



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**PROYECTO TÉCNICO DE TITULACIÓN PARA LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO**

**TÍTULO:**

**“ANÁLISIS DE EVENTO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN  
UNA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN MEDIANTE  
EL ANALIZADOR MPQ2000 MEGGER”**

**AUTORES:**

**COLLINS MENDOZA MARIVY JULADY**

**LUCAS VILLO IOMAR ISAAC**

**TUTOR:**

**ING. JULIO MANUEL SILVA BECHERAN**

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**2020**

## **CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS**

Yo, **COLLINS MENDOZA MARIVY JULADY**, con documento de identificación N° **0927661272**, 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 grado titulado **“ANÁLISIS DE EVENTO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN UNA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSION MEDIANTE EL ANALIZADOR MPQ2000 MEGGER”** 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 antes cedidos.

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

Guayaquil, noviembre 2020

f) 

Autor: Marivy Julady Collins Mendoza

Cédula: 0927661272

## **CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS**

Yo, **LUCAS VILLO IOMAR ISAAC**, con documento de identificación N° **0926250564**, 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 grado titulado **“ANÁLISIS DE EVENTO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN UNA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSION MEDIANTE EL ANALIZADOR MPQ2000 MEGGER”** 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 antes cedidos.

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

Guayaquil, noviembre 2020

f) 

Autor: Iomar Isaac Lucas Villao

Cédula: 0926250564

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR**

Yo, **JULIO MANUEL SILVA BECHERAN** director del proyecto de Titulación denominado “**ANÁLISIS DE EVENTO DE CALIDAD DE ENERGÍA EN UNA RED ELÉCTRICA DE BAJA TENSIÓN MEDIANTE EL ANALIZADOR MPQ2000 MEGGER**” realizado por los estudiantes, **Marivy Julady Collins Mendoza** e **Iomar Isaac Lucas Villao**, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, noviembre 2020

f)

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'JMSB', written over a faint circular stamp.

Ing. Julio Manuel Silva Becheran

## **DEDICATORIA**

Esta gran meta cumplida es una alegría que fue forjada por esfuerzo, sacrificio, felicidad y en ocasiones tristezas, por ello va dedicada principalmente a Dios que me permitió ser fuerte, tener perseverancia y sobre todo no mirar hacia atrás, el me dio lo necesario para avanzar. Mi motivo fue mi familia por ello también va dedicada a mis padres Glenn Collins y María Mendoza, así mismo a mis hermanos Ahinara y Gleen, todos ellos son el motor de mi vida, a pesar de que fue un camino con muchos retos y en ocasiones quise desfallecer ellos aun no estando cerca físicamente me enviaban su amor y su cariño lo cual me llenaba de valentía y valor para seguir y por ello tengo el agrado de decir 'Mamá lo logré soy Ingeniera'.

Marivy Julady Collins Mendoza

## **DEDICATORIA**

Dedico el presente trabajo de titulación a Dios, a mi amada madre, Isabel Villao Tomalá que es mi vida y a mi abuela Sra. Norma Tomalá Obando quienes me han acompañado de manera incondicional en cada momento de mi vida, en especial en este proceso de formación profesional.

A la Sra. Geovanna Heredia Tomalá y familia, por el apoyo en la ciudad de Guayaquil y hacerme sentir como en casa desde que comencé mis estudios hasta la culminación de mi carrera.

A mi novia Luisa María agradecerle por su apoyo y dedicación que ha brindado no solo en el desarrollo de la tesis, sino también en el transcurso de mi vida.

A ustedes, mi querida familia quiero dedicar cada esfuerzo que ha significado llegar a cumplir este bonito objetivo. Ustedes estuvieron presentes siempre en mi caminar como motivación para ser un mejor ser humano cada día.

Iomar Isaac Lucas Villao

## **AGRADECIMIENTO**

En este proyecto de titulación estando muy contentos, llenos de ilusiones y aún más metas por cumplir queremos agradecer primero a Dios por darnos la vida y la sabiduría de ser unas personas de lucha capaces de culminar nuestras metas y alcanzar nuestros sueños, así mismo a nuestros padres que día a día han luchado para formarnos como grandes seres humanos que somos, también agradecer a nuestro tutor Ingeniero Julio Silva Becheran quien siempre se mantuvo firme y nos impulsó a ser un buen profesional con sus enseñanzas de docente universitario y finalmente a la Universidad Politécnica Salesiana que con sus principios y valores nos han moldeado para culminar nuestra carrera universitaria de una forma excelente siempre tendremos en nuestra mente que nosotros somos parte de su misión y visión con un espíritu Salesiano.

Estudiantes: Iomar Isaac Lucas Villao, Marivy Julady Collins  
Mendoza

## INTRODUCCIÓN

La Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil, preocupada de contribuir al desarrollo del aprendizaje de sus estudiantes presta sus servicios en los laboratorios para un mejor conocimiento, de aquí parte el análisis previo a la calidad de energía con el objetivo de realizar diferentes simulaciones tales como: inversión de potencia, potencia activa frente potencia reactiva entre otros.

Con el presente trabajo de titulación, se pretende establecer una metodología de análisis orientado en el conocimiento de los alumnos de la carrera de Electricidad de niveles superiores, que beneficiará el soporte técnico y desarrollo de aspiraciones de tener un conocimiento más profundo en lo aprendido dentro de las aulas, con la ayuda de los docentes se permitirá desarrollar estas pruebas, que se ejecutaran en el laboratorio de protecciones con los módulos para las practicas específicas.

Actualmente, se cuenta con un analizador de calidad de energía eléctrica ‘‘MPQ-2000’’ de marca Megger el cual es un equipo portátil de nueve canales que puede funcionar con cuatro combinaciones de tensiones, también se tiene un simulador de calidad de potencia ‘‘MPQ-SIM-01’’ de la misma marca mencionada anteriormente, este simula diversos fenómenos de calidad de energía considerando el comportamiento y funcionamiento de dicho instrumento. Para estos análisis se necesita registrar datos, obteniendo así su respectiva representación gráfica presentadas que indica el equipo. Además, este procedimiento cuenta con un software llamado ‘‘MEGGER-PQ’’ en donde se podrá visualizar diferentes datos y graficas establecidas y configurar los parámetros de simulación para el desarrollo de las practicas.

Los datos se obtienen mediante un muestreo en el momento de realizar las simulaciones señaladas en los diferentes módulos, estos son adquiridos de manera manual mediante el analizador de calidad de energía, se estudiará dichos elementos para poder ampliar el aprendizaje en la utilización de estos.

## RESUMEN

El tema de calidad de energía interfiere mucho en la parte primordial de la electricidad que ha venido desarrollando en los últimos tiempos tanto en la parte mundial como en Ecuador, es así como en la producción se ha logrado por parte de los abonados grandes avances tecnológicos, lo que ha permitido proveer un suministro eléctrico confiable e ininterrumpido por parte de las empresas distribuidoras, y a su vez por otro lado está asociada con averías que pueden ocasionar un mal funcionamiento o daños en los equipos.

Como objetivo principal de este proyecto de titulación en la calidad de energía, se pretende demostrar a través de dichas simulaciones el comportamiento del suministro eléctrico a la llegada del usuario. Es decir, ver el comportamiento oportuno y encontrar soluciones efectivas que ayuden a corregir variaciones de voltaje, disturbios en la red eléctrica y plantear conclusiones para corregir estos problemas presentados en el sistema eléctrico.

Este trabajo de titulación implica este tipo de pruebas y es beneficiario para los estudiantes de la carrera de los niveles superiores, para poder contribuir al conocimiento de la electricidad en sus normas y régimen establecido. El proyecto consta con un estudio de cinco pruebas en donde utilizaremos diferentes módulos del laboratorio como: Acometidas de baja tensión y Protecciones de líneas de transmisión. Posteriormente se determinará el uso de los equipos para poder realizar próximas pruebas para mantener un aprendizaje más extenso en este tema.

**Palabras claves:** Calidad de energía, suministro eléctrico, variaciones de voltaje, disturbios en la red eléctrica.

## ABSTRACT

The issue of energy quality interferes a lot in the fundamental part of electricity that has been evolving in recent years, both in the world and in Ecuador, which is how production has been achieved by subscribers with great technological advances, what has allowed to provide a reliable and uninterrupted electrical supply on the part of the distribution companies, and on the other hand it is associated with faults that can cause a malfunction or damage to the equipment.

The main objective of this energy quality certification project is to demonstrate, through these simulations, the behavior of the electricity supply upon the arrival of the user. That is, to see the appropriate behavior and find effective solutions that help correct voltage variations, disturbances in the electrical network and draw conclusions to correct these problems presented in the electrical system.

This degree work involves this type of tests and is a beneficiary for students of the higher-level career, in order to contribute to the knowledge of electricity in its rules and established regime. The project consists of a study of five tests where we will use different laboratory modules such as: Low voltage connections and Protections. Subsequently, the use of the equipment will be determined in order to carry out future tests to maintain a more extensive learning on this topic.

**Keywords:** Power quality, electrical supply, voltage variations, disturbances in the electrical network.

## ÍNDICE GENERAL

Certificado de sesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la UPS .....	2
Certificado de sesión de derechos de autor del trabajo de titulación a la UPS .....	3
Certificado de dirección del trabajo de titulación suscrito por el tutor .....	4
Dedicatoria.....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimiento .....	7
Introducción.....	8
Resumen .....	9
Abstract.....	10
Índice General.....	11
Índice de Figuras .....	15
Índice de Ecuaciones .....	17
Índice de Tablas.....	18
CAPÍTULO 1 .....	19
1. EL PROBLEMA .....	19
1.1. Descripción del problema.....	19
1.2. Importancia y alcance .....	19
1.3. Delimitación .....	20
1.4. Objetivos.....	20
1.4.1. Objetivo General .....	20
1.4.2. Objetivos Específicos.....	20
1.5. Beneficiarios de la propuesta de intervención.....	21
CAPÍTULO 2 .....	22
2. PARÁMETROS PRIMORDIALES DE LA CALIDAD DE ENERGÍA.....	22
2.1. Magnitudes eléctricas fundamentales.....	22

2.1.1.	Tensión .....	22
2.1.2.	Intensidad .....	22
2.1.3.	Resistencia.....	23
2.2.	Potencia .....	23
2.2.1.	Potencia activa (P).....	23
2.2.2.	Potencia reactiva (Q).....	23
2.2.3.	Potencia aparente (S).....	24
2.3.	Factor de potencia (Pf) .....	24
2.4.	Ángulo de fase .....	24
2.5.	Energía.....	25
2.6.	Calidad de energía .....	25
2.6.1.	Beneficios de la calidad de energía .....	26
2.7.	Tipos de cargas .....	26
2.7.1.	Cargas lineales.....	26
2.7.1.1.	Carga resistiva.....	27
2.7.1.2.	Carga inductiva .....	27
2.7.1.3.	Carga capacitiva.....	28
2.7.2.	Cargas no lineales.....	28
2.8.	Perturbaciones en la red eléctrica .....	29
2.8.1.	Perturbaciones propias de la red eléctrica .....	29
2.8.2.	Perturbaciones externas de la red eléctrica .....	30
2.8.2.1.	Impulsos de tensión .....	30
2.8.2.2.	Distorsión armónica (THD).....	30
2.8.2.3.	Desequilibrios de tensión.....	31
2.8.2.4.	Variaciones de frecuencia.....	31
2.8.2.5.	Fluctuaciones de tensión (Flicker).....	31
2.9.	Armónicos .....	32

2.9.1.	Efectos de los armónicos.....	32
2.9.2.	Armónicos de corriente y tensión.....	33
CAPÍTULO 3 .....		34
3.	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS .....	34
3.1.	Analizador de calidad de energía eléctrica MPQ-2000 marca MEGGER .....	34
3.1.1.	Teclado panel delantero .....	35
3.1.1.1.	Modo DVM.....	35
3.1.1.2.	Modo Osciloscopio .....	36
3.1.2.	Conectores de tensiones y corrientes .....	36
3.2.	Simulador de calidad de energía eléctrica MPQ-SIM-01 marca megger.....	37
3.2.1.	Control de funcionamiento y modos .....	37
3.2.2.	Ajustes iniciales del Simulador.....	39
3.3.	Software MEGGER-PQ .....	40
3.3.1.	Descripción general del software MEGGERPQ.....	40
3.3.2.	Aplicaciones del software .....	41
CAPÍTULO 4 .....		42
4.	DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA EL REGISTRO DE DEMANDA MEDIANTE EL ANALIZADOR MPQ-2000 .....	42
4.1.	Método 2 vatímetros conexión en estrella 3 hilos .....	42
4.2.	Método 3 vatímetros conexión en estrella 4 hilos .....	43
4.3.	Método 3 vatímetros conexión en estrella 4 hilos con neutro flotante.....	44
4.4.	Conexión entre el Analizador MPQ200 y el Simulador MPQ-SIM-01 .....	45
CAPÍTULO 5 .....		47
5.	MEDICIONES Y ANALISIS .....	47
5.1.	Inversión de potencia.....	47
5.2.	Potencia activa frente potencia reactiva .....	52
5.3.	Factor de potencia con desplazamiento .....	56

5.4. Efecto armónico de potencia .....	61
5.5. Armónico de tensión y corriente .....	65
CAPÍTULO 6 .....	72
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	72
Conclusiones.....	72
Recomendaciones .....	73
ANEXOS .....	74
BIBLIOGRAFÍA .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama Simplificado De Un Sistema Eléctrico De Potencia [10].....	25
Figura 2. Onda Sinusoidal De Carga Lineal [1, 2] .....	27
Figura 3. Onda De Voltaje Y Corriente De Carga Resistiva [1, 2] .....	27
Figura 4. Onda De Voltaje Y Corriente De Carga Inductiva [1, 2].....	28
Figura 5. Onda De Voltaje Y Corriente De Carga Capacitiva [1, 2].....	28
Figura 6. Corriente Consumida Por Cargas No Lineales [12].....	29
Figura 7. Combinación De Una Onda Distorsionada [3]. .....	32
Figura 8. Analizador De Calidad De Energía Mpq2000 Megger [8] .....	34
Figura 9. Teclado Panel Delantero Analizador Mpq-2000 [8] .....	35
Figura 10. Conexión De Tensión Y Corriente Mpq-2000 [8] .....	36
Figura 11. Simulador De Calidad De Energía Mpq-Sim-01 Megger [9] .....	37
Figura 12. Funciones De Conmutación Y Control Simulador Mpq-Sim-01 [9].....	38
Figura 13. Pantalla Software Meggerpq [9] .....	40
Figura 14. Diagrama Conexión En Estrella 3 Hilos [9] .....	42
Figura 15. Diagrama Fasorial En Estrella 3 Hilos [9] .....	43
Figura 16. Diagrama Conexión En Estrella 4 Hilos [9] .....	43
Figura 17. Diagrama Fasorial En Estrella 4 Hilos [9] .....	43
Figura 18. Diagrama Conexión En Estrella Con Neutro Flotante 4 Hilos [9].....	44
Figura 19. Entrada De Puentes Suministrados Mpq2000 [Autores] .....	46
Figura 20. Entrada De Puentes Suministrados Mpq-Sim-01 [9].....	46
Figura 21. Modulo Banco De Prueba Para Máquina Sincrónica [Autores] .....	47
Figura 22. Controles Iniciales Del Simulador [Autores].....	49
Figura 23. Valores Iniciales Pantalla Dvm [Autores].....	49
Figura 24. Pantalla Dvm Potencia En Kw Positivo [Autores] .....	50
Figura 25. Pantalla Dvm Potencia En Kw Negativo [Autores].....	50
Figura 26. Pantalla Osciloscopio Fase A Positivo [Autores] .....	51
Figura 27. Pantalla Osciloscopio Fase A Negativo [Autores].....	51
Figura 28. Modulo Banco De Prueba Para Máquina Sincrónica [Autores] .....	52
Figura 29. Pantalla Dvm Valores De Potencias [Autores] .....	54
Figura 30. Mpq-Sim-01 Ajustes Valores Iniciales [Autores].....	54

Figura 31. Mpq-Sim-01 Ajustes Ángulo Selector Intensidad $-30^\circ$ Para Cada Fase [Autores].....	55
Figura 32. Pantalla Dvm Con Aumento En Potencia Reactiva [Autores].....	55
Figura 33. Modulo Banco De Prueba Para Máquina Sincrónica [Autores] .....	56
Figura 34. Ajuste En El Mpq-Sim-01 Fases De Corriente A $-11^\circ$ [Autores] .....	58
Figura 35. Pantalla Dvm Con Dpf Positivo [Autores] .....	58
Figura 36. Ajuste En El Mpq-Sim-01 Fases De Corriente A $11^\circ$ [Autores].....	59
Figura 37. Pantalla Dvm Con Dpf Negativo [Autores] .....	59
Figura 38. Pantalla Osciloscopio Fase Ángulo $-30^\circ$ [Autores].....	60
Figura 39. Pantalla Osciloscopio Fase Ángulo $11^\circ$ [Autores] .....	60
Figura 40. Modulo Banco De Prueba Para Máquina Sincrónica [Autores] .....	61
Figura 41. Ajuste En El Mpq-Sim-01 Ángulo De Fase Voltaje A $30^\circ$ [Autores] .....	63
Figura 42. Pantalla Dvm Corriente De Armónico Off [Autores] .....	63
Figura 43. Pantalla Dvm Corriente De Armónico On [Autores].....	64
Figura 44. Modulo Banco De Prueba Para Máquina Sincrónica [Autores] .....	65
Figura 45. Valores De Armónicos Interruptor Off [Autores].....	67
Figura 46. Gráfico Armónico En La Fase A [Autores] .....	67
Figura 47. Gráfico Armónico En La Fase B [Autores] .....	68
Figura 48. Gráfico Armónico En La Fase C [Autores] .....	68
Figura 49. Gráfico Armónico De Tensión En La Fase A, B Y C [Autores] .....	69
Figura 50. Gráfico Armónico De Tensión En La Fase A, B Y C [Autores] .....	69
Figura 52. Gráfico Armónico De Corriente En La Fase A [Autores] .....	70
Figura 53. Gráfico Armónico De Corriente En La Fase B [Autores].....	70
Figura 54. Gráfico Armónico De Corriente En La Fase C [Autores].....	71

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Potencia activa [14] .....	23
Ecuación 2. Potencia reactiva [14] .....	23
Ecuación 3. Potencia aparente [14] .....	24
Ecuación 4. Factor de potencia [15] .....	24
Ecuación 5. Distorsión armónica [16] .....	30
Ecuación 6. Análisis del flicker [16] .....	32

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Botoneras de funciones simulador MPQ-SIM-01 [9] .....	38
Tabla 2. Ajustes iniciales fase A [9] .....	39
Tabla 3. Ajustes iniciales fase B [9].....	39
Tabla 4. Ajustes iniciales fase C [9].....	39
Tabla 5. Ajustes iniciales generales [9].....	39
Tabla 6. Funciones del software Meggerpq [18].....	40
Tabla 7. Informe de la practica N°1 [autores] .....	48
Tabla 8. Informe de la practica N°2 [autores] .....	53
Tabla 9. Informe de la practica N°3 [autores] .....	57
Tabla 10. Informe de la practica N°4 [autores] .....	62
Tabla 11. Informe de la practica N°5 [autores] .....	66

# CAPÍTULO 1

## 1. EL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del problema

La Carrera de Electricidad no cuenta con las prácticas necesarias sobre el análisis y estudio de calidad de energía para la preparación profesional de los estudiantes de los niveles superiores, por lo que se propone el uso del analizador MPQ-2000 y el simulador MPQ-SIM-01, planteando el estudio y la utilización de estos equipos en los cuales se permita adquirir los datos y medir sus magnitudes eléctricas de los diferentes módulos que se encuentran en el laboratorio como: tensión, intensidad, potencia eléctrica activa, potencia eléctrica reactiva, armónicos y frecuencia, todas estas mediciones serán necesarias para mantener en óptimas condiciones todo el suministro eléctrico dentro de sus parámetros necesarios. Por tal razón, es necesario un análisis integral que permita localizar las diferentes alteraciones causadas por perturbaciones eléctricas y a su vez poder encontrar posibles soluciones a estos problemas.

