



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE
POTENCIA**

PROPUESTA TECNOLÓGICA

TEMA:

**“ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS CORRIENTES DE
FALLA POR CORTOCIRCUITO FRENTE A DIFERENTES
CONEXIONES DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO MEDIANTE
LA UTILIZACIÓN DE UN PROTOTIPO”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero
Eléctrico en Sistemas Eléctricos de Potencia

Autores:

Mejía Tubón Marissa Raquel
Quinatoa Yugcha Nelson Ramiro

Tutor:

Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso M.Sc.

Latacunga – Ecuador

Julio 2019



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros **MEJÍA TUBÓN MARISSA RAQUEL** y **QUINATOYA YUGCHA NELSON RAMIRO** declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “**ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS CORRIENTES DE FALLA POR CORTOCIRCUITO FRENTE A DIFERENTES CONEXIONES DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN PROTOTIPO**”, siendo el Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado 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.

Marissa Raquel Mejía Tubón
1850185255

Nelson Ramiro Quinatoa Yugcha
0503799637



Universidad
Técnica de
Cotopaxi



Ingeniería
Eléctrica

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 Aplicadas; por cuanto, los postulantes **MEJÍA TUBÓN MARISSA RAQUEL** y **QUINATOA YUGCHA NELSON RAMIRO** con el título de Proyecto de titulación “**ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS CORRIENTES DE FALLA POR CORTOCIRCUITO FRENTE A DIFERENTES CONEXIONES DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN PROTOTIPO**”, 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, Julio del 2019

Para constancia firman:

Ing. Marco León. MSc.
(Presidente)
CC: 0502305402

PhD. Iliana González
CC: 1757070659

Ing. Edwin Lema. MSc.
CC: 0302241351



AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de director de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi certifico que mediante el proyecto de investigación: **“ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS CORRIENTES DE FALLA POR CORTOCIRCUITO FRENTE A DIFERENTES CONEXIONES DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN PROTOTIPO”** de los señores; **MEJÍA TUBÓN MARISSA RAQUEL** y **QUINATOA YUGCHA NELSON RAMIRO**, realizan la entrega de un Módulo de visualización de datos, para el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, Julio, 2019

Ph.D. Secundino Marrero Ramirez

C.C. 1757107907



AGRADECIMIENTO

En primer lugar a Dios por brindarme la fortaleza necesaria para lograr culminar mi carrera.

A mis padres Fanny y Vinicio por su ejemplo paciencia, dedicación, y por ser la motivación constante para no rendirme, a mi hermano Mateo por su incondicional cariño y comprensión durante esta etapa.

A mi tía Gladys por el apoyo y cariño incondicional que me ha brindado, y a mi familia por siempre extender su mano en momentos difíciles.

A mi amigos Sandra, Mayra, Sergio y David por haberme ofrecido una amistad sincera durante esta etapa, a Shirley, tú, mi hermana por elección con quién he compartido risas y llantos como no agradecer esa amistad tan leal que me has brindado durante todos estos años.

Un agradecimiento especial a los Ingenieros Xavier Proaño, Vicente Quispe y Edison Velasco quienes fueron partícipes de este proyecto con sus enseñanzas, gracias por su paciencia y su tiempo, a la Universidad Técnica de Cotopaxi por haberme abierto las puertas para lograr este sueño.

Marissa Mejía

AGRADECIMIENTO

Primero que nada, dar gracias a Dios, por estar presente en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente, por haber puesto en mi camino a aquellas personas que fueron un aporte y compañía durante todo este tiempo de estudiante.

Un agradecimiento a mis padres Rafael y Rosario que has sido mi fortaleza, luz y esperanza incondicional en toda mi vida de estudio, a mis hermanos Guido, Fabian, Soledad por el apoyo y ánimo para conseguir mis sueños.

A mis amigos Mauricio Barba, Cristian Andrango, José Lema, Cristian Santo; por sus consejos y palabras de aliento y contagiarme con su alegría, ánimos y positivismo.

Un agradecimiento muy especial al Ing. Xavier Proaño por ser nuestro tutor y guía para la realización de esta investigación. Ing. Vicente Quispe, Ing. Edison Velasco por proporcionar soluciones a las interrogantes que surgieron en el transcurso de este trabajo.

Nelson Quinatoa

DEDICATORIA

A Dios por su infinito amor y misericordia

A mi padre, Vinicio por el amor, el esfuerzo y dedicación que ha entregado durante toda mi vida.

A mi madre, Fanny por ser mi pilar fundamental, porque con su ejemplo y amor me ha forjado a ser una mujer fuerte y valiente, con principios y valores, por todo los consejos y palabras de aliento.

A mi pequeño Mateo, quien con su sonrisa, sus palabras y ocurrencias me empujan a seguir adelante.

