



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADA
CARRERA INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS, EN EL MÓDULO MOTOR-GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”

Propuesta Tecnológica presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia

Autores:

Ocampo Taco Christian Oswaldo

Simba Lagla Stalin Alexander

Tutor:

Ing. Pacheco Mena Carlos Francisco

Latacunga - Ecuador

Febrero 2020

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo **Ocampo Taco Christian Oswaldo** y **Simba Lagla Stalin Alexander**, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE ADQUISICION Y VISUALIZACION DE LOS PARAMETROS ELECTRICOS, EN EL MODULO MOTOR-GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA EN EL LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI**, siendo el **Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena** tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de nuestra exclusiva responsabilidad.



.....
Ocampo Taco Christian Oswaldo
C.C.: 1721901583



.....
Simba Lagla Stalin Alexander
C.C.: 0503498198

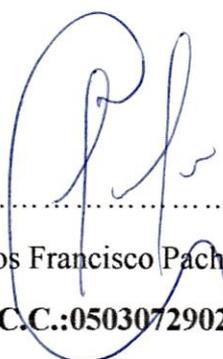
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

“IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE ADQUISICION Y VISUALIZACION DE LOS PARAMETROS ELECTRICOS, EN EL MODULO MOTOR-GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA EN EL LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI”, de los señores OCAMPO TACO CHRISTIAN OSWALDO y SIMBA LAGLA STALIN ALEXANDER, de la carrera **Ingeniería Eléctrica**, considero que dicha propuesta tecnológica cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, febrero, 2020

El Tutor


.....
Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena
C.C.:0503072902

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicada; por cuanto, los postulantes: OCAMPO TACO CHRISTIAN OSWALDO y SIMBA LAGLA STALIN ALEXANDER con el título de Proyecto de titulación: **“IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE ADQUISICION Y VISUALIZACION DE LOS PARAMETROS ELECTRICOS, EN EL MODULO MOTOR-GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA EN EL LABORATORIO DE MAQUINAS ELECTRICAS DE LA UNJVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI”**, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, febrero del 2020

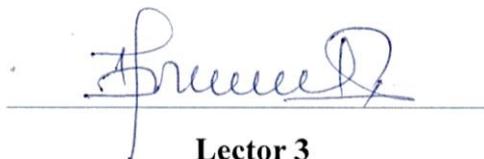
Para constancia firman:



Lector 1 (presidente)
Ing. MSc. Xavier Proaño
C.C.: 0502656424



Lector 2
Ing. MSc. Wilian Guamán Cuenca
C.C.: 0603578956



Lector 3
Ph.D. Iliana Gonzalez Palau
C.C.: 1757070659

AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de director de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi certifico que mediante el proyecto e investigación: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS, EN EL MÓDULO MOTOR-GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, de los señores: OCAMPO TACO CHRISTIAN OSWALDO y SIMBA LAGLA STALIN ALEXANDER, realizan la entrega de un módulo de visualización y adquisición de variables eléctricas, para el laboratorio de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi

Latacunga, febrero del 2020


Ph.D. Secundino Marrero Ramírez
C.C.: 1757107907



AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por guiarme a lo largo de esta etapa por ser el apoyo y fortaleza en aquellos instantes de debilidad.

A mis padres que son los pilares de mi vida, por no dejarme rendir en los momentos de extenuación, que pese a las adversidades e inconvenientes presentados me enseñaron que unidos como familia se los puede superar, a mi hermano por acompañarme estos años de estudio compartiendo alegrías y tristezas.

Por último, agradezco a mis amigos y futuros colegas los cuales contribuyeron con su granito de arena para culminar esta meta propuesta.

Christian

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por su bondad y misericordia, quien con su bendición llena siempre mi vida de esperanza y sueños, y la vez por darme fuerzas para culminar este proyecto.

A mis padres por ser mi pilar fundamental y haberme apoyado incondicionalmente, pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron en el transcurso de este trabajo de titulación.

A mi hija Kerly, quien es mi principal inspiración para lograr mis objetivos y ser una mejor persona cada día.

A mi esposa Alicia, por brindarme su apoyo incondicional en los momentos más difíciles.

DEDICATORIA

Este presente trabajo lo dedico a mi padre Roberto por su sacrificio y apoyo incondicional en todos estos años que no han sido fáciles, simultáneamente, a mi madre María que con su amor y paciencia ha sabido entender el esfuerzo realizado para llegar a cumplir una meta más en mi vida, estoy eternamente agradecido por sus palabras de aliento y sabios consejos.

A mi hijo Fernando por ser una fuente de motivación para poder superarme cada día más y así poder luchar y construir un mejor futuro en nuestras vidas.

Christian

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi padre Manuel quien con su sabiduría, paciencia y esfuerzo me ha permitido llegar a cumplir un sueño más en mi vida, además de ayudarme en la buenas y en las malas y de seguirlo haciendo, además de confiar en mí y nunca abandonarme.

A mi hija Kerly, quien es mi principal inspiración en mi vida, para seguirme superando y cumpliendo mis objetivos.

Stalin

ÍNDICE

1.	INFORMACIÓN BÁSICA	1
2.	DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	2
2.1.	Título de la propuesta tecnológica.....	2
2.2.	Tipo de propuesta alcance	3
2.3.	Área del conocimiento:	3
2.4.	Sinopsis de la propuesta tecnológica:.....	3
2.5.	Objeto de estudio y campo de acción.....	4
2.5.1.	Objeto de estudio.....	4
2.5.2.	Campo de acción	4
2.6.	Situación problemática y problema.....	4
2.6.1.	Situación Problemática.....	4
2.6.2.	Formulación del Problema	5
2.7.	Hipótesis.....	5
2.8.	Objetivos	5
2.8.1.	Objetivo General	5
2.8.2.	Objetivos Específicos	5
2.9.	Sistema de tareas en relación a los objetivos	6
3.	MARCO TEÓRICO-CONTEXTUAL.....	7
3.1.	Marco Contextual.....	7
3.2.	Marco Teórico	9
3.2.1.	Motores Trifásicos.....	9
3.2.2.	Generadores de Corriente continua	9
3.2.3.	Generadores con excitación independiente	10
3.2.4.	Generadores autoexcitados.....	10
3.2.5.	Curvas Características de los generadores DC.....	12
3.2.6.	Módulo motor-generador de corriente continua.....	16
3.2.7.	Cargas Lineales y No Lineales	16
3.2.8.	Armónicos	17
3.2.9.	Teorema de Fourier	17
3.2.10.	Transductores de medición.....	20
3.2.11.	Sistemas de Adquisición de Datos (SAD).....	20
3.2.12.	Etapas de adquisición de datos.....	21
3.2.13.	Componentes para una correcta medición.....	22
3.2.14.	Tipos de transmisión de datos	23

3.2.15.	Comunicación serial	24
3.2.16.	Comunicación entre raspberry y arduino	24
3.2.17.	Tarjeta Raspberry	25
3.2.18.	Arduino.....	25
3.2.19.	Software Python	26
4.	MARCO METODOLÓGICO	27
4.1.	Métodos de investigación.....	27
4.1.1.	Método Inductivo-Deductivo	27
4.1.2.	Método Analítico y Sintético	27
4.1.3.	Método Comparativo.....	27
4.2.	Tipos de Investigación.....	27
4.2.1.	Investigación Bibliográfica-Documental	27
4.2.2.	Investigación de campo	27
4.2.3.	Investigación experimental.....	27
4.2.4.	Investigación Descriptiva	28
4.3.	Técnicas e Instrumentos	28
4.3.1.	Técnicas de Investigación	28
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	29
5.1.	Diseño de circuitos electrónicos.....	29
5.1.1.	Circuitos electrónicos Etapa 1 y Etapa 2.....	29
5.1.2.	Circuito electrónico Etapa 3	34
5.1.3.	Circuito electrónico Etapa 4	35
5.2.	Diseño Placa Electrónica.....	36
5.3.	Construcción del módulo.....	37
5.4.	Descripción módulo motor-generator de corriente continua.....	40
5.5.	Diagrama de funcionamiento del sistema	41
5.6.	Análisis de resultados	42
5.6.1.	Pantallas HMI del sistema.....	42
5.6.2.	Cálculo matemático etapa 1 y etapa 2	45
5.6.3.	Datos de los parámetros eléctricos Etapa 1	48
5.6.4.	Curvas de Voltaje-Corriente Etapa 1.....	50
5.6.5.	Datos de los parámetros eléctricos Etapa 2	51
5.6.6.	Curvas de Voltaje-Corriente Etapa 2.....	53
5.6.7.	Análisis de las variables eléctricas Etapa 3	55
6.	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS.....	63

6.2.	Presupuesto.....	63
6.3.	Análisis de impactos.....	64
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	65
7.1.	Conclusiones	65
7.2.	Recomendaciones	66
8.	REFERENCIAS	66
9.	ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Generador con excitación independiente	10
Figura 3.2. Generador shunt	11
Figura 3.3. Generador en serie	11
Figura 3.4. Generador compound	12
Figura 3.5. Conexión generador shunt	13
Figura 3.6. Curvas de carga generador shunt	13
Figura 3.7. Curva características exteriores generador shunt	13
Figura 3.8. Curva de regulación del generador shunt	14
Figura 3.9. Curvas características de un generador con excitación serie	14
Figura 3.10. Curva características del generador serie	14
Figura 3.11. Conexión del generador compound	15
Figura 3.12. Curva de carga del generador compound	15
Figura 3.13. Curva de características exteriores del generador compound	15
Figura 3.14. división en 180/m del semiciclo asimétrico	19
Figura 3.15. Partes de un Sistema DAQ	20
Figura 3.16. Partes de un Sistema de adquisición de datos	21
Figura 3.17. Fases de adquisición de datos	21
Figura 3.18. Transmisión Simplex	23
Figura 3.19. Transmisión Half-dúplex	23
Figura 3.20. Transmisión Dúplex	24
Figura 3.21. Conexión entre raspberry y Arduino	25
Figura 3.22. Tarjeta Rapsberry Pi	25
Figura 5.1. Diagrama de Diseño y construcción del módulo por etapas	29
Figura 5.2. Circuito para voltaje	30
Figura 5.3. Circuito para corriente	30
Figura 5.4. Señal de corriente, salida del variador de frecuencia	31
Figura 5.5. Cruce por cero de corriente	31
Figura 5.6. Salida del cruce por cero de corriente	31
Figura 5.7. Transformadores 12-24 VAC 1 A 110/220 VAC	32
Figura 5.8. Sensor de Corriente A.C	32
Figura 5.9. AMP-OP LF353P	33
Figura 5.10. Transistor 2N3904	33
Figura 5.11. Circuito divisor de voltaje	34
Figura 5.12. Conexión sensores de corriente	34
Figura 5.13. Sensor de Corriente C.C.	35
Figura 5.14. Circuito de control de frecuencia	36
Figura 5.15. Control de frecuencia: a) señal de entrada, b) señal de salida	36
Figura 5.16. Circuito ON/OFF, al variador de frecuencia	36
Figura 5.17. Diseño del circuito electrónico	37
Figura 5.18. Placa Electrónica en 3D	37
Figura 5.19. Módulo de adquisición y visualización de datos	38
Figura 5.20. Tarjeta Raspberry Pi 3 B+	38
Figura 5.21. Pantalla táctil raspberry	39
Figura 5.22. Arduino Atmega 2560	39
Figura 5.23. Partes del módulo motor-generador DC	40

Figura 5.24. Diagrama bloques del sistema.....	41
Figura 5.25. Diseño de la pantalla principal.....	42
Figura 5.26. Pantalla de parámetros AC.....	43
Figura 5.27. Pantalla de gráficas AC.....	44
Figura 5.28. Pantalla parámetros DC.	45
Figura 5.29. a) Curva de Voltaje L1 b) Curva de corriente L1	45
Figura 5.30. Tipo de onda calculada en la Línea 1	49
Figura 5.31. Comparación onda de voltaje: a) L1 b) L2	50
Figura 5.32. Comparación onda de corriente: L1 b) comparación onda de corriente L2.....	51
Figura 5.33. Tipo de onda calculada fase R 60 Hz.....	51
Figura 5.34. Tipo de onda calculada fase R 20 Hz.....	52
Figura 5.35. Comparación de voltaje: a) Fase R, b) Fase S, c) Fase T a 60 Hz.....	53
Figura 5.36. Comparación de corriente: a) Fase R, b) Fase S, c) Fase T a 60 Hz.....	54
Figura 5.37. Comparación de voltaje: a) Fase R, b) Fase S, c) Fase T a 20 Hz	54
Figura 5.38. Comparación de corriente: a) Fase R, b) Fase S, c) Fase T a 20 Hz.....	55
Figura 5.39. Curva característica: a) Práctica y b) Laboratorio	56
Figura 5.40. Curva de voltaje en los terminales y de generación respecto a la corriente	57
Figura 5.41. Curva de carga: a) Práctica y b) Laboratorio	58
Figura 5.42. Curva de regulación: a) Práctica y b) Laboratorio	59
Figura 5.43. Curva características exteriores: a) Práctica y b) Laboratorio	59
Figura 5.44. Curva de carga: a) Práctica y b) Laboratorio	61
Figura 5.45. Curva características exteriores: a) Práctica y b) Laboratorio	61
Figura 5.46. Curva de voltaje en terminales y generación, Compound	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Sistema de tareas en relación con los objetivos.....	6
Tabla 3.1. Efectos en las cargas.....	16
Tabla 5.1. Especificaciones transformador 12-24 V 1 A 110/220 V.....	32
Tabla 5.2. Especificaciones Sensor de corriente SCT-013.....	32
Tabla 5.3. Características amp-op LF353P	33
Tabla 5.4. Características Transistor 2N3904	33
Tabla 5.5. Características sensor de corriente ACS-712 5 A	35
Tabla 5.6. Especificaciones Raspberry Pi 3 B+.....	38
Tabla 5.7. Especificaciones pantalla táctil raspberry 7”	39
Tabla 5.8. Arduino Atmega 2560	39
Tabla 5.9. Equipos del módulo motor-generador DC	40
Tabla 5.10. Cálculo de Armónicos para Corriente	46
Tabla 5.11. Cálculo de Armónicos para Voltaje	47
Tabla 5.12. Medición de voltaje a la entrada del módulo.....	49
Tabla 5.13. Medición de corriente a la entrada del módulo	49
Tabla 5.14. Mediciones de corriente a la entrada del módulo plena carga.....	50
Tabla 5.15. Medición del sensor de voltaje a 60 Hz en motor	52
Tabla 5.16. Medición del sensor de corriente a 60 Hz en motor	52
Tabla 5.17. Medición del sensor de voltaje a 20 Hz en motor	52
Tabla 5.18. Medición del sensor de corriente a 20 Hz en motor	53
Tabla 5.19. Porcentaje de error de voltaje, generador serie.....	55
Tabla 5.20. Porcentaje de error en sensor de corriente, generador serie	55
Tabla 5.21. Valore curva característica generador serie.....	56
Tabla 5.22. Valores de voltaje en terminales y generación, Serie.....	56
Tabla 5.23. Porcentaje de error en voltaje “Vt”, generador Shunt	57
Tabla 5.24. Porcentaje de error, corriente de carga, generador Shunt.....	57
Tabla 5.25. Porcentaje de error, corriente de excitación, con carga, generador Shunt.....	57
Tabla 5.26. Valores de la curva de carga generador shunt	58
Tabla 5.27. Valores curva de regulación generador shunt.....	58
Tabla 5.28. Valores de la curva características exteriores.....	59
Tabla 5.29. Porcentaje de error en sensor de voltaje “Vt”, generador compound.....	60
Tabla 5.30. Porcentaje de error, corriente de carga, generador compound	60
Tabla 5.31. Porcentaje de error, corriente de excitación, con carga, generador compound	60
Tabla 5.32. Valores de la curva de carga.....	60
Tabla 5.33. Valores de la curva características exteriores.....	61
Tabla 5.34. Valores de comparación de voltajes generador compound	62
Tabla 6.1. Costo del sistema	63
Tabla 6.2. Costos de mejoramiento del módulo	63
Tabla 6.3. Costos directos.....	64
Tabla 6.4. Costos Indirectos	64
Tabla 6.5. Costos Totales	64

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADA

TITULO:

“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS, EN EL MÓDULO MOTOR-GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.”

Autores:

Christian Oswaldo Ocampo Taco

Stalin Alexander Simba Lagla

RESUMEN

La presente propuesta tecnológica se enfocó en la implementación de un sistema que permita adquirir y visualizar en tiempo real los parámetros eléctricos del módulo motor-generador de corriente continua de los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi. El sistema está conformado por transformadores de potencia de corriente (TP y TC), una placa electrónica, tarjeta arduino MEGA, pinzas amperimétricas, transformadores de voltaje, tarjeta raspberry y pantalla Touch, que posibilita la adquisición de datos para medir las variables eléctricas de voltaje y corriente en alterna y directa (AC y DC). Para ello se aplicó el método gráfico para ondas no senoidales, que consistió en dividir el eje X con respecto al eje Y en un número finito de muestras, mediante este proceso se obtuvo la amplitud y el ángulo de desfase con respecto al origen de la onda, para obtener los coeficientes a_n y b_n necesarios para calcular los valores RMS de voltaje y corriente. La plataforma de programación Arduino se utilizó para adquirir las variables eléctricas, y el procesamiento de las señales y la visualización de los parámetros en las etapas (Módulo, Motor trifásico y Generador DC) se realizó a través del software Python. Como resultado final se pudo evidenciar el comportamiento de las ondas y de las variables eléctricas del módulo, obteniendo similitudes en los resultados de cálculo y mediciones realizadas, obteniendo un porcentaje de error relativamente bajo para la validación de la propuesta.

Palabras clave: Python, voltaje, corriente, RMS, procesamiento de señales, TC's, TP's.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

TITLE:

“IMPLEMENTATION OF A SYSTEM OF ACQUISITION AND VISUALIZATION OF THE ELECTRICAL PARAMETERS, IN THE MOTOR-GENERATOR MODULE OF CONTINUOUS CURRENT IN THE LABORATORY OF ELECTRICAL MACHINES OF THE TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI.”

Authors:

Christian Oswaldo Ocampo Taco

Stalin Alexander Simba Lagla

ABSTRACT

This technological proposal focused on the implementation of a system that allows acquiring and visualizing in real time the electrical parameters of the DC motor-generator module of the laboratories of the Technical University of Cotopaxi. The system is comprised of current power transformers (TP and TC), an electronic board, an arduino MEGA card, clamp meters, voltage transformers, a raspberry card and a Touch screen, which allow data acquisition to measure the electrical voltage variables and alternating and direct current (AC and DC). For this, the graphic method for non-sinusoidal waves was applied. It consisted of dividing the X axis with respect to the Y axis into a finite number of samples. Through this process the amplitude and the offset angle with respect to the origin of the wave were obtained in order to obtain the necessary coefficients a_n and b_n to calculate the RMS values of voltage and current. The Arduino programming platform was used to acquire the electrical variables, and the signal processing and the visualization of the parameters in the stages (Module, Three-phase motor and Generator DC) were carried out through Python software. As a final result, the behavior of the waves and the electrical variables of the module could be evidenced, obtaining similarities in the calculation results and measurements made, which resulted in a relatively low error rate for the proposal validation

Keywords: Python, voltage, current, RMS, signal processing, TC's, TP's.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen del proyecto de la propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los señores egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELÉCTRICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS: OCAMPO TACO CHRISTIAN OSWALDO Y SIMBA LAGLA STALIN ALEXANDER**, cuyo título versa **“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS, EN EL MÓDULO MOTOR-GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI”**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, febrero del 2020

Atentamente,

Msc. Fabiola Cando.
DOCENTE DE INGLÉS
C.C. 0502884604



CENTRO
DE IDIOMAS

1. INFORMACIÓN BÁSICA

PROPUESTO POR: Christian Oswaldo Ocampo Taco

Simba Lagla Stalin Alexander

TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y VISUALIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS ELÉCTRICOS, EN EL MÓDULO MOTOR-GENERADOR DE CORRIENTE CONTINUA EN EL LABORATORIO DE MÁQUINAS ELÉCTRICAS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI.

CARRERA: Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia

EQUIPO DE TRABAJO:

Tutor del proyecto de investigación

Nombres: Carlos Francisco
Apellidos: Pacheco Mena
Nacionalidad: Ecuatoriano
Fecha de Nacimiento: 02 de octubre del 1987
Estado civil: Soltero
Numero de cedula: 0503072902
Dirección: Latacunga
E-mail: carlos.pacheco.2902@utc.edu.ec
Teléfono/celular: 0984293945

Estudiante 1

Nombres: Christian Oswaldo
Apellidos: Ocampo Taco
Nacionalidad: Ecuatoriano
Fecha de Nacimiento: 04 de marzo de 1993
Estado civil: Soltero
Numero de cedula: 1721901583
Dirección: Pedro Vicente Maldonado/Barrio San Carlos

E-mail: oswal5516@gmail.com

Teléfono/celular: 0980345737

Estudiante 2

Nombres: Stalin Alexander

Apellidos: Simba Lagla

Nacionalidad: Ecuatoriano

Fecha de Nacimiento: 26 de septiembre de 1994

Estado civil: Soltero

Numero de cedula: 0503498198

Dirección: Latacunga/Eloy Alfaro

E-mail: stalin.simba8@utc.edu.ec

Teléfono/celular: 0994268468

LUGAR DE EJECUCIÓN:

Barrio El Ejido Sector San Felipe, Parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Zona 3, Universidad Técnica de Cotopaxi.

TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA: 6 meses

FECHA DE ENTREGA: Febrero del 2020

LINEA DE INVESTIGACIÓN: Control y optimización en el uso de la energía del sector Industrial, comercial y residencial.

SUB-LINEA DE INVESTIGACIÓN: Control en instalaciones industriales.

TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA: Diseño y construcción de un prototipo de adquisición y visualización de parámetros eléctricos (voltaje y corriente AC-DC) para el módulo motor-generator de corriente continua.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1. Título de la propuesta tecnológica

Implementación de un sistema de adquisición y visualización de los parámetros eléctricos, en el módulo motor-generator de corriente continua en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.2. Tipo de propuesta alcance

Interdisciplinar: El proyecto se considera de carácter interdisciplinario debido a que se involucran asignaturas de formación profesional de la nueva malla curricular, al área de Ingeniería Eléctrica como: maquinas rotativas y SCADA, lo que permitirá el diseño y construcción del sistema de visualización de variables eléctricas.

2.3. Área del conocimiento:

Ingeniería, Industria y Construcción.

2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica:

El presente trabajo tiene como objetivo implementar un sistema que permita adquirir y visualizar en tiempo real los parámetros eléctricos del banco de pruebas motor-generator de corriente continua de los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Los sistemas de adquisición de datos (DAQ) son de suma importancia para prevenir daños en los equipos, ya que a partir de estos se obtiene un historial en tiempo real en diferentes sistemas eléctricos, los cuales ayudan a detectar el momento en el cual se causa un fallo en un sistema eléctrico mediante una base de datos.

Los sensores de corriente y transformadores de potencial (TP's) son cruciales en la adquisición de datos ya que estos son idóneos para reducir el voltaje y corriente convirtiéndoles en señales eléctricas de menor valor, pasando por un circuito de acondicionamiento de señal para ser interpretada por la tarjeta de adquisición de datos a partir de esta tarjeta se realiza el envío de datos mediante un bus de comunicación entre la tarjeta DAQ y el software de control, para luego ser tratada de forma ordenada.

Para ello se utiliza el método gráfico de ondas periódicas no senoidales que consiste en dividir el eje X con respecto al eje Y en un número finito de muestras. Con ello, se puede obtener como resultado la amplitud y el ángulo de desfase con respecto al origen de la onda, con la finalidad de adquirir los coeficientes a_n y b_n para el cálculo de armónicos. Una ventaja de este método es que sustituye las integrales por sumatorias en un número finito de muestras.

Finalmente se visualizó las ondas y valores RMS en un HMI (interfaz hombre-máquina), ratificando los resultados mediante equipos de medición y hojas de cálculo logrando un porcentaje de error en la etapa 1 menor al 5 %, en la etapa 2 errores relativamente bajos en altas frecuencias y altos en bajas frecuencias con respecto a los equipos de medición y en la etapa 3 menor al 5%, esto se debe a la frecuencia de muestreo que la tarjeta arduino MEGA presenta.

2.5. Objeto de estudio y campo de acción

2.5.1. Objeto de estudio

El objetivo principal del presente proyecto es contribuir al mejoramiento del módulo Motor-Generador de Corriente Continua, a través de la elaboración de un sistema que permita adquirir y visualizar los parámetros eléctricos en dicho módulo, el cual se lo realizará mediante sensores y una placa electrónica que permita obtener datos de los parámetros eléctricos que se ingrese a la tarjeta Arduino y raspberry, en el cual se dará el tratamiento debido a la señal, y después estará reflejado en un HMI.

2.5.2. Campo de acción

El desarrollo del sistema permitirá adquirir los parámetros eléctricos del módulo motor-generador de corriente continua y ser visualizados en una pantalla HMI en tiempo real.

2.6. Situación problemática y problema

2.6.1. Situación Problemática

El desarrollo del presente proyecto está enfocado en la implementación de un sistema de adquisición y visualización de datos, mediante el diseño de una placa electrónica y el uso de la tarjeta Arduino y raspberry, los cuales tendrán acceso permanente a los parámetros eléctricos del módulo motor-generador de Corriente Continua en tiempo real.

Actualmente existen muchos sistemas que monitorean las variables eléctricas en tiempo real y conforme avanza la tecnología estos sistemas se emplean en varios sitios que requieran el monitoreo de variables de manera sencilla es por eso que se implementara un sistema de adquisición y visualización de las variables eléctricas en el módulo didáctico Motor-Generador de Corriente Continua que sea flexible para que se pueda visualizar de manera accesible las variables eléctricas, mediante el uso de una pantalla Touch raspberry, para el desarrollo de prácticas demostrativas en el laboratorio de máquinas eléctricas y la optimización del módulo Motor – Generador corriente continua.

La utilidad del proyecto estaría destinada en la visualización práctica de los elementos análogos del módulo en un sistema virtual, para los estudiantes, que les permita efectuar las prácticas en el módulo, además de conocer el comportamiento del módulo en diferentes tipos de conexión.

2.6.2. Formulación del Problema

El problema de la investigación consiste en la adquisición y visualización de los parámetros eléctricos que se produce en el módulo de Motor-Generador de corriente continua al realizar variaciones de carga, mediante la utilización de un sistema de adquisición y visualización de variables eléctricas, que servirá para un desarrollo correcto de prácticas demostrativas en el laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

2.7. Hipótesis

El diseño de un sistema de visualización y adquisición de datos, a través del uso de una tarjeta arduino, raspberry y placa electrónica, permitirá visualizar las variables eléctricas voltaje y corriente AC-DC, en una pantalla Touch raspberry.

2.8. Objetivos

2.8.1. Objetivo General

Implementar un sistema de adquisición y visualización de datos, mediante el uso del software Python, que permita la visualización de las variables eléctricas (voltaje y corriente AC – DC) en el módulo Motor-Generador de Corriente Continua en tiempo real.

2.8.2. Objetivos Específicos

- Recopilar información técnica, que permita realizar el diseño del sistema de adquisición y visualización de datos
- Diseñar la placa electrónica que permita adquirir y acondicionar las señales eléctricas del sistema.
- Implementar un sistema que permita adquirir y visualizar los parámetros eléctricos del módulo Motor-Generador de corriente continua.

2.9. Sistema de tareas en relación a los objetivos

Tabla 2.1. Sistema de tareas en relación con los objetivos.

Objetivo	Actividad	Resultado	Verificación
Recopilar información técnica, que permita realizar el diseño del sistema de adquisición y visualización de datos.	Recopilación de la información referente al tema, tesis, libros, revistas y normativas.	Fundamentación técnica para el desarrollo del proyecto.	Bibliografía adquirida.
Diseñar la placa electrónica que permitan adquirir y acondicionar las señales eléctricas para el sistema.	Simulación de circuitos electrónicos para la adquisición de datos. Comprobación el funcionamiento de los circuitos simulados. Armado de la placa electrónica.	Adquisición de las variables eléctricas alternas y continuas del módulo. Comprobación de los cruces por cero a la salida del variador de frecuencia.	Funcionamiento de la placa electrónica, conjuntamente con la tarjeta arduino y rapsberry para la de adquisición y visualización de datos.
Implementar un sistema que permita adquirir y visualizar los parámetros eléctricos del módulo Motor-Generador de corriente continua.	Adquisición de variables eléctricas mediante el uso de la tarjeta Arduino MEGA. Diseño y programación de la interfaz gráfica en el software Python. Diseño de la estructura para el montaje de los	Visualización de las ondas de voltaje y corriente en alterna y continua en una pantalla HMI. Comparación de datos mediante el cálculo de porcentaje de error. Comparación de ondas a través de quipos de medición	Visualización de las ondas y variables eléctricas en la pantalla HMI. Registro de datos en Excel de las variables eléctricas.

	<p>elementos de visualización y adquisición de datos.</p> <p>Realización de guía de prácticas demostrativas para los estudiantes.</p> <p>Desarrollo de pruebas para la validación de resultados.</p>	<p>gráfica (osciloscopio).</p>	
--	--	--------------------------------	--

3. MARCO TEÓRICO-CONTEXTUAL

3.1. Marco Contextual

En la ciudad de Latacunga provincia de Cotopaxi en la Universidad Técnica de Cotopaxi existe un módulo Motor-Generador de Corriente Continua el mismo se constituye de equipos como: variador de frecuencia, tacómetro, equipos de medición eléctrica continua, motor trifásico y generador de corriente continua, estos dos últimos equipos se acoplan entre sí, por lo cual este módulo carece de un sistema que adquiera y visualice los parámetros eléctricos en un HMI.

Los generadores de corriente continua son máquinas que convierten la energía mecánica en eléctrica, estas máquinas tienen la ventaja de una fácil operación y control. Este al ser parte fundamental del módulo, tiene una gran importancia en la adquisición de datos lo que permitirá el monitoreo en tiempo real de las variables eléctricas.

La adquisición de datos son una parte importante de las máquinas eléctricas en este caso del módulo Motor-Generador de Corriente Continua para lo cual es necesario identificar los principales métodos de adquisición de los datos o variables eléctricas para lo cual se procede a la investigación de antecedentes relacionados con el tema de adquisición de variables eléctricas en generadores de corriente continua.

En su investigación Rangel [1] en el año 2016 destaca que: la adquisición, control y monitoreo de parámetros eléctricos y velocidad un motor trifásico mediante instrumentos virtuales los cuales ayudan a prescindir de algunos elementos físicos utilizados para el control tales como

pulsadores, lámparas de señalización temporizadores. Para el desarrollo del instrumento virtual es necesario contar con una tarjeta de adquisición de datos, un circuito electrónico de potencia y una pantalla HMI, la aplicación que permite el control, adquisición y medición de datos es Labview.

Para [2] en su investigación: la adquisición de datos en un panel fotovoltaico usando una tarjeta arduino y el software Labview, este sistema SCADA proveerá información que se funda en el proceso de generación de energía fotovoltaica en este caso se monitorea el comportamiento del voltaje en una celda fotovoltaica y crear un historial en un documento.xls para lograr constatar el comportamiento de la celda fotovoltaica.

Chacón, argumenta que el control de una planta generadora de energía juega un papel fundamental ya que por medio de dichos sistemas se realiza un monitoreo completo de las variables involucradas en tiempo real, así mismo pudiendo brindar protección a los equipos y al personal técnico. Un SCADA es un sistema de varios computadores que supervisan y controlan a distancia una instalación controladora, por tal motivo se hace necesario que el ingeniero eléctrico deba familiarizarse en el campo de los sistemas SCADA [7].

Hay que tener en cuenta que Pérez y Rodríguez [3] refieren a la implementación de un sistema de adquisición de datos para monitorear las variables mecánicas y eléctricas en una máquina de corriente directa que mediante transductores adecuados se captura las señales de tensión, corriente, par y velocidad, con el fin de ser enviadas a un computador personal, para observar su comportamiento y relación entre sí, ante los diversos estados de operación de la máquina.

En su investigación Pérez en el año 2 011 describe que el monitoreo y adquisición de datos de un motor de corriente continua mediante la Tarjeta NI DAQ-9172 el cual cuenta con cuatro módulos de diferentes modelos para la programación de entradas y salidas, también tiene la gran ventaja de que esta tarjeta puede mezclar señales analógicas y digitales este es un equipo compatible con el software LabView. Este software es utilizado principalmente para adquirir y analizar datos, comunicación y control de procesos e instrumentos [4].

Como plantea López y Mora [5], argumentan que las redes industriales y protocolos de comunicación están íntimamente relacionados ya que son indispensables para realizar un enlace entre distintas etapas que conforman el proceso. El protocolo de comunicación es el intercambio de datos de distintos dispositivos que conforman una red.

En el año 2 018, Chacón y Velasco mencionan que la adquisición de datos (DAQ) es el grupo de equipamiento, dispositivos y programas que al ser usados adecuadamente por ingenieros o

técnicos pueden dar soluciones de medición, conversión, y registro de variables físicas en proceso, para su posterior transmisión, evaluación y control [6].

Hay que tener presente que, Martínez, Contreras y Rossette definen que el OPC es un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de procesos industriales, basado en una tecnología Microsoft, que ofrece una interfaz común para comunicación que permite que componentes de software individuales interactúen y compartan datos [8].

De acuerdo con Hernández [10] en el año 2014 expresan que los procesos de modernización en los sistemas de automatización, normalmente involucran la necesidad de la adquisición de información del proceso como son la adquisición de señales analógicas y digitales, y de las diversas informaciones necesarias que se desean adquirir de aplicaciones SCADA. Estos sistemas comunican el software con el hardware mediante un estándar de categoría industrial OPC que es una tecnología a nivel industrial para el desarrollo de aplicaciones en software.

En el año 2016, Magos y Lara [11] en su investigación argumentan que una capacitación adecuada en la programación de Controladores Lógicos Programables implica contar con equipos que permitan simular procesos industriales. La versatilidad que tengan estos simuladores permitirá ilustrar la mayor parte de las funciones que los controladores poseen.

3.2. Marco Teórico

3.2.1. Motores Trifásicos

Se definen como motores que cuentan con un bobinado inductor que es colocado en el estator y se forma por tres bobinados cada uno independiente que se desplazan 120° eléctricos cada uno y se alimentan por un sistema o circuito trifásico de corriente alterna, se los puede encontrar de dos tipos de rotor: jaula de ardilla y bobinado. Todo bobinado trifásico se puede conectar en estrella o en triángulo [12].

En la conexión estrella la corriente que recorre en cada fase concuerda con la corriente de línea, en tanto el voltaje que se aplica en cada fase será $\sqrt{3}$ menor que el voltaje de línea. En la conexión triángulo la corriente que recorre cada fase es $\sqrt{3}$ menor que la corriente de línea, en tanto el voltaje que queda sometido en cada fase será igual al voltaje de línea.

3.2.2. Generadores de Corriente continúa

Si una armadura gira entre dos polos magnéticos fijos, la corriente en la armadura circula en un sentido durante la mitad de cada revolución, y en el otro sentido durante la otra mitad. Para producir el flujo constante de corriente para un sentido, en un aparato determinado, es necesario

disponer de un medio para invertir el flujo de corriente fuera del generador una vez durante cada revolución [13].

- Formas de Excitación de un generador de corriente continua

El método de excitación o de alimentar el bobinado inducido de los generadores de corriente continua, da como origen a una clasificación de los mismos, de esta manera se tiene que los generadores de continua pueden ser de excitación independiente o separada y de excitación propia o auto excitados [14].

3.2.3. Generadores con excitación independiente

Pueden ser generadores excitados por fuentes de corriente continua externa o por imanes permanentes (ejemplo, mega óhmetros de manivela o de bicicletas). Estos generadores son más sencillos de estudiar porque en ellos la corriente de excitación I_p no depende de la tensión inducida E_a por el propio generador, ya que la corriente de campo I_p de estas máquinas es proporcionada por una fuente externa, la corriente de armadura I_a es igual a la corriente de carga I_q [14]. En la figura 3.1, se muestra el circuito equivalente:

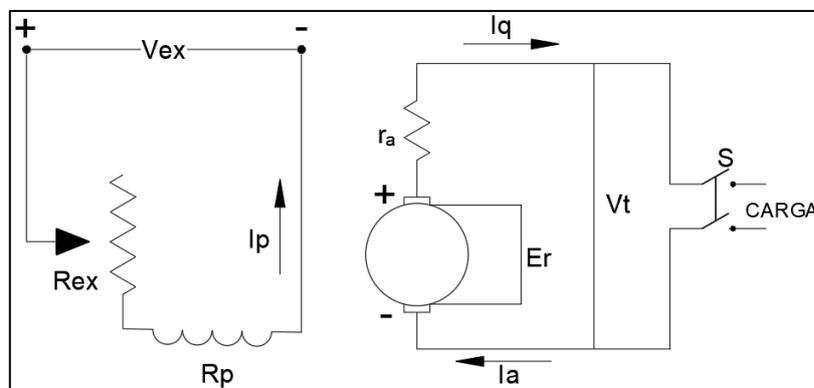


Figura 3.1. Generador con excitación independiente

Fuente: [14]

3.2.4. Generadores autoexcitados

Se dividen, dependiendo al tipo de conexión de los enrollamientos de excitación, en generador shunt o paralelo, generador serie y generador compound o mixto.

3.2.4.1. Generadores Shunt

En la figura 3.2, Se muestra el circuito de un generador con excitación shunt y se encuentran principalmente cuando se requiere de un voltaje de carga constante y un incremento de la corriente de carga, debido a que se conectan en paralelo los devanados se tiene que el voltaje de campo y de los terminales serán iguales. Cuando no existe carga la corriente de armadura I_a

y la corriente de campo I_p serán iguales, cuando se encuentra con carga la corriente de armadura I_a suministra corriente de carga I_q y corriente de campo I_p .

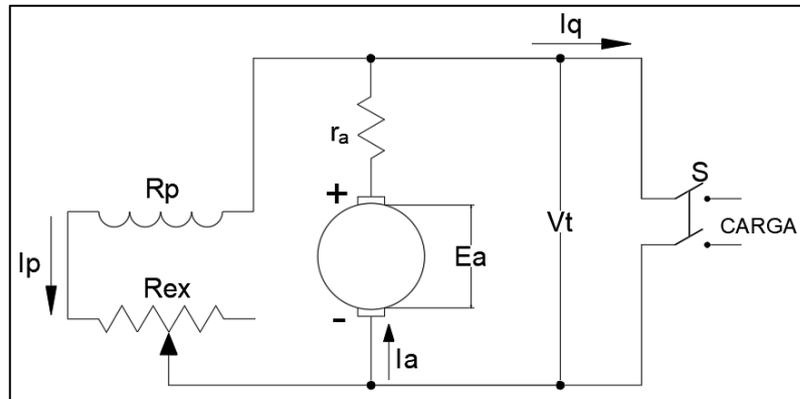


Figura 3.2. Generador shunt
Fuente: [14]

3.2.4.2. Generadores Serie

En la figura 3.3, se observa el esquema de un generador en serie, donde el devanado de campo se conecta en serie con el devanado de armadura, de forma que la corriente generada a la carga fluirá igual por ambos devanados. Dado que la corriente que atraviesa el devanado de campo es muy alta, este devanado se constituye por pocas espiras con hilo conductor de gran sección, para que la f.e.m. necesaria produzca el campo principal y se consiga altas corrientes con pocas espiras, lo cual se cumple que todas las corrientes son iguales:

$$I_a = I_{ex} = I_q = I \quad (3.1)$$

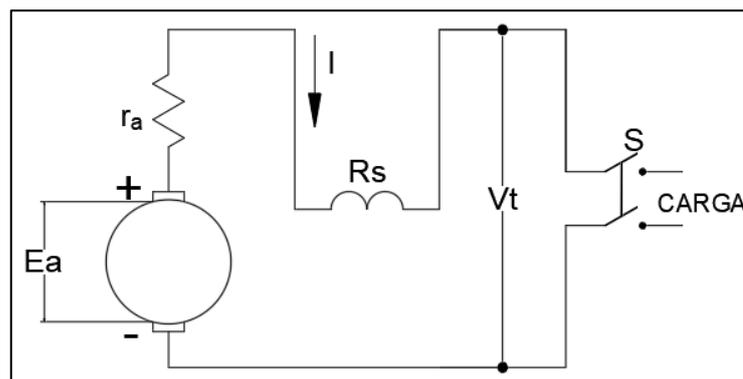


Figura 3.3. Generador en serie
Fuente: [14]

3.2.4.3. Generador Compound

En la figura 3.4, se indica la conexión del generador compound, tiene la propiedad de trabajar a un voltaje constante, debido a que el enrollamiento shunt la corriente de excitación I_p tiende

a disminuir al aumentar la carga I_q , mientras que el enrollamiento en serie, la corriente de excitación I_p tiende a aumentar la corriente de carga I_q .

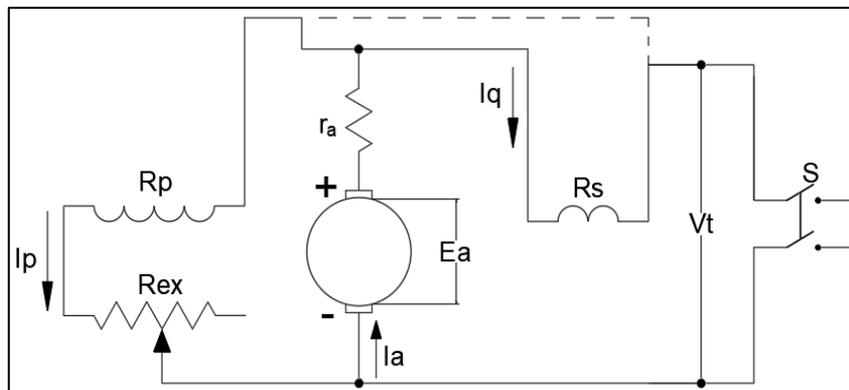


Figura 3.4. Generador compound
Fuente: [14]

Entre ambas conexiones no existe ninguna diferencia debido a que la resistencia del enrollamiento serie y correspondiente a la caída de tensión en sus bornes son muy pequeñas. Los enrollamientos de excitación se pueden conectar en un mismo sentido, es decir, que sus f.m.m.s. se sumen.

3.2.5. Curvas Características de los generadores DC

Las propiedades de los generadores se analizan mediante las características de la dependencia de las magnitudes principales del funcionamiento del generador, los cuales son:

- Tensión en los terminales del generador V_t .
- Corriente de excitación I_{ex} .
- Corriente de armadura I_a .
- Velocidad de rotación ω .

Puesto que los generadores funcionan a velocidad constante, el grupo de características fundamental se obtiene para ω constante. Estas características principales son:

- La curva de carga $V_t - I_{ex}$, para I_q constante.
- La curva de características exteriores $V_t - I_q$, para I_{ex} constante.
- La curva de regulación $I_{ex} - I_q$, para V_t constante.

3.2.5.1. Curvas características de un generador shunt

En la figura 3.5, se indica el diagrama de conexión del generador shunt para la realización de las respectivas pruebas.

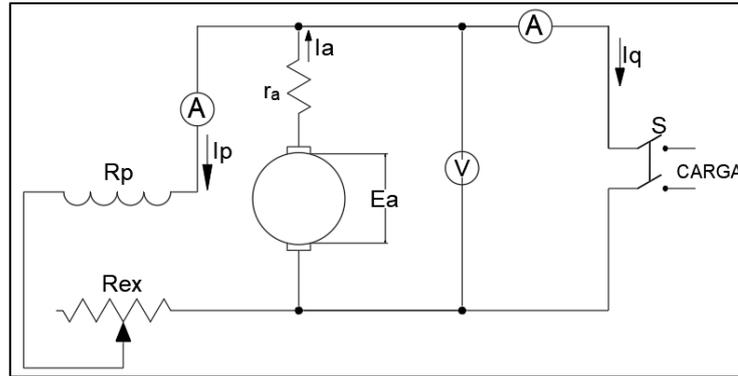


Figura 3.5. Conexión generador shunt
Fuente: [14]

- Curva de carga ($I_q = cte$)

En la figura 3.6, se indica la forma de curva que se logra en laboratorio. Esta última ecuación se muestra en forma de recta, que, al compararla a la conexión de excitación independiente, la conexión shunt se encontrara más abajo, debido a que tiene menor pendiente.

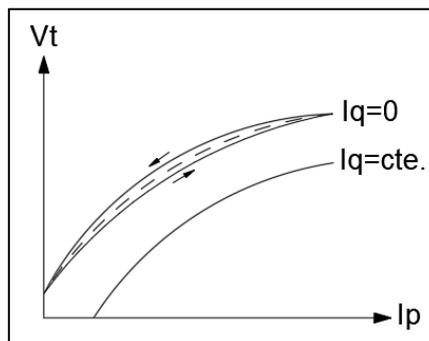


Figura 3.6. Curvas de carga generador shunt
Fuente: [14]

- Curva característica exterior ($I_p = cte$)

La ecuación de la recta que se encuentra a debajo de la curva del generador de excitación independiente, tendrá una pendiente que será más negativa, indicada en la figura 3.7.

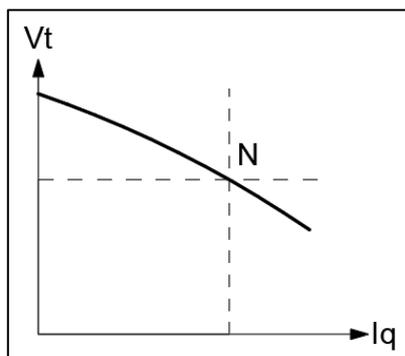


Figura 3.7. Curva características exteriores generador shunt
Fuente: [14]

- Curva de Regulación ($V_t = cte$)

Este tipo de curva para un generador shunt se indica en la figura 3.8, dicha expresión se logra empleando la corriente de excitación I_q , en la pendiente de la recta, que será mayor a la del generador de excitación independiente [14].

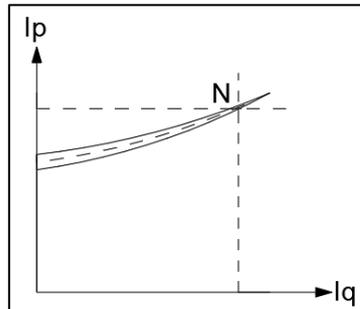


Figura 3.8. Curva de regulación del generador shunt
Fuente: [14]

3.2.5.2. Curvas características de un generador con excitación serie

En la figura 3.9, se muestra los elementos y conexión del circuito de generador serie, la única prueba que se realiza en esta conexión es la de características de exteriores, aunque la corriente de excitación no sea constante [14].