### 1.2. Importancia y alcance

A través de estas simulaciones integrando un modelo de medición de parámetros eléctricos se realizará un diagnóstico en cada prueba simulada detectando problemas que afecten en la calidad de energía eléctrica, luego de poder realizar un análisis se podrá buscar las posibles soluciones a las dificultades encontradas. Se implementará un sistema centralizado, con dos equipos de instrumentos que tienen la capacidad para tomar datos, los cuales se conectarán en los módulos del laboratorio.

El sistema de simulación contará con las medidas de las magnitudes eléctricas, los resultados en la pantalla nos permitirán observar y analizar las gráficas con datos en tiempo real de las variables medidas por el analizador, del cual se configurará para las pruebas estimadas, se obtendrán reportes con plantillas o características detalladas que nos ofrece el software. Mediante el simulador se estimará datos configurables y editables por parte del usuario en la creación de tablas que recogen los servicios de energía eléctrica, potencias eléctricas, factor de potencia y contenidos de armónicos, cuadros de mandos que mostrará la información guardada, esta información estará almacenada en la base de datos del analizador.

### **1.3. Delimitación**

La Universidad Politécnica Salesiana se localiza en la ciudad de Guayaquil, Chambers 227 y 5 de junio, el laboratorio de motores y generadores se encuentra en el bloque ‘E’ segundo piso. Este proyecto se ejecutará usando los tres instrumentos precisos ya antes mencionados, los cuales permitirán tomar datos que ayuden en el análisis y estudio de la calidad de la energía eléctrica y así poder realizar un estudio efectivo de su comportamiento mediante las simulaciones de los diferentes eventos que puedan ocurrir en un sistema eléctrico.

Las pruebas que se realizarán en este proyecto de titulación serán las siguientes:

- Inversión de potencia
- Potencia activa vs potencia reactiva
- Factor de potencia de desplazamiento
- Efecto armónico de potencia
- Armónicos de tensión y corrientes

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Objetivo General**

Demostrar las diferentes pruebas establecidas mediante el Analizador MPQ-2000 y el simulador MPQ-SIM-01 para la obtención de resultados de calidad de energía eléctrica en el módulo del laboratorio de motores-generadores para ser observados y analizados en el Software.

#### **1.4.2. Objetivos Específicos**

- Analizar las pruebas transmitidas y tener en cuenta sus cambios transitorios ocasionados.
- Establecer los cambios de potencias aplicando el equipo MPQ-SIM-01.
- Deducir un estudio de los datos en la pantalla del analizador de cambios provocados.

### **1.5. Beneficiarios de la propuesta de intervención**

El presente trabajo de titulación tiene como favorecido a los alumnos de la carrera de Electricidad, que estén cursando niveles superiores como séptimo y octavo semestre de la malla actual rediseñada [RPC-SO-19-No.303-2016], que contiene materias enfocadas en el estudio de campo como: Análisis de Fallas en Sistemas Eléctricos de Potencia, Protecciones Eléctricas, Confiabilidad en Sistemas Eléctricos de Potencia, que están interesadas en el estudio del comportamiento y funcionamiento del Analizador de Calidad de energía MPQ-2000 y el Simulador de Calidad de energía MPQ-SIM-01, visualizando los resultados en el software Megger-PQ Instruments.

## CAPÍTULO 2

### 2. PARÁMETROS PRIMORDIALES DE LA CALIDAD DE ENERGÍA

En este segundo capítulo se realizará un pequeño resumen de la parte principal que se encuentra en la parte de la calidad de la energía eléctrica como sus magnitudes, sus potencias, energía, ángulo de fase, calidad de energía, cargas lineales; resistiva, inductiva, capacitiva, cargas no lineales, perturbaciones eléctricas, armónicos, con esto se incentiva a dirigir a las simulaciones que consta en este proyecto técnico de titulación que son: inversión de potencia, potencia activa frente potencia reactiva, factor de potencia de desplazamiento, efecto armónico de potencia, armónico de tensión y corriente.

#### 2.1. Magnitudes eléctricas fundamentales

Dentro del campo de la electricidad existen las tres magnitudes primordiales que son: La intensidad (A), la tensión (V) y la resistencia (R), son cantidades fundamentales dentro de la electricidad.

##### 2.1.1. Tensión

También llamado diferencial de potencia o voltaje es la diferencia de carga que existe dentro de un circuito tanto en sus polos positivos como negativos, esta magnitud va a ser la indicada para contribuir la cantidad de energía que será capaz de desarrollar la corriente de sus electrones.

La unidad de medida es el Voltio (V), y su instrumento de medición es el voltímetro [14].

##### 2.1.2. Intensidad

La corriente eléctrica considerada como un flujo de electrones que parte desde un punto a otro, con carga negativa más que otro. La intensidad va a depender del número de electrones que se encuentren dentro del circuito.

La unidad empleada para su medida es el Amperio (A), que para medir su magnitud se empleará el instrumento de medida llamado Amperímetro [14].

### 2.1.3. Resistencia

Es el impedimento al paso de la intensidad de donde circulan sus electrones, su mecanismo de medida es el ohmio ( $\Omega$ ). Para medir su resistencia eléctrica se usa el instrumento de medida llamado el óhmetro [14].

## 2.2. Potencia

Está definida en como la energía es transformada o se transfiere a través del tiempo. Se mide la potencia en unidades de Joule/segundos, La potencia eléctrica es el producto entre la tensión y la intensidad dentro de un circuito eléctrico, también es conocida como watts [14].

### 2.2.1. Potencia activa (P)

Es la potencia aprovechada o útil dentro de un campo eléctrico, también llamada potencia media o potencia real, y esto es debido a sus dispositivos resistivos que se encuentran dentro del circuito. Su unidad de medida se determina como Vatio (W) [14].

Se deduce de la siguiente manera:

$$P = V * I * \cos \theta$$

Ecuación 1. Potencia activa [14]

### 2.2.2. Potencia reactiva (Q)

Es la potencia eléctrica que va a requerir las bobinas y las baterías para que se puedan crear campos magnéticos, pero no se consigue convertir en trabajo efectivo. Su magnitud que representa es el Voltamperio Reactivo (VAR) [14].

Se calcula de la siguiente manera:

$$Q = V * I * \sen \theta$$

Ecuación 2. Potencia reactiva [14]

### 2.2.3. Potencia aparente (S)

Es la potencia eléctrica total que se consume dentro de toda la carga y es el producto de los valores energéticos instantáneos de la tensión y la intensidad. Se obtiene mediante la suma vectorial de la potencia eléctrica activa y la potencia eléctrica reactiva, su magnitud se denomina Voltamperio (VA) [14].

Se calcula de la siguiente manera:

$$S = V * I$$

Ecuación 3. Potencia aparente [14]

### 2.3. Factor de potencia (Pf)

Mide la eficiencia del consumo eléctrico, también se denomina el factor k, a la relación que existe entre su potencia activa o real frente a su potencia total consumida dentro del consumo eléctrico [15].

Se calcula de la siguiente manera:

$$Pf = \frac{P}{V}$$

Ecuación 4. Factor de potencia [15]

**DPF.** – Factor de potencia de desplazamiento,  $\cos \theta$ ; se convierte debido al cambio de período entre la tensión y la intensidad de la frecuencia fundamental. Para ondas de corrientes sinusoidales sin distorsión, el factor de potencia de desplazamiento es el mismo que el factor de potencia aparente [15].

### 2.4. Ángulo de fase

Define al número de grado entre las tensiones de fase, así como el número de grado de la tensión de fase y corriente de fase. El retardo entre el momento en que la señal de tensión fundamental cruza el cero y la señal de frecuencia fundamental representada en grados [15].

## 2.5. Energía

$KWH = KW /$  Cantidad de intervalos de demanda en una hora.

$KVARH = KVAR /$  Cantidad de intervalos de demanda en una hora.

$KVAH = KVA /$  Cantidad de intervalos de demanda en una hora.

## 2.6. Calidad de energía

La calidad de energía es un conjunto de fines eléctricos que permite que un mecanismo eléctrico funcione de la manera que está pronosticada sin que sufra una pérdida significativa de beneficio o de vida útil [4]. El término de calidad de energía eléctrica está definido por una extensa variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan a la tensión e intensidad en un determinado tiempo, en un lugar específico del sistema eléctrico [13].

Dentro de la perspectiva de calidad de energía eléctrica, la variación en la forma de la onda tiene parte en los propios métodos como tal parte un SEP, así también como en el manejo de determinados receptores que forman perturbaciones.

Un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) se puede dividir en tres etapas: generación, transmisión y distribución. Es cualquier problema del sistema de potencia que se manifieste como desviaciones de tensión, intensidad o frecuencia, que resulten en fallas, mal trabajo de los equipos eléctricos de los usuarios del servicio [10].

En la Figura 1 muestra un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) como está estructurado basándose mediante sus tres etapas primordiales Generación, Transmisión y Distribución.

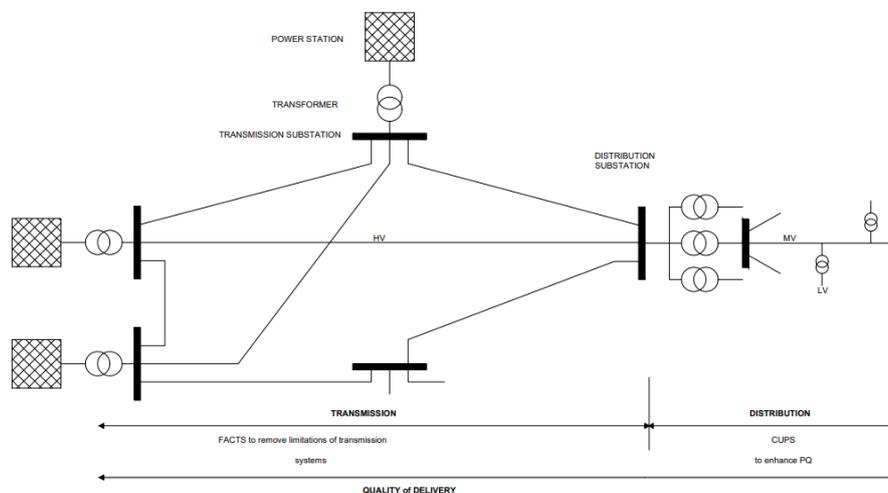


Figura 1. Diagrama simplificado de un sistema eléctrico de potencia [10].

### **2.6.1. Beneficios de la calidad de energía**

La norma IEC 61000-4-30 reduce la calidad de energía eléctrica como “las características de la electricidad en un sitio dado de una red de energía eléctrica, estimadas con correspondencia a un conjunto de medidas sistemáticas de informe” [4]. En particular, la calidad de la energía se entiende cuando la energía eléctrica es entregada a los equipos y terminales con las particularidades y situaciones apropiadas que les permita conservar su prolongación sin que se perturbe su desempeño ni provoque averías a sus componentes. De tal manera se muestra los beneficios más significativos dentro de la calidad de energía como son los siguientes:

- Seguridad
- Ahorro en costos energéticos
- Incentivos financieros
- Solución de problemas

### **2.7. Tipos de cargas**

La capacidad que tiene un cuerpo para producir un fenómeno eléctrico se denomina carga eléctrica, es decir, todo material está hecho por partículas nombradas átomos. El átomo, en estado imparcial, está formado por un núcleo que posee un número de cargas efectivas (protones) igual con cargas negativas (electrones) que se localizan cerca. Los iones son átomos que han entregado o han entregado electrones. En conclusión, protones, los iones y electrones son los transportadores de la energía. [1, 2]

#### **2.7.1. Cargas lineales**

Las cargas lineales están constituidas únicamente por: resistencias (R), condensadores (C) e inductores (L); es decir, no tienen ningún componente electrónico activo.

Son cargas lineales cuando su impedancia durante el ciclo de voltaje no cambia su magnitud, esto significa si se tiene una onda sinusoidal de corriente y voltaje, se desea realizar el cálculo en cualquier punto de dicha onda se obtendrá el mismo resultado de resistencia durante todo su periodo de tiempo. En la Figura 2, se representa la forma de con cargas lineales sin tener ningún desperfecto de la onda. [1, 2]

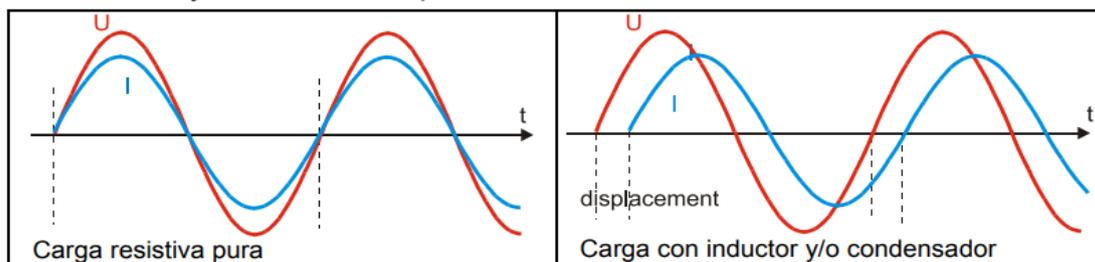


Figura 2. Onda sinusoidal de carga lineal [1, 2]

### 2.7.1.1. Carga resistiva

La resistencia depende de la tensión y la corriente, en este tipo de cargas resistivas la tensión y la intensidad siempre están en fase del cual tiene un factor de potencia uno, tal se observa en la figura 3, por lo normal las lámparas luminosas, calefactores, son claros ejemplos de cargas resistivas. [1, 2]

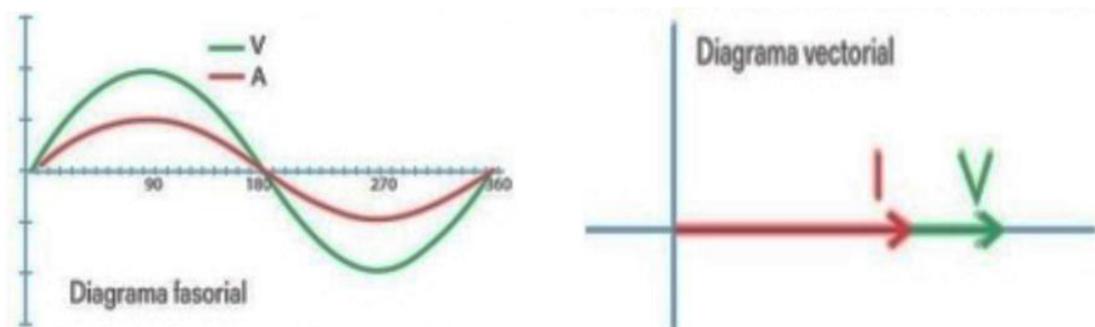


Figura 3. Onda de voltaje y corriente de carga resistiva [1, 2]

### 2.7.1.2. Carga inductiva

Lo característico de esta carga es que su corriente se encuentra en desfase con el voltaje con retraso de  $(-90)$  como se distingue en la figura 4, en este argumento se asume un factor de potencia con signo negativo. Este tipo de cargas se presentan como en motores y transformadores eléctricos que en ellos se encuentran bobinas en su interior lo que permite una tensión a la fuente que la produce un campo magnético. [1, 2]

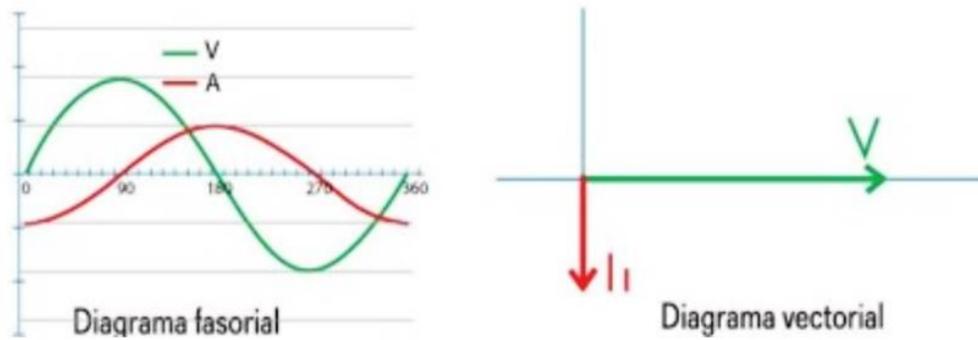


Figura 4. Onda de voltaje y corriente de carga inductiva [1, 2]

### 2.7.1.3. Carga capacitiva

Este tipo de carga se denomina por lo general a los condensadores porque son competentes al momento de acumular energía en forma de campo eléctrico, en el cual existe un desfase positivo es decir que la intensidad se encuentra adelantada respecto a la tensión (+90) como se observa en la figura 5. [1, 2]

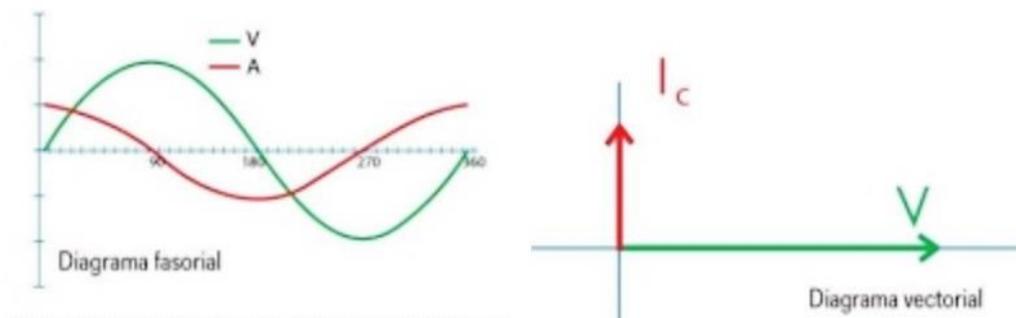


Figura 5. Onda de voltaje y corriente de carga capacitiva [1, 2]

### 2.7.2. Cargas no lineales

Las cargas no lineales se deducen cuando tenemos una tensión suministrada de onda sinusoidal y la carga en este caso no lineal varia durante su ciclo de voltaje (con distorsión) como se muestra en la figura 6, consume una intensidad periódica con igual frecuencia que la tensión, pero no sinusoidal [12].

