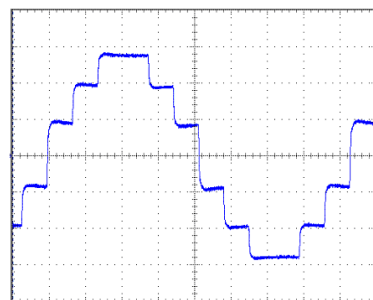


Gráfica 16: Forma de onda US2.

EJEMPLO FORMA DE ONDA US3.

Tabla 8-6: Parámetros forma de onda US3

HARMÓNICO	%	$\vartheta$
5	3,41	0
7	2,55	0
11	9,22	0
13	7,68	0
17	0,9	0
19	0,9	0
23	3,88	0
25	3,56	0
31	0,5	0
35	2,34	0
37	2,21	0

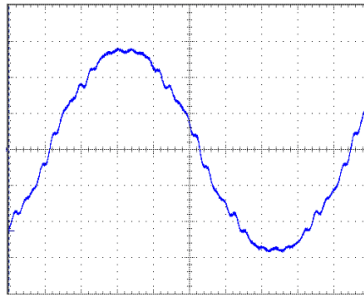


Gráfica 17: Forma de onda US3.

*EJEMPLO FORMA DE ONDA US4.*

*Tabla 8-7: Parámetros forma de onda US4.*

HARMÓNICO	%	$\vartheta$
3	2,45	0
5	1,88	0
7	2,46	0
23	1,95	0
25	1,09	0
31	1,52	0
33	1,09	0

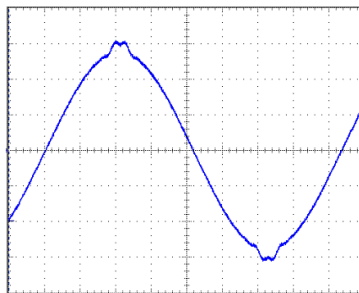


*Gráfica 18: Forma de onda US4.*

*EJEMPLO FORMA DE ONDA 5.*

*Tabla 8-8: Parámetros forma de onda US5.*

HARMÓNICO	%	$\vartheta$
3	2,06	180
5	1,77	0
7	1,62	180
9	1,23	0
11	0,91	180
13	0,54	0
23	0,51	0
25	0,53	180



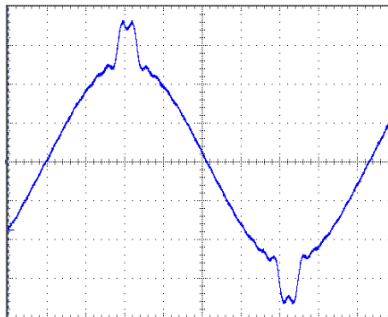
*Gráfica 19: Forma de onda US5.*

*EJEMPLO FORMA DE ONDA US6.*



**Tabla 8-10: Parámetros forma de onda US6.**

HARMÓNICO	%	$\theta$
3	7,35	180
5	6,6	0
7	5,74	180
9	4,57	0
11	3,41	180
13	2,16	0
15	1,04	180
19	0,74	0
21	1,35	180
23	1,64	0
25	1,73	180
27	1,56	0
29	1,24	180



**Gráfica 20: Forma de onda US6.**

- **Actividad 5: Programación pantalla Interharmonics.**

Esta función que ofrece la fuente AC crea una frecuencia de barrido con un nivel de magnitud pequeño que puede superponerse a la forma de onda original.

Para la programación primero se establecen los valores nominales de voltaje (120 V) y frecuencia (60 Hz) en la pantalla principal, luego a través de la opción Mode Selecting seleccionamos la función Interharmonics e ingresamos los parámetros de la tabla 8.11 para simular una forma de onda dinámica distorsionada con un barrido de frecuencia.

**Tabla 8-11: Parámetros forma de onda 5.**

PARÁMETRO	VALOR
Freq_Start(Hz)	0,01
Freq_End(Hz)	2400
Level (%)	10
Time (ms)	5

Los valores de *Freq\_Start*, *Freq\_End* y *Level*, para proteger la fuente AC debe restringirse a:

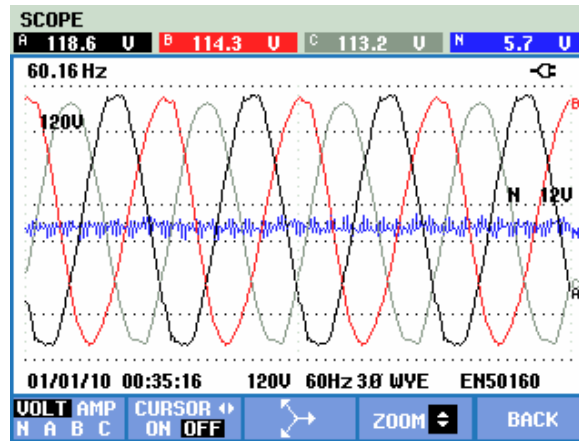
Si  $0.01\text{Hz} < Fi\_start$  o  $Fi\_end < 500\text{Hz}$ ,  $LEVEL < 30\%$ .

Si  $500\text{Hz} < Fi\_start$  o  $Fi\_end < 1000\text{Hz}$ ,  $LEVEL < 20\%$ .

Una vez ingresado los parámetros de configuración para cada una de las actividades propuestas, se realiza la obtención de las formas de onda, para ello se utiliza el osciloscopio común y además utilizamos una de las funciones que brinda el Fluke 435 que es la función osciloscopio.

- **Función Osciloscopio de Fluke.**

La función osciloscopio (gráfica 21) presenta la forma de onda tanto de tensiones como de corrientes del sistema de alimentación, en nuestro caso el sistema de alimentación es la fuente AC programable, además esta función ofrece valores de tensión y corrientes de fase (rms, fundamental y en cursor), frecuencia y ángulos de fase entre tensiones y corrientes.



*Gráfica 21: Detalle Función Osciloscopio de Fluke.*  
**FUENTE:** Analizador de redes Fluke 435

Para ingresar a esta función osciloscopio luego de encender el analizador, desde la pantalla principal pulsamos la tecla SCOPE e inmediatamente accede al panel donde muestra la forma de onda (gráfica 21), las teclas de función disponibles para el osciloscopio son:

Tecla	Descripción
F1	Se utiliza para seleccionar la manera de presentar la forma de onda de voltaje y corriente ya sea de manera individual o en conjunto.
F2	Se utiliza para la activación y desactivación del cursor y zoom. Se utiliza las teclas de flecha izquierda/derecha para desplazarse a lo largo de la forma de onda.
F3	Se utiliza para ingresar a la pantalla de fasor.
F4	Se utiliza para presentar la forma de onda con medición L-N ( $\Lambda$ ) o medición L-L ( $\Delta$ ).
F5	Se utiliza para cambiar a menú. También se utiliza para capturar alguna medición. Vuelta a alguna medida por ejemplo (Voltios/amperios/hercios).

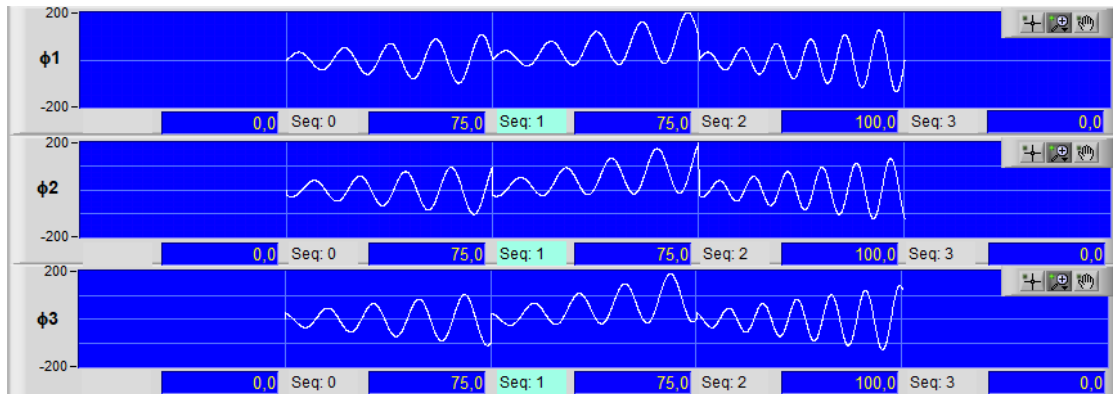
Sin embargo, para un mejor análisis y visualización de las gráficas se puede descargar los datos hacia una PC a través del software Power Log Classic, que más adelante se presenta.

**f) Resultados obtenidos.**

- **Resultados actividad 1.**

Para obtener la forma de onda propuesta en la gráfica 12, nos referimos al siguiente procedimiento:

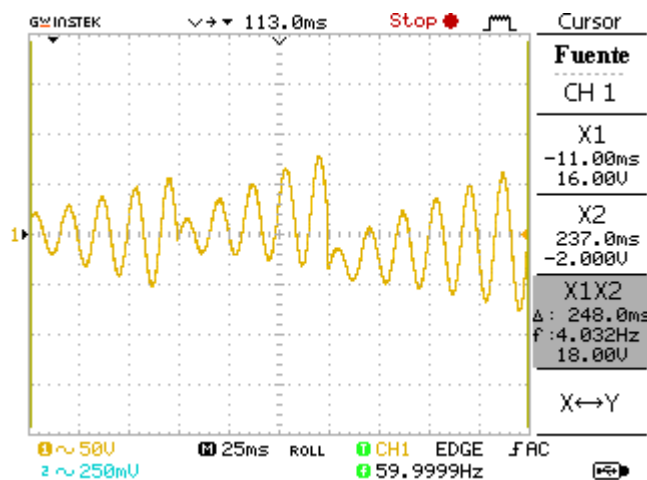
1. Ingresamos los valores nominales de voltaje y frecuencia en la pantalla principal.
2. Luego accedemos a la pantalla List Mode e ingresamos los valores de la tabla 8-1, obteniendo en la ventana de simulación la forma de onda presentada en la gráfica 22.



Gráfica 22: Forma de onda de salida programada en la pantalla List Mode.

FUENTE: Software SoftPanel.

3. Después, conectamos los equipos de medición como son el osciloscopio y el analizador.
4. Para iniciar con el funcionamiento en la pantalla List Mode, primero presionamos el botón **Output State (On)** y se obtendrá a la salida una forma de onda con los valores nominales (120 V, 60 Hz) que fueron establecidos en la pantalla principal. Para generar la onda programada (gráfica 22), pulsamos el botón **Trig On**, y luego de un determinado tiempo (ms) programado la señal vuelve a su valor nominal. Sin embargo, esta duración también depende del valor ingresado en **Count for all**, ya que si el valor es cero la forma de onda se vuelve infinito hasta pulsar nuevamente el botón **Trig Off**.
5. Por último, realizamos la obtención de la forma de onda programada con los equipos de medición, como se observa en la gráfica 23.



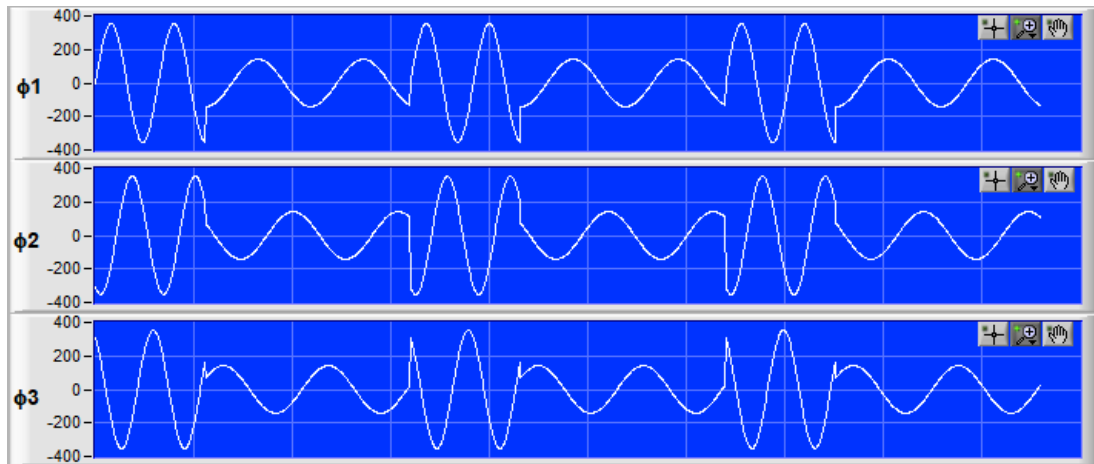
Gráfica 23: Forma de onda de salida obtenida con el osciloscopio, programada en la pantalla List Mode.

FUENTE: Osciloscopio.

### • Resultados actividad 2.

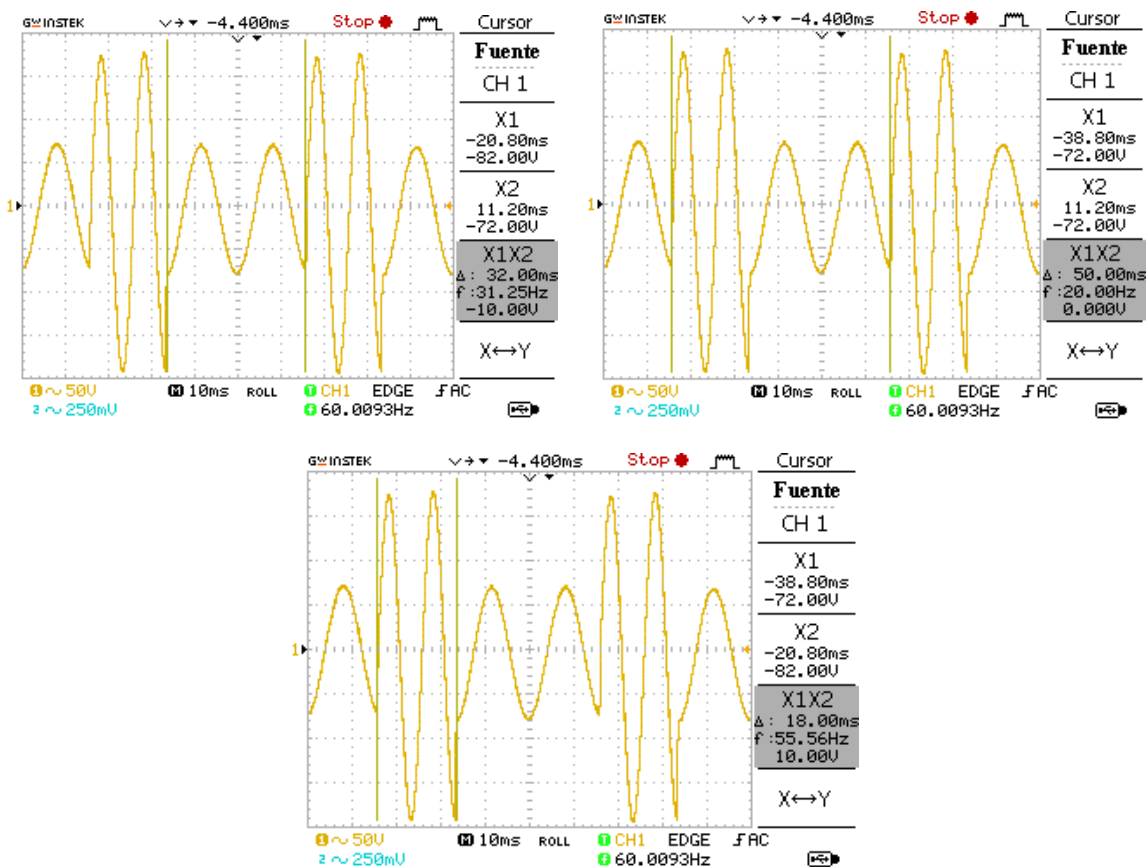
Para obtener la forma de onda propuesta en la gráfica 13, nos referimos al siguiente procedimiento:

1. Ingresamos los valores nominales de voltaje y frecuencia en la pantalla principal.
2. Luego accedemos a la pantalla List Mode e ingresamos los valores de la tabla 8-2, obteniendo en la ventana de simulación la forma de onda presentada en la gráfica 24.



Gráfica 24: Forma de onda de salida programada en la pantalla Pulse Mode.  
FUENTE: Software SoftPanel.

3. Después, conectamos los equipos de medición como son el osciloscopio y el analizador.
4. Para iniciar con el funcionamiento en la pantalla Pulse Mode, primero presionamos el botón **Output State (On)** y se obtendrá a la salida, una forma de onda con los valores nominales (120 V, 60 Hz) que fueron establecidos en la pantalla principal. Para generar la onda programada (gráfica 24), pulsamos el botón **Trig On**, y luego de un determinado tiempo (ms) programado la señal vuelve a su valor nominal.
5. Por último, realizamos la obtención de la forma de onda programada con los equipos de medición, como se observa en la gráfica 25.

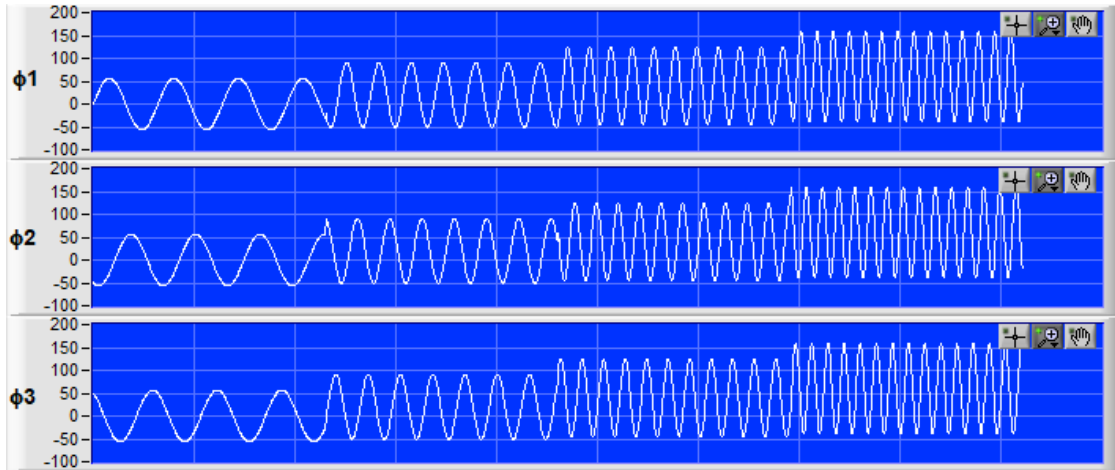


Gráfica 25: Forma de onda de salida obtenidas con el osciloscopio, programada en la pantalla Pulse Mode.  
FUENTE: Osciloscopio.

- **Resultados actividad 3.**

Para obtener la forma de onda propuesta en la gráfica 14, nos referimos al siguiente procedimiento:

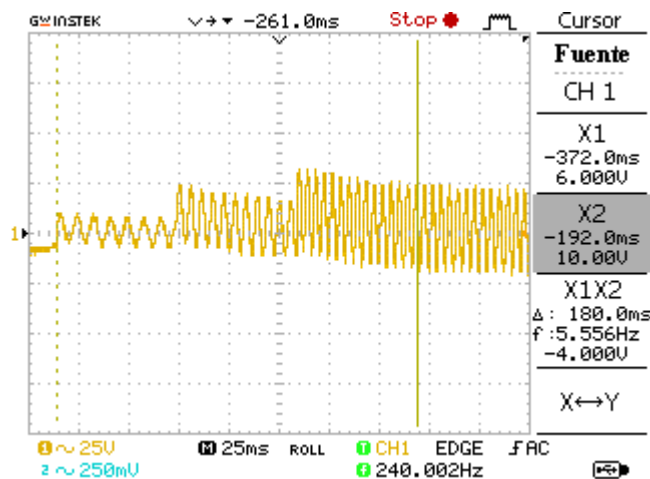
1. Ingresamos los valores nominales de voltaje y frecuencia en la pantalla principal.
2. Luego accedemos a la pantalla Step Mode e ingresamos los valores de la tabla 8-3, obteniendo en la ventana de simulación la forma de onda presentada en la gráfica 26.



*Gráfica 26: Forma de onda de salida programada en la pantalla Step Mode.*

FUENTE: Software SoftPanel.

3. Después, conectamos los equipos de medición como son el osciloscopio y el analizador.
4. Para iniciar con el funcionamiento en la pantalla Step Mode, primero presionamos el botón **Output State (On)** y se obtendrá a la salida una forma de onda con los valores nominales (120 V, 60 Hz) que fueron establecidos en la pantalla principal. Para generar la onda programada (gráfica 26), pulsamos el botón **Trig On**, y luego de un determinado tiempo (ms) programado la señal se establece en el último paso.
5. Por último, realizamos la obtención de la forma de onda programada con los equipos de medición, como se observa en la gráfica 27.



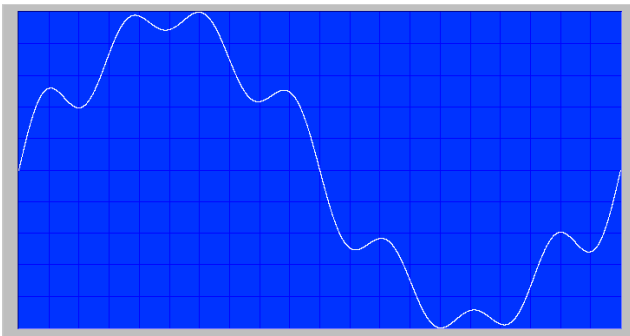
*Gráfica 27: Forma de onda de salida obtenidas con el osciloscopio, programada en la pantalla Step Mode.*

FUENTE: Osciloscopio.

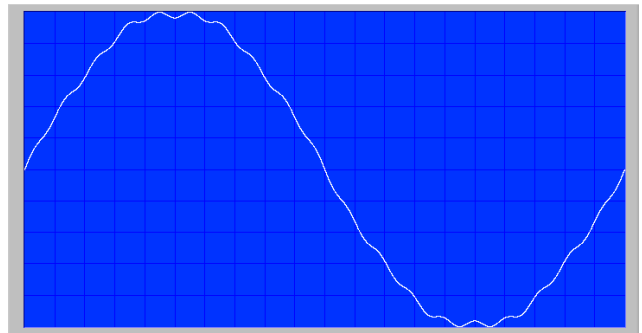
- **Resultados actividad 4.**

Para obtener la forma de onda propuesta en la gráfica 15, 16, 17, 18, 19 y 20, nos referimos al siguiente procedimiento:

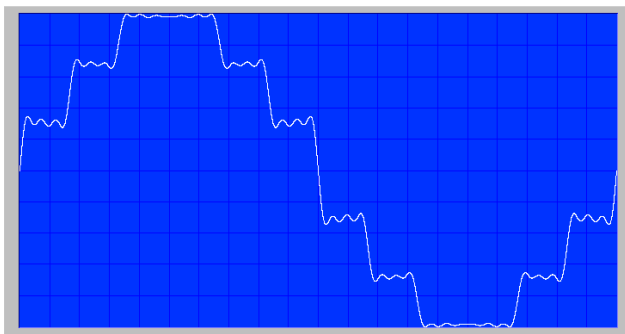
1. Se accede a la pantalla Waveform Editor e ingresamos los valores de la tabla 8-4, 8-5, 8-6, 8-7, 8-8, 8-9 y 8-10, obteniendo en la ventana de simulación la formas de ondas presentadas en las siguientes gráficas.



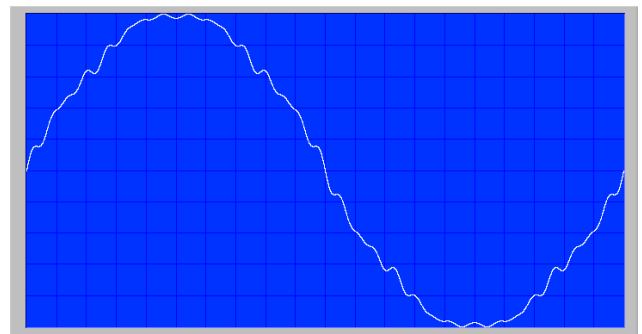
(a) Forma de onda US1



(b) Forma de onda US2



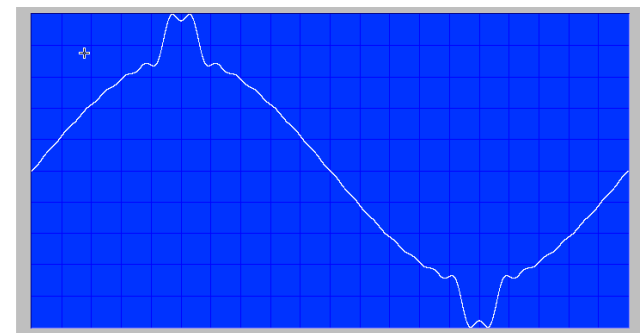
(c) Forma de onda US3



(d) Forma de onda US4



(e) Forma de onda US5

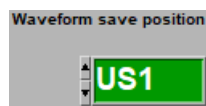


(f) Forma de onda US6

**Gráfica 28:** Forma de onda de salida programada en la pantalla Waveform Editor.

**FUENTE:** Software SoftPanel.

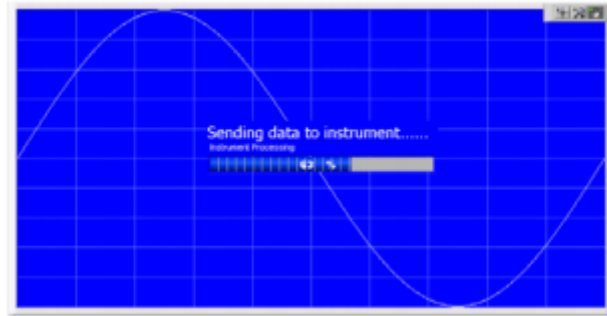
2. En cada forma de onda programada se especifica la posición de guardado, que va desde US1 hasta US2 respectivamente.



**Gráfica 29:** Posición de guardado de cada forma de onda programada.

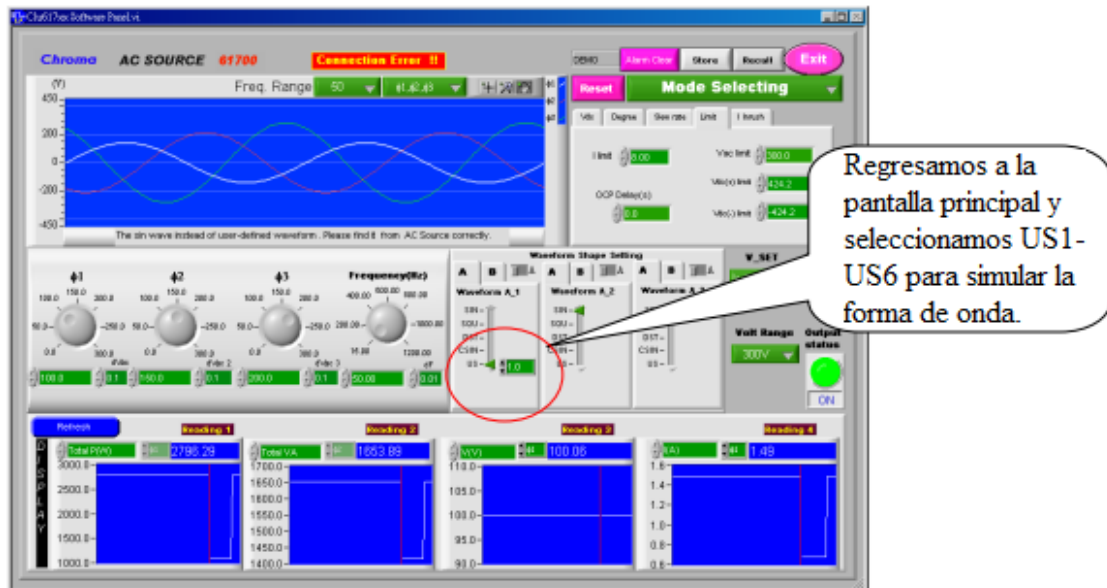
**FUENTE:** Software SoftPanel.

3. Así mismo, para cada posición pulsamos SEND para enviar y grabar los datos. En la pantalla se presentará un mensaje de envío, como se observa en la gráfica 30.



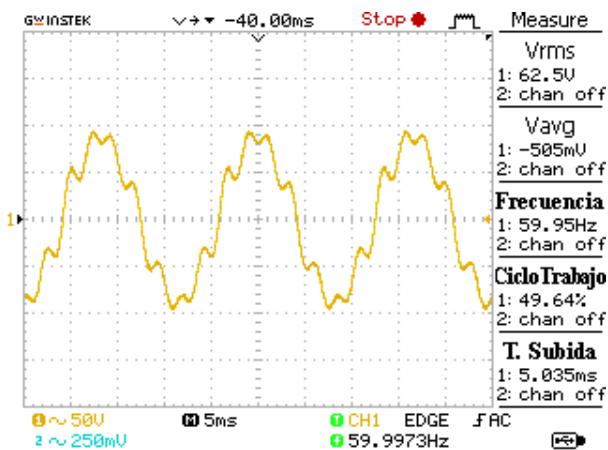
Gráfica 30: Detalle de pantalla de envío de datos.  
FUENTE: Software SoftPanel.

4. Luego, conectamos los equipos de medición como son el osciloscopio y el analizador.
5. Para ejecutar a la salida de la fuente las formas de ondas programadas regresamos a la pantalla principal y seleccionamos US1, US2, respectivamente, como se observa en la gráfica 31.

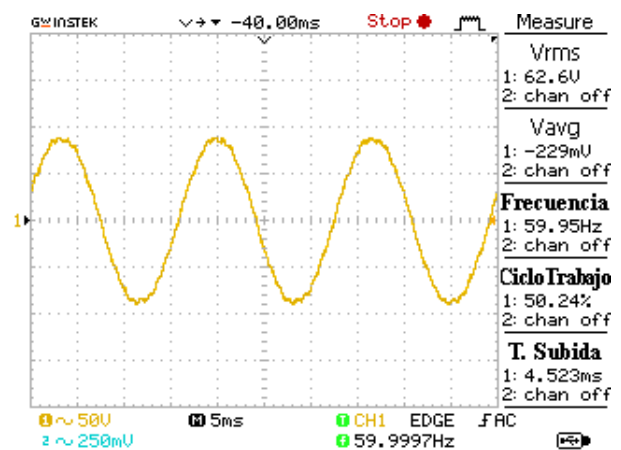


Gráfica 31: Detalle para la simulación de las formas de onda.  
FUENTE: Software SoftPanel.

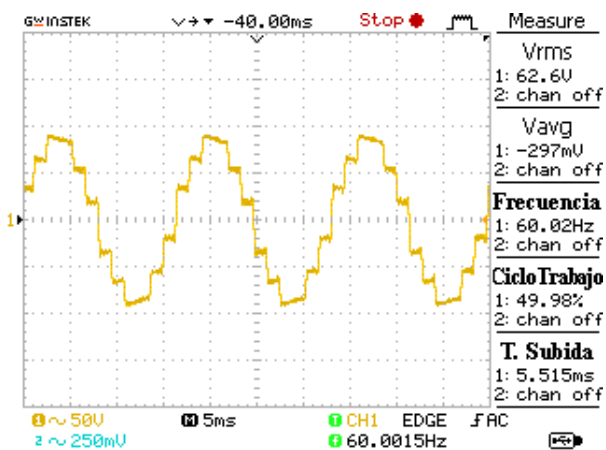
6. Por último, realizamos la obtención de las formas de ondas programadas con los equipos de medición, como se observa en las siguientes gráficas 32.



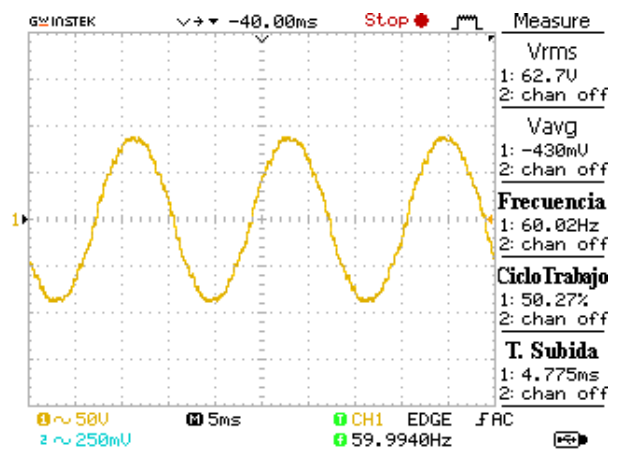
(a) Forma de onda US1



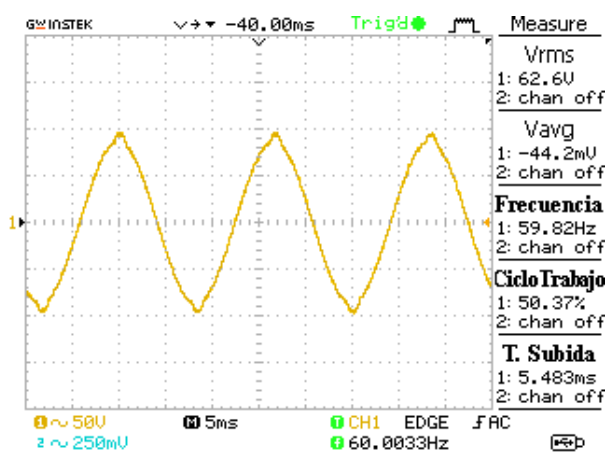
(b) Forma de onda US2



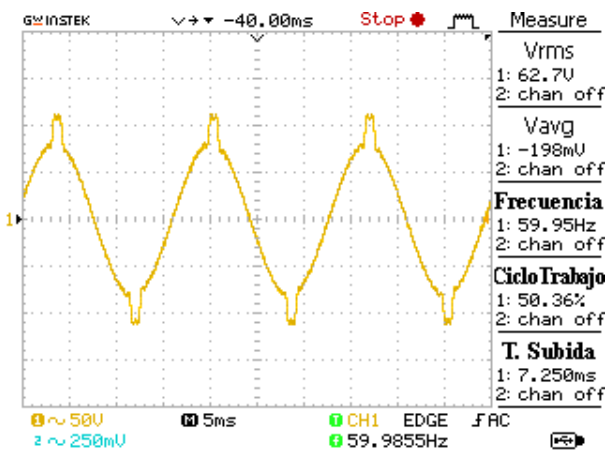
(c) Forma de onda US3



(d) Forma de onda US4



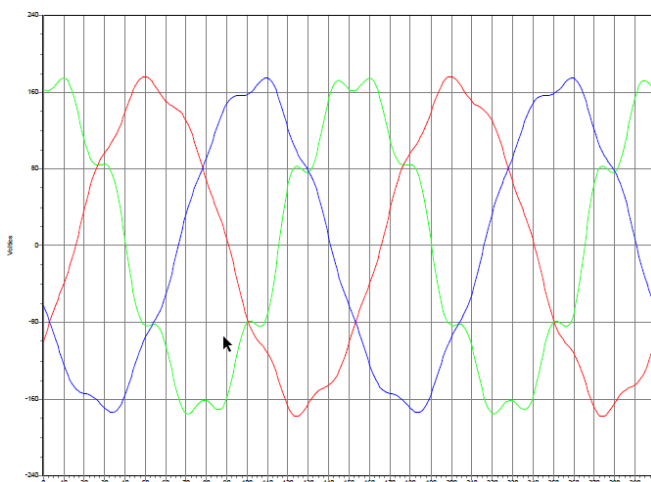
(e) Forma de onda US5



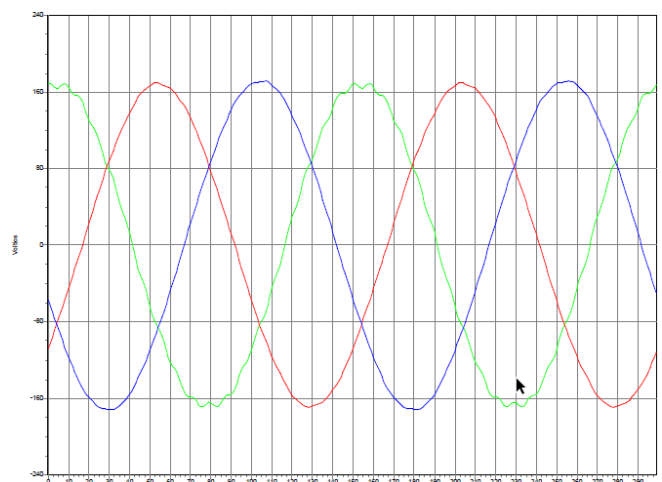
(f) Forma de onda US6

Gráfica 32: Forma de onda de salida obtenidas con el osciloscopio, programada en la pantalla Waveform Editor.

FUENTE: Osciloscopio.