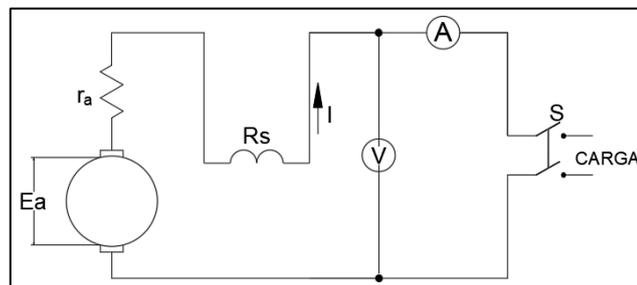


Figura 3.9. Curvas características de un generador con excitación serie
Fuente: [14]

Para esta conexión se cumple, por la ley de las tensiones, la ecuación de una recta con una pendiente positiva. En la figura 3.10, se indica la forma de la curva de $V_t - I$.

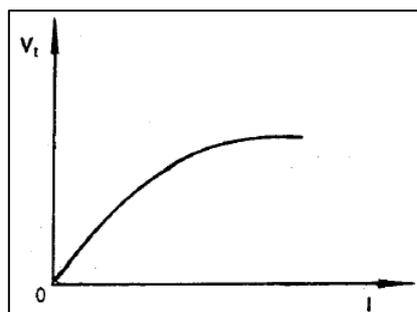


Figura 3.10. Curva características del generador serie
Fuente: [14]

3.2.5.3. Curvas características de un generador con excitación compuesta

Como indica la figura 3.11, se distinguen las curvas características del generador compound.

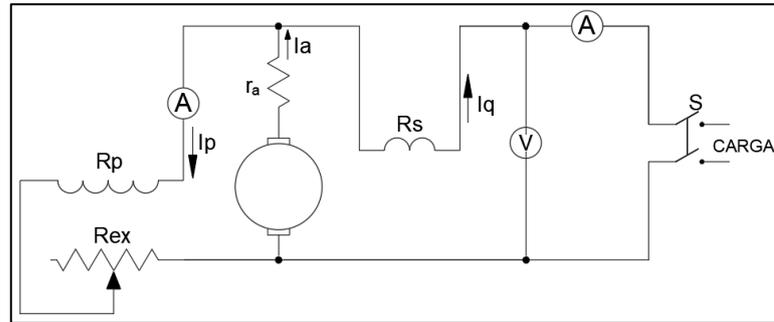


Figura 3.11. Conexión del generador compound
Fuente: [14]

- Curva de carga ($I_q = cte$)

En la figura 3.12, se indica la curva de carga del generador compound, donde si el enrollamiento serie es fuerte estas curvas pueden situarse por encima de la curva de vacío.

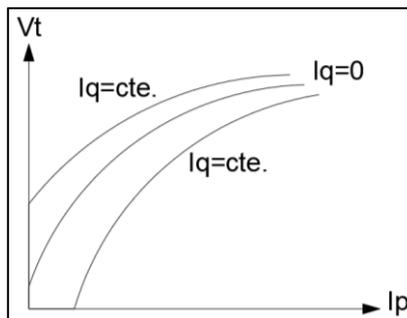


Figura 3.12. Curva de carga del generador compound
Fuente: [14]

- Curva de características exteriores ($I_p = cte$)

En la figura 3.13, se observa la curva características exteriores del generador compound, la cual no tiene mucha diferencia a la curva del generador shunt.

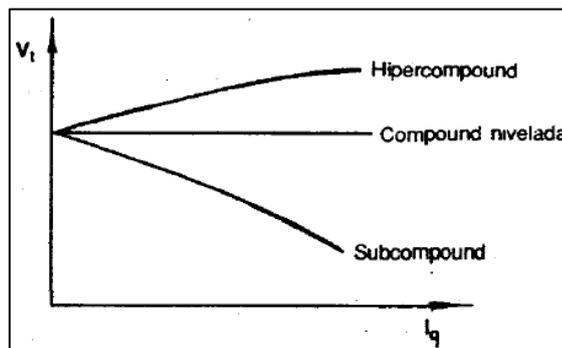


Figura 3.13. Curva de características exteriores del generador compound
Fuente: [14]

Para lograr tener una tensión estable en los terminales receptores de energía eléctrica, será necesario compensar dicha caída de tensión en las líneas de transmisión.

- Se deberá amplificar el enrollamiento serie, de forma que la curva característica exteriores tenga una forma de la curva superior representada en la Figura 3.13 13 [14].
- Cuando al conectar los enrollamientos de excitación en oposición, la curva característica exteriores será del mismo modo que el generador shunt, como se muestra en la curva inferior de la figura 13 [14].

3.2.6. Módulo motor-generator de corriente continua

El módulo de pruebas tendrá la capacidad de representar los eventos y fenómenos eléctricos que se dan en los generadores D.C. Este es un módulo didáctico que cuenta con equipos básicos de medición en corriente continua y con máquinas eléctricas de fácil adquisición. La implementación de este banco de pruebas permitirá conocer cada uno de los elementos que conforman una máquina de Corriente Continua, y servirá principalmente en el proceso de enseñanza-aprendizaje a los estudiantes de ingeniería eléctrica [15].

3.2.7. Cargas Lineales y No Lineales

Al aplicarse un voltaje sinusoidal directo a cargas tales como una resistencia, inductancias, capacitores o la combinación de los mismos, se origina una corriente proporcional que será una sinusoidal, de tal manera se les denomina cargas lineales. La curva características voltaje-corriente de la carga definirá si este es o no lineal en su comportamiento, no se debe pensar que la mayoría de equipos que tienen semiconductores son no lineales, en la tabla 3.1, se indica las diferencias entre carga lineal o no lineales [16].

Tabla 3.1. Efectos en las cargas

Cargas Lineales	Cargas no Lineales
- La corriente de carga es completamente igual al voltaje	- La corriente de carga no es igual al voltaje
- El voltaje y corriente de alimentación serán sinusoidales	- El voltaje de alimentación será sinusoidal en cambio la corriente no será sinusoidal
- Las ondas de voltaje y corriente no se verán afectadas entre sí	- Las ondas de voltaje se distorsionan debido a las ondas de corriente

3.2.8. Armónicos

Los armónicos implican que la forma que tome la onda de voltaje o corriente no será una senoidal pura, es decir, que la señal que resulte será por consecuencia de una o varias ondas de armónicos sobrepuestas en la onda fundamental. Los armónicos se dividen en dos tipos, los impares que los encontramos en instalaciones industriales, comerciales y eléctricas y por otro lado los de orden par que se dan cuando haya simetría en la señal debido por la componente continua [17].

3.2.9. Teorema de Fourier

El cálculo matemático para determinar el contenido de armónicos de una onda no senoidal es el teorema de Fourier donde explica que si se tiene un intervalo de una función $y=f$ unívoca, finita y continua o tiene un número finito de discontinuidades, se puede decir que esa función puede representarse por una del tipo:

$$y = f(x) = b_0 + \sum_{n=1}^{n=\infty} a_n \text{ sen } nx + \sum_{n=1}^{n=\infty} b_n \text{ cos } nx \quad (3.2)$$

Las limitaciones establecidas mediante la serie de Fourier, para cualquier función $f(x)$ son:

- La función debe ser unívoca, cada valor de variable independiente “x” debe existir una sola variable dependiente “y”.
- La función debe ser finita en cualquier intervalo.
- La función debe tener un número finito de discontinuidades.

El número de elementos senoidales que se manipularan se pueden reducir a la mitad combinando las variables de coseno y seno de cada frecuencia en uno solo senoidal que deberá poseer un ángulo de fase inicial apropiado [18].

- Método analítico de armónicos

El estudio de una onda no senoidal con componentes armónicos según la serie de Fourier es determinar los coeficientes $b_0, a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, b_2, \dots, b_n$ mostrada en la ecuación 2, pueden expresarse con las siguientes ecuaciones:

$$c_0 = b_0; \quad c_n = \sqrt{a^2 + b^2}; \quad \theta_n = \frac{b_n}{a_n}$$

- a) Determinación del término de frecuencia cero “ b_0 ”

La integral de una función senoidal y cosenoidal con límites que comprenden un ciclo, es nula, el valor de b_0 se hallara multiplicando la ecuación 3.2 por “dx” e integrando los limites 0 y 2π :

$$b_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) dx \quad (3.3)$$

b) Determinación de los coeficientes a_n en términos senoidales

Si se evalúa los coeficientes a_n de la ecuación 2 multiplicando esta por “sen (mx) dx” en integrándola entre los límites 0 y 2π :

$$\int_0^{2\pi} f(x) \text{sen}(mx) dx = b_0 \int_0^{2\pi} \text{sen}(mx) dx + \sum_{n=1}^{n=\infty} a_n \int_0^{2\pi} \text{sen}(nx) \text{sen}(mx) dx + \sum_{n=1}^{n=\infty} b_n \int_0^{2\pi} \text{cos}(nx) \text{sen}(mx) dx \quad (3.4)$$

Para este caso si $n=m$ como para $n \neq m$ la integral será nula:

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \text{sen}(nx) dx \quad (3.5)$$

c) Determinación de los coeficientes b_n en términos senoidales

Si se evalúa los coeficientes a_n de la ecuación 2 multiplicando esta por “sen(mx) dx” en integrándola entre los límites 0 y 2π :

$$\int_0^{2\pi} f(x) \text{cos}(mx) dx = b_0 \int_0^{2\pi} \text{cos}(mx) dx + \sum_{n=1}^{n=\infty} a_n \int_0^{2\pi} \text{sen}(nx) \text{cos}(mx) dx + \sum_{n=1}^{n=\infty} b_n \int_0^{2\pi} \text{cos}(nx) \text{cos}(mx) dx \quad (3.6)$$

Sustituyendo en la ecuación 4, para $n=m$ la integral resultara:

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \text{cos}(nx) dx \quad (3.7)$$

- Método gráfico de ondas no senoidales de Fourier

En ocasiones una función periódica de una serie de Fourier que se desea obtener no puede expresarse analíticamente, por lo que este tipo de ondas no senoidales se pueden obtener mediante oscilogramas dichos valores numéricos de la función en distintos instantes del periodo de la onda. Cuando no se dispone de la expresión $f(x)$ resulta muy difícil aplicar las ecuaciones de los coeficientes b_0 , a_n y b_n , por lo cual se suele realizar registros oscilográficos en circuitos y máquinas que generan ondas no lineales, para su posterior análisis, que nos permitan sustituir las integrales por sumatorias de número finito de términos [18].

En términos generales una integral definida muestra el área encerrada de una curva $f(x)$ y el eje de las abscisas, de los límites de integración, para determinar los coeficientes de la serie de Fourier subdividiremos la onda en un número de espacios verticales iguales, midiendo la ordenada media de cada una y aplicarles dos ecuaciones que suman las ordenadas medias y sus correspondientes funciones seno y coseno.

El trazado de una gran cantidad de ordenadas en el método gráfico se lo realizara ordenadamente y tabulando con claridad los valores de la componente fundamental y los armónicos, para que el resultado tenga una gran exactitud, aunque simple pero extenso. Si dicha onda no senoidal posee simetría con semiciclos positivos y negativos iguales, se analizará solo un ciclo y se calcularan para la fundamental y los armónicos impares. En la figura 3.14 se visualiza un semiciclo positivo de onda asimétrica dividida en “m” columnas verticales a intervalos de 180° grados eléctricos en el eje “x”.

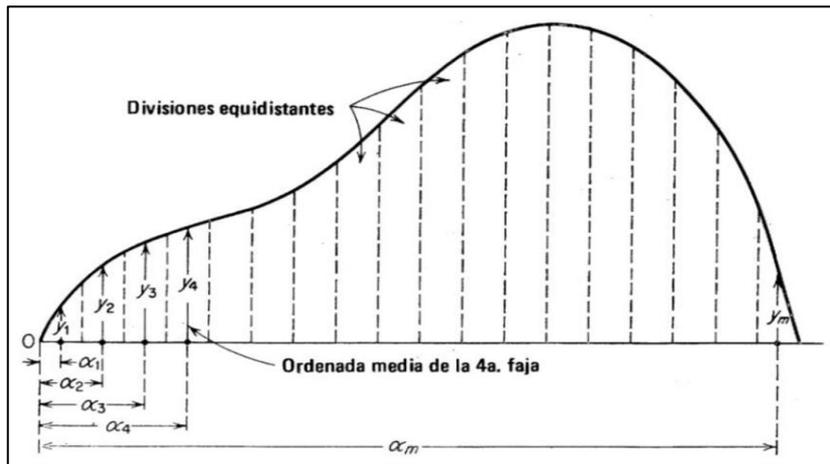


Figura 3.14. división en 180/m del semiciclo asimétrico
Fuente: [18]

Como se observa las ordenas promedio de cada sección sucesiva tiene valores $y_1, y_2, y_3, \dots, y_m$ y ángulos $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_m$, para determinar los coeficientes para la variable fundamental se lo realizara por medio de las siguientes relaciones simplificadas:

$$a_1 = \frac{2}{m} \sum (y \text{ sen}(\alpha)) \quad b_1 = \frac{2}{m} \sum (y \text{ cos}(\alpha)) \quad (3.8)$$

En general, para la armónica n será:

$$a_n = \frac{2}{m} \sum (y \text{ sen}(n \alpha)) \quad b_n = \frac{2}{m} \sum (y \text{ cos}(n \alpha)) \quad (3.9)$$

- Voltajes y Corrientes armónicas

Para mediciones armónicas, se debe considerar al sistema eléctrico en estado estacionario. Sin embargo, para efecto de análisis de disturbios, también se considerará los efectos dinámicos productos de maniobra de red, para el cálculo de voltaje y corriente en cada una de las líneas y fases se consideran las siguientes ecuaciones:

$$V_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} * \int_0^T v^2 dt} \quad (3.10)$$

$$I_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{T} * \int_0^T i^2 dt} \quad (3.11)$$

3.2.10. Transductores de medición

Son aquellos dispositivos de una cadena de medición que transforman o convierten cualquier magnitud física (voltaje, humedad, corriente, temperatura, presión, potencia) en una señal eléctrica que normalmente se convierten en una señal normalizada, para que equipos como DAQ's puedan interpretarlos, la medición de estas magnitudes se lo realiza empleando sensores, ver figura 3.15:

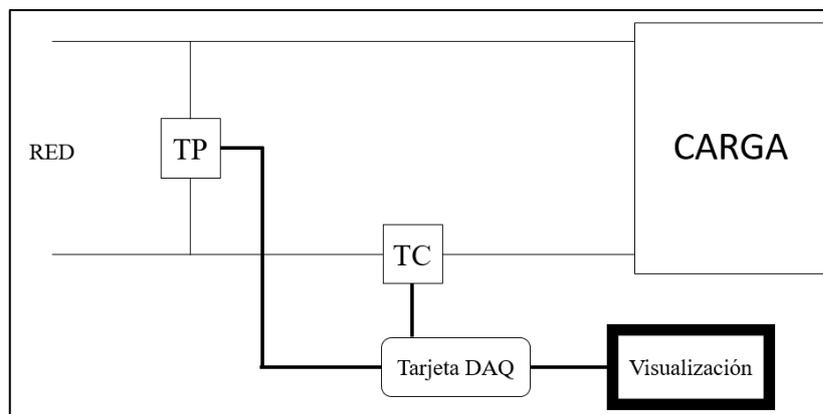


Figura 3.15. Partes de un Sistema DAQ

- Transductores de corriente

Se utilizan cuando la corriente alterna en un circuito es demasiado alta para detectarla directamente, realizando una conversión de la corriente del primario en una corriente reducida normalizada en el secundario, para que pueda ser procesada por una DAQ. Estos sensores pueden ser: pinzas de efecto hall y TC's

- Transductor de voltaje

Se emplean para convertir tensiones de onda alterna, realizando una medición de la tensión en paralelo, en señales normalizadas, para que pueda ser procesada por una DAQ para luego visualizar en un sistema. Estos transductores pueden ser: TP's y sensores de voltaje.

3.2.11. Sistemas de Adquisición de Datos (SAD)

Es la adquisición y acondicionamiento de señales, que mide el proceso de un fenómeno eléctrico o físico del mundo real, este es un requisito previo para el proceso correcto de señales eléctricas de los sensores y de mejorar la calidad de envío de datos, su principal función es controlar o registrar una o varias variables de cualquier proceso, el cual debe tener una

estructura y organización muy equilibrada que le permita tener un óptimo funcionamiento, de aquí dependerá que el mismo rinda al máximo y sin errores, ver figura 3.16 [20].



Figura 3.16. Partes de un Sistema de adquisición de datos

Fuente: [20]

- Tarjetas DAQ (tarjetas de adquisición de datos)

Son un grupo electrónico que tiene la finalidad de realizar control y registro de una o varias variables de cualquier proceso, la cual debe tener una estructura asentada que permita un óptimo funcionamiento, lo que dependerá que el mismo rinda sin fallos y sin ningún defecto.

Las tarjetas de adquisición de datos actúan como una interfaz entre la computadora y las variables físicas, es decir, la información que se recauda por los sensores pasa por estas tarjetas, las cuales se encargan de modificar las señales reales a códigos digitales, con la finalidad que los computadores comprendan estas señales analógicas.

3.2.12. Etapas de adquisición de datos

En la figura 3.17 se indica las etapas de adquisición de datos que debe seguir una señal física para ser interpretada por un computador:

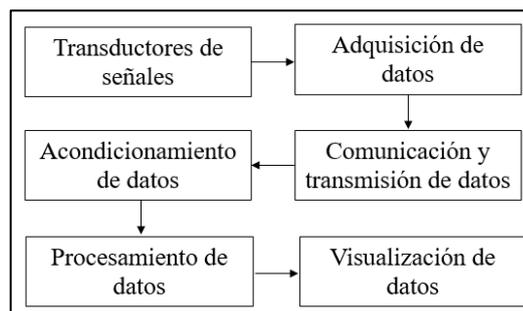


Figura 3.17. Fases de adquisición de datos

Fuente: [19]

- **Etapa de transductores:** estos dispositivos convierten variables físicas de (presión, temperatura, luz) en variables eléctricas de voltaje y corriente.
- **Etapa de adquisición:** realiza la transformación de la información analógica a formatos digitales, siendo posible un procesamiento y almacenamiento en un computador.

- **Etapa de transmisión:** permiten enviar variables de salida de una a otra etapa puesta en una localización remota. En distancias largas, se emplea bucles de corriente de 4 – 20 Ma y voltajes de 0 – 5 o 0 – 10 V para el envío de las variables de un lugar a otro.
- **Etapa de acondicionamiento:** Tiene circuitos electrónicos que se encargaran de convertir las variables censadas en nuevas variables eléctricas, de tal manera que sea fácil tratar cada una de las fases del sistema, filtrando los ruidos y ajustando los intervalos del convertidor A/D.
- **Etapa de procesamiento:** consiste en realizar operaciones en la información digital obtenida: resolución de control del sistema, información sobre situaciones de alarma, creación de una base y almacenamiento de datos, corrección de medidas.

3.2.13. Componentes para una correcta medición

- Acondicionamiento de la señal

Es un proceso para adquirir datos que se llevan a cabo mediante un circuito de acondicionamiento de señales. Este instrumento convierte las señales eléctricas o mecánicas en otro tipo de señal de salida, el objetivo principal se basa en amplificar la señal de entrada y convertirla a otro formato fácil de leer y compatible, teniendo un mejoramiento de las señales.

- Convertidor Analógico Digital (ADC)

Cada señal analógica obtenida por los sensores deberá pasar por convertidores A/D que establecen una relación bidireccional entre el valor de la señal de entrada y la señal obtenida a la salida, antes de que estas señales pasen a ser manipuladas por equipos digitales electrónicos. En la práctica estas señales varían en el tiempo y efectúan muestras periódicas en una razón definida y se transfieren mediante un bus de datos, donde la señal original se procesa para luego visualizarse en un software.

- Bus de la PC

Cada señal obtenida por el convertidor analógico-digital para por una serie de cables que transportan datos a una memoria de unidad central de procesamiento. Para ello se tiene una tarjeta DAQ que actúa como interfaz entre la PC y las señales eléctricas o mecánicas.

- PC y Software

Una computadora con software programable controla la operación del dispositivo DAQ y se usa para visualizar, procesar y almacenar datos de medida. Una PC se utilizan en los

laboratorios por su alto procesamiento de variables en tiempo real, como en la industria o plantas de producción.

3.2.14. Tipos de transmisión de datos

Muchos sistemas de comunicación se clasifican de acuerdo a su modo transmisión, tomando en cuenta el número de líneas de transmisión de acuerdo a la dirección y el instante que ocurre el flujo de información de esta manera se tiene 3 modos posibles:

- **SIMPLEX**

Es tipo de transmisión solo es posible en un solo sentido (unidireccional), aquel donde una estación siempre actúa como emisor y la otra siempre como receptora, ver figura 3.18. Es el más sencillo y menos costoso. Normalmente este tipo de transmisión no se utiliza en sistemas donde requieran interacción humano-maquina.

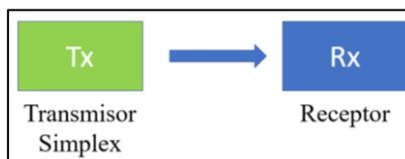


Figura 3.18. Transmisión Simplex
Fuente: [24]

- **HALF DÚPLEX**

Permite realizar la transmisión de datos en ambos sentidos de manera alterna, es decir el envío de información es bidireccional pero no simultánea. Con este tipo de conexión, cada extremo de la conexión transmitirá uno después del otro, haciendo posible tener una comunicación bidireccional utilizando la capacidad total de la línea, ver figura 3.20.

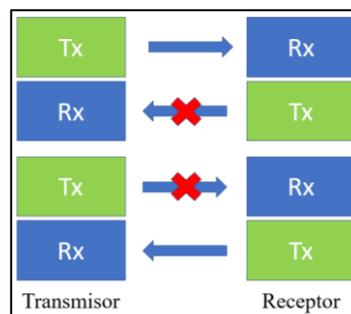


Figura 3.19. Transmisión Half-dúplex
Fuente: [24]

- **DÚPLEX**

En este modo existe dos líneas de comunicación, una ocupada para transmitir y otra para recibir información, realizando estas dos operaciones simultáneamente en el mismo canal, este tipo de

trabajo es más eficiente, ver figura 3.20, la mayoría de sistemas y redes de comunicación funcionan en modo dúplex realizando envíos y recepción de datos simultáneamente.

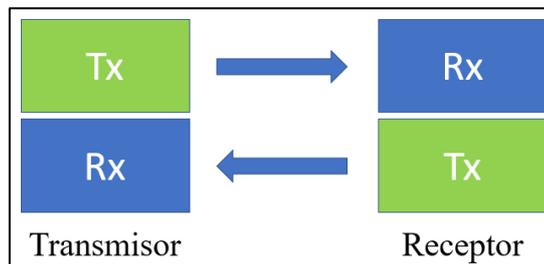


Figura 3.20. Transmisión Dúplex
Fuente: [24]

3.2.15. Comunicación serial

El puerto serial envía y recibe bytes de información un bit a la vez. La comunicación serial se utiliza para transmitir datos en formato ASCII, debido a que la transmisión es asincrónica, es posible enviar datos por una línea mientras se reciben datos por otra. Además, la comunicación serial puede ser utilizada para adquisición de datos si se usa en conjunto con un dispositivo remoto de muestreo [24].

Para realizar esta comunicación se utiliza 3 líneas de transmisión:

- Tierra (GND)
- Transmitir (Tx)
- Recibir (Rx)

Comunicación serial sincrónica, realiza el envío de trama de datos, que configuran un bloque de información que inicia con una agrupación de bits de sincronismo terminando con otra agrupación de bit al final del bloque, dichos bits tienen la función de sincronizar en el emisor y receptor la hora que controlan la duración de cada bit y carácter.

Comunicación serial asincrónica, aquí el emisor decide cuando transmite el mensaje por la red, mientras que el receptor no sabe en qué momento receptara dicho mensaje, para esta transmisión de datos se utiliza un bit de cabecera al inicio de cada carácter y uno o dos bits a la salida del mismo, esto se realiza con el fin de sincronizar sus relojes y decodificar el mensaje.

3.2.16. Comunicación entre raspberry y arduino

Para establecer una comunicación entre las placas de Arduino MEGA y Raspberry se realiza utilizando un cable USB, esta comunicación se llama serial y se lo realiza mediante un cable USB, como indica la figura 3.21.

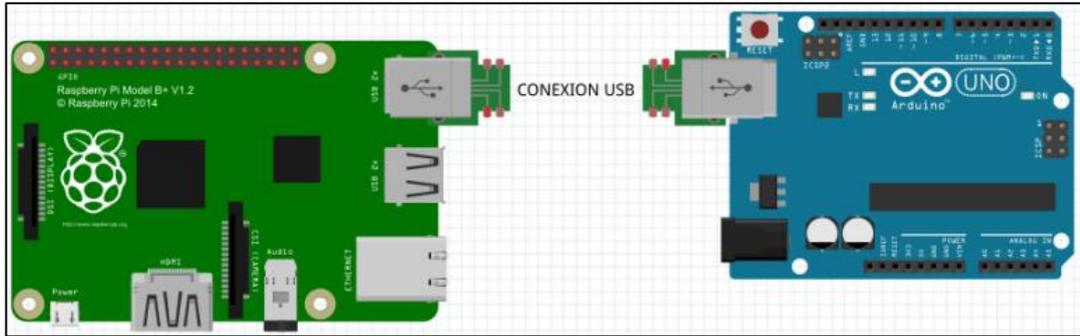


Figura 3.21. Conexión entre raspberry y Arduino
Fuente: [23]

3.2.17. Tarjeta Raspberry

Esta microcomputadora se describe como un sistema de bajo costo, con una tarjeta cuya implementación permite conectarse a un monitor de computadora o a una televisión, además de ser capaz de usar un teclado y un mouse estándar [21].

Una parte importante de la Raspberry Pi, es el Sistema Operativo; el mismo que se instalará en la tarjeta SD y con la facilidad de que al cambiar el Sistema Operativo simplemente se cambie de tarjeta. Uno de los sistemas Operativos más utilizados es el tipo de tarjetas Raspbian que se trata de un Debian (Linux) [22].

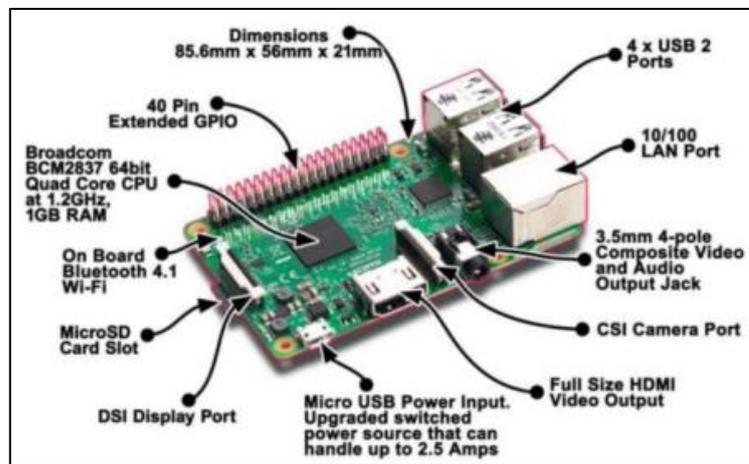


Figura 3.22. Tarjeta Rapsberry Pi
Fuente: [21]

3.2.18. Arduino

Es un dispositivo de prototipos electrónicos que se fundamentan en una hardware y software flexibles y sencilla programación, que requiere de un lenguaje de programación Processing/Wiring para poderlo utilizar, programar y configurarlo para una o varias necesidades, permitiendo interacción entre usuario y computador [23].

- Hardware Arduino

Básicamente se conforma de una placa con un microcontrolador, el mismo que puede ser programable y ejecutar ordenes grabadas en su memoria. Son dispositivos cuyas especificaciones y diagramas son de acceso público, es decir, que cualquiera puede replicarlos.

- Software Arduino

Es un entorno de desarrollo integrado (IDE) libre, el mismo se conforma por un conjunto de herramientas de programación que ha sido empaquetado como una aplicación, es decir, depurador y constructor de interfaz gráfica, editor de código y compilado para placas arduino.

3.2.19. Software Python

La plataforma de programación Python se usó para el diseño de la interfaz gráfica del sistema, realización de cálculos y procesamiento de las señales analógicas y digitales, cuenta con estructuras de datos muy eficaces, de alto nivel y de enfoque sencillo pero efectivo al momento de realizar programación orientada a objetos, este lenguaje es ideal para el desarrollo rápido de aplicaciones en muchas áreas de la ingeniería y en muchas plataformas. Este software permite realizar programas compactos, legibles y más cortos, que sus programas equivalentes en C, C++ o java por muchos motivos:

- Los tipos de datos de alto nivel realizan operaciones complejas en una instrucción
- La agrupación de instrucciones se lo realiza solo por sangría
- No se necesita declarar variables o argumentos

Las características de Python son:

- Lenguaje simple por pseudo-código
- Permite crear programas de propósito general o páginas web
- Funciona en muchas plataformas de programación
- Lenguaje orientado a objetos
- Contiene una gran abundancia de librerías, datos y funciones incorporadas
- Software libre

4. MARCO METODOLÓGICO

4.1. Métodos de investigación

4.1.1. Método Inductivo-Deductivo

Permitirá un análisis individual de cada uno de los equipos eléctricos que conforma el módulo motor-generador de corriente continua, cuyos resultados aportaran conclusiones y recomendaciones del problema investigado.

4.1.2. Método Analítico y Sintético

Se realizará un análisis y síntesis de las mediciones realizadas usando los diferentes sensores de medición eléctrica en el módulo motor-generador D.C, que permitirá obtener los diferentes parámetros eléctricos, a través de la adquisición de datos y la posterior visualización en el sistema.

4.1.3. Método Comparativo

Este método permitirá realizar una comparación con los datos obtenidos en el sistema de adquisición y visualización de datos y los diferentes equipos de medición, en el cual se observará el rango de error que se pueda presentar en las mediciones del sistema.

4.2. Tipos de Investigación

4.2.1. Investigación Bibliográfica-Documental

Obtener información de publicaciones, tesis, y artículos científicos que están disponibles en red y en cada una de las plataformas universitarias para obtener distintos enfoques relacionados al tema de investigación y extender los conocimientos acordes al proyecto.

4.2.2. Investigación de campo

Se desarrollará en las instalaciones de la Universidad Técnica de Cotopaxi en el laboratorio de Eléctrica, en la que se obtendrá datos útiles, que permitirá la generación de información fiable para el desarrollo óptimo y sostenible del sistema con un horizonte ético y profesional.

4.2.3. Investigación experimental

Se manejan datos para la comprobación del funcionamiento del sistema de visualización y adquisición de los parámetros eléctricos, con el fin de explicar las ventajas de obtener datos del sistema diseñado y a futuro faciliten las tareas de visualización y adquisición de los datos.

4.2.4. Investigación Descriptiva

Esta técnica detalla las variables eléctricas producidas en el módulo motor-generador de corriente continua, mediante la visualización y adquisición de las variables eléctricas del módulo, para determinar variaciones y alteraciones que se produzcan en el módulo.

4.3. Técnicas e Instrumentos

4.3.1. Técnicas de Investigación

Observación directa

Esta técnica admitirá el contacto directo con los equipos que forman parte del módulo, identificando los lugares y sitios adecuados para la ejecución del diagnóstico de los parámetros eléctricos.

Medición

Mediante un sistema de visualización y adquisición de datos, utilizando sensores de corriente, voltaje y velocidad para medir los parámetros eléctricos, se logrará obtener una base de datos que permita identificar las anomalías en los equipos de medición del módulo.

Análisis

Una vez se realice las mediciones, se logrará un análisis correspondiente a cada variable eléctrica, realizando comparaciones de mediciones eléctricas entre los equipos de medición y el sistema de visualización y adquisición de datos.

Resultados

Como resultados se obtendrá una base de datos con mediciones en tiempo real, logrando una optimización del módulo, para prácticas demostrativas.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para la implementación del prototipo, se considera el diseño, construcción y análisis de resultados en 4 etapas, las cuales son detalladas en la siguiente figura 5.1:

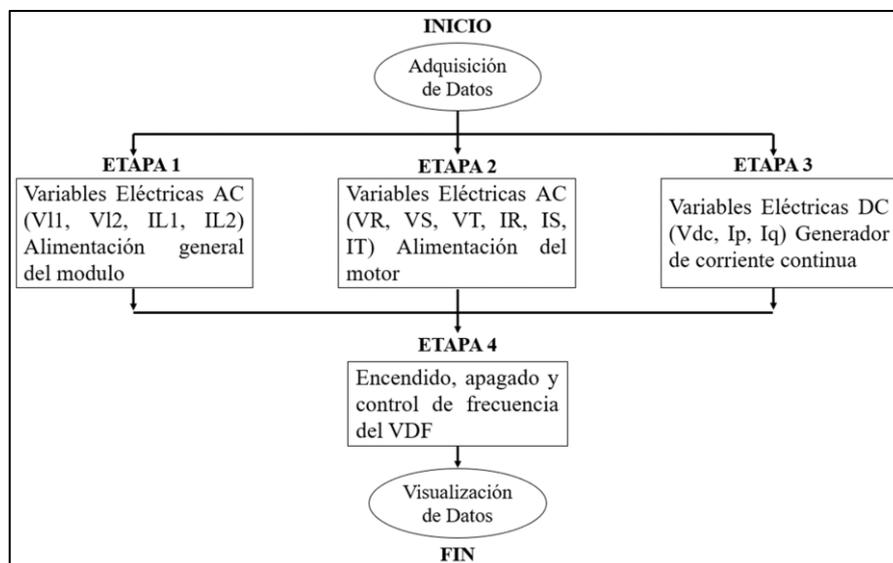


Figura 5.1. Diagrama de Diseño y construcción del módulo por etapas

5.1. Diseño de circuitos electrónicos

Se diseña el circuito electrónico, tanto en voltaje como en corriente de L_1 , L_2 que alimenta al módulo y las fases R, S, T a la salida del VDF que alimentan al motor trifásico. Para lo cual se lleva a cabo únicamente el diseño electrónico de L_1 , ya que los mismos cálculos y circuitos se repiten para cada una de las líneas en las 2 etapas. Para la etapa 3 se diseña un circuito divisor de voltaje y la etapa 4 el diseño electrónico de encendido, apagado y control de frecuencia.

5.1.1. Circuitos electrónicos Etapa 1 y Etapa 2

Para la etapa 1 se analiza los tipos de ondas que se produce en el módulo, ya que se tiene una fuente del tipo lineal y una carga no lineal, esto se debe principalmente a la presencia de armónicos producidos por el variador de frecuencia y equipos electrónicos.

Para la etapa 2 se analiza el tipo de onda de voltaje que se tiene a la salida del variador de frecuencia, las cuales son ondas PWM (modulación por ancho de pulsos), esta se conecta un motor trifásico, por lo que tendrá una carga lineal y fuente no lineal.

Tomando en cuenta estas consideraciones se realiza un circuito amplificador sumador inversor, como se muestra en la figura 5.2 para voltaje y figura 5.3 para corriente, el cual nos permite sumar múltiples entradas a su masa común, para ello se realiza el cálculo para determinar el nivel de voltaje que ingresara al Arduino de cada circuito.

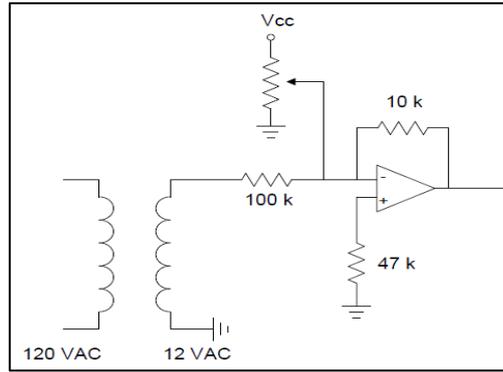


Figura 5.2. Circuito para voltaje

$$V_0 = -\frac{R_f}{R_x} * (V_1 + V_2)$$

$$V_0 = -\frac{R2}{R1} * (V_i + V_{potenciometro})$$

$$V_0 = -\frac{10k\Omega}{100k\Omega} * (12 + 8) = -2 V$$

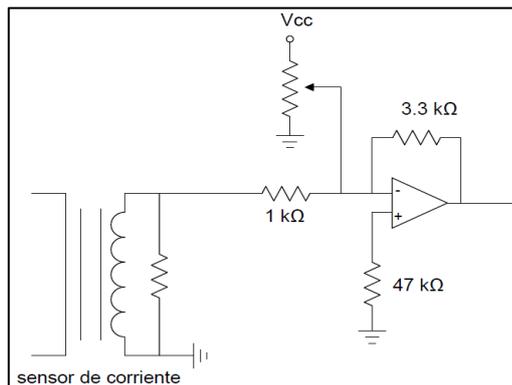


Figura 5.3. Circuito para corriente

$$V_0 = -\frac{R_f}{R_x} * (V_1 + V_2)$$

$$V_0 = -\frac{R2}{R1} * (V_i + V_{potenciometro})$$

$$V_0 = -\frac{10k\Omega}{100k\Omega} * (0,2 + 1) = -3,96 V$$

5.1.1.1. Circuito de cruce por cero

Para el diseño del circuito de cruce por cero, se determina la forma de onda de la señal de corriente a la salida del variador de frecuencia, con el fin de determinar el desfaseamiento voltaje-corriente y la frecuencia a la salida del variador de frecuencia, el cual se obtiene mediante el sensor de corriente no invasivo SCT-013, el cual tiene una relación de 1 V - 5 A, dicha onda de corriente se muestra en la figura 5.4, donde se utilizó un osciloscopio.

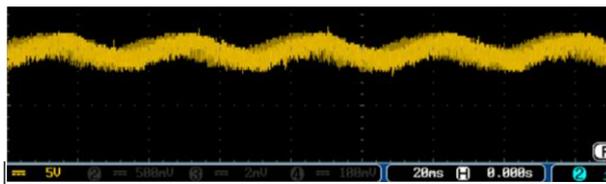


Figura 5.4. Señal de corriente, salida del variador de frecuencia

Para el diseño del circuito detector de cruce por cero para la señal de corriente, se empieza realizando un comparador de corriente, utilizando un amplificador operacional LF353, el cual nos permite convertir la señal analógica senoidal de entrada de corriente en un tren de pulsos simétrico a la salida del circuito, se tendrá una ganancia infinita a la entrada del circuito, es decir, se tendrá flujo de corrientes en los terminales de entrada, ver la figura 5.5:

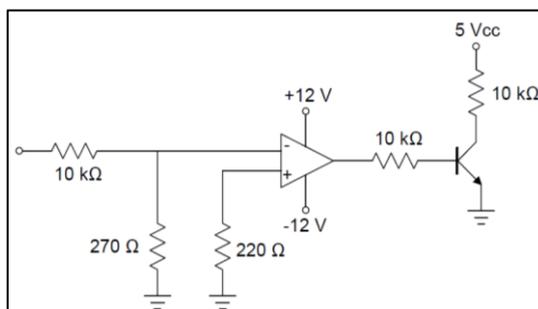


Figura 5.5. Cruce por cero de corriente

$$V_0 = -\frac{R_f}{R_x} * (V_1) - \frac{\infty}{10 \text{ k}\Omega} * (12 \text{ V}) = -\infty * 12 \text{ V}$$

En la siguiente figura 5.6 se puede observar la forma del tren de pulsos simétricos a la salida del circuito, para la señal de corriente a la salida del variador de frecuencia, el valor del capacitor colocado es 10 uf, con el fin de filtrar ruidos producidos por el VDF.

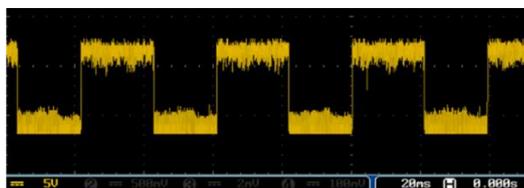


Figura 5.6. Salida del cruce por cero de corriente

5.1.1.2. Selección de Equipos

Cabe mencionar que los circuitos diseñados (amplificador sumador inversor y cruce por cero), adquisición de datos y cálculos matemáticos son realizados en la etapa 1 para la Línea 1 en la alimentación del módulo. Todos los circuitos, elementos, equipos y cálculos matemáticos, tanto para voltaje y corriente, se repite para la Línea 2 y fases (R, S, T) a la salida del variador de frecuencia. A continuación, se detallan los equipos utilizados en estas dos etapas:

- Transformador 220/12 VAC – 1 A

Dispositivo electromagnético, que permite aumentar o disminuir el voltaje y la intensidad de alguna línea de corriente alterna a la cual se lo conecte, manteniendo siempre constante la potencia, este transformador se conforma por dos devanados, su lado primario consta de: 0/110/220 VAC, su lado secundario consta de: 0/12/24 VAC, tal como se muestra la figura 5.7.



Figura 5.7. Transformadores 12-24 VAC 1 A 110/220 VAC

Tabla 5.1. Especificaciones transformador 12-24 V 1 A 110/220 V

Especificaciones Técnicas	
Voltaje primario	110-220 VAC
Voltaje Secundario	12-24 VDC
Corriente máxima	1 A

- Sensor de Corriente A.C. SCT-013

Son sensores de corrientes no invasivos que permiten medir la intensidad que pasa por un conductor sin necesidad de cortarlo o modificarlo. Esto sensores se pueden emplear con un procesador como Arduino para medir la intensidad o potencia consumida por una carga, disponen de un núcleo ferromagnético partido que permite abrirlo para arrollar el conductor de una instalación eléctrica, como se muestra en la figura 5.8.



Figura 5.8. Sensor de Corriente A.C

Tabla 5.2. Especificaciones Sensor de corriente SCT-013

Especificaciones Técnicas	
Corriente de Entrada	0 a 5 A AC/1 V
Voltaje de salida	0 – 1 V
No linealidad	± 3%
Señal de salida	Analógica senoidal
Precisión	4%

- Amplificador Operacional LF353P

Este tipo de amplificadores, son muy utilizados como convertidores de digital a analógico, circuitos de retención y muestreo, como se observa en la figura 5.9, el diagrama del amplificador LF353P. En la tabla 5.3 se muestra las principales características del amplificador operacional LF353P.

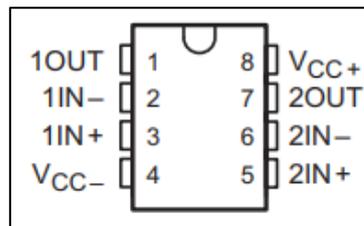


Figura 5.9. AMP-OP LF353P

Tabla 5.3. Características amp-op LF353P

AMP-OP LF353P
Número de amp-op encapsulados 2
Corriente de polarización baja
Voltaje máximo de alimentación: ± 18 V
Impedancia de entrada alta
Bajo consumo de potencia

- Transistor 2N3904

Este tipo de transistor es utilizado para entregar una señal de salida en respuesta a una señal de entrada, debido a que tiene una baja tensión de saturación, funciona a bajas intensidades y potencias, ver figura 5.10, en la tabla 5.4 se muestra las características del transistor:

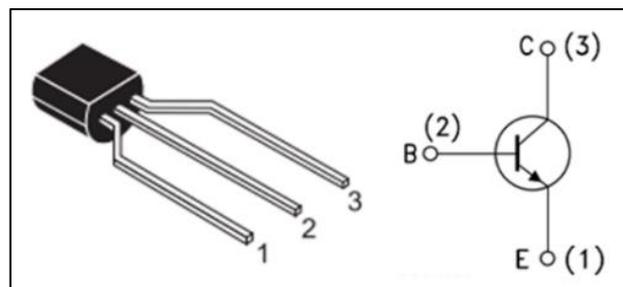


Figura 5.10. Transistor 2N3904

Tabla 5.4 .Características Transistor 2N3904

AMP-OP LF353P
Polaridad NPN
Corriente DC del colector: 200 mA
Voltaje máximo de alimentación: 12 V
Encapsulado TO-92

5.1.2. Circuito electrónico Etapa 3

En esta etapa se diseñó un circuito divisor de voltaje, ver figura 5.11, con una alimentación de entrada de 160 VDC y una salida de 5 VDC, que permitirá a la placa arduino MEGA leer los datos que entrega el generador, a continuación, se indica el cálculo necesario:

$$V_{out} = \frac{R_2(V_{in})}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 = \frac{R_2 * V_{in}}{V_{out}} = \frac{100 \text{ k}\Omega * (160 \text{ V})}{5 \text{ V}} = 100\text{K}\omega = 3100 \text{ k}\Omega$$

Escojemos el inmediato superior $R_1 = 3300 \text{ k}\Omega$

$$V_{out} = \frac{100 \text{ k}\Omega * (160 \text{ V})}{3300 \text{ k}\Omega + 100 \text{ K}\Omega} = 4,7058 \approx 5 \text{ V}$$

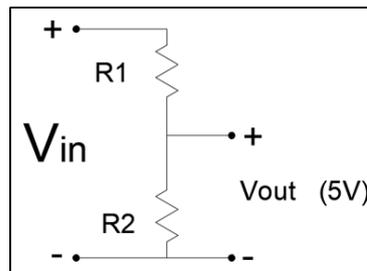


Figura 5.11. Circuito divisor de voltaje

Dado que los sensores ACS-712-5 A, son de la marca arduino, se conectan directamente a la tarjeta arduino MEGA, tal como se muestra en la figura 5.12.

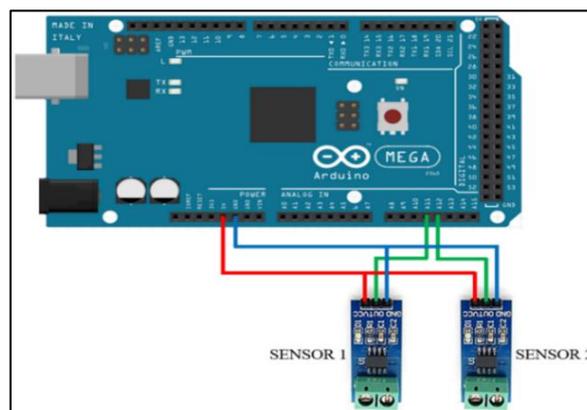


Figura 5.12. Conexión sensores de corriente

5.1.2.1. Calibración de las señales de corriente y voltaje

Para calibrar el sensor de corriente, el sensor entrega 2,5 V a una corriente de 0 A, de allí se incrementa equitativamente de acuerdo a la sensibilidad del integrado, siendo una relación lineal entre voltaje y corriente de salida. Para hallar la sensibilidad se utiliza la ecuación (5.1):

$$\text{Sensibilidad} = m = \frac{V_2 - V_1}{I_2 - I_1} \quad (5.1)$$

Donde:

$V_2 - I_2$ son datos medidos en bits por el arduino para una carga máxima

$V_1 - I_1$ son datos medidos en bits por el arduino para una carga mínima

Una vez hallada la sensibilidad se utiliza la ecuación (5.2) para encontrar la corriente:

$$I = \frac{V - 2,5}{\text{Sensibilidad}} \quad (5.2)$$

5.1.2.2. Selección de equipos.

- ACS-712-5 A

Es un sensor que trabaja como sensor de efecto Hall detectando el campo magnético que se produce por inducción de la corriente que circula por la línea que se mide. Este sensor acepta corrientes de entrada de hasta 5 A y una salida de tensión analógica proporcional que mide 500 mV, ver figura 5.13, opera desde 4,5 a 5,5 V, pensado para su uso en sistemas de 5 V.