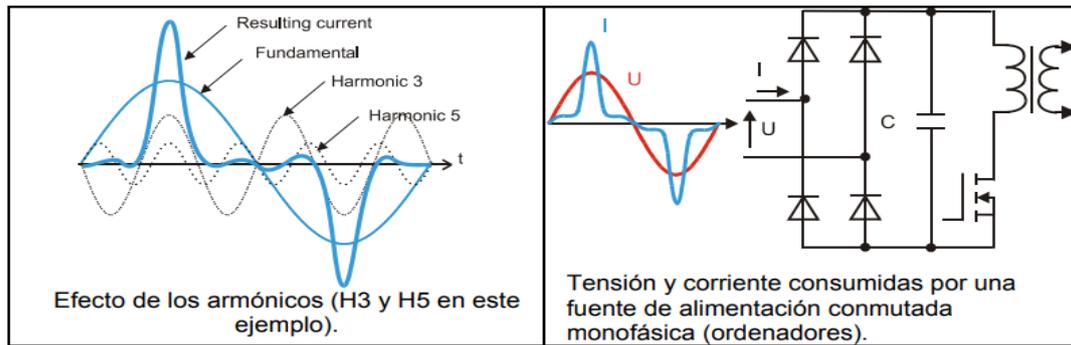


Figura 6. Corriente consumida por cargas no lineales [12].

## 2.8. Perturbaciones en la red eléctrica

Una perturbación es todo evento, fenómeno eléctrico que provoca la deformación de la onda original sinusoidal de la tensión en la red eléctrica. Ocasionalmente las provocan, las fallas en las líneas y centros de transformación, maniobras o las descargas atmosféricas. Las cargas pueden influir en una red eléctrica, sin embargo, el funcionamiento puede ser correcto; la onda de tensión se ve alterada con caídas intactas o temporales, distorsiones armónicas, inyecciones de corriente en los arranques (Inrush) y sobretensiones en las paradas [6].

### 2.8.1. Perturbaciones propias de la red eléctrica

Estas son ocasionadas por el funcionamiento de la red. Durante la transmisión o distribución de la electricidad, se producen muchas perturbaciones debido a la propia manipulación de la misma. Entre los orígenes podemos encontrar, desperfectos en materiales utilizados en la red, o en la misma generación de la corriente eléctrica; desperfectos en las herramientas de medición y manipulación de la energía; movimientos involuntarios del cableado de la red, ya sea por vientos o choque de un objeto extraño al sistema, ocasionando movimientos en los terminales en los extremos de conexión; recierres en centrales de generación o estaciones transformadoras; cortes en el cableado; descargas atmosféricas, etc.[6]

## 2.8.2. Perturbaciones externas de la red eléctrica

Si bien los aportes individuales de las perturbaciones son ínfimos, la sumatoria de las generadas por los usuarios se complementan con las inherentes de la red. Entre los orígenes podemos encontrar, cargas inductivas (motores), cargas no lineales (reguladores de tensión, variadores de velocidad), etc. [6]

Entre los efectos que producen las perturbaciones externas a la red podemos encontrar:

- Impulsos de tensión.
- Distorsión armónica (THD).
- Desequilibrios de tensión.
- Variaciones de frecuencia.
- Fluctuaciones de tensión (Flicker).

### 2.8.2.1. Impulsos de tensión

Son provocadas por variaciones de las cargas o por maniobras en la red, contempla a un intervalo que varía a través del tiempo del cual se podrán detallar, fluctuaciones rápidas que generalmente no sobrepasan el 5% de su tensión nominal, interrupciones cortas que en el 70% de los casos es menor a 1 segundo, interrupciones largas provocadas por causas externas que no pueden ser previstos por el distribuidor, huecos de tensión tienen una duración de menos de 1 segundo y una profundidad inferior al 60% son principalmente causadas por cortocircuitos, sobrecargas, conexión de grandes motores, y sobretensiones transitorias son aleatorias de corta duración (microsegundo) causada por rayos y maniobras con interruptores [16].

### 2.8.2.2. Distorsión armónica (THD)

Se define como un mecanismo sinusoidal de una señal periódica que posee una frecuencia que es un múltiplo entero de una frecuencia principal. La THD tiene como componente fundamental la frecuencia a mayor utilidad, asimismo de ser la componente de mayor magnitud [16].

$$THD = \frac{\sqrt{\sum I_h^2}}{I_f}$$

Ecuación 5. Distorsión armónica [16]

en donde:

$I_h$ : componente armónica

H: número de armónico

$I_f$ : componente fundamental

### **2.8.2.3. Desequilibrios de tensión**

Es un fenómeno que ocurre en los sistemas eléctricos donde los voltajes y ángulos entre las fases de los intervalos no son iguales. El desequilibrio de voltaje se considera como un problema de calidad de la energía de significativa preocupación, en la distribución de electricidad. Aunque los voltajes normalmente están equilibrados a nivel de generación y de transmisión, pero existe un desperfecto en el cual nivel de distribución pueden desequilibrarse debido al sistema desigual de impedancias y a la distribución de las cargas monofásicas [16].

### **2.8.2.4. Variaciones de frecuencia**

Frecuencia nominal es 60Hz, ocasionados en dos casos principales en islas y grupos de generadores a las que se determinan sus siguientes causas y efectos: los cambios de velocidad en la máquina rotativa los motores transfieren potencia, los filtros de armónicos tienden a tener un resultado distorsionado, los dispositivos electrónicos que manipulan la frecuencia como referencia de tiempo se ven sobresaltados, ciertos inconvenientes en la maniobra de instalaciones de autogeneración [16].

### **2.8.2.5. Fluctuaciones de tensión (Flicker)**

Son sucesiones de variación de tensión o variación cíclica de envolvente de la tensión, es decir, existe una oscilación del efecto visual debido a una provocación luminosa en el cual la luminosidad oscila en el tiempo. Se originan en cargas industriales como en equipos de soldadura, hornos de arco y cargas conectadas en baja tensión como en equipos de rayos x, motores [16].

$$Plt = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} Pst_i^3}$$

Ecuación 6. Análisis del flicker [16]

Donde:

Pst: valora la exactitud del flicker a corto plazo en intervalos de estudios de 10 minutos.

Plt: valora la exactitud del flicker a largo plazo, en intervalos de estudios de 2 horas.

## 2.9. Armónicos

Un armónico es un mecanismo sinusoidal de una onda o suma periódica que tiene una frecuencia que es múltiplo entero de la frecuencia fundamental (50 o 60) Hz [7].

Los hornos eléctricos, variadores de velocidad, retocadores, suministran de la red eléctrica corrientes habituales no senoidales. Estas corrientes desarrollan un componente importante a la frecuencia, es decir, una sucesión de corrientes de ondas deformadas en la frecuencia que denominamos armónicos eléctricos, estos generan valores técnicos y monetarios [3]. El efecto es una deformación de la corriente, y como resultado de la tensión, soporta una serie de cambios sustitutos asociados. En la figura 7, se puede visualizar el proceso de una onda distorsionada producida por armónicos.

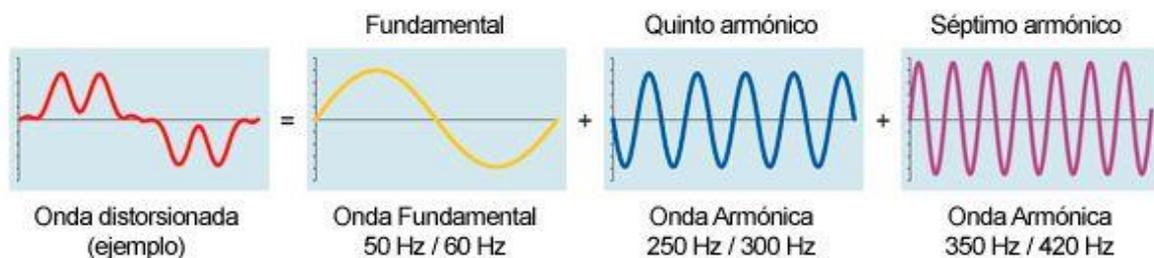


Figura 7. Combinación de una onda distorsionada [3].

### 2.9.1. Efectos de los armónicos

Los primordiales efectos de los armónicos de tensión y corriente dentro de un sistema eléctrico de potencia se consiguen mencionar:

- El desgaste de aislamiento de los mecanismos de la red eléctrica y como efecto, la disminución de la energía eléctrica
- La contingencia de aumento de los armónicos como consecuencia de resonancia en serie y paralelo
- La depreciación en los sistemas de generación y distribución y uso de la energía eléctrica [11].

### **2.9.2. Armónicos de corriente y tensión**

La tensión suministrada en una barra de energía eléctrica como la corriente disipada deben mostrar formas ondas sinusoidales, en la práctica las formas de ondas se encuentran distorsionadas formulando una desviación a causa de fenómenos que se encuentran dentro de ellos. Los armónicos que se encuentran en las tensiones son el resultado de la presencia de corrientes armónicas en una carga, los armónicos habitualmente se los definen con datos relevantes que lo caracterizan estos son: amplitud, orden y fase [17].

## CAPÍTULO 3

### 3. DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS

#### 3.1. Analizador de calidad de energía eléctrica MPQ-2000 marca MEGGER

Este instrumento accede a efectuar mediciones eléctricas, estudio de energía eléctrica, análisis de factor de potencia, armónicos y caracterización de inconvenientes de calidad de energía eléctrica, así como sucesos transitorios, con prontitud de 1 Microsegundo.

Es un analizador de calidad de energía eléctrica altamente intuitivo moderno portátil y trifásico, que facilita una capacidad excepcional por una carcasa que posee IP54 idónea para ámbitos externos, además se observan datos RMS, gráficas de ondas, datos de demanda, ángulos de fase, armónicos, desbalance, flicker (parpadeo), en el que identifica automáticamente las pinzas de corriente registrando su rango y asemeja que la unidad esté acoplada adecuadamente.

El software que tiene incluido permite tener opciones avanzada en las hace un análisis preconfigurado identificando los problemas específicos tales como; calentamiento en el neutro, problemas en los motores, disparos en los interruptores, etc. [8].



Figura 8. Analizador de calidad de energía MPQ2000 Megger [8]

### 3.1.1. Teclado panel delantero

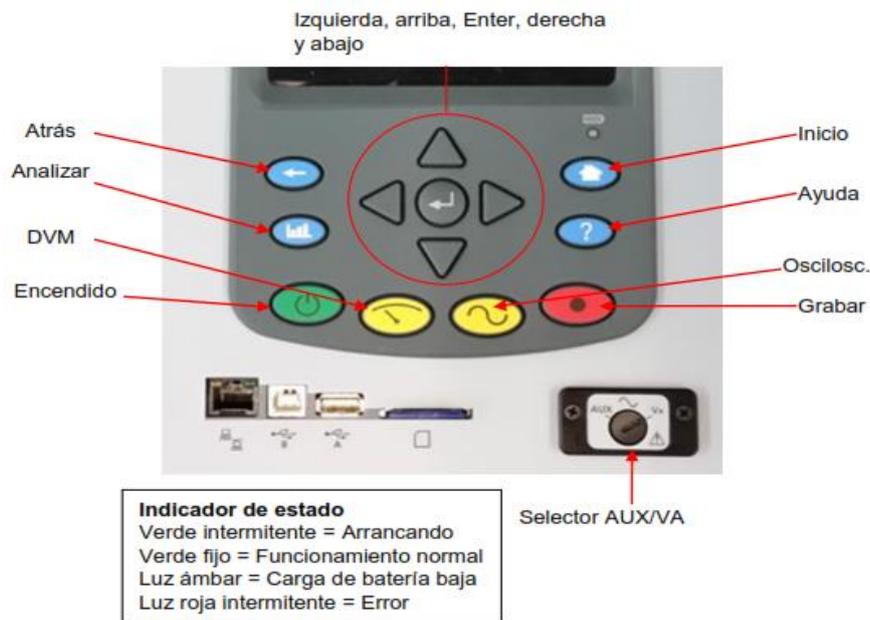


Figura 9. Teclado panel delantero Analizador MPQ-2000 [8]

#### Encendido de arranque

**Pantalla DMM;** muestra tensión, corriente, y THD de todas las fases.

**Inicio;** muestra el menú de inicio de la unidad.

**Encendido;** muestra KW, KVAR, KVA, DPF, TPF, y los ángulos de Fase.

**Armónico;** muestra valores de armónico.

**Desequilibrio;** muestra secuencia negativa, secuencia cero.

**Parpadeo;** muestra valores Pinst y de corta duración.

#### 3.1.1.1. Modo DVM

El MPQ-2000 cuenta con un multímetro de análisis en tiempo real, del cual permitirá mostrar todos sus datos de tensión, corriente, THD, potencia, fases, armónicos en tiempo real.

Esta función permite observar cinco pantallas diferentes.

- a. **Pantalla DMM.** – tensión, THD, corriente.
- b. **Pantalla potencia.** – potencia eléctrica activa, potencia eléctrica reactiva, potencia eléctrica aparente, factor de potencia de desequilibrio, factor de potencia.
- c. **Pantalla desequilibrio.** – secuencia negativa, secuencia cero.
- d. **Pantalla de armónico.** – magnitud de los órdenes de los armónicos.
- e. **Pantalla de Parpadeo.** – parpadeo instantáneo, intervalo de parpadeo

### 3.1.1.2. Modo Osciloscopio

El MPQ-2000 posee un modo osciloscopio del cual muestra en tiempo real, en este modo se indica la forma de la onda en tensión, corriente, vectores de desequilibrio, armónicos, dirección de armónicos.

Esta función se compone de tres pantallas diferentes

- a. **Pantalla forma de la onda.** – comportamiento instantáneo de la forma de la onda tensión y corriente.
- b. **Pantalla desequilibrio.** – mostrará diagrama vectorial, desequilibrio de secuencia negativa y secuencia cero, tensión, corriente, ángulo de fases.
- c. **Pantalla armónicos.** – armónicos e Interarmónicos hasta el orden de 50.

### 3.1.2. Conectores de tensiones y corrientes

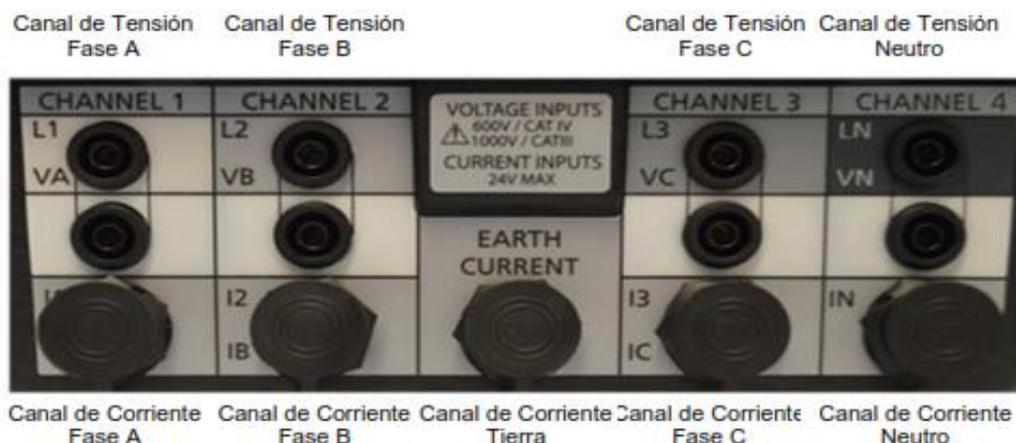


Figura 10. Conexión de tensión y corriente MPQ-2000 [8]

Conectores de entradas mediante sus fases señaladas de los canales disponibles de alto y bajo, para instalar el analizador de energía eléctrica mediante las pinzas de mediciones.

### 3.2. Simulador de calidad de energía eléctrica MPQ-SIM-01 marca MEGGER.

Este equipo se utiliza para exposiciones y como una herramienta de aprendizaje, el MPQ-SIM-01 ofrece una técnica fácil para representar una configuración de tensión trifásica a partir de una fuente monofásica estándar, ver figura 11, facilita valores continuos de tensiones, corrientes y armónicos para directrices, así como eventos temporales para demostraciones de calidad de energía eléctrica, además es perfecto para cursos de capacitaciones y manifestación de fenómenos de los mismos [9].

- Excelente para la preparación de la calidad de energía eléctrica.
- Establece cómodamente sags, swells, transitorios y eventos armónicos.
- Simulación del parpadeo de tensión (flicker), potencia de avance y retraso.
- Produce eventos de cambio de fase.
- Realiza tres fases de tensión y corriente a 115 V AC o 230 V AC.
- Trabaja con una tensión monofásica.



Figura 11. Simulador de calidad de energía MPQ-SIM-01 Megger [9]

#### 3.2.1. Control de funcionamiento y modos

En la siguiente sección describe de manera breve el funcionamiento del simulador MPQ-SIM-01 de energía, de manera cómo va a operar.



Figura 12. Funciones de conmutación y control simulador MPQ-SIM-01 [9]

Selector de corriente	Establece el fondo de escala de la sonda de corriente simulada.
Botón transitorio	Se aplica un pulso transitorio momentáneo de la señal de tensión.
Amplitud selectora (tensión)	Establece la amplitud de la tensión. Este valor se establece como un porcentaje de la salida de voltaje. Si la salida de voltaje que se utiliza es 230VAC entonces 100% = 230VAC y 80% = 184V.
Selector de amplitud (actual)	Establece la amplitud de la corriente. Este valor se establece como un porcentaje de la gama actual escala completa. Si el selector de corriente se ajusta a la salida 6000A entonces 100% = 6000AAC y 80% = 4800AAC.
Selector de ángulo de fase (tensión)	Establece los ángulos de fase de tensión. La fase A se utiliza como referencia.
Cambiar armónicos	Se enciende y apaga la tensión y/o armónicos de corriente.
Selector de parpadeo	Establece el nivel y la norma de diferenciación de la tensión que hace que el parpadeo en la iluminación incandescente.
Cambiar dirección en el poder	Establece el flujo de potencia. El flujo de potencia puede ser o bien de la fuente o de la carga.