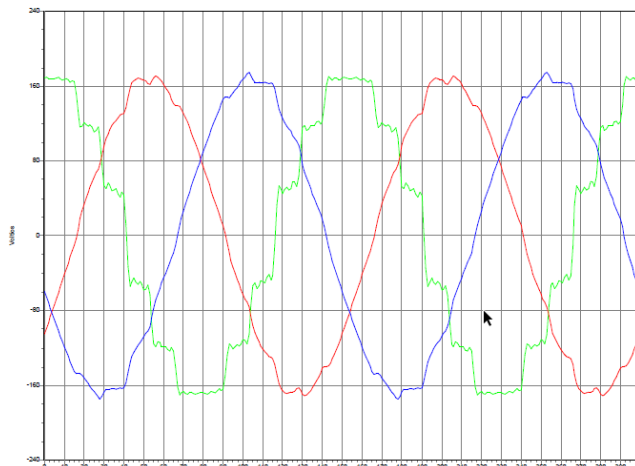


(a) Forma de onda US1

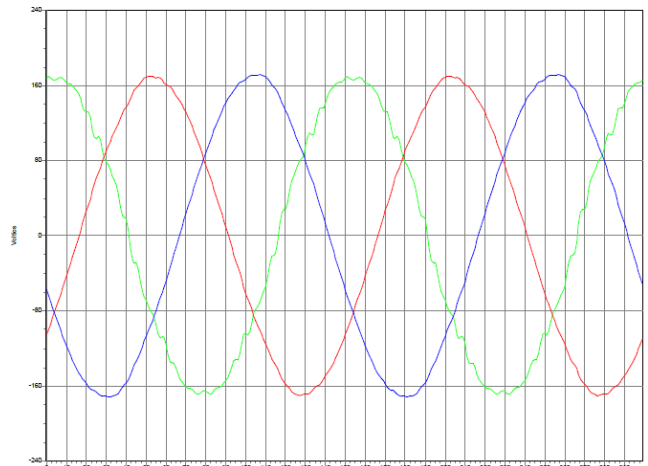


(b) Forma de onda US2

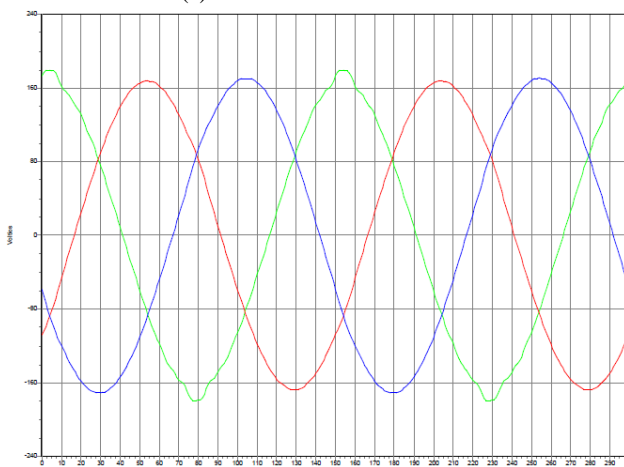




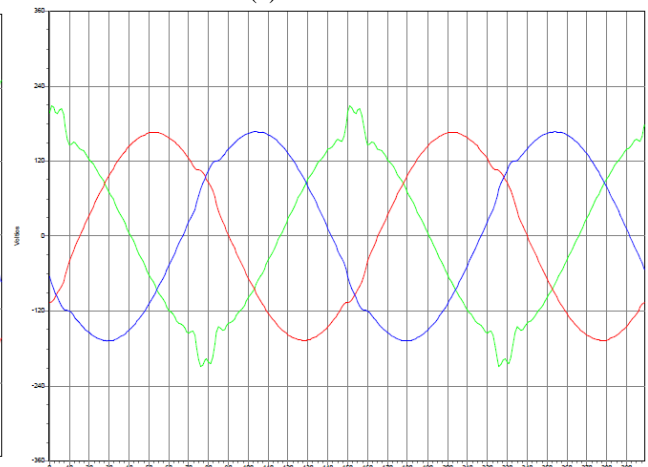
(c) Forma de onda US3



(d) Forma de onda US4



(e) Forma de onda US5



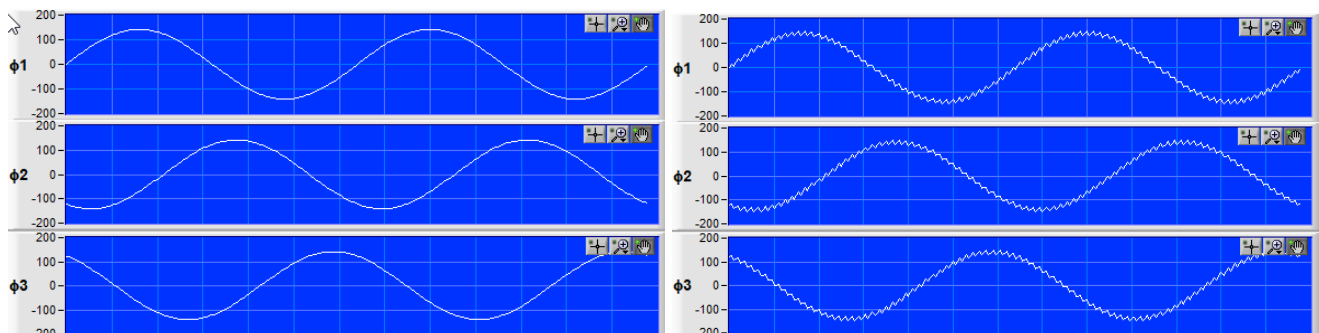
(f) Forma de onda US6

**Gráfica 33:** Forma de onda de salida obtenidas con el osciloscopio del Fluke, programada en la pantalla Waveform Editor.  
**FUENTE:** Power Log Classic.

• **Resultados actividad 5.**

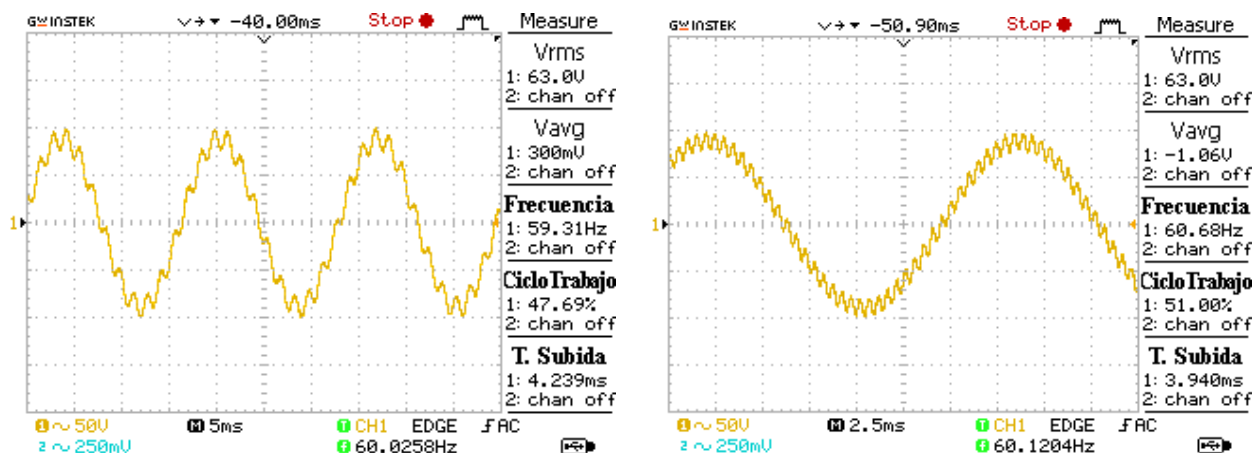
Para programar la pantalla de interharmonics, nos referimos al siguiente procedimiento:

1. Ingresamos los valores nominales de voltaje y frecuencia en la pantalla principal.
2. Luego accedemos a la pantalla Interharmonics e ingresamos los valores de la tabla 8-11.
3. Para iniciar con el funcionamiento en la pantalla Interharmonics, primero presionamos el botón **Output State (On)** y se obtendra a la salida una forma de onda normal con los valores nominales (120 V, 60 Hz). Para generar la simulación dinámica pulsamos el botón **Trig On**, e iniciara la simulación dinámica con un barrido de frecuencia.



**Gráfica 34:** Forma de onda de salida programada en la pantalla Interharmonics.  
**FUENTE:** Software SoftPanel.

4. Después, conectamos los equipos de medición como son el osciloscopio y el analizador.
5. Por último, realizamos la obtención de la forma de onda programada con los equipos de medición, como se observa en la gráfica 35.



Gráfica 35: Forma de onda de salida obtenidas con el osciloscopio, programada en la pantalla Interharmonics.

FUENTE: Osciloscopio.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS:

- Para esta práctica de acuerdo con los resultados obtenidos se observa cómo, cada una de las funciones que presenta la fuente AC, nos permite realizar diferentes configuraciones que más adelante serán de gran utilidad para programar las distintas perturbaciones.
- Las gráficas obtenidas son una muestra para verificar que la forma de onda que se está midiendo es la misma la que se está simulando, por lo que no presenta mucha diferencia en cuanto a las gráficas obtenidas con el osciloscopio y la función osciloscopio del analizador de redes (Fluke 435).

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- Con la realización de esta práctica lo que se logra es de que los estudiantes conozcan la configuración de los equipos que se utilizaran para realizar las posteriores prácticas, por ende, también fue importante conocer las partes que componen a cada equipo.
- También a través de esta práctica se aprendió a configurar de manera general los softwares para la programación de la fuente, y el software para la obtención de los datos medidos que serán de gran ayuda para el análisis de las siguientes prácticas
- Como recomendación general, para conectar los equipos es importante realizar sin la alimentación de la fuente para evitar cualquier tipo de accidente.

## 7. BIBLIOGRAFÍA:

- [1] Manual "AC Power Source MODEL 6500 SERIES PROGRAMMABLE AC POWER SOURCE MODEL 6500 SERIES," no. 61701, pp. 61702–61705.
- [2] Fluke Corporation, "Manual Fluke 434-II/435-II/437-II," p. 182, 2012.

**CARRERA:** Ingeniería Eléctrica.

**LABORATORIO DE:** Calidad de energía eléctrica.

**NRO. PRÁCTICA:** 2

**TÍTULO PRÁCTICA:** Medición de transitorios.

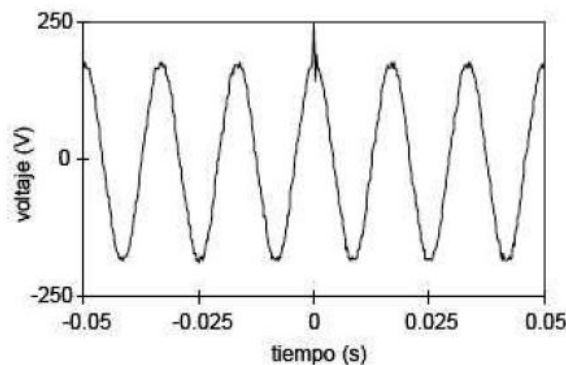
## 1. INTRODUCCIÓN:

### TRANSITORIOS.

Un transitorio es un fenómeno de alta magnitud y corta duración que se caracteriza por tener un gran contenido de componentes de alta frecuencia, su representación es caracterizada por su duración en el tiempo. En referencia a la Norma IEEE std 1159-2019 existen dos tipos de transitorios que son: transitorios impulsivos y transitorios oscilatorios.

#### TRANSITORIOS IMPULSIVOS.

Los transitorios impulsivos son fenómenos instantáneos de corta duración que se presentan en la señal de voltaje y corriente y su polaridad es unidireccional que puede ser positivo o negativo. Se caracteriza por su tiempo de subida y tiempo de decadencia en donde la causa principal de los transitorios impulsivos son los rayos. En la figura 3.a se observa la forma de onda de un transitorio impulsivo de voltaje.

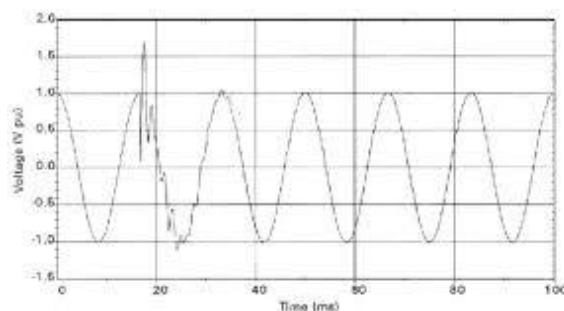


*Figura 3.a: Transitorio impulsivo de voltaje.*

FUENTE: [1].

#### TRANSITORIOS OSCILATORIOS.

Los transitorios oscilatorios son fenómenos instantáneos de corta duración que se presenta en la señal de voltaje y corriente con polaridad positiva y negativa. Como ejemplo en la figura 3.b se observa la forma de onda cuyo transitorio se origina por la energización de un banco de condensadores.



*Figura 3.b: Transitorio oscilatorio.*

FUENTE: <https://unac.edu.pe/documentos/organizacion/vri/cdcitra>

## 2. ALCANCE DE LA PRÁCTICA:

Con la implementación de esta práctica se pretende que los estudiantes refuercen sus conocimientos referentes a los transitorios de voltaje, además comprender el funcionamiento y configuración de la fuente variable AC para que con ayuda del software SoftPanel se pueda simular los transitorios de voltaje, así mismo aprender a utilizar y configurar el analizador de redes (FLUKE 435) para realizar la medición de este fenómeno y poder generar informes a través del software Power Log Classic.

## 3. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA:

- Realizar la programación en la fuente AC (Chroma modelo 61702) para simular los transitorios de voltaje.
- Realizar las conexiones y configuraciones adecuadas de los equipos de medición y simulación.
- Obtener gráficos, diagramas e informes de calidad una vez realizado las mediciones.
- Evaluar y analizar los transitorios de voltaje de acuerdo a las normas vigentes expuestas.

## 4. MATERIALES:

Los materiales que se utilizan para el desarrollo de esta práctica son:

- Fuente programable CA (Model Chroma 61702).
- Medidor de calidad de energía eléctrica (Fluke 435).
- Osciloscopio.
- Carga (Motor trifásico).
- Multímetro digital.
- Cables de conexión.

## 5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA:

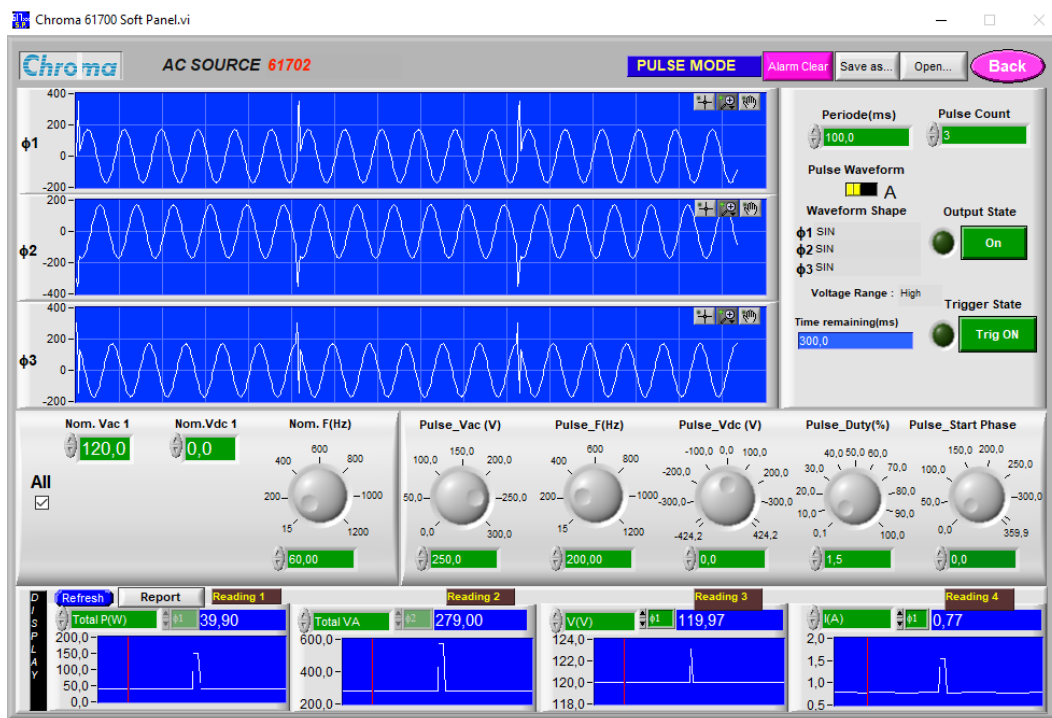
Para el desarrollo de la práctica de medición de transitorios se realiza por etapas con la finalidad de cumplir los objetivos planteados, es por eso que primero se inicia con la programación de la fuente AC para obtener la señal de tensión con los transitorios deseados, luego se realiza la medición con el analizador de redes y el osciloscopio para analizar el comportamiento de los parámetros eléctricos al percibir este fenómeno, y a través de la norma ecuatoriana y normas internacionales conocer los límites de medida cuando se produce un transitorio.

### a) Programación de la fuente AC para simular un transitorio.

Antes de iniciar con la programación realizamos la conexión y comprobación de los equipos de medición y simulación. Para realizar la programación utilizaremos la pantalla de control Pulse Mode del software SoftPanel, en donde ingresamos los valores de la siguiente tabla 2.A, para obtener el transitorio de voltaje como se observa en la gráfica 36.

*Tabla 2.A: Valores de entrada para la programación del transitorio.*

PARÁMETRO	VALOR
Nom. Vac 1	120
Nom. F(Hz)	60
Pulse_Vac (V)	250
Pulse_F(Hz)	100
Pulse_Duty(%)	1,5
Periode (ms)	100
Pulse Count	3



Gráfica 36: Detalle forma de onda con transitorios.  
FUENTE: Software SoftPanel.

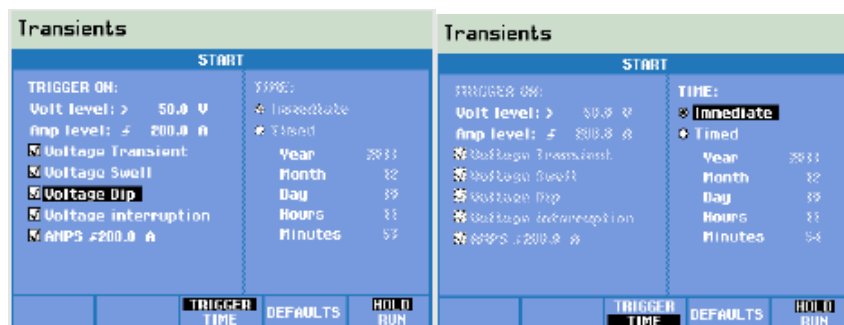
Una vez obtenida la forma de onda de salida con los transitorios realizamos la configuración del analizador para obtener correctamente las mediciones, como ya se había explicado en el capítulo 4 el analizador ofrece varias funciones para realizar mediciones en donde cada función esta predefinida para tener una mejor representación de los resultados. Sin embargo, si el usuario desea, puede realizar configuraciones adicionales para determinados casos.

Por lo tanto, para realizar la medición de esta práctica utilizaremos la función transitorios del analizador.

### b) Modo transitorios del analizador.

Los transitorios son picos rápidos que se presentan en la forma de onda de la tensión, por eso el analizador ofrece la función de transitorios el cual utiliza un ajuste especial de su circuito para capturar señales de hasta 6 kV de amplitud. El panel de transitorios tiene una forma similar a la de un osciloscopio la única diferencia es que la sección vertical esta ampliada para capturar los picos de tensión que se superponen en la onda sinusoidal de tensión de 50 o 60 Hz.

Para acceder a este modo pulsamos la tecla menú e inmediatamente se despliega una ventana con varias funciones en donde seleccionamos Transitorios, al ingresar a esta función antes de realizar cualquier medición se presentará una pantalla de configuración como el de la gráfica 37.



Gráfica 37: (a) Configuración del parámetro de activación. (b) Configuración del tiempo de medición.  
FUENTE: Analizador de redes Fluke 435.

En la gráfica 37.a se puede elegir el evento de activación o una combinación de eventos que el usuario desee, para capturar formas de onda cuando lo detecte, dichos eventos pueden ser: transitorio de tensión, subida de tensión, caída de tensión, interrupción de tensión y subidas de corriente, estas caídas y subidas de tensión son desviaciones rápidas con respecto a la tensión nominal. Y en la gráfica 37.b se realiza la configuración del tiempo de medición el cual puede ser inicio inmediato (Immediate) o inicio temporizado (Timed).

Las teclas de función disponibles para el modo transitorios son:

Tecla	Descripción
F1	Cambio entre los modos forma de onda de voltaje, forma de onda de corriente.
F2	Permite acceder a la pantalla de multímetro.
F3	Permite acceder al menú de cursor y zoom.
F4	Permite acceder al menú de eventos. Se muestra el número de eventos registrados.
F5	Permite el cambio de modo HOLD (detención) a modo RUN (ejecución) de la medición.

### c) Funcionamiento.

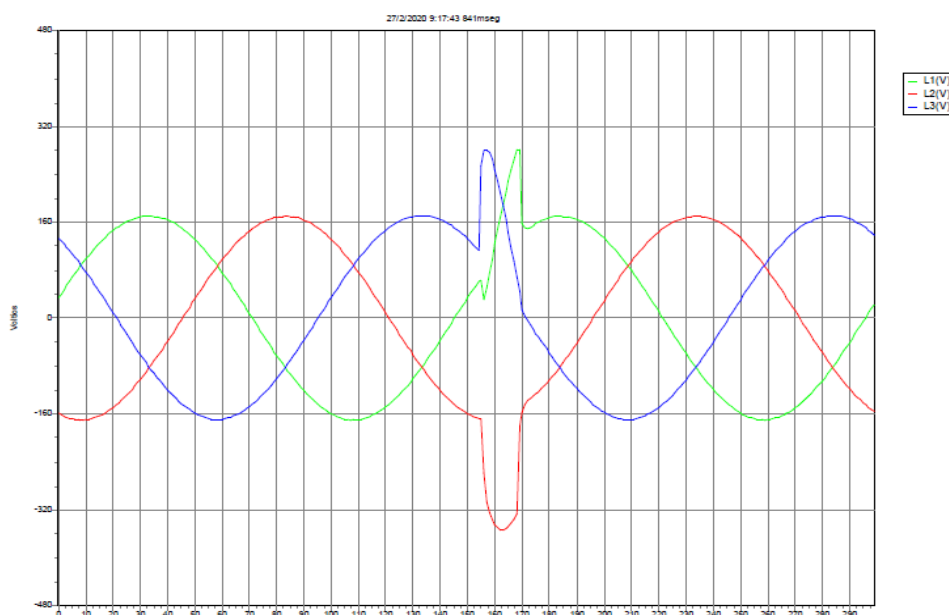
Para iniciar con el funcionamiento, primero presionamos el botón **Output State (On)** y se obtendrá a la salida una forma de onda con los valores nominales (120 V, 60 Hz) que fueron establecidos en la pantalla principal. Para generar la onda con los transitorios programados (gráfica 36) pulsamos el botón **Trig On** y luego de un determinado tiempo (ms) de duración del transitorio, la señal vuelve a su valor normal.

### d) Resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos al realizar la medición de los transitorios se presentan a continuación en las siguiente informe de gráficas.

- **Forma de onda de voltaje.**

En la gráfica 38 se observa la forma de onda de la tensión con los picos transitorios obtenidos con el analizador.

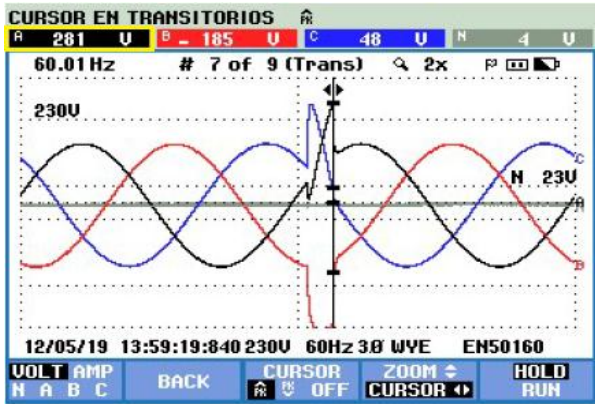


**Gráfica 38:** Forma de onda de voltaje con fenómenos transitorios.

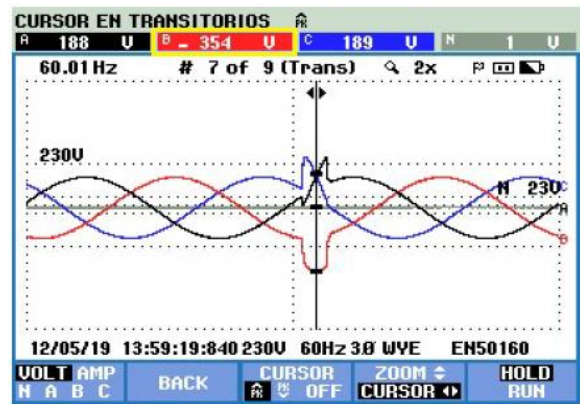
**FUENTE:** Software Power Log Classic.

- Niveles de voltaje transitorios.

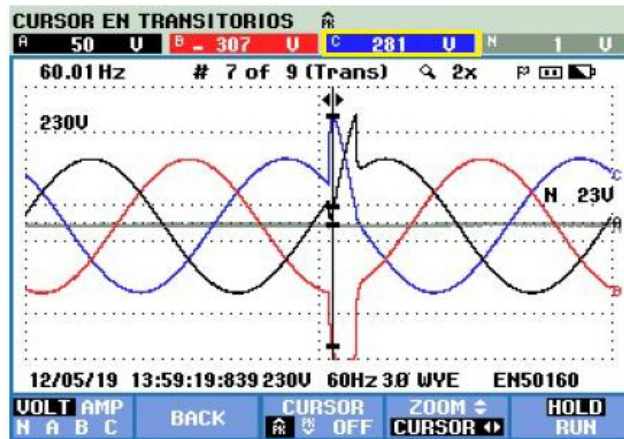
A continuación, en la siguiente gráfica 39 se observa la magnitud del voltaje que alcanza al presentarse un transitorio.



(a) Voltaje transitorio L1



(b) Voltaje transitorio L2



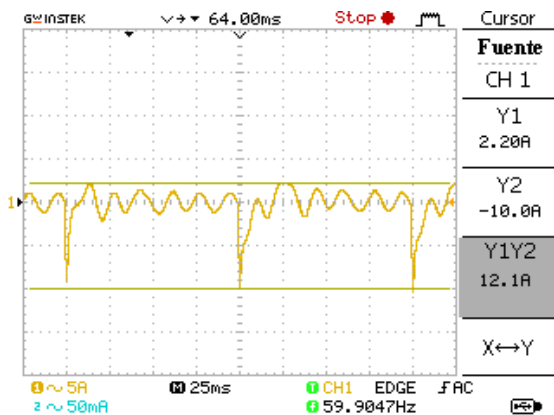
(c) Voltaje Transitorio L3

Gráfica 39: Nivel de voltaje transitorio.

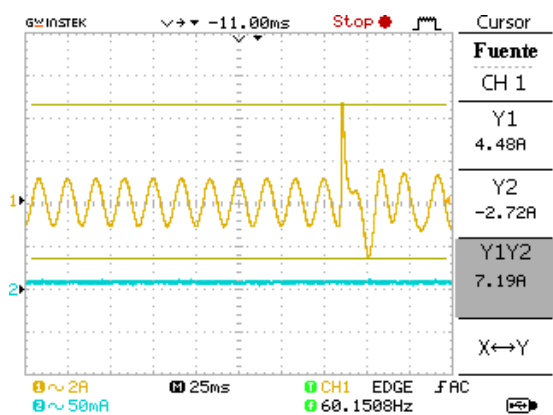
FUENTE: Software Power Log Classic.

- Niveles de corrientes transitorios.

En las siguientes graficas se presentan los valores que alcanza la corriente de la carga, por la presencia de estos transitorios.

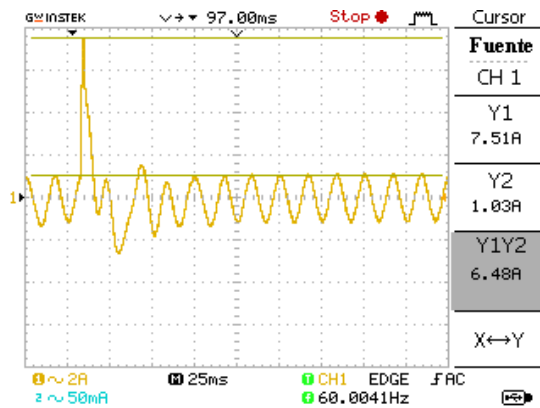


(a) Corriente transitorio L1



(b) Corriente transitorio L2

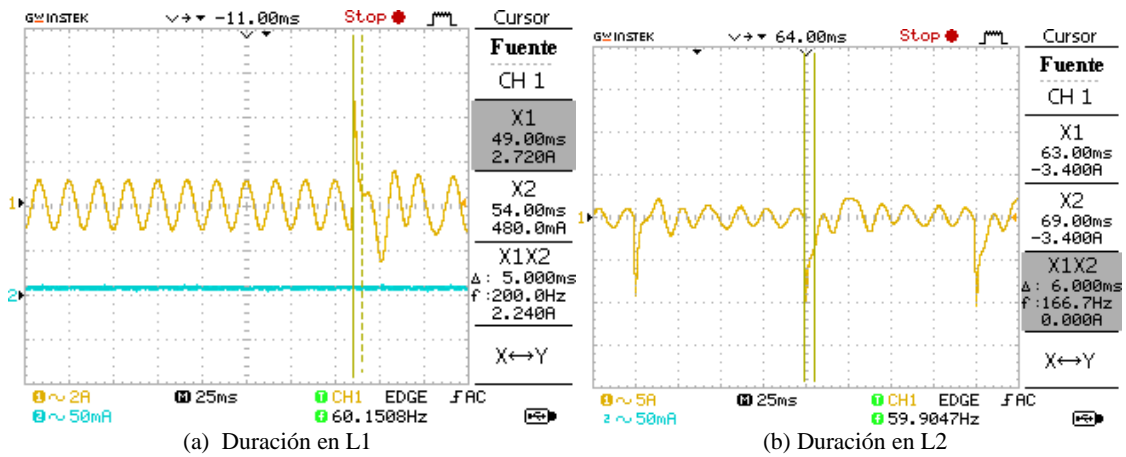




(c) Corriente transitorio L3

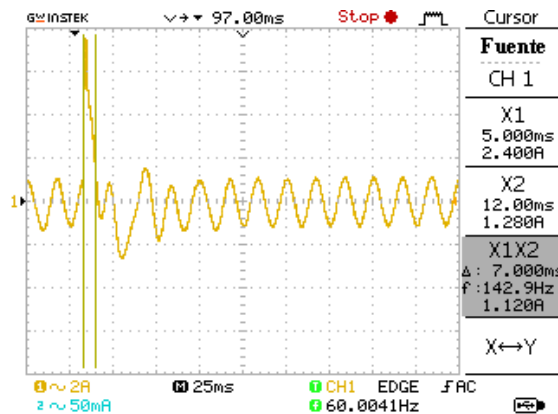
**Gráfica 40:** (a) Forma de onda de la corriente transitoria.  
FUENTE: Osciloscopio.

La duración en el tiempo de estos transitorios se presenta a continuación en la gráfica 41.



(a) Duración en L1

(b) Duración en L2



(c) Duración en L3

**Gráfica 41:** (a) Duración en el tiempo del fenómeno transitorio en la forma de onda de salida de la corriente.  
FUENTE: Osciloscopio.



## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS:

Para el estudio de estos fenómenos, para identificar qué tipo de transitorio se presenta en la forma de onda de voltaje o corriente se analiza en función del tiempo, para lo cual se toma a consideración la siguiente norma.

- **IEEE std 1159-2019.**

Esta norma como ya se había explicado en el capítulo 3 clasifica a los transitorios en impulsivos y oscilatorios. A continuación, en la siguiente tabla se observa la clasificación de los transitorios de acuerdo a la duración.

CATEGORÍA	CONTENIDO TÍPICO ESPECTRAL	DURACIÓN	MAGNITUD TÍPICA TENSIÓN
<b>TRANSITORIOS</b>			
<b>IMPULSOS:</b>			
Nanosegundos	5ns de elevación	< 50 ns	
Microsegundos	1us de elevación	50ns – 1ms	
Milisegundos	0.1 ms de elevación	> 1 ms	
<b>OSCILATORIOS:</b>			
Baja frecuencia	< 5 kHz	0.3 – 50 ms	0 – 4 pu
Frecuencia media	5 – 500 kHz	20us	0 – 8 pu

La norma ecuatoriana de “Calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica” 005/18, no hace referencia a los fenómenos transitorios.

El fenómeno transitorio simulado corresponde a un transitorio impulsivo que es mayor a 1 ms con una magnitud típica de tensión de 0 a 4 pu.

## • CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- Con la ejecución de esta práctica es para conocer y ampliar los conocimientos de los estudiantes relacionados con los fenómenos transitorios y de esta manera estudiar y analizar a este fenómeno tomando como base la norma expuesta.
- Otro de los propósitos que se logró con la realización de esta práctica fue aprender a simular formas de onda de tensión con picos transitorios en la fuente programable AC, y después configurar el analizador para realizar la medición con la función de transitorios.
- Los fenómenos transitorios en la calidad de la energía eléctrica se consideran los más perjudiciales para los equipos que se encuentran conectados en la red de distribución, debido a que estas perturbaciones se presentan a frecuencias distintas de la frecuencia fundamental y son aleatorias por lo que en muchos casos son muy difíciles de detectar, necesitando para ello de equipos de alta resolución que realizan mediciones en tiempo real.
- Las mediciones de estos fenómenos se realizan para efectuar una adecuada coordinación de protecciones en los sistemas eléctricos de potencia, buscando mitigar los daños en los equipos eléctricos como cables, transformadores, motores entre otros.
- Como recomendación general, para conectar los equipos es importante realizar sin la alimentación de la fuente para evitar cualquier tipo de accidente.

## **7. BIBLIOGRAFÍA:**

- [1] M. Angel and S. Cortés, "Instituto Tecnológico de Puebla Calidad de la Energía Eléctrica," 2009.
- [2] IEEE Std 1159-2019 (Revision of IEEE Std 1159-2009), *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, vol. 2019. 2019.
- [3] Manual "AC Power Source MODEL 6500 SERIES PROGRAMMABLE AC POWER SOURCE MODEL 6500 SERIES," no. 61701, pp. 61702–61705.
- [4] Fluke Corporation, "Manual Fluke 434-II/435-II/437-II," p. 182, 2012.

**CARRERA:** Ingeniería Eléctrica.

**LABORATORIO DE:** Calidad de energía eléctrica.

**NRO. PRÁCTICA:**

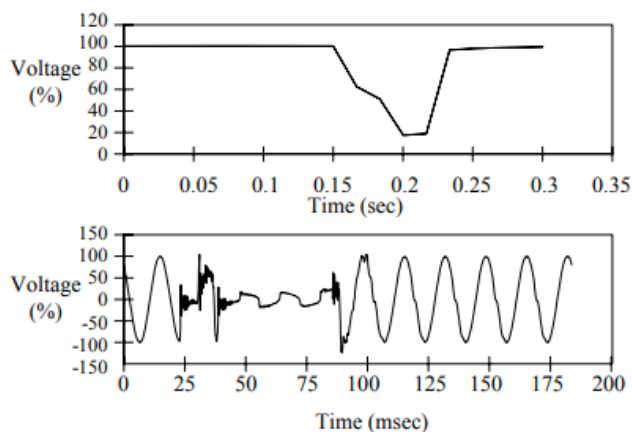
3

**TÍTULO PRÁCTICA:** Medición de depresiones de tensión (Sag o Dip).

## 1. INTRODUCCIÓN:

### a) Depresiones de tensión.

Las depresiones de voltaje se conocen como la disminución del valor rms de su valor nominal, de acuerdo con la norma IEEE std 1159-2019 este valor puede caer entre 0.1 y 0.9 pu con una duración comprendida entre medio ciclo y 1 minuto. En la figura 3.a se observa una caída típica de tensión al presentarse una falla de línea a tierra.



*Figura 3.a: Caída de tensión instantánea causada por una falla SLG.*

**FUENTE:** [2].

Generalmente las causas de las depresiones de voltaje se dividen en tres áreas de ocurrencia: el sistema de transmisión, los sistemas de distribución y en los puntos de utilización, en donde la causa más común en estas tres áreas es el cambio del flujo de corriente en la impedancia de la fuente al producirse un cortocircuito o la salida y arranque de cargas grandes como motores eléctricos y hornos de arco [1].