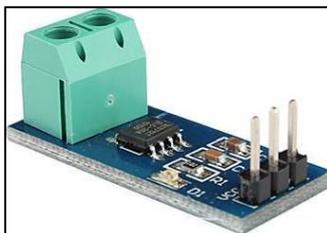


Figura 5.13. Sensor de Corriente C.C.

Tabla 5.5. Características sensor de corriente ACS-712 5 A

Especificaciones Técnicas	
Corriente de Entrada	5 A / 1 V
Voltaje Entrada	5 V
Medición de Corriente	C.A. y C.C.
Señal de salida	Analógica
Salida analógica	100/A

5.1.3. Circuito electrónico Etapa 4

En esta etapa se conforma de dos circuitos, uno para control de frecuencia y otro para encendido y apagado del variador de frecuencia. En la figura 5.14 se observa el circuito de control de frecuencia el mismo que se conforma por un amplificador operacional LF358P, el mismo que nos permite identificar los anchos de las ondas PWM que posteriormente son filtrados en una continua, debido al filtro RC al final del circuito, ver figura 5.15, el cual ingresa al VDF.

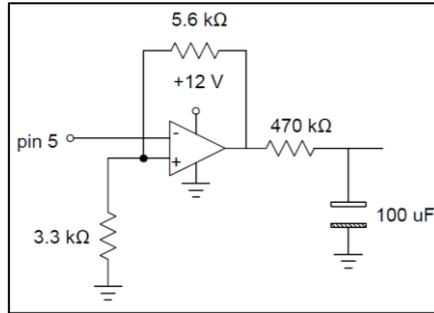


Figura 5.14. Circuito de control de frecuencia

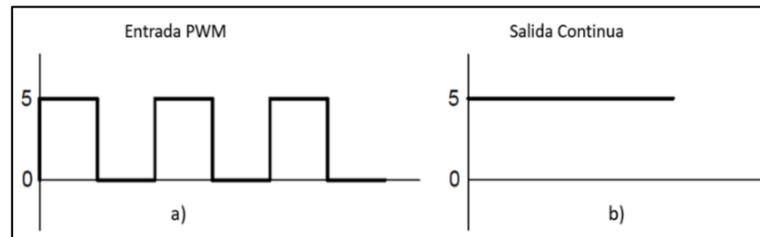


Figura 5.15. Control de frecuencia: a) señal de entrada, b) señal de salida

Calculamos la resistencia del filtro pasabajo para el filtrado de la PWM a continuación:

$$R = \frac{1}{2\pi * f_c * C} = \frac{1}{2\pi * 4 * 0,000001} = 397,88 \Omega$$

Calculamos el voltaje de salida del circuito el cual se conecta al panel de control del variador de frecuencia, el mismo que deberá estar en un rango de 12V:

$$V_0 = V_i + V_i \frac{R_f}{R_x} = V_1 \left(V_i + \frac{R_f}{R_x} \right) = 4.27 \left(1 + \frac{5,6 \text{ k}\Omega}{3,3 \text{ k}\Omega} \right) = 11,51 \text{ V}$$

En la figura 5.16, se muestra el circuito para el encendido y apagado del VDF, para lo cual se utilizó un transistor 2N3904, que permite detectar cuando el voltaje es 5 V abre el circuito a tierra (apagado) y cuando en 0 V cierra el circuito (encendido).

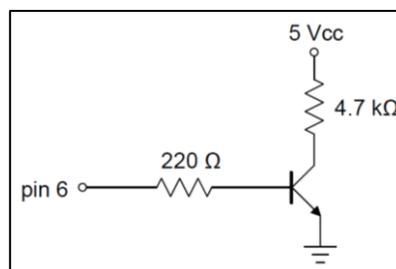


Figura 5.16. Circuito ON/OFF, al variador de frecuencia

5.2. Diseño Placa Electrónica

Se explica cómo está conformado la placa electrónica para la conexión de los sensores, transformadores y tarjeta Arduino está diseñada en el software Proteus, ver figura 5.17, la cual

contendrá una tarjeta Arduino procesa y envía los datos a la tarjeta Rapsberry, circuitos de cruce por cero, filtros de señal y fuentes de $\pm 12V$ que alimentaran a la placa electrónica.

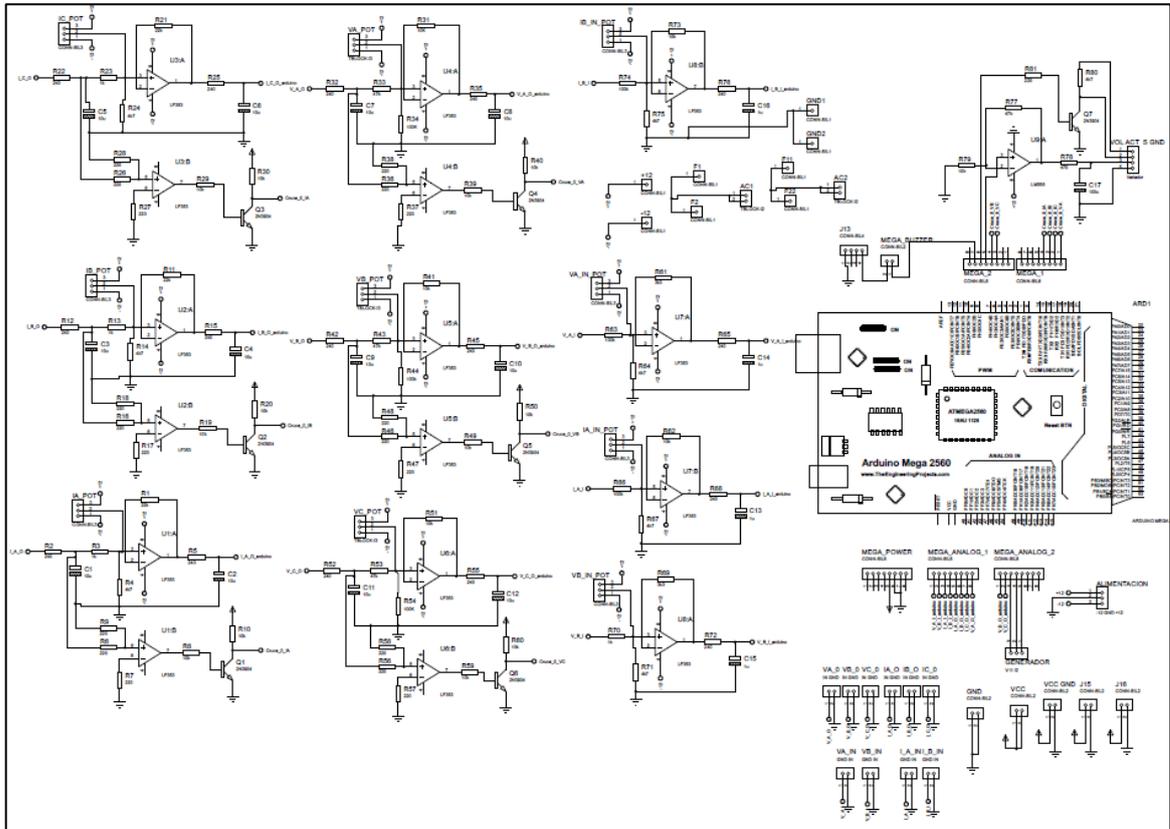


Figura 5.17. Diseño del circuito electrónico

En la figura 5.18 se indica el circuito con diseño en 3D y la presentación final de la placa electrónica que realizara la etapa de adquisición de datos del módulo, diseñada en Proteus.

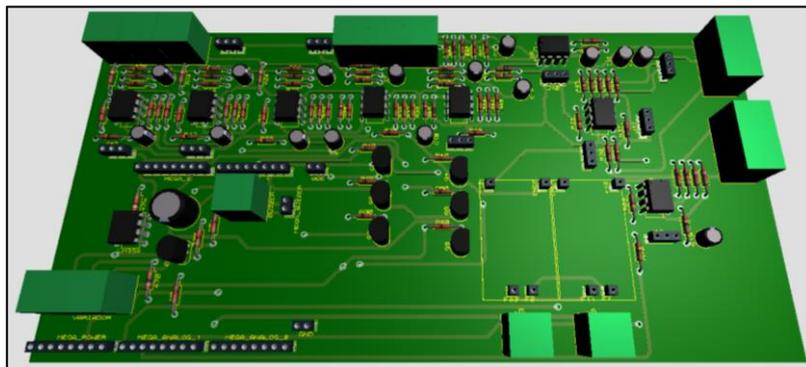


Figura 5.18. Placa Electrónica en 3D

5.3. Construcción del módulo

El módulo de la figura 5.19, permitirá adquirir la lectura de las variables eléctricas de C.A. y C.C, del banco de pruebas motor-generator en C.C, para ser visualizadas en una interface gráfica. El módulo se conforma por una placa electrónica, que adquiere todos los datos

analógicos y digitales, medidos por sensores y transformadores, para posteriormente ser receptados por una tarjeta Arduino MEGA 2056, seguidamente se envían a la tarjeta Rapsberry la cual procesa todos los datos recibidos para luego ser visualizados en una pantalla Touch.

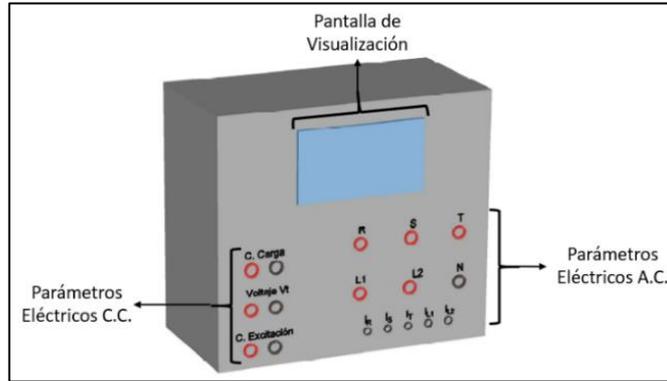


Figura 5.19. Módulo de adquisición y visualización de datos

- Tarjeta Raspberry

Es una iteración del modelo previo que llega con una CPU, soporte Wifi de doble banda y soporte Gigabit Ethernet, como se muestra en la figura 5.20. Las Rpi siguen siendo tan baratas como siempre, contiene un disipador situado encima del integrado, algo que permite ayudar a controlar las temperaturas generadas por la CPU, ver tabla 5.6:



Figura 5.20. Tarjeta Raspberry Pi 3 B+

Tabla 5.6. Especificaciones Raspberry Pi 3 B+

Especificaciones Técnicas	
RAM	1 GB
Wifi + Bluetooth	2,4 Ghz y 5 GHz, Bluetooth 4,2
Ethernet	Gigabit Ethernet USB 2.0 (300 Mbps)
HDMI	
Puertos CSI para conectar una cámara y pantalla táctil	
Salida de audio estéreo y video compuesto	
Micro-SD	

- Pantalla táctil capacitiva raspberry HDMI

Es un monitor HDMI, con una pantalla táctil capacitiva y sin controlador, para su uso con una raspberry Pi, es necesario editar config.txt para configurar el HDMI en 800*480, en el caso de

no detectar una correcta resolución, lo más esencial se amplía a dos puertos USB para conectar más dispositivos a la pantalla, Como se muestra en la figura 5.21.



Figura 5.21. Pantalla táctil raspberry

Tabla 5.7. Especificaciones pantalla táctil raspberry 7”

Especificaciones Técnicas	
Potencia	5V de alimentación mediante Micro USB
Corriente	Max. 500 mA
Tipo de pantalla	7 pulgadas LCD - Capacitiva
Resolución	800*480
Interfaz	HDMI y USB 2.0 a toda velocidad

- Arduino ATMEGA 2560

Es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador Atmega2560. Tiene 54 entradas/salidas digitales, 16 entradas analógicas, conexión USB, jack para alimentación DC, y un botón de reseteo. La comunicación de este dispositivo se produce mediante el puerto serial, el cual posee un convertidor usb-serie, para la conexión del dispositivo a la computadora se utiliza un cable USB similar a la impresora, ver figura 5.22.

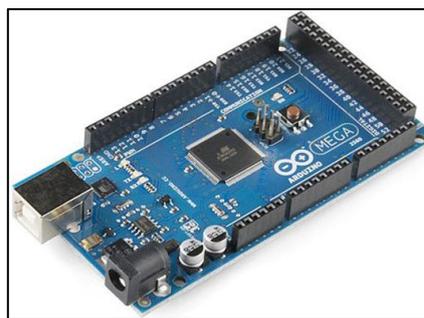


Figura 5.22. Arduino Atmega 2560

Tabla 5.8. Arduino Atmega 2560

Especificaciones Técnicas	
Voltaje operativo	5 V
Voltaje entrada	7 – 12 V
Pines digitales	54
Pines Analógicos de entrada	16
Corriente DC por cada Pin (entrada/salida)	40 A

5.4. Descripción módulo motor-generator de corriente continua

El módulo consta de un generador de corriente continua el cual se acopla mecánicamente a un motor trifásico conectado a un variador de frecuencia directo a la red, lo que permitirá que el generador gire a diferentes rpm generando voltaje y corriente continua al módulo de cargas resistivas, previamente realizando cualquier conexión de generadores DC, ver figura 5.23.

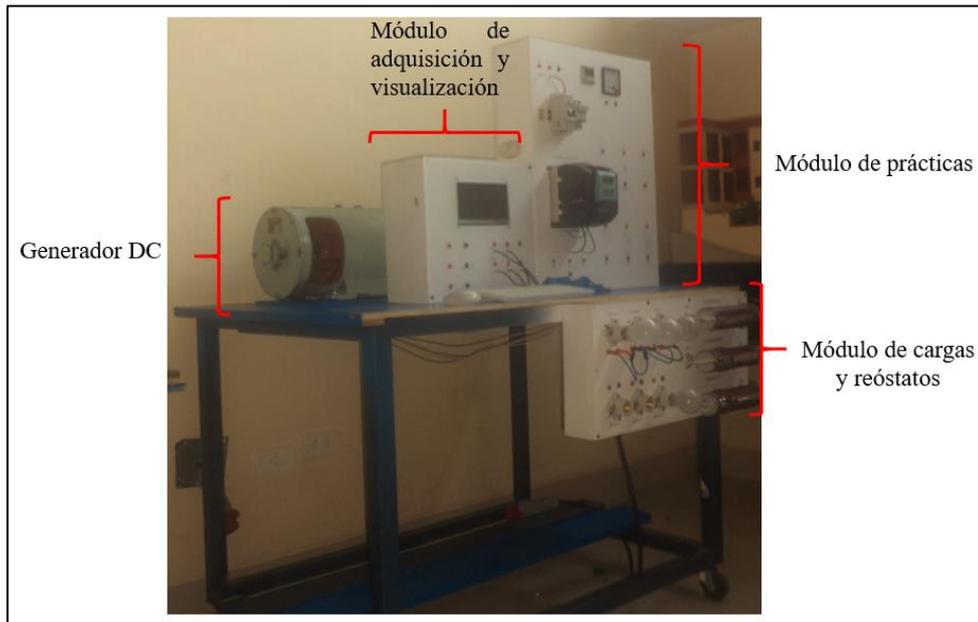


Figura 5.23. Partes del módulo motor-generator DC

En la tabla 5.9, se muestra los equipos y elementos que conforma el banco de pruebas:

Tabla 5.9. Equipos del módulo motor-generator DC

Motor trifásico ABB	Conexiones: 220 $\Delta\Delta$ – 380 YY – 440 Δ
	Potencia1: 1120 Watts
	Corriente: 2,5 A – 5,6 A
Generador DC VOLTA	V. generación: 110 VDC – 160 VDC
	Potencia: 0,71 Kw
	Corriente máx.: 6,5 A
Variador de frecuencia	Alimentación: 200-240 V
	Bifásico
	Corriente: 12 A
Tacómetro DELTA	Voltaje alimentación: 100 – 240 VAC
	Potencia: menor a 10 watts
Reóstatos	R1= 4,5 ohms
	R2= 400 ohms
	R3= 7 ohms

5.5. Diagrama de funcionamiento del sistema

En la figura 5.24, se muestra el diagrama bloques del funcionamiento del sistema de adquisición y visualización de datos.

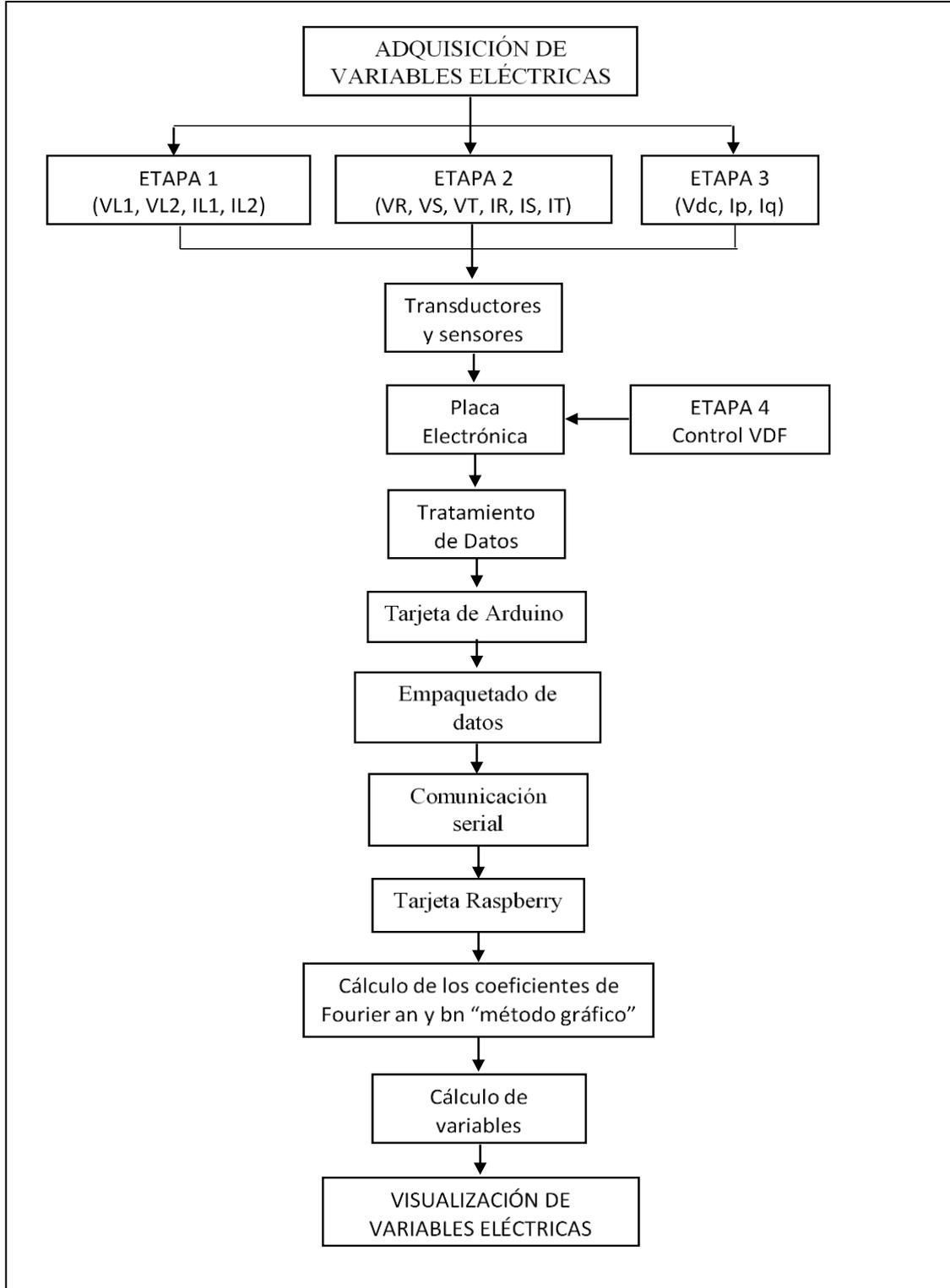


Figura 5.24. Diagrama bloques del sistema

5.6. Análisis de resultados

5.6.1. Pantallas HMI del sistema

En esta sección se describe cada una de las pantallas que conforma el sistema, donde se podrá realizar el control de frecuencia al motor trifásico, graficar y visualizar las variables eléctricas (voltaje – corriente) en cada una de las etapas.

- Pantalla principal



Figura 5.25. Diseño de la pantalla principal

Esta pantalla se ha diseñado en el software Python, ver figura 5.25, así como el resto de ventanas que conforma el sistema. De esta se partirá al resto de pantallas para la visualización de las variables y gráficas eléctricas. Ubicado en el banco de pruebas motor-generador de corriente continua, desde esta ventana principal el operario tendrá las siguientes opciones:

Parámetros AC: el usuario visualizará las variables eléctricas AC (módulo y motor) y le permitirá realizar un control de frecuencia al motor trifásico.

Gráficas AC: el usuario visualizará el comportamiento de las gráficas eléctricas AC realizando un control de frecuencia.

Parámetros DC: donde el usuario visualizara las variables y gráficas eléctricas en DC.

Apagar: apaga totalmente el sistema de visualización de variables eléctricas.

- Pantalla parámetros AC.

En esta pantalla se visualizará los parámetros eléctricos de corriente alterna (voltaje, corriente, potencias y factor de potencia), ver figura 5.26, medidos por cada uno sensor (TC's y TP's).

Esta ventana permite realizar las siguientes opciones:

Iniciar: este botón enciende el variador de frecuencia.

Parar: este botón apaga el variador de frecuencia.

Regresar: Envía al usuario a la página principal del sistema.

Botones “+” y “-”: permite al usuario controlar la frecuencia del motor trifásico.

Hz: permite al usuario visualizar los hercios del sistema.

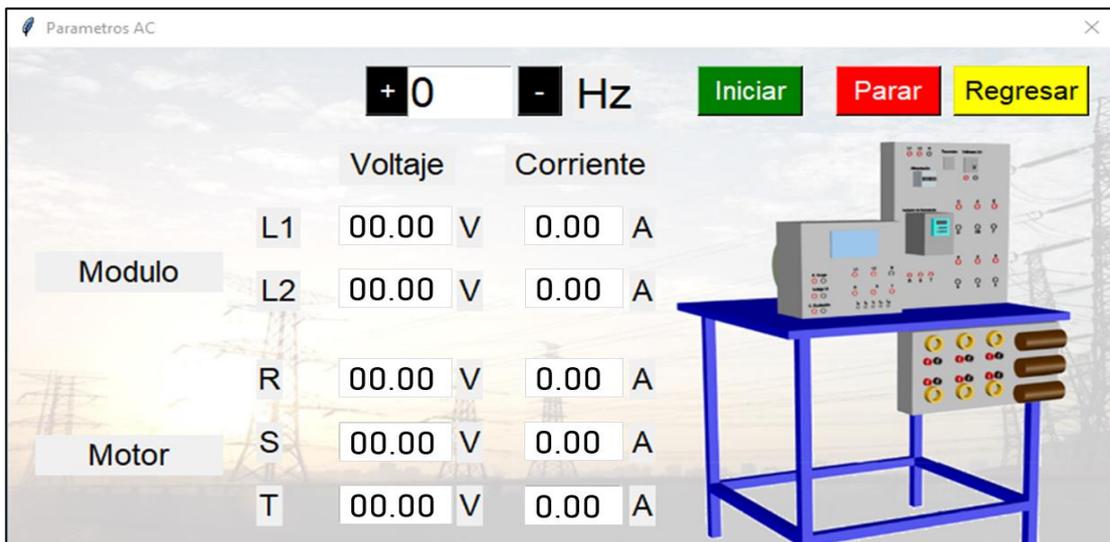


Figura 5.26. Pantalla de parámetros AC

- Pantalla de gráficas AC.

En esta ventana se visualizará las ondas de voltaje y corriente del sistema ver figura 5.27, también el cambio de las gráficas al realizar una variación de frecuencia al motor trifásico, esta ventana permite realizar las siguientes opciones:

Esta ventana permite realizar las siguientes opciones:

Iniciar: este botón permite al usuario encender el variador de frecuencia.

Parar: este botón permite al usuario apagar el variador de frecuencia.

Regresar: Envía al usuario a la página principal del sistema.

Botones “+” y “-”: permite al usuario controlar la frecuencia del motor trifásico.

Hz: permite al usuario visualizar los hercios del sistema.

Pestañas R, S, T, L1 y L2: permite al usuario graficar cualquier línea o fase del banco de pruebas motor-generator de corriente continua.

Pestañas Voltaje y Corriente: permite al usuario elegir la variable voltaje o corriente a graficar o las dos al mismo tiempo.

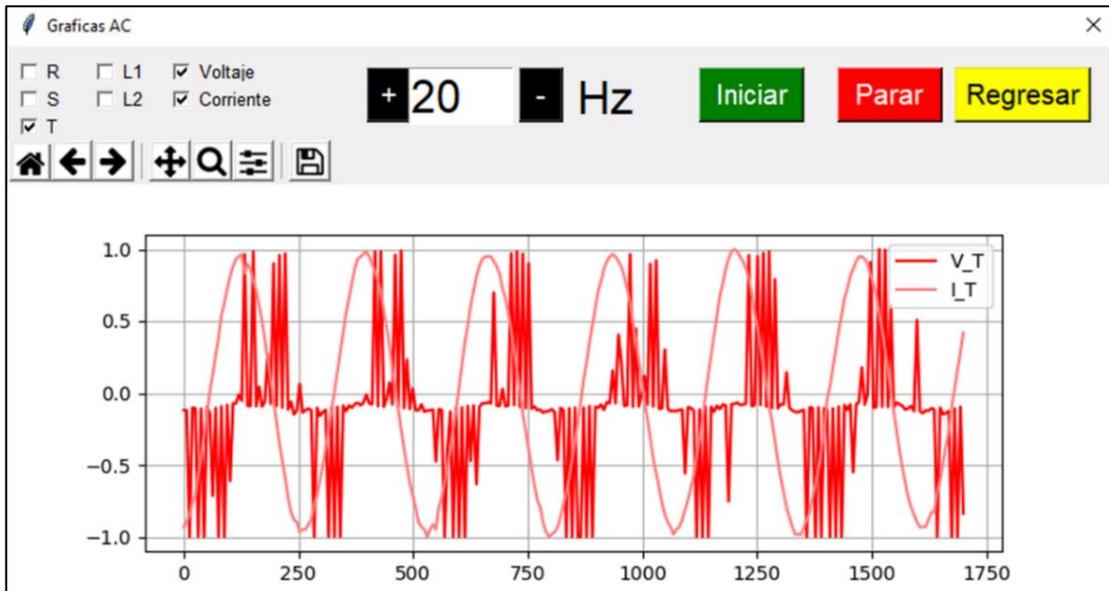


Figura 5.27. Pantalla de gráficas AC.

- Pantalla parámetros DC

En esta pantalla se visualizará las gráficas y parámetros eléctricos de corriente continua (voltaje, corriente de carga y excitación), ver figura 5.28, además de poder visualizar el diagrama de conexión del generador DC, esta ventana permite realizar las siguientes opciones:

Iniciar: este botón permite al usuario encender el variador de frecuencia.

Parar: este botón permite al usuario apagar el variador de frecuencia.

Regresar: Envía al usuario a la página principal del sistema.

Botones + y - : permite al usuario controlar la frecuencia del motor trifásico que se acopla al generador DC.

Hz: permite al usuario visualizar los hercios del sistema.

Pestañas Shunt, Serie y Compound: permite al usuario elegir el tipo de conexión que desee realizar.

Diagrama: Envía al usuario a una ventana donde se encuentra en diagrama de conexión del generador DC.

Limpiar: limpia la pantalla de gráficas.

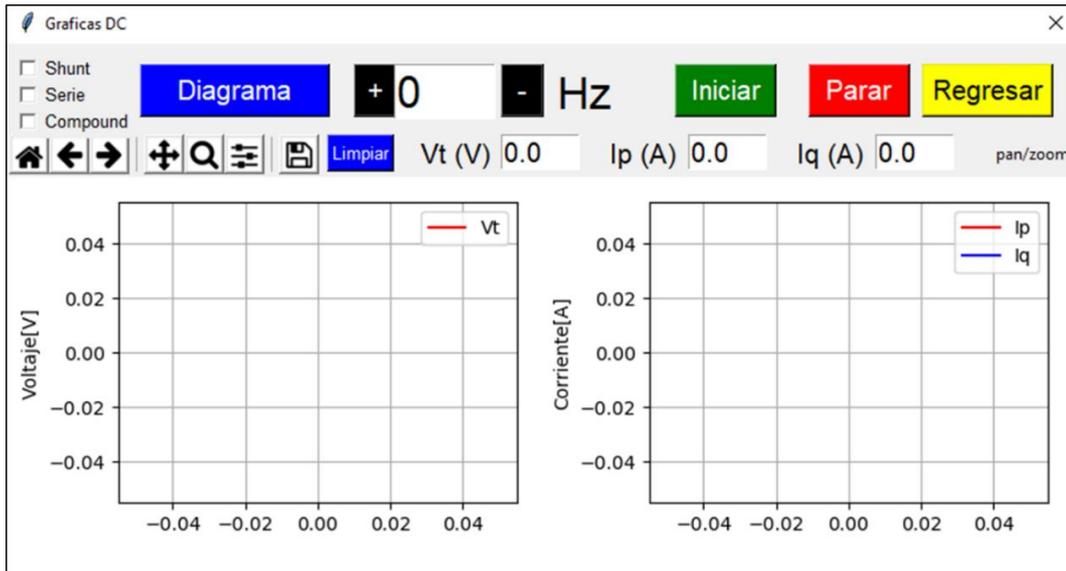


Figura 5.28. Pantalla parámetros DC.

5.6.2. Cálculo matemático etapa 1 y etapa 2

Para realizar la tabla de la función “y” se tomará en cuenta los siguientes pasos:

Primero: el número de muestras que se tiene en un ciclo a 60 Hz, tanto en voltaje como en corriente en las etapas 1 y etapa 2, donde $n=17$ muestras.

Segundo: los valores de la función “y” de cada punto medido será de acuerdo al número de muestras.

En la figura 5.29, se representa el ciclo completo de la onda de voltaje senoidal y el ciclo completo de la onda de corriente no senoidal, para la Línea “L1”, a la entrada del módulo.

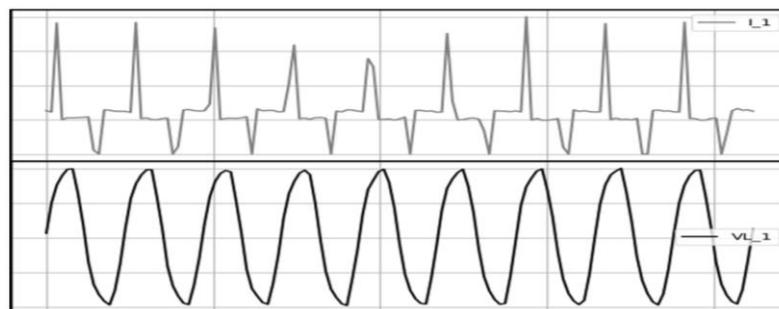


Figura 5.29. a) Curva de Voltaje L1 b) Curva de corriente L1

Al observar el tipo de onda del voltaje, este posee una forma característica de una tercera armónica prominente que se encuentra superpuesta a la fundamental, para el tipo de onda de corriente posee una forma caracterizada de una tercera y quinta armónica prominentes. Tomando en cuenta lo expuesto anteriormente, los cálculos de Fourier, estarán en función de seno y coseno, para la fundamental, tercera y quinta armónica:

Cálculo coeficiente a_n y b_n para la corriente

En la tabla 5.10, se muestra el cálculo de la corriente fundamental, tercera y quinta armónica:

Tabla 5.10. Cálculo de Armónicos para Corriente

Corriente "L ₁ "							
α	"y"	Fundamental		Tercera Armónica		Quinta Armónica	
		($\text{sen}\alpha$) y	($\text{cos}\alpha$) y	($\text{sen}3\alpha$) y	($\text{cos}3\alpha$) y	$\text{sen}(5\alpha)$ y	($\text{cos}5\alpha$) y
21,1765	0,3877	0,1401	0,3616	0,3471	0,1728	0,3729	-0,1061
42,3529	0,3786	0,2551	0,2798	0,3021	-0,2282	-0,1993	-0,3219
63,5294	0,3801	0,3403	0,1694	-0,0698	-0,3737	-0,2561	0,2809
84,7059	0,3817	0,3800	0,0352	-0,3671	-0,1044	0,3416	0,1701
105,8824	0,3710	0,3568	-0,1015	-0,2499	0,2742	0,0682	-0,3647
127,0588	0,4258	0,3398	-0,2566	0,1538	0,3970	-0,4239	0,0393
148,2353	0,3847	0,2025	-0,3271	0,3831	0,0355	0,1390	0,3587
169,4118	0,3528	0,0648	-0,3468	0,1857	-0,2999	0,2815	-0,2126
190,5882	0,3588	-0,0659	-0,3527	-0,1889	-0,3051	-0,2864	-0,2163
211,7647	0,3588	-0,1889	-0,3051	-0,3573	0,0331	-0,1296	0,3346
232,9412	0,3695	-0,2949	-0,2227	-0,1335	0,3445	0,3679	0,0341
254,1176	0,3239	-0,3115	-0,0886	0,2182	0,2393	-0,0595	-0,3184
275,2941	0,3741	-0,3725	0,0345	0,3598	-0,1024	-0,3348	0,1667
296,4706	0,3071	-0,2749	0,1369	0,0564	-0,3019	0,2069	0,2270
317,6471	0,3953	-0,2663	0,2922	-0,3155	-0,2382	0,2081	-0,3361
338,8235	0,3771	-0,1362	0,3516	-0,3376	0,1681	-0,3627	-0,1032
360,0000	0,3801	0,0000	0,3801	0,0000	0,3801	0,0000	0,3801
	Sumatoria	0,1682	0,0403	-0,0134	0,0909	-0,0662	0,0124
	Total	0,0198	0,0047	-0,0016	0,0107	-0,0078	0,0015

Calculamos los coeficientes a_n y b_n , para la fundamental, tercera y quinta armónica, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$a_1 = \frac{2}{m} \sum (y \text{ sen } \alpha) = \frac{2}{17} * 0,0198 = 0,0023294$$

$$b_1 = \frac{2}{m} \sum (y \text{ cos } \alpha) = \frac{2}{17} * 0,0047 = 0,0005529$$

$$a_3 = \frac{2}{m} \sum (y \text{ sen } \alpha) = \frac{2}{17} * -0,0016 = -0,0001882$$

$$b_3 = \frac{2}{m} \sum (y \text{ cos } \alpha) = \frac{2}{17} * 0,0107 = 0,0012588$$

$$a_5 = \frac{2}{m} \sum (y \text{ sen } \alpha) = \frac{2}{17} * -0,0078 = -0,0009176$$

$$b_5 = \frac{2}{m} \sum (y \text{ cos } \alpha) = \frac{2}{17} * 0,0015 = 0,0001765$$

Para expresar la ecuación en términos senoidales solamente, determinaremos las amplitudes de las corrientes I_1 , I_3 , I_5 y los ángulos θ_1 , θ_3 , θ_5 , como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$I_1 = \sqrt{(0,0023294)^2 - (0,0005529)^2} = 0,020348$$

$$I_3 = \sqrt{(-0,0001882)^2 - (0,0012558)^2} = 0,01081$$

$$I_5 = \sqrt{(-0,0009176)^2 - (0,0001765)^2} = 0,007923$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{0,0005529}{0,0023294} \right) = 13,467^\circ$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} \left(\frac{0,0012558}{-0,0001882} \right) = -81,589^\circ$$

$$\theta_5 = \tan^{-1} \left(\frac{0,0001765}{-0,0009176} \right) = -10,583^\circ$$

Por lo tanto, la ecuación de la corriente total se expresa de la siguiente forma:

$$i(t) = 0,0204 \sin(\alpha + 13,47^\circ) + 0,0108 \sin(3\alpha - 81,59^\circ) + 0,00792 \sin(5\alpha - 10,58^\circ)$$

$$I = 1,100135 \text{ A}$$

Tabla 5.11. Cálculo de Armónicos para Voltaje

Voltaje "L1"							
A	"y"	Fundamental		Tercera Armónica		Quinta Armónica	
		(sen α) y	(cos α) y	(sen3 α) y	(cos3 α) y	sen(5 α) y	(cos5 α) y
21,177	46,821	16,863	43,679	41,839	21,016	45,107	-12,552
42,353	87,357	58,702	64,694	70,077	-52,158	-45,123	-74,801
63,529	116,169	103,809	52,143	-20,153	-114,408	-79,744	84,475
84,706	129,388	128,780	12,536	-123,944	-37,138	114,455	60,345
105,882	125,242	120,657	-33,575	-85,972	91,072	26,573	-122,390
127,059	104,285	83,657	-62,265	35,633	98,008	-104,112	6,003
148,235	69,332	36,976	-58,648	68,859	8,077	22,400	65,613
169,412	25,072	4,836	-24,602	13,787	-20,941	20,688	-14,165
190,588	-22,552	3,912	22,210	11,266	19,536	17,263	14,511
211,765	-67,149	34,685	57,498	67,038	-3,865	27,846	-61,103
232,941	-102,734	81,187	62,952	40,751	-94,306	-101,483	-15,983
254,118	-124,530	119,290	35,743	-79,980	-95,451	14,313	123,705
275,294	-129,612	129,224	-10,011	-126,140	29,795	120,046	-48,868
296,471	-117,297	105,835	-50,572	-27,143	114,113	-71,730	-92,808
317,647	-89,239	61,258	-64,892	68,311	57,421	-53,394	71,503
338,824	-49,203	18,623	-45,543	45,197	-19,446	45,873	17,793
360,000	-2,564	0,051	-2,563	0,152	-2,559	0,252	-2,551
	Sumatoria	1108,345	-1,216	-0,4212	-1,2337	-0,7692	-1,2729
	Total	130,394	-0,143	-0,0496	-0,1451	-0,0905	-0,1497

Calculamos los coeficientes a_n y b_n , de la fundamental, tercera y quinta armónica, con la siguiente ecuación:

$$a_1 = \frac{2}{m} \sum (y \operatorname{sen} \alpha) = \frac{2}{17} * 130,3935 = 15,3404$$

$$b_1 = \frac{2}{m} \sum (y \operatorname{cos} \alpha) = \frac{2}{17} * -0,1431 = -0,0168$$

$$a_3 = \frac{2}{m} \sum (y \operatorname{sen} \alpha) = \frac{2}{17} * -0,0496 = -0,00583$$

$$b_3 = \frac{2}{m} \sum (y \operatorname{cos} \alpha) = \frac{2}{17} * -0,1451 = -0,0171$$

$$a_5 = \frac{2}{m} \sum (y \operatorname{sen} \alpha) = \frac{2}{17} * -0,0905 = -0,01064$$

$$b_5 = \frac{2}{m} \sum (y \operatorname{cos} \alpha) = \frac{2}{17} * -0,1497 = -0,01761$$

Para expresar la ecuación en términos senoidales solamente, determinaremos las amplitudes de las corrientes I_1 , I_3 , I_5 y los ángulos θ_1 , θ_3 , θ_5 , como se muestra en las siguientes ecuaciones:

$$V_1 = \sqrt{(15,3404)^2 - 0,01682} = 130,3936$$

$$V_3 = \sqrt{(-0,00583)^2 - 0,01712} = 0,153367$$

$$V_5 = \sqrt{(-0,01064)^2 - 0,017612} = 0,174971$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{-0,0168}{15,3404} \right) = -0,0628^\circ$$

$$\theta_3 = \tan^{-1} \left(\frac{-0,0171}{-0,00583} \right) = 71,15^\circ$$

$$\theta_5 = \tan^{-1} \left(\frac{-0,01761}{-0,01064} \right) = 58,854^\circ$$

Por lo tanto, la ecuación de la corriente total se expresa de la siguiente forma:

$$v(t) = 130,39 \sin(\alpha - 0,063^\circ) + 0,153 \sin(3 \alpha + 71,15^\circ) + 0,175 \sin(5 \alpha + 58,85^\circ)$$

$$\mathbf{V = 130,3938 V}$$

5.6.3. Datos de los parámetros eléctricos Etapa 1

En esta sección se analiza las variables eléctricas de alimentación del módulo y alimentación del motor. Se realizará una comparación de porcentajes de error utilizando el cálculo por

método gráfico y equipos de medición (FLUKE 179 RMS y Vatímetro AMPROBE), posteriormente se realizará una comparación de curvas voltaje-corriente mediante datos obtenidos del sistema y graficados en Excel. Los cálculos mostrados son únicamente para la Línea 1, debido que los cálculos se repiten para la línea (L2) y las fases (R, S, T), ver ANEXO III. Para el cálculo del porcentaje de error se aplica la siguiente formula:

$$\% Error = \frac{I_{Fluke} - I_{Sensor}}{I_{Fluke}} * 100$$

De acuerdo el tipo de onda que la tarjeta arduino MEGA tome en un ciclo, se registraran los datos. Con ello en la figura 5.30 se muestra el tipo de onda (voltaje-corriente Línea 1) que ingresa al arduino y se realiza el cálculo, demostrando los tipos de ondas con las cuales realiza el cálculo el sistema.

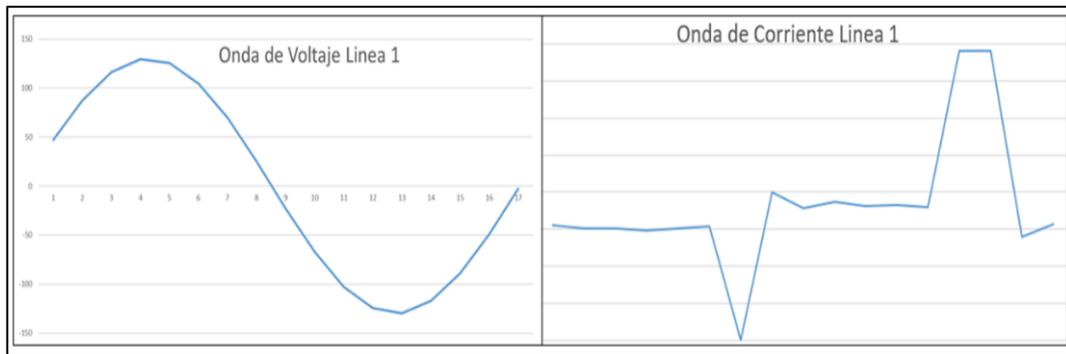


Figura 5.30. Tipo de onda calculada en la Línea 1

En la tabla 5.12, se indica el porcentaje de error 1 (equipo de medición y sistema), porcentaje de error 2 (calculado y sistema), que se tienen en la medición de los sensores de voltaje, en cada fase respecto al neutro del módulo:

Tabla 5.12. Medición de voltaje a la entrada del módulo

Módulo	V. Fluke	V. calculado	V. sistema	% error 1	% error 2
Línea 1	127,00 V	127,18 V	127,70 V	0,38 %	0,41 %
Línea 2	122,50 V	123,31 V	123,55 V	0,48 %	0,20 %

En la tabla 5.13, se indica el porcentaje de error 1 (equipo de medición y sistema), porcentaje de error 2 (calculado y sistema), que se tienen en la medición de los sensores de corriente, en cada fase del módulo:

Tabla 5.13. Medición de corriente a la entrada del módulo

Módulo	I. Fluke	I. calculado	I. sistema	% error 1	% error 2
Línea 1	1,22 A	1,20 A	1,19 A	2,45 %	0,83 %
Línea 2	1,24 A	1,24 A	1,22 A	1,61 %	1,61 %

En la tabla 5.14, se indica el porcentaje de error 1 entre el equipo de medición y el sistema, para el error 2 entre el calculado y el sistema, que se tienen en la medición de los sensores de corriente, en cada fase del módulo, cuando el variador de frecuencia está encendido:

Tabla 5.14. Mediciones de corriente a la entrada del módulo plena carga

Módulo	I. Fluke	I. calculado	I. sistema	% error 1	% error 2
Línea 1	10,42 A	10,39 A	10,18 A	2,30 %	2,02 %
Línea 2	10,40 A	10,41 A	10,20 A	1,92 %	2,02 %

Los datos visualizados en el sistema se comparan mediante cálculos y equipos de medición para la etapa 1, en esta etapa se tendrán errores de medición, debido a la limitada frecuencia de muestreo y el registro del tipo onda que toma el arduino MEGA, ver figura 5.30, para realizar los cálculos respectivos en cada línea, por tales motivos los valores que se visualizan en el sistema varían con respecto al tiempo, tomando en cuenta estas consideraciones se puede corroborar que los datos obtenidos tendrán un error del 0,5 % al 3 % para la etapa 1.

5.6.4. Curvas de Voltaje-Corriente Etapa 1

Para el análisis de las curvas voltaje y corriente en las dos líneas que alimentan el módulo, se analizan individualmente cada una de ellas, comparando datos (bits) obtenidos por los sensores que posteriormente son graficadas en Excel. En la figura 5.31, se observa la comparación de las ondas de voltaje que alimentan al módulo, realizadas en Excel y obtenidas en el sistema, las cuales se puede observar se desfasan 120° cada una.

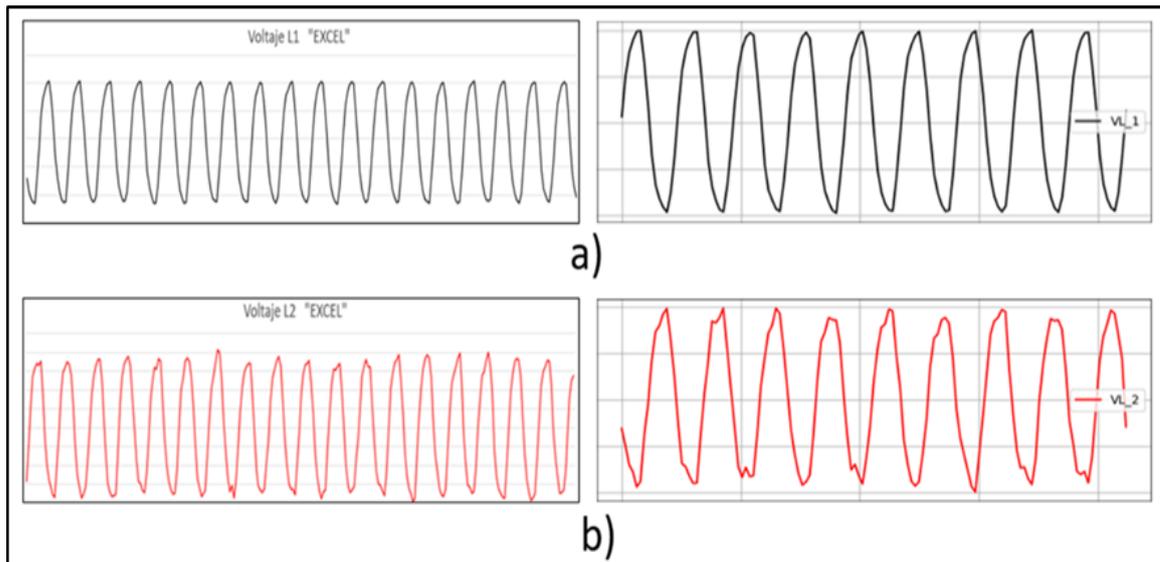


Figura 5.31. Comparación onda de voltaje: a) L1 b) L2

En la figura 5.32, se muestra las formas de onda de corriente de las dos líneas que alimentan al módulo con un desfase de 120° , como se muestra existe ondas de carga no lineal debido a la

presencia de armónicos en estas ondas, las cuales son comparadas con datos obtenidos del sistema y posteriormente graficados en Excel.