Tabla 1. Botoneras de funciones Simulador MPQ-SIM-01 [9]

### 3.2.2. Ajustes iniciales del Simulador

Establecer los controles para los siguientes ajustes iniciales del MPQSIM-01

FASE A	
Rango de corriente de la fase A	Rango de corriente deseada
Fase A de amplitud de tensión	100%
Fase A amplitud de corriente de fase	100%
Fase A ángulo actual	0°
Fase A armónicos de tensión	Apagado
Fase A armónicos de corriente	Apagado

Tabla 2. Ajustes iniciales fase A [9]

FASE B	
Rango de corriente de la fase B	Rango de corriente deseada
Fase B de amplitud de tensión	100%
Fase B amplitud de corriente de fase	100%
Ángulo de tensión fase B	120°
Fase B ángulo actual	120°
Fase B armónicos de tensión	Apagado
Fase B armónicos de corriente	Apagado

Tabla 3. Ajustes iniciales fase B [9]

FASE C	
Rango de corriente de la fase C	Rango de corriente deseada
Fase C de amplitud de tensión	100%
Fase C amplitud de corriente de fase	100%
Ángulo de tensión fase C	240°
Fase C ángulo actual	240°
Fase C armónicos de tensión	Apagado
Fase C armónicos de corriente	Apagado

Tabla 4. Ajustes iniciales fase C [9]

General	
Flicker	Apagado
Dirección de potencia	Fuente
Frecuencia de red	Frecuencia deseada
Encendido/Apagado	On

Tabla 5. Ajustes iniciales generales [9]

### 3.3. Software MEGGER-PQ

El Software para análisis de Calidad de Energía MEGGERPQ ha sido diseñado poniendo especial atención en la confiabilidad, la simplicidad y la facilidad de uso. Este software proporcionará la información que se necesita para crear archivos de configuración para la serie MPQ de analizadores de calidad de energía, ver figura 13. También permitirá realizar un análisis detallado de los archivos de datos de los analizadores de la serie MPQ [18].

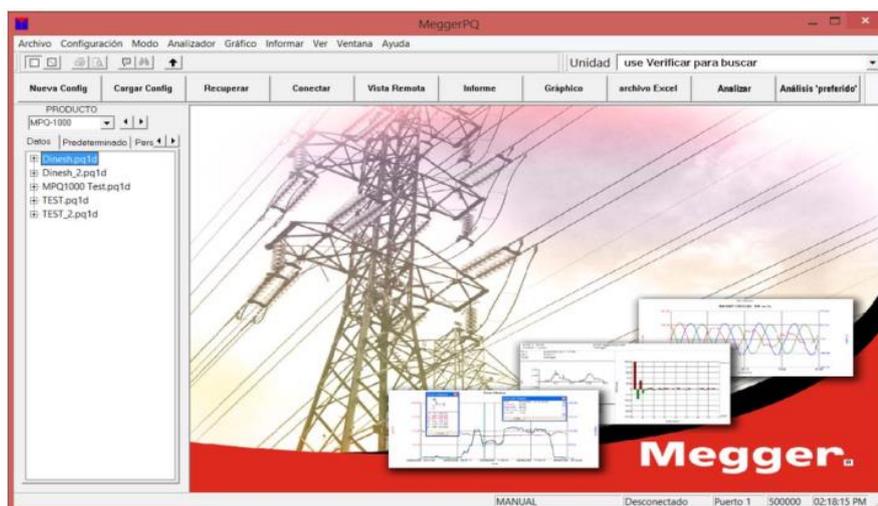


Figura 13. Pantalla software MEGGERPQ

#### 3.3.1. Descripción general del software MEGGERPQ

1	Comunicación con la línea de Analizadores MPQ de Megger a través de un puerto USB.
2	Comunicación con la línea de Analizadores MPQ de Megger a través de Ethernet.
3	Capacidad de transferir archivos de configuración del MPQ a la unidad MPQ a través de una Memoria USB o una Tarjeta SD.
4	Capacidad de importar archivos de configuración del MPQ por medio de una Memoria USB o una Tarjeta SD.
5	Capacidad de transferir archivos de configuración de datos del MPQ a la unidad MPQ a través de una Memoria USB o una Tarjeta SD.
6	Capacidad de importar archivos de configuración de datos desde la unidad MPQ por medio de una Memoria USB o una Tarjeta SD.
7	Crear archivos de configuración para la línea de Analizadores de Calidad de Energía MPQ de Megger.
8	Generar informes automáticamente desde los archivos de datos grabados de la línea MPQ de instrumentos de análisis de calidad de energía.
9	Generar gráficos automáticamente desde los archivos de datos grabados de la línea MPQ de instrumentos de análisis de calidad de energía.
10	Realizar análisis detallados de armónicos desde los archivos de datos grabados de la línea MPQ de instrumentos de análisis de calidad de energía.

Tabla 6. Funciones del software MEGGERPQ [18]

### **3.3.2. Aplicaciones del software**

El software contiene carpetas tanto para los archivos de datos como para los archivos de configuración. El operador podrá seleccionar la ruta que desee en ambas carpetas. Además, el operador podrá crear múltiples carpetas y configurar el software para poder ver la carpeta que desee.

Las funciones del software permiten el uso en diversas aplicaciones

- Análisis EN50160
- Estudio de calidad de energía
- Análisis y auditorías de energía
- Análisis de resolución de problemas
- Puesta en marcha de motores
- Análisis automático de datos
- Estudio de confiabilidad

## CAPÍTULO 4

### 4. DIAGRAMA DE CONEXIONES PARA EL REGISTRO DE DEMANDA MEDIANTE EL ANALIZADOR MPQ-2000

#### Nota:

- El equipo registrará todas las tensiones y corrientes que están conectadas, siempre que la configuración cuente con los canales activos
- Los diagramas fasoriales se ofrecen solo con fines de referencia cuando los vectores están asociados a una carga resistiva equilibrada. Las corrientes rotarán los vectores de corriente en sentido horario o antihorario con respecto a las tensiones.
- En las configuraciones con tres hilos, para los cálculos de potencia se utiliza el método del vatímetro de dos elementos. La tercera tensión y corriente pueden conectarse al analizador, pero solo registrará datos RMS.
- Antes de conectar a cualquier fuente de alimentación, inspeccionará todos los cables y conductores, y comprobar que su aislamiento se encuentre en condiciones adecuadas.

#### 4.1. Método 2 vatímetros conexión en estrella 3 hilos

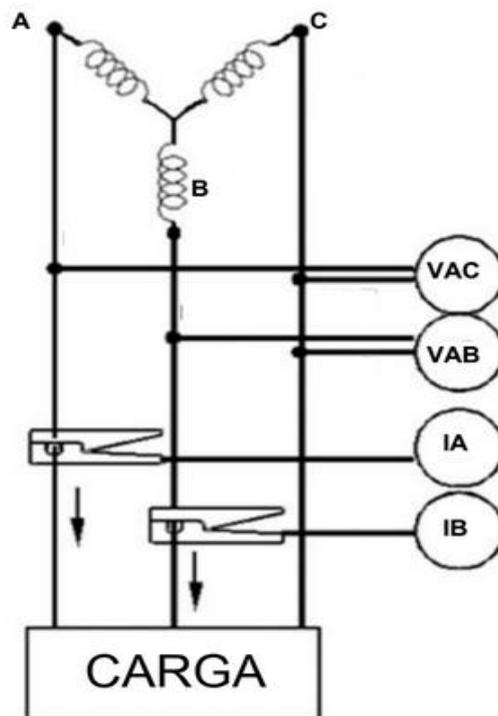


Figura 14. Diagrama conexión en estrella 3 hilos [9]

Diagrama fasorial conexión en estrella 3 hilos

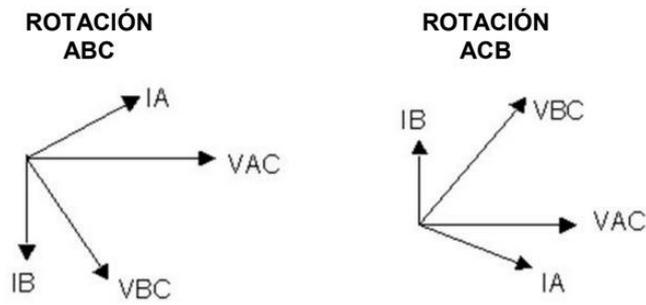


Figura 15. Diagrama fasorial en estrella 3 hilos [9]

#### 4.2. Método 3 vatímetros conexión en estrella 4 hilos

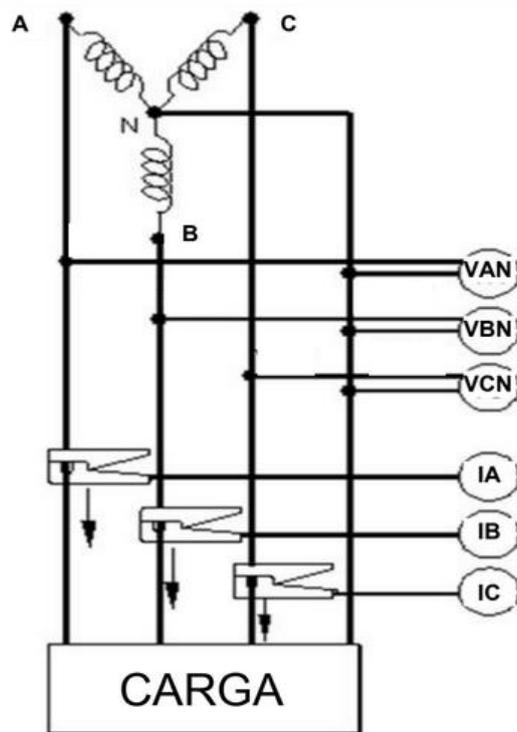


Figura 16. Diagrama conexión en estrella 4 hilos [9]

Diagrama fasorial conexión en estrella 4 hilos

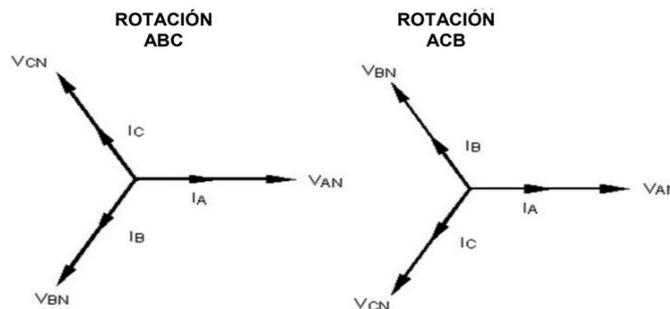


Figura 17. Diagrama fasorial en estrella 4 hilos [9]

### 4.3. Método 3 vatímetros conexión en estrella 4 hilos con neutro flotante

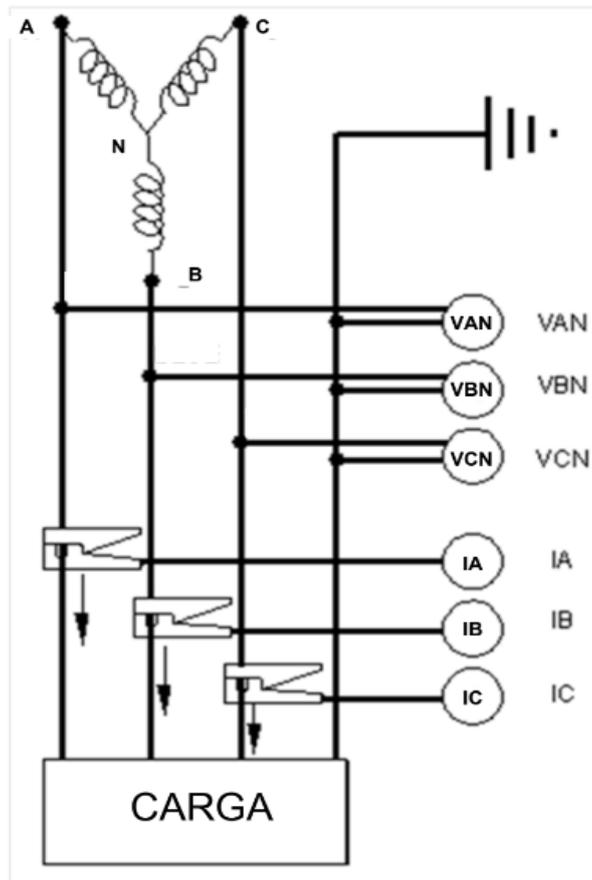


Figura 18. Diagrama conexión en estrella con neutro flotante 4 hilos [9]

#### **4.4. Conexión entre el Analizador MPQ200 y el Simulador MPQ-SIM-01**

Cuando se utilice con el Analizador MPQ2000;

1. Enchufe el dispositivo de CA en el terminal de adaptador CA del producto MPQ-SIM.
2. Conecte la toma de la fase C RTN en la MPQ-SIM de puesta tierra.
3. Conectar la entrada de GND en el MPQ2000 de puesta a tierra.
4. Conectar la entrada de plátano Jack los cables suministrados por el equipo Megger, VA-bajo, VB-bajo y VC-bajo en el MPQ2000.
5. Conectar la fase A entrada Alta en el analizador de entrada MPQ2000 ya sea en la toma de plátano Fase A 115V o 230V en el MPQ-SIM.
6. Conectar la fase B entrada Alta en el analizador de entrada MPQ2000 ya sea en la toma de plátano Fase B 115V o 230V en el MPQ-SIM.
7. Conectar la fase C entrada Alta en el analizador de entrada MPQ2000 ya sea en la toma de plátano Fase C 115V o 230V en el MPQ-SIM.
8. Conecte el conductor de corriente de fase A en la fase MPQ-SIM un conector actual.
9. Enchufe el otro lado de la fase A conector actual en la corriente de la fase A conector del producto Megger PQ.
10. Conecte el conductor de corriente de fase B en la fase MPQ-SIM un conector actual.
11. Enchufe el otro lado de la fase B conector actual en la corriente de la fase B conector del producto Megger PQ.
12. Conecte el conductor de corriente de fase C en la fase MPQ-SIM un conector actual.
13. Enchufe el otro lado de la fase C conector actual en la corriente de la fase C conector del producto Megger PQ.

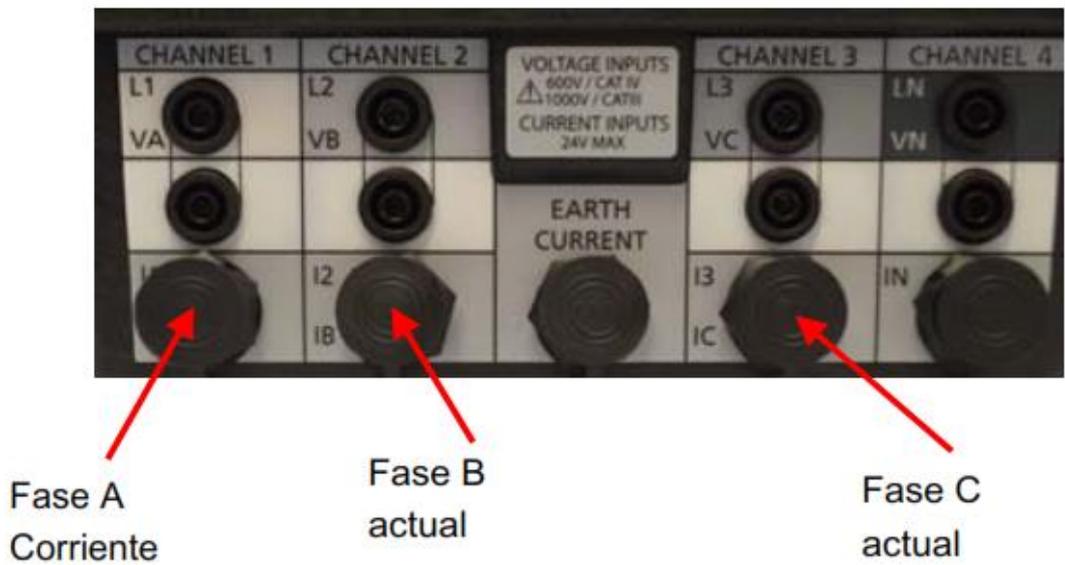


Figura 19. Entrada de puentes suministrados MPQ2000 [autores]



Figura 20. Entrada de puentes suministrados MPQ-SIM-01 [9]

# CAPÍTULO 5

## 5. MEDICIONES Y ANALISIS

### 5.1. Inversión de potencia

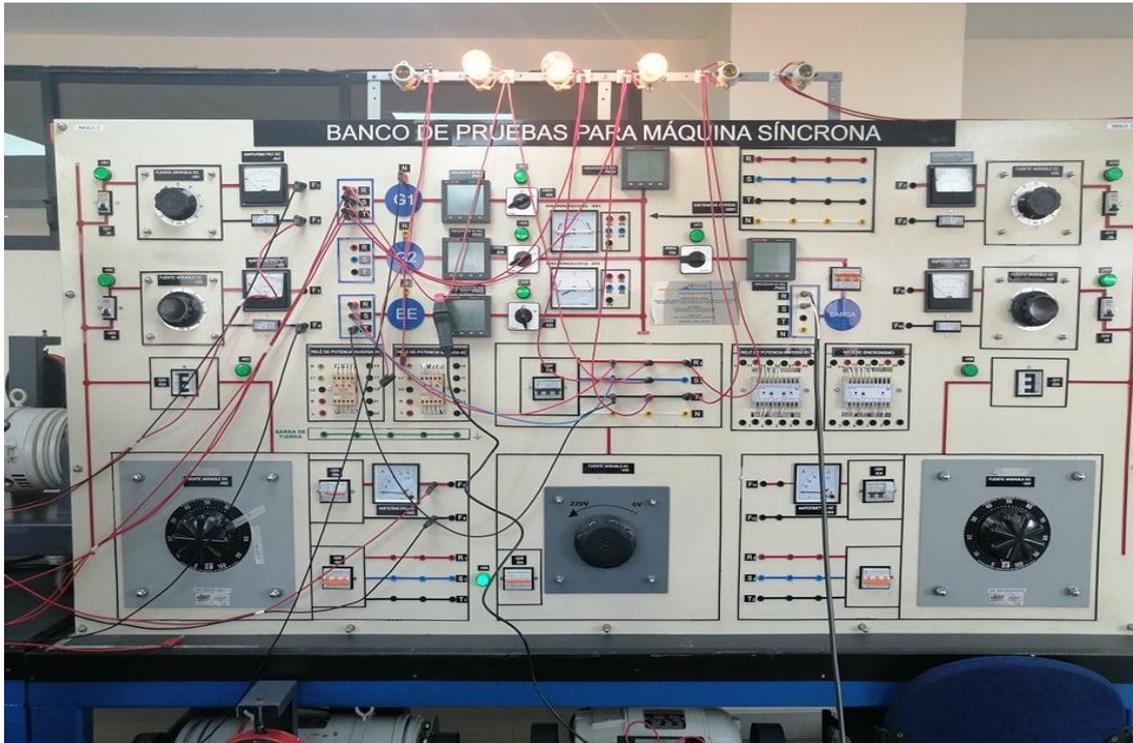


Figura 21. Modulo banco de prueba para máquina sincrónica [autores]

	<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA FACULTAD DE INGENIERÍAS</b>	
<b>PRÁCTICA No.</b>	<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA</b>	<b>DURACIÓN (HORAS)</b>
01	<b>Inversión de potencia</b>	2 Horas
<b>FUNDAMENTO</b>		
<p>En esta práctica se analiza la transformación anamórfica al conectar una carga trifásica, se presentan los vectores de corriente a 180 grados fuera de fase con el voltaje, así mismo los vectores de corriente no deben exceder los 90 grados de la tensión, si llega a suceder esto demuestra un flujo de potencia inversa.</p>		
<b>OBJETIVO</b>		
<p>Observar el comportamiento de la pantalla DVM potencias del analizador cuando está trabajando con carga y sin carga, establecer la diferencia si absorbe potencia o suministra potencia.</p>		
<b>EQUIPOS Y MATERIALES</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• MPQ2000</li> <li>• MPQ-SIM-01</li> <li>• Modulo de trabajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cables de tension</li> <li>• Cables de corrientes</li> </ul>	

Tabla 7. Informe de la práctica N°1 [Autores]

**Nota:** Esta Tabla contiene información de los fundamentos, objetivos, equipos y materiales para su desarrollo de la práctica 1. **Por:** Los Autores.