Aproximadamente el 70 % de las fallas que provocan depresiones de voltaje son ocasionadas por descargas atmosféricas, por el contacto con árboles y animales, accidentes, sobrecarga, conexión de transformadores, entre otros. Una caída de tensión por debajo del valor nominal con un periodo de duración de varios ciclos puede provocar que algunas cargas críticas salgan de operación, no obstante, algunas cargas son controladas electrónicamente para que cuando existe un nivel de voltaje del 20% por debajo del nivel nominal automáticamente la carga saldrá de operación [1].

Una depresión de voltaje es más visible en comparación a una sobretensión, en la iluminación una depresión con un periodo mayor a 3 ciclos produce una disminución de la luminosidad sobre todo en lámparas incandescentes, mientras que en computadoras pueden producirse pérdidas o incompleción de datos almacenados en la memoria. Otro tipo de cargas que sufren daños por la presencia de interrupciones son los transformadores, motores de inducción, motores síncronos, sistemas de control, convertidores electrónicos, entre otros [1].

## 2. ALCANCE DE LA PRÁCTICA:

Con la implementación de esta práctica se pretende que los estudiantes refuercen sus conocimientos referentes a las depresiones de voltaje, así mismo comprender el funcionamiento y configuración de la fuente AC para que con la ayuda del software SoftPanel se puedan simular las depresiones de voltaje, y sobre todo aprender a utilizar y configurar el analizador de redes para realizar la medición de este fenómeno y poder generar informes de calidad a través del software Power Log Classic.

### • OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA:

- Realizar la programación en la fuente AC (Chroma Modelo 61702) para simular las depresiones de voltaje.
- Realizar las conexiones y configuraciones adecuadas de los equipos de medición y simulación.
- Obtener gráficos, diagramas e informes de calidad una vez realizado las mediciones.
- Evaluar y analizar las depresiones de voltaje de acuerdo a las normas vigentes expuestas.

## 3. MATERIALES:

Los materiales que se utilizan para el desarrollo de esta práctica son:

- Fuente programable CA (Modelo Chroma 61702).
- Medidor de calidad de energía eléctrica (Fluke 435).
- Osciloscopio.
- Carga (Motor trifásico).
- Multímetro digital.
- Cables de conexión.

## 4. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA:

Para desarrollar la práctica de medición de depresiones de voltaje se realiza por etapas para cumplir los objetivos planteados, cada etapa lleva a comprender los equipos y softwares que se utilizan tanto para la simulación como para la medición de este fenómeno y una vez obtenido los datos a través de la regulación ecuatoriana y normas internacionales conocer los límites que se deben cumplir cuando se manifiestan las depresiones de voltaje y en base a eso obtener las conclusiones.

### a) Programación de la fuente AC para simular un transitorio.

Antes de realizar la programación realizamos la conexión entre la fuente y PC, luego accedemos al software SoftPanel de Chroma hasta localizarnos en la pantalla de modo fijo o pantalla principal, hacemos clic en la opción de *Mode Selecting* se desplaza una pantalla con varias funciones de las cuales seleccionamos la función LIST MODE

Para la programación se tiene como valores nominales una amplitud de 120 V y frecuencia de 60 Hz, cuyos valores son ingresados en la pantalla principal del software SoftPanel.

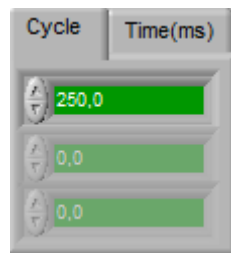
Los niveles de voltaje y el tiempo de duración para la programación de este fenómeno se presentan en la tabla 3.A.

**Tabla 3.A:** Valores de entrada para la programación de la depresión de voltaje.

Variable	Valor
Nom. Vac 1,2,3	120 V
Nom. F(Hz)	60 Hz
Sequense	0
Vac start (V)	70, 80, 90, 100 V
Vac end (V)	70, 80, 90, 100 V
F start (Hz)	60 Hz
F end (Hz)	60 Hz
Count for all	1
Tiempo (cycle)	15, 30, 100, 250 ciclos

Las variables *Nom. Vac* y *Nom. F(Hz)* representan los valores nominales del sistema que son establecidos en la pantalla principal y las variables *Vac start* y *Vac end* son los valores de tensión que se establecen para generar la perturbación y la variable *Count for all* represente el número de veces que se repite la perturbación si COUNT=0 la secuencia se vuelve infinita.

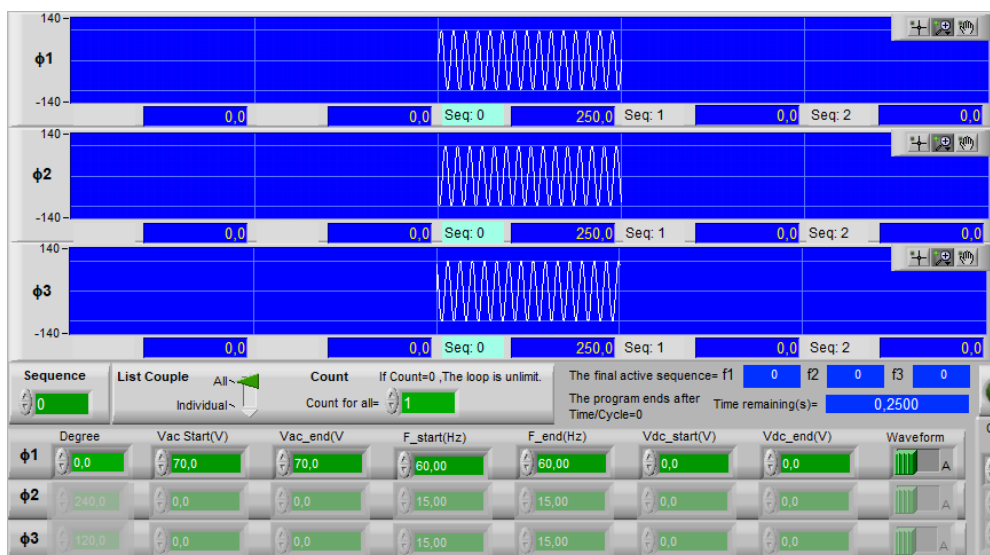
Para la simulación realizaremos 4 depresiones de voltaje con diferentes periodos de tiempo, donde la primera simulación la depresión de voltaje se reducirá hasta un valor de 70 V con una duración de 15 ciclos, 80 V con una duración de 30 ciclos y así sucesivamente con los demás valores. El periodo de duración de la perturbación se puede realizar en función del tiempo (ms) o en función del número de ciclos, como se observa en la gráfica 43.



**Gráfica 42:** Detalle para establecer el periodo de duración de la depresión de voltaje.

**FUENTE:** Software SoftPanel.

El detalle de la forma de onda de la depresión de voltaje programada se puede verificar en la ventana de simulación como se aprecia en la gráfica 44.



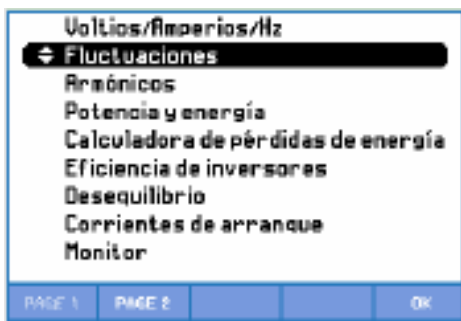
**Gráfica 43:** Detalle de la depresión de voltaje programada.

**FUENTE:** Software SoftPanel.

**b) Configuración del analizador para la medición de depresiones de voltaje.**

Antes de realizar la configuración del analizador, conectamos y verificamos los equipos de medición, simulación y carga cuyo montaje se presentó en la práctica 1. Con el fin de medir las depresiones de voltaje utilizaremos el modo Fluctuaciones del analizador (FLUKE 435).

Para acceder al modo luego de encender el analizador pulsamos la tecla menú e inmediatamente se despliega una ventana con varias funciones, a continuación, seleccionamos el modo *Fluctuaciones* como se observa en la gráfica 45.



**Gráfica 44:** Detalle de la selección del modo fluctuaciones para medir depresiones de voltaje.  
FUENTE: Analizador de redes Fluke 435.

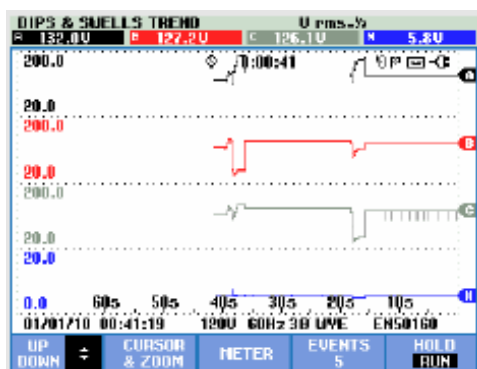
Al ingresar a este modo primero se realiza la configuración del evento o combinación de eventos que el usuario desee medir (gráfica 46.a), estos eventos pueden ser: transitorio de tensión, elevación de tensión, caída de tensión, y subidas de corriente, en este caso seleccionaremos la opción de *Voltaje Dip* para medir depresiones de voltaje.

También se realiza la configuración del tiempo para el inicio de la medición, por lo cual pulsamos la tecla F3 para acceder a esta función (gráfica 46.b), en la pantalla existen 2 formas para iniciar la medición que puede ser de manera inmediata (*Immediate*) o a través de un inicio temporizado (*Time*). Para el inicio temporizado se especifica el año, mes, día, horas y minutos para para el inicio de la medición, por lo que para esta práctica se selecciona la opción *Immediate* y al pulsar la tecla F5 (*RUN*) automáticamente comenzará con la medición.



**Gráfica 45:** (a) Detalle para la configuración del evento Voltaje Dip. (b) Detalle para la configuración del inicio del tiempo de medición de depresiones de voltaje.  
FUENTE: Analizador de redes Fluke 435.

Después de iniciar con la medición en la gráfica 47 se presenta la pantalla de tendencia para el modo fluctuaciones el cual indica el tiempo de medición con los eventos producidos.



Gráfica 46: Detalle de la pantalla de tendencia para la medición de depresiones de voltaje.  
FUENTE: Analizador de redes Fluke 435.

Las teclas de función disponibles para la pantalla de tendencia en el modo de fluctuaciones son:

Tecla	Descripción
F1	Cambio entre los modos forma de onda de voltaje, forma de onda de corriente.
F2	Permite acceder a la pantalla de multímetro.
F3	Permite acceder al menú de cursor y zoom.
F4	Permite acceder al menú de eventos. Se muestra el número de eventos registrados.
F5	Permite el cambio de modo HOLD (detención) a modo RUN (ejecución) de la medición.

### c) Funcionamiento.

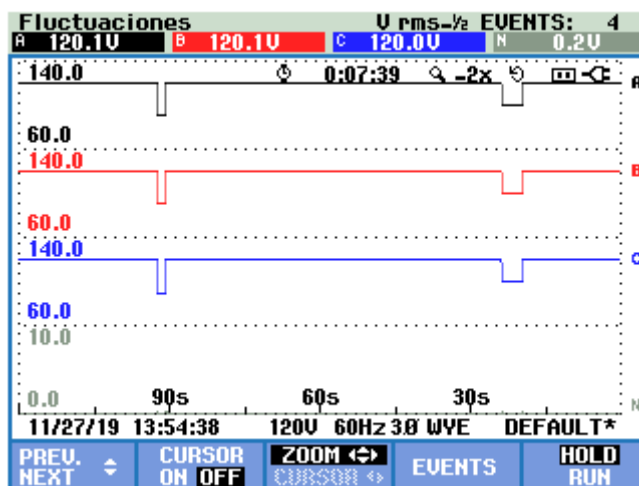
Una vez configurado los equipos de simulación y medición, hacemos clic en el botón **Output State (On)** y la carga se alimentará con los valores nominales (120 V, 60 Hz) que fueron ingresados en la pantalla principal. Para generar la distorsión que en este caso es una depresión de voltaje pulsamos el botón **Trig On** e inmediatamente se produce la depresión de voltaje, alrededor de un determinado tiempo (ms) o periodo (ciclos) la señal de tensión vuelve a su valor nominal, la duración de esta distorsión también depende del valor ingresado en **Count for all**, si el valor es cero la distorsión se vuelve infinito hasta pulsar nuevamente el botón **Trig Off**.

La medición se realiza en un tiempo aproximado de 10 minutos por lo que las depresiones de voltajes simulados con la fuente AC se registrarán con hora y fecha en la memoria del analizador, así mismo el número de eventos dependerá del número de perturbaciones que se presenten. Al finalizar la medición a través del software Power Log Calssic se imprimen los resultados obtenidos.

### d) Resultados obtenidos.

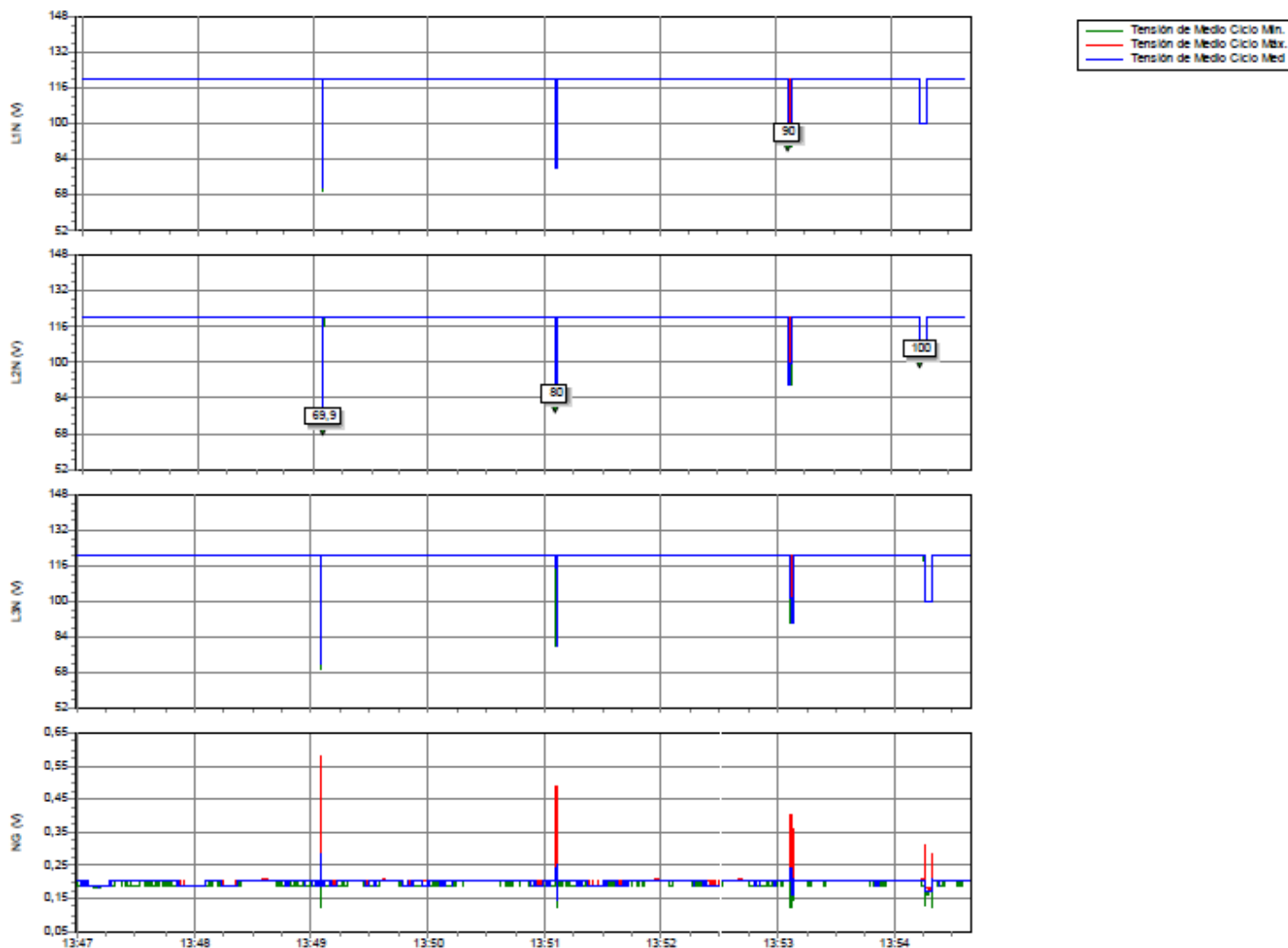
Los resultados obtenidos al realizar la medición de las depresiones de voltaje se presentan a continuación en el siguiente informe de gráficas y diagramas.

En la gráfica 48 se presenta la pantalla de tendencia en donde se muestra un resumen de las mediciones obtenidas, en esta pantalla se observa el voltaje de las líneas, el tiempo de medición (00:07:39), el número de eventos producidos (4), entre otros.



Gráfica 47: Detalle de la pantalla de tendencia del resultado de la medición de depresiones de voltaje.  
 FUENTE: Analizador de redes Fluke 435.

Los niveles de voltajes medidos con las caídas de voltaje se observan en la gráfica 49, este diagrama sirve para verificar los cambios que sufren los voltajes de línea, y los eventos producidos de una manera más detallada y clara a comparación de la pantalla de tendencia.



Gráfica 48: Detalle del voltaje de las líneas con la presencia de depresiones de voltaje  
 FUENTE: Software Power Log Classic.



En la siguiente gráfica 50 capturada desde el analizador, sirve para verificar el tiempo de duración de cada depresión de voltaje con la fecha y hora en que se produjo.

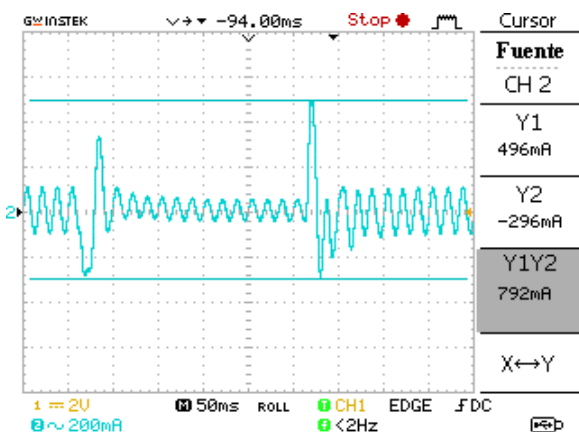
EVENTOS TIPO FLUCTUACIONES				
START 11/27/19 13:46:59		EVENT 1 / 4		
DATE	TIME	TYPE	LEVEL	DURATION
11/27/19	13:49:04:692	B DIP	69.9 U	0:00:00:265
11/27/19	13:51:05:916	B DIP	80.0 U	0:00:00:514
11/27/19	13:53:06:625	A DIP	90.0 U	0:00:01:678
11/27/19	13:54:15:158	B DIP	100.0 U	0:00:04:166

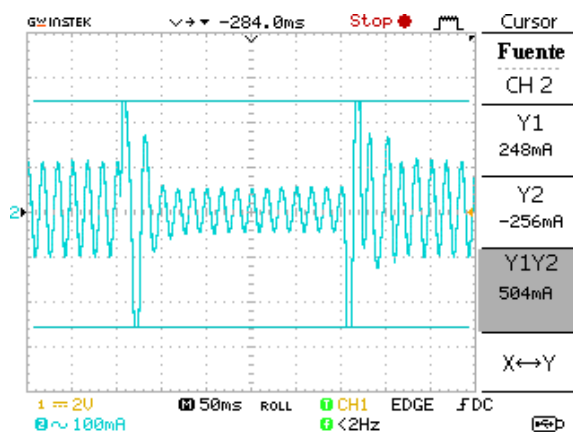
11/27/19	13:54:38	120V 60Hz 3Ø WYE	DEFAULT*
		NORMAL	BACK TREND
		DETAIL	

Gráfica 49: Pantalla con el detalle de las depresiones de voltaje producidas.  
 FUENTE: Analizador de redes Fluke 435.

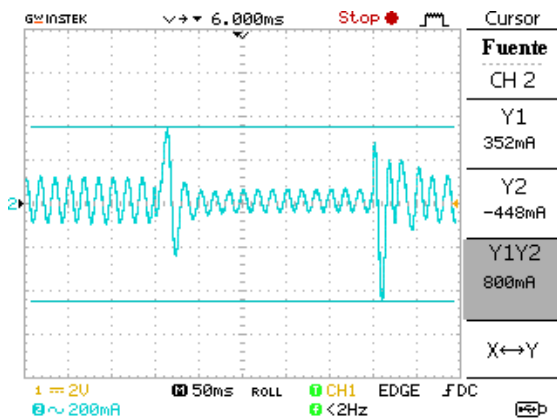
Al presentarse una depresión de voltaje, la corriente también sufre cambios por lo que en las siguientes gráficas se muestra la forma de onda de la corriente al experimentar una caída del voltaje nominal a un valor de 80 V con una duración de 15 ciclos que es igual a 250 milisegundos.



(a) Corriente L1



(b) Corriente L2



(c) Corriente L3

Gráfica 50: Forma de onda de la corriente al experimentar una caída de tensión.  
 FUENTE: Osciloscopio.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS:

Para determinar, clasificar y analizar una depresión de voltaje se tiene presente las siguientes normas.

- **NORMA IEEE std 1159-2019.**

De acuerdo con esta norma los valores de una depresión de voltaje se encuentran entre 0.1 pu a 0.9 pu del valor de la tensión nominal, con respecto a la duración las depresiones de voltaje pueden ser instantáneas con una duración de 0.5 a 30 ciclos, momentáneas con una duración entre 30 ciclos a 3 segundos y temporales con una duración de 3 segundos a 1 minuto. En el caso de una depresión de voltaje de larga duración, el tiempo de duración es mayor a 1 minuto y presenta valores de 0.8 pu a 0.9 pu.

Con respecto a esta norma y a los resultados obtenidos de las mediciones podemos clasificar a las depresiones de voltaje en función del tiempo de duración, como se presenta en la siguiente tabla 3.B.

*Tabla 3.B: Clasificación de las depresiones de voltaje.*

<i>Evento (#)</i>	<i>Nivel (Voltios)</i>	<i>Duración (segundos, milisegundos)</i>	<i>Tipo (Según IEEE-1159-2019)</i>
1	69.9	265 ms	Depresión de voltaje instantánea.
2	80	514 ms	Depresión de voltaje momentáneo.
3	90	1.678	Depresión de voltaje momentáneo.
4	100	4.166	Depresión de voltaje temporal.

- **NORMA EN 50160.**

Esta norma define que, cuando en la tensión de alimentación ocurre una caída de tensión toma valores menores al 60 % cuando la duración es menor a 1 minuto. Las caídas de tensión en sistemas de baja y media tensión toman valores del 10 al 50 % del valor nominal.

- **ARCONEL 005/18**

La regulación ecuatoriana ARCONEL 005/18 “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica” establece los indicadores, índices y límites para el servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica tanto para las empresas eléctricas como para los consumidores.

Una de las evaluaciones para la calidad del producto del servicio de la energía eléctrica es el **Nivel de Voltaje**.

El índice para determinar la calidad de voltaje en un punto del sistema de distribución es:

$$\Delta V_k = \frac{V_K - V_N}{V_N} \times 100 (\%)$$

Donde.

$\Delta V_k$ , variación del voltaje de suministro respecto al voltaje nominal en el punto  $k$ .

$V_k$ , voltaje de suministro en el punto  $k$ , determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 s) en un intervalo de 10 min.

$V_N$ , voltaje nominal en el punto  $k$ .

Los límites permitidos para las variaciones de bajo voltaje que establece la regulación es de  $\pm 8\%$  del nivel de tensión nominal. La distribuidora cumple con el índice del nivel de voltaje cuando el 95 % o más de los datos registrados de las variaciones de voltaje, en un periodo de evaluación de al menos 7 días cumple con el límite establecido.

## 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- Las caídas de tensión son los fenómenos más comunes en los sistemas de distribución eléctrica por lo que es importante conocer su comportamiento y su forma de medición para mitigar este problema.
- En la industria, es importante tener un control y protección contra este fenómeno, ya que una caída de tensión pueda ocasionar que algunos dispositivos de automatización salgan de operación o incluso tener errores en la transferencia de datos que ocasionarían pérdidas económicas.
- En general las caídas de tensión es un fenómeno que siempre están presentes en los sistemas de distribución, por lo que la empresa distribuidora busca reducir cumpliendo límites expuestos en las respectivas normas.
- En esta práctica lo que se aprendió es a utilizar la fuente AC para simular esta perturbación y a configurar el analizador de redes para medir y obtener los datos, de esta manera se ha logrado a reforzar los conocimientos y sobre todo conocer las normas que lo rigen.
- Para la conexión de los equipos se recomienda desconectar la fuente de alimentación para de esta manera evitar cualquier tipo de accidente.

## 7. BIBLIOGRAFÍA:

- [1] M. Angel and S. Cortés, "Instituto Tecnológico de Puebla Calidad de la Energía Eléctrica," 2009.
- [2] IEEE Std 1159-2019 (Revision of IEEE Std 1159-2009), *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, vol. 2019. 2019.
- [3] Manual "AC Power Source MODEL 6500 SERIES PROGRAMMABLE AC POWER SOURCE MODEL 6500 SERIES," no. 61701, pp. 61702–61705.
- [4] A. K. Henryk Markiewicz, "Perturbaciones de Tensión," *Leonardo Power Qual. Initiative*, 2004.
- [5] Fluke Corporation, "Manual Fluke 434-II/435-II/437-II," p. 182, 2012.

**CARRERA:** Ingeniería Eléctrica.

**LABORATORIO DE:** Calidad de energía eléctrica.

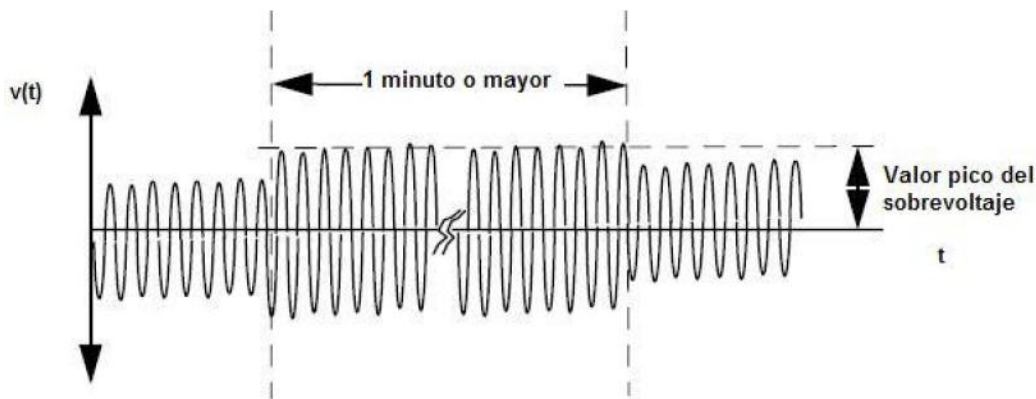
**NRO. PRÁCTICA:** 4

**TÍTULO PRÁCTICA:** Medición de elevaciones de voltaje (Swell).

## 1. INTRODUCCIÓN:

### ELEVACIONES DE VOLTAJE.

Las elevaciones de voltaje o también denominado sobrevoltajes momentáneos son incrementos cuyo valor se encuentra por arriba del 110% del voltaje nominal y tienen un tiempo de duración mayor a medio ciclo (8 ms) y menor a 1 minuto. Los valores típicos de elevaciones de voltaje están entre 1.1 pu y 1.8 pu. En la figura 4.a se puede apreciar la forma de onda cuando se presenta un sobrevoltaje.



*Figura 4.a: Forma de onda típica de un sobrevoltaje.*

**FUENTE:** [1].

Los sobrevoltajes ocurren con menos frecuencia que las depresiones de voltaje y principalmente son ocasionados por fallas en el sistema de potencia que pueden ser: fallas de línea a tierra incrementando el voltaje en las fases no falladas, en sistemas delta con tierra flotante donde el cambio repentino de referencia produce la elevación de voltaje en las fases no aterrizadas. Otras posibles causas que provocan estos fenómenos es el switcheo de cargas, la energización de bancos de condensadores grandes, la pérdida de una carga grande y el ajuste inadecuado de taps en los transformadores [1], [2].

En general la presencia de estos sobrevoltajes provoca la disminución de la vida útil de los motores y en el caso de las lámparas los filamentos, algunas soluciones para las sobretensiones es usar inductores durante condiciones de carga ligera o también ajustar adecuadamente los taps de los transformadores [1].

## 2. ALCANCE DE LA PRÁCTICA:

Con la implementación de esta práctica se pretende que los estudiantes refuercen sus conocimientos referentes a las elevaciones de voltaje, así mismo comprender el funcionamiento y configuración de la fuente AC (Chroma 61702) y con ayuda del software SoftPanel se pueda simular este fenómeno, y sobre todo aprender a utilizar y configurar el analizador de redes (FLUKE 435) para realizar la medición de estas sobretensiones y poder generar informes de calidad a través del software Power Log Classic.

• **OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA:**

- Realizar la programación en la fuente AC (Chroma Modelo 61702) para simular las elevaciones de voltaje.
- Realizar las conexiones y configuraciones adecuadas de los equipos de medición y simulación.
- Obtener gráficos, diagramas e informes de calidad una vez realizado las mediciones.
- Evaluar y analizar las elevaciones de voltaje de acuerdo a las normas vigentes expuestas.

**3. MATERIALES:**

Los materiales que se utilizan para el desarrollo de esta práctica son:

- Fuente programable CA (Model Chroma 61702).
- Medidor de calidad de energía eléctrica (Fluke 435).
- Carga (Motor trifásico).
- Multímetro digital.
- Cables de conexión.

**4. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA:**

Para desarrollar la práctica de medición de elevaciones de voltaje se realiza por etapas para cumplir los objetivos planteados, cada etapa lleva a comprender que equipos y softwares utilizaremos para la simulación y medición de este fenómeno y una vez obtenido los datos a través de la regulación ecuatoriana y normas internacionales conocer los límites que se deben cumplir cuando se manifiestan las sobretensiones y en base a esto obtener las conclusiones respectivas.

**a) Programación de la fuente AC para simular un transitorio.**

Antes de realizar la programación realizamos la conexión entre la fuente y PC, luego accedemos al software SoftPanel de Chroma hasta localizarnos en la pantalla de modo fijo o pantalla principal, hacemos clic en la opción de *Mode Selecting* y se desplaza una pantalla con varias funciones de las cuales seleccionamos la función LIST MODE.

Para la programación se tiene como valores nominales una amplitud de 120 V y frecuencia de 60 Hz, cuyos valores son ingresados en la pantalla principal del software SoftPanel.

Los niveles de voltaje y el tiempo de duración para la programación de este fenómeno se presentan en la tabla 4.A.

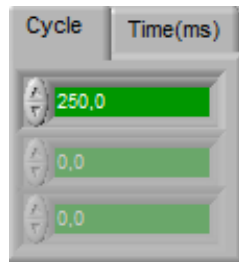
**Tabla 4.A:** Valores de entrada para la programación de la sobretensión.

<b>Variable</b>	<b>Valor</b>
Nom. Vac 1,2,3	120 V
Nom. F(Hz)	60 Hz
Sequense	0
Vac start (V)	140, 160, 180 V
Vac end (V)	140, 160, 180 V
F start (Hz)	60 Hz
F end (Hz)	60 Hz
Count for all	1
Tiempo (cycle)	30, 100, 250 ciclos

Las variables *Nom. Vac* y *Nom. F(Hz)* representan los valores nominales del sistema que son establecidos en la pantalla principal y las variables *Vac start* y *Vac end* son los valores de tensión que se presentarán al momento de

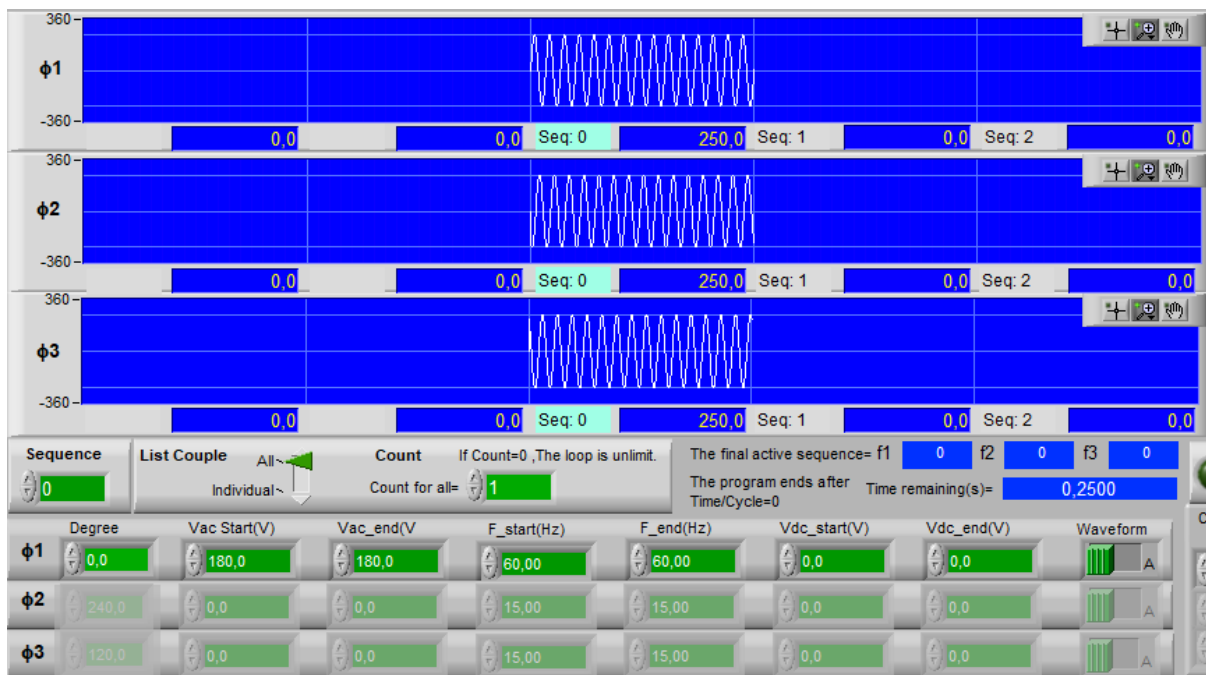
activar la perturbación, la variable *Count for all* representa el número de veces que se repite la perturbación si COUNT=0 la secuencia se vuelve infinita.

Para la simulación realizaremos 3 elevaciones de voltaje con diferentes periodos de tiempo, en donde la primera sobretensión se elevará hasta un valor de 130 V con una duración de 30 ciclos, la segunda tomará un valor de 160 V con periodo de 100 ciclos y así sucesivamente con los demás valores. En el software la duración de la perturbación se puede realizar de 2 formas que puede ser en función del tiempo (ms) o en función del número de ciclos, como se observa en la gráfica 52.



**Gráfica 51:** Detalle para establecer el periodo de duración para la sobretensión.  
FUENTE: Software SoftPanel.

El detalle de la forma de onda de la sobretensión que se simulará se puede verificar en la ventana de simulación de la pantalla LIST MODE, como se aprecia en la gráfica 53.

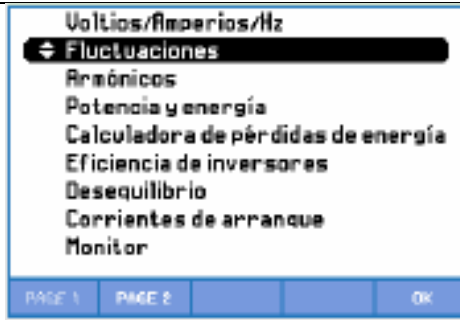


**Gráfica 52:** Detalle de la forma de onda de la sobretensión programada  
FUENTE: Software SoftPanel.

### b) Configuración del analizador para la medición de depresiones de voltaje.

Antes de realizar la configuración del analizador realizamos la conexión de la carga a la salida de la fuente AC, luego conectamos el analizador de redes en las líneas que alimentan a la carga tal como se realizó en la práctica 1. Con el fin de medir las elevaciones de voltaje utilizaremos el modo fluctuaciones del analizador (FLUKE 435).