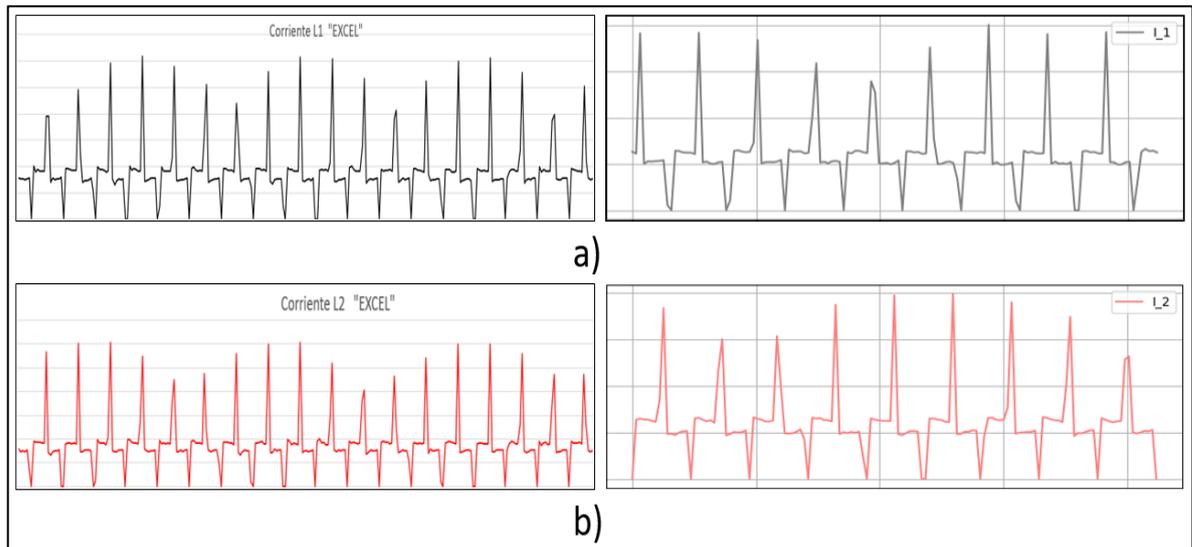


Figura 5.32. Comparación onda de corriente: L1 b) comparación onda de corriente L2

5.6.5. Datos de los parámetros eléctricos Etapa 2

Se realizar el cálculo del porcentaje de error de los parámetros eléctricos en las tres fases con respecto a tierra a la salida del variador de frecuencia, con la siguiente formula:

$$\% Error = \frac{I_{Fluke} - I_{Sensor}}{I_{Fluke}} * 100$$

De acuerdo a la onda que registre la tarjeta arduino MEGA en un ciclo, para una frecuencia de 60 Hz a la salida del variador de frecuencia, se registraran los datos por ello en la figura 5.33 se muestra el tipo de onda (voltaje–corriente fase R) que ingresa al arduino y realiza el cálculo, demostrando los tipos de ondas con las cuales realiza el cálculo el sistema.

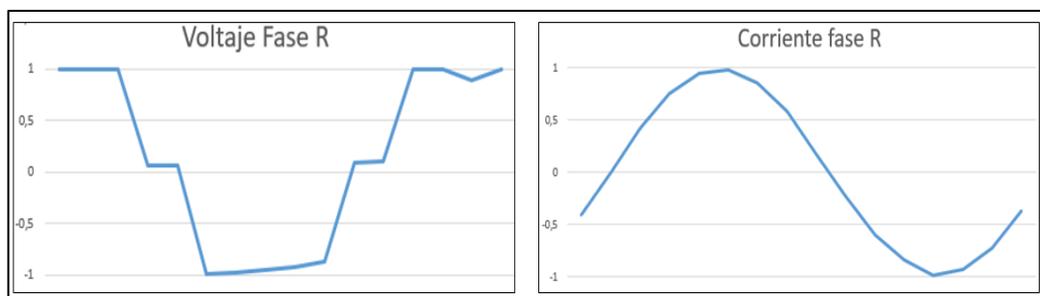


Figura 5.33. Tipo de onda calculada fase R 60 Hz

En la tabla 5.15, se indica el porcentaje de error 1 entre el equipo de medición y el sistema, para el error 2 entre el calculado y el sistema, que se tienen en los sensores de voltaje a una frecuencia de 60 Hz, medidos fase y tierra a la salida del variador de frecuencia:

Tabla 5.15. Medición del sensor de voltaje a 60 Hz en motor

Módulo	V. Fluke	V. calculado	V. sistema	% error 1	% error 2
VR-t	117,80 V	119,43 V	120,94 V	2,67 %	0,67 %
VS-t	124,90 V	132,04 V	131,17 V	5,02 %	0,66 %
VT-t	119,60 V	124,33 V	124,60 V	3,96 %	0,23 %

En la tabla 5.16, se indica el porcentaje de error 1 (equipo de medición y sistema), porcentaje de error 2 (calculado y sistema), que se tienen en los sensores de corriente a una frecuencia normal de 60 Hz, medida en cada fase que alimentan al motor:

Tabla 5.16. Medición del sensor de corriente a 60 Hz en motor

Módulo	I. Fluke	I. calculado	I. sistema	% error 1	% error 2
IR	3,60 A	3,53 A	3,50 A	12,50 %	0,85 %
IS	3,59 A	3,53 A	3,49 A	13,18 %	1,13 %
IT	3,61 A	3,44 A	3,40 A	15,21 %	1,16 %

De acuerdo a la onda que registre la tarjeta arduino MEGA en un ciclo, para una frecuencia de 20 Hz a la salida del variador de frecuencia, se registraran los datos por ello en la figura 5.34 se muestra el tipo de onda (voltaje–corriente fase R) que ingresa al arduino y realiza el cálculo, demostrando los tipos de ondas con las cuales realiza el cálculo el sistema.

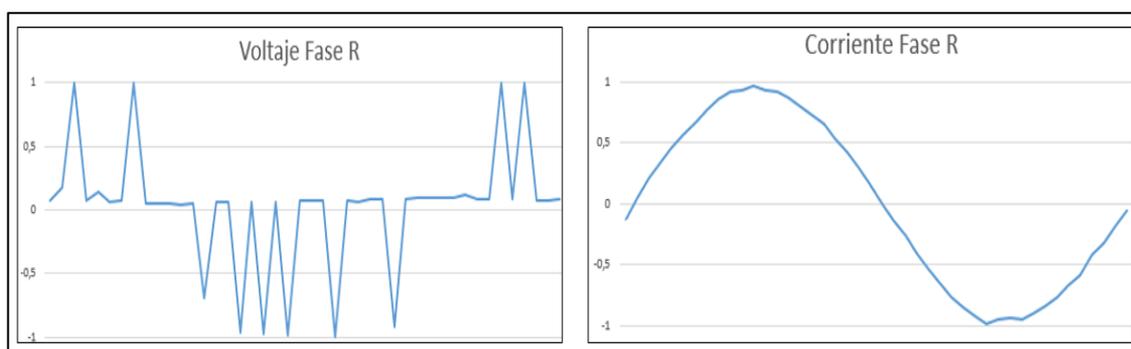


Figura 5.34. Tipo de onda calculada fase R 20 Hz

En la tabla 5.17, se indica el porcentaje de error 1 (equipo de medición y sistema), porcentaje de error 2 (calculado y sistema), que se tienen en los sensores de voltaje a una frecuencia de 20 Hz, medidos fase y tierra a la salida del variador de frecuencia:

Tabla 5.17. Medición del sensor de voltaje a 20 Hz en motor

Módulo	V. Fluke	V. calculado	V. sistema	% error 1	% error 2
VR-t	44,00 V	21,945 V	21,12 V	%	3,76 %
VS-t	44,40 V	21,943 V	21,02 V	%	4,21 %
VT-t	44,10 V	17,75 V	18,56 V	%	4,56 %

En la tabla 5.18, se indica el porcentaje de error 1 (equipo de medición y sistema), porcentaje de error 2 (calculado y sistema), de los sensores de corriente a una frecuencia de 20 Hz, medida en cada fase que alimentan al motor:

Tabla 5.18. Medición del sensor de corriente a 20 Hz en motor

Módulo	I. Fluke	I. calculado	I. sistema	% error 1	% error 2
IR	2,44 A	2,34 A	2,30 A	5,73 %	1,70 %
IS	2,43 A	2,32 A	2,30 A	5,34 %	0,86 %
IT	2,41 A	2,28 A	2,30 A	4,56 %	0,88 %

Los datos visualizados en el sistema se comparan mediante cálculos y equipos de medición en la etapa 2, en esta etapa se tendrán mayores errores de medición, debido a la limitada frecuencia de muestreo que presenta la tarjeta arduino MEGA, las altas frecuencias o cambios rápidos de activación y desactivación de los IGBTs y picos de voltaje excedentes a la salida del VDF. Tomando en cuenta estas consideraciones se corrobora que los datos obtenidos para frecuencias altas el voltaje será del 0,5 % al 3 % de error, en corrientes del 3 % al 15 % de error, debido principalmente a las interferencias electromagnéticas que presenta el VDF operando a altas frecuencias dando porcentajes altos de error, para frecuencias bajas el error de voltaje será de 0,5 % al 3% comparándolo mediante cálculo, para corriente con un porcentaje de 1 % al 5%, esto se debe a que no existe mucha interferencia en bajas frecuencias.

5.6.6. Curvas de Voltaje-Corriente Etapa 2

Para el análisis de las curvas voltaje-corriente de las tres fases a la salida del VDF, se analizan individualmente cada una de ellas, comparando las gráficas obtenidas del sistema con gráficas en Excel. En la figura 5.35, se observa la comparación de las ondas de voltaje PWM a una frecuencia de 60 Hz, realizadas en Excel y las obtenidas por el sistema.

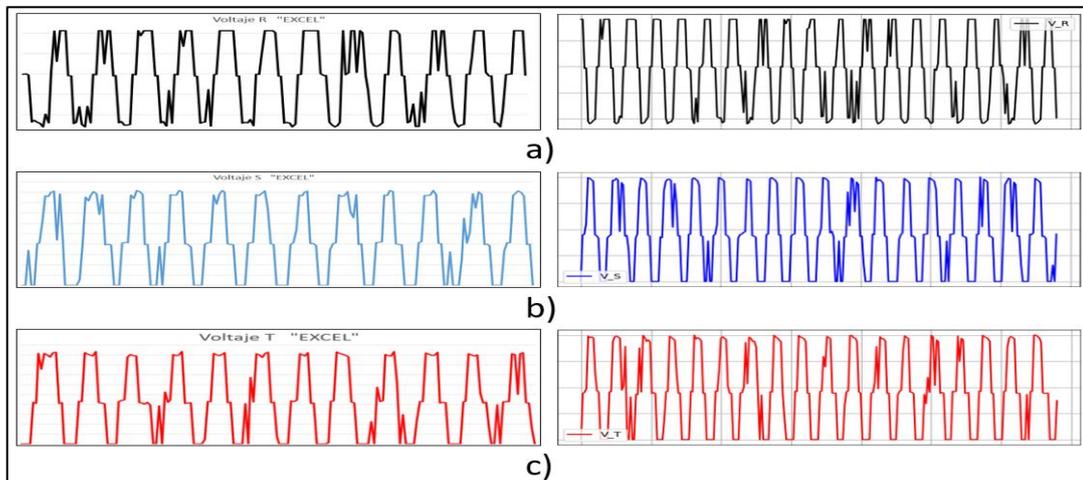


Figura 5.35. Comparación de voltaje: a) Fase R, b) Fase S, c) Fase T a 60 Hz

En la figura 5.36, se observa las formas de las ondas de corriente de las tres fases a la salida del variador de frecuencia que alimenta al motor trifásico, a una frecuencia normal de 60 Hz.

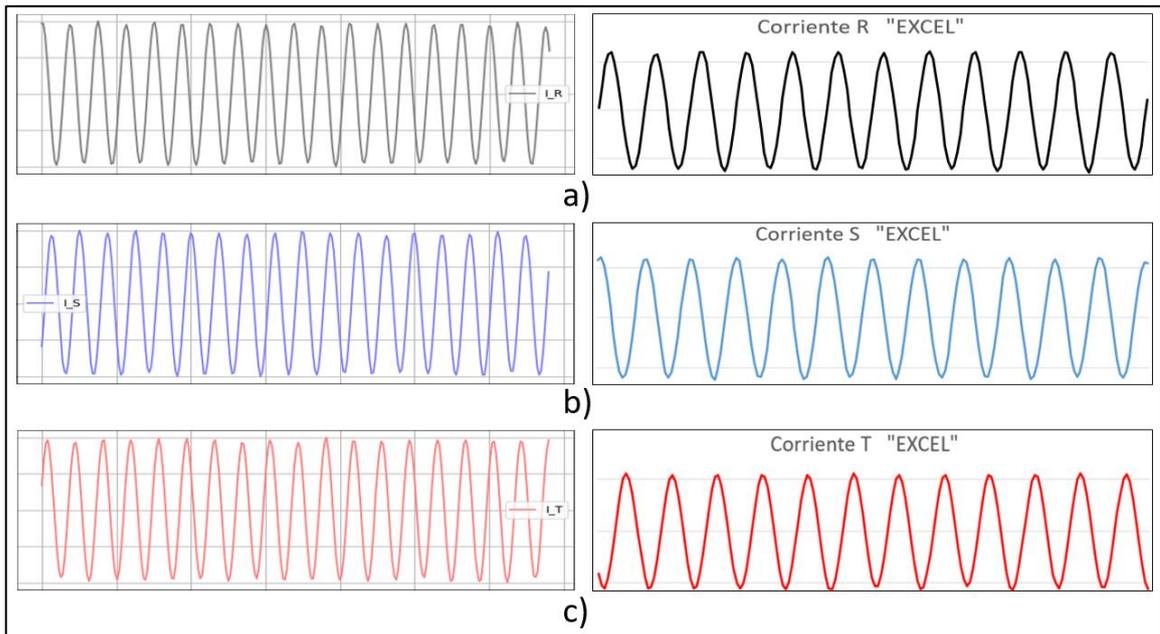


Figura 5.36. Comparación de corriente: a) Fase R, b) Fase S, c) Fase T a 60 Hz

En la figura 5.37, se puede observar las formas de las ondas de voltaje de las tres fases a la salida del variador de frecuencia que alimenta al motor trifásico, a una frecuencia de 20 Hz.

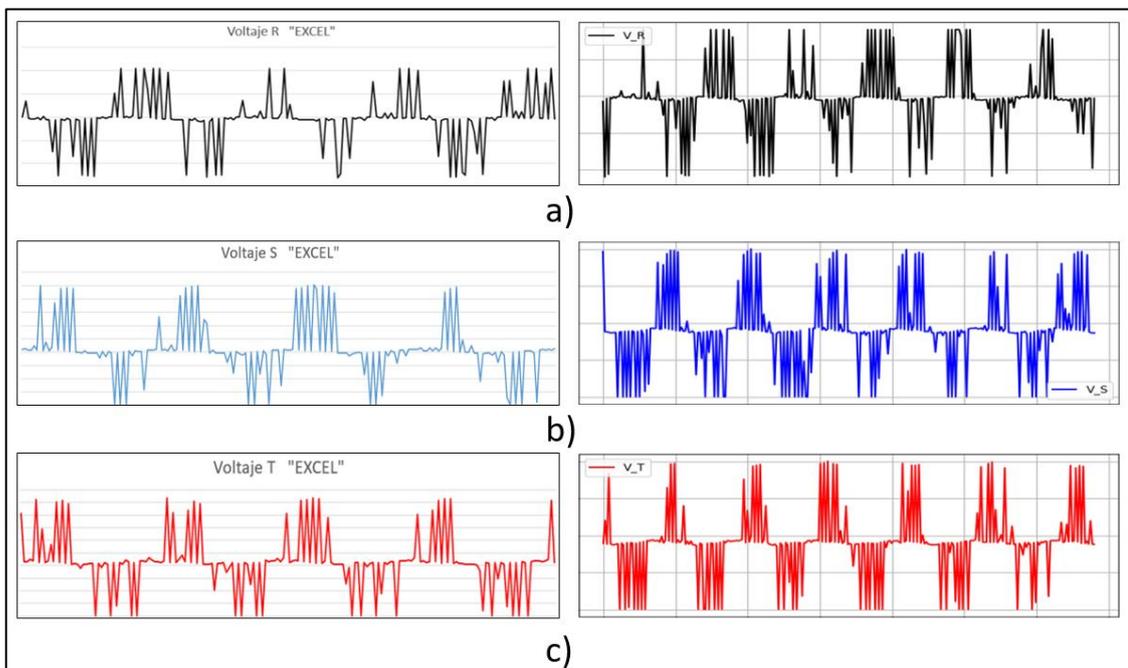


Figura 5.37. Comparación de voltaje: a) Fase R, b) Fase S, c) Fase T a 20 Hz

En la figura 5.38, se puede observar las formas de las ondas de corriente de las tres fases a la salida del variador de frecuencia que alimenta al motor trifásico, a una frecuencia de 20 Hz.

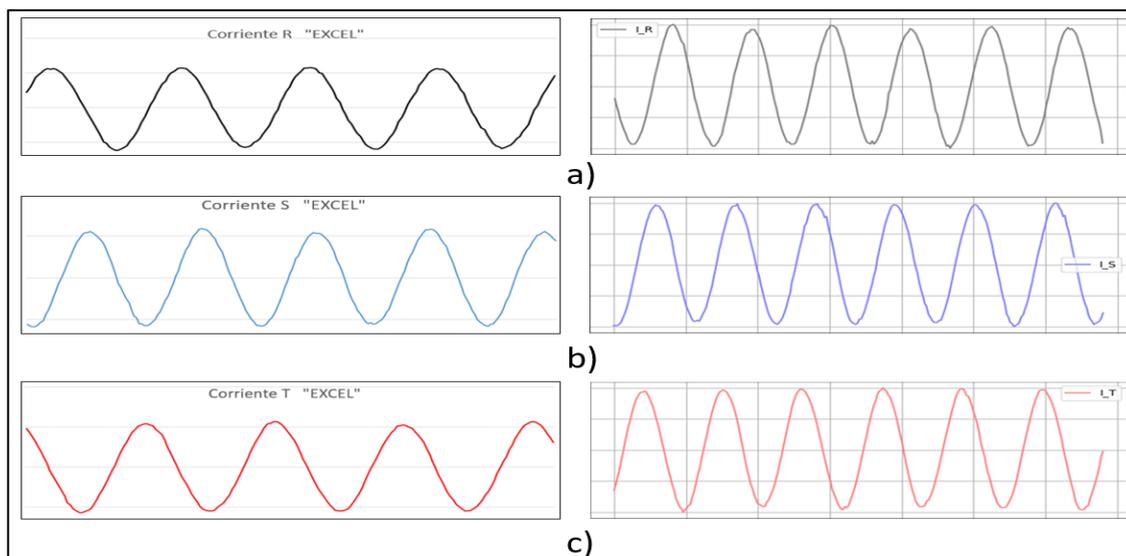


Figura 5.38. Comparación de corriente: a) Fase R, b) Fase S, c) Fase T a 20 Hz

5.6.7. Análisis de las variables eléctricas Etapa 3

En esta sección se muestra la comparación de los porcentajes de error de las mediciones realizadas con el equipo de medición Fluke 179 TRUE RMS y el sistema en cada una de las diferentes conexiones que tiene un generador de corriente continua y la comparación de curvas de los generadores de C.C. basado en la guía de prácticas demostrativas.

5.6.7.1. Datos de los parámetros eléctricos generador serie

- Porcentaje de error en sensor de voltaje

En la tabla 5.19, se observa la comparación de medición del multímetro Fluke 179 y la placa divisora de tensión en los terminales de voltaje V_t del generador serie, para distintas cargas:

Tabla 5.19. Porcentaje de error de voltaje, generador serie

Cargas en paralelo	V. Fluke	V. Div. De Tensión	% Error
RT1-P - 30Hz	42,44 V	42,80 V	2,28 %
RT1-P - 20 Hz	22,4 V	21,47 V	4,15 %

- Porcentaje de error en sensor de corriente

En la tabla 5.20, se muestra la comparación de medición entre el multímetro Fluke 179 y el sensor de corriente en los terminales de carga I_q del generador en serie, para distintas cargas:

Tabla 5.20. Porcentaje de error en sensor de corriente, generador serie

Cargas en paralelo	I. Fluke	I. Sensor ACS-712	% Error
R_{T1-P} - 30Hz	2,146 A	2,28 A	6,24 %
R_{T1-P} - 20 Hz	1,646 A	1,71 A	3,89 %

- Curva Característica del generador Serie

Se realiza la comparación de la curva característica del generador serie, tal como se muestra en la figura 5.39, con una obtenida en laboratorio respecto a una obtenida en la práctica, con los siguientes valores de la tabla 5.21:

Tabla 5.21. Valore curva característica generador serie

Carga	Voltaje (Vt)	Corriente de Carga (I)	Potencia (watts)
Carga 1	41,38 V	0,37 A	15,32 W
Carga 2	86,63 V	1,38 A	119,55 W
Carga 3	95,51 V	2,08 A	198,66 W
Carga 4	96,67 V	2,67 A	258,11 W
Carga 5	92,20 V	3,40 A	313,48 W

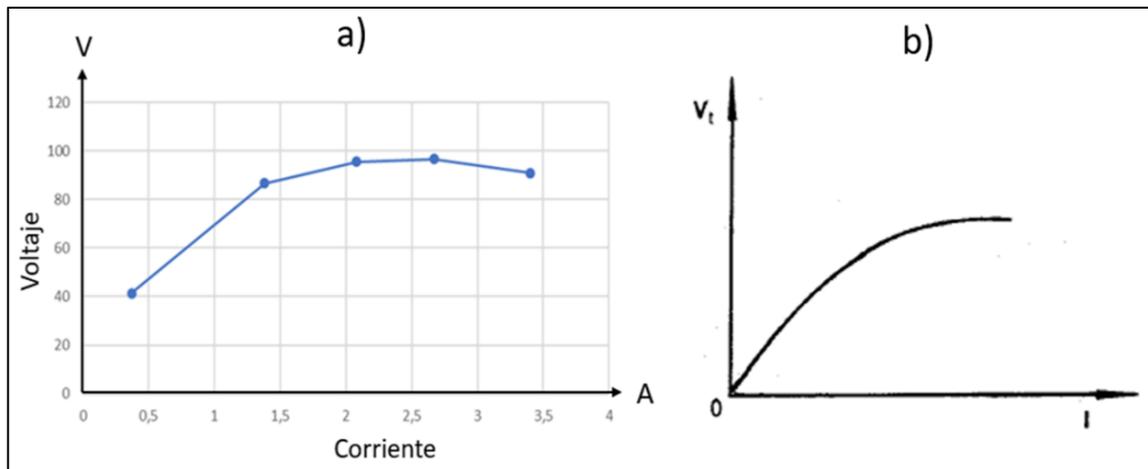


Figura 5.39. Curva característica: a) Práctica y b) Laboratorio

- Curva Voltaje en los terminales y generación con respecto a la corriente

Se realiza la comparación de la curva de voltaje de generación y voltaje en los terminales con respecto a la corriente del generador serie, tal como se muestra en la figura 5.40, con los siguientes valores de la tabla 5.22:

Tabla 5.22. Valores de voltaje en terminales y generación, Serie

Carga	Voltaje en los terminales	Voltaje Generación	Corriente
Carga 1	39,70 V	46,31 V	0,34 A
Carga 2	83,83 V	103,91 V	1,35 A
Carga 3	92,45 V	121,35 V	2,16 A
Carga 4	90,91 V	125,63 V	2,73 A
Carga 5	85,81 V	127,42 V	3,29 A

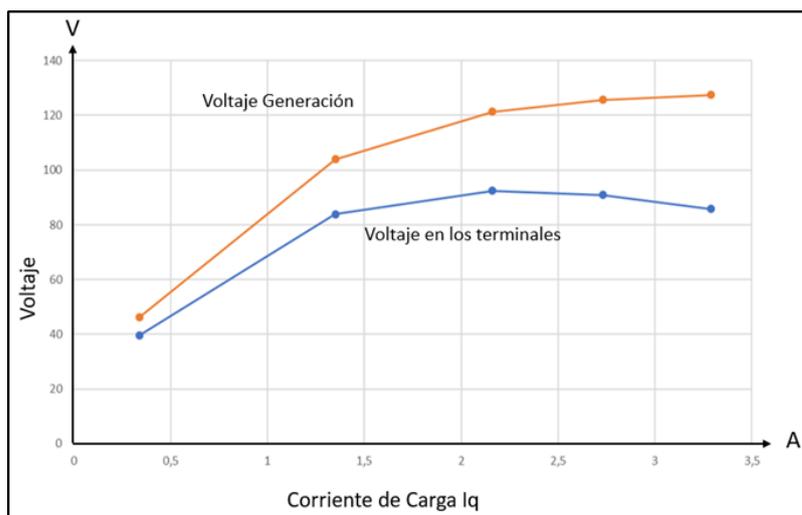


Figura 5.40. Curva de voltaje en los terminales y de generación respecto a la corriente

5.6.7.2. Datos de los parámetros eléctricos generador Shunt

- Porcentaje de error en sensor de voltaje “Vt”

El cálculo del porcentaje de error en los terminales “Vt” del generador, será la comparación entre la medición del Fluke 179 y el sensor de voltaje, tal como se muestra en la tabla 5.23.

Tabla 5.23. Porcentaje de error en voltaje “Vt”, generador Shunt

Cargas en paralelo	V. Fluke	V. Sensor	% Error
RT1-P - 40Hz	50,02 V	49,11 V	1,82 %
RT1-P – 30 Hz	11,70 V	11,26 V	3,76 %

- Porcentaje de error en sensor de corriente de carga “Iq”

Sera la comparación entre la medición realizada por el Fluke 179 y el sensor ACS-712-5A, para comprobar el porcentaje de error de la corriente de carga, como se muestra en la tabla 5.24.

Tabla 5.24. Porcentaje de error, corriente de carga, generador Shunt

Cargas en paralelo	I. Fluke	I. Sensor ACS-712	% Error
RT1-P - 40Hz	2,36 A	2,40 A	1,69 %
RT1-P – 30 Hz	1,12 A	1,15 A	2,68 %

- Porcentaje de error en sensor de corriente de excitación “Ip”

Sera compara la medición entre el Fluke 179 y el sensor ACS-712 para comprobar el porcentaje de error de la corriente de excitación a una carga total de 30 Hz, como se indica en la tabla 5.25.

Tabla 5.25. Porcentaje de error, corriente de excitación, con carga, generador Shunt

Cargas en paralelo	I. Fluke	I. Sensor ACS-712	% Error
RT1-P - 40Hz	0,46 A	0,47 A	2,17 %
RT1-P – 30 Hz	0,12 A	0,118 A	1,67 %

- Curva de carga generador shunt

Se realiza la comparación de la curva de carga en función de la corriente de excitación en el generador shunt, tal como se muestra en la figura 5.41, con una obtenida en laboratorio respecto a una obtenida en la práctica, con los siguientes valores de la tabla 5.26:

Tabla 5.26. Valores de la curva de carga generador shunt

Etapa	Voltaje	Corriente excitación
Etapa 1	113,45 V	1,05 A
Etapa 2	93,70 V	0,73 A
Etapa 3	40,39 V	0,31 A
Etapa 4	30,00 V	0,25 A
Etapa 5	19,66 V	0,20 A

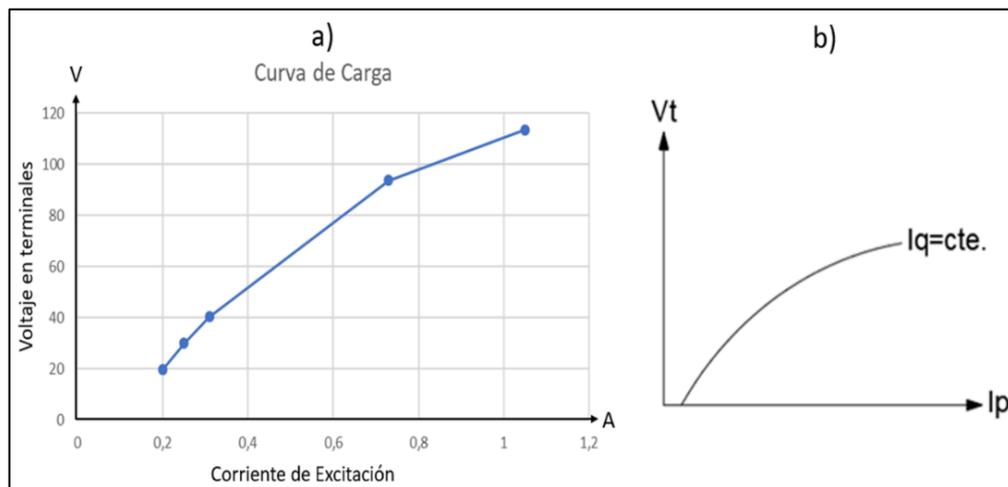


Figura 5.41. Curva de carga: a) Práctica y b) Laboratorio

- Curva de regulación

Se realiza la comparación de la curva de regulación entre la corriente de excitación sobre la corriente de carga en el generador shunt, tal como se muestra en la figura 5.42, con una obtenida en laboratorio respecto a una obtenida en la práctica, con los siguientes valores de la tabla 5.27:

Tabla 5.27. Valores curva de regulación generador shunt

Reóstato	Corriente de carga	Corriente excitación
Etapa 1	2,36 A	1,02 A
Etapa 2	2,08 A	0,70 A
Etapa 3	1,35 A	0,37 A
Etapa 4	1,10 A	0,25 A
Etapa 5	0,90 A	0,20 A

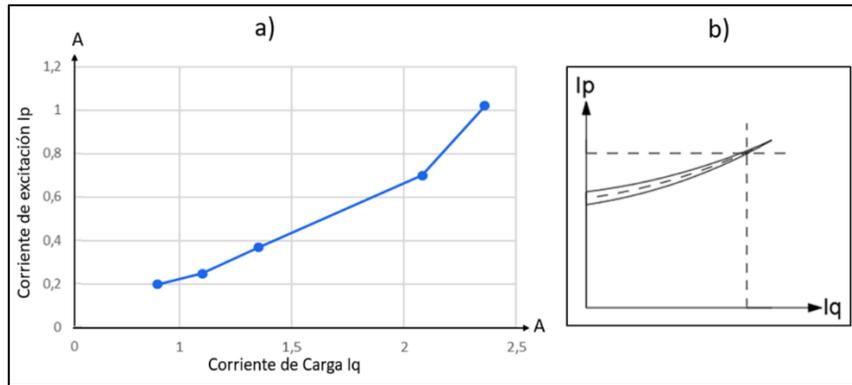


Figura 5.42. Curva de regulación: a) Práctica y b) Laboratorio

- Curva características exteriores

Se realiza la comparación de la curva de características exteriores entre voltaje en los terminales sobre la corriente de carga en el generador shunt, tal como se muestra en la figura 5.43, con una obtenida en laboratorio respecto a una obtenida en la práctica, con los valores de la tabla 5.28:

Tabla 5.28. Valores de la curva características exteriores

Reóstato	Voltaje en terminales	Corriente de carga
Carga 1	107,03 V	0,72 A
Carga 2	101,93 V	1,43 A
Carga 3	91,24 V	2,19 A
Carga 4	87,29 V	2,64 A
Carga 5	83,27 V	3,26 A

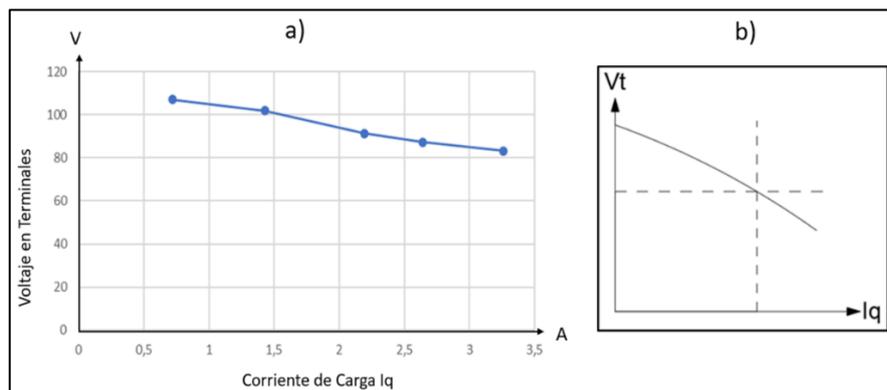


Figura 5.43. Curva características exteriores: a) Práctica y b) Laboratorio

5.6.7.3. Datos de los parámetros eléctricos generador compound

- Porcentaje de error en sensor de voltaje “ V_t ”

El cálculo del porcentaje de error en los terminales “ V_t ” del generador, será la comparación entre la medición del Fluke 179 y el sensor de voltaje “divisor de voltaje”, con una frecuencia de 30 Hz, tal como se muestra en la tabla 5.29.

Tabla 5.29. Porcentaje de error en sensor de voltaje “Vt”, generador compound

Cargas en paralelo	V. Fluke	V. Sensor	% Error
R _{T1-P} - 30Hz	47,50 V	46,60 V	3,79 %
R _{T1-P} – 20 Hz	23,70 V	22,95 V	3,16 %

- Porcentaje de error en sensor de corriente de carga “I_q”

Sera la comparación entre la medición realizada por el Fluke 179 y el sensor ACS-712-5A, la comprobación del porcentaje de error de la corriente de carga, se muestra en la tabla 5.30.

Tabla 5.30. Porcentaje de error, corriente de carga, generador compound

Cargas en paralelo	I. Fluke	I. Sensor ACS-712	% Error
RT1-P - 30Hz	2,25 A	2,32 A	3,11 %
RT1-P – 20 Hz	1,70 A	1,62 A	4,71 %

- Porcentaje de error en sensor de corriente de excitación “I_p”

Sera la comparación de las medidas registradas por el equipo Fluke 179 y el sensor ACS-712-5A para la comprobación de la corriente de excitación a diferente resistencia de excitación con una carga total, como se muestra en la tabla 5.31.

Tabla 5.31. Porcentaje de error, corriente de excitación, con carga, generador compound

Resistencia de excitación (Carga Total)	I. Fluke	I. Sensor ACS-712	% Error
R1= 350 Ω	0,163 A	0,17 A	4,29 %
R2= 200 Ω	0,239 A	0,23 A	3,76 %
R3= 50 Ω	0,43 A	0,42 A	2,33 %

- Curva de carga generador compound

Se realiza la comparación de la curva de carga en función de la corriente de excitación con voltaje en los terminales en el generador shunt, se muestra en la figura 5.44, con una obtenida en laboratorio respecto a una obtenida en la práctica, con los siguientes valores de la tabla 5.32:

Tabla 5.32. Valores de la curva de carga

Reóstato	Voltaje	Corriente excitación
Etapa 1	97,32 V	1,10 A
Etapa 2	95,51 V	0,90 A
Etapa 3	94,20 V	0,73 A
Etapa 4	92,22 V	0,56 A
Etapa 5	90,91 V	0,48 A
Etapa 6	88,60 V	0,40 A

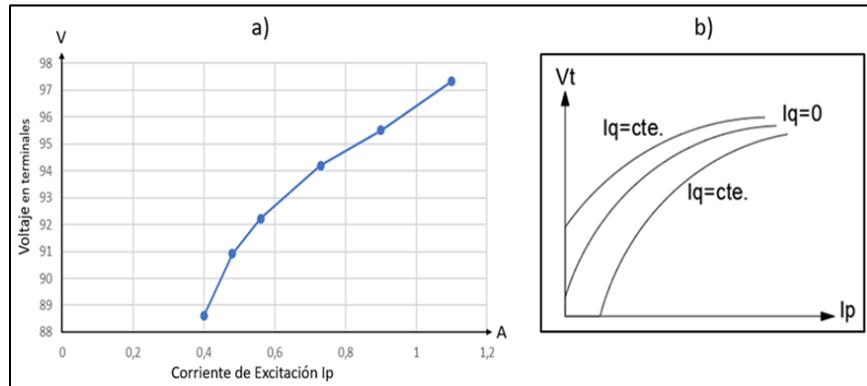


Figura 5.44. Curva de carga: a) Práctica y b) Laboratorio

- Curva características exteriores

Se realiza la comparación de la curva de características exteriores entre voltaje en los terminales y la corriente de carga del generador compound, como muestra la figura 5.45, con una obtenida en laboratorio respecto a una obtenida en la práctica, con los siguientes valores de la tabla 5.33:

Tabla 5.33. Valores de la curva características exteriores

carga	Voltaje (Vt)	Corriente de Carga (Iq)	Potencia (watts)
Carga 1	106,54 V	0,62 A	66,05 W
Carga 2	105,39 V	1,49 A	157,03 W
Carga 3	98,80 V	2,16 A	213,41 W
Carga 4	93,70 V	2,73 A	225,80 W
Carga 5	90,08 V	3,02 A	272,04 W

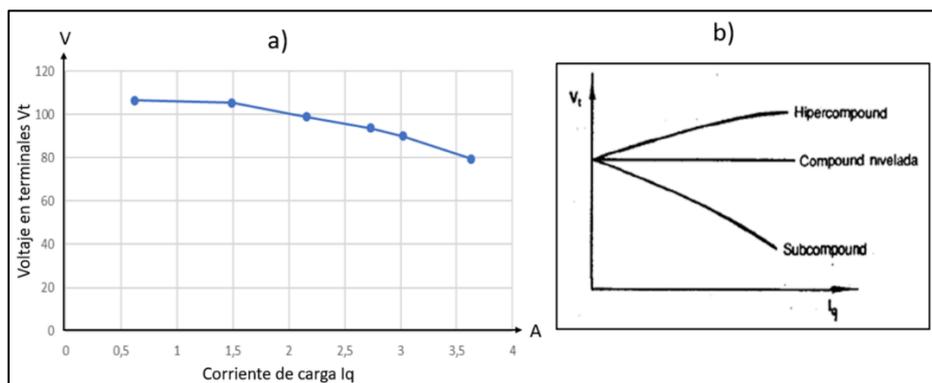


Figura 5.45. Curva características exteriores: a) Práctica y b) Laboratorio

- Curva Voltaje en los terminales y generación con respecto a la corriente

Se realiza la comparación de la curva de voltaje de generación y voltaje en los terminales con respecto a la corriente del generador compound, tal como se muestra en la figura 5.46, con los siguientes valores de la tabla 5.34:

Tabla 5.34. Valores de comparación de voltajes generador compound

Carga	Voltaje en los terminales	Voltaje Generación	Corriente
Carga 1	120,03 V	130,89 V	0,67 A
Carga 2	118,39 V	140,27 V	1,55 A
Carga 3	111,80 V	144,10 V	2,31 A
Carga 4	103,91 V	144,70 V	2,73 A
Carga 5	95,51 V	142,25 V	3,37 A

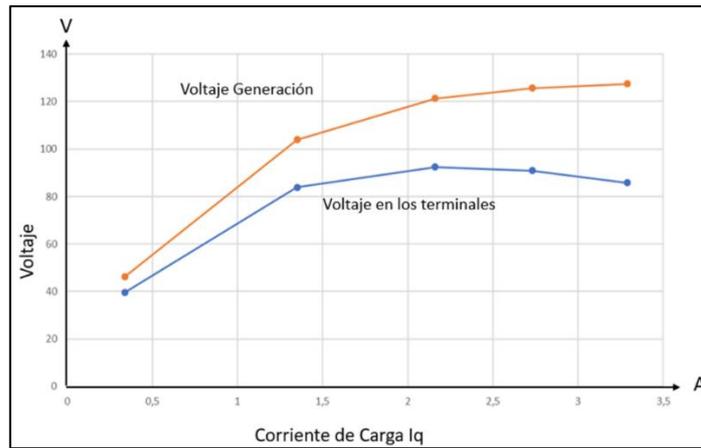


Figura 5.46. Curva de voltaje en terminales y generación, Compound

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTOS

6.2. Presupuesto

- Gastos Directos

Viene referido con los elementos, equipos y materiales usados en la reparación del módulo motor-generador de corriente continua y en la construcción del módulo de adquisición y visualización de variables eléctricas, en la tabla 6.1 y tabla 6.2 se detalla los elementos.

Tabla 6.1. Costo del sistema

COSTO DEL MÓDULO DE VISUALIZACIÓN Y ADQUISICIÓN					
Ítem	Denominación	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Sensor de corriente ACS 712	Unidad	2	\$ 5,60	\$ 11,20
2	Sensor de Corriente 5A.	Unidad	5	\$ 12,50	\$ 64,00
3	Arduino ATmega 2560	Unidad	1	\$ 18,00	\$ 18,00
4	Transformador 220 A 24-12 V	Unidad	5	\$ 10,00	\$ 50,00
5	Pantalla Raspberry Táctil	Unidad	1	\$ 90,00	\$ 90,00
6	Materiales Electrónicos	Unidad	1	\$ 20,00	\$ 20,00
7	Fuente 120-240 VAC a 12 VDC	Unidad	2	\$ 8,00	\$ 16,00
8	Caja de Madera	Unidad	1	\$50,00	\$ 50,00
9	Placa Electrónica	Unidad	1	\$ 60,00	\$ 60,00
10	Raspberry Pi 3 B+	Unidad	1	\$ 77,00	\$ 77,00
11	Caja para Raspberry	Unidad	1	\$ 9,00	\$ 9,00
12	Memory Card 16 Gb tipo 10	Unidad	1	\$ 10,00	\$ 10,00
13	Cargador para Raspberry	Unidad	1	\$ 4,50	\$ 4,50
14	Cable extensor USB	Unidad	1	\$ 4,00	\$ 4,00
15	Materiales Eléctricos	Unidad	1	\$ 16,40	\$ 16,40
				Total (+ IVA)	\$ 500,10

Tabla 6.2. Costos de mejoramiento del módulo

COSTO MEJORAMIENTO DEL MÓDULO					
Ítem	Denominación	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Foco incandescente 120 V	Unidad	6	\$ 1,50	\$ 9,00
2	Sensor Inductivo	Unidad	1	\$ 17,02	\$ 17,02
3	Boquilla	Unidad	6	\$ 3,50	\$ 21,00
4	Fusible cerámico 20 Amp.	Unidad	2	\$ 0,45	\$ 0,90
5	Caja para módulo de prácticas	Unidad	1	\$ 65,00	\$ 65,00
6	Caja para módulo de cargas	Unidad	1	\$ 40,00	\$ 40,00
7	Enchufe Trifásico	Unidad	1	\$ 12,50	\$ 12,50
8	Materiales eléctricos	Unidad	1	\$ 46,16	\$ 46,16
				Total (+ IVA)	\$ 211,58

Los gastos directos totales se detallan en la tabla 6.3:

Tabla 6.3. Costos directos

COSTOS DIRECTOS		
Ítem	Denominación	Precio
1	Costo del módulo de Adquisición y Visualización	\$ 500,10
2	Costos mejoramiento del módulo	\$ 211,58
Precio Total		\$ 721,68

- Gastos Indirectos

Los gastos indirectos vendrán hacer aquellos que influyan en el proyecto, pero no directamente pero que son necesarios para la elaboración del mismo, en la tabla 6.4, se indica los gastos indirectos.

Tabla 6.4. Costos Indirectos

GASTOS INDIRECTOS					
Ítem	Denominación	Unidad	Cantidad	P. Unitario	P. Total
1	Alimentación	Días	40	\$ 3,00	\$ 120,00
2	Transporte	Dólares	2	\$ 50,00	\$ 100,00
3	Gastos Varios		1	\$ 60,00	\$ 60,00
TOTAL (inc. IVA)					\$ 280,00

- Costos Totales

Esta referido a los costos totales de implementación, mejoramiento y gastos varios, para la construcción del módulo.

Tabla 6.5. Costos Totales

COSTOS TOTALES		
Ítem	Denominación	Precio
1	Gastos Directos	\$ 721,68
2	Gastos Indirectos	\$ 280,00
Precio Total		\$ 1001,68

6.3. Análisis de impactos

Aspecto Técnico

El impacto técnico del trabajo está fundamentado en la optimización del banco de pruebas motor-generador de C.C, implementando un sistema de adquisición y visualización de parámetros eléctricos AC y DC en tiempo real.

Aspecto Social

El proyecto tendrá un impacto social positivo debido a que el sistema permitirá a los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica, de la nueva malla curricular, el estudio de los sistemas

SAD, ya que mediante este sistema pondrán en práctica sus conocimientos del área de instalaciones industriales, automatización y control industrial para posteriormente aplicarlos en diseños industriales y SCADA.

Aspecto Económico

El sistema de visualización y adquisición de datos tiene un aspecto económico a gran nivel, debido principalmente a que estos sistemas son de altos costos económicos, por ende, se diseña este módulo con equipos de bajo costo, pero de una buena robustez, los cuales permitirán a los estudiantes interactuar con estos sistemas.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. Conclusiones

- El presente trabajo se implementó un módulo didáctico que permite la visualización de las variables eléctricas en tres etapas (módulo, motor y generador DC) en el banco de pruebas motor-generador de corriente continua del laboratorio de máquinas eléctricas de la Universidad Técnica de Cotopaxi, permitiendo evidenciar el comportamiento de las ondas y variables de voltaje-corriente AC-DC en el dominio del tiempo.
- Para el diseño de la placa electrónica se ocupó el circuito amplificador sumador inversor, ya que este circuito pudo obtener una ganancia mayor a 1 o menor a 1, el cual es idóneo para amplificar o disminuir las señales que ingresaron al arduino MEGA. Se usaron en el acondicionamiento de las señales de voltaje y corriente en las etapas 1 y 2.
- Se determinó que las señales que reciben las pinzas amperimétricas y transformadores de voltaje se deben adecuar de forma que se disminuya el ruido eléctrico y la distorsión, causado por el VDF. Para ello se implementó filtros pasa bajos de manera que se atenúe el ruido eléctrico y se disminuya la distorsión de la onda cuando se adquiera los datos.
- Las mediciones monitoreadas en el sistema se realizaron utilizando el método gráfico de Fourier, que calcula las ondas no senoidales de voltaje y corriente, adquiriendo valores en un intervalo de tiempo para posteriormente obtener el oscilograma de la onda no periódica y calcular los valores RMS de voltaje y corriente, en la etapa 1 y etapa 2.
- Se determinó el funcionamiento del sistema de adquisición y visualización de los parámetros eléctricos en el banco de pruebas motor-generador en C.C, obteniendo para la etapa 1 porcentajes de error inferiores al 5 %, en la etapa 2 errores relativamente bajos en altas frecuencias y altos en bajas frecuencias, con respecto a los equipos de medición y para la etapa 3 se estimó porcentajes de error que no exceden el 5 %.