### Método #1. Tiempo real demanda pantalla DVM

- Verificar los controles están ajustado a sus valores iniciales, ver figura 22.
- Ver la demanda en tiempo real y tener en cuenta los KW es positivo, ver figura 24.
- Ajustar el interruptor de alimentación en la dirección PQ simulador
- El KW ahora lee negativo. Esto indica un cambio de poder, ver figura 25.



Figura 22. Controles iniciales del simulador [autores]

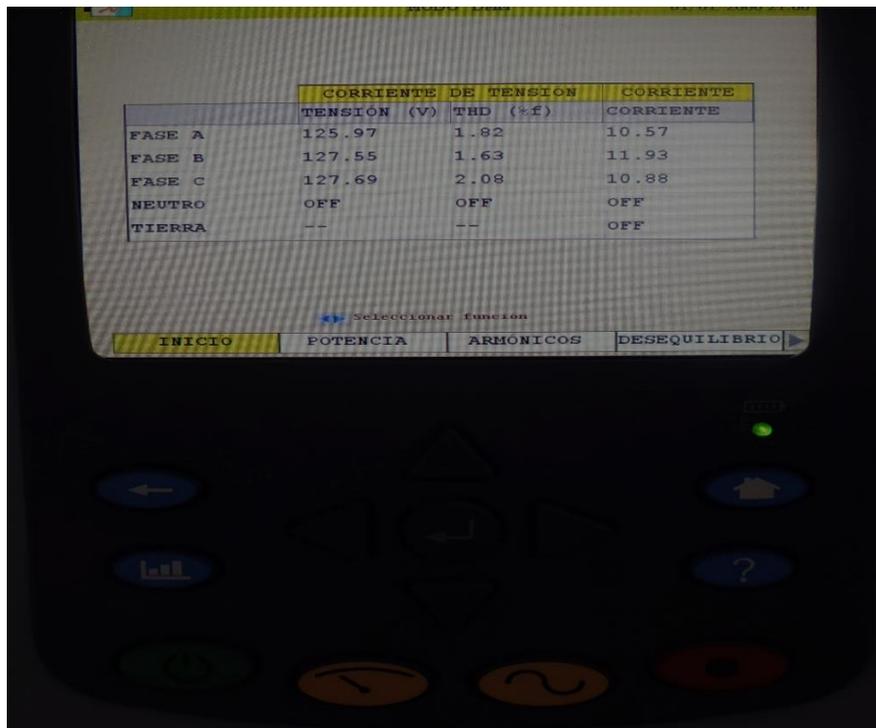


Figura 23. Valores iniciales pantalla dvm [autores]

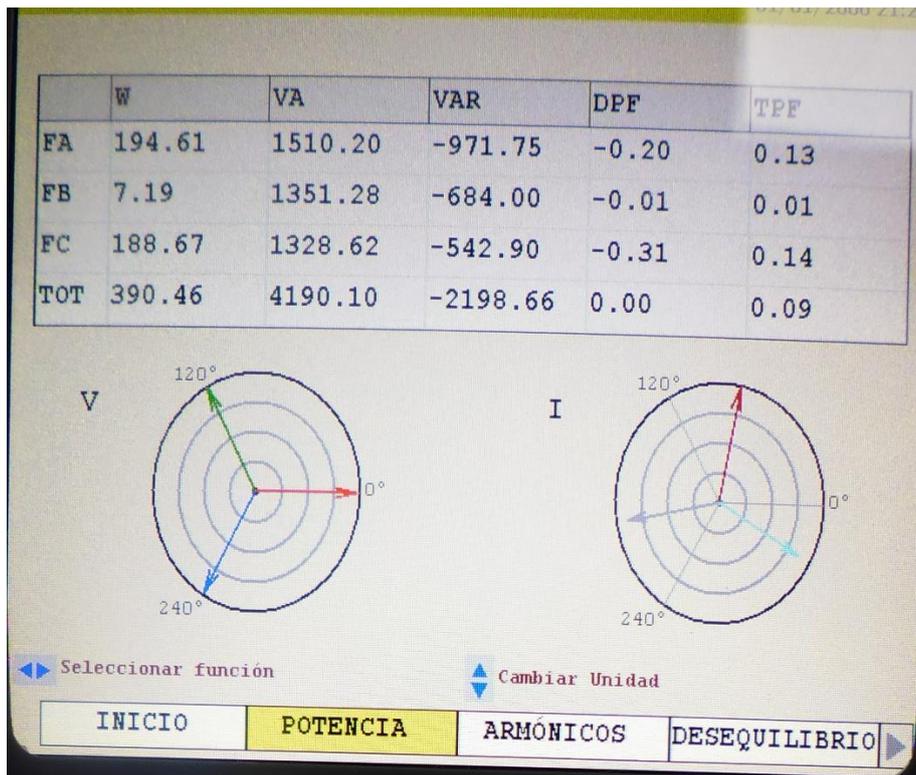


Figura 24. Pantalla dvm potencia en KW positivo [autores]

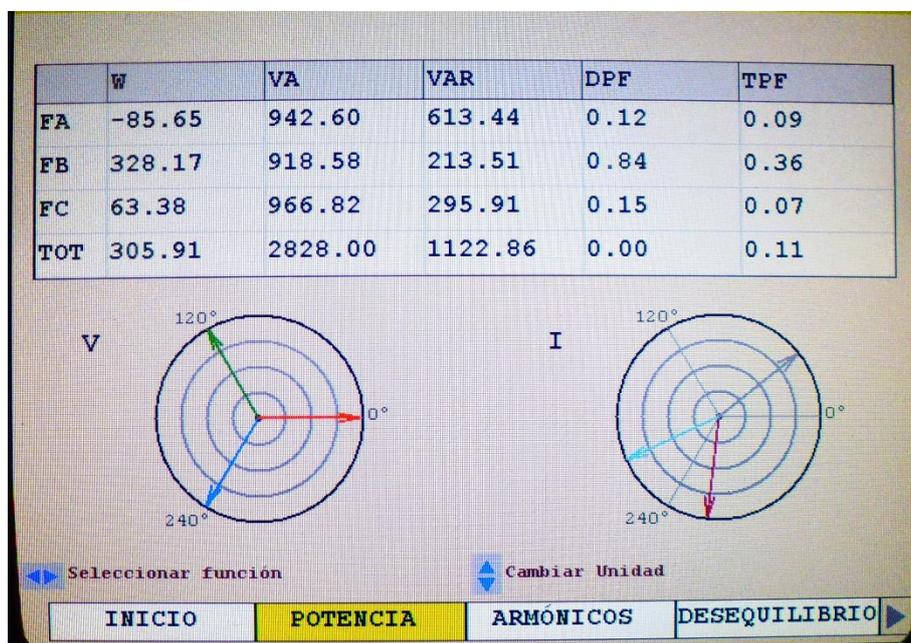


Figura 25. Pantalla dvm potencia en KW negativo [autores]

## Método #2. Tiempo real demanda pantalla alcance

- Verificar los controles están ajustados a sus valores iniciales
- Ver la fase A voltaje y la corriente en la pantalla del osciloscopio, ver figura 26.
- Tenga en cuenta que la corriente queda en fase con la tensión
- Ajuste el interruptor de alimentación en la dirección PQ simulador y observe la fase A, ver figura 27

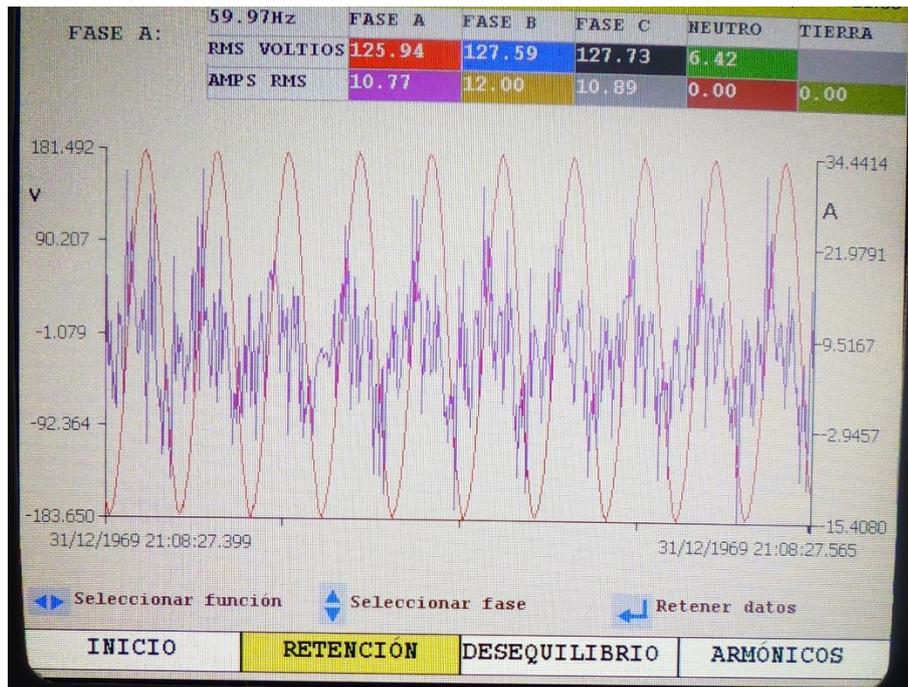


Figura 26. Pantalla osciloscopio fase A positivo [autores]

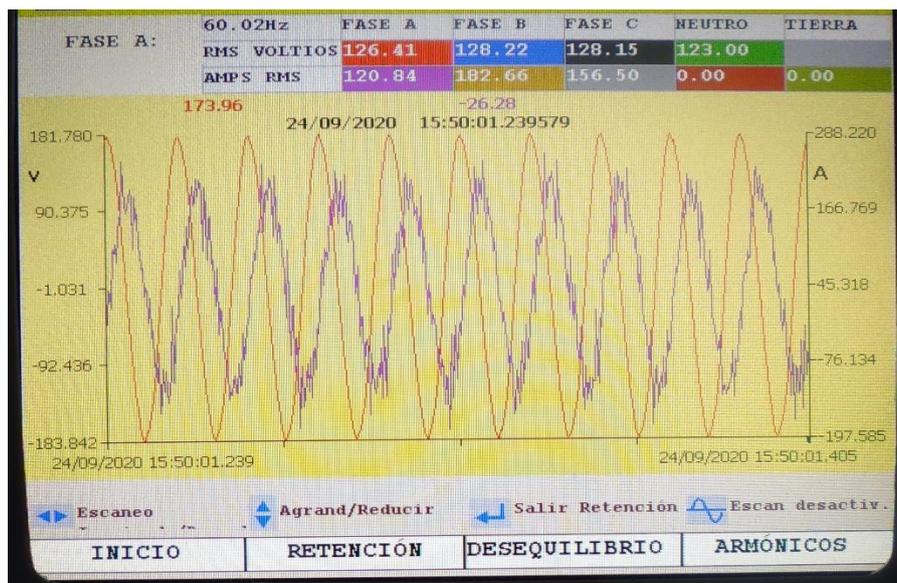


Figura 27. Pantalla osciloscopio fase A negativo [autores]

## 5.2. Potencia activa frente potencia reactiva

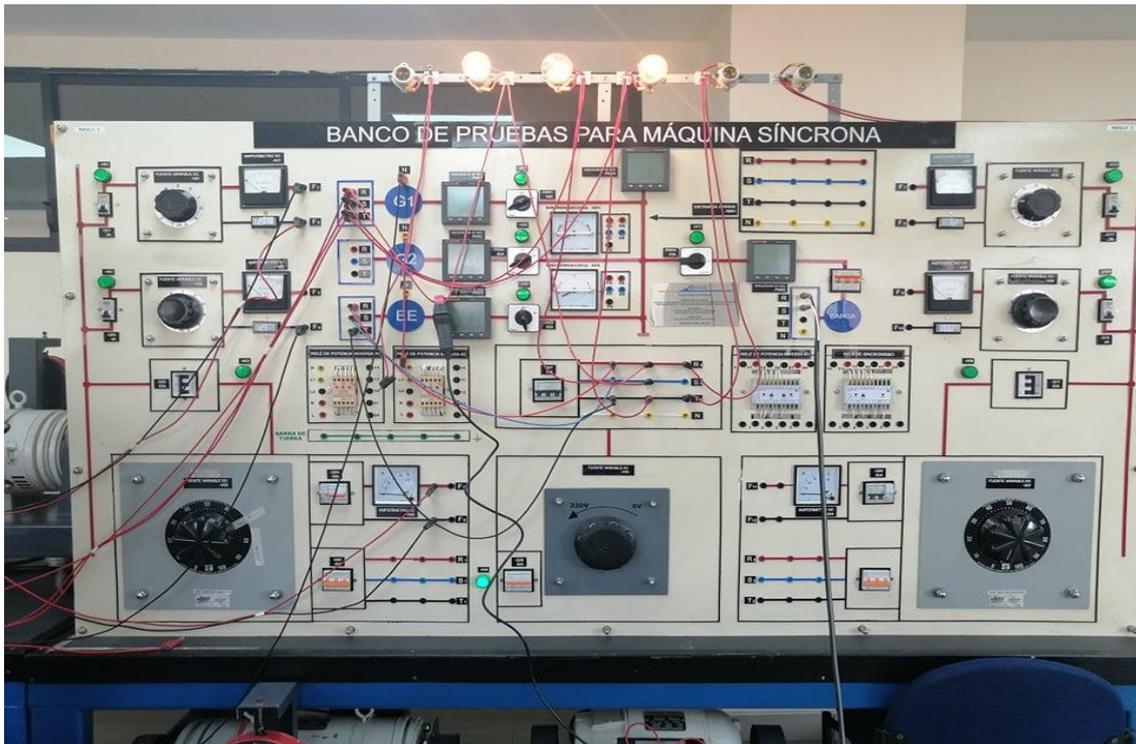


Figura 28. Modulo banco de prueba para máquina sincrónica [autores]

	<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA FACULTAD DE INGENIERÍAS</b>	
<b>PRÁCTICA No.</b>	<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA</b>	<b>DURACIÓN (HORAS)</b>
02	<b>Potencia activa frente potencia reactiva</b>	2 Horas
<b>FUNDAMENTO</b>		
<p>En esta demostración la potencia activa se encarga de ejercer un trabajo real, un ejemplo sería crear calor mientras que la potencia reactiva no ejerce un trabajo efectivo, otro ejemplo sería la creación de un campo magnético alrededor de una bobina, así pues, se tiene KW que caerá mientras los valores de KVAR sube, aumentando el ángulo de la fase reduce los valores de potencia activa y aumenta la reactiva.</p>		
<b>OBJETIVOS</b>		
<p>Conocer los tipos de potencias eléctricas existentes y analizar cada cambio de valor de las potencias, así mismo identificar un principio teórico.</p>		
<b>EQUIPOS Y MATERIALES</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• MPQ2000</li> <li>• MPQ-SIM-01</li> <li>• Modulo de trabajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cables de tension</li> <li>• Cables de corrientes</li> </ul>	

Tabla 8. Informe de la práctica N°2 [Autores]

**Nota:** Esta Tabla contiene información de los fundamentos, objetivos, equipos y materiales para su desarrollo de la práctica 2. **Por:** Los Autores.

### Método #1. Tiempo real demanda pantalla DVM

- Verificar los controles están ajustados a sus valores iniciales, ver figura 30.
- Ver la demanda en tiempo real y tenga en cuenta los KW indica un valor y el KVAR otro valor, ver figura 29.
- Configurar cualquier de los selectores de intensidad de fase de ángulo de  $30^\circ$  con respecto a su ángulo nominal.