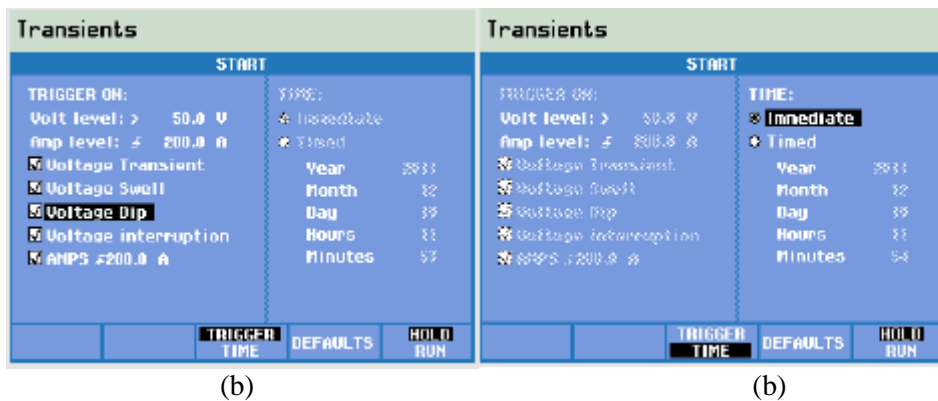
Para acceder a este modo una vez encendido el analizador pulsamos la tecla menú e inmediatamente se despliega una ventana con varias funciones y a continuación seleccionamos el modo *Fluctuaciones* (gráfica 54).



**Gráfica 53:** Detalle para la selección del modo fluctuaciones para medir sobretensiones.  
**FUENTE:** Analizador de redes Fluke 435.

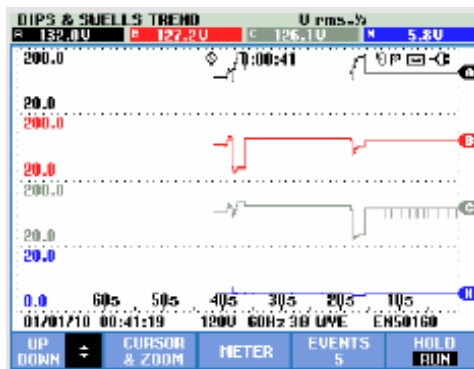
Al ingresar a este modo primero se realiza la configuración del evento o combinación de eventos que el usuario desee medir (gráfica 55.a), estos eventos son: transitorio de tensión, elevación de tensión, caída de tensión, y subidas de corriente, en este caso seleccionaremos la opción de *Voltaje Swell* para medir las elevaciones de voltaje.

Otra configuración que se debe realizar es el tiempo para el inicio de la medición para lo cual pulsamos la tecla F3 para acceder a esta función (gráfica 55.b), en la pantalla se presentan 2 maneras para iniciar la medición que puede ser de manera inmediata (*Immediate*) o a través de un inicio temporizado (*Time*). Para el inicio temporizado se especifica el año, mes, día, horas y minutos para el inicio de la medición, en esta práctica seleccionaremos la opción *Immediate* y al pulsar la tecla F5 (*RUN*) automáticamente comenzará con la medición.



**Gráfica 54:** (a) Detalle para la configuración del evento Voltaje Swell. (b) Detalle para la configuración del inicio del tiempo de medición de sobretensiones.  
**FUENTE:** Analizador de redes Fluke 435.

Después de iniciar con la medición en la gráfica 56 se presenta la pantalla de tendencia para el modo fluctuaciones el cual indicará la duración del tiempo de medición con los eventos producidos.



**Gráfica 55:** Detalle de la pantalla de tendencia para la medición de sobretensiones.  
**FUENTE:** Analizador de redes Fluke 435.

Las teclas de función disponibles para la pantalla de tendencia en el modo de fluctuaciones son:

Tecla	Descripción
F1	Cambio entre los modos forma de onda de voltaje, forma de onda de corriente.
F2	Permite acceder a la pantalla de multímetro.
F3	Permite acceder al menú de cursor y zoom.
F4	Permite acceder al menú de eventos. Se muestra el número de eventos registrados.
F5	Permite el cambio de modo HOLD (detención) a modo RUN (ejecución) de la medición.

### c) Funcionamiento.

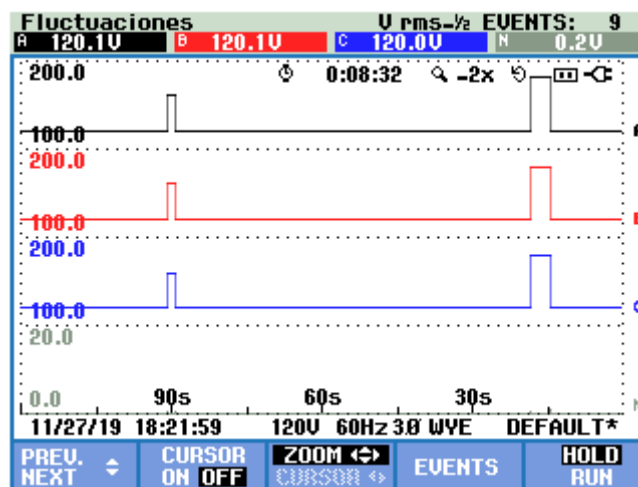
Una vez configurado los equipos de simulación y medición, hacemos clic en el botón **Output State (On)** y la carga se alimentará con los valores nominales (120 V, 60 Hz) ingresados en la pantalla principal. Para generar la distorsión que en este caso es un sobrevoltaje pulsamos el botón **Trig On** e inmediatamente se produce el fenómeno, alrededor de un determinado tiempo (ms) o periodo (ciclos) la señal de tensión vuelve a su valor nominal, la duración de este fenómeno también depende del valor ingresado en la opción **Count for all**, ya que si el valor es cero la distorsión se vuelve infinito hasta pulsar nuevamente el botón **Trig Off**.

La medición se realiza en un tiempo aproximado de 10 minutos por lo que las elevaciones de voltajes simulados con la fuente programable AC se registrarán con hora y fecha en la memoria del analizador, así mismo el número de eventos dependerá del número de perturbaciones que se presenten. Al finalizar la medición a través del software Power Log Calssic se imprimen los resultados obtenidos.

### d) Resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos al realizar la medición se presentan a continuación en el siguiente informe de gráficos y diagramas obtenidos a partir del software Power Log Classic y del osciloscopio.

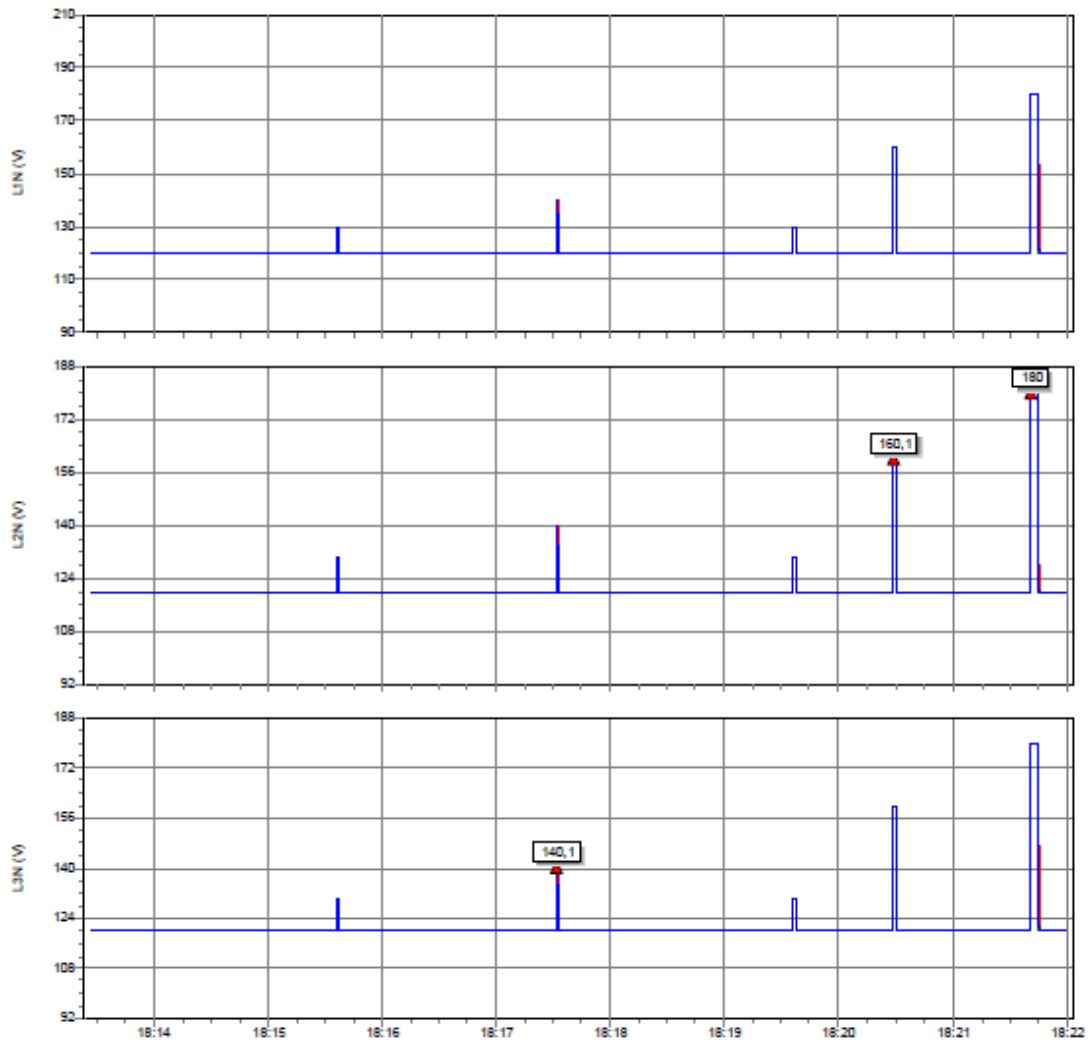
En la gráfica 57 se presenta la pantalla de tendencia en donde se muestra un resumen con los valores medidos, en esta pantalla se observa el voltaje de las líneas, el tiempo de medición (00:07:39), el número de eventos producidos (4), entre otros.



Gráfica 56: Detalle de la pantalla de tendencia del resultado de la medición de depresiones de voltaje.  
 FUENTE: Analizador Fluke 435.



El resumen con los niveles de voltajes medidos se presenta en la gráfica 58, este diagrama sirve para verificar los cambios que sufren los voltajes de línea, y los eventos producidos de una manera más detallada y clara a comparación de la pantalla de tendencia.



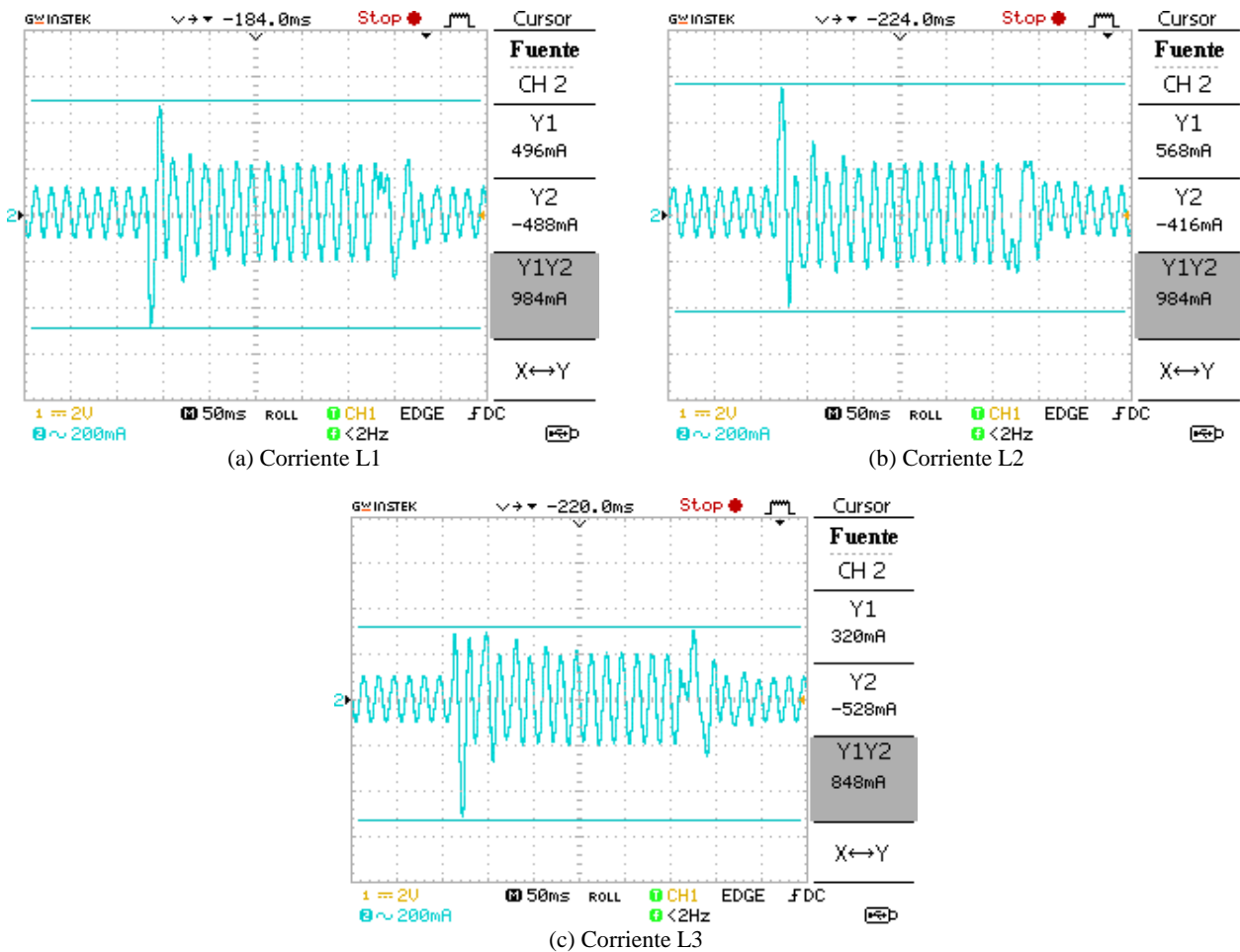
**Gráfica 57:** Detalle del voltaje de las líneas con la presencia de depresiones de voltaje  
**FUENTE:** Software Power Log Classic.

En la siguiente gráfica 59 capturada desde el analizador sirve para verificar el tiempo de duración de cada depresión de voltaje, así como la fecha y hora en que se produjo.

EVENTOS TIPO FLUCTUACIONES				
START 11/27/19 18:13:26			EVENT 9 / 9	
0:08:32				
DATE	TIME	TYPE	LEVEL	DURATION
11/27/19	18:17:31:388	C SWL	140.1 U	0:00:00:506
11/27/19	18:19:36:083	A CHG	10.0 U	0:00:00:017
11/27/19	18:19:36:080	B CHG	9.9 U	0:00:00:025
11/27/19	18:19:36:077	C CHG	10.0 U	0:00:00:025
11/27/19	18:19:37:750	A CHG	10.0 U	0:00:00:058
11/27/19	18:19:37:747	B CHG	9.9 U	0:00:00:025
11/27/19	18:19:37:744	C CHG	10.0 U	0:00:00:025
11/27/19	18:20:28:800	B SWL	160.1 U	0:00:01:681
11/27/19	18:21:40:977	B SWL	180.0 U	0:00:04:181
11/27/19 18:21:59 120V 60Hz 3Ø WYE DEFAULT*				
		NORMAL		
		DETAIL	BACK	TREND

**Gráfica 58:** Pantalla con el detalle de las depresiones de voltaje  
**FUENTE:** Software Power Log Classic.

Al presentarse una sobretensión la corriente también sufre cambios por lo que en las siguientes gráficas se presenta la forma de onda de la corriente cuando se produce una elevación del voltaje a un valor de 160 V con una duración de 15 ciclos que es igual a 250 milisegundos.



Gráfica 59: Forma de onda de la corriente al experimentar una sobretensión.  
FUENTE: Osciloscopio.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para determinar una sobretensión se tiene presente las siguientes normas.

- **NORMA IEEE std 1159-2019.**

De acuerdo con esta norma los valores de una sobretensión se encuentran entre 1.1 pu a 1.8 pu del valor de la tensión nominal, con respecto a la duración las sobretensiones pueden ser instantáneas con una duración de 0.5 a 30 ciclos y toma valores entre 1.1 pu a 1.8 pu, momentáneos con una duración entre 30 ciclos a 3 segundos y toma valores entre 1.1 pu a 1.4 pu y temporales con una duración de 3 segundos a 1 minuto y toma valores entre 1.1 pu a 1.8 pu. En el caso de una sobretensión de larga duración donde el tiempo es mayor a 1 minuto y el valor oscila entre el 1.1 y 1.2 pu.

Con respecto a esta norma y a los resultados obtenidos de la práctica podemos clasificar a las sobretensiones en función del tiempo de duración, como se presenta en la siguiente tabla 4.B.

**Tabla 4.B:** Clasificación de las depresiones de voltaje.

<b>Evento (#)</b>	<b>Nivel (Voltios)</b>	<b>Duración (segundos, milisegundos)</b>	<b>Tipo (Según IEEE-1159-2019)</b>
1	140	506 ms	Sobretensión instantáneo.
2	160	1.681 s	Sobretensión momentáneo.
3	180	4.181 s	Sobretensión temporal.

- **NORMA EN 50160**

Esta norma define cuando una sobretensión es temporal a la frecuencia de la red, para los sistemas de baja tensión toma valores de 1.5 p.u. Y en los sistemas de media tensión si la conexión está directamente a tierra toma valores de 1.7 p.u. hasta 2p.u. sin toma de tierra o toma compensada.

- **ARCONEL 005/18**

La regulación ecuatoriana ARCONEL 005/18 “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica” establece los indicadores, índices y límites para el servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica tanto para las empresas eléctricas como para los consumidores.

Una de las evaluaciones para la calidad del producto del servicio de la energía eléctrica es el **Nivel de Voltaje**.

El índice para determinar la calidad de voltaje en un punto del sistema de distribución es:

$$\Delta V_k = \frac{V_K - V_N}{V_N} \times 100 (\%)$$

Donde.

$\Delta V_k$ , variación del voltaje de suministro respecto al voltaje nominal en el punto  $k$ .

$V_k$ , voltaje de suministro en el punto  $k$ , determinado como el promedio de las medidas registradas (al menos cada 3 s) en un intervalo de 10 min.

$V_N$ , voltaje nominal en el punto  $k$ .

Los límites admisibles para las variaciones de bajo voltaje que establece la regulación es de  $\pm 8\%$  del nivel de tensión nominal.

La distribuidora cumple con el índice del nivel de voltaje cuando el 95 % o más de los datos registrados de las variaciones de voltaje, en un periodo de evaluación de al menos 7 días cumplen con el rango admisible.

- **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:**

- Al concluir con la práctica se aprendió a utilizar la fuente AC y a través del software SoftPanel simular las sobretensiones, además se aprendió a utilizar y configurar el analizador de redes para realizar las mediciones y sobre todo como obtener los informes, gráficos y diagramas a través del software Power Log Classic del analizador.
- Las sobretensiones se miden de acuerdo a su duración en el tiempo, es por eso que en base a la norma IEEE std 1159-2019 tenemos sobretensiones instantáneas, momentáneas, temporales y de larga duración; permitiendo de esta manera concluir que una sobretensión de larga duración es la que tiene más referencia debido a su alta pérdida económica.
- La regulación ecuatoriana también hace referencia a las sobretensiones por lo que la empresa distribuidora tiene que cumplir con los rangos establecidos en dicha norma.

- La medición de las sobretensiones se realiza para mitigar y controlar el problema, ya que en la industria puede provocar el calentamiento de los dispositivos electrónicos de control y automatización dañando su aislamiento o incluso quemándolos.
- Los motores, transformadores, cables, entre otros, también son susceptibles a este fenómeno, ya que una sobretensión provoca el deterioro del aislamiento de los bobinados del motor y transformador provocando cortocircuitos por ende la reducción de su vida útil.
- Para la implementación de la práctica se recomienda conectar los equipos sin la fuente de alimentación para de esta manera evitar cualquier tipo de accidente.

## 6. BIBLIOGRAFÍA:

- [1] M. Angel and S. Cortés, "Instituto Tecnológico de Puebla Calidad de la Energía Eléctrica," 2009.
- [2] IEEE Std 1159-2019 (Revision of IEEE Std 1159-2009), *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, vol. 2019. 2019.
- [3] Manual "AC Power Source MODEL 6500 SERIES PROGRAMMABLE AC POWER SOURCE MODEL 6500 SERIES," no. 61701, pp. 61702–61705.
- [4] A. K. Henryk Markiewicz, "Perturbaciones de Tensión," *Leonardo Power Qual. Initiative*, 2004.
- [5] Fluke Corporation, "Manual Fluke 434-II/435-II/437-II," p. 182, 2012.

**CARRERA:** Ingeniería Eléctrica.

**LABORATORIO DE:** Calidad de energía eléctrica.

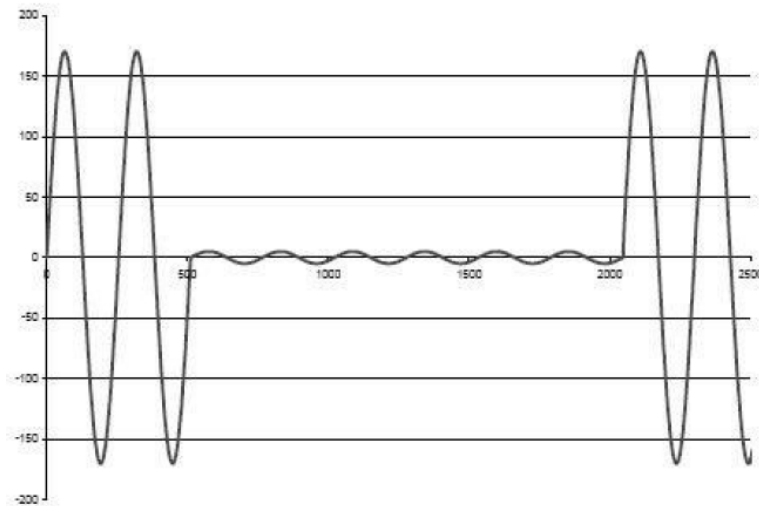
**NRO. PRÁCTICA:** 5

**TÍTULO PRÁCTICA:** Medición de interrupciones.

## 1. INTRODUCCIÓN:

### INTERRUPCIONES.

Una interrupción se considera cuando el valor de la tensión o corriente disminuye a 0.1 pu de su valor nominal, en un tiempo que no exceda a 1 minuto. Las interrupciones se miden por su duración ya que la magnitud del voltaje siempre es inferior al 10 %. En la siguiente figura 5.a se observa una interrupción momentánea del voltaje



*Figura 5.a: Interrupción momentánea de voltaje.*

**FUENTE:** [1].

Las interrupciones al igual que las depresiones de voltaje son ocasionadas por fallas en el sistema y por acciones de conmutación que se realiza para aislar fallas, la diferencia de una depresión de voltaje es que una interrupción es la pérdida total del voltaje menor al 10 % del valor nominal ya sea en una o más fases.

Las interrupciones son medidas de acuerdo con la duración en el tiempo cuando ocurre una falla en el sistema de distribución, el cual se determina por el tiempo de operación de los dispositivos y sistemas de protección. El recierre instantáneo limita la interrupción a menos de 30 ciclos lo que se conoce como interrupción momentánea, mientras que un recierre retardado provoca una interrupción temporal o en algunos casos provocando una interrupción sostenida. Es por eso que las interrupciones se clasifican en momentáneas, temporales y sostenidas [1], [2].

- **Interrupciones momentáneas.**

Una interrupción momentánea se define como la disminución de la señal de tensión a menos del 0.1 pu de su valor nominal en un periodo de tiempo mayor a 0.5 segundos y menor a 3 segundos. Las interrupciones momentáneas frecuentemente son producidas por el recierre automático que se emplean para liberar fallas en el sistema, también

los seccionadores mecánicos que son utilizados para la transferencia de carga de una fuente a otra son otras causas que producen interrupciones momentáneas. Para ello con un equipo de recierre automático se desenergiza la línea en un corto tiempo (tiempo muerto) y se vuelve a energizar.

- **Interrupciones temporales.**

Una interrupción temporal se define como la disminución de la señal de tensión a menos del 0.1 pu de su valor nominal en un periodo de tiempo mayor a 3 segundos y menor a 1 minuto. Estas interrupciones se originan por los mismos de las interrupciones momentáneas.

- **Interrupciones sostenidas.**

Una interrupción sostenida se define como la disminución de la señal de tensión a menos del 0.1 pu de su valor nominal en un periodo de tiempo mayor a 1 minuto. Para su restauración del sistema requieren de la intervención manual.

## **2. ALCANCE DE LA PRÁCTICA:**

Con la implementación de esta práctica se pretende que los estudiantes refuercen sus conocimientos referentes a las interrupciones de voltaje, así mismo comprender el funcionamiento y configuración de la fuente AC (Chroma 61702) y con ayuda del software SoftPanel de Chroma se puedan simular las interrupciones de voltaje, y sobre todo aprender a utilizar y configurar el analizador de redes (FLUKE 435) para realizar la medición de estas interrupciones y de esta manera generar informes de calidad a través del software Power Log Classic.

- **OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA:**

- Realizar la programación en la fuente AC (Chroma Modelo 61702) para simular las interrupciones de voltaje.
- Realizar las conexiones y configuraciones adecuadas de los equipos de medición y simulación.
- Obtener gráficos, diagramas e informes de calidad una vez realizado las mediciones.
- Evaluar y analizar las interrupciones de voltaje de acuerdo a las normas vigentes expuestas.

## **3. MATERIALES:**

Los materiales que se utilizan para el desarrollo de esta práctica son:

- Fuente programable CA (Model Chroma 61702).
- Medidor de calidad de energía eléctrica (Fluke 435).
- Osciloscopio.
- Carga (Motor trifásico).
- Multímetro digital.
- Cables de conexión.

## **4. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA:**

Para desarrollar la práctica de medición de interrupciones de voltaje se realiza por etapas para cumplir los objetivos planteados, cada etapa lleva a comprender que equipos y softwares se utilizan tanto para la simulación y medición

de este fenómeno y una vez obtenido los datos a través de la regulación ecuatoriana y normas internacionales entender los límites que se deben cumplir cuando se manifiestan estas interrupciones de voltaje y en base a esto obtener las conclusiones.

**a) Programación de la fuente AC para simular una interrupción de voltaje.**

Antes de realizar la programación realizamos la conexión entre la fuente AC y PC, luego accedemos al software SoftPanel de Chroma hasta localizarnos en la pantalla de modo fijo o pantalla principal, al hacer clic en la opción de *Mode Selecting* se desplaza una pantalla con varias funciones en donde seleccionamos la función LIST MODE.

Para la programación se tiene como valores nominales una amplitud de 120 V y frecuencia de 60 Hz, cuyos valores son ingresados en la pantalla principal del software SoftPanel.

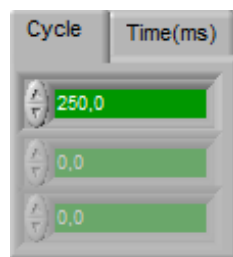
Los niveles de voltaje y el tiempo de duración para la programación de este fenómeno se presentan en la tabla 5.A.

*Tabla 5.A: Valores de entrada para la programación de la interrupción de voltaje.*

Variable	Valor
Nom. Vac 1,2,3	120 V
Nom. F(Hz)	60 Hz
Vac start (V)	2, 5, 8, 11 V
Vac end (V)	2, 5, 8, 11 V
F start (Hz)	60 Hz
F end (Hz)	60 Hz
Count for all	1
Cycle	15, 30, 100, 250

Las variables *Nom. Vac* y *Nom. F(Hz)* representan los valores nominales del sistema que son establecidos en la pantalla principal y las variables *Vac start* y *Vac end* son valores de tensión que se presentarán al momento de activar la interrupción, mientras que la variable *Count for all* representa el número de veces que se repite la perturbación si COUNT=0 la secuencia se vuelve infinita.

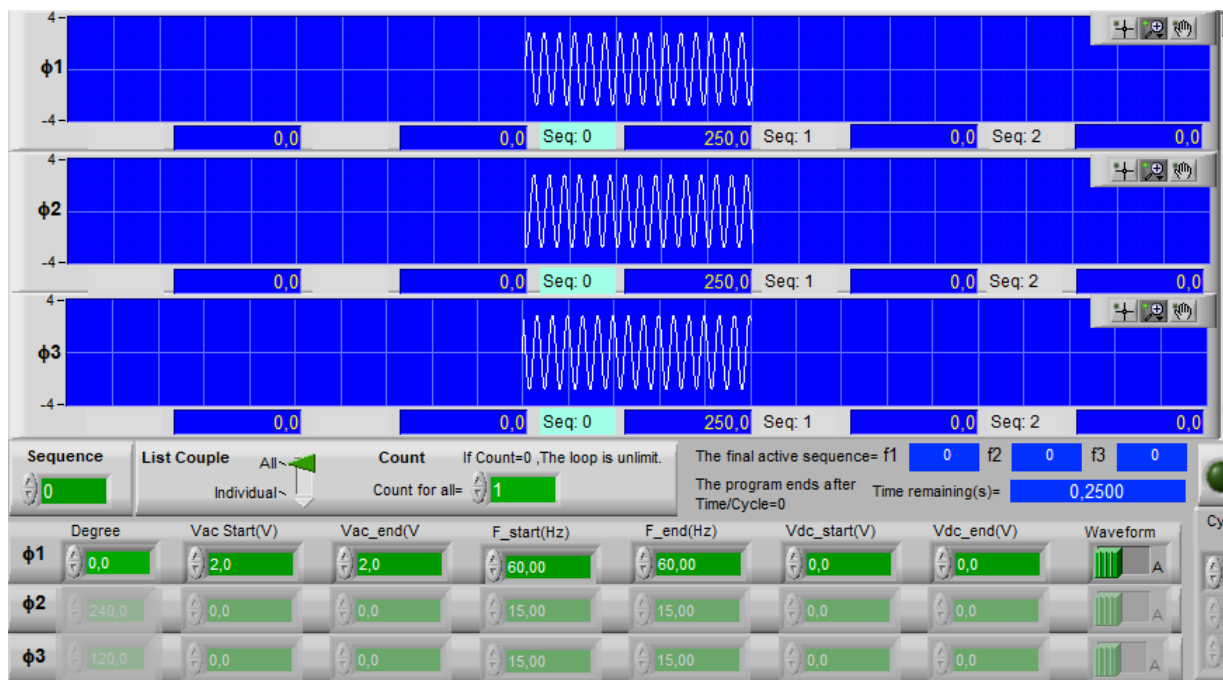
Para la simulación generaremos 4 interrupciones de voltaje con diferentes periodos de tiempo, en la primera simulación la interrupción del voltaje se reducirá hasta un valor de 2 V con una duración de 15 ciclos, luego de aproximadamente 2 minutos en la segunda interrupción el voltaje se reducirá a un valor de 5 V con una duración de 30 ciclos y así sucesivamente con los demás valores. El periodo de duración de la perturbación se puede realizar de 2 maneras en función del tiempo (ms) o en función del número de ciclos, como se observa en la gráfica 61.



**Gráfica 60:** Detalle para establecer el periodo de duración para la interrupción de voltaje.

**FUENTE:** Software SoftPanel.

La forma de onda de la interrupción de voltaje programada se puede verificar de manera rápida la magnitud y el tiempo de duración en la ventana de simulación del software como se observa en la gráfica 62.

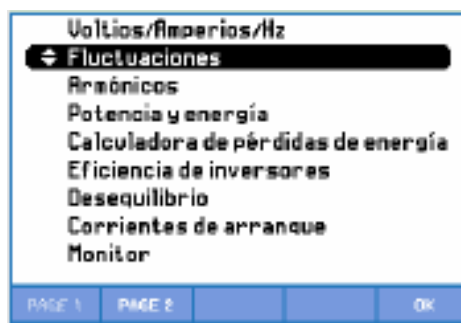


**Gráfica 61:** Detalle de la forma de onda de la interrupción de voltaje programada.  
**FUENTE:** Software SoftPanel.

**b) Configuración del analizador para la medición de interrupciones de voltaje.**

Antes de realizar la configuración del analizador primero realizamos la conexión de la carga a la salida de la fuente AC, luego conectamos el analizador de calidad en las líneas que alimentan a la carga tal como se realizó en la práctica 1. Con el fin de medir las interrupciones de voltaje utilizaremos el modo fluctuaciones del analizador (FLUKE 435).

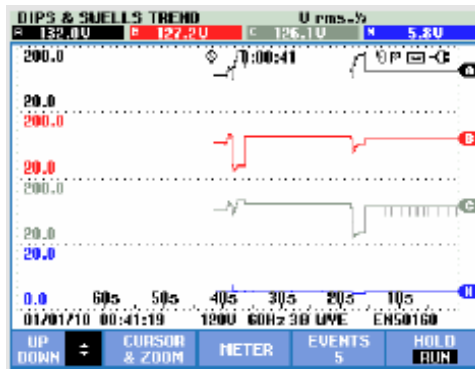
Para acceder a este modo una vez encendido el analizador pulsamos la tecla menú e inmediatamente se despliega una ventana con varias funciones a continuación seleccionamos el modo *Fluctuaciones* (gráfica 63).



**Gráfica 62:** Detalle para la selección del modo fluctuaciones para medir interrupciones de voltaje.  
**FUENTE:** Analizador de redes Fluke 435.

Una vez seleccionado el modo inmediatamente el analizador muestra la pantalla de tendencia como se observa en la gráfica 64, esta pantalla se utiliza para verificar y observar la duración de la medición en tiempo real, y de una manera rápida ver el número de eventos y que tipo de eventos se han producido.





Gráfica 63: Detalle de la pantalla de tendencia para la medición de interrupciones de voltaje.  
FUENTE: Analizador de redes FLUKE 435.

Las teclas de función disponibles para la pantalla de tendencia se presentan en la tabla 5.B.

Tabla 5.B: Teclas de función disponibles

Tecla	Descripción
F1	Asigna las teclas de flecha arriba/abajo para desplazarse en la pantalla de tendencia.
F2	Permite acceder al menú de cursor y zoom.
F3	Permite acceder a la pantalla de multímetro.
F4	Permite acceder al menú de eventos. Se muestra el número de eventos registrados.
F5	Permite el cambio de modo HOLD (detención) a modo RUN (ejecución) de la medición.

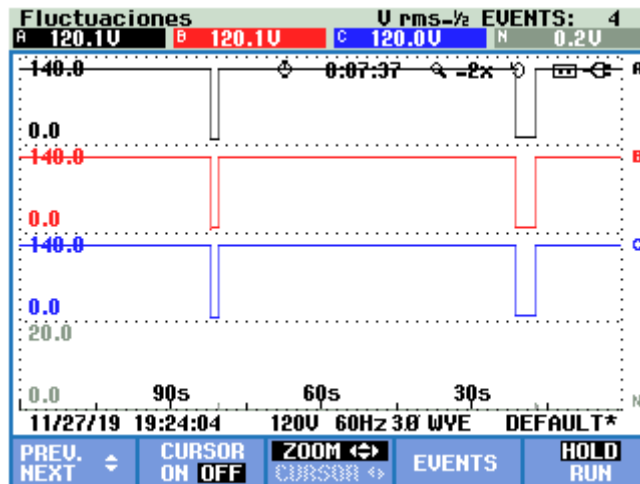
### c) Funcionamiento.

Una vez configurado los equipos de medición y simulación, para iniciar con el funcionamiento primero se debe hacer clic en el botón **Output State (On)** y la carga se alimenta con los valores nominales (120 V, 60 Hz) ingresados en la pantalla principal. Para generar la distorsión que en este caso es una interrupción de voltaje pulsamos el botón **Trig On** e inmediatamente se produce la interrupción, luego de un determinado tiempo (ms) o periodo (ciclos) la señal de tensión vuelve a su valor nominal. Se puede ingresar los siguientes valores de **Vac start**, **Vac end** y **Tiempo (cycle)** para generar la siguiente interrupción, la duración de cada interrupción también depende del valor ingresado en **Count for all**, ya que si el valor es cero la distorsión se vuelve infinito hasta pulsar nuevamente el botón **Trig Off**.

La medición se realiza en un tiempo aproximado de 10 minutos por lo que las interrupciones de voltajes simulados con la fuente AC se registrarán con hora y fecha en la memoria del analizador, así mismo el número de eventos dependerá del número de perturbaciones que se presenten. Para finalizar la medición pulsamos la tecla F5 (HOLD) y posteriormente poder descargar los resultados a través del software Power Log Classic.