7.2. Recomendaciones

- Para el reóstato de campo de 400 ohm se de trabajar a voltajes menores o iguales a 110 V_{DC} , es preferible que la frecuencia sea menor a 47 Hz, ya que si se supera dichos valores el reóstato estará propenso a sufrir graves daños.
- Para una medición de la corriente en las etapas 1 y etapa 2 se recomienda que las pinzas se deben colocar en sentido a la carga que se vaya a medir, con en el fin de tener una lectura correcta.
- Al realizar las practicas demostrativas propuestas es importancia seguir lo protocolos de seguridad y pasos que se detallan en la guía de prácticas y manual de usuario, con la finalidad de precautelar la integridad de los estudiantes y realicen conexiones erróneas y dañen los equipos del módulo.
- Una vez acaba la práctica se recomienda primero apagar desde la pantalla Touch, seguidamente el módulo de visualización y posteriormente apagar totalmente el módulo en general de la red, con el fin de evitar daños eléctricos del sistema.

8. REFERENCIAS

- [1] R. Z. Rangel, «Adquisición, control y monitoreo de parámetros eléctricos y velocidad de un motor trifasico,» *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, n° 5, p. 26, 2016.
- [2] L. Moreno, M. Cruz y J. Ramiro, «Monitoreo en Tiempo Real de las Variables Físicas de un panel solar a traves de labview,» *Asociación Mexicana de Mecatrónica A.C*, vol. 3, n° 2, p. 27, 2014.
- [3] J. Eduar, J. Perez y M. Rodriguez, «Implementación de un sistema de adquisición de datos para monitorear una máquina de corriente continua,» 2010. [En línea].
- [4] C. J. Pérez Morales, Monitoreo y adquisición de datos de un motor de corriente directa de imanes permanentes, México D.F.: Instituto Politécnico Nacional, 2011.
- [5] R. Lopez y E. Mora, Diseño e Implementación de un módulo didáctico para una red de comunicación Industrial Utilizando Protocolo abierto Mosbus RTU-TCP/IP para monitoreo, control local y remoto de la estación de multivARIABLES físicas [Pregrado], Latacunga: ESPE-L, 2017.
- [6] B. Chacon y E. Velasco, Diseño y construcción de un módulo didactico de Adquisición de datos del sistema de entrenamiento electromecánico [Pregrado], Latacunga: ESPE-L, 2018.

- [7] R. S. Chacón Morales, Simulación de una plan generadora de energía eléctrica a base deenergía geotérmica[Pregrado], El Salvador: Universidad de El Salvador, 2012.
- [8] J. Martinez, L. Contreras y J. Rossette, «Implementación de un Servidor OPC para el Control de Arranque y Paro de un Motor Trifásico [Tesis],» *Tecnologico Nacional de Mexico en Celaya*, vol. 39, n° 129, pp. 143-161, 2018.
- [9] Y. Perez y I. Osuna, «Desarrollo de software SCADA para planta piloto de concreto seco con protocolo ETHERNET/IP [Tesis],» *Tecnológico Nacional de México en Celaya*, vol. 39, n° 128, pp. 1270 - 1285, 2018.
- [10] E. Hernandez, «Sistema scada de la planta piloto de tratamiento de aguas,» Universidad Tecnológica de Queretaro, 09 2014. [En línea]. Available: <http://docplayer.es/4109124-Universidad-tecnologica-dequeretaro-sistema-scada-de-la-planta-piloto-de-tratamiento-de-aguasuniversidad-tecnologica-de-queretaro.html>.
- [11] M. Magos, J. Lara, R. Ramirez, D. Farfán, M. Figueroa y Z. Gutierrez, «Tablero didáctico para prácticas con Controladores Logicos programables,» *Pistas Educativas*, vol. 38, n° 120, pp. 77 - 93, 2016.
- [12] J. A. Edminister, M. Nahvi y E. Sanchez, Circuitos eléctricos, vol. 3, McGraw-Hill, 1997.
- [13] W. Romero, «Motores y Generadores de Corriente Continua,» 2008. [En línea].
- [14] F. Vargas y M. Saldarriaga, Máquinas Eléctricas Rotativas, Lima-Perú: Megaprint Ediciones S.A., 1990.
- [15] V. Moreta, «Implementación de un motor-generator de corriente continua, en el laboratorio de máquinas eléctricas de la universidad técnica de cotopaxi para realizar prácticas demostrativas,» 2015. [En línea].
- [16] B. Ruggero y M. Sanchez, «Incidencias de Cargas No Lineales en Transformadores de Distribución,» *UCSA*, vol. 1, n° 1, pp. 33-51, 2014.
- [17] G. E. Harper, Fundamentos de instalaciones eléctricas de media y alta tensión, Limusa, 1972.
- [18] G. Ferro, Análisis armónico de magnitudes NO senoidales, Universidad Nacional de Mar del Plata, 2016.
- [19] W. Ramos, Diseño de un control semiautomatizado usando PLC-S7-200 con interfaz SCADA de una planya de tratamiento de aguas residuales biológico de lodos activados basado en la modalidad de aireación extendida, Perú: Universidad Nacional del Altiplano, 2013.
- [20] National Instruments, «Adquisición de Datos,» 2018. [En línea].

- [21] N. Juan, Diseño e Integración de un sistema de adquisición de datos mediante el uso de Arduino y Raspberry-Pi, Mexico D.F.: Universidad Nacional Autonoma de Mexico, 2014.
- [22] J. Macias, Diseño e Implementación de un prototipo de control y monitoreo de procesos con sistemas embebidos arduino y raspberry Pi para PYMES, Riobamba: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo, 2018.
- [23] J. Sanchez y E. Niño, Diseño de una interfaz Labview y arduino e implementacion de un programa aplicado a la maquina de vacio, Bogota: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, 2018.
- [24] P. Turmero, «Comunicación Serial: Conceptos generales,» <https://www.monografias.com>, 2018. [En línea]. Available: <https://www.monografias.com/trabajos104/comunicacion-serial-conceptos-generales/comunicacion-serial-conceptos-generales.shtml>. [Último acceso: 25 09 2019].

ANEXOS

9. ANEXOS

ANEXO I. CODIGO ARDUINO

```
int MUESTRAS=270;
int VDC=0, IDC_1=0, IDC_2=0;
unsigned int datos[10][270];
long ini_intep[6]={0,0,0,0,0,0},T1,frec_onda;
float freq=0;
bool cont_freq=1;
char separador[24]={'A','B','C','D','E','F','G','H','I','J','K','L','M','N','O','P','Q','R','S','T','U','V','W','X'};
int nextt=1,s_1=0,cont_int=0,a=0;
void setup()
{
  Serial.begin(115200); // velocidad de comunicacion serial con rap
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(22, OUTPUT);
  analogWrite(8, 0);
  digitalWrite(2,HIGH); //Apagado de motor
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), intep_1, FALLING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3), intep_2, FALLING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(21), intep_3, FALLING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(20), intep_4, FALLING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(19), intep_5, FALLING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(18), intep_6, FALLING);
} //Fin setup
////////// encendido y apagado del variador de frecuencia //////////
void loop()
{ if (Serial.available()){
  a = Serial.parseInt();
  if(a<250)
    analogWrite(4, a);//Frecuencia de motor 0-249=>0-60Hz
  else
  if(a==250)
    digitalWrite(5,LOW); //Encendido de motor
  else
  if(a>250)
    digitalWrite(5,HIGH);// Apagado de motor
  interrupts();
  cont_int=0;
  VDC= analogRead(10);//
  IDC_1= analogRead(11);//
  IDC_2= analogRead(12);//
  //ARMA LA MATRIX DE DATOS/////
  for(int j=0;j<MUESTRAS;j++)
    for(int i=0;i<10;i++){
      datos[i][j]=analogRead(i); }
  enviar_datos();
} }
//////////ENVIAMOS Y SEPARAMOS FILAS-COLUMNAS MATRIZ DE DATOS
void enviar_datos(){
  for(int j=0;j<10;j++){
  Serial.print(separador[j]);
  for(int i=0;i<MUESTRAS;i++){
    Serial.print(datos[j][i]);
```

```

    Serial.print(","); }
}
Serial.print(separador[10]);
Serial.print(VDC);
Serial.print(separador[11]);
Serial.print(IDC_1);
Serial.print(separador[12]);
Serial.print(IDC_2);
Serial.print(separador[13]);
for(int i=0;i<6;i++){
    Serial.print(ini_intep[i]);
    Serial.print(separador[14+i]); }
Serial.print(freq);
Serial.print(separador[20]);
Serial.print(ini_intep[1]-ini_intep[0]);
Serial.println("Z"); }
void intep_6()
{ ini_intep[5] = micros();
  if (cont_freq){
    T1 = ini_intep[5];
    cont_freq=0;
    s_1=0;
  } else {
    unsigned long frec_onda=micros();
    frec_onda = (1000000000/(frec_onda-T1));
    frec=frec_onda/1000;
    cont_freq=1;
  } cont_int=cont_int+1;
  if(cont_int==50)
    noInterrupts();
} void intep_2()
{ ini_intep[1] = micros();
} void intep_3()
{ ini_intep[2] = micros();
} void intep_4()
{ ini_intep[3] = micros();
} void intep_5()
{ ini_intep[4] = micros();
} void intep_1()
{ ini_intep[0] = micros();
}

```

ANEXO II. Código Python para cálculos e interfaz gráfica

```

from PIL import Image, ImageTk
import math
import tkinter as tk

```

```

import numpy as np
import serial
from matplotlib.backends.backend_tkagg import FigureCanvasTkAgg,
NavigationToolbar2Tk
from matplotlib.figure import Figure
import matplotlib.pyplot as plt
import os
save_figure = NavigationToolbar2Tk.save_figure
import time
ser = serial.Serial('COM7', 115200) #com solopara windows
#ser = serial.Serial('/dev/ttyACM0', 115200)
ser.close()
ser.open()
time.sleep(1)
cv=0

VL1_mos = 0
VL2_mos = 0;
IL1_mos = 0;
IL2_mos = 0
VR_mos = 0;
VS_mos = 0;
VT_mos = 0;
IR_mos = 0;
IS_mos = 0;
IT_mos = 0;
Vdc_mos = 0
Ip_mos = 0
Iq_mos =0
freq_mos = 0;

VL1_save = [0]
VL2_save = [0]
IL1_save = [0]
IL2_save= [0]
VR_save= [0]
VS_save= [0]
VT_save= [0]
IR_save= [0]
IS_save= [0]
IT_save= [0]
Vdc_save= [0]
Ip_save= [0]
Iq_save= [0]
frec_save= [0]
frec_dat= [0]
var_imag=0

plot_faso = False
datos=np.zeros((22,270))

```

```

freq_serial =0;
V_L1_dat=[0]
V_L2_dat=[0]
V_R_dat=[0]
V_S_dat=[0]
V_T_dat=[0]
I_L1_dat=[0]
I_L2_dat=[0]
I_R_dat=[0]
I_S_dat=[0]
I_T_dat=[0]
freq_dat=0
voltaje_gen=[0]
corriente_Ip=[0]
corriente_Iq=[0]

```

Aplicacion de las series de fourier

```

def serie(datos,ampl,ciclo):
    try:
        if(len(datos)==0):
            datos=[0]
        angulos = (np.arange(len(datos)))*ciclo*math.pi/(len(datos))
        prim_s = np.zeros(len(datos))
        prim_c = np.zeros(len(datos))
        seg_s = np.zeros(len(datos))
        seg_c = np.zeros(len(datos))
        ter_s = np.zeros(len(datos))
        ter_c = np.zeros(len(datos))
        for i in range(len(datos)):
            prim_s[i] = ampl*datos[i] * math.sin(angulos[i])
            prim_c[i] = ampl*datos[i] * math.cos(angulos[i])
            seg_s[i] = ampl*datos[i] * math.sin(3*angulos[i])
            seg_c[i] = ampl*datos[i] * math.cos(3*angulos[i])
            ter_s[i] = ampl*datos[i] * math.sin(5*angulos[i])
            ter_c[i] = ampl*datos[i] * math.cos(5*angulos[i])
        sum_1_s = 2*sum(prim_s)/len(datos)
        sum_1_c = 2*sum(prim_c)/len(datos)
        sum_2_s = 2*sum(seg_s)/len(datos)
        sum_2_c = 2*sum(seg_c)/len(datos)
        sum_3_s = 2*sum(ter_s)/len(datos)
        sum_3_c = 2*sum(ter_c)/len(datos)
        res_1=(sum_1_s**2+sum_1_c**2)**0.5
        res_2=(sum_2_s**2+sum_2_c**2)**0.5
        res_3=(sum_3_s**2+sum_3_c**2)**0.5
        ang1=0
        ang2=0
        ang3=0
        if(sum_1_s==0):
            sum_1_s=1

```

```

if(sum_2_s==0):
    sum_2_s=1
if(sum_3_s==0):
    sum_3_s=1
try:
    ang1=math.atan(sum_1_c/sum_1_s)
    ang2=math.atan(sum_2_c/sum_2_s)
    ang3=math.atan(sum_3_c/sum_3_s)
except:
    None
return(res_1,res_2,res_3,ang1,ang2,ang3)
except:
    return(0,0,0,0,0,0)

```

```

##### Calculo de la Integral (Area bajo la Curva)
#####

```

```

def onda(h):
    cont=1
    lim1=0
    lim2=0
    for i in range (len(h)-1):
        if(h[i]<0 and h[i+1]>=0):
            if(cont==1):
                lim1=i
                cont+=1
            else:
                lim2=i
                break
    return(h[lim1:lim2+1],lim1,lim2+1)

```

```

##### Integral

```

```

def integral(h):
    try:
        acum=0
        for i in range(len(h)):
            acum=acum+abs(h[i])
        inte=0
        if(len(h)>0):
            inte= (acum/len(h))
        return(inte)
    except:
        return(0)

```

```

##### Verificamos la señal de ingreso y calculamos (max y min) de la grafica
#####

```

```

def tratamiento(datos):
    val_max=max(datos)

```

```

    val_min=min(datos)
    amplitud=(val_max-val_min)
    if(amplitud>0):
        datos_n=(datos-val_min-(amplitud/2))
        datos_n=datos_n/(max(datos_n))
    else:
        datos_n=datos*0
    return(datos_n)
def reset_serie():
    global voltaje_gen; global corriente_Ip; global corriente_Iq
    voltaje_gen=[0]
    corriente_Ip=[0]
    corriente_Iq=[0]

##### Encendido - Apagado y Variacion de frecuencia
(VDF)#####

def detener():
    global freq_serial; global cv;
    cv=0;
    freq_serial=0
    read_serial(255)
def funcion_ini():
    read_serial(250)
    read_serial(freq_serial)
def freq_plus():
    global freq_serial
    freq_serial=freq_serial+1
    if (freq_serial>60):
        freq_serial=60
def freq_less():
    global freq_serial
    freq_serial=freq_serial-1
    if (freq_serial<0):
        freq_serial=0
def escal(freq):
    escalado=freq
    return (escalado)

##### Recepcion y Desempaque de la Matriz de datos
#####

def read_serial(freq_serial):
    global datos;global a; global b
    global V_L1_dat ; global V_L2_dat ; global voltaje_gen; global corriente_Ip; global
corriente_Iq
    global I_L1_dat ; global I_L2_dat ;global freq_dat
    global V_R_dat; global V_S_dat ; global V_T_dat ; global I_R_dat; global I_S_dat; global
I_T_dat
    ser.write(str.encode(str(freq_serial)))

```

```

read_dato="";
while(read_dato!='A'):
    read_dato=ser.read().decode()
letra_num=0;
for i in ['B','C','D','E','F','G','H','I','J','K','L','M','N','O','P','Q','R','S','T','U','Z']:
    num_dato=0;
    while(read_dato!=i):
        read_dato=ser.read().decode()
        str_num=""
        while(read_dato.isdigit()or read_dato=='.' or read_dato=='-'):
            str_num=str_num+read_dato;
            read_dato=ser.read().decode()
        try:
            datos[letra_num][num_dato]=float(str_num)
        except:
            None
        num_dato=num_dato+1
    letra_num=letra_num+1
V_L1_dat=datos[0]
V_L2_dat=datos[1]
I_L1_dat=datos[2]
I_L2_dat=datos[3]
I_R_dat=datos[4]
I_S_dat=datos[5]
I_T_dat=datos[6]
V_R_dat=datos[7]
V_S_dat=datos[8]
V_T_dat=datos[9]
freq_dat = datos[19][0]

```

Pantalla Principal

```

principal = tk.Tk()
principal.title('Mediciones')
principal.geometry("800x400")
image=Image.open("C:/Users/HP/Desktop/Universidad/10.- Decimo
A/final/Imagenes/SISTEMA DE ADQUISICIOND E DATOS DE UN MOTOR
GENERADOR/Codigo_raspberry/fondos/Principal.png")
img_copy= image.copy()
background_image = ImageTk.PhotoImage(image)
background = tk.Label(principal, image=background_image)
background.pack(fill=tk.BOTH, expand=True)

param_ac = tk.Button(principal, text="Parametros AC", bg="Green",
fg="white",font=('Agency FB:',12),height = 2, width = 15)
parar_sistem = tk.Button(principal, text="Apagar", bg="Red", fg="white",font=('Agency
FB:',12),height = 2, width = 15)
graf_ac = tk.Button(principal, text="Graficas AC", bg="Green", fg="white",font=('Agency
FB:',12),height = 2, width = 15)

```

```

graf_dc = tk.Button(principal, text="Parametros DC", bg="Green",
fg="white",font=('Agency FB:',12),height = 2, width = 15)
param_ac.place(x=10,y=290)
graf_ac.place(x=210,y=290)
graf_dc.place(x=410,y=290)
parar_sistem.place(x=610,y=290)

V_L1_var=tk.StringVar()
V_L1_var.set('0.0')
V_L2_var=tk.StringVar()
V_L2_var.set('0.0')
I_L1_var=tk.StringVar()
I_L1_var.set('0.0')
I_L2_var=tk.StringVar()
I_L2_var.set('0.0')
V_R_var=tk.StringVar()
V_R_var.set('0.0')
V_S_var=tk.StringVar()
V_S_var.set('0.0')
V_T_var=tk.StringVar()
V_T_var.set('0.0')
I_R_var=tk.StringVar()
I_R_var.set('0.0')
I_S_var=tk.StringVar()
I_S_var.set('0.0')
I_T_var=tk.StringVar()
I_T_var.set('0.0')
freq_mod_med=tk.StringVar()
freq_mod_med.set('0.0')
freq_var=tk.StringVar()
freq_var.set('0.0')
vdc_var=tk.StringVar()
vdc_var.set('0.0')
ip_var=tk.StringVar()
ip_var.set('0.0')
iq_var=tk.StringVar()
iq_var.set('0.0')

def pid_p(error):
    kp=1.0
    print(error)
    P= kp*error;
    CV=P
    return(CV)
def app():
    global datos
    global freq_serial; global V_L1_dat ; global V_L2_dat ; global voltaje_gen; global
corriente_Ip; global corriente_Iq
    global V_R_dat; global V_S_dat ; global V_T_dat ; global I_R_dat ; global I_S_dat ; global
I_T_dat

```

```

global I_L1_dat ; global I_L2_dat ; global a; global b; global freq_dat; global cv;
def change_plot():
    global plot_faso
    plot_faso=not(plot_faso);

```

```

##### Pantalla Graficas AC #####

```

```

def graf_AC_screen():
    sin_screen = tk.Toplevel(principal)
    sin_screen.title('Graficas AC')
    sin_screen.geometry("800x400")
    sin_screen.transient(principal)
    fig = Figure(figsize=(1,3), dpi=100)
    ax = fig.add_subplot(111)
    ax.set_xlabel("X axis")
    ax.set_ylabel("Y axis")
    ax.grid()

    graph = FigureCanvasTkAgg(fig, master=sin_screen)
    graph.get_tk_widget().pack(side=tk.BOTTOM,fill=tk.BOTH,expand=False)
    toolbar = NavigationToolbar2Tk(graph, sin_screen)
    toolbar.update()
    ini_mot = tk.Button(sin_screen, text="Iniciar", command=funcion_ini, bg="Green",
fg="white",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 5)
    ini_mot.place(x=480,y=15)
    parar_boton = tk.Button(sin_screen, text="Parar", command=detener, bg="Red",
fg="white",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 5)
    parar_boton.place(x=580,y=15)
    reg_boton = tk.Button(sin_screen, text="Regresar", command=sin_screen.destroy,
bg="yellow", fg="black",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 6)
    reg_boton.place(x=680,y=15)
    mas_boton = tk.Button(sin_screen, text="+", command=freq_plus, bg="black",
fg="white",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 2)
    mas_boton.place(x=290,y=15)
    menos_boton = tk.Button(sin_screen, text="-", command=freq_less, bg="black",
fg="white",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 2)
    menos_boton.place(x=420,y=15)
    hertz=tk.Label(sin_screen, text='Hz', width=2 ,font=('Agency FB:',20))
    hertz.place(x=380,y=15)
    freq_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=freq_var,font=('Agency FB:',21), width = 2)
    freq_txt.place(x=340,y=15)

```

```

##### Declaramos las pestañas para seleccionar el parametro que deseamos graficar

```

```

CheckVar1 = tk.IntVar()
CheckVar2 = tk.IntVar()
CheckVar3 = tk.IntVar()
CheckVar4 = tk.IntVar()
CheckVar5 = tk.IntVar()

```

```

CheckVar6 = tk.IntVar()
CheckVar7 = tk.IntVar()
volt_check = tk.Checkbutton(sin_screen, text = "Voltaje", variable = CheckVar1, onvalue
= 1, offvalue = 0,font=('Agency FB:',10))
corr_check = tk.Checkbutton(sin_screen, text = "Corriente", variable =
CheckVar2,onvalue = 1, offvalue = 0,font=('Agency FB:',10))
r_check = tk.Checkbutton(sin_screen, text = "R", variable = CheckVar3, onvalue = 1,
offvalue = 0,font=('Agency FB:',10))
s_check = tk.Checkbutton(sin_screen, text = "S", variable = CheckVar4, onvalue = 1,
offvalue = 0,font=('Agency FB:',10))
t_check = tk.Checkbutton(sin_screen, text = "T", variable = CheckVar5, onvalue = 1,
offvalue = 0,font=('Agency FB:',10))
l1_check = tk.Checkbutton(sin_screen, text = "L1", variable = CheckVar6,onvalue = 1,
offvalue = 0,font=('Agency FB:',10))
l2_check = tk.Checkbutton(sin_screen, text = "L2", variable = CheckVar7,onvalue = 1,
offvalue = 0,font=('Agency FB:',10))
volt_check.place(x=115,y=5)
corr_check.place(x=115,y=25)
r_check.place(x=5,y=5)
s_check.place(x=5,y=25)
t_check.place(x=5,y=45)
l1_check.place(x=60,y=5)
l2_check.place(x=60,y=25)
def loop_plot():
    global cv
    if(CheckVar2.get() or CheckVar1.get()):
        cv=cv+(int(pid_p(freq_serial-freq_dat)))
        if (cv<0):
            cv=0
        if (cv>218):
            cv=218
        read_serial(cv)
    x=np.linspace(0,1700,270)
    ax.cla()
    ax.grid()

```

Visualizacion graficas DC

```

def graf_DC_screen():
    global var_imag
    sin_screen = tk.Toplevel(principal)
    sin_screen.title('Graficas DC')
    sin_screen.geometry("800x400")
    sin_screen.transient(principal)
    fig = Figure(figsize=(1,3), dpi=100)
    ax = fig.add_subplot(121)
    ax2 = fig.add_subplot(122)
    ax.grid()
    ax2.grid()
    graph = FigureCanvasTkAgg(fig, master=sin_screen)

```

```

graph.getTk_widget().pack(side=tk.BOTTOM,fill=tk.BOTH,expand=False)
toolbar = NavigationToolbar2Tk(graph, sin_screen)
toolbar.update()

ini_mot = tk.Button(sin_screen, text="Iniciar", command=funcion_ini, bg="Green",
fg="white",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 6)
ini_mot.place(x=500,y=15)
parar_boton = tk.Button(sin_screen, text="Parar", command=detener, bg="Red",
fg="white",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 6)
parar_boton.place(x=600,y=15)
reg_boton = tk.Button(sin_screen, text="Regresar", command=sin_screen.destroy,
bg="Yellow", fg="black",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 8)
reg_boton.place(x=685,y=15)
mas_boton = tk.Button(sin_screen, text="+", command=freq_plus, bg="black",
fg="white",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 2)
mas_boton.place(x=260,y=15)
menos_boton = tk.Button(sin_screen, text="-", command=freq_less, bg="black",
fg="white",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 2)
menos_boton.place(x=370,y=15)
hertz=tk.Label(sin_screen, text='Hz', width=2 ,font=('Agency FB:',25))
hertz.place(x=410,y=15)
freq_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=freq_var,font=('Agency FB:',25), width = 4)
freq_txt.place(x=290,y=15)
inf_boton = tk.Button(sin_screen, text="Informacion", bg="Blue",
fg="white",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 12)
inf_boton.place(x=100,y=15)
rest_boton = tk.Button(sin_screen, text="Limpiar", command=reset_serie,bg="Green",
fg="white",font=('Agency FB:',10),height = 1, width = 5)
rest_boton.place(x=240,y=68)
lab_vdc= tk.Label(sin_screen, text='Vt (V)', width=6 ,font=('Agency FB:',15))
lab_vdc.place(x=300,y=68)
lab_vdc= tk.Label(sin_screen, text='Ip (A)', width=6 ,font=('Agency FB:',15))
lab_vdc.place(x=440,y=68)
lab_vdc= tk.Label(sin_screen, text='Iq (A)', width=6 ,font=('Agency FB:',15))
lab_vdc.place(x=580,y=68)
voldc_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=vdc_var,font=('Agency FB:',15), width = 5)
voldc_txt.place(x=370,y=68)
Ip_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=ip_var,font=('Agency FB:',15), width = 5)
Ip_txt.place(x=510,y=68)
Iq_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=iq_var,font=('Agency FB:',15), width = 5)
Iq_txt.place(x=650,y=68)

##### Lista de opciones para tipos conexion del generador DC
#####

opciones=[("Shunt",1),("Serie",2),("Compound",3)]
CheckVar1 = tk.IntVar()
CheckVar2 = tk.IntVar()
CheckVar3 = tk.IntVar()

```

```

C1 = tk.Checkbutton(sin_screen, text = "Shunt", variable = CheckVar1, onvalue = 1,
offvalue = 0,font=('Agency FB:',10))
C2 = tk.Checkbutton(sin_screen, text = "Serie", variable = CheckVar2,onvalue = 1,
offvalue = 0,font=('Agency FB:',10))
C3 = tk.Checkbutton(sin_screen, text = "Compound", variable = CheckVar3,onvalue = 1,
offvalue = 0,font=('Agency FB:',10))
C1.place(x=5,y=5)
C2.place(x=5,y=25)
C3.place(x=5,y=45)

```

Calculo de voltaje DC y corrientes DC

```

def loop_plot():
    global cv;global var_imag
    if(CheckVar2.get() or CheckVar1.get() or CheckVar3.get()):
        cv=cv+(int(pid_p(freq_serial-freq_dat)))
        if (cv<0):
            cv=0
        if (cv>218):
            cv=218
        read_serial(cv)
        dato_v=((datos[10][0])*0.16455+0.23914)
        dato_ip=((datos[11][0])-508)/35.57
        dato_iq=((datos[12][0])-512)/35.57
        vdc_var.set(round(dato_v,2))
        ip_var.set(round(dato_ip,2))
        iq_var.set(round(dato_iq,2))
        voltaje_gen.append(dato_v)
        corriente_Ip.append(dato_ip)
        corriente_Iq.append(dato_iq)
    x=np.linspace(0,1700,270)
    ax.cla()
    ax.grid()
    ax2.cla()
    ax2.grid()
    ax.plot(voltaje_gen,'red',label='Vt')
    ax2.plot(corriente_Ip,'red',label='Ip')
    ax2.plot(corriente_Iq,'blue',label='Iq')
    if(CheckVar1.get()):
        var_imag=1
    elif(CheckVar2.get()):
        var_imag=2
    elif(CheckVar3.get()):
        var_imag=3
    else:
        var_imag=0
    ax.legend()
    ax2.legend()
    ax.set_ylabel('Voltaje[V]')
    ax2.set_ylabel('Corriente[A]')

```

```

graph.draw()
sin_screen.after(10,loop_plot)

##### Visualizacion de los parametros AC medidos y calculados
#####

def Parametros_AC():
    global VL1_mos;global VL2_mos;global IL1_mos;global IL2_mos;
    global VR_mos;global VS_mos;global VT_mos;global IR_mos;global IS_mos;global
IT_mos;
    global PL1_mos;global QL1_mos;global SL1_mos;
    global PL2_mos;global QL2_mos;global SL2_mos;
    global PR_mos;global QR_mos;global SR_mos;
    global PS_mos;global QS_mos;global SS_mos;
    global PT_mos;global QT_mos;global ST_mos;
    global FP_L1_mos;global FP_L2_mos;global FP_R_mos;global FP_S_mos;global
FP_T_mos;
    global Vdc_mos; global Ip_mos; global Iq_mos; global freq_mos;
    global P_mod_mos;global Q_mod_mos;global S_mod_mos;
    global P_mot_mos;global Q_mot_mos;global S_mot_mos;
    global FP_mod_mos;global FP_mot_mos;global freq_dat

    sin_screen = tk.Toplevel(principal)
    sin_screen.title('Parametros AC')
    sin_screen.geometry("800x400")
    sin_screen.transient(principal)
    image=Image.open("C:/Users/HP/Desktop/Universidad/10.- Decimo
A/final/Imagenes/SISTEMA DE ADQUISICIOND E DATOS DE UN MOTOR
GENERADOR/Codigo_raspberry/fondos/fondo_21.png")
    img_copy= image.copy()
    background_image = ImageTk.PhotoImage(image)
    background = tk.Label(sin_screen, image=background_image)
    background.pack(fill=tk.BOTH, expand=True)

    ini_mot = tk.Button(sin_screen, text="Iniciar", command=funcion_ini, bg="Green",
fg="white",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 5)
    ini_mot.place(x=480,y=15)
    parar_boton = tk.Button(sin_screen, text="Parar", command=detener, bg="Red",
fg="white",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 5)
    parar_boton.place(x=580,y=15)
    reg_boton = tk.Button(sin_screen, text="Regresar", command=sin_screen.destroy,
bg="Yellow", fg="black",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 6)
    reg_boton.place(x=680,y=15)
    mas_boton = tk.Button(sin_screen, text="+", command=freq_plus, bg="black",
fg="white",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 1)
    mas_boton.place(x=295,y=15)
    menos_boton = tk.Button(sin_screen, text="-", command=freq_less, bg="black",
fg="white",font=('Agency FB:',15),height = 1, width = 1)
    menos_boton.place(x=420,y=15)
    hertz= tk.Label(sin_screen, text='Hz', width=2 ,font=('Agency FB:',20))

```

```

hertz.place(x=380,y=15)
freq_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=freq_var,font=('Agency FB:',21), width = 2)
freq_txt.place(x=335,y=15)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='Modulo', width=10 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=20,y=165)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='Motor', width=10 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=20,y=310)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='L1', width=2 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=180,y=130)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='L2', width=2 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=180,y=180)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='V', width=1 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=325,y=130)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='V', width=1 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=325,y=180)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='A', width=1 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=450,y=130)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='A', width=1 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=450,y=180)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='R', width=1 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=180,y=250)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='S', width=1 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=180,y=300)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='T', width=1 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=180,y=350)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='V', width=1 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=325,y=250)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='V', width=1 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=325,y=300)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='V', width=1 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=325,y=350)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='A', width=1 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=450,y=250)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='A', width=1 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=450,y=300)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='A', width=1 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=450,y=350)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='Voltaje', width=6 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=240,y=80)
modulo= tk.Label(sin_screen, text='Corriente', width=8 ,font=('Agency FB:',17))
modulo.place(x=360,y=80)

```

```

##### VOLTAJE Y CORRIENTES (MODULO Y MOTOR)
VL1_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=V_L1_var,font=('Agency FB:',17), width = 6)
VL1_txt.place(x=240,y=130)
VL2_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=V_L2_var,font=('Agency FB:',17), width = 6)
VL2_txt.place(x=240,y=180)
I_L1_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=I_L1_var,font=('Agency FB:',17), width = 5)
I_L1_txt.place(x=375,y=130)
I_L2_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=I_L2_var,font=('Agency FB:',17), width = 5)

```

```

I_L2_txt.place(x=375,y=180)
V_R_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=V_R_var,font=('Agency FB:',17), width = 6)
V_R_txt.place(x=240,y=250)
V_S_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=V_S_var,font=('Agency FB:',17), width = 6)
V_S_txt.place(x=240,y=300)
V_T_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=V_T_var,font=('Agency FB:',17), width = 6)
V_T_txt.place(x=240,y=350)
I_R_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=I_R_var,font=('Agency FB:',17), width = 5)
I_R_txt.place(x=375,y=250)
I_S_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=I_S_var,font=('Agency FB:',17), width = 5)
I_S_txt.place(x=375,y=300)
I_T_txt=tk.Entry(sin_screen,textvariable=I_T_var,font=('Agency FB:',17), width = 5)
I_T_txt.place(x=375,y=350)
def loop_datos():
    global cv;
    if(1):
        cv=cv+(0.01*int(pid_p(freq_serial-freq_dat)))*0+1*int(freq_serial-freq_dat)
        if (cv<0):
            cv=0
        if (cv>218):
            cv=218
        read_serial(cv)

```

CALCULO LINEA 1 "L1" DEL MODULO

```

_,lim_inf,lim_sup=onda(tratamiento(V_L1_dat))
co=integral(I_L1_dat)*max(I_L1_dat)/1023
vo=integral(V_L1_dat)*max(V_L1_dat)/1023
vo=vo/2**0.5;
if(co>0):
    II1=(0.0655*co -3.8)
else:
    II1=0
co_2=(integral(I_L1_dat)/1023)*II1*1.41421
datos_volt=((tratamiento(V_L1_dat)))[lim_inf:lim_sup]
datos_corr=((tratamiento(I_L1_dat)))[lim_inf:lim_sup]
res_corr=serie(datos_corr,II1,2)
res_volt=serie(datos_volt,130,2)
corr_t=(II1**2+(res_corr[0]**2+res_corr[1]**2+res_corr[2]**2)/2)**0.5
volt_t=(130+res_volt[0]**2+res_volt[1]**2+res_volt[2]**2)**0.5
V_L1_var.set(round(volt_t,2))
I_L1_var.set(round(corr_t,2))
VL1_mos = volt_t
IL1_mos = corr_t

```

CALCULO LINEA 2 "L2" DEL MODULO

```

_,lim_inf,lim_sup=onda(tratamiento(V_L2_dat))
co=integral(I_L2_dat)*max(I_L2_dat)/1023
vo=integral(V_L2_dat)*max(V_L2_dat)/1023

```

```

vo=(vo/2**0.5)*0.39146
if(co>0):
    Il2=(0.0655*co -3.8)
else:
    Il2=0
co_2=(integral(I_L2_dat)/1023)*Il2*1.41421
datos_volt=((tratamiento(V_L2_dat))[lim_inf:lim_sup]
datos_corr=((tratamiento(I_L2_dat))[lim_inf:lim_sup]
res_corr=serie(datos_corr,Il2,2)
res_volt=serie(datos_volt,130,2)
corr_t=(Il2**2+(res_corr[0]**2+res_corr[1]**2+res_corr[2]**2)/2)**0.5
volt_t=(130+res_volt[0]**2+res_volt[1]**2+res_volt[2]**2)**0.5
V_L2_var.set(round(volt_t,2))
I_L2_var.set(round(corr_t,2))
VL2_mos = volt_t
IL2_mos = corr_t

```

```

##### CALCULO FASE "R" SALIDA VARIADOR DE FRECUENCIA
#####

```

```

_,lim_inf,lim_sup=onda(tratamiento(I_R_dat))
co_v=integral(I_R_dat)*max(I_R_dat)/1023
I_R_sal = (co_v*0.06931985-1.014542451)
if (I_R_sal<0):
    I_R_sal=0
volt_R = ((3.646616541)*(freq_dat)+(4.657894737))/math.sqrt(3)
V_R_sal=(integral(tratamiento(V_R_dat)))*volt_R
datos_volt=((tratamiento(V_R_dat))[lim_inf:lim_sup]
datos_corr=((tratamiento(I_R_dat))[lim_inf:lim_sup]
res_corr=serie(datos_corr,I_R_sal,2)
res_volt=serie(datos_volt,volt_R,2)
corr_t=(I_R_sal+res_corr[0]**2+res_corr[1]**2+res_corr[2]**2)**0.5
volt_t=(volt_R**2+(res_volt[0]**2+res_volt[1]**2+res_volt[2]**2)/2)**0.5
if(freq_dat<5):
    V_R_var.set("--")
    I_R_var.set("--")
else:
    V_R_var.set(round(volt_t,2))
    I_R_var.set(round(corr_t,2))
VR_mos = volt_t
IR_mos = corr_t

```

```

##### CALCULO FASE "S" SALIDA VARIADOR DE FRECUENCIA
#####

```

```

_,lim_inf,lim_sup=onda(tratamiento(I_S_dat))
co_v=integral(I_S_dat)*max(I_S_dat)/1023
I_S_sal = (co_v*0.06931985-1.014542451)
if (I_S_sal<0):
    I_S_sal=0

```

```

volt_S = ((3.646616541)*(freq_dat)+(4.657894737))/math.sqrt(3)
V_S_sal=(integral(tratamiento(V_S_dat)))*volt_S
datos_volt=((tratamiento(V_S_dat)))[lim_inf:lim_sup]
datos_corr=((tratamiento(I_S_dat)))[lim_inf:lim_sup]
res_corr=serie(datos_corr,I_S_sal,2)
res_volt=serie(datos_volt,volt_S,2)
corr_t=(I_S_sal+res_corr[0]**2+res_corr[1]**2+res_corr[2]**2)**0.5
volt_t=(volt_S**2+(res_volt[0]**2+res_volt[1]**2+res_volt[2]**2)/2)**0.5
if(freq_dat<5):
    V_S_var.set("--")
    I_S_var.set("--")
else:
    V_S_var.set(round(volt_t,2))
    I_S_var.set(round(corr_t,2))
VS_mos = volt_t
IS_mos = corr_t

```

```

##### CALCULO FASE "T" SALIDA VARIADOR DE FRECUENCIA
#####

```

```

_,lim_inf,lim_sup=onda(tratamiento(I_T_dat))
co_v=integral(I_T_dat)*max(I_T_dat)/1023
I_T_sal = (co_v*0.06931985-1.014542451)
if (I_T_sal<0):
    I_T_sal=0
volt_T = ((3.646616541)*(freq_dat)+(4.657894737))/math.sqrt(3)
V_T_sal=(integral(tratamiento(V_T_dat)))*volt_T
datos_volt=((tratamiento(V_T_dat)))[lim_inf:lim_sup]
datos_corr=((tratamiento(I_T_dat)))[lim_inf:lim_sup]
res_corr=serie(datos_corr,I_T_sal,2)
res_volt=serie(datos_volt,volt_T,2)
corr_t=(I_T_sal+res_corr[0]**2+res_corr[1]**2+res_corr[2]**2)**0.5
volt_t=(volt_T**2+(res_volt[0]**2+res_volt[1]**2+res_volt[2]**2)/2)**0.5
if(freq_dat<5):
    V_T_var.set("--")
    I_T_var.set("--")
else:
    V_T_var.set(round(volt_t,2))
    I_T_var.set(round(corr_t,2))
VT_mos = volt_t
IT_mos = corr_t

```

```

##### APAGADO DEL SISTEMA #####

```

```

def apagar_fn():
    MsgBox=tk.messagebox.askquestion ('APAGAR EQUIPO?','¿Esta seguro que desea
apagar el equipo?',icon = 'question')
    if MsgBox == 'yes':
        principal.destroy()
        os.system("sudo shutdown -h now")

```

```

def guardar_fn():
    directory = tk.filedialog.asksaveasfilename(title='Guardar Mediciones',initialfile='Mediciones',defaultextension=".xlsx")
    df = pd.DataFrame({'VL1(V)':VL1_save,'VL2(V)':VL2_save,'I1(A)':IL1_save,'I2(A)':IL2_save,'VR(V)':VR_save,'VS(V)':VS_save,'VT(V)':VT_save,'IR(A)':IR_save,'IS(A)':IS_save,'IT(A)':IT_save,'P_motor(W)':P_mot_save,'Q_motor(VAR)':Q_mot_save,'S_motor(VA)':S_mot_save,'P_modulo(W)':P_mod_save,'Q_modulo(VAR)':Q_mod_save,'S_modulo(VA)':S_mod_save,'Vt(V)':Vdc_save,'I_carga(A)':Ip_save,'I_exitacion(A)':Iq_save,'FRECUENCIA(Hz)':frec_save})
    print (directory)
    df.to_excel(directory)

#####Botones #####
graf_ac.config(command=graf_AC_screen)
graf_dc.config(command=graf_DC_screen)
param_ac.config(command=Parametros_AC)
parar_sistem.config(command=apagar_fn)
guardar_boton.config(command=guardar_fn)

actual_datos()
principal.after(1000,app)
app()
principal.mainloop()

```

ANEXO III. Tablas de cálculos de parámetros eléctricos AC

ETAPA 1. APLENA CARGA “CORRIENTE LÍNEA 1”

ETAPA 1 PLENA CARGA L1							
CORRIENTE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	YCOS(θ)	YSEN(3* θ)	YCOS(3* θ)	YSEN(5* θ)	YCOS(5* θ)
21,1765	3,1021	1,1206	2,8927	2,7769	1,3827	2,9837	-0,8489
42,3529	3,0175	2,0329	2,2300	2,4080	-1,8185	-1,5885	-2,5656
63,5294	3,0175	2,7012	1,3450	-0,5545	-2,9662	-2,0329	2,2300
84,7059	2,9752	2,9625	0,2745	-2,8617	-0,8142	2,6633	1,3262
105,8824	3,0316	2,9159	-0,8296	-2,0424	2,2404	0,5571	-2,9800
127,0588	3,0880	2,4643	-1,8610	1,1155	2,8795	-3,0749	0,2849
148,2353	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
169,4118	4,0046	0,7358	-3,9364	2,1081	-3,4048	3,1957	-2,4133
190,5882	3,5675	-0,6555	-3,5067	-1,8780	-3,0331	-2,8469	-2,1499
211,7647	3,7508	-1,9745	-3,1890	-3,7348	0,3461	-1,3549	3,4975
232,9412	3,6380	-2,9032	-2,1924	-1,3142	3,3923	3,6224	0,3357
254,1176	3,6521	-3,5126	-0,9994	2,4604	2,6989	-0,6711	-3,5899
275,2941	3,6098	-3,5944	0,3331	3,4720	-0,9879	-3,2313	1,6090
296,4706	7,8258	-7,0054	3,4883	1,4380	-7,6926	5,2722	5,7834
317,6471	7,8117	-5,2627	5,7730	-6,2339	-4,7076	4,1124	-6,6417
338,8235	2,8060	-1,0137	2,6165	-2,5119	1,2508	-2,6989	-0,7679
360,0000	3,1444	0,0000	3,1444	0,0000	3,1444	0,0000	3,1444
	SUMA	-10,9887	5,5830	-5,3523	-8,0897	4,9074	-3,7461
	TOTALES	-1,2928	0,6568	-0,6297	-0,9517	0,5773	-0,4407
		SEN	COS	SEN	COS	SEN	COS

IT	10,3910
-----------	----------------

ETAPA 1. APLENA CARGA “VOLTAJE LÍNEA 1”

ETAPA 1 PLENA CARGA L1							
VOLTAJE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	YCOS(θ)	YSEN(3* θ)	YCOS(3* θ)	YSEN(5* θ)	YCOS(5* θ)
21,1100	45,8643	16,5185	42,7864	40,9847	20,5863	44,1855	-12,2953
42,2200	85,5545	57,4909	63,3591	68,6312	-51,0816	-44,1918	-73,2575
63,3300	113,6863	101,5908	51,0282	-19,7219	-111,9626	-78,0403	82,6697
84,4400	126,4591	125,8641	12,2524	-121,1380	-36,2971	111,8633	58,9788
105,5500	122,1472	117,6762	-32,7451	-83,8483	88,8223	25,9169	-119,3661
126,6600	101,3333	81,2888	-60,5026	34,6248	95,2342	-101,1652	5,8332
147,7700	66,8292	35,6413	-56,5317	66,3741	7,7854	21,5919	63,2450
168,8800	23,2965	4,4931	-22,8591	12,8107	-19,4579	19,2222	-13,1617

189,9900	-23,3836	4,0565	23,0291	11,6812	20,2569	17,8998	15,0463
211,1000	-66,9045	34,5584	57,2882	66,7936	-3,8513	27,7449	-60,8805
232,2100	-101,3867	80,1220	62,1266	40,2168	-93,0692	-100,1522	-15,7730
253,3200	-122,1715	117,0308	35,0664	-78,4649	-93,6436	14,0420	121,3618
274,4300	-126,4509	126,0731	-9,7672	-123,0644	29,0685	117,1188	-47,6761
295,5400	-113,6468	102,5417	-48,9978	-26,2988	110,5620	-69,4981	-89,9200
316,6500	-85,4890	58,6842	-62,1654	65,4404	55,0084	-51,1502	68,4984
337,7600	-45,7816	17,3278	-42,3758	42,0543	-18,0940	42,6833	16,5558
358,8700	0,1108	-0,0022	0,1108	-0,0066	0,1106	-0,0109	0,1103
	SUMA	1080,9560	11,1026	-2,9313	-0,0227	-1,9400	-0,0310
	TOTALES	127,1713	1,3062	-0,3449	-0,0027	-0,2282	-0,0036

VT	127,1787
-----------	-----------------

ETAPA 1. ENCENDIDO VDF "CORRIENTE LÍNEA 1"