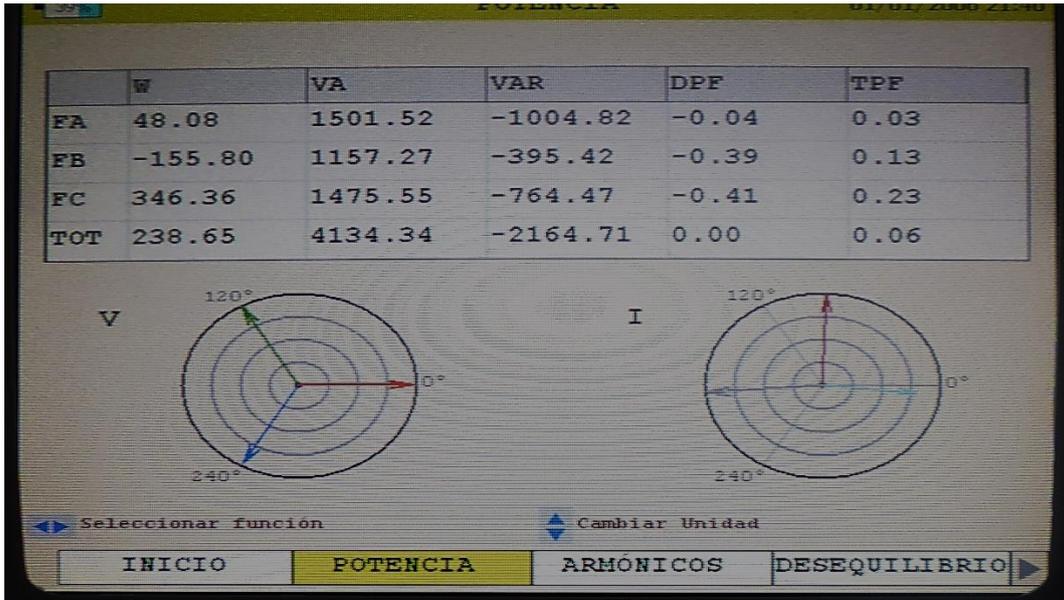


Figura 29. Pantalla dvm valores de potencias [autores]



Figura 30. MPQ-SIM-01 ajustes valores iniciales [autores]

## Método #2. Registro de datos

- Iniciar la grabación unidad.
- Deje que la unidad para grabar durante intervalos de al menos 2 demanda.
- Configurar cualquier selector de intensidad  $-30^\circ$  para la fase A,  $90^\circ$  para la fase B o  $210^\circ$  para la fase C, ver figura 31.
- Ajuste la corriente de fase selectores de ángulo de vuelta a sus ángulos nominales  $0^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $240^\circ$ .
- Ver la potencia activa KW y potencia reactiva KVAR, ver figura 32.



Figura 31. MPQ-SIM-01 ajustes ángulo selector intensidad  $-30^\circ$  para cada fase [autores]

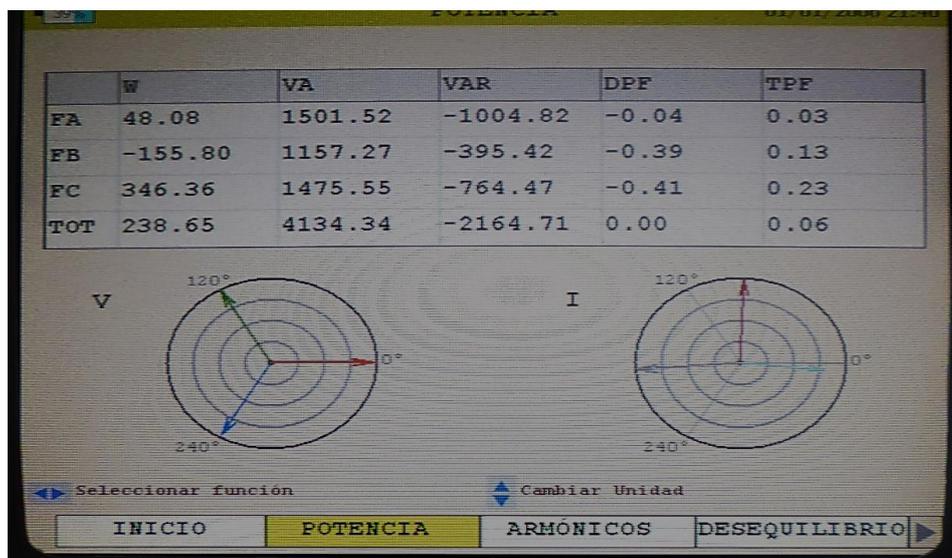


Figura 32. Pantalla dvm con aumento en potencia reactiva [autores]

### 5.3. Factor de potencia con desplazamiento

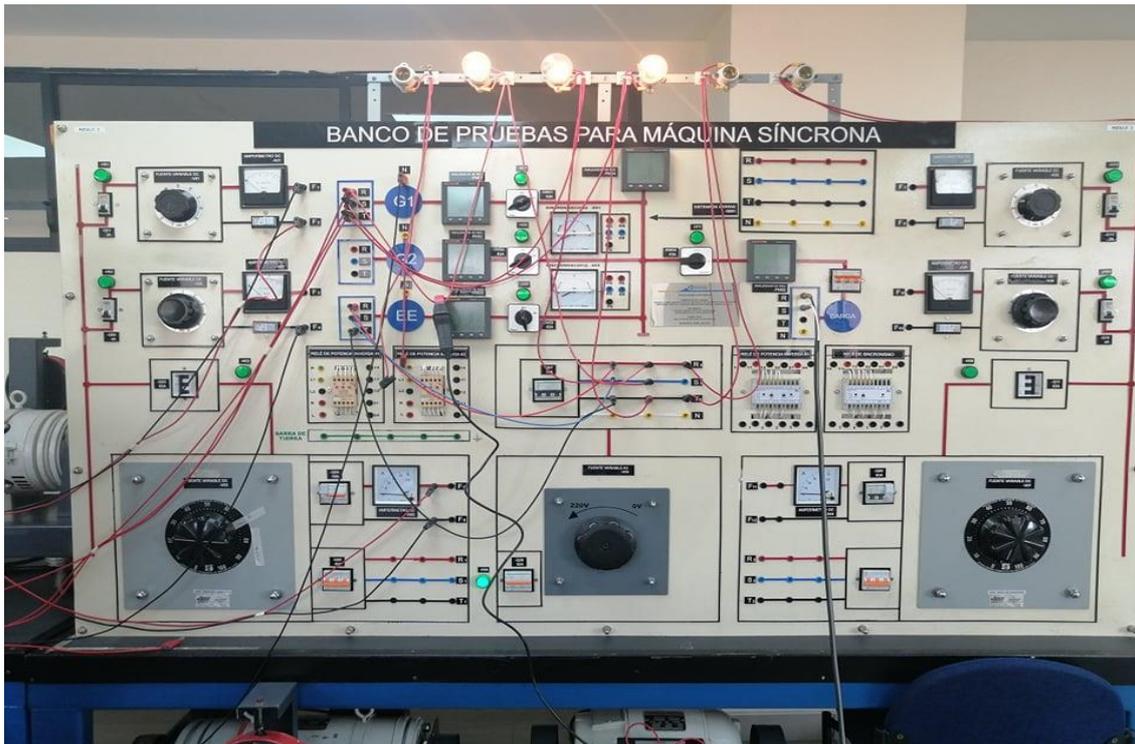


Figura 33. Modulo banco de prueba para máquina sincrónica [autores]

	<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍAS</b>	
<b>PRÁCTICA No.</b>	<b>NOMBRE DE LA PRÁCTICA</b>	<b>DURACIÓN (HORAS)</b>
03	<b>Factor de potencia con desplazamiento</b>	2 Horas
<b>FUNDAMENTO</b>		
<p>Esta práctica en un circuito de corriente alterna se refiere a la correlación entre la potencia activa y aparente, se podrá observar que cuando la carga es inductiva la corriente se retrasa respecto al voltaje, el factor de potencia en este caso se refiere a un factor de potencia de desplazamiento positivo, en cambio cuando la carga es capacitiva se refiere a un factor de potencia de desplazamiento negativo.</p>		
<b>OBJETIVO</b>		
<p>Determinar el comportamiento del factor de potencia en un circuito, identificando cada tipo de potencia que figura en la pantalla y observar que signo tiene el factor de potencia en esta prueba.</p>		
<b>EQUIPOS Y MATERIALES</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• MPQ2000</li> <li>• MPQ-SIM-01</li> <li>• Modulo de trabajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cables de tension</li> <li>• Cables de corriente</li> </ul>	

Tabla 9. Informe de la práctica N°3 [Autores]

**Nota:** Esta Tabla contiene información de los fundamentos, objetivos, equipos y materiales para su desarrollo de la práctica 3. **Por:** El Autor.

## Método #1. Tiempo real demanda pantalla DVM

- Verificar los controles que están ajustados a sus valores iniciales
- Ajuste los interruptores de selección de fase A, B y C por ángulo de fase actual  $-11^\circ$ , ver figura 34.
- Ver la demanda pantalla DVM y tenga en cuenta el DPF para cada canal es positivo, ver figura 35.
- Ajuste los interruptores de selección de fase A, B y C por ángulo de fase actual  $11^\circ$ , ver figura 36.

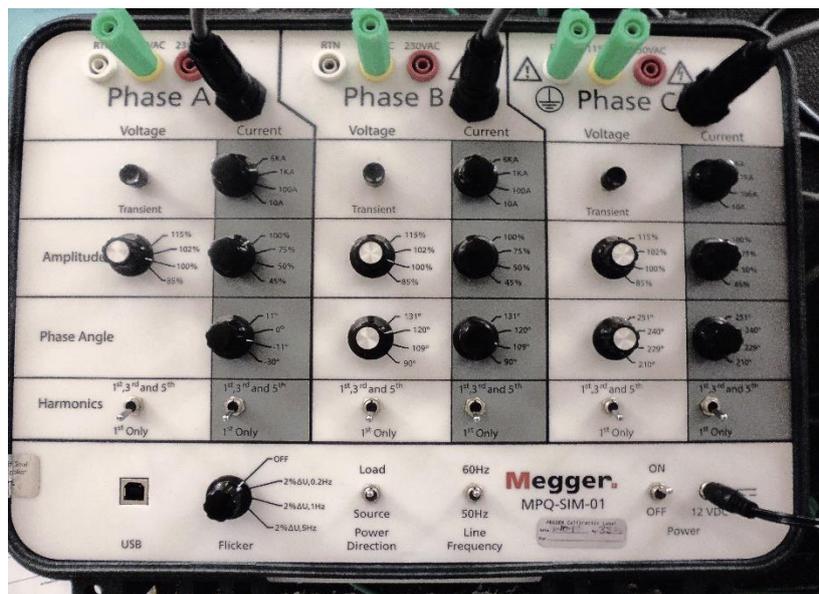


Figura 34. Ajuste en el MPQ-SIM-01 fases de corriente a  $-11^\circ$  [autores]

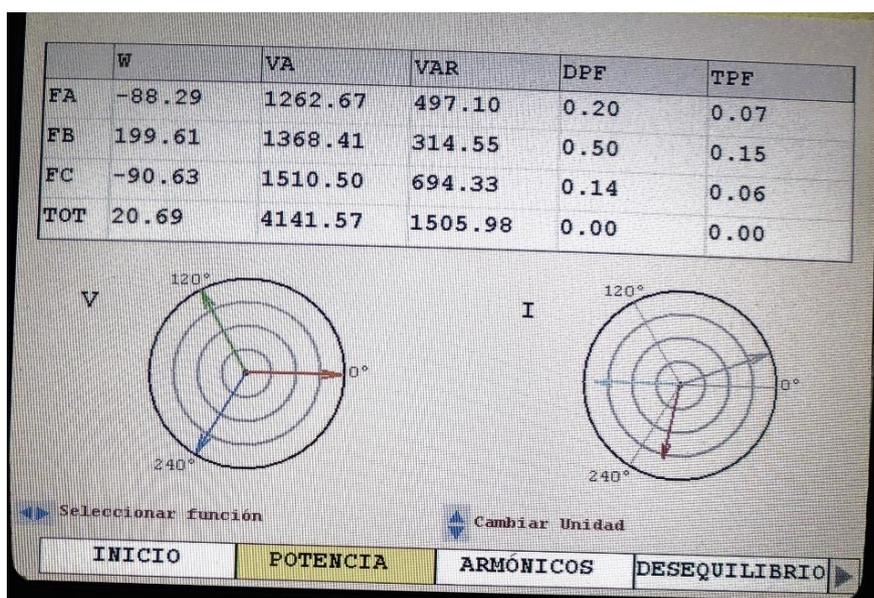


Figura 35. Pantalla dvm con DPF positivo [autores]

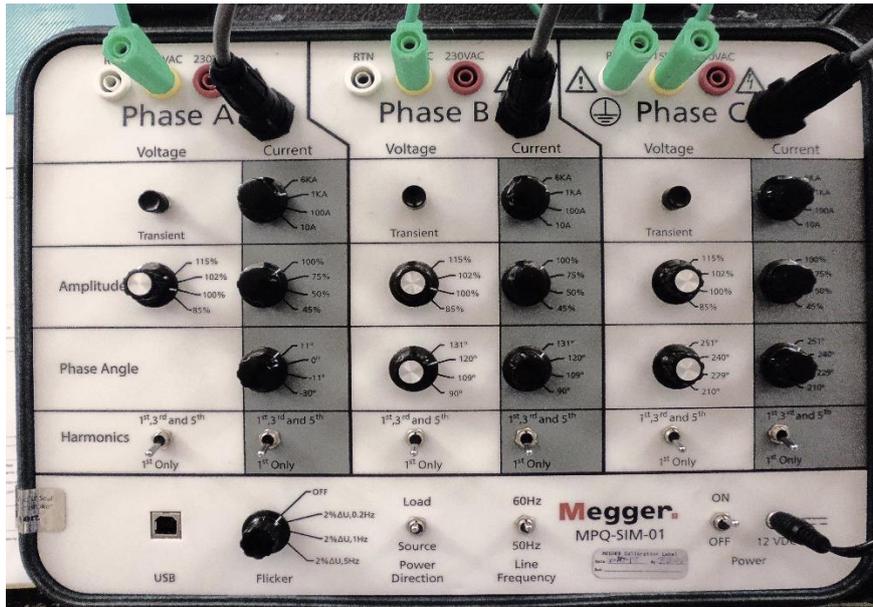


Figura 36. Ajuste en el MPQ-SIM-01 fases de corriente a 11° [autores]

- Ver la demanda pantalla DVM y tenga en cuenta el DPF para cada canal es negativo, ver figura 37.

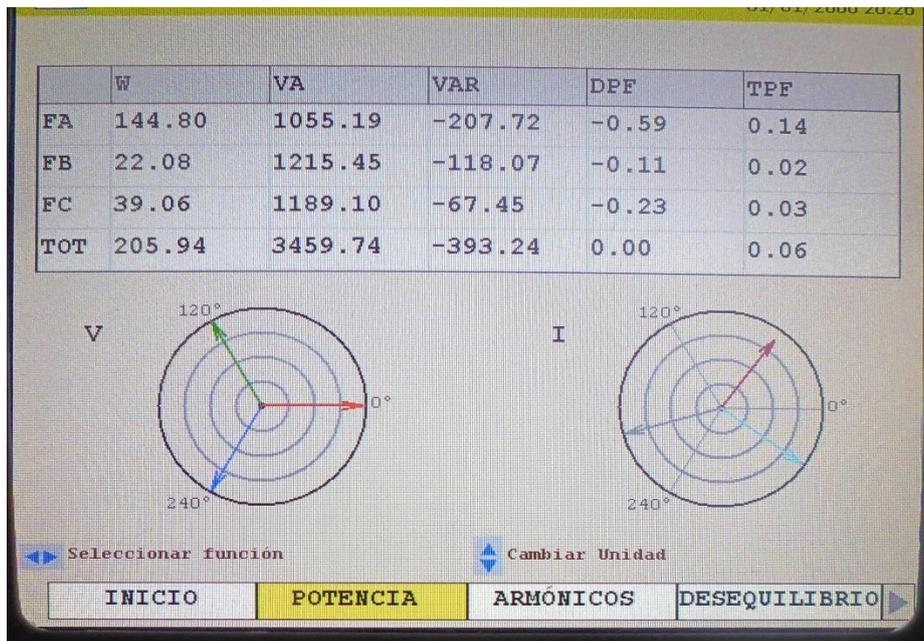


Figura 37. Pantalla dvm con DPF negativo [autores]

## Método #2. Tiempo real demanda pantalla alcance

- Verificar los controles están ajustados a sus valores iniciales.
- Ajuste el selector de fase un ángulo de  $-30^\circ$ .
- Ver la fase A tensión y la corriente en el osciloscopio, ver figura 38.

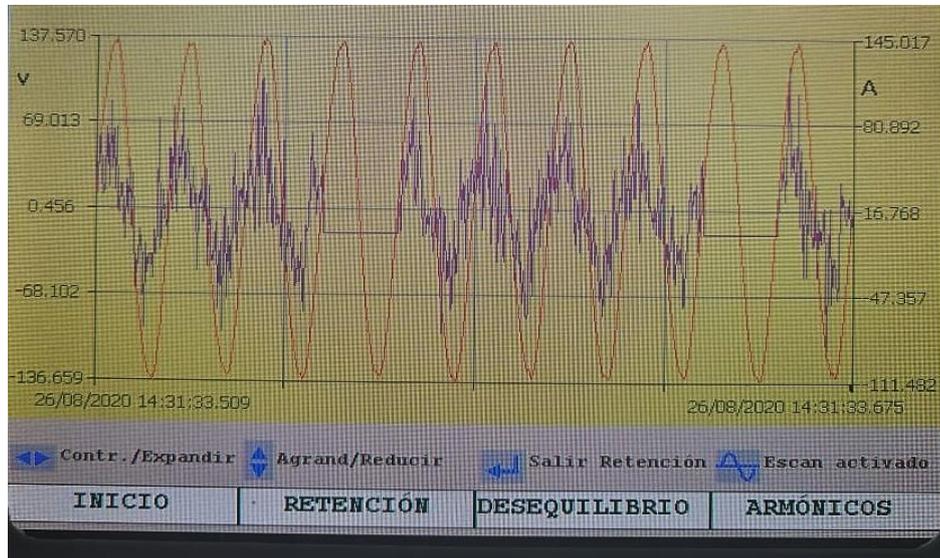


Figura 38. Pantalla osciloscopio fase ángulo  $-30^\circ$  [autores]

- Ajuste el selector de fase un ángulo de  $11^\circ$ .
- Ver la fase A tensión y la corriente en el osciloscopio, ver figura 39.