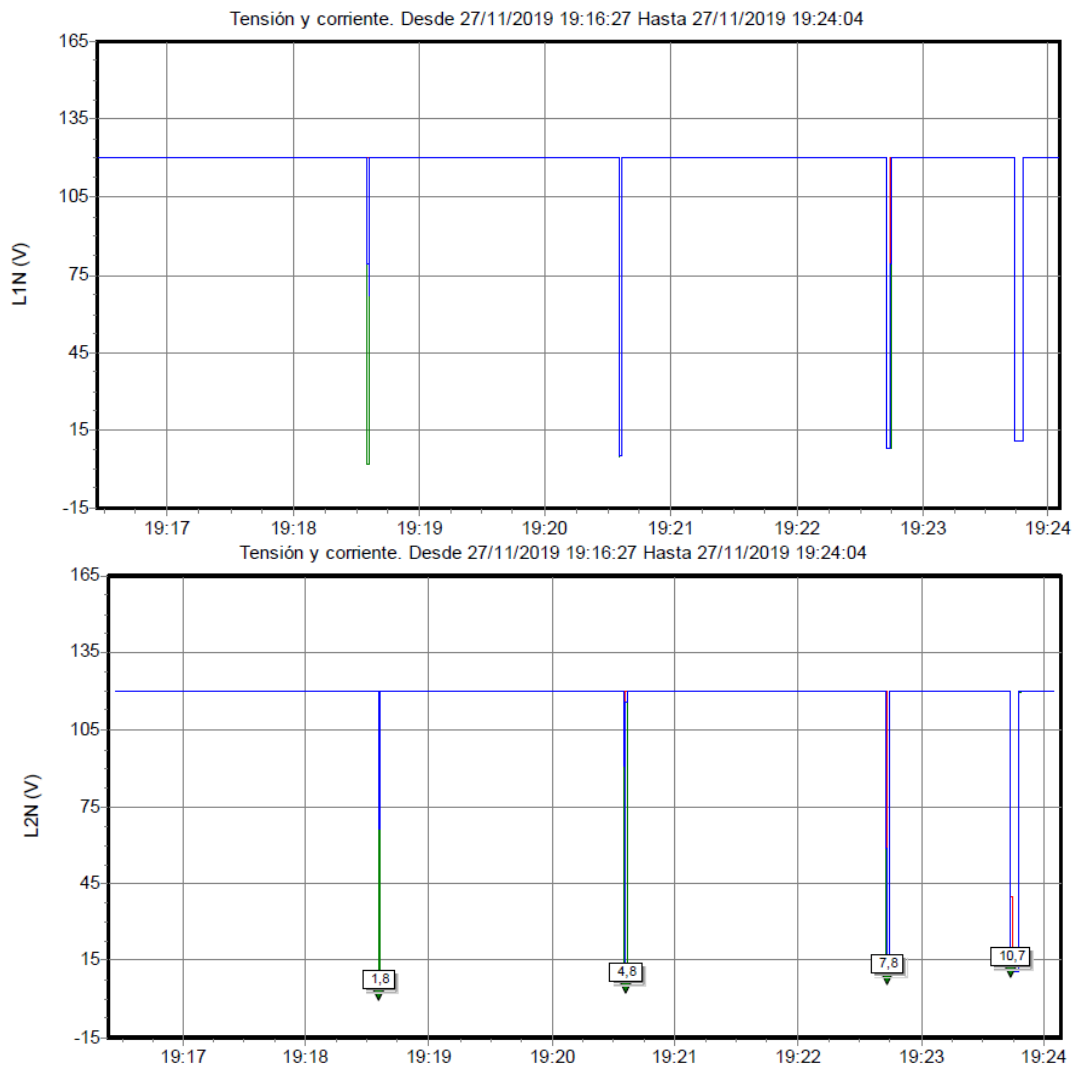
### d) Resultados obtenidos.

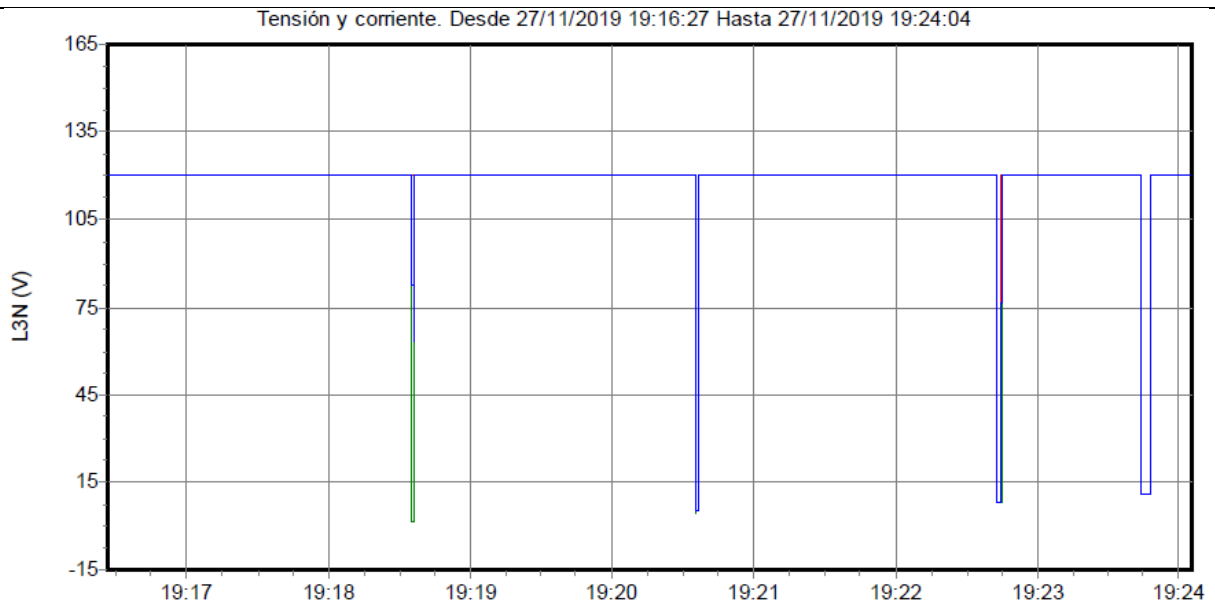
En la gráfica 65 se presenta la pantalla de tendencia que muestra un resumen de las interrupciones luego de haber realizados las mediciones, en esta pantalla se observan los voltajes de línea, el tiempo de medición (00:08:32), el número de eventos producidos (4), entre otros.



**Gráfica 64:** Detalle de la pantalla de tendencia del resultado de la medición de interrupciones de voltaje.  
FUENTE: Software Power Log Classic.

Los resultados de los voltajes medidos en un tiempo aproximado de 8 minutos se observan en las siguientes gráficas, estas gráficas sirven para verificar los cambios que sufren los voltajes de línea en el periodo de medición, y los eventos producidos de una manera más detallada y clara a comparación de la pantalla de tendencia.





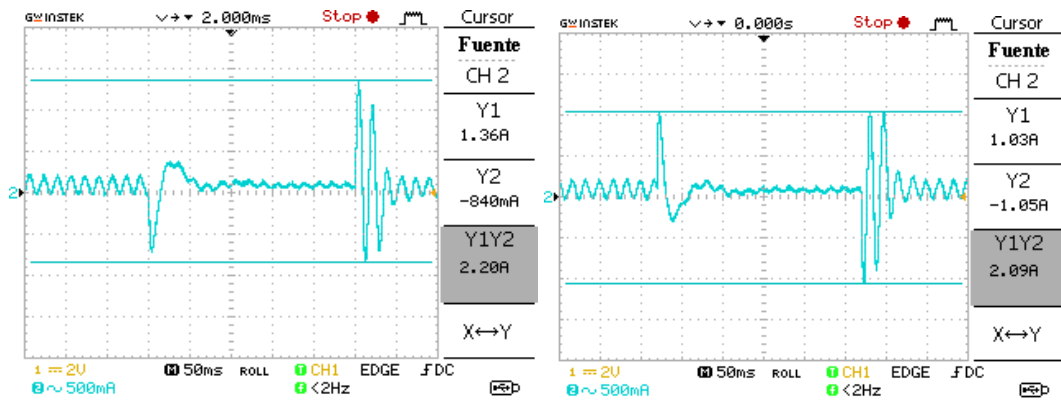
**Gráfica 65:** Detalle del nivel de voltaje medido con la presencia de interrupciones.  
FUENTE: Software Power Log Classic.

En la siguiente gráfica 67 capturada desde el analizador se utiliza para verificar el tiempo de duración de cada interrupción de voltaje, así como la fecha y hora en que se produjo.

EVENTOS TIPO FLUCTUACIONES				
START 11/27/19 19:16:27			EVENT 4 / 4	
0:07:37				
DATE	TIME	TYPE	LEVEL	DURATION
11/27/19	19:18:35:652	B DIP	1.8 U	0:00:00:262
11/27/19	19:20:35:674	B DIP	4.8 U	0:00:00:514
11/27/19	19:22:43:013	B DIP	7.8 U	0:00:01:680
11/27/19	19:23:43:757	B DIP	10.7 U	0:00:04:181
11/27/19 19:24:04		120V 60Hz 3Ø WYE	DEFAULT*	
		NORMAL	BACK	TREND
		DETAIL		

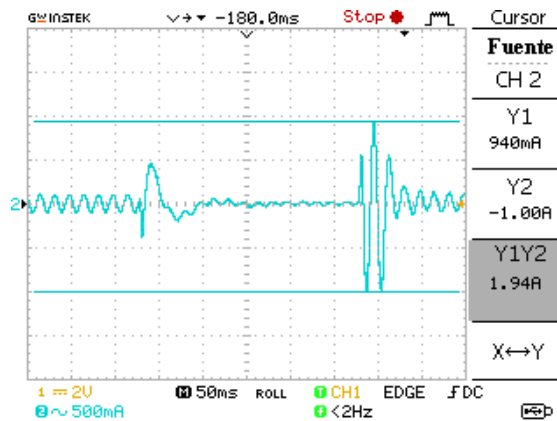
**Gráfica 66:** Pantalla con el detalle de las depresiones de voltaje  
FUENTE: Software Power Log Classic.

Al presentarse una interrupción en la forma de onda del voltaje, la onda de corriente también va a sufrir estas perturbaciones, en la gráfica 68 se presenta la forma de onda de la corriente de las 3 líneas al producirse una interrupción de voltaje con un valor de 5 V que tiene una duración de 15 ciclos.



(a) Corriente L1

(b) Corriente L2



(c) Corriente L3

Gráfica 67: Detalle de la forma de onda de la corriente al presentarse interrupciones de voltaje. FUENTE: Osciloscopio.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS:

Para determinar una interrupción se basa en la siguiente norma.

- NORMA IEEE std 1159-2019**

De acuerdo con la norma una interrupción ocurre cuando la tensión de suministro decrece a menos del 10 % de su tensión nominal. Para el análisis se consideran las interrupciones instantáneas cuya magnitud toma un valor menor a 0.1 pu de su valor nominal con una duración de 0.5 ciclos a 3 segundos, para una interrupción momentánea presenta valores menores a 0.1 pu de su valor nominal con una duración de 3 segundos a 1 minuto y para interrupciones tiene una magnitud cuyo valor es de 0.0 pu con una duración mayor a 1 minuto.

Con respecto a esta norma y a los resultados obtenidos de las mediciones de interrupciones de voltaje se puede clasificar a cada una de estas perturbaciones en función del tiempo de duración. En la siguiente tabla 5.C de acuerdo a la gráfica 65 presentamos el tipo de perturbación medida.

Tabla 5.C: Clasificación de las interrupciones de voltaje medidos.

Evento (#)	Nivel (Voltios)	Duración (segundos, milisegundos)	Tipo (Según IEEE-1159-2019)
1	1.8	262 ms	Interrupción de voltaje instantánea.
2	4.8	514 ms	Interrupción de voltaje momentáneo.
3	7.8	1.68	Interrupción de voltaje momentáneo.
4	10.7	4.18	Interrupción de voltaje temporal.

- **NORMA EN 50160**

Esta norma dice, que una interrupción corta se considera en función del tiempo de duración del evento, en donde para los sistemas de baja y media tensión es hasta 3 minutos y con respecto a las interrupciones prolongadas de la tensión de suministro para sistemas de baja y media tensión se tiene una duración mayor a 1 minuto y estas deben ser menores a 50-60/año.

- La norma ecuatoriana de “Calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica” ARCONEL 005/18, no hace referencia a las interrupciones de tensión.

- **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:**

- Al concluir con la práctica se aprendió a programar la fuente AC para simular las interrupciones de tensión y además se aprendió a utilizar y configurar el analizador de redes para realizar mediciones referentes a estos fenómenos, así mismo a obtener los informes de los parámetros eléctricos medidos a través del software Power Log Classic del analizador.
- Las interrupciones se miden de acuerdo con su duración en el tiempo, es por eso que en base a la norma IEEE std 1159-2019 clasificamos a las interrupciones en interrupciones momentáneas, temporales y sostenidas; permitiendo concluir que una interrupción sostenida es la que tiene más referencia debido a su pérdida económica alta.
- En la industria para interrupciones sostenidas se opta por otras medidas como UPSs, de esta manera mitigando el problema y aumentando la productividad.
- Para brindar un servicio confiable la distribuidora eléctrica mide las interrupciones producidas por año, ya que de acuerdo a la norma EN 50160 las interrupciones deben ser menores a 50-60/año aproximadamente.
- Para la implementación de la práctica se recomienda conectar los equipos sin la fuente de alimentación para de esta manera evitar cualquier tipo de accidente.

- **6. BIBLIOGRAFÍA:**

- [1] M. Angel and S. Cortés, “Instituto Tecnológico de Puebla Calidad de la Energía Eléctrica,” 2009.
- [2] IEEE Std 1159-2019 (Revision of IEEE Std 1159-2009), *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, vol. 2019. 2019.
- [3] Manual “AC Power Source MODEL 6500 SERIES PROGRAMMABLE AC POWER SOURCE MODEL 6500 SERIES,” no. 61701, pp. 61702–61705.
- [4] A. K. Henryk Markiewicz, “Perturbaciones de Tensión,” *Leonardo Power Qual. Initiative*, 2004.
- [5] Fluke Corporation, “Manual Fluke 434-II/435-II/437-II,” p. 182, 2012.

**CARRERA:** Ingeniería Eléctrica.

**LABORATORIO DE:** Calidad de energía eléctrica.

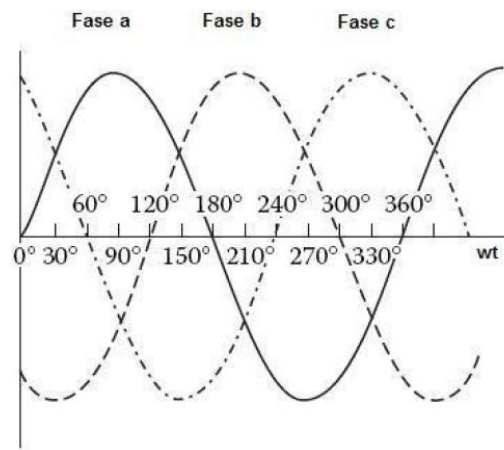
**NRO. PRÁCTICA:** 6

**TÍTULO PRÁCTICA:** Medición de desbalance de voltaje.

## 1. INTRODUCCIÓN:

### DESVALANCE DE VOLTAJE.

Un sistema trifásico de energía eléctrica se dice que está equilibrado, balanceado o simétrico si la magnitud de los voltajes y corrientes trifásicas son las mismas además si el desfase entre ellos es de 120°, si no cumple con estas condiciones el sistema se encuentra desequilibrado, desbalanceado o asimétrico. En la figura 6.a se observa una representación de un sistema con voltajes trifásicos balanceados.



**Figura 6.a:** Voltajes trifásicos balanceados de secuencia positiva

FUENTE: [1]

El desbalance de voltaje se define como la máxima desviación del promedio de los voltajes o corrientes trifásicas, dividido para el promedio de los voltajes o corrientes trifásicas expresado en porcentaje, como se presenta en la siguiente ecuación.

$$IF_v = \frac{\text{Desviación máxima del voltaje promedio}}{\text{Voltaje promedio}} * 100$$

Los desbalances generalmente están definidos en función de sus componentes simétricas, por lo que tenemos desbalances de secuencia negativa y desbalances de secuencia cero.

- **Desbalance de secuencia negativa.**

El desbalance de secuencia negativa es igual a la componente de secuencia negativa dividido para la componente de secuencia positiva expresada en porcentaje, tal como se presenta en la siguiente ecuación.

$$IF_v = \frac{V_{a2}}{V_{a1}} * 100$$

- **Desbalance de secuencia cero.**

El desbalance de secuencia cero es igual a la componente de secuencia cero dividido para la componente de secuencia positiva expresada en porcentaje, tal como se presenta en la siguiente ecuación.

$$IF_v = \frac{V_{a0}}{V_{a1}} * 100 \%$$

Las causas principales que ocasionan desbalances en los sistemas trifásicos de voltaje y corriente son: bancos de condensadores que no operan correctamente especialmente por fusibles quemados en bancos de condensadores trifásicos y una de las causas más comunes es por la conexión de más carga en una fase que en otra.

En resumen, mayoría de los equipos en especial los motores pueden soportar un desbalance del 2 %, y con desbalances mayores a este valor ocasionará que los motores y transformadores se sobrecalienten [1].

### **FÓRMULAS PARA DETERMINAR EL DESBALANCE DE VOLTAJE.**

- **Fórmulas de acuerdo a la IEEE std 1159-2019.**

Esta norma define al desequilibrio o desbalance de voltaje como la relación entre la magnitud del componente de secuencia negativa y la magnitud del componente de secuencia positiva, esta relación se puede aplicar tanto para el voltaje como para la corriente. Matemáticamente, el desequilibrio de voltaje está representado por la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Imbalance} = \frac{|V_{neg}|}{|V_{pos}|} * 100 \% \quad \text{Ecuación (1)}$$

Para aplicar la ecuación (1) es necesario determinar los componentes de secuencia luego de obtener mediciones con un medidor rms simple, lo que se vuelve muy tedioso para los adoptantes. Por lo tanto, se puede representar el desbalance implementando solo mediciones rms de fase a fase sin ángulo con las siguientes ecuaciones.

$$\% \text{ Imbalance} = \frac{\sqrt{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}}{\sqrt{1 - \sqrt{3 + 6\beta}}} * 100 \% \quad \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

$$\beta = \frac{|V_{AB}|^4 + |V_{BC}|^4 + |V_{CA}|^4}{(|V_{AB}|^2 + |V_{BC}|^2 + |V_{CA}|^2)^2} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Los voltajes en la ecuación (3) son voltajes rms de fase a fase. Sin embargo, se debe tener presente que la ecuación (1) siempre es válido para mediciones tanto como de fase a neutro o de fase a fase, y la ecuación (2) y (3) es válida únicamente si el componente de secuencia cero es cero.

- **Fórmulas de acuerdo a la regulación ecuatoriana 005/18 (ARCONEL).**

De acuerdo a esta regulación el índice para evaluar el desequilibrio de voltaje se determina de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Desequilibrio de voltaje} = \left| \frac{V^+}{V^-} \right| * 100 \%$$

Donde:

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

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

## 2. ALCANCE DE LA PRÁCTICA:

Con la implementación de esta práctica se pretende que los estudiantes refuercen sus conocimientos referentes a los desequilibrios o desbalances de voltaje, así mismo que se comprenda el funcionamiento y configuración de la fuente AC, y con ayuda del software SoftPanel de Chroma se puedan simular los desequilibrios de voltaje, y sobre todo aprender a utilizar y configurar el analizador de redes (FLUKE 435) para realizar la medición de este fenómeno eléctrico y de esta manera poder generar informes de calidad a través del software Power Log Classic.

## 3. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA:

- Realizar la programación en la fuente AC (Chroma Modelo 61702) para simular los desequilibrios de voltaje.
- Realizar las conexiones y configuraciones adecuadas de los equipos de medición y simulación.
- Obtener gráficos, diagramas e informes de calidad una vez realizado las mediciones.
- Evaluar y analizar los desequilibrios de voltaje de acuerdo a las normas vigentes expuestas.

## 4. MATERIALES:

Los materiales que se utilizan para el desarrollo de esta práctica son:

- Fuente programable CA (Model Chroma 61702).
- Medidor de calidad de energía eléctrica (Fluke 435).
- Osciloscopio.
- Carga (Motor trifásico).
- Multímetro digital.
- Cables de conexión.

## 5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA:

Para desarrollar la práctica de medición de desequilibrios de voltaje se realiza por etapas para cumplir los objetivos planteados, cada etapa lleva a comprender que equipos y softwares se utilizan tanto para la simulación y medición de este fenómeno y una vez obtenido los informes con los datos de medición a través de la regulación ecuatoriana y normas internacionales entender los límites que se deben cumplir cuando se producen los desequilibrios de voltaje y en base a esto obtener las conclusiones.

### a) Programación de la fuente variable AC para desbalances de voltaje.

Antes de iniciar con la programación primero realizamos la conexión entre la fuente programable AC y la PC, luego accedemos al software SoftPanel de Chroma hasta localizarnos en la pantalla principal, en la parte superior derecha



de esta pantalla existe la opción denominado **Degree** como se observa en la gráfica 69, esta opción permite configurar el ángulo de fase entre tensiones (Phase 1-2 y Phase 1-3) para generar los desequilibrios.

Algo importante que hay que recordar, es cuando un sistema esta balanceado o equilibrado los ángulos entre las tensiones tienen que ser iguales a  $120^\circ$  entre la fase 1-2 y  $240^\circ$  entre la fase 1-3.



**Gráfica 68:** Detalle del panel para la configuración de ángulo de fase.  
**FUENTE:** Software SoftPanel.

En la pantalla de la gráfica anterior se ingresan los datos para simular los desequilibrios de voltaje, a continuación, se detalla las variables y los valores que se pueden establecer para simular este fenómeno.

- **Actividad 1. Desequilibrio del ángulo entre la fase 1-2.**

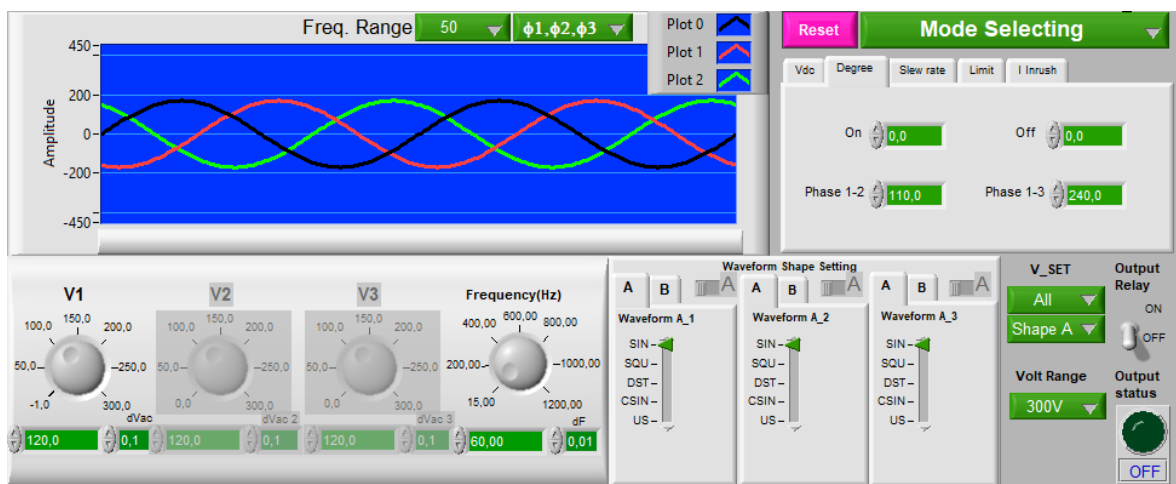
Los valores expuestos en la tabla 5.A, al ingresar en la pantalla principal se obtiene un desequilibrio de voltaje únicamente entre la fase 1-2.

**Tabla 5.A:** Valores para la programación.

Variable	Valor
Nom. Vac 1,2,3	120 V
Nom. F(Hz)	60 Hz
Phase 1-2	110
Phase 1-3	240

Las variables *Nom. Vac* y *Nom. F(Hz)* representan los valores nominales del sistema que son establecidos en la pantalla principal, mientras que las variables *Phase 1-2* y *Phase 1-3* representa el ángulo entre sus fases. Sin embargo, en esta actividad para la simulación únicamente modificaremos el ángulo de la fase 1-2.

En la ventana de simulación y en la opción *Degree* de la pantalla principal como se observa en la gráfica 70, se verifica la forma de onda y los datos ingresados para el desequilibrio de voltaje programado.



**Gráfica 69:** Detalle de los datos y forma de onda del desequilibrio del voltaje entre la fase 1-2.  
**FUENTE:** Software SoftPanel.

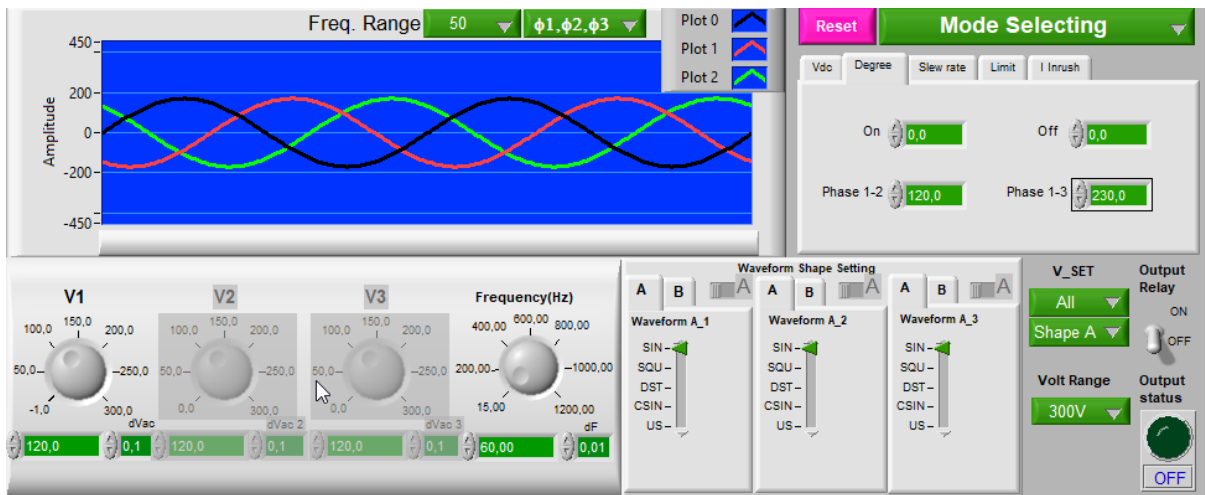
- **Actividad 2. Desequilibrio del ángulo entre la fase 1-3.**

Los valores expuestos en la tabla 5.B, al ingresar en la pantalla principal se obtiene la perturbación del desequilibrio de voltaje únicamente entre la fase 1-3.

*Tabla 5.B: Valores para la programación.*

Variable	Valor
Nom. Vac 1,2,3	120 V
Nom. F(Hz)	60 Hz
Phase 1-2	120
Phase 1-3	230

En la ventana de simulación y en la opción *Degree* de la pantalla principal como se observa en la gráfica 71, se verifica la forma de onda y los datos ingresados para el desequilibrio de voltaje programado.



*Gráfica 70: Detalle de los datos y forma de onda del desequilibrio del voltaje entre la fase 1-3.*

FUENTE: Software SoftPanel.

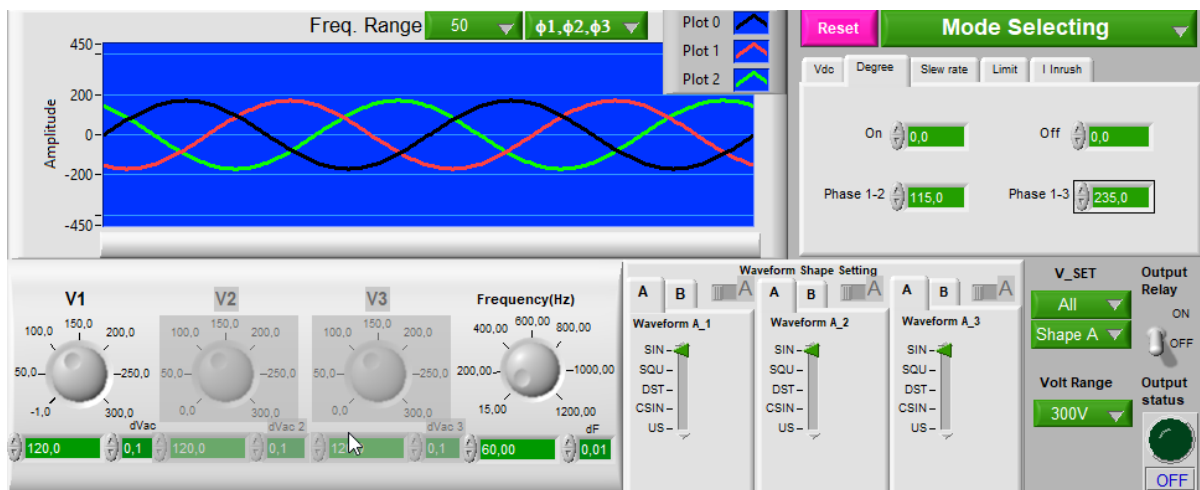
- **Actividad 3. Desequilibrio del ángulo entre la fase 1-2 y 1-3.**

Los valores expuestos en la tabla 5.C, al ingresar en la pantalla principal se obtiene la perturbación del desequilibrio de voltaje únicamente entre la fase 1-2.

*Tabla 5.C: Valores para la programación.*

Variable	Valor
Nom. Vac 1,2,3	120 V
Nom. F(Hz)	60 Hz
Phase 1-2	115
Phase 1-3	235

En la ventana de simulación de la pantalla principal se verifica la forma de onda del desbalance de voltaje programado tal como se observa en la gráfica 72.

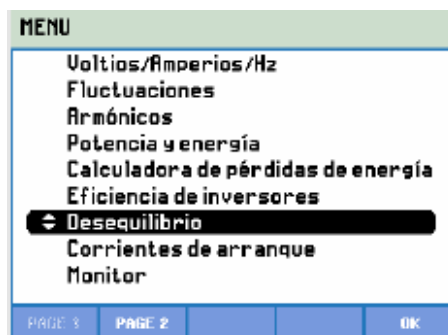


Gráfica 71: Detalle de los datos y forma de onda del desequilibrio del voltaje entre la fase 1-2 y 1-3.  
FUENTE: Software SoftPanel.

### b) Configuración para la medición de desequilibrios de voltaje.

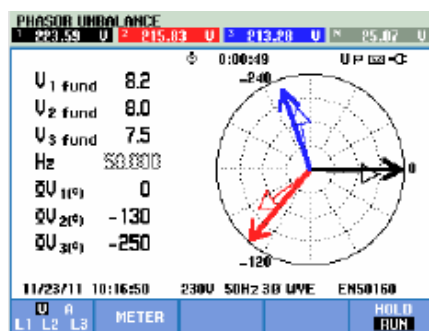
Antes de realizar la configuración del analizador primero realizamos la conexión de la carga a la salida de la fuente AC, luego conectamos el analizador de calidad en las líneas que alimentan a la carga tal como se realizó en la práctica 1. Con el fin de medir los desequilibrios de voltaje utilizaremos el modo *Desequilibrios* del analizador (FLUKE 435).

Para acceder a este modo una vez encendido el analizador se pulsa la tecla menú e inmediatamente se despliega una ventana con varias funciones, a continuación, seleccionamos el modo *Desequilibrios* (gráfica 73).



Gráfica 72: Detalle para la selección del modo desequilibrio.  
FUENTE: Analizador de redes Fluke 435

Al ingresar a la pantalla de modo desequilibrio inmediatamente se presenta la pantalla de fasor como se observa en la gráfica 74, la pantalla muestra la relación de fase entre tensiones y corrientes en un diagrama de vectores.



Gráfica 73: Diagrama de vectores de tensiones y corrientes del modo desequilibrio.  
FUENTE: Analizador de redes Fluke 435.

Las teclas de función disponibles para el diagrama de vectores del modo desequilibrio son:

Tecla	Descripción
F1	Permite elegir si se desea mostrar las tensiones y corrientes de todas las fases o elegir la tensión y corriente por cada fase.
F2	Permite acceder a la pantalla de multímetro.
F5	Permite el cambio de modo HOLD (detención) a modo RUN (ejecución) de la medición.

**c) Funcionamiento.**

Una vez que se haya conectado y configurado los equipos de simulación y medición, para iniciar con el funcionamiento primero se hace clic en el botón **Output State (On)** y automáticamente la carga se alimetna con los valores nominales, para cambiar los ángulos entre las fase primero se debe cortar la energía hacia la carga a través del botón **Output State (Off)**, esto se repite para cada desequilibrio de voltaje que se desee ejecutar.

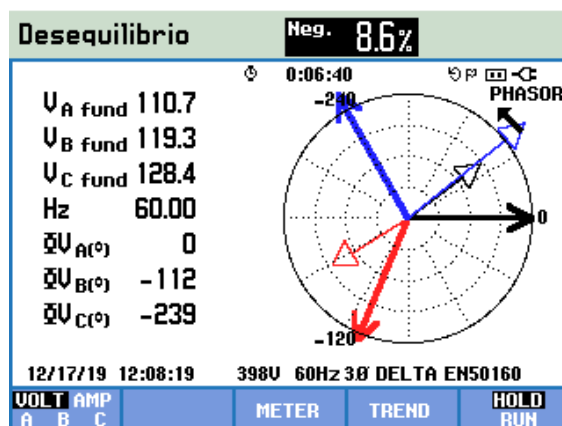
La medición para obtener los desequilibrios de voltaje se realiza en un tiempo aproximado de 10 minutos, al elegir el modo desequilibrio el analizador automáticamente iniciará la medición para después poder descargar los resultados obtenidos a través del software Power Log Classic.

**d) Resultados obtenidos.**

Los resultados obtenidos al realizar la medición se presentan a continuación en el siguiente informe de gráficos y diagramas obtenidos a partir del software Power Log Classic y del osciloscopio.

- Resultados de la medición 1: Desequilibrio del ángulo de fase entre la línea 1-2**

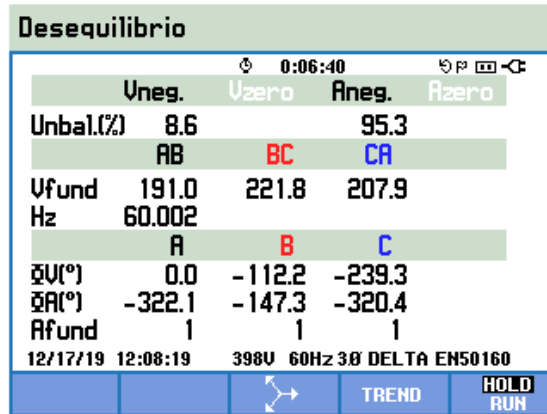
Al ingresar al modo desequilibrios la primera pantalla que se presenta es la pantalla de fasor, donde se muestra los desfases que existe entre tensiones y corrientes en un diagrama de vectores dividido en 30 grados por cada sección, además en esta pantalla se presenta el desbalance de tensión, el voltaje rms de cada fase y el ángulo de desfase entre las tensiones (gráfica 75).



Gráfica 74: Diagrama de fasores de voltajes de fases (medición 1)

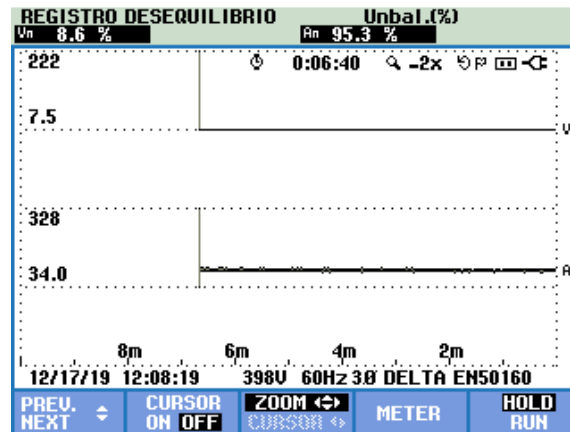
FUENTE: Software Power Log Classic.

Desde la pantalla de diagrama de vectores se puede acceder a la pantalla de multímetro pulsando la tecla F3, donde se muestra todos los valores numéricos relevantes como: porcentaje de desbalance de tensión de secuencia negativa, porcentaje de desbalance de corriente de secuencia negativa, tensión de fase fundamental, ángulo de fases de tensiones y corrientes, corriente de fase fundamental (gráfica 76).