ETAPA 1 ENCENDIDO VDF L1							
CORRIENTE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	YCOS(θ)	YSEN(3* θ)	YCOS(3* θ)	YSEN(5* θ)	YCOS(5* θ)
21,1765	0,4114	0,1486	0,3836	0,3682	0,1834	0,3957	-0,1126
42,3529	0,3998	0,2693	0,2954	0,3190	-0,2409	-0,2104	-0,3399
63,5294	0,3981	0,3564	0,1775	-0,0732	-0,3913	-0,2682	0,2942
84,7059	0,4164	0,4146	0,0384	-0,4005	-0,1139	0,3727	0,1856
105,8824	0,4031	0,3877	-0,1103	-0,2716	0,2979	0,0741	-0,3962
127,0588	0,3998	0,3190	-0,2409	0,1444	0,3728	-0,3981	0,0369
148,2353	0,3832	0,2017	-0,3258	0,3815	0,0354	0,1384	0,3573
169,4118	0,3417	0,0628	-0,3359	0,1799	-0,2905	0,2727	-0,2059
190,5882	0,3898	-0,0716	-0,3832	-0,2052	-0,3314	-0,3111	-0,2349
211,7647	0,3931	-0,2070	-0,3342	-0,3915	0,0363	-0,1420	0,3666
232,9412	0,3848	-0,3071	-0,2319	-0,1390	0,3588	0,3832	0,0355
254,1176	0,3898	-0,3749	-0,1067	0,2626	0,2881	-0,0716	-0,3832
275,2941	0,3931	-0,3915	0,0363	0,3781	-0,1076	-0,3519	0,1752
296,4706	0,2654	-0,2376	0,1183	0,0488	-0,2609	0,1788	0,1961
317,6471	0,4363	-0,2939	0,3224	-0,3481	-0,2629	0,2297	-0,3709
338,8235	0,4014	-0,1450	0,3743	-0,3593	0,1789	-0,3861	-0,1099
360,0000	0,4130	0,0000	0,4130	0,0000	0,4130	0,0000	0,4130
	SUMA	0,1315	0,0903	-0,1057	0,1650	-0,0942	-0,0930
	TOTALES	0,0155	0,0106	-0,0124	0,0194	-0,0111	-0,0109
		SEN	COS	SEN	COS	SEN	COS

IT	1,2005
-----------	---------------

ETAPA 1. APLENA CARGA “CORRIENTE LÍNEA 2”

ETAPA 1 PLENA CARGA L2							
CORRIENTE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	YCOS(θ)	YSEN(3* θ)	YCOS(3* θ)	YSEN(5* θ)	YCOS(5* θ)
21,1765	3,2006	1,1562	2,9845	2,8651	1,4266	3,0784	-0,8759
42,3529	2,9327	1,9757	2,1673	2,3403	-1,7673	-1,5439	-2,4934
63,5294	3,0032	2,6884	1,3386	-0,5518	-2,9521	-2,0232	2,2194
84,7059	2,9750	2,9623	0,2745	-2,8614	-0,8141	2,6631	1,3261
105,8824	3,0596	2,9428	-0,8373	-2,0612	2,2611	0,5622	-3,0075
127,0588	1,4664	1,1702	-0,8837	0,5297	1,3673	-1,4601	0,1353
148,2353	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
169,4118	3,7928	0,6969	-3,7282	1,9966	-3,2247	3,0267	-2,2857
190,5882	3,7364	-0,6866	-3,6728	-1,9669	-3,1767	-2,9817	-2,2517
211,7647	3,7364	-1,9669	-3,1767	-3,7204	0,3447	-1,3497	3,4841
232,9412	3,7505	-2,9929	-2,2602	-1,3548	3,4972	3,7345	0,3461
254,1176	3,7082	-3,5666	-1,0148	2,4982	2,7404	-0,6814	-3,6450
275,2941	3,6800	-3,6643	0,3395	3,5395	-1,0071	-3,2942	1,6403
296,4706	11,3360	-10,1476	5,0529	2,0830	-11,1430	7,6370	8,3774
317,6471	2,8622	-1,9283	2,1152	-2,2841	-1,7249	1,5068	-2,4335
338,8235	2,6648	-0,9626	2,4849	-2,3854	1,1878	-2,5631	-0,7293
360,0000	2,9750	0,0000	2,9750	0,0000	2,9750	0,0000	2,9750
	SUMA	-12,3233	4,1588	-1,3338	-10,0097	6,3114	2,7817
	TOTAL	-1,4498	0,4893	-0,1569	-1,1776	0,7425	0,3273
		SEN	COS	SEN	COS	SEN	COS

IT	10,4139883
-----------	-------------------

ETAPA 1. APLENA CARGA “VOLTAJE LÍNEA 2”

ETAPA 1 PLENA CARGA L2							
VOLTAJE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	YCOS(θ)	YSEN(3* θ)	YCOS(3* θ)	YSEN(5* θ)	YCOS(5* θ)
21,1100	44,1196	15,8901	41,1587	39,4255	19,8031	42,5046	-11,8275
42,2200	82,3174	55,3156	60,9618	66,0345	-49,1489	-42,5197	-70,4857
63,3300	109,4668	97,8202	49,1343	-18,9899	-107,8071	-75,1438	79,6014
84,4400	121,9237	121,3501	11,8130	-116,7935	-34,9953	107,8514	56,8636
105,5500	118,0161	113,6964	-31,6377	-81,0125	85,8183	25,0404	-115,3290
126,6600	98,2686	78,8304	-58,6728	33,5776	92,3540	-98,1057	5,6567
147,7700	65,3316	34,8426	-55,2649	64,8868	7,6110	21,1081	61,8277
168,8800	23,6259	4,5566	-23,1823	12,9918	-19,7331	19,4940	-13,3479
189,9900	-21,2508	3,6865	20,9286	10,6158	18,4093	16,2672	13,6740
211,1000	-63,2753	32,6838	54,1806	63,1704	-3,6424	26,2399	-57,5781

232,2100	-96,8071	76,5030	59,3204	38,4002	-88,8653	-95,6284	-15,0605
253,3200	-117,3455	112,4080	33,6812	-75,3655	-89,9445	13,4874	116,5679
274,4300	-122,1340	121,7691	-9,4338	-118,8632	28,0762	113,1205	-46,0485
295,5400	-110,5299	99,7294	-47,6540	-25,5775	107,5297	-67,5920	-87,4538
316,6500	-84,0905	57,7242	-61,1484	64,3699	54,1085	-50,3134	67,3778
337,7600	-46,3647	17,5484	-42,9154	42,5899	-18,3245	43,2269	16,7666
358,8700	-2,4158	0,0476	-2,4153	0,1429	-2,4116	0,2378	-2,4041
	SUMA	1044,4020	-1,1460	-0,3969	-1,1625	-0,7249	-1,1994
	TOTAL	122,8708	-0,1348	-0,0467	-0,1368	-0,0853	-0,1411

VT	123,3196
-----------	-----------------

ETAPA 1. ENCENDIDO VDF "CORRIENTE LÍNEA 2"

ETAPA 1 ENCENDIDO L2							
CORRIENTE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	Y COS(θ)	YSEN(3* θ)	Y COS(3* θ)	YSEN(5* θ)	Y COS(5* θ)
21,1765	0,3925	0,1418	0,3660	0,3514	0,1750	0,3775	-0,1074
42,3529	0,4045	0,2725	0,2989	0,3228	-0,2438	-0,2130	-0,3439
63,5294	0,4011	0,3590	0,1788	-0,0737	-0,3943	-0,2702	0,2964
84,7059	0,3994	0,3977	0,0368	-0,3841	-0,1093	0,3575	0,1780
105,8824	0,2451	0,2358	-0,0671	-0,1651	0,1811	0,0450	-0,2409
127,0588	0,4268	0,3406	-0,2572	0,1542	0,3980	-0,4250	0,0394
148,2353	0,4234	0,2229	-0,3600	0,4216	0,0391	0,1529	0,3948
169,4118	0,4148	0,0762	-0,4077	0,2184	-0,3527	0,3310	-0,2500
190,5882	0,4079	-0,0750	-0,4010	-0,2148	-0,3468	-0,3255	-0,2458
211,7647	0,4097	-0,2157	-0,3483	-0,4079	0,0378	-0,1480	0,3820
232,9412	0,4182	-0,3338	-0,2520	-0,1511	0,3900	0,4164	0,0386
254,1176	0,3857	-0,3709	-0,1055	0,2598	0,2850	-0,0709	-0,3791
275,2941	0,4474	-0,4455	0,0413	0,4303	-0,1224	-0,4005	0,1994
296,4706	0,4285	-0,3836	0,1910	0,0787	-0,4212	0,2887	0,3167
317,6471	0,3925	-0,2644	0,2901	-0,3132	-0,2365	0,2066	-0,3337
338,8235	0,4028	-0,1455	0,3756	-0,3606	0,1795	-0,3874	-0,1102
360,0000	0,4062	0,0000	0,4062	0,0000	0,4062	0,0000	0,4062
	TOTALES	-0,1878	-0,0141	0,1666	-0,1353	-0,0646	0,2403
		-0,0221	-0,0017	0,0196	-0,0159	-0,0076	0,0283

IT	1,2408
-----------	---------------

ETAPA 2. FRECUENCIA DE 20 Hz “VOLTAJE FASE R”

ETAPA 2 A 20 Hz LINEA R							
VOLTAJE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	YCOS(θ)	YSEN(3* θ)	YCOS(3* θ)	YSEN(5* θ)	YCOS(5* θ)
8	4,1953	0,5839	4,1545	1,7064	3,8326	2,6967	3,2138
16	45,1000	12,4312	43,3529	33,5158	30,1778	44,4148	7,8315
24	3,5279	1,4349	3,2229	3,3552	1,0902	3,0553	-1,7640
32	3,8140	2,0211	3,2344	3,7931	-0,3987	1,3044	-3,5839
40	45,1000	28,9897	34,5486	39,0577	-22,5500	-15,4251	-42,3801
48	3,7186	2,7635	2,4882	2,1857	-3,0084	-3,2204	-1,8593
56	45,1000	37,3896	25,2196	9,3768	-44,1145	-44,4148	7,8315
64	2,9558	2,6567	1,2957	-0,6145	-2,8912	-1,9000	2,2643
72	3,2419	3,0832	1,0018	-1,9055	-2,6227	0,0000	3,2419
80	2,8605	2,8170	0,4967	-2,4772	-1,4302	1,8387	2,1912
88	4,1953	4,1928	0,1464	-4,1724	-0,4385	4,1316	0,7285
96	2,7651	2,7500	-0,2890	-2,6298	0,8545	2,3947	-1,3826
104	2,8605	2,7755	-0,6920	-2,1257	1,9140	0,9783	-2,6880
112	-27,7465	-25,7261	10,3940	11,2855	-25,3477	9,4899	26,0732
120	3,0512	2,6424	-1,5256	0,0000	3,0512	-2,6424	-1,5256
128	-32,5140	-25,6213	20,0176	-13,2246	-29,7030	32,0200	-5,6460
136	3,5279	2,4507	-2,5378	2,6217	2,3606	-2,2677	2,7025
144	2,5744	1,5132	-2,0827	2,4484	0,7955	0,0000	2,5744
152	3,6233	1,7010	-3,1991	3,6034	-0,3787	2,3290	2,7756
160	2,3837	0,8153	-2,2400	2,0644	-1,1919	2,3475	0,4139
168	-39,7605	-8,2667	38,8916	-23,3706	32,1669	-34,4336	19,8802
176	3,7186	0,2594	-3,7095	0,7731	-3,6373	1,2718	-3,4943
184	3,3372	-0,2328	-3,3291	-0,6938	-3,2643	-1,1414	-3,1360
192	-43,9558	9,1389	42,9953	25,8366	35,5610	38,0669	21,9779
200	3,8140	-1,3044	-3,5839	-3,3030	-1,9070	-3,7560	0,6623
208	-44,6233	20,9493	39,4000	44,3788	4,6644	28,6833	-34,1834
216	4,0047	-2,3539	-3,2398	-3,8086	1,2375	0,0000	4,0047
224	-42,6209	29,6070	30,6589	31,6735	-28,5190	-27,3962	-32,6495
232	4,3860	-3,4563	-2,7003	-1,7840	4,0069	4,3194	0,7616
240	3,9093	-3,3856	-1,9547	0,0000	3,9093	3,3856	-1,9547
248	4,7674	-4,4203	-1,7859	1,9391	4,3553	1,6306	-4,4799
256	4,4814	-4,3483	-1,0841	3,3303	2,9986	-1,5327	-4,2111
264	4,9581	-4,9310	-0,5183	4,7155	1,5321	-4,2939	-2,4791
272	4,9581	-4,9551	0,1730	4,9310	-0,5183	-4,8828	0,8610
280	32,8000	-32,3017	5,6957	28,4056	-16,4000	-21,0834	25,1263
288	4,7674	-4,5341	1,4732	2,8022	-3,8569	0,0000	4,7674
296	5,1488	-4,6277	2,2571	1,0705	-5,0363	3,3096	3,9442
304	4,1000	-3,3991	2,2927	-0,8524	-4,0104	4,0377	0,7120
312	4,1953	-3,1178	2,8072	-2,4660	-3,3941	3,6333	-2,0977

320	45,1000	-28,9897	34,5486	-39,0577	-22,5500	15,4251	-42,3801
328	4,1000	-2,1727	3,4770	-4,0775	-0,4286	-1,4023	-3,8527
336	19,4512	-7,9115	17,7695	-18,4992	6,0107	-16,8452	-9,7256
344	45,1000	-12,4312	43,3529	-33,5158	30,1778	-44,4148	7,8315
352	3,8140	-0,5308	3,7768	-1,5513	3,4842	-2,4516	2,9217
	SUMA	-16,0517	384,6711	104,7408	-53,4165	-22,7402	-50,1804
	TOTAL	-0,7296	17,4851	4,7609	-2,4280	-1,0336	-2,2809
		SENO	COSENO	SENO	COSENO	SENO	COSENO

VT	21,9453
-----------	----------------

ETAPA 2. FRECUENCIA DE 20 Hz “CORRIENTE FASE R”

ETAPA 2 20Hz LINEA R							
CORRIENTE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	Y COS(θ)	YSEN(3* θ)	Y COS(3* θ)	YSEN(5* θ)	Y COS(5* θ)
8	-0,2975	-0,0414	-0,2946	-0,1210	-0,2718	-0,1912	-0,2279
16	0,1051	0,0290	0,1011	0,0781	0,0703	0,1035	0,0183
24	0,4959	0,2017	0,4530	0,4716	0,1532	0,4294	-0,2479
32	0,8132	0,4309	0,6897	0,8088	-0,0850	0,2781	-0,7642
40	1,0909	0,7012	0,8357	0,9448	-0,5455	-0,3731	-1,0251
48	1,3686	1,0171	0,9158	0,8044	-1,1072	-1,1852	-0,6843
56	1,6066	1,3319	0,8984	0,3340	-1,5715	-1,5822	0,2790
64	1,8446	1,6579	0,8086	-0,3835	-1,8043	-1,1857	1,4131
72	2,0430	1,9430	0,6313	-1,2008	-1,6528	0,0000	2,0430
80	2,2017	2,1682	0,3823	-1,9067	-1,1008	1,4152	1,6866
88	2,2413	2,2400	0,0782	-2,2290	-0,2343	2,2073	0,3892
96	2,3207	2,3079	-0,2426	-2,2071	0,7171	2,0098	-1,1603
104	2,2413	2,1747	-0,5422	-1,6656	1,4997	0,7666	-2,1062
112	2,2017	2,0413	-0,8248	-0,8955	2,0113	-0,7530	-2,0689
120	2,0826	1,8036	-1,0413	0,0000	2,0826	-1,8036	-1,0413
128	1,9240	1,5161	-1,1845	0,7825	1,7576	-1,8947	0,3341
136	1,7256	1,1987	-1,2413	1,2824	1,1547	-1,1092	1,3219
144	1,5669	0,9210	-1,2677	1,4903	0,4842	0,0000	1,5669
152	1,2893	0,6053	-1,1383	1,2822	-0,1348	0,8287	0,9876
160	1,0116	0,3460	-0,9506	0,8760	-0,5058	0,9962	0,1757
168	0,6942	0,1443	-0,6790	0,4080	-0,5616	0,6012	-0,3471
176	0,3769	0,0263	-0,3759	0,0784	-0,3686	0,1289	-0,3541
184	0,0198	-0,0014	-0,0198	-0,0041	-0,0194	-0,0068	-0,0186
192	-0,3372	0,0701	0,3298	0,1982	0,2728	0,2920	0,1686
200	-0,6149	0,2103	0,5778	0,5325	0,3074	0,6055	-0,1068
208	-0,9719	0,4563	0,8581	0,9666	0,1016	0,6247	-0,7445
216	-1,2893	0,7578	1,0430	1,2262	-0,3984	0,0000	-1,2893

224	-1,5669	1,0885	1,1272	1,1645	-1,0485	-1,0072	-1,2003
232	-1,8446	1,4536	1,1357	0,7503	-1,6852	-1,8166	-0,3203
240	-2,0430	1,7693	1,0215	0,0000	-2,0430	-1,7693	1,0215
248	-2,2017	2,0413	0,8248	-0,8955	-2,0113	-0,7530	2,0689
256	-2,3603	2,2902	0,5710	-1,7541	-1,5794	0,8073	2,2180
264	-2,2810	2,2685	0,2384	-2,1694	-0,7049	1,9754	1,1405
272	-2,2413	2,2400	-0,0782	-2,2290	0,2343	2,2073	-0,3892
280	-2,2810	2,2463	-0,3961	-1,9754	1,1405	1,4662	-1,7473
288	-2,1620	2,0562	-0,6681	-1,2708	1,7491	0,0000	-2,1620
296	-2,0033	1,8006	-0,8782	-0,4165	1,9595	-1,2877	-1,5346
304	-1,8446	1,5293	-1,0315	0,3835	1,8043	-1,8166	-0,3203
312	-1,6066	1,1939	-1,0750	0,9443	1,2998	-1,3914	0,8033
320	-1,4083	0,9052	-1,0788	1,2196	0,7041	-0,4817	1,3233
328	-1,0116	0,5361	-0,8579	1,0060	0,1057	0,3460	0,9506
336	-0,7736	0,3146	-0,7067	0,7357	-0,2390	0,6699	0,3868
344	-0,4562	0,1257	-0,4385	0,3390	-0,3053	0,4493	-0,0792
352	-0,1388	0,0193	-0,1375	0,0565	-0,1268	0,0372	-0,1064
	SUMA	50,1366	-3,6278	-2,1597	-0,4950	-1,1626	0,2504
	TOTAL	2,3319	-0,1687	-0,1005	-0,0230	-0,0541	0,0116
		SENO	COSENO	SENO	COSENO	SENO	COSENO

IT	2,3410
----	--------

ETAPA 2. FRECUENCIA DE 20 Hz “VOLTAJE FASE S”

ETAPA 2 A 20Hz LINEA S							
VOLTAJE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	YCOS(θ)	YSEN(3* θ)	YCOS(3* θ)	YSEN(5* θ)	YCOS(5* θ)
8	-4,5647	-0,6353	-4,5203	-1,8566	-4,1701	-2,9341	-3,4968
16	41,9660	11,5674	40,3403	31,1868	28,0807	41,3285	7,2873
24	-5,2519	-2,1361	-4,7978	-4,9948	-1,6229	-4,5483	2,6259
32	42,1624	22,3426	35,7557	41,9314	-4,4072	14,4204	-39,6197
40	-6,1354	-3,9437	-4,7000	-5,3134	3,0677	2,0984	5,7654
48	-5,4482	-4,0488	-3,6456	-3,2024	4,4077	4,7183	2,7241
56	-6,5280	-5,4120	-3,6504	-1,3573	6,3854	6,4289	-1,1336
64	-4,3684	-3,9263	-1,9150	0,9082	4,2729	2,8079	-3,3464
72	-6,7244	-6,3953	-2,0779	3,9525	5,4401	0,0000	-6,7244
80	-7,0189	-6,9122	-1,2188	6,0785	3,5094	-4,5116	-5,3768
88	-7,1170	-7,1127	-0,2484	7,0781	0,7439	-7,0089	-1,2359
96	-30,4806	-30,3136	3,1861	28,9888	-9,4190	-26,3970	15,2403
104	-6,9207	-6,7151	1,6743	5,1431	-4,6309	-2,3670	6,5033
112	-6,5280	-6,0527	2,4454	2,6552	-5,9637	2,2327	6,1344
120	-6,4299	-5,5684	3,2149	0,0000	-6,4299	5,5684	3,2149

128	-45,5000	-35,8545	28,0126	-18,5065	-41,5663	44,8088	-7,9010
136	-6,1354	-4,2620	4,4134	-4,5595	-4,1054	3,9437	-4,7000
144	-45,5000	-26,7442	36,8103	-43,2731	-14,0603	0,0000	-45,5000
152	-6,0372	-2,8343	5,3305	-6,0041	0,6311	-3,8806	-4,6248
160	-45,5000	-15,5619	42,7560	-39,4042	22,7500	-44,8088	-7,9010
168	-6,7244	-1,3981	6,5774	-3,9525	5,4401	-5,8235	3,3622
176	-6,2335	-0,4348	6,2184	-1,2960	6,0973	-2,1320	5,8576
184	-45,5000	3,1739	45,3892	9,4600	44,5057	15,5619	42,7560
192	-5,8409	1,2144	5,7132	3,4332	4,7254	5,0584	2,9204
200	-45,5000	15,5619	42,7560	39,4042	22,7500	44,8088	-7,9010
208	-5,1537	2,4195	4,5505	5,1255	0,5387	3,3127	-3,9480
216	-45,5000	26,7442	36,8103	43,2731	-14,0603	0,0000	-45,5000
224	-4,9574	3,4437	3,5660	3,6841	-3,3171	-3,1865	-3,7976
232	-4,6629	3,6744	2,8708	1,8966	-4,2598	-4,5921	-0,8097
240	-5,1537	4,4633	2,5769	0,0000	-5,1537	-4,4633	2,5769
248	-19,7805	18,3401	7,4099	-8,0454	-18,0704	-6,7653	18,5876
256	-4,4666	4,3339	1,0806	-3,3193	-2,9887	1,5277	4,1972
264	-4,3684	4,3445	0,4566	-4,1546	-1,3499	3,7831	2,1842
272	-4,4666	4,4638	-0,1559	-4,4421	0,4669	4,3987	-0,7756
280	-3,3867	3,3353	-0,5881	-2,9330	1,6934	2,1769	-2,5944
288	-4,7611	4,5280	-1,4712	-2,7985	3,8518	0,0000	-4,7611
296	-3,2886	2,9557	-1,4416	-0,6837	3,2167	-2,1138	-2,5192
304	-5,4482	4,5168	-3,0466	1,1327	5,3292	-5,3654	-0,9461
312	-4,7611	3,5382	-3,1858	2,7985	3,8518	-4,1232	2,3805
320	42,5550	-27,3538	32,5990	-36,8537	-21,2775	14,5547	-39,9886
328	-4,7611	2,5230	-4,0376	4,7350	0,4977	1,6284	4,4739
336	44,1257	-17,9475	40,3108	-41,9660	13,6356	-38,2140	-22,0628
344	-5,2519	1,4476	-5,0484	3,9029	-3,5142	5,1721	-0,9120
352	44,9110	-6,2504	44,4739	-18,2670	41,0282	-28,8682	34,4038
	SUMA	-78,8817	441,5496	-10,4155	66,5503	28,2357	-94,8801
	TOTAL	-3,5855	20,0704	-0,4734	3,0250	1,2834	-4,3127
		SENO	COSENO	SENO	COSENO	SENO	COSENO

VT	21,9426
-----------	----------------

ETAPA 2. FRECUENCIA DE 20 Hz “CORRIENTE FASE S”

ETAPA 2 A 20Hz LINEA S							
CORRIENTE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	YCOS(θ)	YSEN(3* θ)	YCOS(3* θ)	YSEN(5* θ)	YCOS(5* θ)
8	-0,3675	-0,0511	-0,3639	-0,1495	-0,3357	-0,2362	-0,2815
16	0,0817	0,0225	0,0785	0,0607	0,0546	0,0804	0,0142
24	0,2858	0,1163	0,2611	0,2718	0,0883	0,2475	-0,1429

32	0,7350	0,3895	0,6233	0,7310	-0,0768	0,2514	-0,6907
40	1,0208	0,6562	0,7820	0,8841	-0,5104	-0,3491	-0,9593
48	1,3475	1,0014	0,9017	0,7920	-1,0902	-1,1670	-0,6738
56	1,6333	1,3541	0,9133	0,3396	-1,5976	-1,6085	0,2836
64	1,8783	1,6882	0,8234	-0,3905	-1,8373	-1,2074	1,4389
72	2,0825	1,9806	0,6435	-1,2241	-1,6848	0,0000	2,0825
80	2,1642	2,1313	0,3758	-1,8742	-1,0821	1,3911	1,6578
88	2,3275	2,3261	0,0812	-2,3147	-0,2433	2,2921	0,4042
96	2,2867	2,2741	-0,2390	-2,1747	0,7066	1,9803	-1,1433
104	2,2867	2,2187	-0,5532	-1,6993	1,5301	0,7821	-2,1488
112	2,2458	2,0823	-0,8413	-0,9135	2,0517	-0,7681	-2,1104
120	2,1233	1,8389	-1,0617	0,0000	2,1233	-1,8389	-1,0617
128	2,0008	1,5767	-1,2318	0,8138	1,8279	-1,9704	0,3474
136	1,8375	1,2764	-1,3218	1,3655	1,2295	-1,1811	1,4076
144	1,5925	0,9360	-1,2884	1,5146	0,4921	0,0000	1,5925
152	1,4700	0,6901	-1,2979	1,4619	-0,1537	0,9449	1,1261
160	1,1842	0,4050	-1,1128	1,0255	-0,5921	1,1662	0,2056
168	0,8575	0,1783	-0,8388	0,5040	-0,6937	0,7426	-0,4288
176	0,5717	0,0399	-0,5703	0,1189	-0,5592	0,1955	-0,5372
184	0,2450	-0,0171	-0,2444	-0,0509	-0,2396	-0,0838	-0,2302
192	-0,0408	0,0085	0,0399	0,0240	0,0330	0,0354	0,0204
200	-0,4083	0,1397	0,3837	0,3536	0,2042	0,4021	-0,0709
208	-0,6942	0,3259	0,6129	0,6904	0,0726	0,4462	-0,5318
216	-0,9800	0,5760	0,7928	0,9320	-0,3028	0,0000	-0,9800
224	-1,2658	0,8793	0,9106	0,9407	-0,8470	-0,8137	-0,9697
232	-1,5517	1,2227	0,9553	0,6311	-1,4175	-1,5281	-0,2694
240	-1,8375	1,5913	0,9188	0,0000	-1,8375	-1,5913	0,9188
248	-2,1233	1,9687	0,7954	-0,8636	-1,9398	-0,7262	1,9953
256	-2,2458	2,1791	0,5433	-1,6690	-1,5028	0,7681	2,1104
264	-2,4092	2,3960	0,2518	-2,2913	-0,7445	2,0864	1,2046
272	-2,4092	2,4077	-0,0841	-2,3960	0,2518	2,3726	-0,4183
280	-2,4500	2,4128	-0,4254	-2,1218	1,2250	1,5748	-1,8768
288	-2,3683	2,2524	-0,7319	-1,3921	1,9160	0,0000	-2,3683
296	-2,2458	2,0185	-0,9845	-0,4669	2,1968	-1,4436	-1,7204
304	-2,1233	1,7603	-1,1874	0,4415	2,0769	-2,0911	-0,3687
312	-1,9600	1,4566	-1,3115	1,1521	1,5857	-1,6974	0,9800
320	-1,7558	1,1286	-1,3450	1,5206	0,8779	-0,6005	1,6499
328	-1,4700	0,7790	-1,2466	1,4619	0,1537	0,5028	1,3813
336	-1,2658	0,5149	-1,1564	1,2039	-0,3912	1,0962	0,6329
344	-0,9392	0,2589	-0,9028	0,6979	-0,6284	0,9249	-0,1631
352	0,6125	-0,0852	0,6065	-0,2491	0,5595	-0,3937	0,4692
	SUMA	51,3060	-8,0458	-2,3081	0,9493	-1,0125	1,7774
	TOTAL	2,3863	-0,3742	-0,1074	0,0442	-0,0471	0,0827
		SENO	COSENO	SENO	COSENO	SENO	COSENO

ETAPA 2. FRECUENCIA DE 20 Hz “VOLTAJE FASE T”

ETAPA 2 A 20Hz LINEA T							
VOLTAJE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	YCOS(θ)	YSEN(3* θ)	YCOS(3* θ)	YSEN(5* θ)	YCOS(5* θ)
8	-4,1965	-0,5840	-4,1556	-1,7069	-3,8337	-2,6974	-3,2147
16	43,7494	12,0590	42,0546	32,5121	29,2741	43,0848	7,5970
24	-4,2929	-1,7461	-3,9218	-4,0828	-1,3266	-3,7178	2,1465
32	43,8459	23,2348	37,1834	43,6057	-4,5831	14,9962	-41,2017
40	-4,5824	-2,9455	-3,5103	-3,9684	2,2912	1,5673	4,3060
48	-3,7141	-2,7601	-2,4852	-2,1831	3,0048	3,2165	1,8571
56	-4,9682	-4,1189	-2,7782	-1,0330	4,8597	4,8928	-0,8627
64	-5,0647	-4,5521	-2,2202	1,0530	4,9540	3,2555	-3,8798
72	20,9824	19,9554	6,4839	-12,3331	-16,9751	0,0000	20,9824
80	-5,1612	-5,0828	-0,8962	4,4697	2,5806	-3,3175	-3,9537
88	-5,2576	-5,2544	-0,1835	5,2288	0,5496	-5,1778	-0,9130
96	-5,3541	-5,3248	0,5597	5,0921	-1,6545	-4,6368	2,6771
104	-5,1612	-5,0079	1,2486	3,8355	-3,4535	-1,7652	4,8499
112	-4,8718	-4,5170	1,8250	1,9815	-4,4506	1,6662	4,5780
120	-45,1000	-39,0577	22,5500	0,0000	-45,1000	39,0577	22,5500
128	-4,3894	-3,4589	2,7024	-1,7853	-4,0099	4,3227	-0,7622
136	-4,3894	-3,0491	3,1575	-3,2620	-2,9371	2,8215	-3,3625
144	-4,6788	-2,7501	3,7852	-4,4498	-1,4458	0,0000	-4,6788
152	-45,1000	-21,1732	39,8209	-44,8529	4,7142	-28,9897	-34,5486
160	-4,4859	-1,5343	4,2154	-3,8849	2,2429	-4,4177	-0,7790
168	-5,5471	-1,1533	5,4258	-3,2605	4,4877	-4,8039	2,7735
176	-42,4953	-2,9643	42,3918	-8,8353	41,5667	-14,5342	39,9325
184	-4,4859	0,3129	4,4750	0,9327	4,3879	1,5343	4,2154
192	-45,1000	9,3768	44,1145	26,5091	36,4867	39,0577	22,5500
200	-3,9071	1,3363	3,6714	3,3836	1,9535	3,8477	-0,6785
208	-45,1000	21,1732	39,8209	44,8529	4,7142	28,9897	-34,5486
216	-3,7141	2,1831	3,0048	3,5323	-1,1477	0,0000	-3,7141
224	-6,8012	4,7245	4,8924	5,0543	-4,5509	-4,3717	-5,2100
232	-3,2318	2,5467	1,9897	1,3145	-2,9524	-3,1827	-0,5612
240	-40,3729	34,9640	20,1865	0,0000	-40,3729	-34,9640	20,1865
248	-3,1353	2,9070	1,1745	-1,2752	-2,8642	-1,0723	2,9462
256	-3,0388	2,9486	0,7352	-2,2583	-2,0334	1,0393	2,8556
264	-3,1353	3,1181	0,3277	-2,9818	-0,9689	2,7152	1,5676
272	-2,2671	2,2657	-0,0791	-2,2546	0,2370	2,2326	-0,3937
280	-3,4247	3,3727	-0,5947	-2,9659	1,7124	2,2014	-2,6235
288	-3,7141	3,5323	-1,1477	-2,1831	3,0048	0,0000	-3,7141
296	-3,8106	3,4249	-1,6705	-0,7923	3,7273	-2,4494	-2,9191

304	-3,6176	2,9992	-2,0230	0,7522	3,5386	-3,5627	-0,6282
312	41,8200	-31,0783	27,9830	-24,5812	-33,8331	36,2172	-20,9100
320	-4,1000	2,6354	-3,1408	3,5507	2,0500	-1,4023	3,8527
328	6,9941	-3,7063	5,9313	-6,9558	-0,7311	-2,3921	-6,5723
336	-3,9071	1,5891	-3,5693	3,7158	-1,2073	3,3836	1,9535
344	-4,0035	1,1035	-3,8484	2,9752	-2,6789	3,9427	-0,6952
352	19,5353	-2,7188	19,3452	-7,9457	17,8464	-12,5570	14,9649
	SUMA	7,2251	354,8317	44,5198	-2,9266	104,0302	8,0172
	TOTAL	0,3284	16,1287	2,0236	-0,1330	4,7286	0,3644
		SENO	COSENO	SENO	COSENO	SENO	COSENO

VT	17,7526
-----------	----------------

ETAPA 2. FRECUENCIA DE 20 Hz “CORRIENTE FASE T”

ETAPA 2 A 20Hz LINEA T							
CORRIENTE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	YCOS(θ)	YSEN(3* θ)	YCOS(3* θ)	YSEN(5* θ)	YCOS(5* θ)
8	-0,0626	-0,0087	-0,0620	-0,0255	-0,0572	-0,0402	-0,0480
16	0,2713	0,0748	0,2608	0,2016	0,1815	0,2672	0,0471
24	0,6052	0,2462	0,5529	0,5756	0,1870	0,5241	-0,3026
32	0,8974	0,4755	0,7610	0,8925	-0,0938	0,3069	-0,8433
40	1,1478	0,7378	0,8793	0,9940	-0,5739	-0,3926	-1,0786
48	1,3983	1,0391	0,9356	0,8219	-1,1312	-1,2109	-0,6991
56	1,6487	1,3668	0,9219	0,3428	-1,6127	-1,6236	0,2863
64	1,8991	1,7069	0,8325	-0,3949	-1,8576	-1,2207	1,4548
72	2,0661	1,9650	0,6385	-1,2144	-1,6715	0,0000	2,0661
80	2,1913	2,1580	0,3805	-1,8977	-1,0957	1,4085	1,6786
88	2,2748	2,2734	0,0794	-2,2623	-0,2378	2,2402	0,3950
96	2,3165	2,3038	-0,2421	-2,2031	0,7158	2,0062	-1,1583
104	2,2748	2,2072	-0,5503	-1,6905	1,5221	0,7780	-2,1376
112	2,1913	2,0317	-0,8209	-0,8913	2,0019	-0,7495	-2,0592
120	2,0661	1,7893	-1,0330	0,0000	2,0661	-1,7893	-1,0330
128	1,9409	1,5294	-1,1949	0,7894	1,7731	-1,9114	0,3370
136	1,7739	1,2323	-1,2760	1,3183	1,1870	-1,1402	1,3589
144	1,5235	0,8955	-1,2325	1,4489	0,4708	0,0000	1,5235
152	1,2730	0,5977	-1,1240	1,2661	-0,1331	0,8183	0,9752
160	0,9391	0,3212	-0,8825	0,8133	-0,4696	0,9249	0,1631
168	0,6470	0,1345	-0,6328	0,3803	-0,5234	0,5603	-0,3235
176	0,2713	0,0189	-0,2706	0,0564	-0,2654	0,0928	-0,2549
184	-0,0209	0,0015	0,0208	0,0043	0,0204	0,0071	0,0196
192	-0,3548	0,0738	0,3470	0,2085	0,2870	0,3073	0,1774
200	-0,6052	0,2070	0,5687	0,5241	0,3026	0,5960	-0,1051

208	-0,9391	0,4409	0,8292	0,9340	0,0982	0,6037	-0,7194
216	-1,1896	0,6992	0,9624	1,1313	-0,3676	0,0000	-1,1896
224	-1,5235	1,0583	1,0959	1,1322	-1,0194	-0,9793	-1,1671
232	-1,7322	1,3650	1,0664	0,7045	-1,5824	-1,7059	-0,3008
240	-1,9409	1,6808	0,9704	0,0000	-1,9409	-1,6808	0,9704
248	-2,0243	1,8769	0,7583	-0,8234	-1,8493	-0,6924	1,9023
256	-2,2330	2,1667	0,5402	-1,6595	-1,4942	0,7637	2,0984
264	-2,2330	2,2208	0,2334	-2,1238	-0,6900	1,9339	1,1165
272	-2,2748	2,2734	-0,0794	-2,2623	0,2378	2,2402	-0,3950
280	-2,2330	2,1991	-0,3878	-1,9339	1,1165	1,4354	-1,7106
288	-2,1496	2,0444	-0,6643	-1,2635	1,7390	0,0000	-2,1496
296	-2,0243	1,8195	-0,8874	-0,4209	1,9801	-1,3012	-1,5507
304	-1,8574	1,5398	-1,0386	0,3862	1,8168	-1,8292	-0,3225
312	-1,6487	1,2252	-1,1032	0,9691	1,3338	-1,4278	0,8243
320	-1,4817	0,9524	-1,1351	1,2832	0,7409	-0,5068	1,3924
328	-1,2313	0,6525	-1,0442	1,2246	0,1287	0,4211	1,1570
336	-0,9391	0,3820	-0,8579	0,8932	-0,2902	0,8133	0,4696
344	-0,6470	0,1783	-0,6219	0,4808	-0,4329	0,6371	-0,1123
352	-0,3548	0,0494	-0,3513	0,1443	-0,3241	0,2280	-0,2718
	SUMA	50,2033	-3,8576	-1,1455	0,1933	-0,2875	0,4810
	TOTAL	2,2820	-0,1753	-0,0521	0,0088	-0,0131	0,0219
		SENO	COSENO	SENO	COSENO	SENO	COSENO

IT	2,2894
----	--------

ETAPA 2. FRECUENCIA DE 60 Hz "VOLTAJE FASE R"

ETAPA 2 60Hz LINEA R							
VOLTAJE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	YCOS(θ)	YSEN(3* θ)	YCOS(3* θ)	YSEN(5* θ)	YCOS(5* θ)
21,17	183,847	0,3611	0,9325	0,8950	0,4460	0,9620	-0,2731
42,35	183,847	0,6737	0,7390	0,7981	-0,6025	-0,5262	-0,8504
63,53	7,993	0,0389	0,0194	-0,0080	-0,0427	-0,0293	0,0321
84,71	8,393	0,0455	0,0042	-0,0439	-0,0125	0,0409	0,0203
105,89	-182,648	-0,9555	0,2720	0,6690	-0,7345	-0,1819	0,9767
127,07	-179,051	-0,7771	0,5871	-0,3523	-0,9079	0,9697	-0,0908
148,25	-173,856	-0,4976	0,8041	-0,9417	-0,0865	-0,3427	-0,8814
169,43	-169,060	-0,1687	0,9040	-0,4833	0,7823	-0,7329	0,5553
190,61	-164,663	0,1649	0,8803	0,4724	0,7610	0,7158	0,5384
211,79	13,589	-0,0389	-0,0628	-0,0736	0,0069	-0,0265	0,0690
232,97	14,788	-0,0642	-0,0484	-0,0289	0,0750	0,0801	0,0072
254,15	56,353	-0,2949	-0,0837	0,2069	0,2262	-0,0572	-0,3011
275,33	21,182	-0,1147	0,0107	0,1108	-0,0317	-0,1030	0,0517

296,51	183,847	-0,8949	0,4464	0,1817	-0,9834	0,6762	0,7367
317,69	183,847	-0,6731	0,7395	-0,7994	-0,6008	0,5232	-0,8522
338,87	183,847	-0,3605	0,9328	-0,8941	0,4479	-0,9629	-0,2698
	SUMA	-3,5560	7,0770	-0,2914	-1,2572	1,0052	-0,5313
	TOTAL	-0,4445	0,8846	-0,0364	-0,1572	0,1256	-0,0664
		SENO	COSENO	SENO	COSENO	SENO	COSENO

VT	119,4279
-----------	-----------------

ETAPA 2. FRECUENCIA DE 60 Hz “CORRIENTE FASE R”

ETAPA 2 60Hz LINEA R							
CORRIENTE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	YCOS(θ)	YSEN(3* θ)	YCOS(3* θ)	YSEN(5* θ)	YCOS(5* θ)
21,17	-1,4728	-0,5319	-1,3734	-1,3182	-0,6569	-1,4168	0,4023
42,35	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
63,53	1,5368	1,3757	0,6850	-0,2824	-1,5107	-1,0353	1,1358
84,71	2,7535	2,7418	0,2539	-2,6486	-0,7530	2,4653	1,2265
105,89	3,4579	3,3258	-0,9467	-2,3285	2,5563	0,6331	-3,3994
127,07	3,5860	2,8612	-2,1616	1,2974	3,3431	-3,5703	0,3344
148,25	3,1377	1,6511	-2,6682	3,1246	0,2871	1,1372	2,9244
169,43	2,1132	0,3876	-2,0773	1,1107	-1,7977	1,6843	-1,2761
190,61	0,6404	-0,1179	-0,6294	-0,3377	-0,5441	-0,5117	-0,3849
211,79	-0,8325	0,4385	0,7076	0,8288	-0,0779	0,2990	-0,7769
232,97	-2,1772	1,7381	1,3112	0,7834	-2,0314	-2,1684	-0,1954
254,15	-3,0737	2,9568	0,8395	-2,0746	-2,2680	0,5733	3,0197
275,33	-3,5860	3,5705	-0,3331	-3,4472	0,9878	3,2050	-1,6084
296,51	-3,3939	3,0370	-1,5149	-0,6167	3,3374	-2,2950	-2,5002
317,69	-2,6254	1,7673	-1,9415	2,0987	1,5775	-1,3737	2,2374
338,87	-1,3447	0,4848	-1,2543	1,2023	-0,6023	1,2949	0,3628
	TOTALES	25,6865	-11,1033	-2,6081	1,8473	-1,0792	1,5016
		3,2108	-1,3879	-0,3260	0,2309	-0,1349	0,1877
		SENO	COSENO	SENO	COSENO	SENO	COSENO

IT	3,5283
-----------	---------------

ETAPA 2. FRECUENCIA DE 60 Hz “VOLTAJE FASE S”

ETAPA 2 A 60Hz LINEA S							
VOLTAJE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	Y COS(θ)	YSEN(3* θ)	Y COS(3* θ)	YSEN(5* θ)	Y COS(5* θ)
21,17	109,178	0,214	0,554	0,532	0,265	0,5713	-0,1622
42,35	164,070	0,601	0,660	0,712	-0,538	-0,4696	-0,7589
63,53	154,383	0,752	0,374	-0,154	-0,825	-0,5657	0,6206
84,71	-23,612	-0,128	-0,012	0,124	0,035	-0,1150	-0,0572
105,89	-21,593	-0,113	0,032	0,079	-0,087	-0,0215	0,1155
127,07	-183,847	-0,798	0,603	-0,362	-0,932	0,9956	-0,0932
148,25	-183,847	-0,526	0,850	-0,996	-0,092	-0,3624	-0,9320
169,43	-183,847	-0,183	0,983	-0,526	0,851	-0,7971	0,6039
190,61	-183,847	0,184	0,983	0,527	0,850	0,7992	0,6011
211,79	-18,768	0,054	0,087	0,102	-0,010	0,0367	-0,0953
232,97	-16,346	0,071	0,054	0,032	-0,083	-0,0886	-0,0080
254,15	170,528	-0,892	-0,253	0,626	0,684	-0,1730	-0,9113
275,33	180,618	-0,978	0,091	0,944	-0,271	-0,8781	0,4407
296,51	178,600	-0,869	0,434	0,177	-0,955	0,6569	0,7157
317,69	173,757	-0,636	0,699	-0,755	-0,568	0,4945	-0,8054
338,87	165,685	-0,325	0,841	-0,806	0,404	-0,8678	-0,2431
	TOTALES	-3,5730	6,9784	0,2556	-1,2716	-0,7845	-0,9692
		-0,4466	0,8723	0,0320	-0,1590	-0,0981	-0,1211
		SENO	COSENO	SENO	COSENO	SENO	COSENO

VT	132,035
-----------	----------------

ETAPA 2. FRECUENCIA DE 60 Hz “CORRIENTE FASE S”

ETAPA 2 A 60Hz LINEA S							
CORRIENTE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	Y COS(θ)	YSEN(3* θ)	Y COS(3* θ)	YSEN(5* θ)	Y COS(5* θ)
21,17	-1,4088	-0,5088	-1,3137	-1,2609	-0,6284	-1,3552	0,3848
42,35	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
63,53	1,4728	1,3184	0,6565	-0,2707	-1,4477	-0,9922	1,0885
84,71	2,6895	2,6780	0,2480	-2,5870	-0,7355	2,4079	1,1979
105,89	3,4579	3,3258	-0,9467	-2,3285	2,5563	0,6331	-3,3994
127,07	3,6500	2,9123	-2,2002	1,3205	3,4028	-3,6341	0,3403
148,25	3,1377	1,6511	-2,6682	3,1246	0,2871	1,1372	2,9244
169,43	2,1132	0,3876	-2,0773	1,1107	-1,7977	1,6843	-1,2761
190,61	0,7044	-0,1297	-0,6923	-0,3715	-0,5985	-0,5629	-0,4234
211,79	-0,8325	0,4385	0,7076	0,8288	-0,0779	0,2990	-0,7769
232,97	-2,2412	1,7892	1,3497	0,8065	-2,0911	-2,2322	-0,2012

254,15	-3,1377	3,0184	0,8570	-2,1178	-2,3152	0,5853	3,0827
275,33	-3,6500	3,6342	-0,3391	-3,5088	1,0055	3,2622	-1,6372
296,51	-3,3939	3,0370	-1,5149	-0,6167	3,3374	-2,2950	-2,5002
317,69	-2,4974	1,6811	-1,8468	1,9963	1,5005	-1,3067	2,1282
338,87	-1,3447	0,4848	-1,2543	1,2023	-0,6023	1,2949	0,3628
	TOTALES	25,7181	-11,0348	-2,6722	1,7953	-1,0744	1,2950
		3,2148	-1,3793	-0,3340	0,2244	-0,1343	0,1619
		SENO	COSENO	SENO	COSENO	SENO	COSENO

IT	3,5275
-----------	---------------

ETAPA 2. FRECUENCIA DE 60 Hz “VOLTAJE FASE T”

ETAPA 2 A 60Hz LINEA T							
VOLTAJE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	Y COS(θ)	YSEN(3* θ)	Y COS(3* θ)	YSEN(5* θ)	Y COS(5* θ)
21,17	165,5422	0,3252	0,8397	0,8059	0,4016	0,8662	-0,2459
42,35	-15,5196	-0,0569	-0,0624	-0,0674	0,0509	0,0444	0,0718
63,53	-17,9072	-0,0872	-0,0434	0,0179	0,0957	0,0656	-0,0720
84,71	-20,2948	-0,1099	-0,0102	0,1062	0,0302	-0,0988	-0,0492
105,89	-183,8473	-0,9618	0,2738	0,6734	-0,7393	-0,1831	0,9831
127,07	-183,8473	-0,7979	0,6028	-0,3618	-0,9323	0,9956	-0,0932
148,25	-183,8473	-0,5262	0,8504	-0,9958	-0,0915	-0,3624	-0,9320
169,43	-183,8473	-0,1834	0,9830	-0,5256	0,8507	-0,7971	0,6039
190,61	-183,8473	0,1841	0,9829	0,5274	0,8496	0,7992	0,6011
211,79	-13,5299	0,0388	0,0626	0,0733	-0,0069	0,0264	-0,0687
232,97	-11,5402	0,0501	0,0378	0,0226	-0,0586	-0,0625	-0,0056
254,15	136,4927	-0,7142	-0,2028	0,5011	0,5478	-0,1385	-0,7294
275,33	179,8679	-0,9741	0,0909	0,9405	-0,2695	-0,8744	0,4388
296,51	174,6947	-0,8503	0,4241	0,1727	-0,9344	0,6426	0,7000
317,69	170,7154	-0,6251	0,6867	-0,7423	-0,5579	0,4859	-0,7913
338,87	163,9504	-0,3215	0,8318	-0,7973	0,3994	-0,8587	-0,2406
	TOTALES	-5,6103	6,3477	0,35074	-0,36431	0,55036	0,17083
		-0,7013	0,7935	0,04384	-0,04554	0,06879	0,02135
		SENO	COSENO	SENO	COSENO	SENO	COSENO

VT	124,333
-----------	----------------

ETAPA 2. FRECUENCIA DE 60 Hz “CORRIENTE FASE T”

ETAPA 2 A 60Hz LINEA T							
CORRIENTE							
θ	"Y"	Primer Armónico		Tercer Armónico		Quinto Armónico	
		YSEN(θ)	YCOS(θ)	YSEN(3* θ)	YCOS(3* θ)	YSEN(5* θ)	YCOS(5* θ)
21,17	-0,7164	-0,2587	-0,6680	-0,6411	-0,3195	-0,6891	0,1957
42,35	0,7164	0,4826	0,5294	0,5717	-0,4316	-0,3770	-0,6092
63,53	2,1491	1,9238	0,9579	-0,3950	-2,1125	-1,4477	1,5883
84,71	3,1724	3,1589	0,2925	-3,0515	-0,8675	2,8404	1,4131
105,89	3,6500	3,5105	-0,9993	-2,4579	2,6984	0,6683	-3,5883
127,07	3,3771	2,6946	-2,0357	1,2218	3,1483	-3,3624	0,3149
148,25	2,5584	1,3463	-2,1756	2,5477	0,2341	0,9273	2,3845
169,43	1,3304	0,2440	-1,3078	0,6993	-1,1318	1,0604	-0,8034
190,61	-0,0341	0,0063	0,0335	0,0180	0,0290	0,0273	0,0205
211,79	-1,4668	0,7727	1,2468	1,4604	-0,1373	0,5269	-1,3689
232,97	-2,6949	2,1514	1,6229	0,9697	-2,5143	-2,6840	-0,2419
254,15	-3,4453	3,3143	0,9410	-2,3254	-2,5422	0,6426	3,3849
275,33	-3,5136	3,4984	-0,3264	-3,3776	0,9679	3,1403	-1,5760
296,51	-2,8995	2,5947	-1,2942	-0,5269	2,8513	-1,9608	-2,1360
317,69	-1,8079	1,2170	-1,3370	1,4452	1,0863	-0,9460	1,5407
338,87	-0,5117	0,1845	-0,4773	0,4575	-0,2292	0,4927	0,1380
	TOTALES	26,8412	-4,9972	-3,3842	0,7293	-1,1409	0,6567
		3,3551	-0,6247	-0,4230	0,0912	-0,1426	0,0821
		SENO	COSENO	SENO	COSENO	SENO	COSENO

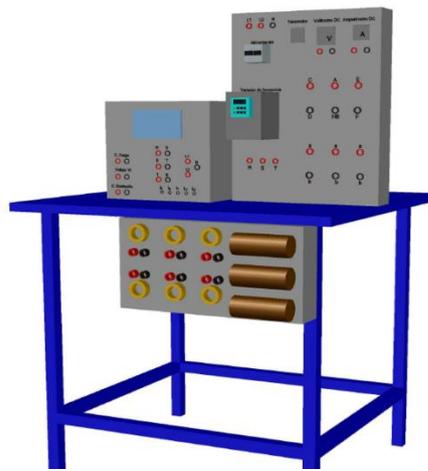
IT	3,4441
-----------	---------------

ANEXO V. Manual de Usuario

UNIVERSIDAD TECNICA DE COTOPAXI

CIENCIAS DE LA INGENIERIA Y APLICADA

INGENIERIA ELECTRICA



<Sistema de Visualización y Adquisición de Parámetros Eléctricos para el módulo Motor-Generador de C.C.>

Manual de Usuario

Versión: 0001

Fecha: 00/02/2020

Este documento es confidencial y es propiedad de Christian Ocampo – Stalin Simba y no puede ser producido, publicado, copiado o divulgado sin la autorización escrita de los mismos.