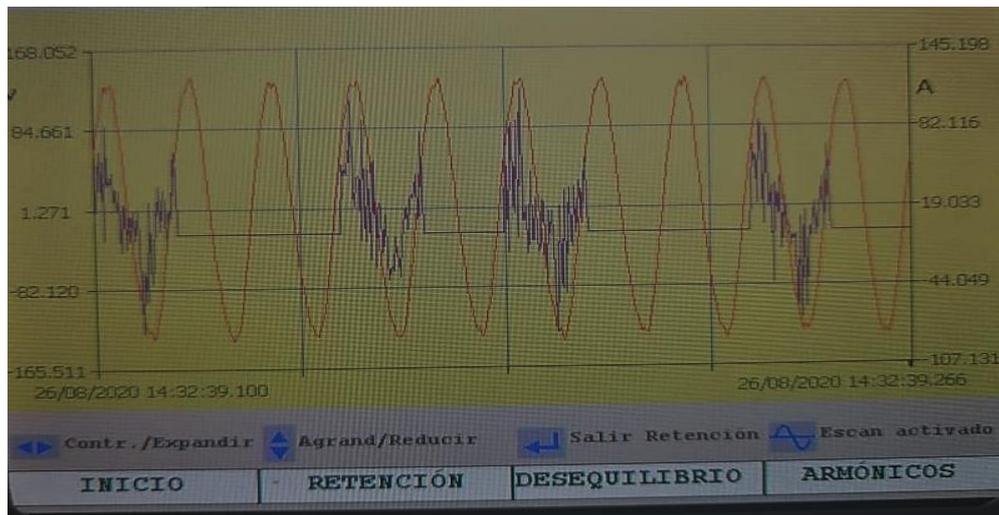


Figura 39. Pantalla osciloscopio fase ángulo  $11^\circ$  [autores]

#### 5.4. Efecto armónico de potencia

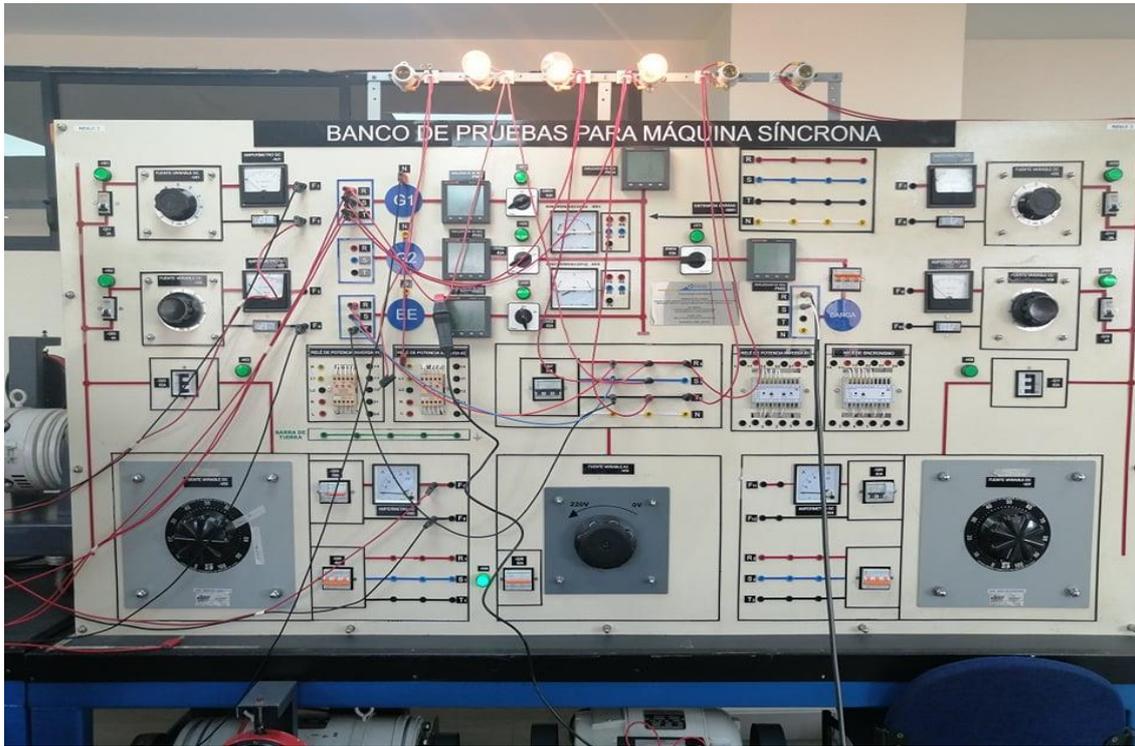


Figura 40. Modulo banco de prueba para máquina sincrónica [autores]

	<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍAS</b>	
PRÁCTICA No.	NOMBRE DE LA PRÁCTICA	DURACIÓN (HORAS)
04	<b>Efecto armónico de potencia</b>	2 Horas
<b>FUNDAMENTO</b>		
<p>En esta práctica tenemos a los contenidos de armónicos que se representa gráficamente como ondas sinusoidales múltiplos frecuencias fundamentales del sistema los cuales pueden decrecer o crecer, en este caso el triángulo de potencia no es referente a las formas de onda sinusoidales.</p>		
<b>OBJETIVO</b>		
<p>Analizar las formas de ondas reflejadas en la pantalla del analizador de calidad de energía y observar cada armónico para comprobar si creció o decreció dependiendo del procedimiento realizado en la práctica.</p>		
<b>EQUIPOS Y MATERIALES</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• MPQ2000</li> <li>• MPQ-SIM-01</li> <li>• Modulo de trabajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cables de tension</li> <li>• Cables de corriente</li> </ul>	

Tabla 10. Informe de la práctica N°4 [Autores]

**Nota:** Esta Tabla contiene información de los fundamentos, objetivos, equipos y materiales para su desarrollo de la práctica 4. **Por:** El Autor.

## Método #1. Tiempo real demanda pantalla DVM

- Verificar los controles están ajustados a sus valores iniciales.
- Ajuste los interruptores de selección de fase A y B por ángulo de fase actual al 30°, ver figura 41.

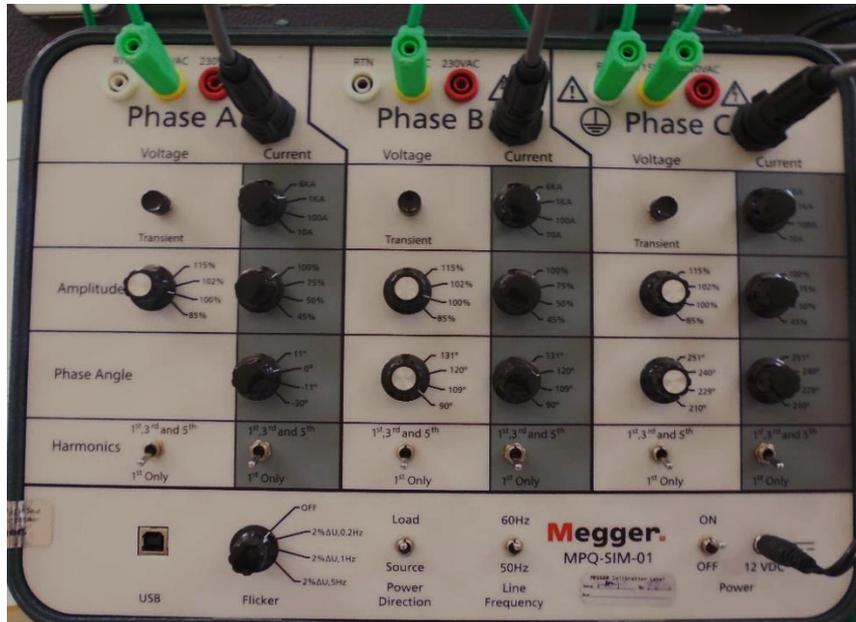


Figura 41. Ajuste en el MPQ-SIM-01 ángulo de fase voltaje a 30° [autores]

- Ver la demanda en la pantalla DVM y tenga en cuenta la potencia eléctrica aparente (KVA), la potencia eléctrica activa (KW) y la potencia eléctrica reactiva (KVAR), ver figura 42.

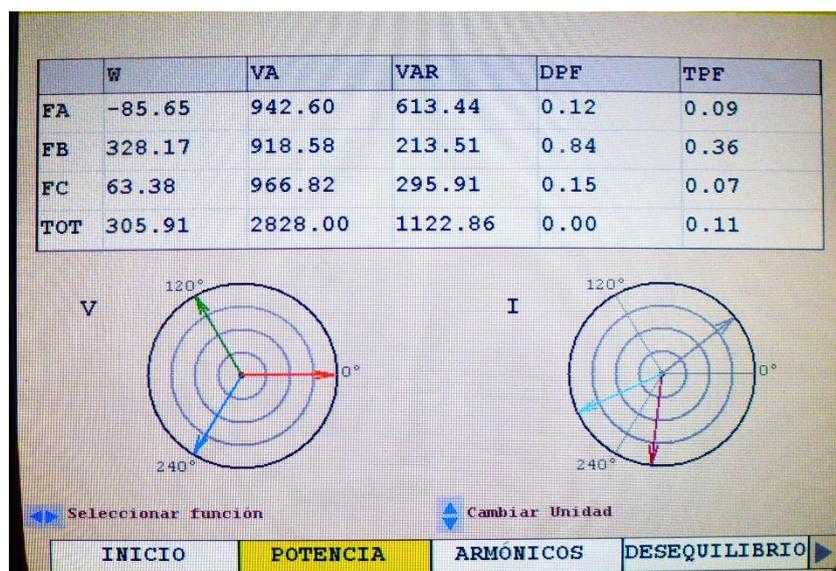


Figura 42. Pantalla dvm corriente de armónico Off [autores]

- Ajuste la tensión de armónicos de corriente en ON
- Ver la demanda en la pantalla DVM y tenga en cuenta la potencia eléctrica aparente (KVA), la potencia eléctrica activa (KW) y la potencia eléctrica reactiva (KVAR), ver figura 43.

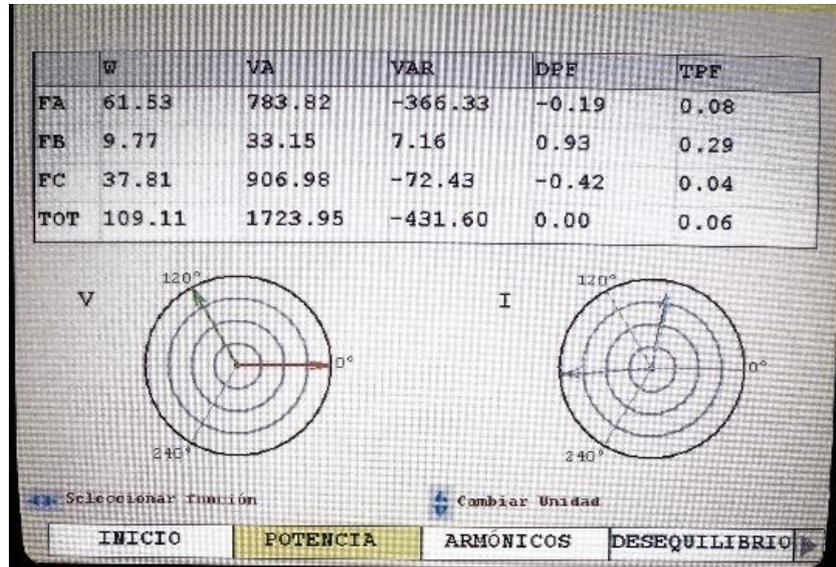


Figura 43. Pantalla dvm corriente de armónico On [autores]

#### Método #2. Registro de datos

- Verificar los controles están ajustados a sus valores iniciales
- Ajuste los interruptores de selección de fase A y B de ángulo de fase de 30°
- Iniciar la grabación de unidad
- Deje que la unidad para grabar durante intervalos de por lo menos 3 demandas
- Ajuste la tensión y los interruptores de armónicos de corrientes en ON
- Detener la grabación
- Ver la potencia aparente (KVA), la potencia eléctrica activa (KW) y la potencia eléctrica reactiva (KVA)

## 5.5. Armónico de tensión y corriente

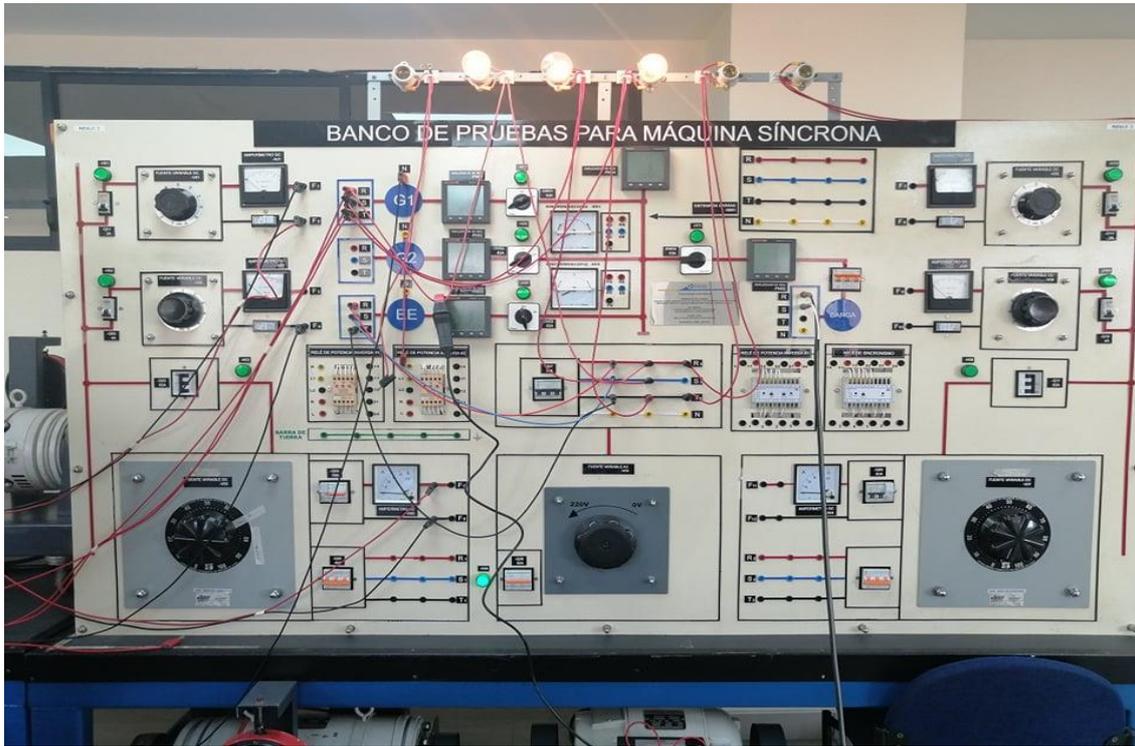


Figura 44. Módulo banco de prueba para máquina sincrónica [autores]

	<b>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍAS</b>	
PRÁCTICA No.	NOMBRE DE LA PRÁCTICA	DURACIÓN (HORAS)
05	Armónico de tensión y corriente	2 Horas
<b>FUNDAMENTO</b>		
<p>Los armónicos se refieren a ondas senoidales que se superponen a la corriente y la tensión las cuales sus frecuencias son múltiplos de la frecuencia fundamental, los cuales se reflejaran y analizaremos en la pantalla del analizador.</p>		
<b>OBJETIVO</b>		
<p>Identificar los tipos de armónicos que se presentan así mismo observar los cambios en armónicos de tensión y corriente conociendo el comportamiento de cada frecuencia reflejada en el analizador.</p>		
<b>EQUIPOS Y MATERIALES</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• MPQ2000</li> <li>• MPQ-SIM-01</li> <li>• Modulo de trabajo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cables de tension</li> <li>• Cables de corriente</li> </ul>	

Tabla 11. Informe de la práctica N°5 [Autores]

**Nota:** Esta Tabla contiene información de los fundamentos, objetivos, equipos y materiales para su desarrollo de la práctica 5. **Por:** Los Autores.

Método #1. Tiempo real armónico pantalla DVM

- Verificar los controles están ajustados a sus valores iniciales.
- Verificar el voltaje y la corriente armónica interruptores están en off.
- Ver los armónicos en tiempo real en la pantalla DVM y tenga en cuenta la tabla de armónicos es cerca de 0, ver figura 45.
- Establecer la fase A, B y C tensión de armónicos On

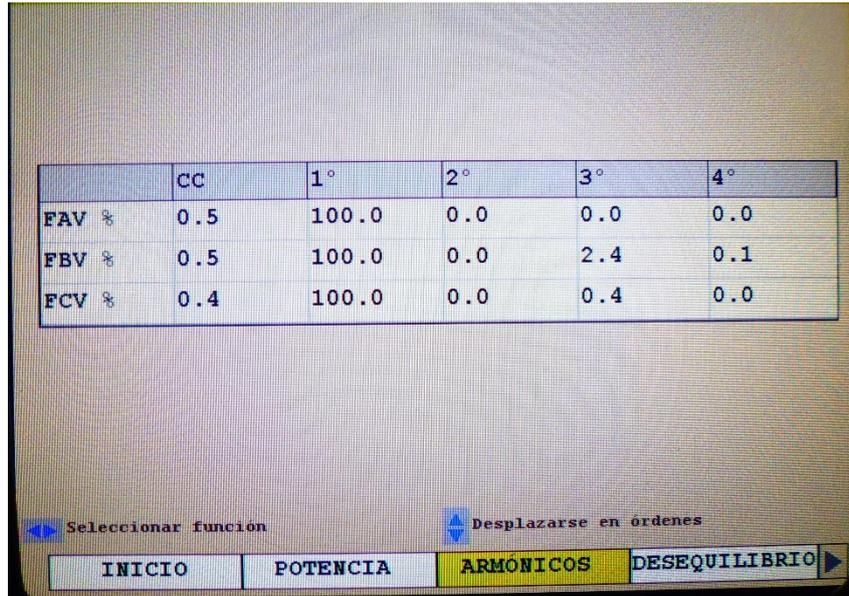


Figura 45. Valores de armónicos interruptor Off [autores]

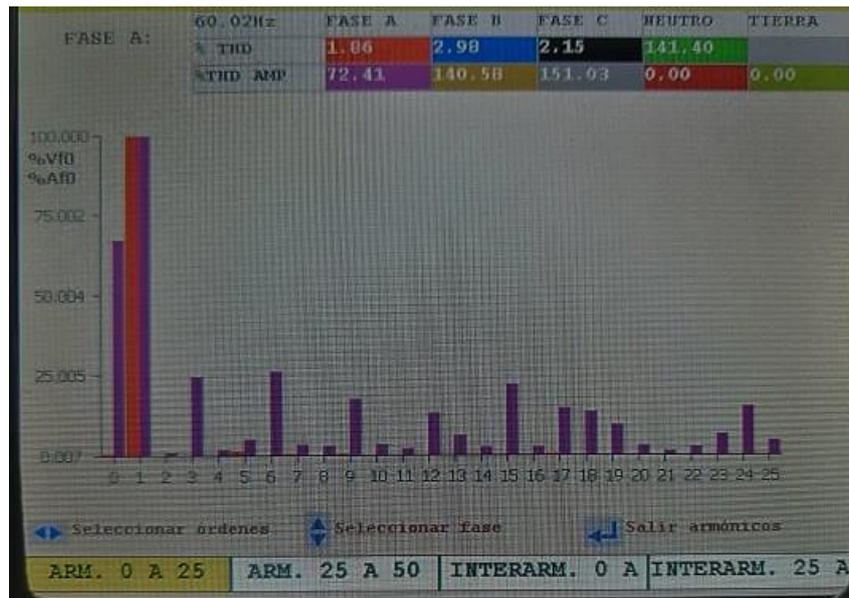


Figura 46. Gráfico armónico en la fase A [autores]