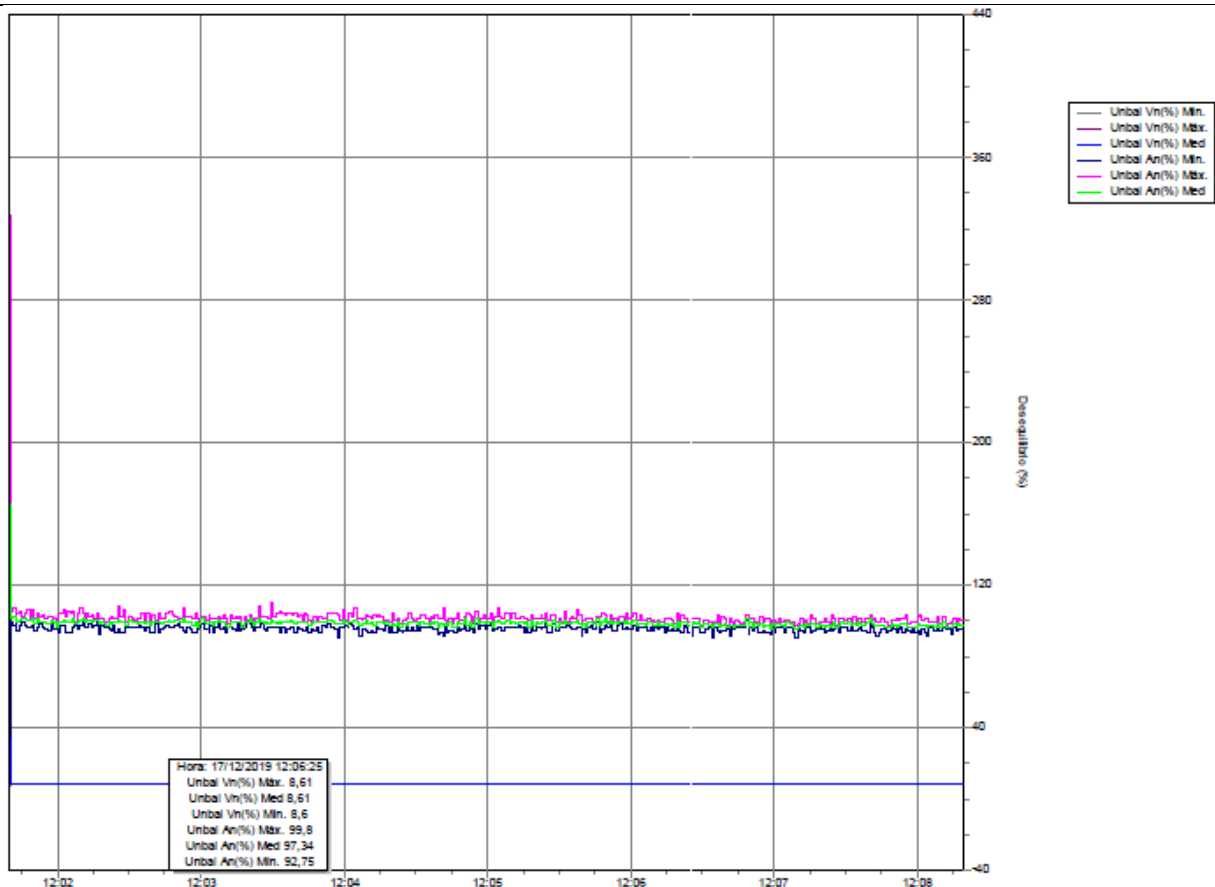
Gráfica 75: Detalle de la pantalla multímetro en modo desequilibrio (medición 1).  
FUENTE: Software Power Log Classic.

También desde la pantalla de multímetro o desde la pantalla de diagrama de vectores se puede acceder a la pantalla de tendencia al pulsar la tecla F4 para ver cómo se van tomando los datos en función del tiempo programado. En la gráfica 77 se presenta dicha pantalla.



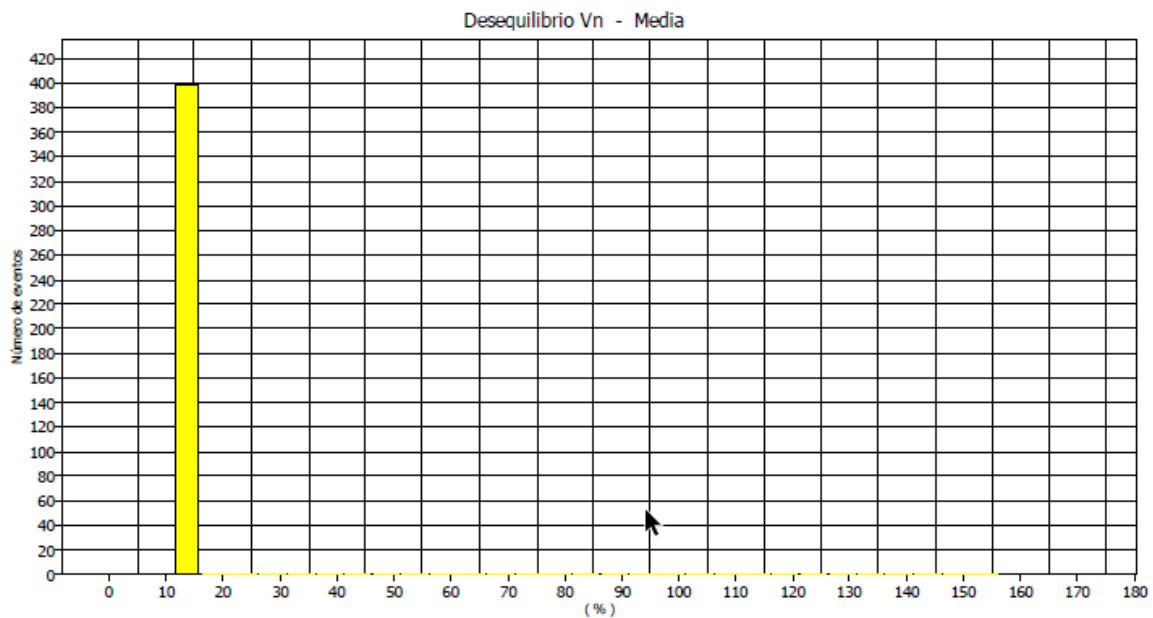
Gráfica 76: Detalle de la pantalla tendencia en modo desequilibrio (medición 1).  
FUENTE: Software Power Log Classic.

A continuación, se presenta el informe de las gráficas y diagramas de la medición, obtenidos con el software Power Log Classic del analizador.



Gráfica 77: Detalle de desequilibrio de voltajes y corrientes (medición 1)

FUENTE: Software Power Log Classic.



**Resumen**

Desde	17/12/2019 12:01:40	5% percentil	8,6 %
Hasta	17/12/2019 12:08:19	95% percentil	8,61 %
Valor máximo	154,15 %	% [85% - 110%]	0%
En	17/12/2019 12:01:40	% [90% - 110%]	0 %
Valor mínimo	8,6 %		
En	17/12/2019 12:02:12		
$\mu$	8,97285 %		
$\sigma$	7,27705 %		

**Valores extremos superiores**

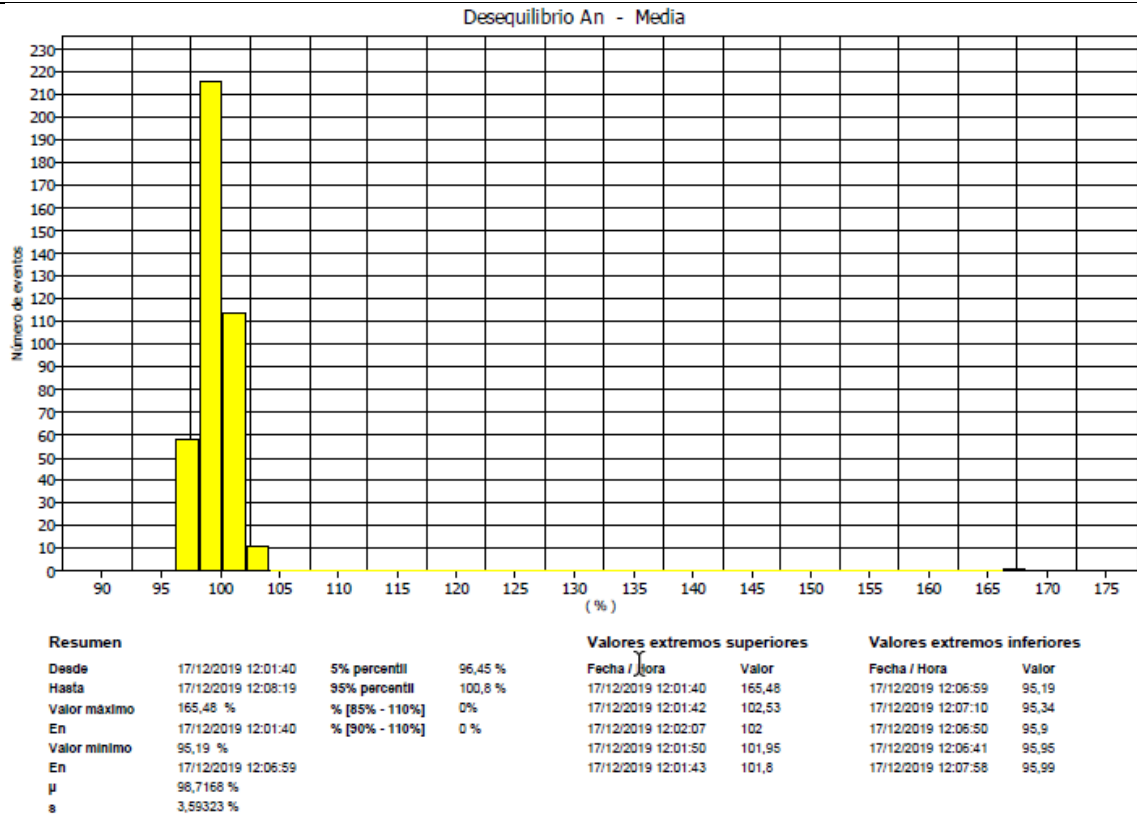
Fecha / Hora	Valor
17/12/2019 12:01:40	154,15
17/12/2019 12:08:19	8,61
17/12/2019 12:08:18	8,61
17/12/2019 12:08:17	8,61
17/12/2019 12:08:16	8,61

**Valores extremos inferiores**

Fecha / Hora	Valor
17/12/2019 12:06:29	8,6
17/12/2019 12:06:16	8,6
17/12/2019 12:05:46	8,6
17/12/2019 12:05:34	8,6
17/12/2019 12:05:33	8,6

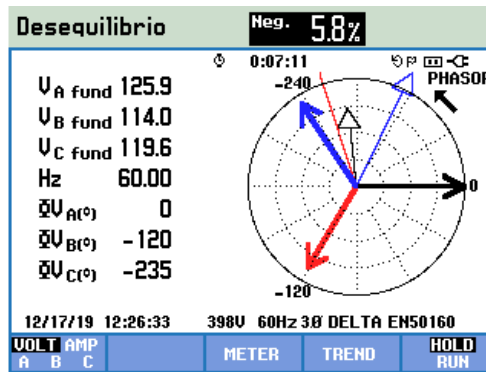
Gráfica 78: Estadística del desequilibrio de voltaje (medición 1).

FUENTE: Software Power Log Classic.

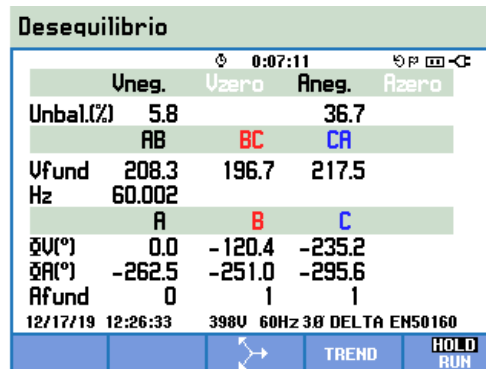


Gráfica 79: Estadística del desequilibrio de corriente (medición 1).  
FUENTE: Software Power Log Classic.

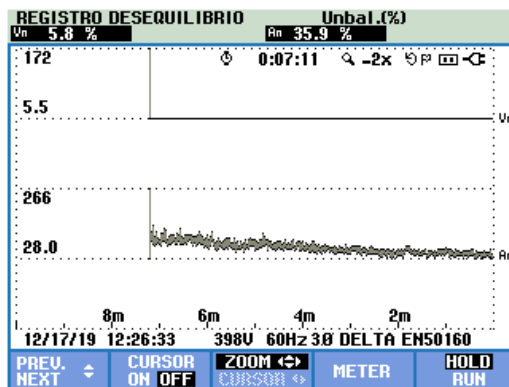
- Resultados de la medición 2: Desequilibrio del ángulo de fase entre la línea 1-3



Gráfica 80: Diagrama de fasores de voltajes de fases (medición 2)  
FUENTE: Software Power Log Classic



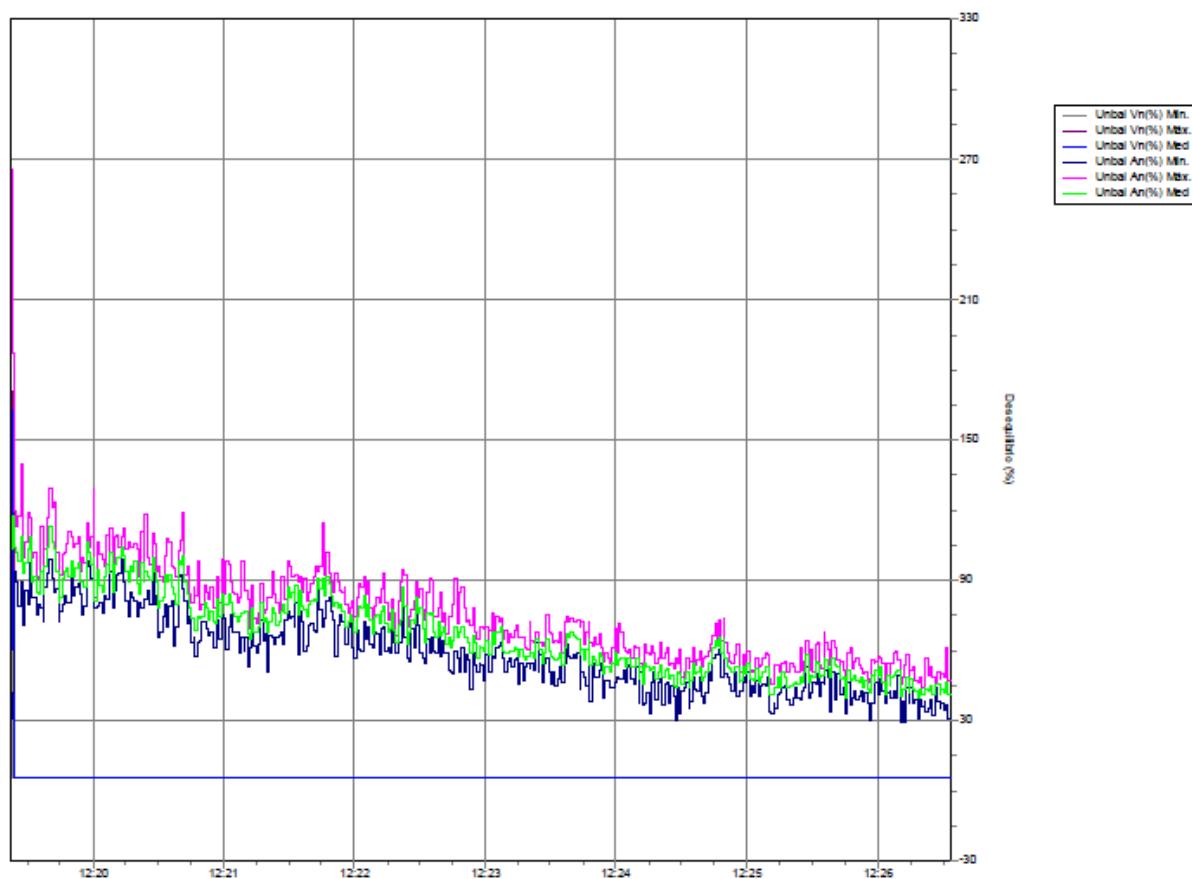
Gráfica 81: Detalle de la pantalla multímetro en modo desequilibrio (medición 2).  
FUENTE: Software Power Log Classic.



Gráfica 82: Detalle de la pantalla tendencia en modo desequilibrio (medición 2).

FUENTE: Software Power Log Classic.

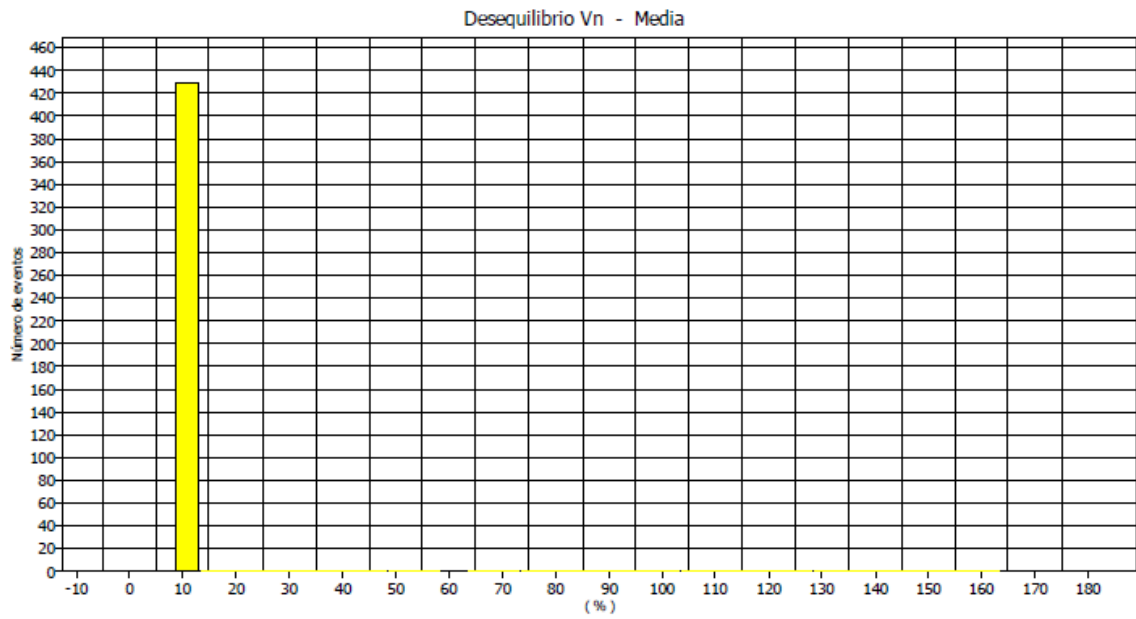
A continuación, se presenta el informe de las gráficas y diagramas de la medición, obtenidos con el software Power Log Classic de la medición 2.



Gráfica 83: Detalle de desequilibrio de voltajes y corrientes (medición 2)

FUENTE: Software Power Log Classic.





**Resumen**

Desde	17/12/2019 12:19:23	5% percentil	5,79 %
Hasta	17/12/2019 12:26:33	95% percentil	5,82 %
Valor máximo	162,47 %	% [85% - 110%]	0%
En	17/12/2019 12:19:23	% [90% - 110%]	0 %
Valor mínimo	5,79 %		
En	17/12/2019 12:20:33		
$\mu$	6,28466 %		
$\sigma$	7,98752 %		

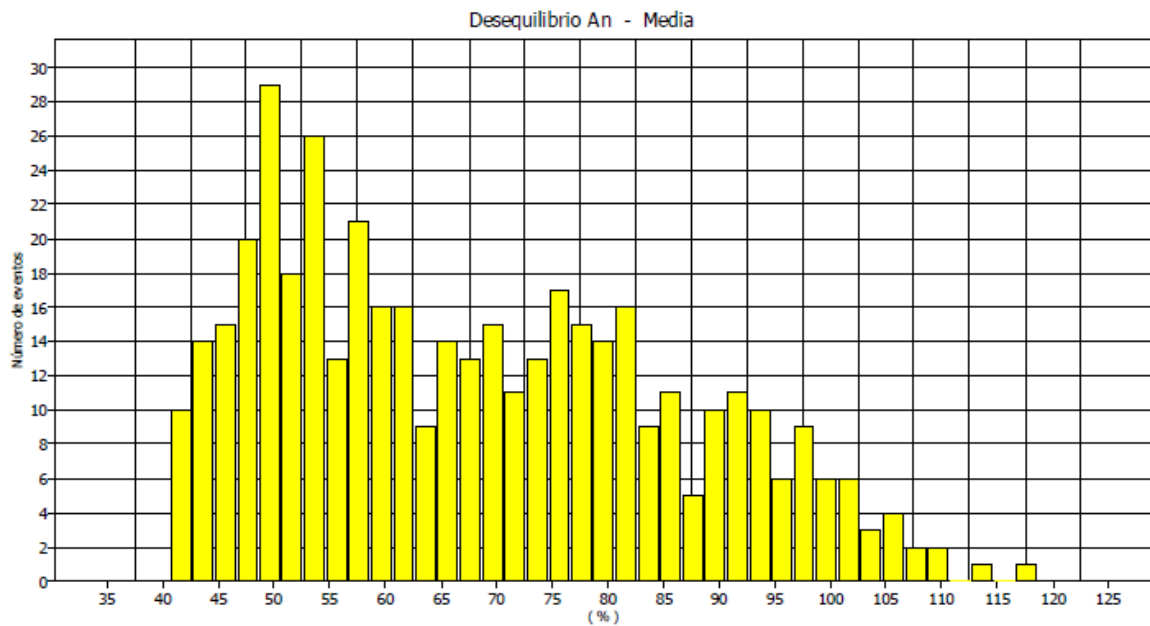
**Valores extremos superiores**

Fecha / Hora	Valor
17/12/2019 12:19:23	162,47
17/12/2019 12:19:24	60,48
17/12/2019 12:20:31	5,82
17/12/2019 12:20:30	5,82
17/12/2019 12:20:29	5,82

**Valores extremos inferiores**

Fecha / Hora	Valor
17/12/2019 12:26:33	5,79
17/12/2019 12:26:32	5,79
17/12/2019 12:26:31	5,79
17/12/2019 12:26:30	5,79
17/12/2019 12:26:29	5,79

**Gráfica 84:** Estadística del desequilibrio de Vn - medio (medición 2).  
**FUENTE:** Software Power Log Classic.



**Resumen**

Desde	17/12/2019 12:19:23	5% percentil	43,44 %
Hasta	17/12/2019 12:26:33	95% percentil	98,7 %
Valor máximo	117,15 %	% [85% - 110%]	0%
En	17/12/2019 12:19:24	% [90% - 110%]	0 %
Valor mínimo	39,64 %		
En	17/12/2019 12:26:19		
$\mu$	67,1771 %		
$\sigma$	17,7597 %		

**Valores extremos superiores**

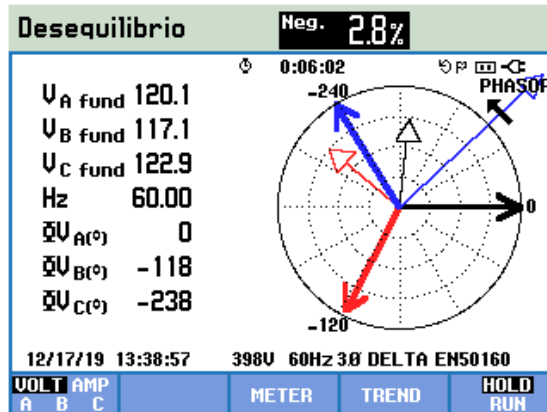
Fecha / Hora	Valor
17/12/2019 12:19:24	117,15
17/12/2019 12:19:41	113,04
17/12/2019 12:19:32	108,76
17/12/2019 12:19:28	108,42
17/12/2019 12:19:58	106,64

**Valores extremos inferiores**

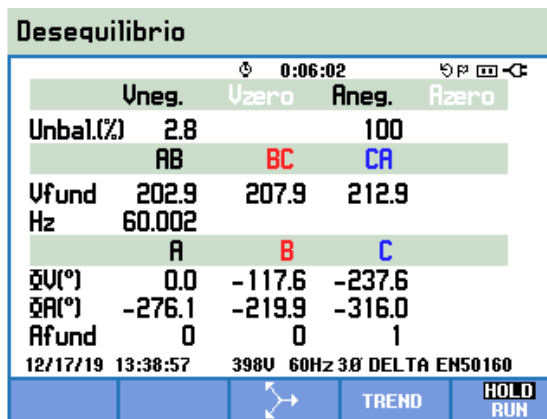
Fecha / Hora	Valor
17/12/2019 12:26:19	39,64
17/12/2019 12:25:46	39,73
17/12/2019 12:26:11	40,79
17/12/2019 12:25:12	40,92
17/12/2019 12:26:04	40,98

**Gráfica 85:** Estadística del desequilibrio de corriente An - medio (medición 2).  
**FUENTE:** Software Power Log Classic.

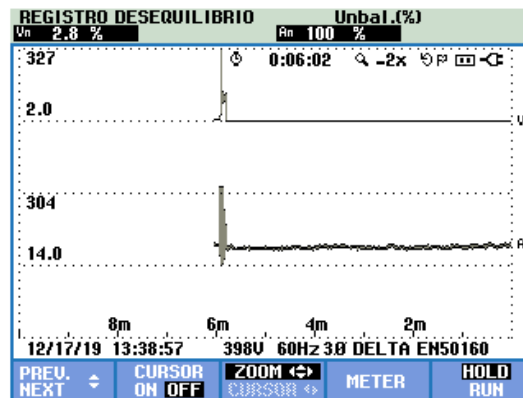
- Medición 3. Desequilibrio de voltaje entre L1-L2 y L1-L3.



Gráfica 86: Diagrama de fasores de voltajes de fases (medición 3)  
FUENTE: Software Power Log Classic.

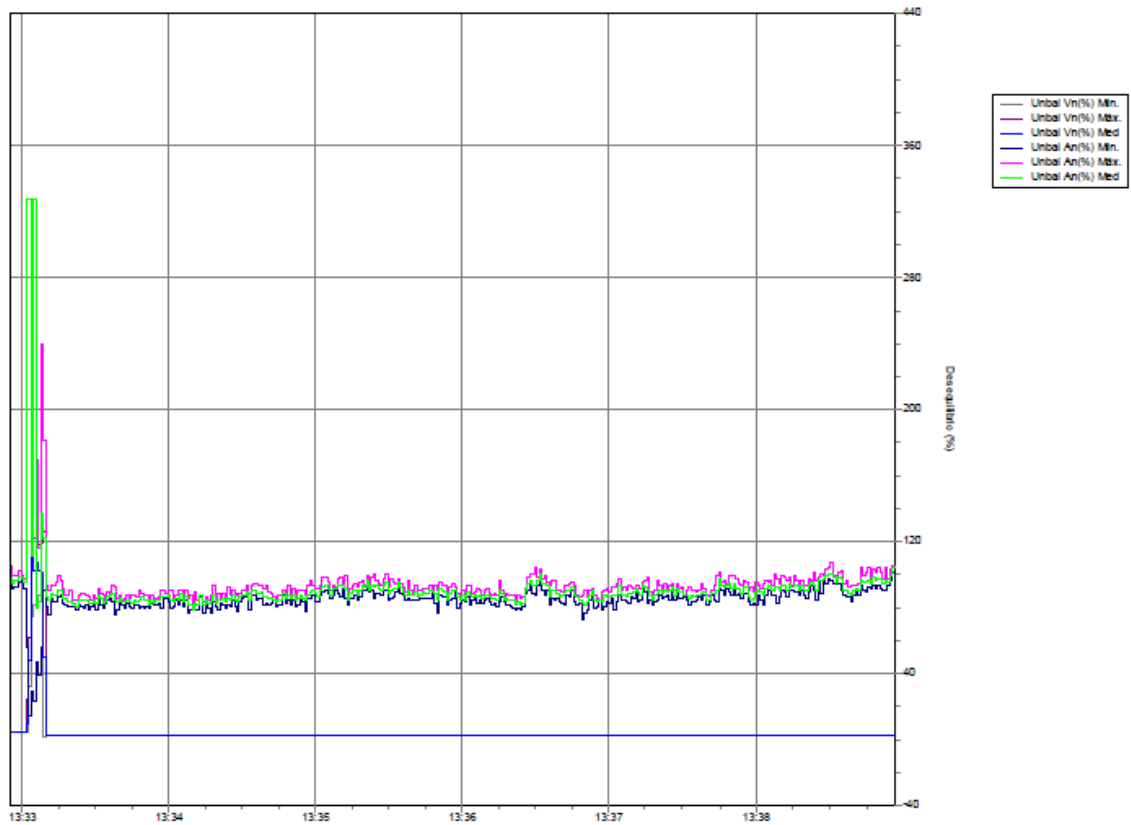


Gráfica 87: Detalle de la pantalla multímetro en modo desequilibrio (medición 3).  
FUENTE: Software Power Log Classic.

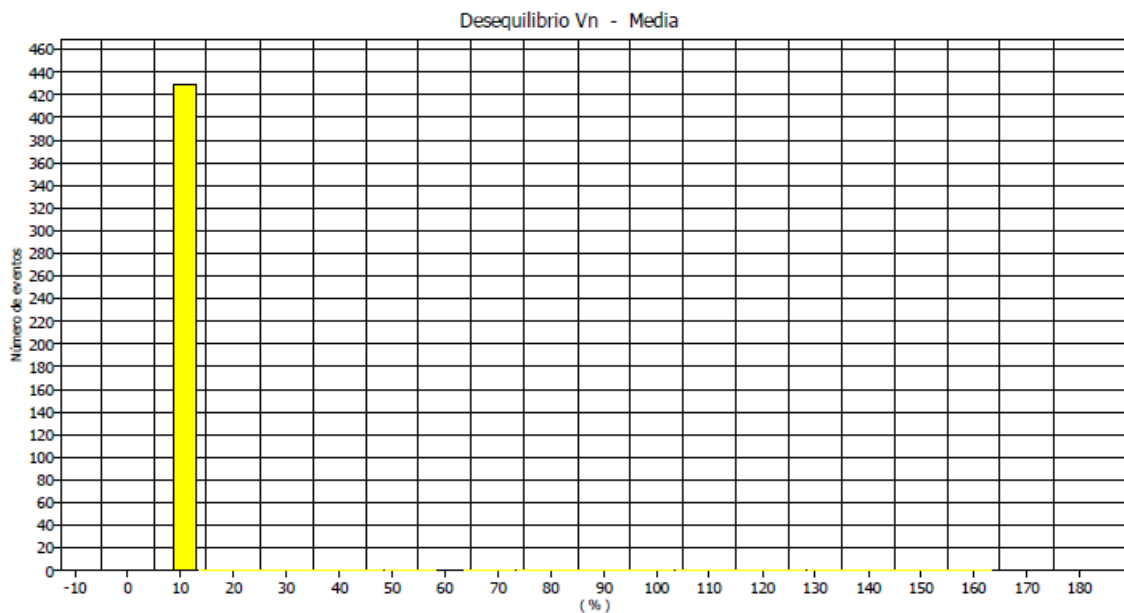


Gráfica 88: Detalle de la pantalla tendencia en modo desequilibrio (medición 3).  
FUENTE: Software Power Log Classic.

A continuación, se presenta el informe de las gráficas y diagramas de la medición, obtenidos con el software Power Log Classic de la medición 3.

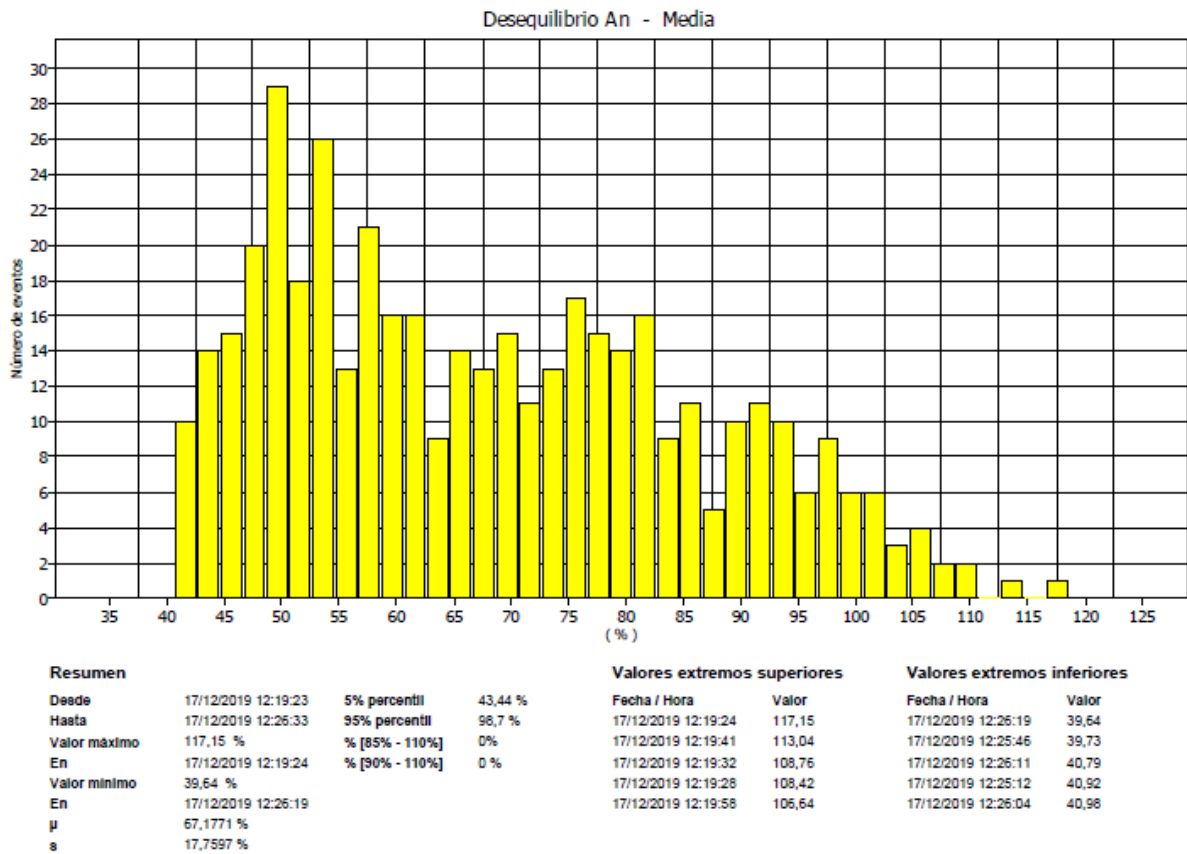


**Gráfica 89:** Detalle de desequilibrio de voltajes y corrientes (medición 3)  
**FUENTE:** Software Power Log Classic.



Resumen				Valores extremos superiores		Valores extremos inferiores	
Desde	17/12/2019 12:19:23	5% percentil	5,79 %	Fecha / Hora	Valor	Fecha / Hora	Valor
Hasta	17/12/2019 12:26:33	95% percentil	5,82 %	17/12/2019 12:19:23	162,47	17/12/2019 12:26:33	5,79
Valor máximo	162,47 %	% [85% - 110%]	0%	17/12/2019 12:19:24	60,48	17/12/2019 12:26:32	5,79
En	17/12/2019 12:19:23	% [90% - 110%]	0%	17/12/2019 12:20:31	5,82	17/12/2019 12:26:31	5,79
Valor mínimo	5,79 %			17/12/2019 12:20:30	5,82	17/12/2019 12:26:30	5,79
En	17/12/2019 12:20:33			17/12/2019 12:20:29	5,82	17/12/2019 12:26:29	5,79
$\mu$	6,28466 %						
s	7,98752 %						

**Gráfica 90:** Estadística del desequilibrio de Vn - medio (medición 3).  
**FUENTE:** Software Power Log Classic.



**Gráfica 91:** Estadística del desequilibrio de corriente An - medio (medición 3).

**FUENTE:** Software Power Log Classic.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS:

Para analizar un desbalance de voltaje se tiene presente las siguientes normas.

- **NORMA IEEE std 1159-2019.**

Esta norma recomienda que el factor o índice de desbalance en un suministro eléctrico no debe pasar el 2 %.

- **NORMA EN 50160.**

Esta norma establece que en condiciones normales para sistemas de baja tensión y media tensión para cada periodo de una semana el 95 % de los valores eficaces promediados cada 10 minutos de la componente inversa de la tensión de suministro debe comprender entre el 0 % y el 2 % de la componente directa. Para algunos sistemas de baja tensión equipadas con líneas parcialmente monofásicas o bifásicas, el desequilibrio puede tener un valor del 3 % en los puntos de suministro trifásico.

- **ARCONEL 005/18**

La regulación ecuatoriana ARCONEL 005/18 “Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica” establece los indicadores, índices y límites para el servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica tanto para las empresas eléctricas como para los consumidores.

La regulación establece que el valor límite del índice de desequilibrio de voltaje en un punto de medición será de 2 % para todos los niveles de voltaje.

La distribuidora cumple con el índice de desequilibrio de voltaje cuando el 95 % o más de los datos registrados, en un periodo de evaluación de al menos 7 días cumplen con el límite establecido.