HOJA DE CONTROL

Institución	Universidad Técnica de Cotopaxi		
Carrera	Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia		
Proyecto	Sistema de Visualización y Adquisición de Parámetros Eléctricos para el módulo Motor-Generador de C.C.		
Entregable	Manual de Usuario	Fecha Versión	Enero/2020
Versión/Edición	0001	Fecha Aprobación	Febrero/2020
Aprobado por	Ing. Carlos Francisco Pacheco Mena	N° Total de Páginas	14

Autores

Nombre y Apellidos
Christian Oswaldo Ocampo Taco
Stalin Alexander Simba Lagla

GLOSARIO Y CONCEPTOS

Glosario

Término	Descripción
C.C.	Corriente Continua
A.C.	Corriente Alterna
HMI	Human-Machine Interface
STOP	Paro de emergencia
DAQ	Tarjeta de Adquisición de datos
P	Potencia Activa
Q	Potencia Reactiva
S	Potencia Aparente
Hz	Hercio (frecuencia)
A_{pk-pk}	Corriente Pico-Pico
V_t	Voltaje en los terminales
I_p	Corriente de Excitación
I_q	Corriente de Carga

Conceptos

Frecuencia: magnitud que mide el número de repeticiones por unidad de tiempo del fenómeno eléctrico o un suceso periódico, su medición se la realiza en hercios (Hz), esta tiene una relación inversa, es decir, a mayor frecuencia menor longitud de onda y viceversa.

Voltaje: se refiere al trabajo por unidad de carga eléctrica que ejerce sobre una partícula un campo eléctrico, para moverla entre dos puntos determinados.

Voltaje Alterno: es la existencia de dos polos lo cuales cambian de positivos a negativos alternadamente, es decir, alternan su polaridad.

Voltaje Directo: referida a la corriente/tensión, que al ser generada no tendrá interrupciones con respecto a la función corriente-tiempo.

Corriente: es el flujo de carga eléctrica que recorre un material. Se debe al movimiento de cargas en el interior de un material.

Corriente Alterna: Es la variación de las cargas eléctricas en dirección y tiempo con cambios periódicos de voltaje y corriente.

Corriente Directa: es una carga eléctrica constante sin variación de voltaje, donde se mantiene la dirección y tiempo constante.

Potencia Activa: cantidad total de potencia útil que se consume en un equipo eléctrico, es decir, potencia que realmente es utilizada para realizar un trabajo. Capacidad de un circuito eléctrico de poder realizar un proceso de transformación de energía eléctrica en trabajo

Potencia Reactiva: potencia en la cual la corriente, está fuera de fase con respecto al voltaje y el producto volts por los amperes no realiza un trabajo real.

Potencia Aparente: cantidad total de potencia que consume un equipo eléctrico. Es la suma de la potencia activa que disipan los equipos en calor o trabajo más la potencia reactiva utilizada para la formación de campos eléctricos magnéticos en sus componentes.

Factor de Potencia: es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente.

Fasor: es un numero complejo que presenta información sobre la amplitud y el ángulo de fase de una función senoidal.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Objeto

Este documento tiene como propósito ser una guía en el uso adecuado del módulo de visualización y adquisición de los parámetros eléctricos en el módulo motor-generador en corriente continua, indicando cada uno de los pasos y diagrama de conexión a seguir para la realización de prácticas en el módulo y detallar el uso adecuado del programa de visualización y adquisición de los parámetros eléctricos.

El presente documento será distribuido a todos los estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica, con el fin de fomentar el uso del módulo motor-generador de corriente continua, con prácticas demostrativas de las diferentes conexiones que tiene un generador de corriente continua, como también la configuración del generador de corriente continua como motor, el cual dispondrá de un módulo de visualización y adquisición de los diferentes parámetro eléctricos tanto en continua como alterna y la de dar un reforzamiento teórico-práctico de máquinas eléctricas en continua y sistemas SCADA, a los estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica.

Alcance

El alcance del presente documento es detallar el uso adecuado del módulo de adquisición y visualización de datos, en las practicas demostrativas que se realizarán en el módulo motor-generador de corriente continua, en la que se detallara el uso adecuado de la pantalla de visualización y adquisición de datos.

Funcionalidad

Como parte de nuestro compromiso de prestar el mejor soporte a los estudiantes de la carrera de ingeniería eléctrica, se presenta el siguiente módulo demostrativo, para la visualización y adquisición de variables eléctricas tanto en corriente continua como en alterna.

El módulo de adquisición y visualización de datos es un equipo desarrollado en el software Arduino y raspberry, el cual permite de forma interactiva visualizar y adquirir los parámetros eléctricos del módulo motor-generador de corriente continua. El uso de un variador de frecuencia permitirá observar las variables eléctricas alternas que alimentan al motor (salida del variador de frecuencia) como estas varían de acuerdo a la frecuencia que se asigne al variador, también se visualizara gráficamente dichos parámetros eléctricos de cada práctica que se realice en el módulo, de acuerdo a la guía de prácticas adjuntada en este manual

FAQ

1. ¿Por qué se utilizó Python para la visualización y adquisición de datos?

Debido a que es un software robusto de programación, la cual nos permite desarrollar la interfaz gráfica para el módulo, la cual cuenta con una interfaz de programación sencilla, software libre y es muy utilizado para el diseño de aplicaciones web.

2. ¿Por qué se utiliza una tarjeta Arduino como tarjeta de adquisición de datos?

Debido a que es una placa que compila perfectamente a través de un puerto Serial, adquiriendo señales digitales y analógicas como sensores de voltaje, corriente, potenciómetros, PWM, etc., a una frecuencia de muestro baja de 15.6 KHz. para posteriormente ser visualizadas en un HMI, y es de bajo costo

3. ¿Por qué se debe guardar los datos de un sistema SAD?

Principalmente para la toma de lectura de datos históricos en tiempo real, permitiéndonos activar alarmas en ciertas circunstancias, historizar valores o datos y graficar los valores de todos los datos historizados o no representándose mediante graficas o tablas. También se puede tener funciones de importar y exportar datos con otras herramientas como Microsoft Excel.

4. ¿Por qué es necesario tener un registrador de datos de tiempo real?

Se utiliza principalmente para tener un registro de eventos que pueden suscitarse un sistema, favoreciendo un uso eficiente y actualización automática de datos.

5. ¿Por qué se debe realizar el control de frecuencia solo hasta los 47 Hz, cuando se esté realizando las prácticas para las diferentes conexiones del generador de C.C.?

Los reóstatos de campo trabajan a voltajes menores o iguales a 110 VDC, es preferible trabajar a frecuencias menores o iguales a 47 Hz, cuando se realicen las practicas demostrativas, ya que si se supera dichos valores los reóstatos tendrán a sufrir daños.

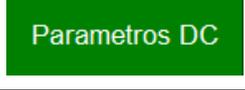
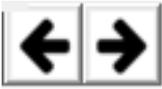
6. ¿Qué propósito tiene este sistema en el módulo motor-generador de corriente continua?

Su finalidad se basa en tener datos en tiempo real las variables eléctricas que se encuentran a la alimentan al módulo, seguido de un monitoreo de las variables eléctricas que alimentan al motor trifásico, y por último tener los parámetros eléctricos de voltaje y corriente continua que se genera por parte del generador, en sus diferentes conexiones como Generador.

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El sistema de adquisición y visualización de los parámetros eléctricos tanto en A.C. como en C.C., en el módulo motor-generator de corriente continua, se implementa con el fin de realizar un proceso de prácticas demostrativas de las diferentes configuraciones que tiene un generador de corriente continua, a los estudiantes de ingeniería, el cual está diseñado en el software raspberry, y se visualizara en un pantalla táctil HDMI, para visualizar las variables eléctricas, se tiene una tarjeta Arduino como tarjeta de adquisición de datos, los cuales previamente son registradas por placas electrónicas diseñadas y por sensores analógicos en A.C. y D.C. Este sistema consta de trece pantallas, en la cuales se puede visualizar los parámetros eléctricos, tanto gráficamente con numéricamente los valores en corriente alterna que alimenta al módulo y al motor, como también los valores eléctricos en corriente continua del generador C.C., previamente realizando sus respectivas prácticas.

Descripción de Iconos

ICONO	DESCRIPCIÓN	ICONO	DESCRIPCIÓN
	Icono de ingreso a visualizar los parámetros A.C.		Restablece la vista original de la grafica
	Icono de ingreso a visualizar las gráficas A.C.		Zoom de grafica
	Icono de ingreso a visualizar los parámetros D.C.		Desplazamiento (atrás-adelante) por la grafica
	Icono de ingreso a visualizar las gráficas D.C.		Desplazamiento por la grafica
	Control de frecuencia		Configuración de la grafica
	Control de encendido del variador de frecuencia		Guarda captura de pantalla
	Control de apagado del variador de frecuencia		Restablece la medición
	Icono de regreso de pantalla	<input type="checkbox"/> Shunt <input type="checkbox"/> Serie <input type="checkbox"/> Compound	Menú de opciones para la conexión en parámetro D.C
<input type="checkbox"/> Voltaje <input type="checkbox"/> Corriente	Menú de opción para voltaje y corriente A.C.	<input type="checkbox"/> L1 <input type="checkbox"/> R <input type="checkbox"/> L2 <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> T	Menú de opciones de parámetros eléctricos A.C.

Pantalla Principal

En la pantalla principal del sistema se tendrá un bosquejo de lo que se trata el sistema y sus autores, en la cual se observa tres botones principales, los cuales al dar clic en cualquiera de aquellos botones nos abrirá una ventana en la que se observará los parámetros eléctricos en tiempo real que se están obteniendo del módulo sea estos en continua y alterna.



Figura 1. Pantalla principal

Pantalla Parámetros Eléctricos A.C.

En la pantalla de menú de opciones de los parámetros eléctrico A.C., tal como se muestra en la figura 2, se visualizará cuatro opciones las cuales nos llevará a diferentes ventanas, donde se podrá observar los valores eléctricos en tiempo real (1.5 segundo de actualización). Esta ventana nos mostrará las variables eléctricas registradas en tiempo real, tanto a la entrada del módulo, como en la alimentación del motor trifásico, también cuenta con un control de frecuencia, el cual podrá ser modificado y ver como las variables eléctricas se comportan con la variación de frecuencia así el motor trifásico

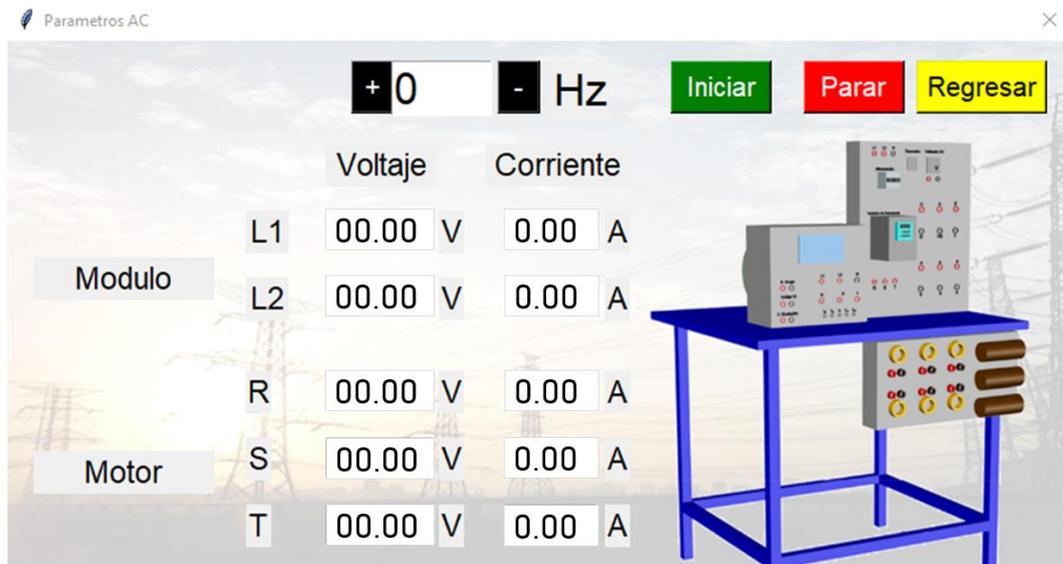


Figura 2. Pantalla Parámetros Eléctricos A.C.

Gráficas de Parámetros Eléctricos A.C.

En esta ventana se visualizará las gráficas eléctricas en corriente alterna que alimentan al módulo y al motor trifásico, donde el usuario podrá elegir las variables que desee visualizar, también podrá controlar la frecuencia del motor trifásico.

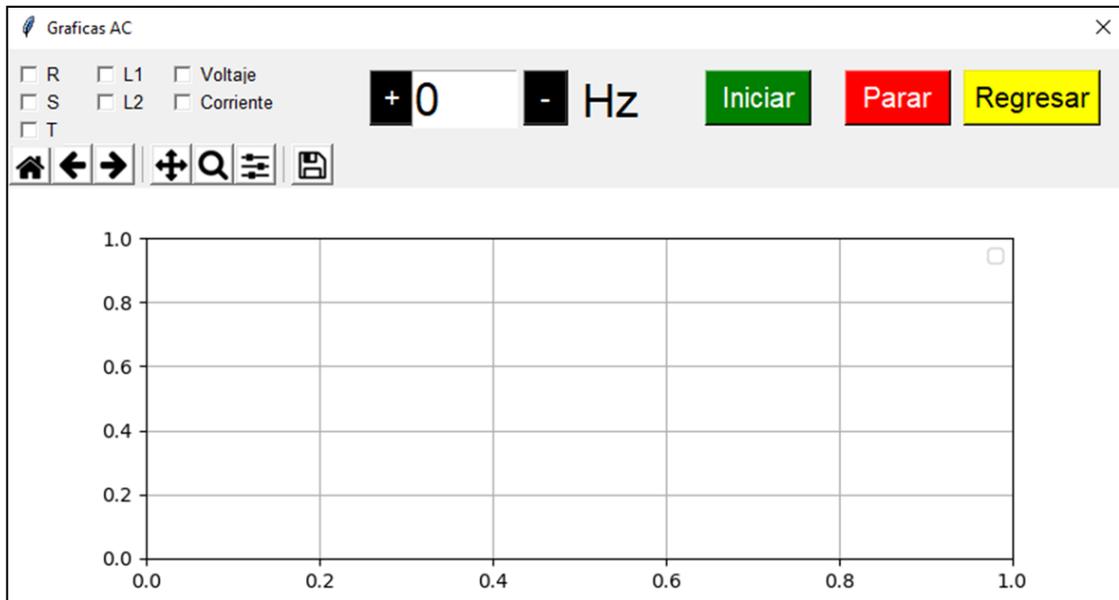


Figura 4. Pantalla Graficas A.C.

Parámetros Eléctricos D.C.

En esta pantalla el usuario podrá visualizar los parámetros eléctricos en continua, también tendrá la posibilidad de variar la frecuencia del motor el cual se acopla al generador DC. También cuenta con un botón donde se puede visualizar el tipo de diagrama de conexión que tiene un generador DC.

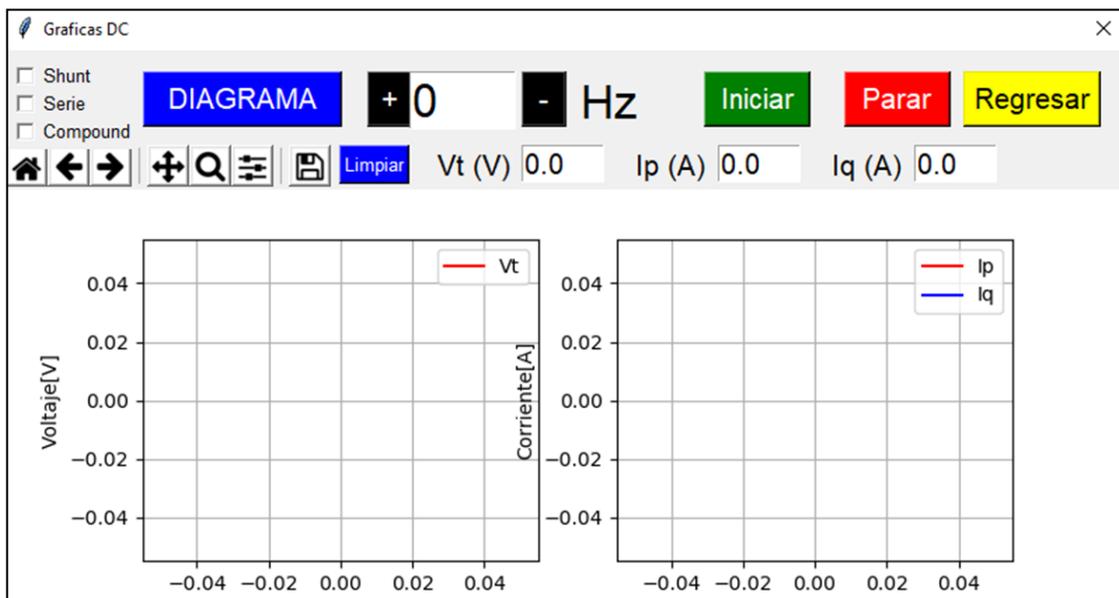


Figura 5. Pantalla Parámetros Eléctricos D.C.

DESCRIPCIÓN DEL MÓDULO

Módulo de Adquisición y Visualización de Datos

Este módulo está diseñado en una caja de madera y la parte delantera de acrílico, la cual está conformada en su parte interior, de sensores de voltaje y corriente continua también de 5 transformadores y 5 pinzas las cuales se encargan de adquirir las señales eléctricas para luego ser enviadas a una placa electrónica, la cual se encarga de procesar las variables eléctricas a voltajes admisibles, posteriormente se envía a una tarjeta arduino la cual adquiere esas señales para posteriormente enviar esas señales a una tarjeta raspberry la cual procesa la señal y realiza la visualización de dichas variables en una pantalla. En la parte exterior como se puede observar consta de un cable de alimentación general del módulo, en su parte delantera consta de una pantalla táctil en la cual se visualizarán los parámetros, curvas y diagramas de conexión de prácticas, también consta de plugs de conexión, tanto para mediciones en alterna como en continua, para la realización de las prácticas demostrativas en el módulo, figura 4.2.

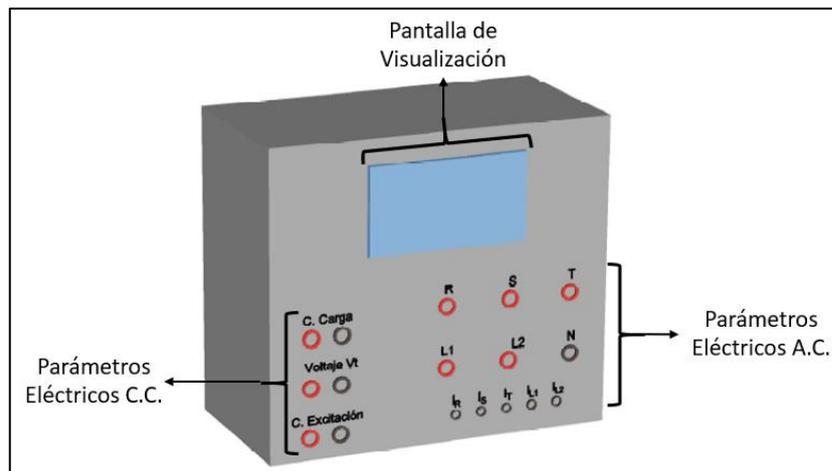


Figura 6. Partes del exterior del Módulo de adquisición y Visualización de datos

Equipos del sistema de adquisición y visualización de datos

Arduino MEGA

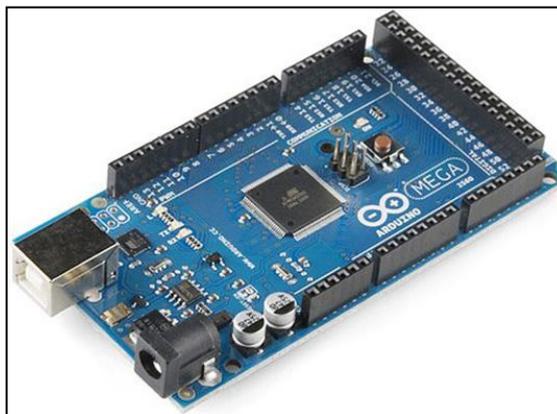


Figura 7. Arduino Atmega 2560

Tabla 2. Arduino Atmega 2560

Especificaciones Técnicas	
Voltaje operativo	5 V
Voltaje entrada	7 – 12 V
Pines digitales	54
Pines Analógicos de entrada	16
Corriente DC por cada Pin (entrada/salida)	40 mA

PANTALLA TOUCH RASPBERRY



Figura 8. Pantalla táctil raspberry

Tabla 3. Especificaciones pantalla táctil raspberry 7”

Especificaciones Técnicas	
Potencia	5V de alimentación mediante Micro USB
Corriente	Max. 500 mA
Tipo de pantalla	7 pulgadas LCD - Capacitiva
Resolución	800*480
Interfaz	HDMI y USB 2.0 a toda velocidad

TARJETA RASPBERRY PI 3 B+



Figura 9. Tarjeta Raspberry Pi 3 B+

Tabla 4. Especificaciones Raspberry Pi 3 B+

Especificaciones Técnicas	
RAM	1 GB
Wifi + Bluetooth	2,4 Ghz y 5 GHz, Bluetooth 4,2
Ethernet	Gigabit Ethernet USB 2.0 (300 Mbps)
HDMI	
Puertos CSI para conectar una cámara y pantalla táctil	
Salida de audio estéreo y video compuesto	
Micro-SD	

SENSOR ACS-712 5 A

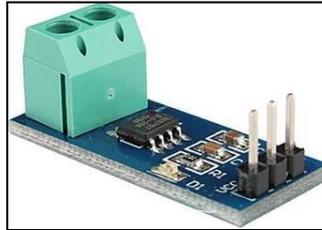


Figura 10. Sensor de Corriente C.C.

Tabla 5. Características sensor de corriente ACS-712 5 A

Especificaciones Técnicas	
Corriente de Entrada	5 A / 1 V
Voltaje Entrada	5 V
Medición de Corriente	C.A. y C.C.
Señal de salida	Analógica
Salida analógica	100 mV/A

DIVISOR DE VOLTAJE

$$V_{out} = \frac{R_2(V_{in})}{R_1 + R_2}$$

$$R_1 = \frac{R_2 * V_{in}}{V_{out}} = \frac{100 \text{ k}\Omega * (160 \text{ V})}{5 \text{ V}} - 100\text{K}\omega = 3100 \text{ k}\Omega$$

Escojemos el inmediato superior $R_1 = 3300 \text{ k}\Omega$

$$V_{out} = \frac{100 \text{ k}\Omega * (160 \text{ V})}{3300 \text{ k}\Omega + 100 \text{ K}\Omega} = 4,7058 \approx 5 \text{ V}$$

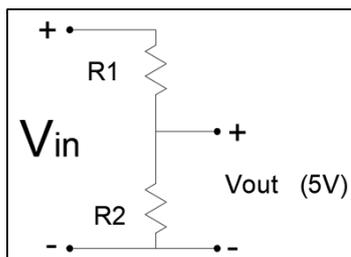


Figura 11. Circuito divisor de voltaje

PINZA DE CORRIENTE AC SCT-013 10A



Figura 12. Sensor de Corriente A.C

Tabla 6. Especificaciones Sensor de corriente SCT-013

Especificaciones Técnicas	
Corriente de Entrada	0 a 5 A AC/1 V
Voltaje de salida	0 – 1 V
No linealidad	± 3%
Señal de salida	Analógica senoidal
Precisión	4%

TRANSFORMADOR DE VOLTAJE

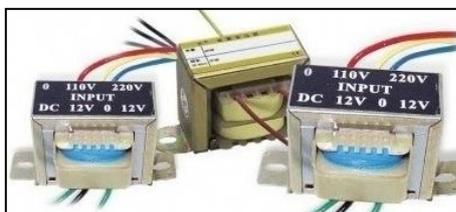


Figura 13. Transformadores 12-24 VAC 1 A 110/220 VAC

Tabla 7. Especificaciones transformador 12-24 V 1 A 110/220 V

Especificaciones Técnicas	
Voltaje primario	110-220 VAC
Voltaje Secundario	12-24 VDC
Corriente máxima	1 A

Partes de la placa electrónica

En la siguiente figura se detalla las partes importantes, que conforma la placa electrónica de acondicionamiento de señales, las cuales ingresarán a la tarjeta Arduino mega:

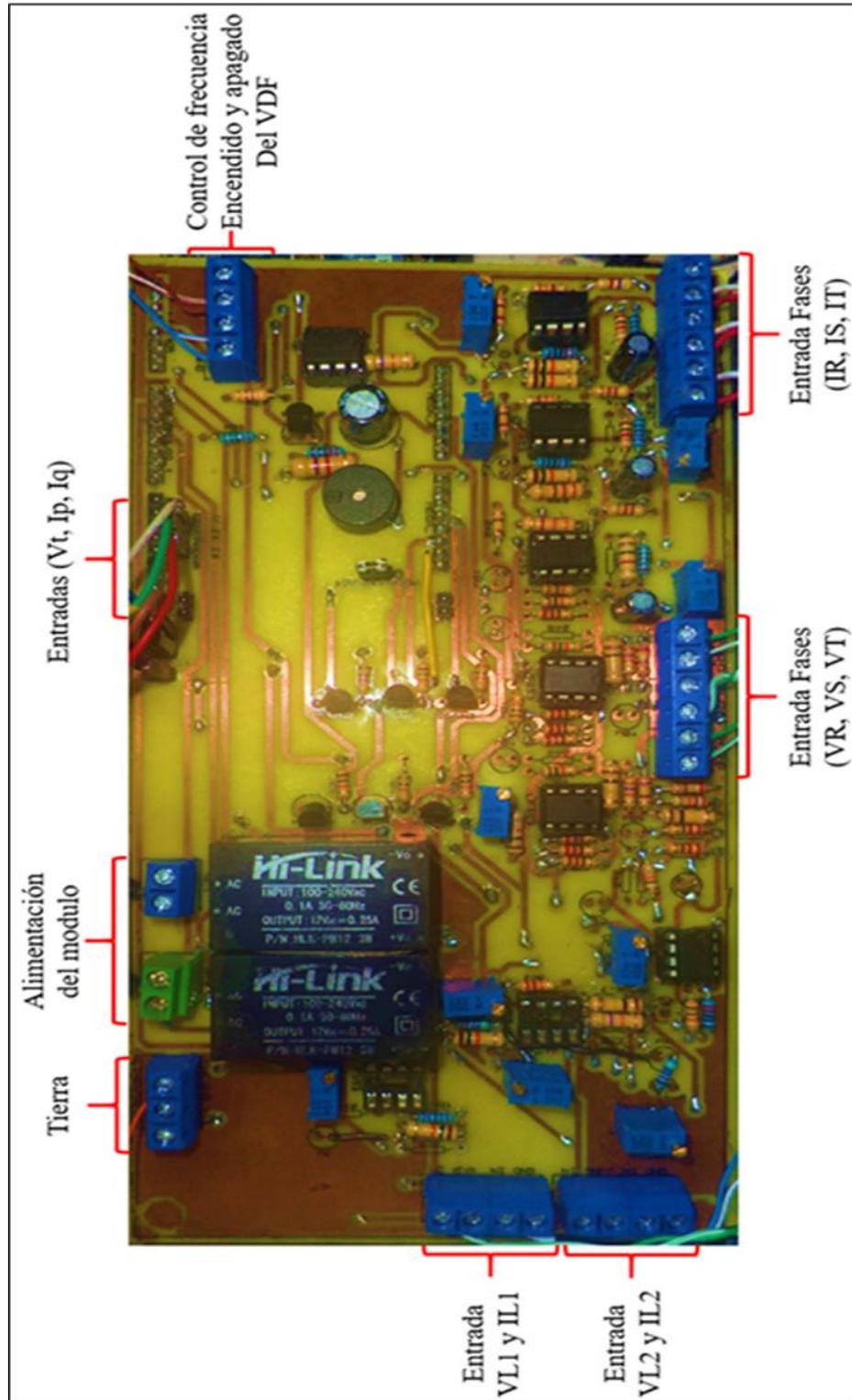


Figura 7. Partes de la placa electrónica

DIAGRAMA DE FUNCIONAMIENTO

Diagrama de bloques

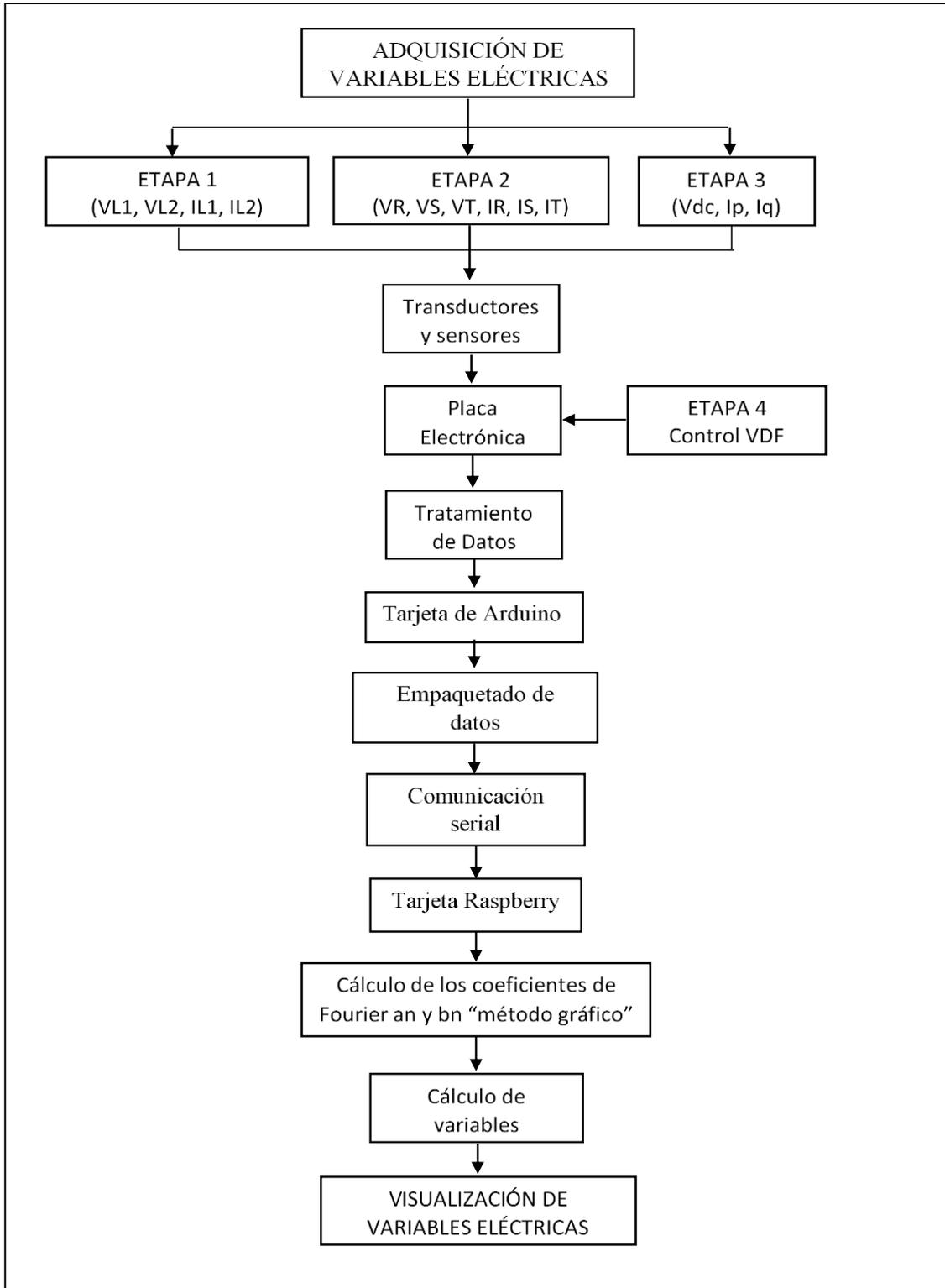


Figura 8. Diagrama de bloques del sistema

MANTENIMIENTO DEL MÓDULO

Todo equipo o artefacto siempre debe estar sujeto a un proceso de mantenimiento, mismo que cumpla diferentes acciones, técnicas y administrativas correspondientes; con el objetivo de preservar o restaurar la integridad del banco de pruebas motor-generator de C.C, y el módulo de adquisición y visualización de datos, para un desempeño eficaz y eficientemente. Se ha sido construido con las características ergonómicas requeridas para el usuario y poseer un programa de mantenimiento que se detalla a continuación.

- Mantenimiento general del módulo de adquisición y visualización de datos

EL módulo dispone de dos procedimientos de mantenimiento: el primero dirigido a la estructura del módulo y el segundo al software el mismo que permite la visualización de las gráficas y variables eléctricas.

Procedimiento para el mantenimiento de la estructura del módulo, se lo realizara trimestralmente:

1. Examinar el exterior del equipo y evaluar su condición física general, verificar la limpieza de las borneras de conexiones y el ajuste de las mismas.
2. Probar el cable de conexión y su sistema de acoples, comprobar que se encuentran en buenas condiciones y que estén limpios.
3. Inspeccionar los componentes del equipo, verificar que se encuentren en buen estado para utilizar sin dificultad.
4. Verificar el estado de la tarjeta arduino MEGA, tarjeta raspberry y pantalla TOUCH para evitar posibles dificultades durante el proceso de visualización de datos.
5. Realizar inspección del cableado interno, con el fin de que no exista fugas o cortocircuitos dentro del módulo.
6. Inspeccionar las corrientes de fuga y la conexión a tierra.
7. Verificar el estado de las pinzas amperimétricas, realizando pruebas de continuidad.
8. Realizar una revisión cada tres meses del sistema operativo de la tarjeta raspberry, actualización del sistema.

ADVERTENCIAS ANTES DE USAR EL MÓDULO

Los procesos recomendados para un correcto funcionamiento del sistema de visualización de datos, se detallan a continuación:

- 1) Lea detenidamente el manual de usuario y las guías de practica
- 2) Realizar las respectivas desconexiones para evitar corrientes parasitas que circulen por el sistema de conexiones eléctricas.
- 3) Desinfectar todo dispositivo USB antes de conectar al sistema
- 4) Realizar las conexiones correctamente siguiendo las indicaciones ya mencionadas para evitar daños internos por corrientes de retorno.
- 5) Revisar periódicamente el funcionamiento de la tarjeta arduino MEGA, por ser la que realiza la adquisición de datos y la tarjeta rapsberry por la que realiza los cálculos y contiene la interfaz gráfica.
- 6) Revisar continuidad de los sensores, pinzas amperimétricas y transformadores de voltaje con la finalidad de evitar errores en las mediciones, en caso de existir inconvenientes remplazar el elemento por uno de la misma característica.
- 7) Examine la caja antes de utilizar el Producto. Busque desperfectos o compruebe si falta alguna pieza.
- 8) No utilice los cables de conexión si están dañados. Examine los cables de conexión en busca de problemas de aislamiento.
- 9) No toque los terminales de conexión con los dedos, con el fin de no recibir descargas eléctricas.
- 10) Realice las practicas siempre acompañado de una persona.
- 11) Cuando se realice el mantenimiento del módulo siempre realícelo desconectado del sistema de alimentación

ESPECIFICACIONES ELÉCTRICAS

Alimentación eléctrica 120 VAC

Adquisición de Datos:

Frecuencia de muestreo 15.6 KHz (Arduino MEGA)
Tiempo de muestreo 1.8 seg a 2.1 seg de actualización
Frecuencia de muestreo por señal 270 muestras (por señal analógica)
Cantidad de señales analógicas 10 señales de AC y 3 señales de DC
Puerto de conexión USB 1 puerto, para adquisición de datos

Entradas de tensión

Número de entradas (modulo) 3 (2 fases y neutro)
Tensión máxima de entrada 110 VAC a 220 VAC
Número de entradas (motor) 3 fases
Tensión máxima de entrada 220 VAC
Número de entradas (generador C.C.) 1 fase y neutro
Tensión máxima de entrada 160 VDC

Entradas de corriente

Número de entradas (modulo) 2
Tensión de salida pinza amperimétrica 1V / 10A
Número de entradas (motor) 3
Tensión de salida pinza amperimétrica 1V / 5A
Número de entradas (generador C.C.) 2
Tensión de salida sensor de corriente 4 mV / 5A

ANEXO VI. Guía de prácticas demostrativas

		MANUAL DE PRÁCTICAS DEL ESTUDIANTE			
GUIA DE PRÁCTICAS					
FACULTAD:	CIYA	CARRERA:	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
ASIGNATURA:	MAQUINAS ELECTRICAS	PERIODO:		CICLO:	
DOCENTE:		FECHA:		PRÁCTICA N°:	1
INTEGRANTES:					
LABORATORIO A EFECTUARSE LA PRÁCTICA:					
TEMA:	IDENTIFICACION DE LOS MÓDULOS MOTOR-GENERADOR C.C. Y SISTEMA DE ADQUISICIÓN Y VISUALIZACION DE DATOS				
INTRODUCCIÓN:					
<p>En la presente práctica se debe identificar los elementos que componen tanto el banco de pruebas motor-generator C.C, como el módulo de adquisición y visualización de datos, con la finalidad que los estudiantes se familiaricen y puedan realizar las prácticas sin dificultad.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Generador C.C. <p>Consiste en una bobina (armadura) que rota entre los polos de un electroimán (imán de campo) produciendo un flujo de corriente en el inducido. También se definen como maquinas que producen tensión y su funcionamiento se reduce siempre al principio de la bobina giratoria dentro de un campo magnético. Si la armadura gira entre dos polos magnético fijos, la corriente en la armadura circula en un sentido durante la mitad de cada revolución, y en el otro sentido durante la otra mitad.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Generador serie <p>Tiene regulación de tensión muy pobre bajo cambios de carga, ya que cuanto mayor es la corriente a través de las bobinas de campo al circuito externo, mayor será la fuerza electromotriz inducida y mayor es la tensión de los bornes. Por lo que cuando la carga aumenta la tensión aumenta, del mismo modo, cuando la carga disminuye la tensión disminuye</p> <ul style="list-style-type: none"> - Generador shunt <p>Siendo el generador shunt una maquina autoexcitada, empezara a desarrollar su voltaje partiendo del magnetismo residual tan pronto como el inducido empieza a girar. Después a medida que el inducido va desarrollando voltaje este envía corriente a través del inductor aumentando él número de líneas de fuerza y desarrollando voltaje hasta su valor normal.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Generador compound <p>Es la combinación del generador serie y shunt de tal manera que las características de cada uno se utilizan con ventaja mayor. Las bobinas de campo en serie están hechas de un número relativamente pequeño de espiras de conductor de cobre, en sección transversal y están conectados en serie al inducido</p> <ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de datos <p>Consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otros dispositivos electrónicos (sistema digital). Consiste en tomar un conjunto de señales físicas, convertirlas en tensiones eléctricas y digitalizarlas de manera que se puedan ser procesadas por una computadora o PAC. Se requiere una etapa de acondicionamiento, adecua la señal a niveles compatibles con el elemento que hace la transformación a señal digital.</p>					

- **SAD (Sistema de Adquisición de Datos)**

Es una herramienta de análisis y monitoreo de información para la toma de decisiones y la aplicación oportuna de acciones preventivas y correctivas de las diferentes áreas de la Universidad. Con este sistema se busca la administración eficiente de los recursos con la mejora de los procesos, a través de una reducción de tiempo dedicado a la obtención de reportes, facilitando la oportuna entrega y distribución de los mismos.

- **Visualización de datos**

La visualización de datos es una representación gráfica de la información y los datos. Mediante el uso de elementos visuales, como gráficos y mapas, la visualización de datos ofrece una manera accesible para detectar y comprender las tendencias, los valores atípicos y los patrones en los datos.

OBJETIVOS:

GENERAL:

- Conocer el proceso a seguir para la manipulación correcta del módulo y funcionamiento de la maquina C.C. como generador.

ESPECÍFICOS

- Identificar los elementos que componen el módulo.
- Conocer los conceptos elementales del generador C.C.
- Describir los tipos de conexión del generador de C.C.

LISTADO DE EQUIPOS Y MATERIALES:

EQUIPOS:

- Módulo motor-generador C.C.
- Módulo de adquisición y visualización de datos

ADVERTENCIAS:

Antes de cualquier manipulación del banco de pruebas, primero debe leer el manual de prácticas y realizar exclusivamente los pasos indicados. ¡No se debe hacer ninguna conexión cuando los equipos se encuentren conectados! ¡Los equipos deben apagarse después de la práctica!

- Desconectar las fuentes de energía (apagar).
- Bloquear posibles reconexiones accidentales y señalar los puntos de conexión y desconexión.
- Verificar la ausencia de tensión
- Colocar una sólida Puesta a Tierra.
- Señalizar la zona de trabajo.

INSTRUCCIONES:

- Mantenga un plan de emergencia en caso de presentarse una eventualidad en el lugar de trabajo.
- Revisar posibles daños físicos en los elementos de laboratorio a ser utilizados.
- Evite distracciones durante el desarrollo de la práctica.
- Mantenga siempre a mano las instrucciones de operación para una buena práctica.
- Utilizar el mandil de prácticas de la carrera.

ACTIVIDADES POR DESARROLLARSE

PRUEBA DE RECONOCIMIENTO DE MÓDULOS

- RECONOCIMIENTO PARTES MÓDULO-MOTOR GENERADOR C.C.
 1. Identifique las partes que conforma el módulo de prácticas, del banco de pruebas motor-generator C.C. y llene la tabla 1.
 2. Peque una imagen identificando las partes del módulo.
 3. Explique brevemente cual es la función de cada elemento en el módulo
- RECONOCIMIENTO DE LAS PARTES DEL MÓDULO DE ADQUISICIÓN Y VISUALIZACIÓN
 1. Identifique las partes en forma general de cómo se conforma el módulo.
 2. Peque una imagen identificando las partes del módulo.
 3. Explique brevemente cual es la función de cada elemento y llene la tabla 2.
- RECONOCIMIENTO DEL MODULO DE CARGAS Y REÓSTATOS
 1. Identifique las partes en forma general de cómo se conforma el módulo.
 2. Peque una imagen identificando las partes del módulo.
 3. Explique brevemente cual es la función de cada elemento y llene la tabla 3.

OBTENCIÓN DE RESULTADOS:

ELEMENTOS QUE CONFORMAN EL BANCO DE PRUEBAS MOTOR-GENERADOR C.C.

- Equipos que conforman el módulo de prácticas

Tabla 1.- Elementos módulo de prácticas

Equipos	Función

Figura 1. Partes del módulo de prácticas

- Equipos que conforman el módulo de Adquisición y Visualización

Tabla 2. Elementos módulo de Adquisición y Visualización

Equipos	Función

Figura 2. Módulo de prácticas para el generador C.C.