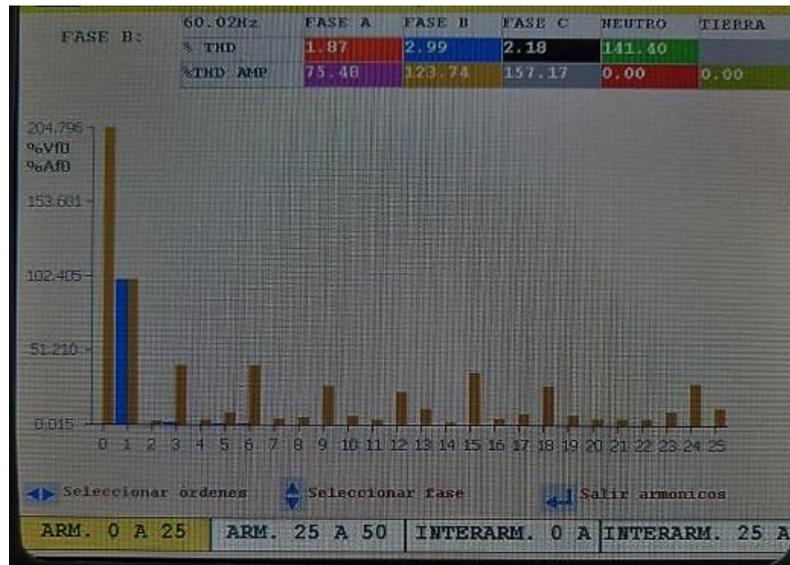


Figura 47. Gráfico armónico en la fase B [autores]

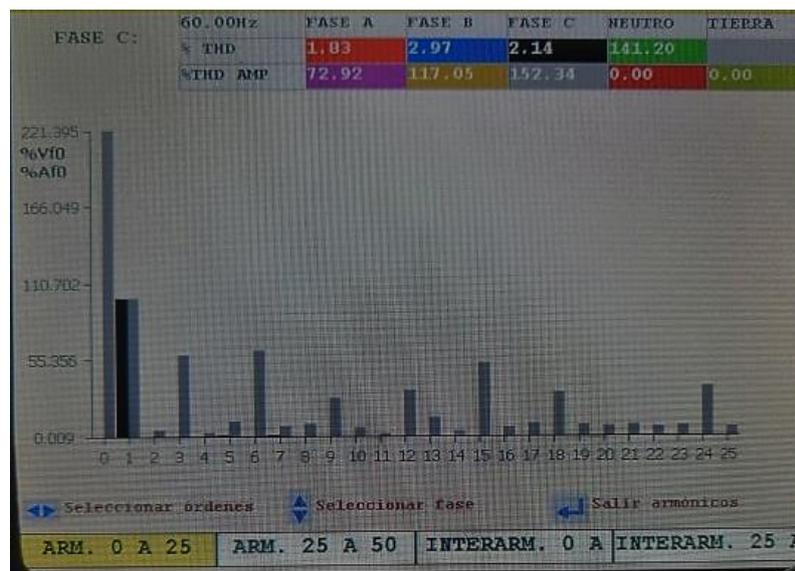
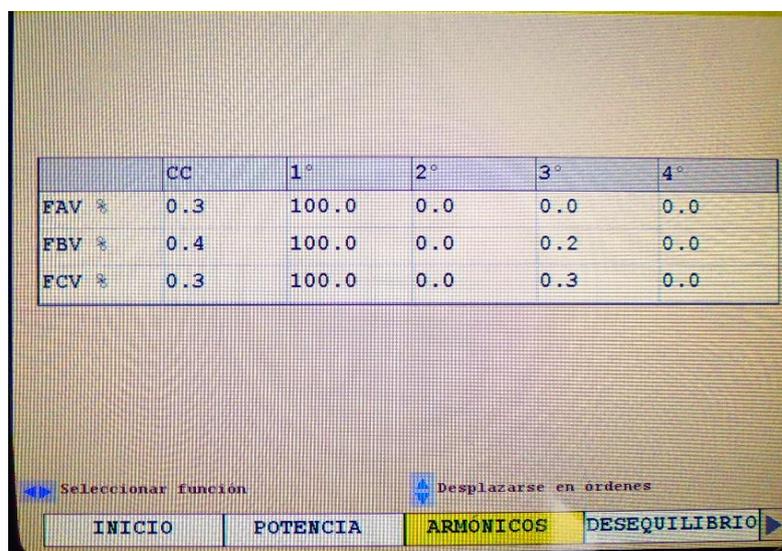


Figura 48. Gráfico armónico en la fase C [autores]

- Ver los armónicos en tiempo real en la pantalla DVM y tomar en cuenta de la 3rd orden y 5rd que muestran ahora.

## Método #2. Tiempo real armónico pantalla alcance

- Verificar los controles están ajustados a sus valores iniciales
- Verificar el voltaje y la corriente armónica interruptores están en off
- Ver los armónicos en tiempo real en la pantalla DVM y tenga en cuenta la tabla de armónicos es cerca de 0
- Establecer la fase A, B y C tensión de armónicos On
- Ver los armónicos en tiempo real en la pantalla DVM y tomar en cuenta de la 3rd orden y 5rd que muestran ahora

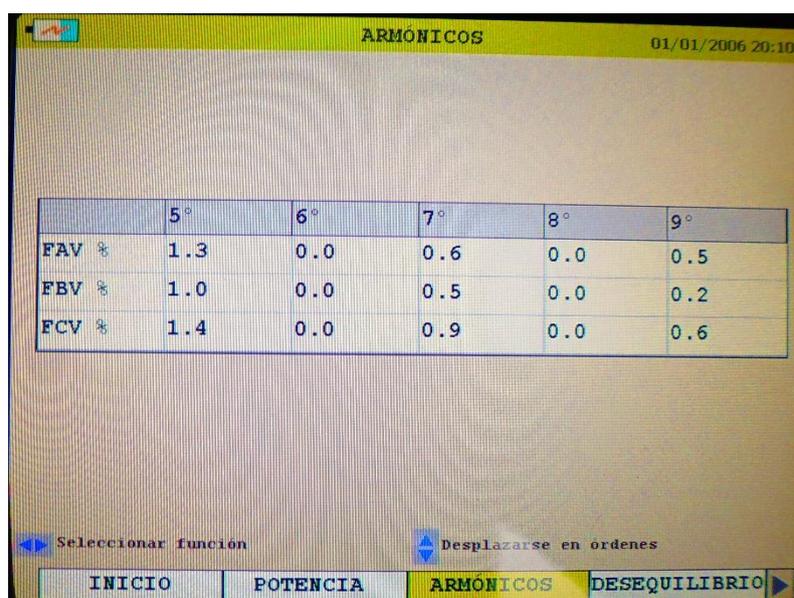


	CC	1°	2°	3°	4°
FAV %	0.3	100.0	0.0	0.0	0.0
FBV %	0.4	100.0	0.0	0.2	0.0
FCV %	0.3	100.0	0.0	0.3	0.0

Seleccionar función      Desplazarse en ordenes

INICIO    POTENCIA    **ARMONICOS**    DESEQUILIBRIO

Figura 49. Gráfico armónico de tensión en la fase A, B y C [autores]



	5°	6°	7°	8°	9°
FAV %	1.3	0.0	0.6	0.0	0.5
FBV %	1.0	0.0	0.5	0.0	0.2
FCV %	1.4	0.0	0.9	0.0	0.6

ARMONICOS      01/01/2006 20:10

Seleccionar función      Desplazarse en ordenes

INICIO    POTENCIA    **ARMONICOS**    DESEQUILIBRIO

Figura 50. Gráfico armónico de tensión en la fase A, B y C [autores]

- Establecer la fase A, B y C corriente de armónicos On
- Ver los armónicos en tiempo real en la pantalla DVM y tomar en cuenta de la 3rd orden y 5rd que muestran ahora

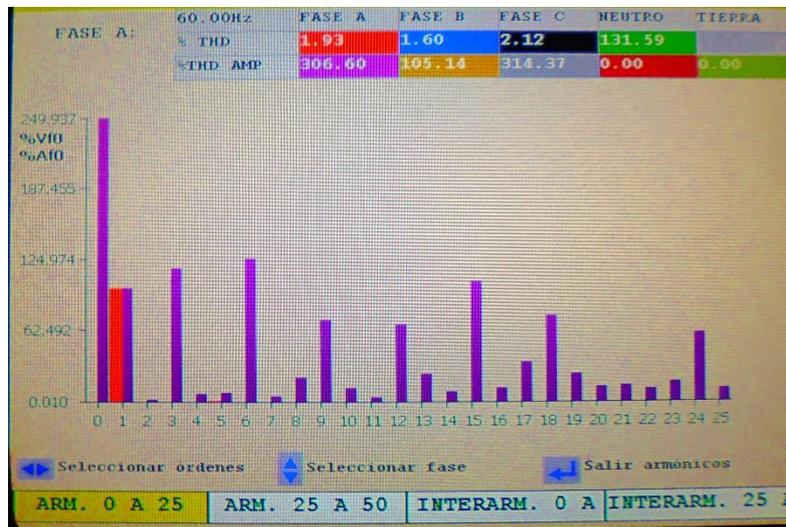


Figura 51. Gráfico armónico de corriente en la fase A [autores]

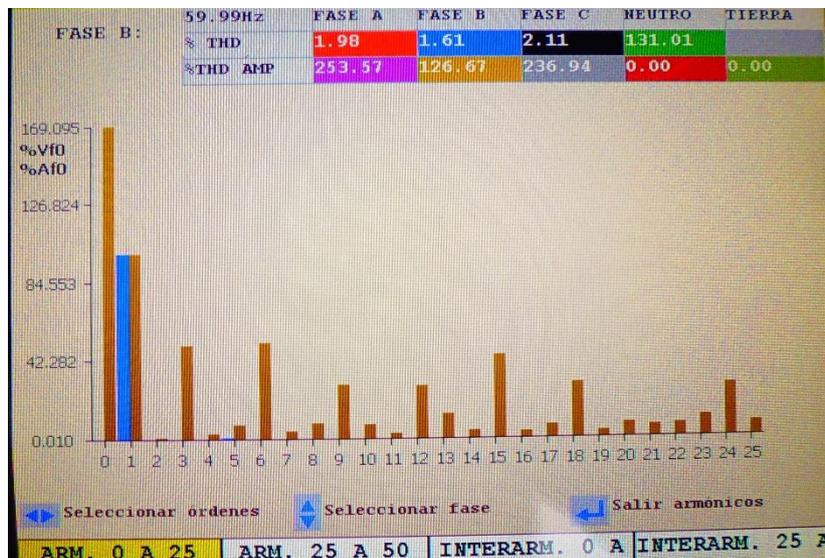


Figura 52. Gráfico armónico de corriente en la fase B [autores]

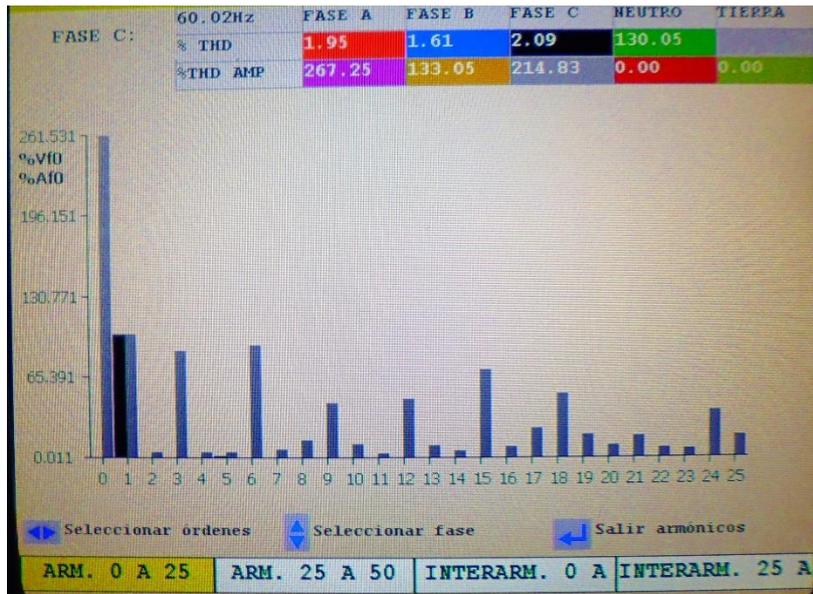


Figura 53. Gráfico armónico de corriente en la fase C [autores]

## CAPÍTULO 6

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### Conclusiones

Se demostró en la primera simulación los cambios transitorios que se originaron cuando colocamos como carga el simulador MPQ-SIM-01 con la configuración de conexión estrella 4 hilos, en el cual se visualizó un cambio con el signo de la Fase A.

Se logró demostrar en la tercera simulación, los cambios potencia de desfase al variar el interruptor de intensidad a  $-11^\circ$  y  $11^\circ$ , concluyendo cuando el desfase es inductivo y capacitivo a través de su factor de potencia de desplazamiento.

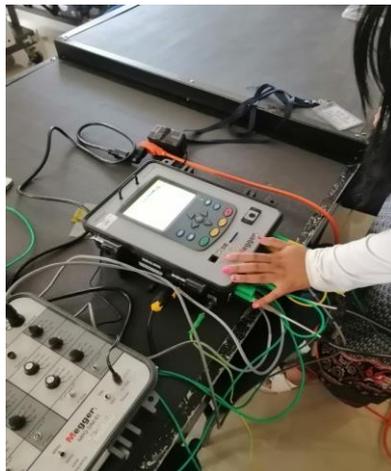
Se realizó en la quinta simulación un estudio de armónicos que puede ser observado en la pantalla del analizador como gráficos de barras y en el software MeggerPQ en formas de ondas sinusoidales.

## **Recomendaciones**

Se recomienda realizar futuros análisis y estudios con el simulador MPQ-SIM-01 con la configuración delta y delta abierto, para visualizar sus nuevos cambios ocasionados al variar los interruptores de intensidad y ángulo de fases en las distintas pruebas realizadas.

Se recomienda un estudio más detallado y minucioso al simulador MPQ-SIM-01 a través de nuevas simulaciones al realizar Flicker, Sags, Swells.

# ANEXOS



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Colegio 24hs. (2004). Energía Eléctrica.
- [2] Colegio 24hs. (2004). Energía Eléctrica.
- [3] Electric, S. (Septiembre de 2015). Schneider Electric, "Eliminación de Armónicos en Instalaciones". Obtenido de: [https://www.apc.com/salestools/LARD-8K6K8S/LARD-8K6K8S\\_R2\\_ES.pdf](https://www.apc.com/salestools/LARD-8K6K8S/LARD-8K6K8S_R2_ES.pdf)
- [4] Española, R.A.(s.f.). Real Academia Española. Obtenido de <https://dle.rae.es/?id=6nVpk8P|6nXVL1Z>.
- [5] Grigsby, L. (2012). Electric Power Generation, Transmission, and distribution. Bosa Roca: Taylor & Francis Inc.
- [6] Holguín, M., & Gomez, D. (2010). Análisis de Calidad de Energía en el "Nuevo Campus" de la Universidad Politécnica Salesiana. Tesis de Grado. Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, Guayaquil.
- [7] IEEE.(1992)."IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems", IEEE Std 5191992. Obtenido de [https://eecs.wsu.edu/~mehrizi/ee525/2014F/EE525\\_2014F\\_ExtraRead\\_IEEE](https://eecs.wsu.edu/~mehrizi/ee525/2014F/EE525_2014F_ExtraRead_IEEE).
- [8] Megger. (s.f.). Obtenido de Megger:<https://es.megger.com/products/baterias-baja-resistencia-calidad-energia/analisis-de-la-calidad-de-la-energia/mpqsim>.
- [9] Megger. (s.f.). Obtenido de Megger: <https://csa.megger.com/analizador-portatil-de-la-calidad-de-la-energia-mpq2000-1>.
- [10] Pánchez, A., & Guillen, M. (2019). Análisis de la calidad de la energía eléctrica en las redes de bajo voltaje de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca por la cargabilidad de vehículo eléctricos. (Tesis de Grado). Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, Cuenca.
- [11] Santana, J.(s.f.). CIRCUTOR S.A. Obtenido de CIRCUTOR S.A: <http://circuitor.es/es/formacion/armonicos-electricos>.
- [12] Schneider, E. (09 de 2015). "Factores clave en isntalaciones de SAI". Obtenido de [https://www.apc.com/salestools/LARD-8K6G2X/LARD-8K6G2X\\_R2\\_ES.pdf](https://www.apc.com/salestools/LARD-8K6G2X/LARD-8K6G2X_R2_ES.pdf)

- [13] Sousa, S. V. (2014). procedimientos para determinar la eficiencia de motores asincrónos en presencia de desbalance y armónicos en la tensión. : Editorial Universitaria.
- [14] W. McAllister, «Cantidades eléctricas fundamentales: corriente, voltaje,potencia,» KHAN ACADEMY, Junio 2016. [En línea]. Available: <https://es.khanacademy.org/science/physics/circuits-topic/circuits-resistance/a/ee-voltage-and-current>.
- [15] Schneider Electric. Corrección del Factor de Potencia. Publicación Técnica Schneider PT075, 2000.
- [16] RODRÍGUEZ (2003): Sistemas de corrección de perturbaciones. Calidad en el Servicio Eléctrico – (Corrección de Perturbaciones). Universitat de Girona.
- [17] ARCILA José Dariel, “Armónicos En Sistemas Eléctricos,» Ingeniería Especializada (IEB)S. A
- [18] Megger, «Calidad de energía, Software análisis,» Valley Forge Corporate Center, Agosto 2017. [En línea]. Available: [https://embed.widencdn.net/pdf/plus/megger/5nfdgk11bm/MPQSoftware\\_DS\\_esla.pdf](https://embed.widencdn.net/pdf/plus/megger/5nfdgk11bm/MPQSoftware_DS_esla.pdf).