Como se observa en esta práctica se simulo desequilibrios de tensión sobre el valor recomendado, donde se pudo observar que la carga en este caso un motor eléctrico a un mayor desequilibrio existe una mayor vibración del motor que a corto o largo plazo se provocaría su deterioro.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- A través de la práctica se logró enriquecer los conocimientos respecto a este fenómeno, así mismo como utilizar la fuente AC para simular y a través del analizador de redes medir su comportamiento.
- Los desequilibrios de tensión generalmente se producen por una mala distribución de la carga, es decir sobrecargando una fase más que las otras.
- Los desequilibrios que se encuentran por arriba de los límites permitidos, en los motores y transformadores provocan el calentamiento dañando el material aislante por lo cual hace que reduzca su vida útil o en ocasiones se producen cortocircuitos.
- Para implementar la práctica se recomienda desconectar la fuente de alimentación para de esta manera evitar cualquier tipo de accidente.

## 8. BIBLIOGRAFÍA:

- [1] M. Angel and S. Cortés, "Instituto Tecnológico de Puebla Calidad de la Energía Eléctrica," 2009.
- [2] IEEE Std 1159-2019 (Revision of IEEE Std 1159-2009), *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, vol. 2019. 2019.
- [3] Manual "AC Power Source MODEL 6500 SERIES PROGRAMMABLE AC POWER SOURCE MODEL 6500 SERIES," no. 61701, pp. 61702–61705.
- [4] A. K. Henryk Markiewicz, "Perturbaciones de Tensión," *Leonardo Power Qual. Initiative*, 2004.
- [5] Fluke Corporation, "Manual Fluke 434-II/435-II/437-II," p. 182, 2012.

**CARRERA:** Ingeniería Eléctrica.

**LABORATORIO DE:** Calidad de energía eléctrica.

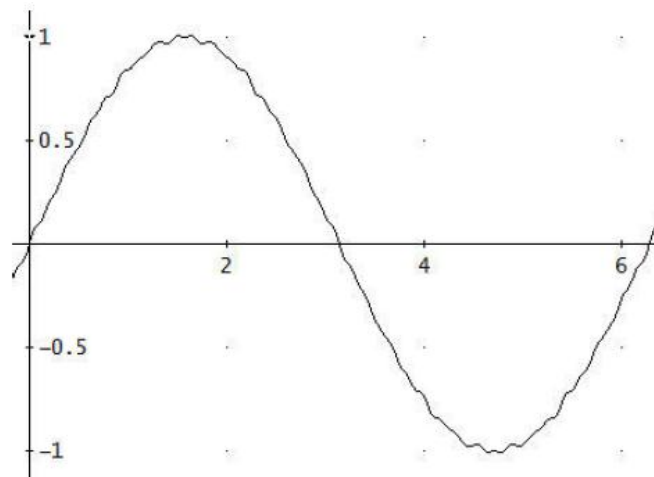
**NRO. PRÁCTICA:** 7

**TÍTULO PRÁCTICA:** Medición de componentes armónicos.

## 1. INTRODUCCIÓN:

### DISTORSIÓN ARMÓNICA.

En los sistemas eléctricos la forma de onda del voltaje o corriente nunca es una senoide perfecta a frecuencia constante, a este fenómeno se le denomina distorsión armónica de voltaje o corriente. Los armónicos de voltajes y corrientes sinusoidales tienen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental (Ecuador 60 Hz). La distorsión del voltaje o corriente se debe a las características no lineales de los dispositivos y cargas conectadas al sistema de distribución, tales como: computadoras, hornos de arco, variadores de velocidad, UPSs, rectificadores, convertidores, electrodomésticos, entre otros; en la figura 8.a se observa las características de una forma de onda contaminada por armónicos.



*Figura 7.a: Onda de voltaje distorsionada por armónicos.*

No obstante, también existen otro tipo de componentes denominados interarmónicos, estos fenómenos son tensiones o corrientes que presentan componentes de frecuencia que no son múltiplos enteros de la frecuencia fundamental, que pueden aparecer con diferentes valores nominales de tensión.

El fenómeno de los armónicos actualmente es un problema creciente tanto para las distribuidoras eléctricas como para los usuarios debido al uso de equipos electrónicos que cada vez es mayor en las industrias, edificios comerciales y residenciales, entre otros.

Los niveles de distorsión pueden caracterizarse por el espectro armónico con magnitud y ángulo de fase de cada componente armónico, o también a través de una sola cantidad que es la medida de la magnitud de la distorsión armónica total (THD), que viene definida por:

$$THD = \frac{\sqrt{(\sum_{i=2}^N V_i^2)}}{V_1}$$

Donde:

$V_i$ , valor de la componente armónica presente en la señal.

$V_1$ , valor de la componente fundamental.

### FÓRMULAS PARA DETERMINAR LA DISTORSIÓN ARMÓNICA TOTAL (THD).

- **Fórmulas de acuerdo a la regulación ecuatoriana 005/18 (ARCONEL).**

De acuerdo a esta regulación la distorsión armónica individual y total del voltaje se evalúa conforme a los siguientes índices.

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

$$DV_{h,k} = \frac{V_{h,k}}{V_n} * 100 [\%]$$

$$THD_k = \left[ \frac{1}{V_n} \sqrt{\sum_{h=2}^{50} (V_{h,k})^2} \right] * 100 [\%]$$

Donde:

$V_{h,k}$  = Armónica de voltaje h en el intervalo k de 10 minutos.

$V_{h,i}$  = Valor eficaz (rms) de la armónica de voltaje h ( $h = 2, 3, \dots, 50$ ), medido cada 3 segundos ( $i = 1, 2, \dots, 200$ ).

$DV_{h,k}$  = Factor de distorsión individual de voltaje de la armónica h (para  $h = 2, 3, \dots, 50$ ) en el intervalo k de 10 minutos.

$THD_k$  = Factor de distorsión armónica total de voltaje.

$V_n$  = Voltaje nominal en el punto de medición.

- **Fórmulas de acuerdo a la norma IEEE std 519-2014**

a. *Medición de armónicos de muy corto tiempo.*

Para evaluar los armónicos en un periodo de tiempo muy corto, de acuerdo con esta norma las mediciones de armónicos se evalúan en un intervalo de 3 segundos para sistemas de 60 (50 Hz). Los componentes individuales de frecuencia son agregados basado en un cálculo rms, como se aprecia en la siguiente ecuación.

$$F_{n,vs} = \sqrt{\frac{1}{15} \sum_{i=1}^{15} F_{n,i}^2}$$

Donde:

$F$  = representa la tensión (V) o corriente (I), en todos los casos representa un valor rms.

$n$  = representa el orden armónico.

$i$  = es un contador simple.

$vs$  = se usa para denotar de muy corto tiempo.

*b. Medición de armónicos a corto plazo.*

Los niveles armónicos a corto plazo se evalúan en un intervalo de 10 minutos, a través de una agregación de 200 valores consecutivos de tiempo muy cortos para un componente de frecuencia específico. Los 200 valores son agrados basado en un cálculo rms como se aprecia en la siguiente ecuación.

$$F_{n,sh} = \sqrt{\frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} F_{(n,vs),i}^2}$$

Donde:

$F$  = representa la tensión (V) o corriente (I), en todos los casos representa un valor rms.

$n$  = representa el orden armónico.

$i$  = es un contador simple.

$hs$  = se usa para denotar de muy corto plazo.

## 2. ALCANCE DE LA PRÁCTICA:

Con la realización de esta práctica se busca que los estudiantes refuercen los conocimientos referentes a las distorsiones armónicas, así mismo que interactúen con la fuente programable AC y con el manejo del software SoftPanel para simular estas distorsiones armónicas y sobre todo aprender a configurar el analizador de redes (FLUKE 435) para realizar la medición y poder generar informes de gráficos y diagramas a través del software Power Log Classic.

## 3. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA:

- Realizar la programación en la fuente AC (Chroma Modelo 61702) para simular las distorsiones armónicas en la forma de onda de voltaje de salida.
- Realizar las conexiones y configuraciones adecuadas de los equipos de medición y simulación.
- Obtener gráficos, diagramas e informes de calidad una vez realizado las mediciones.
- Evaluar y analizar los armónicos de voltaje y corriente de acuerdo a las normas vigentes expuestas.

## 4. MATERIALES:

Los materiales que se utilizan para el desarrollo de esta práctica son:

- Fuente programable CA (Model Chroma 61702).
- Medidor de calidad de energía eléctrica (Fluke 435).
- Osciloscopio
- Carga (Motor trifásico).
- Multímetro digital.
- Cables de conexión.



## 5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA:

Para desarrollar la práctica de medición de armónicos se realiza por etapas para cumplir los objetivos planteados, cada etapa lleva a comprender que equipos y softwares se utilizan tanto para la simulación y medición de este fenómeno y una vez obtenido los informes con los datos de medición a través de la regulación ecuatoriana y normas internacionales entender los límites que se deben cumplir cuando se manifiestan los armónicos.

- **Programación de la fuente variable AC para distorsiones armónicas.**

Antes de realizar la programación realizamos la conexión entre la fuente programable AC y la PC, luego accedemos al software *SoftPanel de Chroma* hasta localizarnos en la pantalla principal, hacemos clic en la opción de *Mode Selecting* se desplaza una pantalla con varias funciones de las cuales elegimos la función WAVEFORM EDITOR.

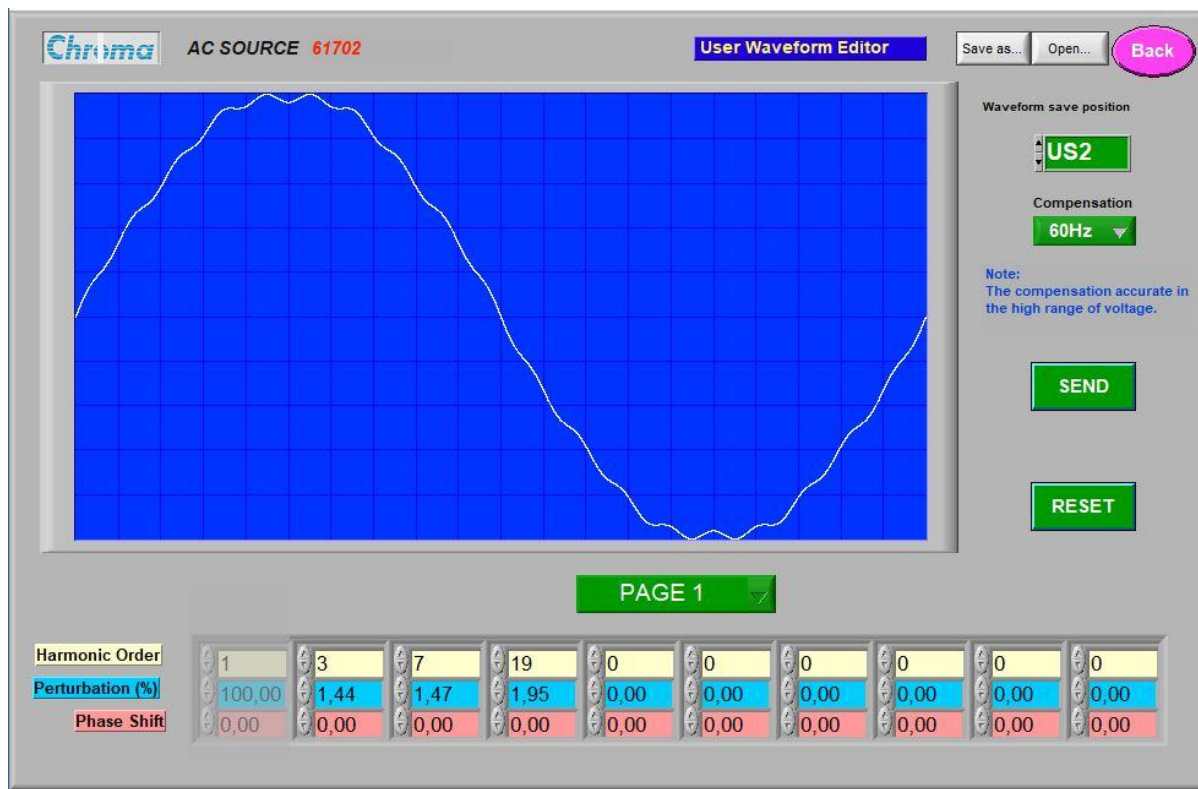
- **Actividad 1.**

Los valores para generar la distorsión armónica para la forma de onda de salida 1 se presentan en la tabla 7.A.

*Tabla 7.A: Valores de entrada para la programación.*

Orden armónico	Perturbación (%)	Ángulo de fase ( $\theta$ )
3	1.44	0
7	1.47	0
19	1.95	0

El detalle de la forma de onda con la distorsión armónica de voltaje programada y los datos ingresados se observa en la gráfica 93. Así mismo la posición donde se guardará la forma de onda, para esta actividad es US2.



*Gráfica 92: Detalle forma de onda con distorsión armónica (Actividad 1).*

**FUENTE:** Software SoftPanel.

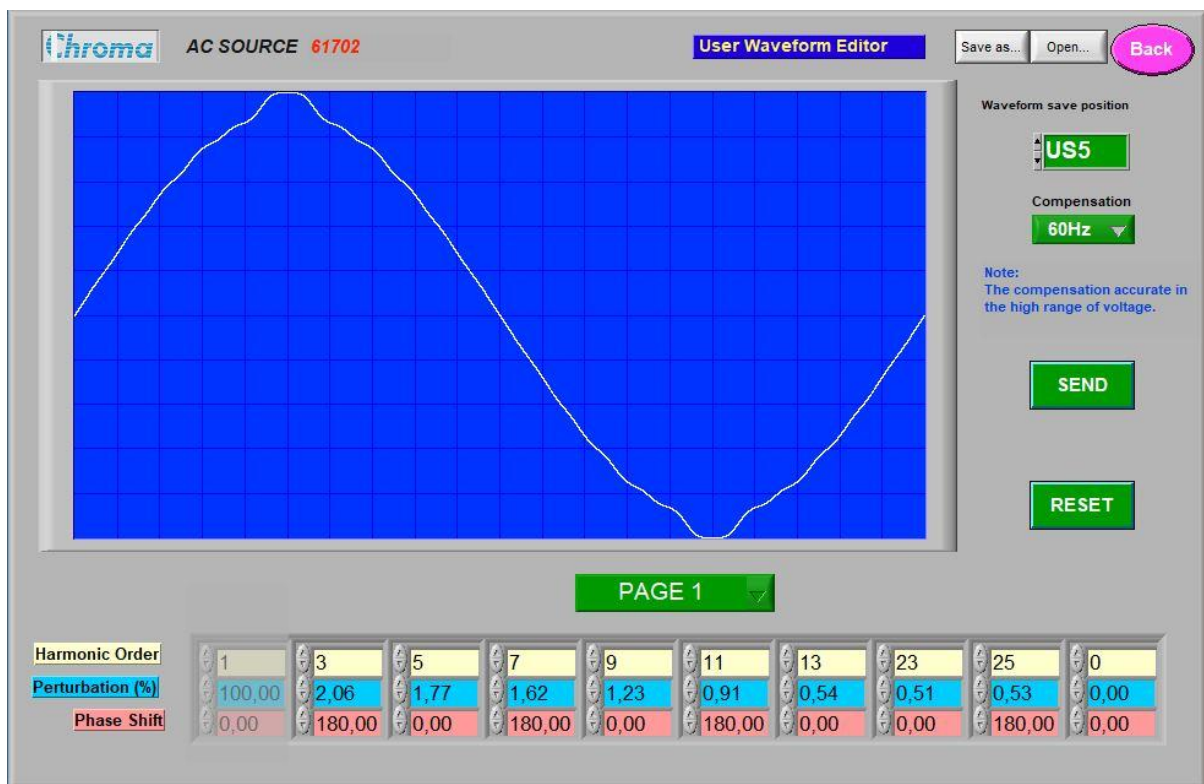
- **Actividad 2.**

Los valores para generar la distorsión armónica para la forma de onda de salida 1 se presentan en la tabla 7.A.

*Tabla 7.B: Valores de entrada para la programación.*

<b>Orden armónico</b>	<b>Perturbación (%)</b>	<b>Ángulo de fase (<math>\theta</math>)</b>
3	2.06	180
5	1.77	0
7	1.62	180
9	1.23	0
11	0.91	180
13	0.54	0
23	0.51	0
25	0.53	180

El detalle de la forma de onda con la distorsión armónica de voltaje programada y los datos ingresados se observa en la gráfica 94. Así mismo la posición donde se guardará la forma de onda, para esta actividad es US5.



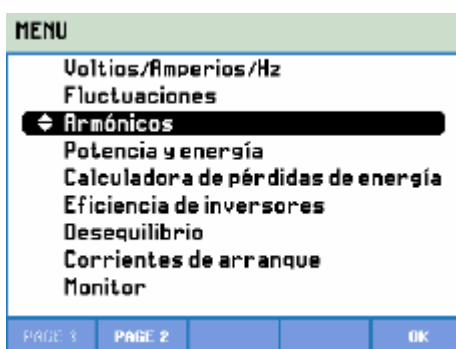
*Gráfica 93: Detalle forma de onda con distorsión armónica (Actividad 2).*

FUENTE: Software SoftPanel.

- **Configuración del analizador para la medición de interrupciones de voltaje.**

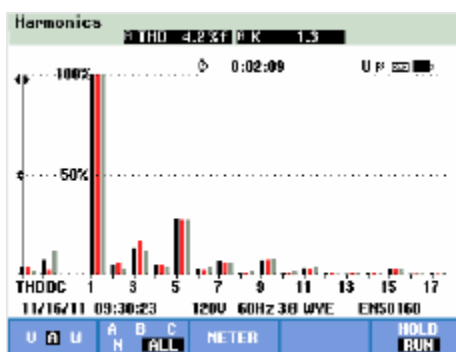
Antes de realizar la configuración del analizador para iniciar con las mediciones de las distorsiones armónicas de voltaje primero realizamos la conexión de la carga a la salida de la fuente programable AC, luego conectamos el analizador de redes en las líneas que alimentan a la carga tal como se realizó en la práctica 1. Con la finalidad de medir las distorsiones armónicas de voltaje utilizaremos el modo Armónicos del analizador (FLUKE 435).

Para acceder a este modo una vez encendido el analizador pulsamos la tecla menú e inmediatamente se despliega una ventana con varias funciones a continuación seleccionamos el modo *Armónicos* como se observa en la gráfica 95.



**Gráfica 94:** Detalle para la selección del modo armónicos.  
FUENTE: Analizador de redes Fluke 435.

Una vez seleccionado el modo inmediatamente el analizador muestra la pantalla de gráfico de barras (gráfica 96), esta pantalla se utiliza para verificar y observar el porcentaje de contribución de armónicos de cada uno de los componentes.



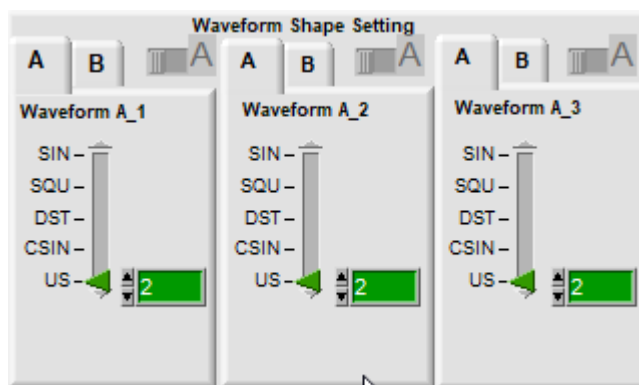
**Gráfica 95:** Detalle del gráfico de barras.  
FUENTE: Analizador de redes Fluke 435

Las teclas de función disponibles para la pantalla de tendencia se presentan en la tabla 5.B.

Tecla	Descripción
F1	Asigna las teclas de flecha arriba/abajo para desplazarse en la pantalla de tendencia.
F2	Permite acceder al menú de cursor y zoom.
F3	Permite acceder a la pantalla de multímetro.
F4	Permite acceder al menú de eventos. Se muestra el número de eventos registrados.
F5	Permite el cambio de modo HOLD (detención) a modo RUN (ejecución) de la medición.

- **Funcionamiento.**

Una vez que se haya ingresado los valores para la programación tanto para la actividad 1 como para la actividad 2, para iniciar con el funcionamiento primero se debe cargar la forma de onda a través del botón **SEND**, luego regresamos a la pantalla principal y en **Waveform Shape Setting** (gráfica 97) seleccionamos la opción US y escribimos el número de posición donde había sido guardado la forma de onda, que en nuestro caso fue US2 y US5.

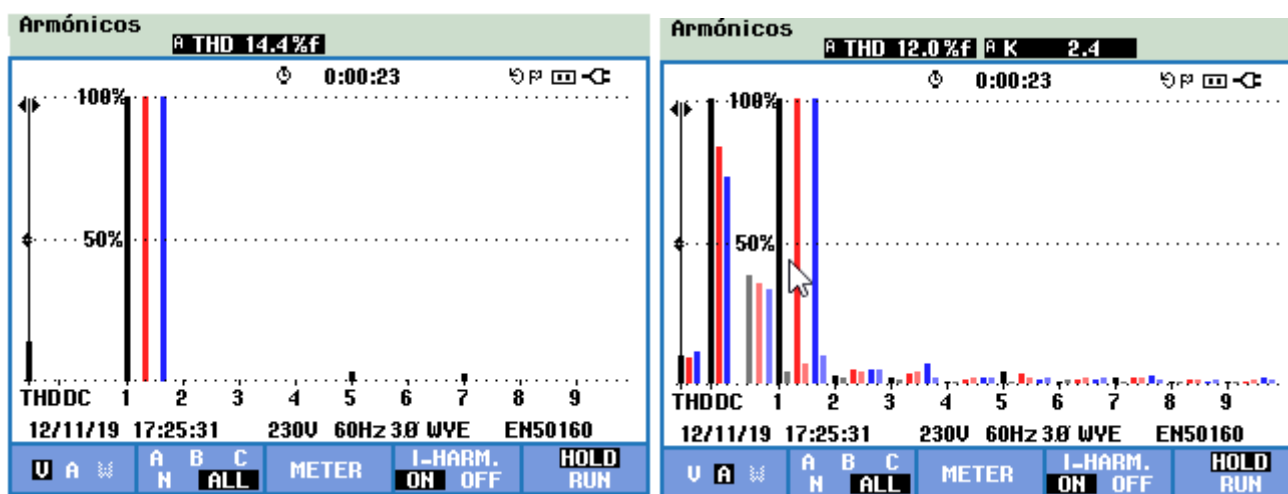


Gráfica 96: Detalle para la selección de forma de onda con distorsión armónica.  
FUENTE: Software SoftPanel.

Luego de haber seleccionado la forma de onda hacemos clic en **Output State** para iniciar con la simulación y medición. Para finalizar la medición pulsamos la tecla F5 (HOLD) y posteriormente poder descargar los resultados obtenidos con la ayuda del software Power Log Classic.

- **Resultados obtenidos.**
- **Resultados actividad 1.**

Los resultados de la medición de la actividad 1 se presenta en el siguiente resumen de gráficos y diagramas.

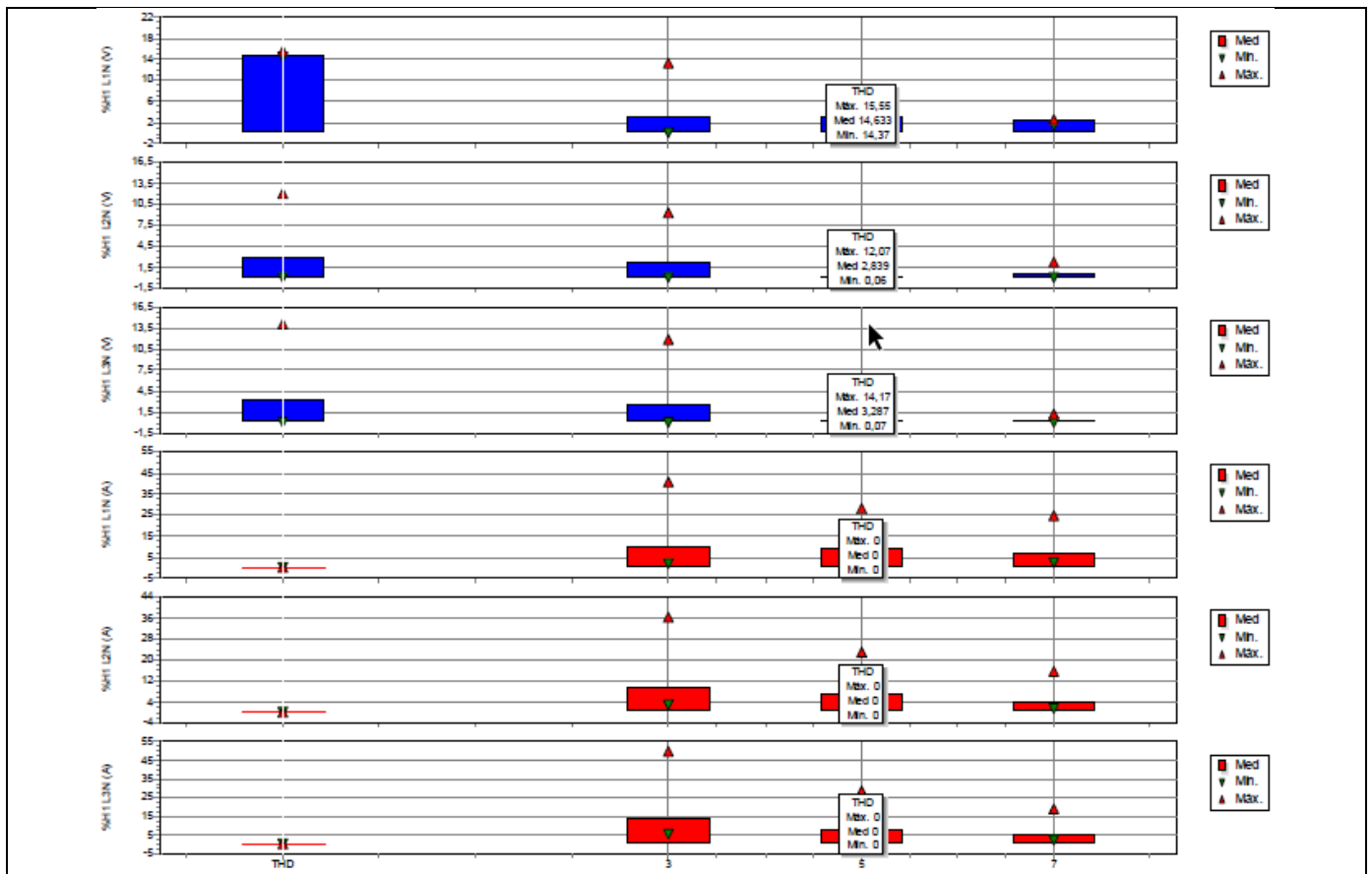


(a) Armónicos de voltaje.

(b) Armónicos de corriente.

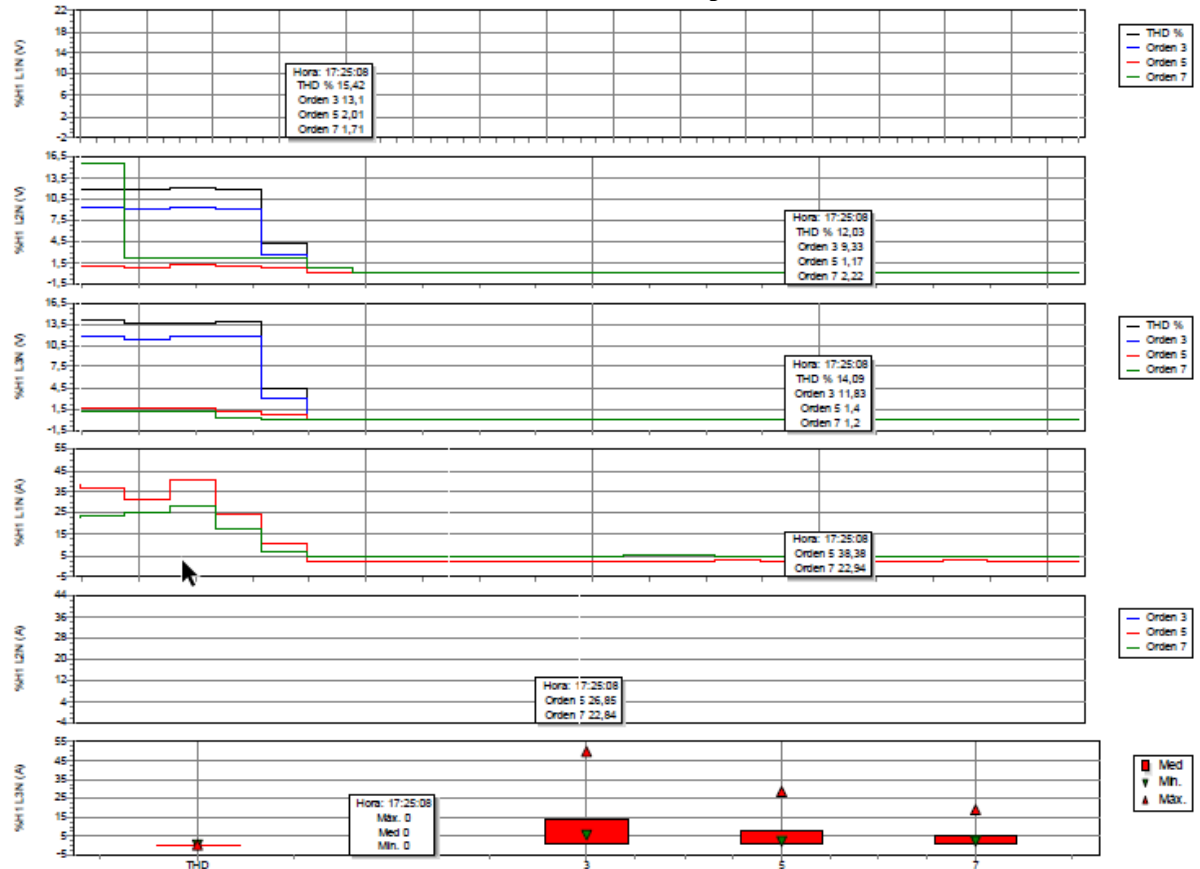
Gráfica 97: Detalle gráfico de barras de armónicos – Actividad 1.

FUENTE: Software Power Log Classic.



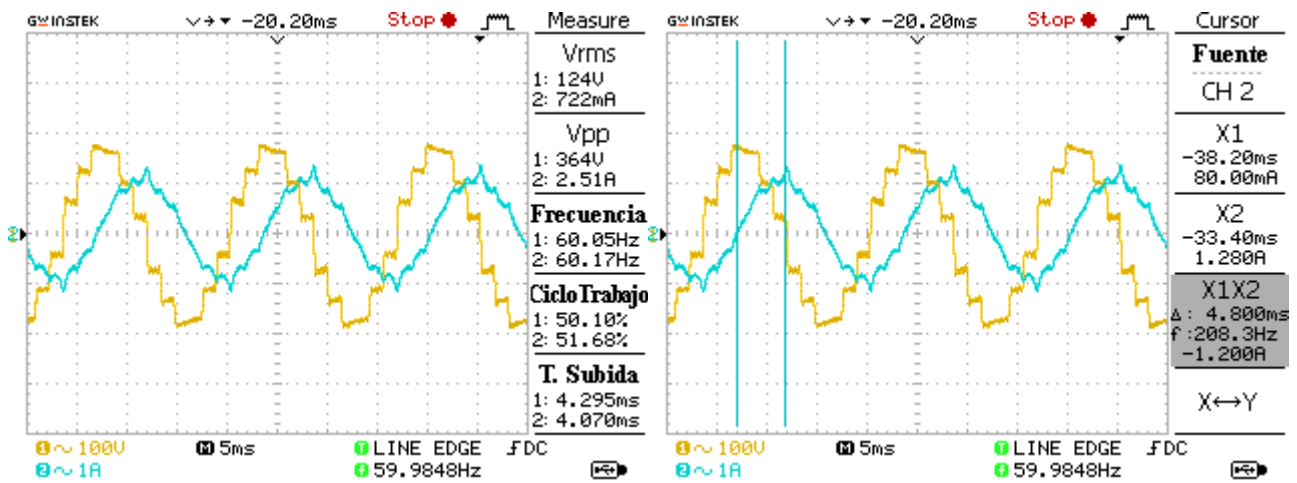
Gráfica 98: Detalle del histograma de armónicos de voltaje y corriente – Actividad 1.

FUENTE: Software Power Log Classic.



Gráfica 99: Detalle de la evolución temporal de armónicos de voltaje y corriente – Actividad 1.

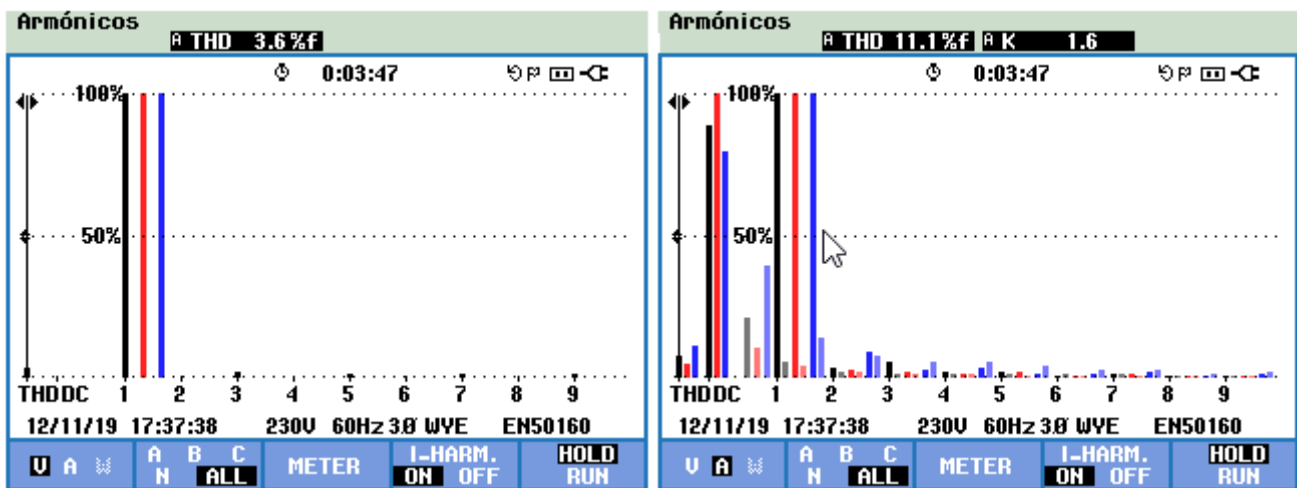
FUENTE: Software Power Log Classic.



Gráfica 100: Detalle forma de onda de salida con distorsión armónica del voltaje y corriente – Actividad 1.  
FUENTE: Osciloscopio.

- Resultados actividad 2.

El resultado de la medición de la actividad 2 se presenta a continuación en el siguiente resumen de gráficos e histogramas.