- Equipos que conforman el módulo de cargas y reóstatos

Tabla 3. Elementos módulo de cargas y reóstatos

Equipos	Función

Figura 3. Módulo de cargas resistivas y reóstatos

CONCLUSIONES:

-
-
-

RECOMENDACIONES:

-
-
-

GUIA DE PRÁCTICAS

FACULTAD:	CIYA	CARRERA:	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
ASIGNATURA:		PERIODO:		CICLO:	
DOCENTE:		FECHA:		PRÁCTICA N°:	2
LABORATORIO A EFECTUARSE LA PRÁCTICA:					
TEMA:	GENERADOR SERIE				

INTRODUCCIÓN:

En esta práctica se realizará las conexiones respectivas que se tiene de un generador serie, en las cuales se medirá voltaje y corriente de acuerdo a las conexiones realizadas, con el fin de entender el comportamiento del generador serie y reforzar los conocimientos de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Generador Serie

es muy parecido al motor serie en cuanto a sus componentes y a su estructura; en el devanado de campo serie circula una corriente que es igual a la corriente de armadura por lo que el flujo que produce el devanado de campo serie está en función de la corriente en la armadura que a su vez depende de la carga conectada en las terminales de la máquina.

En el conexionado del generador con excitación en serie no puede instalarse un regulador de tensión ya que este actuaría directamente sobre la corriente de carga, lo que significaría un regulador de alta capacidad de corriente y extremadamente voluminoso. Lo que se hace generalmente es colocar el regulador en paralelo con el arrollamiento de excitación.

Para el cebado de un generador con excitación en serie es necesario tener en cuenta:

- El cebado de un generador serie es imposible en circuito abierto.
- El cebado no es posible mientras el circuito exterior no tenga una resistencia mínima suficiente para que la intensidad de corriente alcance un valor capaz de reforzar el magnetismo remanente.
- El cebado no es posible mientras la velocidad no alcance cierto valor (velocidad crítica), capaz de originar una fem suficiente.
- El sentido de rotación de la máquina ha de ser tal que la corriente inducida refuerce el magnetismo remanente.

El punto de cebado se halla cuando los valores de tensión y corriente cambian bruscamente. En el generador en serie no es posible hablarse de funcionamiento en vacío, ya que tal cosa no nunca se da, pues al ser la corriente excitación la misma corriente carga, si no hay carga no hay excitación, no habrá flujo inductor y no se inducirá fem alguna.

OBJETIVOS:

GENERAL:

- Conocer el funcionamiento de un generador en serie en vacío y con carga.

ESPECÍFICOS

- Estudiar las características de un generador serie.
- Determinar la curva característica de funcionamiento del generador en serie.
- Visualizar Los parámetros de voltaje y corriente del generador serie con variación de carga

LISTADO DE EQUIPOS Y MATERIALES:

Materiales:

- Cables de Conexión

Equipos:

- Módulo de visualización de datos
- Banco de pruebas motor-generador C.C.
- Multímetro DC

ADVERTENCIAS:

Antes de cualquier manipulación del banco de pruebas, primero debe leer el manual de prácticas y realizar exclusivamente los pasos indicados. ¡No se debe hacer ninguna conexión cuando los equipos se encuentren conectados! ¡Los equipos deben apagarse después de la práctica!

- Desconectar las fuentes de energía (apagar).
- Bloquear posibles reconexiones accidentales y señalar los puntos de conexión y desconexión.
- Verificar la ausencia de tensión
- Colocar una sólida Puesta a Tierra.
- Señalizar la zona de trabajo.

INSTRUCCIONES:

- Mantenga un plan de emergencia en caso de presentarse una eventualidad en el lugar de trabajo.
- Revisar posibles daños físicos en los elementos de laboratorio a ser utilizados.
- Evite distracciones durante el desarrollo de la práctica.
- Mantenga siempre a mano las instrucciones de operación para una buena práctica.
- Utilizar el mandil de prácticas de la carrera.

ACTIVIDADES POR DESARROLLARSE

PRUEBA CONEXIÓN GENERADOR SERIE

PROCEDIMIENTO:

- Conecte el módulo motor-generador C.C.
- Presione el interruptor, para encender el módulo de adquisición de datos.
- En la pantalla principal presione dos veces el icono “LXTerminal”
- Una vez en la pantalla del sistema, elija la pestaña “parámetros D.C.”
- Una vez abierto la pantalla parámetros AC, presione la pestaña “INICIAR” para encender el VDF, seguidamente presione las pestañas “+” “-“, para controlar la frecuencia del VDF, posteriormente presione la pestaña “APAGAR” el VDF.
- Realice la siguiente conexión, tal como se muestra en la figura 1.

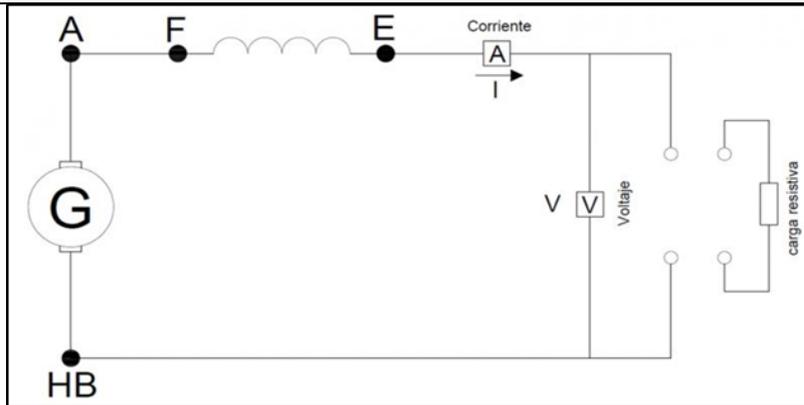


Figura 1. Conexión generador serie

- Anote los valores en la tabla 1, a una frecuencia de 50 Hz, calcule la potencia para cada una y realice una comparación de la curva característica del generador serie obtenida en la práctica con una de laboratorio.

Tabla 1. Valores del sistema

carga	Voltaje (Vt)	Corriente de Carga (I)	Potencia (watts)
Carga 1			
Carga 2			
Carga 3			
Carga 4			
Carga 5			

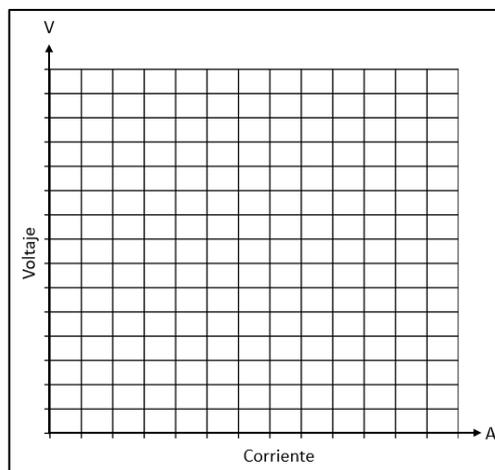


Figura 3. Curva característica obtenida en práctica

A una frecuencia de 50 Hz, llena la tabla 2 y realice la comparación de voltaje en los terminales y voltaje de generación con respecto a la corriente

Tabla 2. Valores del sistema

carga	Voltaje en los terminales	Voltaje Generación	Corriente
Carga 1			
Carga 2			
Carga 3			
Carga 4			
Carga 5			

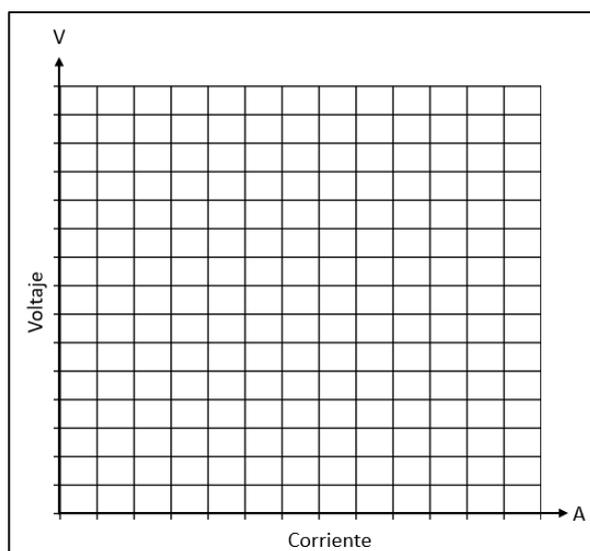


Figura 4. Curva de voltaje en terminales y generación con respecto a la carga

Nota: La cargas que se coloquen, dependerán del valor de potencia que tengan las luminarias, de modo que, los valores obtenidos en la guía de prácticas del docente van a diferir con respecto a las prácticas que realicen los estudiantes.

PREGUNTAS DE REFUERZO:

- ¿Cuándo el generador serie puede hacer crecer su tensión?
- ¿Cómo se obtiene el flujo magnético inductor de un generador serie?
- ¿Dónde se emplean mayormente los generadores serie?
- ¿En el generador serie se puede o no instalar un regulador de tensión?

CONCLUSIONES:

-
-
-

RECOMENDACIONES

-
-
-

BIBLIOGRAFÍA

- M, Rodríguez, Máquinas de corriente continua, España: Universidad de Cantabria, 2017,
- V, Moreta, «Implementación de un motor-generador de corriente continua, en el laboratorio de máquinas eléctricas de una Universidad Técnica de Cotopaxi para realizar prácticas demostrativas,» Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2015,
- F, Vargas y M, Saldarriaga, Maquinas Eléctricas Rotativas, Perú: Megaprint Ediciones s.a., 1990,

GUIA DE PRÁCTICAS

FACULTAD:	CIYA	CARRERA:	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
ASIGNATURA:		PERIODO:		CICLO:	
DOCENTE:		FECHA:		PRÁCTICA N°:	3
LABORATORIO A EFECTUARSE LA PRÁCTICA:					
TEMA:	GENERADOR SHUNT				

INTRODUCCIÓN:

En esta práctica se realizará las conexiones respectivas que se tiene de un generador shunt, en las cuales se medirá voltaje en los terminales, corriente de carga y excitación de acuerdo a las conexiones realizadas, con el fin de entender el comportamiento del generador shunt y reforzar los conocimientos de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica,

Generador Shunt

Un generador de c,c, paralelo o en derivación es aquel que suministra su propia corriente de campo conectando su campo directamente a las terminales de la máquina, Este tipo de generador tiene una clara ventaja sobre el generador de c,d, de excitación separada porque no requiere fuente externa alguna para el circuito de campo, El voltaje inicial en las terminales del generador depende de la presencia de un flujo residual en los polos del generador,

El aumento de la carga hace que aumente la caída de voltaje en el circuito de inducción, reduciendo así el voltaje aplicado al inductor, esto reduce la intensidad del campo magnético y por consiguiente, el voltaje del generador, Si se aumenta bruscamente la carga aplicada a un dinamo shunt la caída de voltaje puede ser bastante apreciable; mientras que, si se suprime casi por entero la carga, la regulación de voltaje de un dinamo shunt es muy defectuosa debido a que su regulación no es inherente ni mantiene su voltaje constante,

Devanado de campo Shunt (derivados) tiene muchas vueltas de alambre delgado y se conecta en paralelo con el devanado de la armadura, Los devanados derivados tienen como característica constructiva un número elevado de espiras de sección pequeña en su devanado de campo,

La fuerza inducida sigue la curva de magnetización no lineal, La corriente en el devanado del campo depende de la resistencia total en el circuito del devanado del campo, La relación entre la corriente del campo y el voltaje del campo es lineal, y la pendiente de la curva es la resistencia en el circuito del devanado del campo, La línea recta también se conoce como línea de resistencia de campo,

OBJETIVOS:

GENERAL:

- Conocer el funcionamiento de un generador con conexión shunt

ESPECÍFICOS

- Armar el circuito del funcionamiento del generador con conexión shunt
- Dibujar las curvas de carga, regulación y de características exteriores
- Realizar el control de velocidad a través del sistema de visualización y adquisición de datos

LISTADO DE EQUIPOS Y MATERIALES:

Materiales:

- Cables de Conexión

Equipos:

- Módulo de visualización de datos
- Banco de pruebas motor-generador C.C.
- Multímetro DC

ADVERTENCIAS:

Antes de cualquier manipulación del banco de pruebas, primero debe leer el manual de prácticas y realizar exclusivamente los pasos indicados, ¡No se debe hacer ninguna conexión cuando los equipos se encuentren conectados! ¡Los equipos deben apagarse después de la práctica!

- Desconectar las fuentes de energía (apagar),
- Bloquear posibles reconexiones accidentales y señalar los puntos de conexión y desconexión,
- Verificar la ausencia de tensión
- Colocar una sólida Puesta a Tierra,
- Señalizar la zona de trabajo,

INSTRUCCIONES:

- Mantenga un plan de emergencia en caso de presentarse una eventualidad en el lugar de trabajo,
- Revisar posibles daños físicos en los elementos de laboratorio a ser utilizados,
- Evite distracciones durante el desarrollo de la práctica,
- Mantenga siempre a mano las instrucciones de operación para una buena práctica,
- Utilizar el mandil de prácticas de la carrera,
- Trabajar a frecuencia menores de 47 Hz, cuando realice la práctica con el reóstato de 400 ohm,

ACTIVIDADES POR DESARROLLARSE

PRUEBA CONEXIÓN GENERADOR SHUNT

PROCEDIMIENTO:

- Conecte el módulo motor-generador C.C.
- Presione el interruptor, para encender el módulo de adquisición de datos,
- En la pantalla principal presione dos veces el icono "LXTerminal"
- Una vez en la pantalla del sistema, elija la pestaña "parámetros D.C."
- Una vez abierto la pantalla parámetros AC, presione la pestaña "INICIAR" para encender el VDF, seguidamente presione las pestañas "+" "-", para controlar la frecuencia del VDF, posteriormente presione la pestaña "APAGAR" el VDF,
- Realice la siguiente conexión, con carga, tal como se muestra en la figura 1,

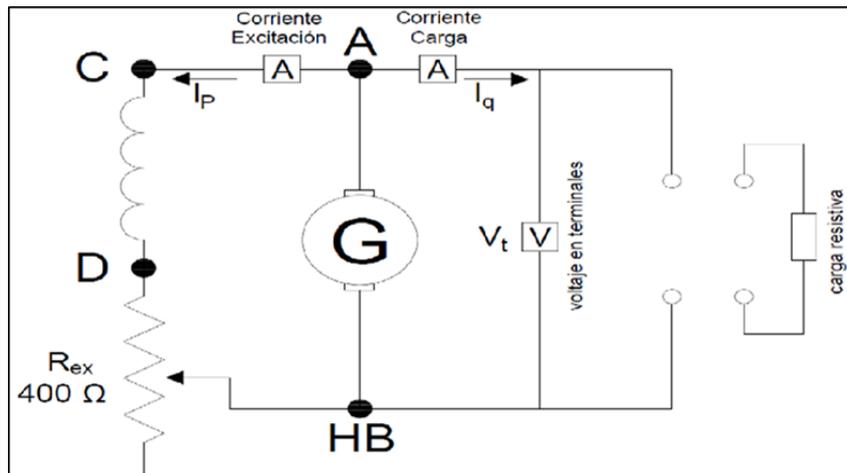


Figura 1. Conexión generador shunt

- Llene la tabla 1, variando el reóstato en cada etapa a una frecuencia de 55 Hz, con tres cargas, y luego compare la curva de carga del generador shunt con una obtenida en la práctica con una de laboratorio.

Tabla 1, Mediciones corriente excitación

Reóstato	Voltaje	Corriente excitación
Etapa 1		
Etapa 2		
Etapa 3		
Etapa 4		
Etapa 5		

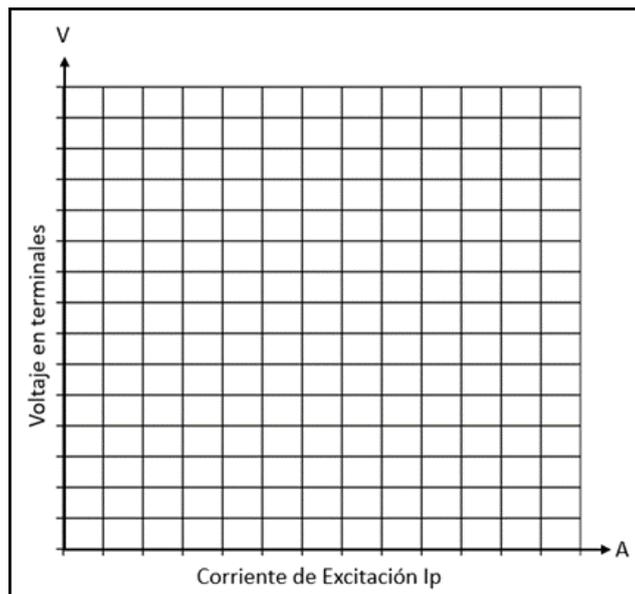


Figura N. Curva de Carga en función de la corriente de excitación

- Llene la tabla 2, variando el reóstato en cada etapa a una frecuencia de 55 Hz, a tres cargas, grafique la curva de regulación del generador shunt seguidamente compare con la obtenida en la práctica con una de laboratorio y calcule la corriente de armadura con la siguiente ecuación:

$$I_a = I_p + I_q$$

Tabla 2. Mediciones corriente excitación, reóstato 400 ohms

Reóstato	Corriente de carga	Corriente excitación	Corriente de armadura
Etapa 1			
Etapa 2			
Etapa 3			
Etapa 4			
Etapa 5			

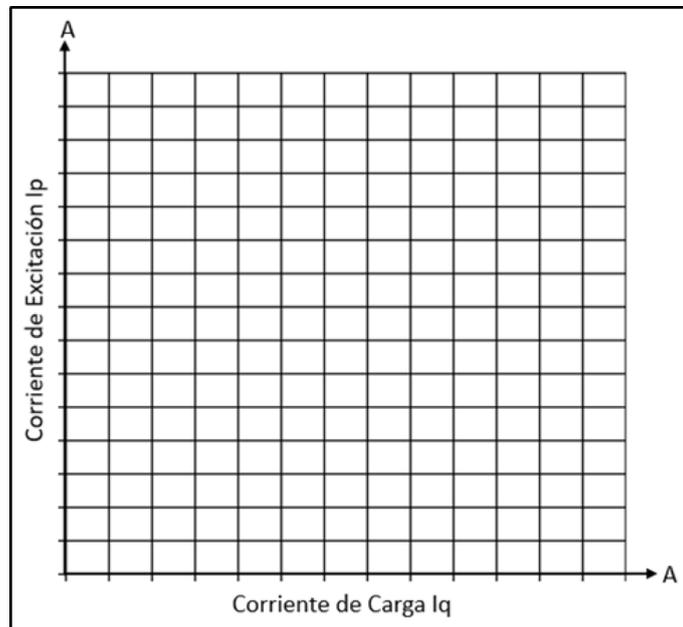


Figura N. Curva de regulación obtenida en práctica

- Llene la tabla 3, variando el reóstato en cada etapa a una frecuencia de 50 Hz, para cada carga, y luego compare la curva de características exteriores del generador shunt con la obtenida en la práctica con una de laboratorio.

Tabla 3. Tabla de valores a medir

Reóstato	Voltaje en terminales	Corriente de carga
Carga 1		
Carga 2		
Carga 3		
Carga 4		
Carga 5		

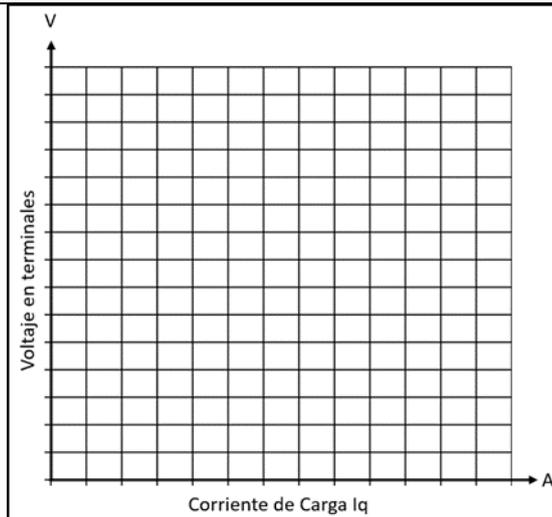


Figura N. Curva características exteriores obtenida en práctica

Nota: La cargas que se coloquen, dependerán del valor de potencia que tengan las luminarias, de modo que, los valores obtenidos en la guía de prácticas del docente van a diferir con respecto a las prácticas que realicen los estudiantes.

PREGUNTAS DE REFUERZO:

- ¿Cómo se obtiene el flujo magnético inductor de un generador shunt?
- ¿Diga en que se utilizan los generadores Shunt?
- ¿Cuáles son las condiciones de funcionamiento normal de un generador shunt?
- ¿Cómo se regula el voltaje de salida del generador shunt?

CONCLUSIONES

-
-
-

RECOMENDACIONES

-
-
-

BIBLIOGRAFÍA

- M, Rodríguez, Máquinas de corriente continua, España: Universidad de Cantabria, 2017,
- V, Moreta, «Implementación de un motor-generator de corriente continua, en el laboratorio de máquinas eléctricas de una Universidad Técnica de Cotopaxi para realizar prácticas demostrativas,» Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2015,
- F, Vargas y M, Saldarriaga, Maquinas Eléctricas Rotativas, Perú: Megaprint Ediciones s,a,, 1990,

GUIA DE PRÁCTICAS

FACULTAD:	CIYA	CARRERA:	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
ASIGNATURA:		PERIODO:		CICLO:	
DOCENTE:		FECHA:		PRÁCTICA N°:	4
LABORATORIO A EFECTUARSE LA PRÁCTICA:					
TEMA:	GENERADOR COMPOUND				

INTRODUCCIÓN:

En esta práctica se realizará las conexiones respectivas que se tiene de un generador shunt, en las cuales se medirá voltaje en los terminales, corriente de carga y excitación de acuerdo a las conexiones realizadas, con el fin de entender el comportamiento del generador shunt y reforzar los conocimientos de los estudiantes de la carrera de Ingeniería Eléctrica.

Generador Compound

tiene la propiedad de que puede trabajar a una tensión prácticamente constante, es decir, casi independiente de la carga conectada a la red, debido a que por la acción del arrollamiento shunt la corriente de excitación tiende a disminuir al aumentar la carga, mientras que la acción del arrollamiento serie es contraria, o sea, que la corriente de excitación tiende a aumentar cuando aumente la carga, Eligiendo convenientemente ambos arrollamientos puede conseguirse que se equilibren sus efectos siendo la acción conjunta una tensión constante cualquiera que sea la carga.

El generador compound tiene la ventaja, respecto al generador shunt, de que no disminuye su tensión con la carga, y, además, que puede excitarse, aunque no esté acoplado al circuito exterior, tal como vimos que sucedía en el generador shunt. Durante la puesta en marcha, funciona como un generador shunt una vez conectado a la red, la tensión en bornes del generador shunt, tendería a disminuir si no fuera por la acción del arrollamiento serie, que compensa esta tendencia, Es decir, que el arrollamiento serie sirve para regular la tensión del generador, en el caso de que la resistencia exterior descienda más allá de cierto límite. No puede funcionar en cortocircuito porque entonces, la acción del arrollamiento serie puede llegar a ser superior al efecto del arrollamiento shunt, y como consecuencia la corriente en el inducido puede alcanzar un valor de dos a tres veces mayor del normal, con el consiguiente peligro para los arrollamientos de la máquina:

- La característica externa de una máquina compound se obtiene combinando las correspondientes características externas de las máquinas serie y shunt
- Apenas hay diferencias entre las conexiones compound (o compuesta) corta y larga porque la caída de tensión en el devanado inductor serie es muy pequeña
- Según que la fuerza magnetomotriz (f,m,m,) del inductor serie se sume o se reste a la f,m,m, del inductor shunt, la conexión compound es aditiva o diferencial, respectivamente
- Una máquina compound aditiva puede ser: compuesta plana, hipercompuesta o hipocompuesta
- En la conexión compuesta plana al subir la corriente I el incremento de V originado por el aumento de la excitación serie compensa a la caída de V que habría si solo actuara el inductor shunt, de forma que para la corriente asignada se mantiene la misma tensión que en vacío, La tensión V se conserva prácticamente constante para corrientes I desde el vacío ($I = 0$) hasta la asignada.

OBJETIVOS:

GENERAL:

- Conocer el funcionamiento de un generador compound

ESPECÍFICOS

- Estudiar las propiedades del generador compuesto en condiciones de plena carga
- Determinar las curvas características de funcionamiento del generador compuesto
- Realizar la adquisición y visualización de las variables eléctricas

LISTADO DE EQUIPOS Y MATERIALES:

Materiales:

- Cables de Conexión

Equipos:

- Módulo de visualización de datos
- Banco de pruebas motor-generador C.C.
- Multímetro DC

ADVERTENCIAS:

Antes de cualquier manipulación del banco de pruebas, primero debe leer el manual de prácticas y realizar exclusivamente los pasos indicados, ¡No se debe hacer ninguna conexión cuando los equipos se encuentren conectados! ¡Los equipos deben apagarse después de la práctica!

- Desconectar las fuentes de energía (apagar)
- Bloquear posibles reconexiones accidentales y señalar los puntos de conexión y desconexión
- Verificar la ausencia de tensión
- Colocar una sólida Puesta a Tierra
- Señalizar la zona de trabajo

INSTRUCCIONES:

- Mantenga un plan de emergencia en caso de presentarse una eventualidad en el lugar de trabajo
- Revisar posibles daños físicos en los elementos de laboratorio a ser utilizados
- Evite distracciones durante el desarrollo de la práctica
- Mantenga siempre a mano las instrucciones de operación para una buena práctica
- Utilizar el mandil de prácticas de la carrera
- Trabajar a frecuencia menores de 47 Hz, cuando realice la práctica con el reóstato de 400 ohm

ACTIVIDADES POR DESARROLLARSE

PRUEBA CONEXIÓN GENERADOR SHUNT

PROCEDIMIENTO:

- Conecte el módulo motor-generador C.C.
- Presione el interruptor, para encender el módulo de adquisición de datos
- En la pantalla principal presione dos veces el icono "LXTerminal"
- Una vez en la pantalla del sistema, elija la pestaña "parámetros D.C."

- Una vez abierto la pantalla parámetros AC, presione la pestaña “INICIAR” para encender el VDF, seguidamente presione las pestañas “+” “-“, para controlar la frecuencia del VDF, posteriormente presione la pestaña “APAGAR” el VDF
- Realice la siguiente conexión, con carga, tal como se muestra en la figura 1

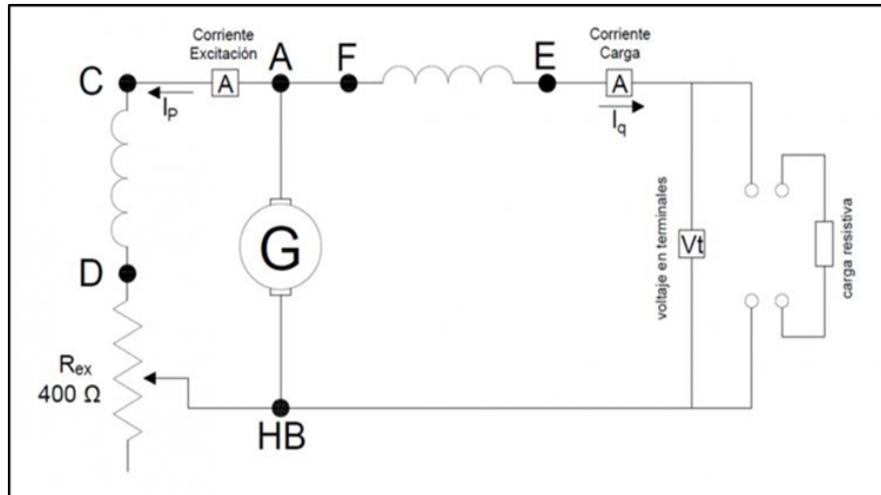


Figura 1, Conexión generador serie

- Llene la tabla 1, variando el reóstato en cada etapa una frecuencia de 50 Hz, a tres cargas, luego grafique la curva de carga del generador y compárela con la obtenida en la práctica con una de laboratorio.

Tabla 1. Mediciones corriente excitación, reóstato 400 ohms

Reóstato	Voltaje	Corriente excitación
Etapa 1		
Etapa 2		
Etapa 3		
Etapa 4		
Etapa 5		
Etapa 6		

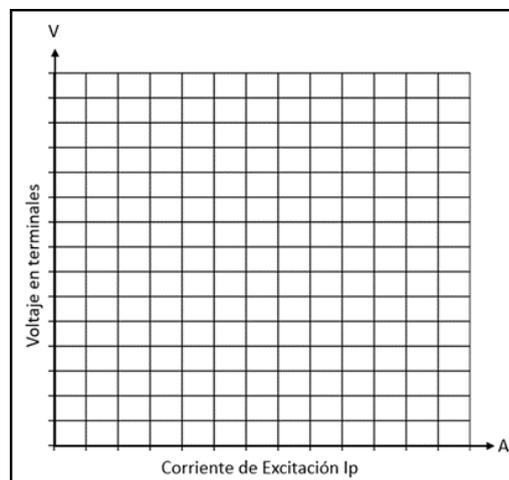


Figura N. Curva de carga obtenida en la práctica

- Anote los valores en la tabla 2, obtenidos del sistema y calcule la potencia de cada carga a una frecuencia de 45 Hz y grafique la curva de características exteriores y compárela con la obtenida en la práctica con una de laboratorio.

Tabla 2. Valores del sistema

Carga	Voltaje (Vt)	Corriente de Carga (Iq)	Potencia (watts)
Carga 1			
Carga 2			
Carga 3			
Carga 4			
Carga 5			

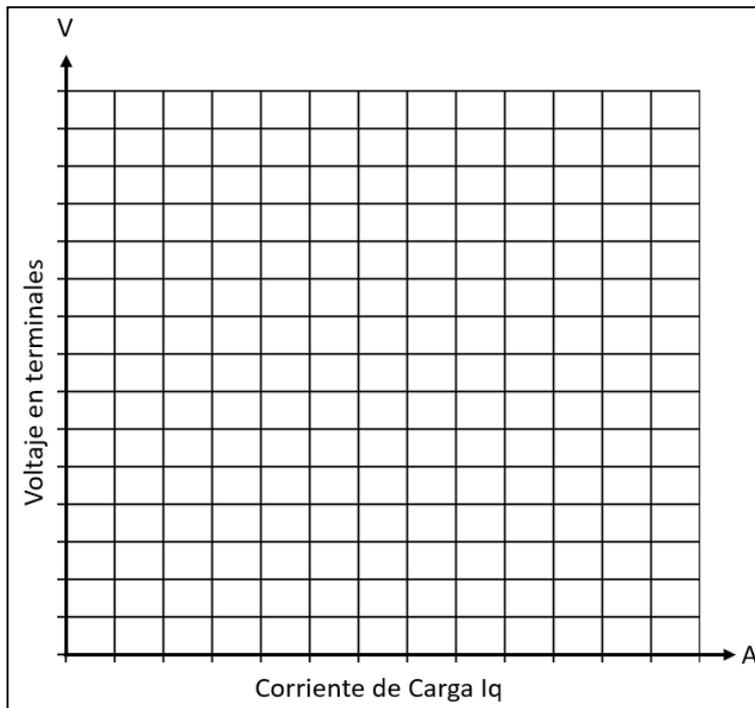


Figura N. Curva características exteriores obtenida en la práctica

- Llene la tabla 3, 4, 5 y realice una comparación voltaje-corriente de las características de las diferentes conexiones de los generadores a una frecuencia de 50 Hz

Tabla 3. Valores del sistema

carga	Voltaje (Vt)	Corriente carga Serie
Carga 1		
Carga 2		
Carga 3		
Carga 4		
Carga 5		

Tabla 4. Valores del sistema

carga	Voltaje (Vt)	Corriente carga Shunt
Carga 1		
Carga 2		
Carga 3		
Carga 4		
Carga 5		

Tabla 5. Valores del sistema

carga	Voltaje (Vt)	Corriente carga Compound
Carga 1		
Carga 2		
Carga 3		
Carga 4		
Carga 5		

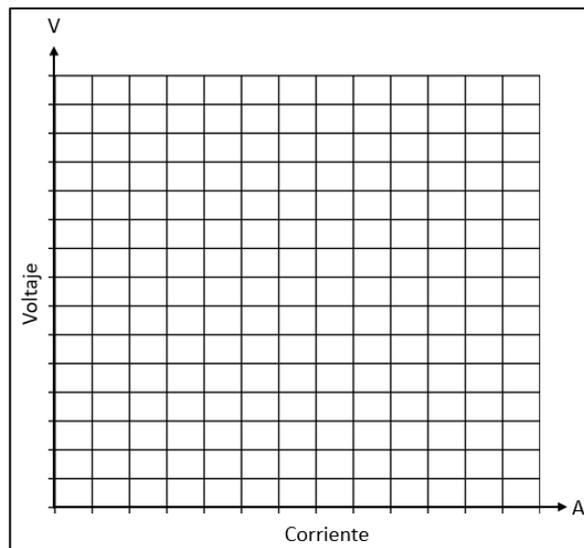


Figura 5. Comparación de curvas de generador shunt, serie y compound

- Llene la tabla 6 para una frecuencia de 50 Hz y realice la curva de comparación de voltaje en los terminales y voltaje de generación con respecto a la carga

Tabla 6. Valores del sistema

carga	Voltaje en los terminales	Voltaje Generación	Corriente
Carga 1			
Carga 2			
Carga 3			
Carga 4			
Carga 5			

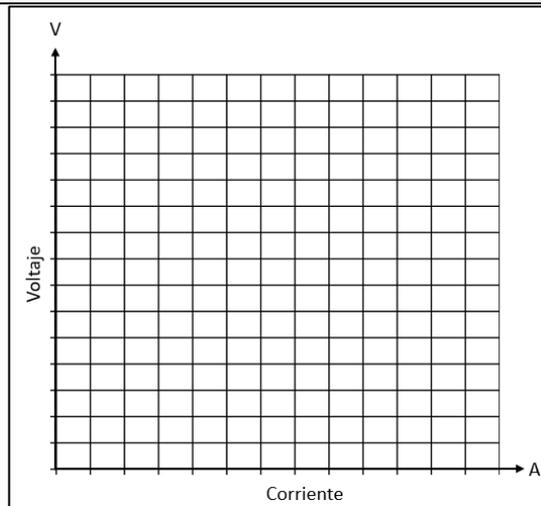


Figura N. Curva de voltaje en terminales y generación con respecto a la carga

Nota: La cargas que se coloquen, dependerán del valor de potencia que tengan las luminarias, de modo que, los valores obtenidos en la guía de prácticas del docente van a diferir con respecto a las prácticas que realicen los estudiantes.

PREGUNTAS DE REFUERZO:

- ¿Cuál es la principal propiedad que tiene un generador compound?
- ¿Explique qué sucede con la corriente de excitación en el enrollamiento shunt y serie en un generador compound?
- ¿Cuál es la función del campo shunt y campo serie en el generador compound?

CONCLUSIONES:

-
-
-

RECOMENDACIONES

-
-
-

BIBLIOGRAFÍA

- M, Rodríguez, Máquinas de corriente continua, España: Universidad de Cantabria, 2017,
- V, Moreta, «Implementación de un motor-generador de corriente continua, en el laboratorio de máquinas eléctricas de una Universidad Técnica de Cotopaxi para realizar prácticas demostrativas,» Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, 2015,
- F, Vargas y M, Saldarriaga, Maquinas Eléctricas Rotativas, Perú: Megaprint Ediciones s.a., 1990
- D. Fink y H. Wayne, Manual Práctico electricidad ingenieros, Reverte, 1981.

GUIA DE PRÁCTICAS

FACULTAD:	CIYA	CARRERA:	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
ASIGNATURA:		PERIODO:		CICLO:	
DOCENTE:		FECHA:		PRÁCTICA N°:	5
LABORATORIO A EFECTUARSE LA PRÁCTICA:					
TEMA:	VISUALIZACIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS A.C. (ALIMENTACIÓN Y MOTOR)				

INTRODUCCIÓN:

En esta práctica se realizará las conexiones para la visualización de los parámetros eléctricos tanto en la alimentación del módulo como a la salida del variador de frecuencia, con el fin que los estudiantes se integren con los sistemas SAD y refuercen sus conocimientos.

OBJETIVOS:

GENERAL:

- Conocer los elementos y funcionamiento del sistema de adquisición y visualización de los parámetros eléctricos en corriente alterna.

ESPECÍFICOS

- Investigar la función principal de los sistemas SCADA
- Identificar las partes del módulo de adquisición y visualización de datos.
- Realizar prácticas demostrativas de adquisición y visualización de datos.

LISTADO DE EQUIPOS Y MATERIALES:

Materiales:

- Cables de Conexión
- Pinzas amperimétricas

Equipos:

- Módulo de visualización de datos
- Banco de pruebas motor-generador C.C.
- Pinza amperimétrica
- Multímetro

ADVERTENCIAS:

Antes de cualquier manipulación del banco de pruebas, primero debe leer el manual de prácticas y realizar exclusivamente los pasos indicados. ¡No se debe hacer ninguna conexión cuando los equipos se encuentren conectados! ¡Los equipos deben apagarse después de la práctica!

- Desconectar las fuentes de energía (apagar).
- Bloquear posibles reconexiones accidentales y señalar los puntos de conexión y desconexión.
- Verificar la ausencia de tensión
- Colocar una sólida Puesta a Tierra.
- Señalizar la zona de trabajo.

INSTRUCCIONES:

- Mantenga un plan de emergencia en caso de presentarse una eventualidad en el lugar de trabajo.
- Revisar posibles daños físicos en los elementos de laboratorio a ser utilizados.
- Evite distracciones durante el desarrollo de la práctica.
- Mantenga siempre a mano las instrucciones de operación para una buena práctica.
- Utilizar el mandil de prácticas de la carrera.

ACTIVIDADES POR DESARROLLARSE

PRUEBA DE VISUALIZACION DE PARAMETROS ELECTRICOS AC. (ALIMENTACION Y MOTOR)

PROCEDIMIENTO:

- Conecte el módulo motor-generator C.C.
- Presione el interruptor, para encender el módulo de adquisición de datos.
- En la pantalla principal presione dos veces el icono “LXTerminal”
- Una vez en la pantalla del sistema, elija la pestaña “parámetros A.C.”
- Realice la siguiente conexión, tal como se muestra en la figura 1.

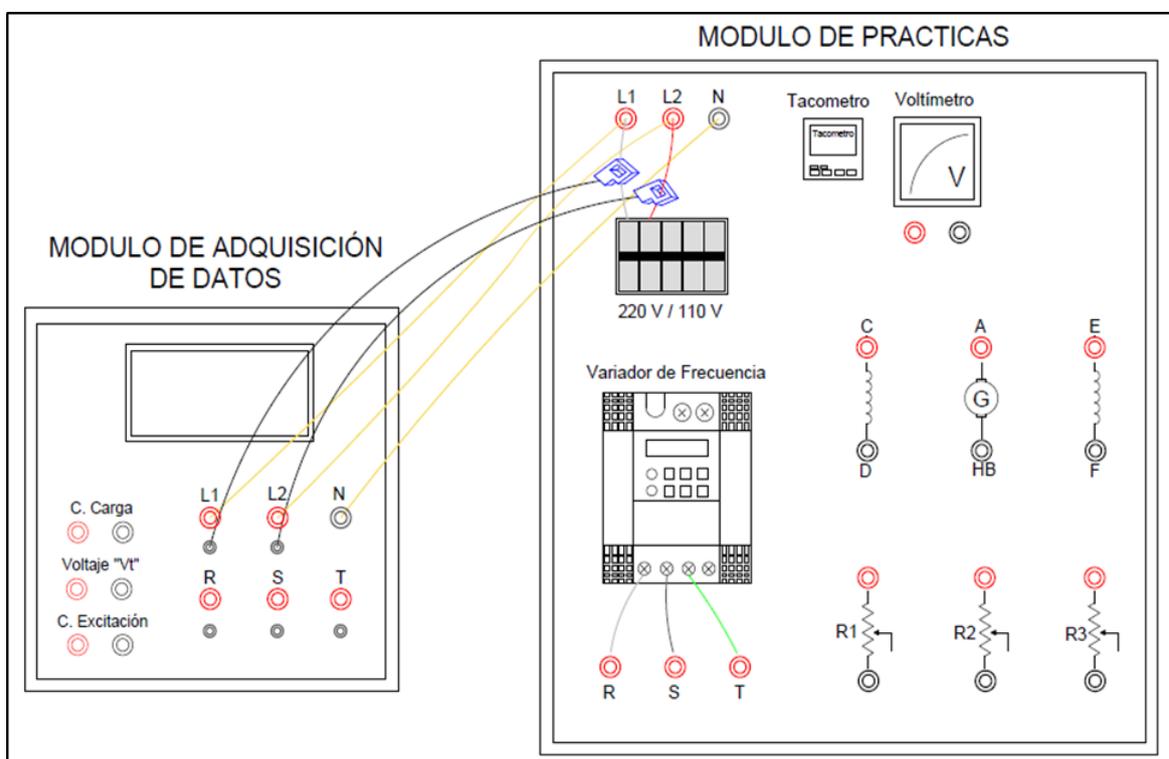


Figura 1. Módulo de prácticas para el generador C.C.

- Una vez abierto la pantalla parámetros AC, presione la pestaña “INICIAR” para encender el VDF, seguidamente presione las pestañas “+” “-“, para controlar la frecuencia del VDF, posteriormente presione

la pestaña “APAGAR” el VDF

- Una vez seguido los pasos anteriores, llene la tabla 1 con los valores registrados del sistema y tabla 2 con valores medidos por los equipos.

Tabla 1. Valores del sistema, alimentación ETAPA 1

Condición	Voltaje L1	Corriente L1	Voltaje L2	Corriente L2
VDF encendido				
VDF a 60 HZ				

Tabla 1. Valores medidos, alimentación ETAPA 1

Condición	Voltaje L1	Corriente L1	Voltaje L2	Corriente L2
VDF encendido				
VDF a 60 HZ				

- Una vez registrado los datos de la tabla anterior, realice la siguiente conexión de la figura 2.

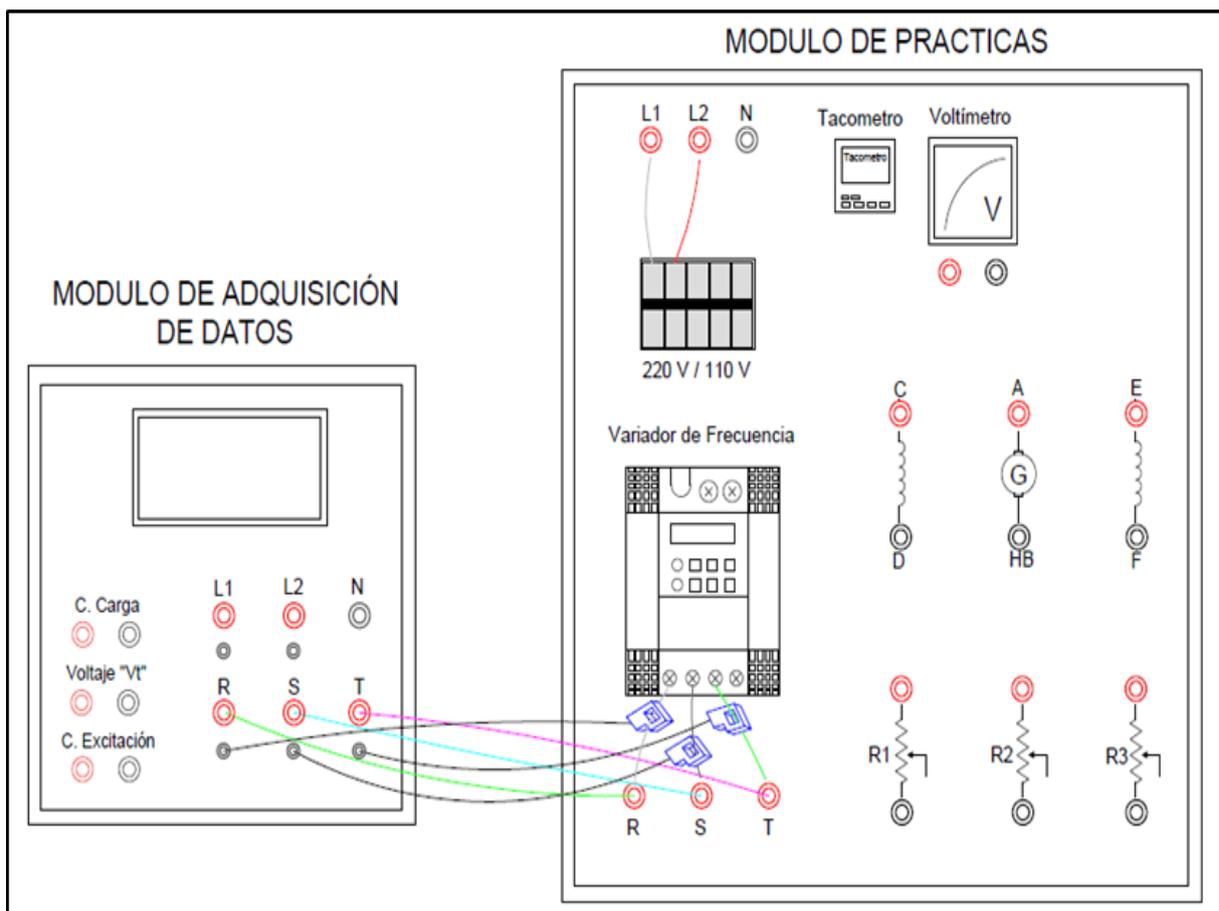


Figura 2. Módulo de cargas resistivas y reóstatos

- Una vez realizado la conexión, llene la tabla 3 con valores medidos por el sistema y la tabla 4 con valores medidos por los equipos.

Tabla 3. Valores del sistema, alimentación ETAPA 2

Conexiones Frecuencia	R		S		T	
	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente
20 Hz						
60 Hz						

Tabla 4. Valores de los equipos, alimentación ETAPA 2

Conexiones Frecuencia	R		S		T	
	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente	Voltaje	Corriente
20 Hz						
60 Hz						

- Realice una tabla de porcentajes de error, para la ETAPA 1 y ETAPA 2, con la siguiente ecuación y explique dichos porcentajes

$$\% \text{ error} = \frac{\text{medición}_{\text{Equipos}} - \text{medición}_{\text{sistema}}}{\text{medición}_{\text{Equipos}}} * 100$$

	L1	L2	R	S	T
% error voltaje					
% error corriente					

Nota: los valores que se registren a frecuencias menores de 50 Hz, tendrán porcentajes de error elevados, por lo que en la práctica se debe explicar el motivo, por lo que los equipos no pueden medir a bajas frecuencias.

CONCLUSIONES:

-
-
-

RECOMENDACIONES

-
-
-

BIBLIOGRAFÍA

- J. Cortés, H. Cano y J. Chaves, «Fundamentos y aplicación del muestreo en señales ubicadas en las bandas altas del espectro,» Universidad Tecnológica de Pereira, n° 39, p. 6, 2008.