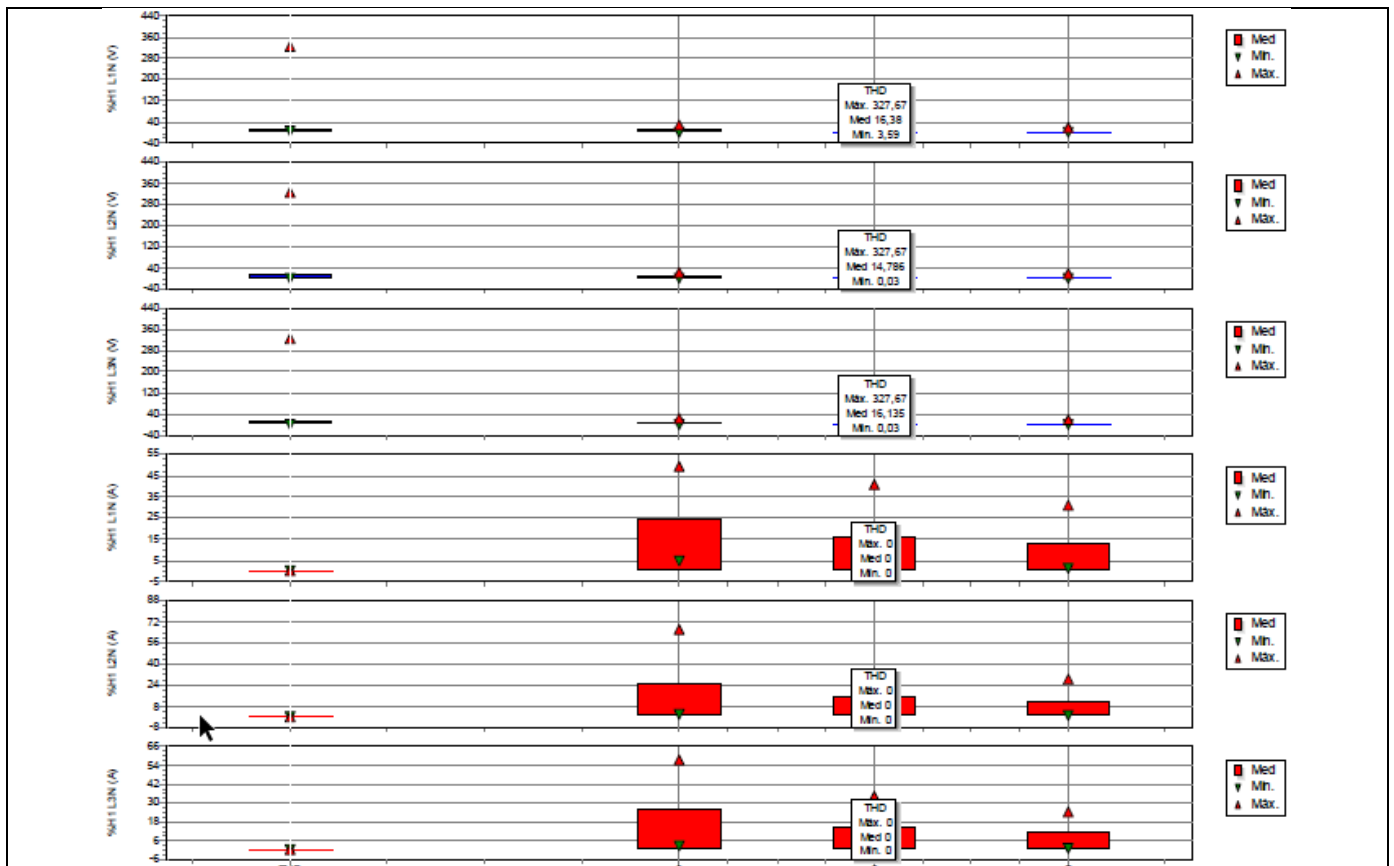


(a) Armónicos de voltaje.

(b) Armónicos de corriente.

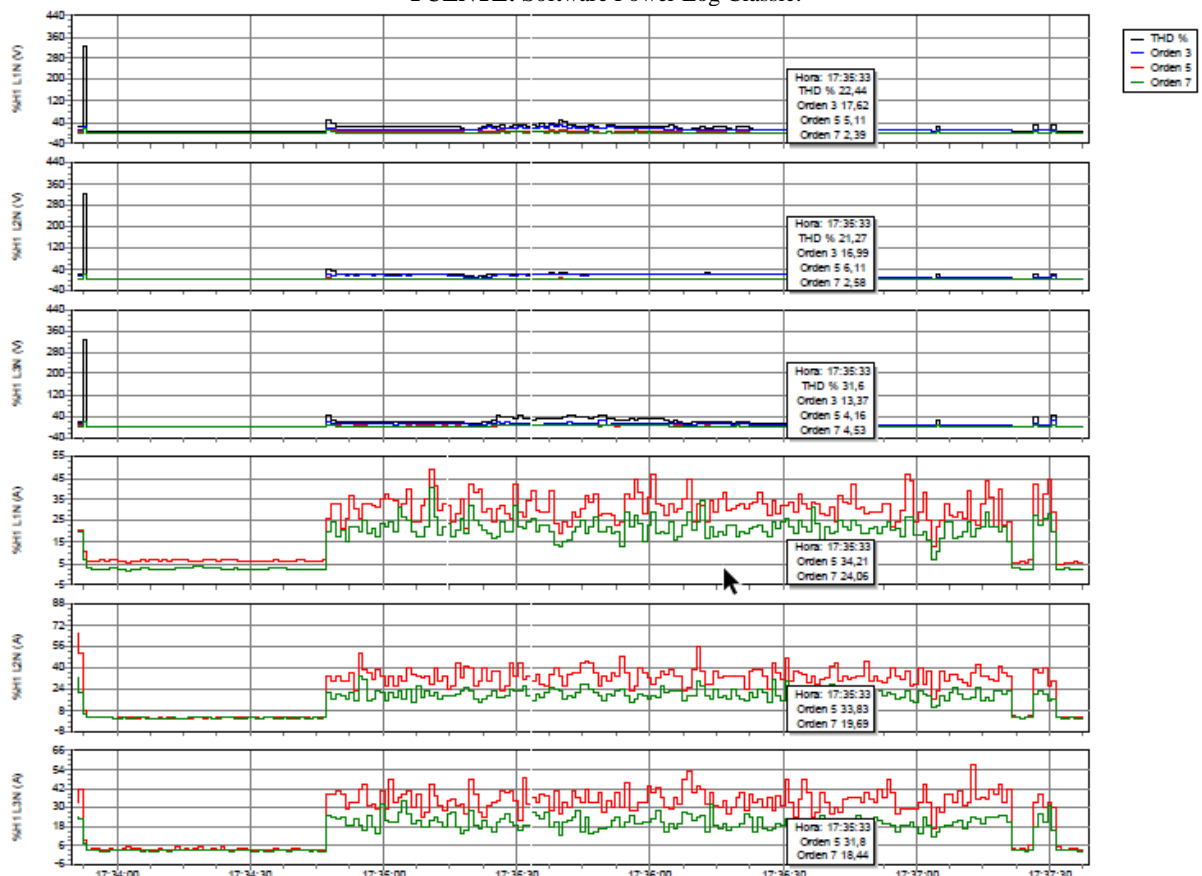
Gráfica 101: Detalle gráfico de barras de armónicos – Actividad 2.

FUENTE: Software Power Log Classic.



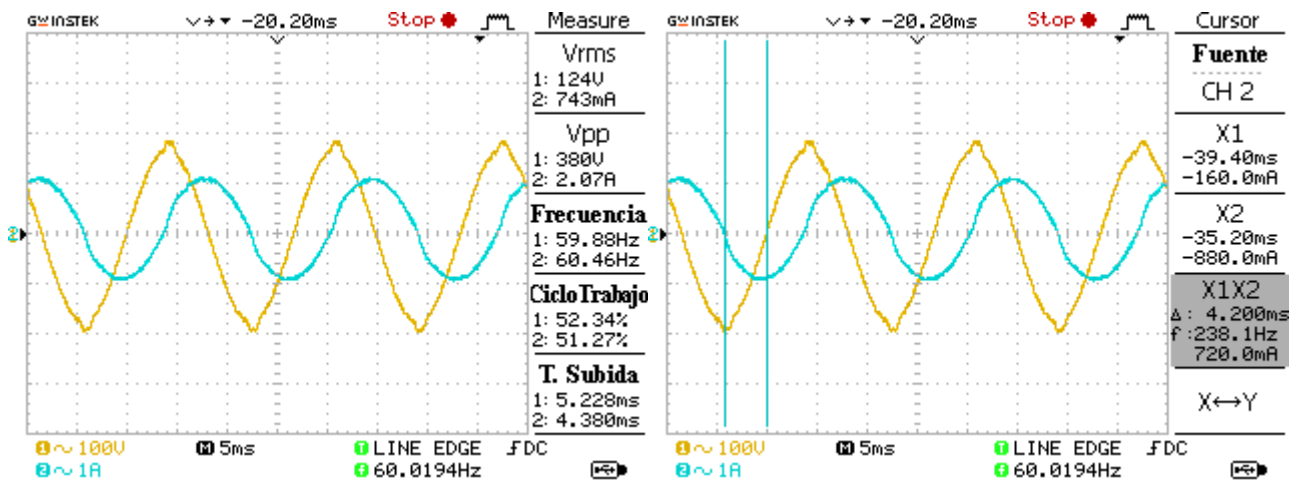
Gráfica 102: Detalle del histograma de armónicos de voltaje y corriente – Actividad 2.

FUENTE: Software Power Log Classic.



Gráfica 103: Detalle de la evolución temporal de armónicos de voltaje y corriente – Actividad 2.

FUENTE: Software Power Log Classic.



Gráfica 104: Detalle forma de onda de salida con distorsión armónica del voltaje y corriente – Actividad 1.  
FUENTE: Osciloscopio.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS:

Para el análisis de los resultados se toma a consideración las siguientes normas.

- NORMA IEEE 519 – 2014.

De acuerdo con esta norma los límites recomendados solo se aplican en el punto de acoplamiento común y no se aplica a equipos individuales ni dentro de las instalaciones de cada usuario. Debido a que en la mayoría de los casos en estos lugares los niveles armónicos de voltaje y corriente pueden ser mayores que los límites recomendados en el PCC debido a la falta de diversidad.

En la tabla 7.C se presentan los límites de distorsión de voltaje recomendados.

Tabla 7.C: Límites de distorsión de voltaje.

Voltaje V en PCC	Harmónico individual (%)	Distorsión armónica total THD (%)
$V \leq 1.0 \text{ kV}$	5.0	8.0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3.0	5.0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1.5	2.5
$161 \text{ kV} < V$	1.0	1.5

Los límites de distorsión de corriente recomendados en sistemas cuyo rango de tensión nominal va desde 120 V a 69 kV, se presenta en la siguiente tabla 7.D.

Tabla 7.D: Límites de distorsión armónica de corriente.

Distorsión máxima de corriente armónica en porcentaje de $I_L$						
Orden de armónico individual ( <i>armónicos impares</i> ) <sup>a,b</sup>						
$I_{SC}/I_L$	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h < 50$	TDD
$< 20^c$	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
$20 < 50$	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
$50 < 100$	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
$100 < 1000$	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
$> 1000$	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

a. Los armónicos pares están limitados al 25% de los límites de armónicos impares anteriores.

b. No se permiten las distorsiones de corriente que resultan en un desplazamiento de CC, por ejemplo, convertidores de media onda.

c. Todos los equipos de generación de energía están limitados a estos valores de distorsión de corriente, independientemente de  $I_{SC}/I_L$  real.

Dónde:



$I_{sc}$  = corriente máxima de cortocircuito en PCC

$I_L$  = corriente de carga de demanda máxima (componente de frecuencia fundamental) en el PCC en condiciones de funcionamiento de carga normal.

- **NORMA EN 50160.**

En la siguiente tabla 7.E se presentan los límites de distorsión armónica recomendados por esta norma.

*Tabla 7.E: Límites de distorsión de voltaje.*

<b>Armónicos impares</b>				<b>Armónicos Pares</b>	
<b>No múltiplos de 3</b>		<b>Múltiplos de 3</b>			
<i>Orden h</i>	<i>Tensión relativa (%)</i>	<i>Orden h</i>	<i>Tensión relativa (%)</i>	<i>Orden h</i>	<i>Tensión relativa (%)</i>
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6 .... 24	0.5
13	3	21	0.5		
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				

- **REGULACIÓN 005/18 (ARCONEL).**

Los límites máximos permisibles para la distorsión armónica de voltaje individual y total de acuerdo con esta regulación son:

*Tabla 7.F: Límites máximos de armónicos de voltaje.*

<b>NIVEL DE VOLTAJE</b>	<b>ARMÓNICA INDIVIDUAL (%)</b>	<b>THD (%)</b>
Bajo voltaje ( $V \leq 0,6$ kV)	5	8
Medio voltaje ( $0,6 \leq V \leq 40$ kV)	3	5
Alto voltaje Grupo 1 ( $40 \leq V \leq 138$ kV)	1,5	2,5
Alto voltaje Grupo 2 ( $V \geq 138$ kV)	1	1,5

La distribuidora eléctrica cumple con el factor de distorsión armónica de voltaje individual y total en el punto de medición si más del 95 % de los valores registrados son menores a los límites establecidos en un periodo de al menos 7 días consecutivos.

Los resultados de la medición total de armónicos de voltaje (THD) para la actividad 1 y 2 son 14.4 % y 3.6 % lo que significa que la forma de onda de la segunda actividad se encuentra en los límites permisibles de acuerdo con las normas.

## 7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

- A través de la práctica se logró enriquecer los conocimientos respecto a este fenómeno, así mismo como utilizar la fuente AC para simular y a través del analizador de redes medir su comportamiento.
- La presencia de armónicos en los sistemas eléctricos es cada vez mayor debido al incremento de las cargas no lineales provocando pérdida de potencia de los transformadores, pérdidas en las instalaciones, calentamiento de conductores por ende produciendo el deterioro del aislamiento del conductor, entre otros, es por eso la importancia de su medición para mitigar los problemas producidos por este fenómeno.

- Para reducir los problemas ocasionados por estos fenómenos en la actualidad existen filtros para el filtrado de dichos armónicos ayudando a optimizar la vida útil de las instalaciones.
- Para la implementación de esta práctica se recomienda desconectar la fuente de alimentación para la conexión de los equipos con la finalidad de evitar cualquier tipo de accidente.

## 8. BIBLIOGRAFÍA:

- [1] M. Angel and S. Cortés, "Instituto Tecnológico de Puebla Calidad de la Energía Eléctrica," 2009.
- [2] IEEE Std 1159-2019 (Revision of IEEE Std 1159-2009), *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, vol. 2019. 2019.
- [3] IEEE Power and Energy Society, "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems IEEE Power and Energy Society," *ANSI/IEEE Std. 519*, vol. 2014, pp. 5–9, 2014, doi: 10.1109/IEEESTD.2014.6826459.
- [4] Manual "AC Power Source MODEL 6500 SERIES PROGRAMMABLE AC POWER SOURCE MODEL 6500 SERIES," no. 61701, pp. 61702–61705.
- [5] A. K. Henryk Markiewicz, "Perturbaciones de Tensión," *Leonardo Power Qual. Initiative*, 2004.
- [6] Fluke Corporation, "Manual Fluke 434-II/435-II/437-II," p. 182, 2012.

**CARRERA:** Ingeniería Eléctrica.

**LABORATORIO DE:** Calidad de energía eléctrica.

**NRO. PRÁCTICA:** 8

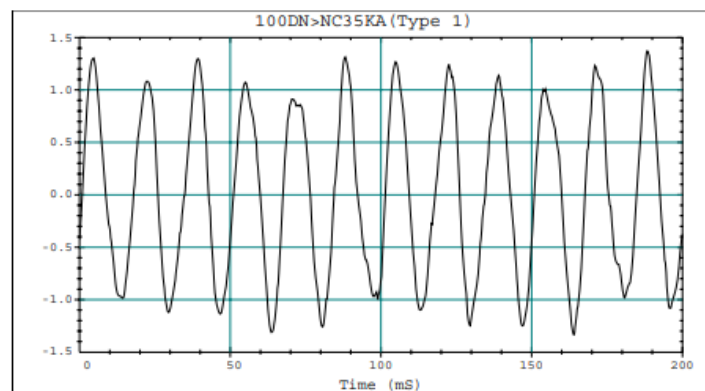
**TÍTULO PRÁCTICA:** Medición de Flickers.

## 1. INTRODUCCIÓN:

Las fluctuaciones de voltaje son cambios aleatorios que se presentan en la envolvente del nivel de voltaje cuyos rangos normalmente no excede los rangos de voltaje de 0.95 p.u. a 1.05 p.u., en los sistemas de energía eléctrica a veces dan lugar a cambios notables en los equipos de iluminación.

La frecuencia de estas fluctuaciones de voltaje es mucho menor que la frecuencia fundamental de 50 Hz o 60 Hz. Sin embargo, pueden ocurrir con suficiente frecuencia y magnitud como para causar irritación a las personas que observan los cambios de iluminación. Este fenómeno a menudo se conoce como parpadeo, parpadeo de la lámpara y, a veces, parpadeo de voltaje o generalmente como flicker.

En la siguiente gráfica se presenta un ejemplo de una forma de onda de voltaje que genera parpadeo de la lámpara.



*Figura 8.a: Forma de onda de voltaje que genera parpadeo de la lámpara.*

**FUENTE:** [2].

La evaluación final de la severidad del flicker de acuerdo con la norma 1453-2015 se expresa por dos parámetros el  $P_{st}$  (corta duración) y el  $P_{lt}$  (larga duración) que son las medidas del flicker.

**$P_{st}$ :** es una medida de percepción a corto plazo del parpadeo obtenida durante un intervalo de 10 minutos.

**$P_{lt}$ :** es una medida de percepción a largo plazo del parpadeo, obtenida durante un periodo de 2 horas. Este valor se compone de 12 valores consecutivos  $P_{st}$ , de acuerdo con la siguiente formula.

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} * \sum_{j=1}^{12} P_{stj}^3}$$

La regulación de la ARCONEL 005/18 evalúa la perturbación rápida de voltaje (flicker) a través del índice de severidad por flicker de corta duración ( $P_{st}$ ), el cual mide las variaciones del nivel de voltaje a corto plazo y  $P_{lt}$  que evalúa conforme a la norma IEC 61000-4-15.

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

Donde:

$P_{st}$ : Índice de severidad de flicker de corta duración.

$P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$ : Niveles de efecto flicker que se sobrepasan durante el 0.1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo total del intervalo de medición.

## 2. ALCANCE DE LA PRÁCTICA:

Con la realización de esta práctica se busca que los estudiantes refuercen los conocimientos referentes a las fluctuaciones de voltaje (flickers), así mismo que interactúen con la fuente programable AC y con el manejo del software SoftPanel para simular este fenómeno y sobre todo aprender a configurar el analizador de redes (FLUKE 435) para realizar la medición y poder generar informes de gráficos y diagramas a través del software Power Log Classic.

## 3. OBJETIVOS DE LA PRÁCTICA:

- Realizar la programación en la fuente AC (Chroma Modelo 61702) para simular las fluctuaciones de voltaje (flicker) en la forma de onda de voltaje de salida.
- Realizar las conexiones y configuraciones adecuadas de los equipos de medición y simulación.
- Extraer gráficos, diagramas e informes de calidad para el análisis de acuerdo con la norma vigente.

## 4. MATERIALES:

Los materiales que se utilizan para el desarrollo de esta práctica son:

- Fuente programable CA (Modelo Chroma 61702).
- Medidor de calidad de energía eléctrica (Fluke 435).
- Carga (focos incandescentes).
- Multímetro digital.
- Cables de conexión.

## 5. DESARROLLO DE LA PRÁCTICA:

Para desarrollar la práctica de medición de flickers se realiza por etapas para cumplir los objetivos planteados, cada etapa lleva a comprender que equipos y softwares que se utilizan tanto para la simulación y medición de este fenómeno y una vez obtenido los informes con los datos a través de la regulación ecuatoriana y normas internacionales entender los límites que se deben cumplir cuando se manifiesta este fenómeno.

### a) Programación de la fuente variable AC para fluctuaciones de voltaje.

Antes de realizar la programación realizamos la conexión entre la fuente programable AC y la PC, luego accedemos al software *SoftPanel de Chroma* hasta localizarnos en la pantalla principal, hacemos clic en la opción de *Mode Selecting* se desplaza una pantalla con varias funciones de las cuales seleccionamos la función LIST MODE.

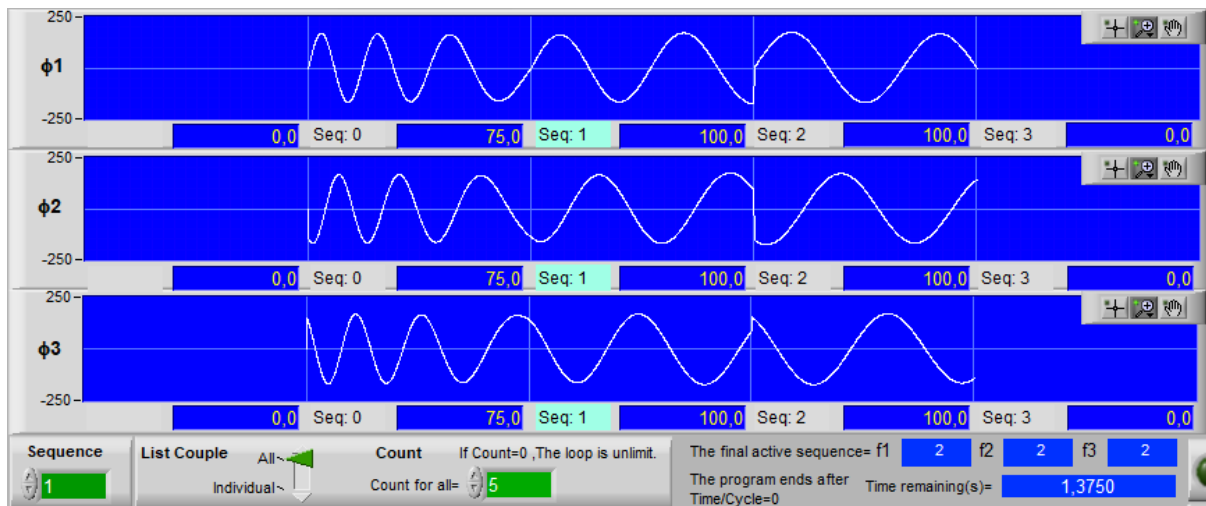
Para la programación se tiene como valores nominales una amplitud de 120 V y frecuencia de 60 Hz, cuyos valores son ingresados en la pantalla principal del software SoftPanel.

Los niveles de voltaje y el tiempo de duración para la programación de este fenómeno se presentan en la tabla 8.A.

**Tabla 8.A:** Valores de entrada para la programación del flicker.

Parámetro	Secuencia 0	Secuencia 1	Secuencia 2
Degree	0	0	0
Vac_Start (V)	120	114	125
Vac_end (V)	114	125	117
F_Start (Hz)	60	20	15
F_Start (Hz)	20	15	15
Vdc_Start (V)	0	0	0
Vdc_end (V)	0	0	0
Time (ms)	75	100	100

La forma de onda de la interrupción de voltaje programada se puede verificar de manera rápida la magnitud y el tiempo de duración en la ventana de simulación del software como se observa en la gráfica 106.



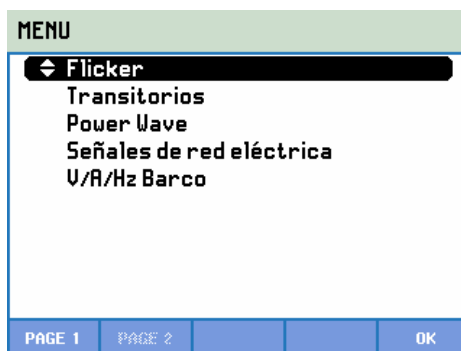
**Gráfica 105:** Detalle con la forma de onda para generar la fluctuación de voltaje.

FUENTE: Software SoftPanel.

### b) Configuración del analizador para la medición de fluctuaciones de voltaje.

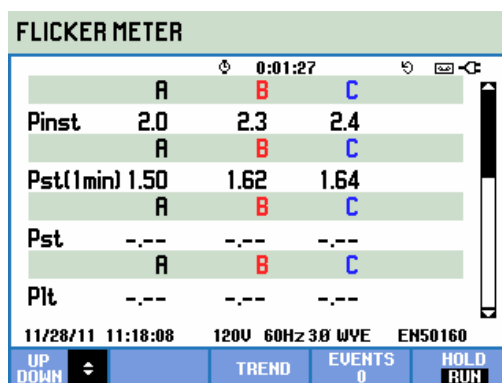
Antes de realizar la configuración del analizador para iniciar con las mediciones de los flickers, primero realizamos la conexión de la carga a la salida de la fuente programable AC, luego conectamos el analizador de redes en las líneas que alimentan a la carga tal como se realizó en la práctica 1. Con la finalidad de medir las distorsiones armónicas de voltaje utilizaremos el modo Armónicos del analizador (FLUKE 435).

Para acceder a este modo una vez encendido el analizador pulsamos la tecla menú e inmediatamente se despliega una ventana con varias funciones a continuación seleccionamos el modo *Flicker* (gráfica 107).



Gráfica 106: Detalle para la selección del modo Flicker.  
FUENTE: Analizador de redes Fluke 435.

Una vez seleccionado el modo inmediatamente el analizador muestra la pantalla que muestra los principales valores de medida de flicker, como se observa en la gráfica 108.



Gráfica 107: Detalle de la pantalla de medición de flicker.  
FUENTE: Analizador de redes Fluke 435

Esta pantalla se caracteriza por presentar las mediciones de parpadeo como: Pinst de parpadeo instantáneo, Pst de severidad a corto plazo (medido durante 1 minuto para respuesta rápida), Pst de severidad a corto plazo (medido durante 10 minutos) y Plt de severidad a largo plazo (medido durante 2 horas). También se miden los datos relacionados tales como el valor rms de medio ciclo de tensión ( $V_{rms} \frac{1}{2}$ ), corriente ( $A_{rms} \frac{1}{2}$ ) y frecuencia.

Las teclas de función disponibles para la pantalla de tendencia se presentan en la tabla 5.B.

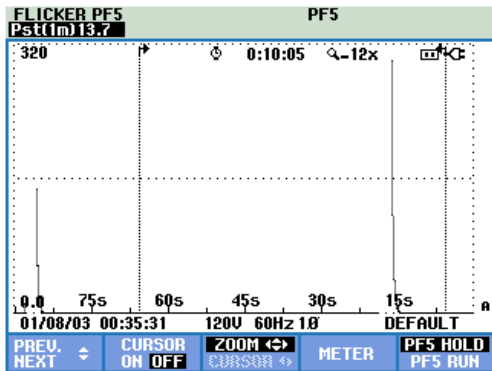
Tecla	Descripción
F1	Asigna las teclas de flecha arriba/abajo para desplazarse en la pantalla de multímetro.
F3	Permite acceder a la pantalla de tendencia.
F4	Permite acceder al menú de eventos. Se muestra el número de eventos registrados.
F5	Permite el cambio de modo HOLD (detención) a modo RUN (ejecución) de la medición.

### c) Funcionamiento.

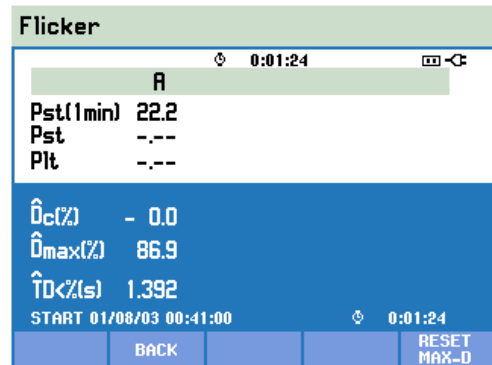
Una vez configurado los equipos de simulación y medición, hacemos clic en el botón **Output State (On)** y la carga se alimentará con los valores nominales (120 V, 60 Hz) ingresados en la pantalla principal. Para generar la distorsión que en este caso es un flicker pulsamos el botón **Trig On** e inmediatamente se produce el fenómeno, alrededor de un determinado tiempo (ms) o periodo (ciclos) la señal de tensión vuelve a su valor nominal, la duración de este fenómeno también depende del valor ingresado en la opción **Count for all**, ya que si el valor es cero la distorsión se vuelve infinito hasta pulsar nuevamente el botón **Trig Off**.

**d) Resultados obtenidos.**

Los resultados de la medición se presentan a continuación en el siguiente resumen de diagramas y gráficos.

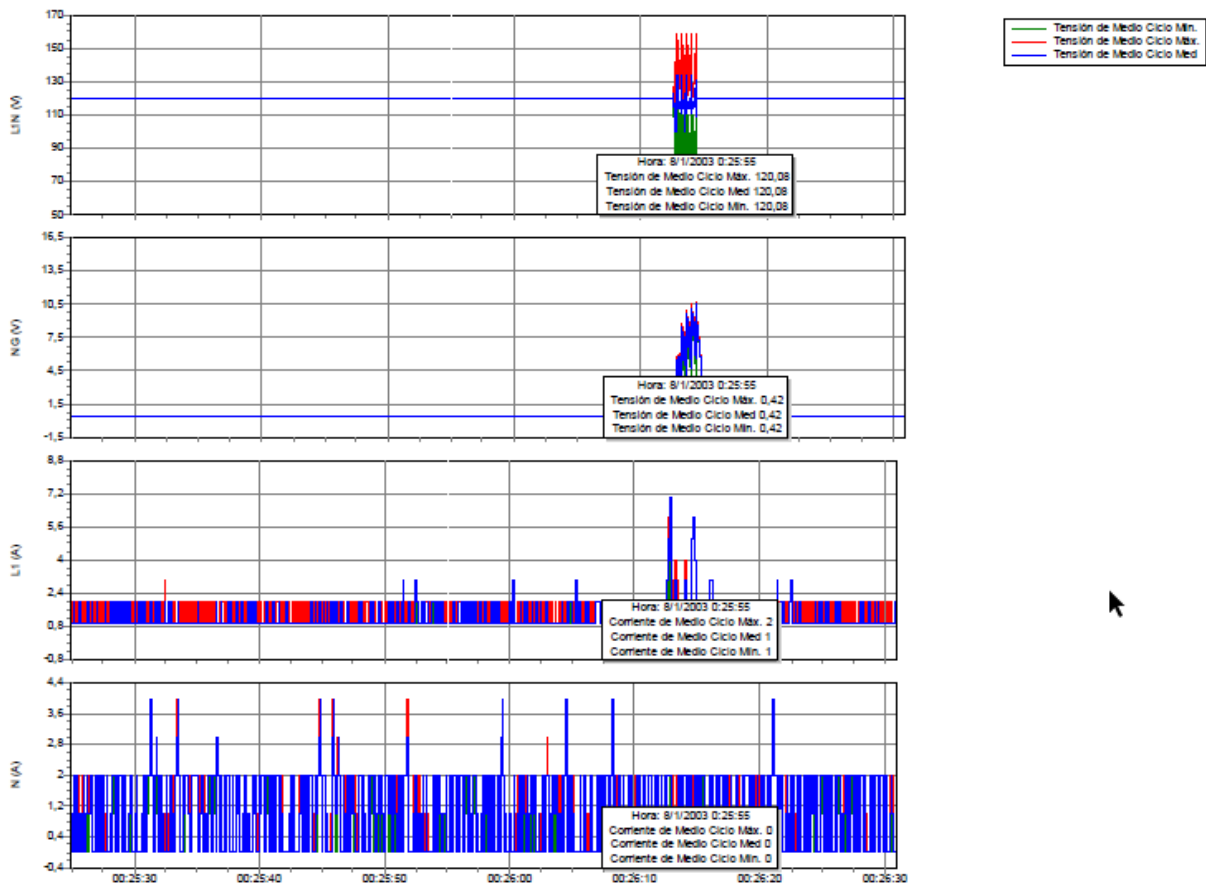


(a)

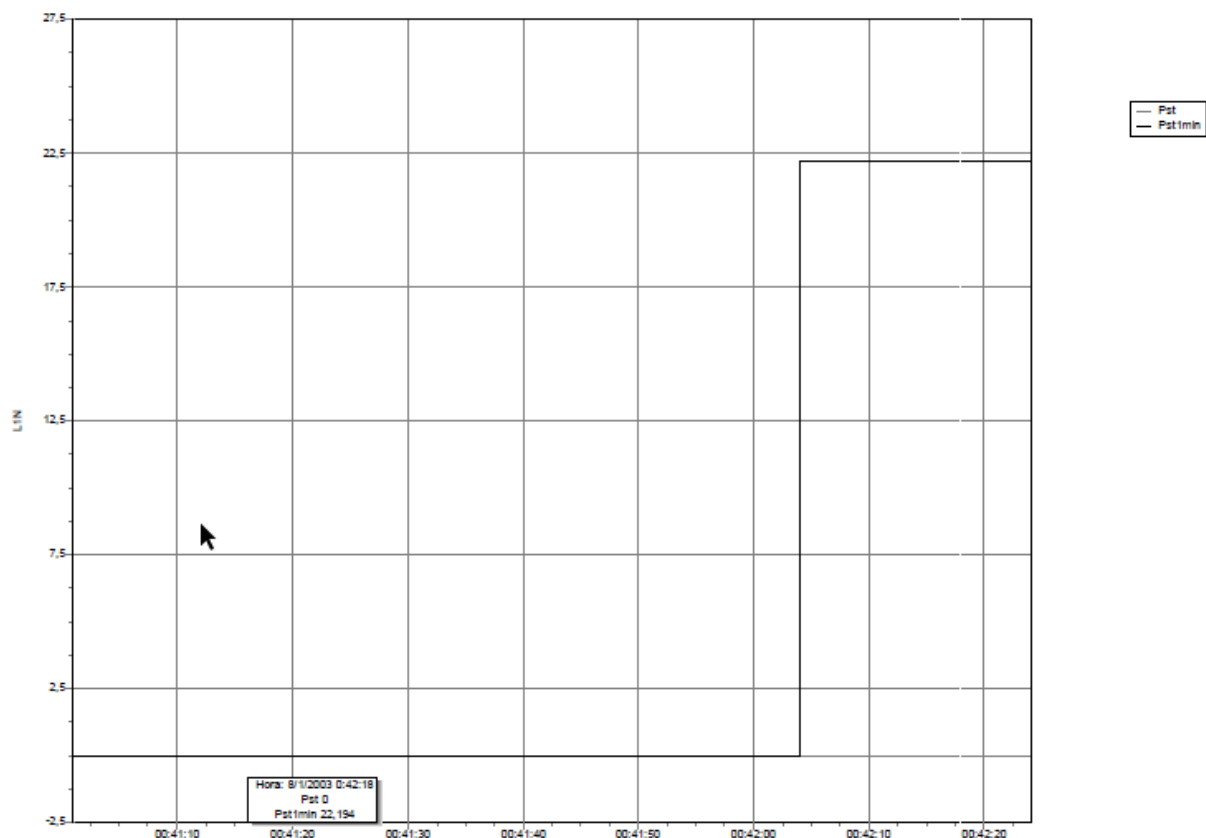


(b)

**Gráfica 108:** (a) Pantalla de tendencia Flicker. (b) Detalle medidor de flicker.  
**FUENTE:** Software Power Log Classic.



**Gráfica 109:** Detalle nivel de voltaje con presencia de fluctuaciones de voltaje.  
**FUENTE:** Software Power Log Classic.



**Gráfica 110:** Nivel de parpadeo Pst (1 minu).

**FUENTE:** Software Power Log Classic.

## 6. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS:

Para el análisis de las fluctuaciones de voltaje (flickers) se toma consideración las siguientes normas:

- **NORMA IEEE 1159-2019.**

De acuerdo con esta norma las fluctuaciones de voltaje son cambios sistemáticos aleatorios de la envolvente de voltaje, cuya magnitud no excede los rangos de voltaje de 0.95 p.u. hasta 1.05 p.u.

- **NORMA 1453-2015.**

Esta norma recomienda los niveles de parpadeo para sistemas de alimentación en BT y MT como se presenta en la tabla 8.B y se basan en niveles de probabilidad del 95%. Por de estos niveles se considera que no existirán quejas por fluctuaciones de voltaje.

*Tabla 8.B:* Niveles de compatibilidad para Pst y Plt en sistemas de potencia de BT y MT.

	Nivel de compatibilidad
Pst	0.9
Plt	0.7

- **REGULACIÓN ARCONEL 005/18**

De acuerdo con esta regulación para el índice de severidad del flicker Pst en el punto de medición no debe superar la unidad.



La distribuidora eléctrica cumple con el índice de severidad en el punto de medición si más del 95 % de los valores registrados son menores a los límites establecidos en un periodo de medición de al menos 7 días consecutivos.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:**

- A través de la práctica se logró enriquecer los conocimientos respecto a este fenómeno, así mismo como utilizar la fuente AC para simular y a través del analizador de redes para medir su comportamiento.
- Los flickers o fluctuaciones de voltaje con un índice de severidad mayor a la unidad se vuelve muy fastidioso y estresante para los usuarios es por eso que se trata de mitigar estos tipos de problemas.
- Para la implementación de esta práctica se recomienda desconectar la fuente de alimentación para la conexión de los equipos con la finalidad de evitar cualquier tipo de accidente.

## **1. BIBLIOGRAFÍA:**

- [1] M. Angel and S. Cortés, "Instituto Tecnológico de Puebla Calidad de la Energía Eléctrica," 2009.
- [2] IEEE Std 1159-2019 (Revision of IEEE Std 1159-2009), *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*, vol. 2019. 2019.
- [3] IEEE Standard 1453-2015, *IEEE Recommended Practice for the Analysis of Fluctuating Installations on Power Systems*, vol. 2015. 2015.
- [4] Manual "AC Power Source MODEL 6500 SERIES PROGRAMMABLE AC POWER SOURCE MODEL 6500 SERIES," no. 61701, pp. 61702–61705.
- [5] A. K. Henryk Markiewicz, "Perturbaciones de Tensión," *Leonardo Power Qual. Initiative*, 2004.
- [6] Fluke Corporation, "Manual Fluke 434-II/435-II/437-II," p. 182, 2012.