Gracias mamá, gracias papá y gracias hermanito, los amo tanto.

Marissa Mejía

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye éste. Principalmente a mi madre que ha sido un pilar fundamental en mi formación como profesional, me formaron con reglas y consejos importantes para mi vida, pero que al final de cuentas, me motivaron a ser constante y diligente para alcanzar mis metas y anhelos. Y por último a mis hermanos y verdaderos amigos con los que compartimos todos estos años.

Nelson Quinatoa Y.

ÍNDICE

1. INFORMACIÓN BÁSICA	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	1
2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	1
2.5.2. Campo de acción.....	2
2.8.1. Objetivo general.....	3
2.8.2. Objetivos específicos	4
2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS	4
3. MARCO TEÓRICO	7
3.2. Transformadores	11
3.3. Principio de Funcionamiento de un Transformador	11
3.3.1. El campo magnético	11
3.3.2. Transformadores Monofásicos.....	12
3.3.3. Conexión de un Transformador Trifásico	12
3.4. Transformador ideal.....	13
3.5. Bancos Trifásicos.....	15
3.5.1. Ventajas y Desventajas	16
3.6. Tipos De Conexiones en un Sistema Trifásico	16
3.6.1. Conexión delta	16
3.6.2. Conexión estrella	17
3.7. Conexiones trifásicas.....	18
3.7.1. Conexión Delta (Δ) –Delta (Δ)......	18
3.7.2. Conexión Estrella (Y)- Estrella (Y).	19
3.7.3. Conexión Delta (Δ) – Estrella (Y)......	20
3.7.4. Conexión Estrella (Y) – Delta (Δ).....	21
3.7.5. Circuitos de secuencia de transformadores Y y Δ	21
3.6.5.1. Secuencia de fases	22

3.7.	Pruebas de un transformador.....	23
3.7.1.	Prueba de corto circuito.....	23
3.7.2.	Prueba de polaridad.....	23
3.7.3.	Polaridad aditiva.....	24
3.7.4.	Polaridad substractiva.....	24
3.8.	Aplicaciones de las conexiones del transformador.....	24
3.8.1.	Aplicaciones conexión Y-Y.....	24
3.8.2.	Aplicaciones conexión D-Y5.....	24
3.8.3.	Aplicaciones conexión D-Y11.....	24
3.8.4.	Aplicaciones conexión Y-D.....	25
3.8.5.	Aplicaciones conexión Y-Z.....	25
3.9.	Anormalidades.....	25
3.9.1.	Cortocircuitos.....	25
3.9.1.1.	Tipos de cortocircuitos.....	26
3.9.1.2.	Magnitud y efecto de las corrientes de cortocircuito.....	27
3.9.1.3.	Consecuencias de los cortocircuitos.....	27
3.9.2.	Falla en un Sistema Eléctrico de Potencia.....	28
3.9.2.1.	Fallas simétricas.....	28
3.9.2.2.	Cortocircuito trifásicos en sistemas de potencia.....	30
3.9.3.	Fallas asimétricas.....	31
3.9.3.1.	Tipos de fallas asimétricas.....	32
3.9.3.2.	Falla monofásica.....	32
3.9.3.3.	Falla Bifásica.....	33
3.9.3.4.	Falla bifásica a tierra.....	35
3.9.3.5.	Falla trifásica.....	36
3.10.	Elementos para el módulo de adquisición de datos.....	37
3.10.1.	Arduino Mega.....	37

3.10.2.	Arduino Nano.....	37
3.10.3.	Sensor de Corriente ACS712.....	38
4.	METODOLOGÍA.....	40
4.1.	Métodos de Investigación.....	40
4.1.1.	Método analítico.....	41
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	41
6.	Presupuesto y Análisis de Impacto.....	65
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	67
8.	REFERENCIAS.....	68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1.	Partes de un transformador.....	11
Figura 3.2.	Conexión de un transformador monofásico.....	12
Figura 3.3.	Devanado primario y secundario de un transformador trifásico.....	13
Figura 3.4.	Transformador ideal.....	14
Figura 3.5.	Representación de un transformador ideal.....	14
Figura 3.6.	Transformador monofásico acorazado.....	15
Figura 3.7.	Conexión delta.....	16
Figura 3.8.	Magnitud de corrientes en conexión delta.....	17
Figura 3.9.	Conexión estrella.....	17
Figura 3.10.	Magnitud de corrientes y voltajes en conexión estrella.....	18
Figura 3.11.	Transformadores monofásicos idénticos mostrando las identificaciones de polaridad.....	18
Figura 3.12.	Conexión delta – delta de transformadores.....	19
Figura 3.13.	Conexión estrella – estrella de transformadores.....	20
Figura 3.14.	Conexión delta-estrella de transformadores.....	20
Figura 3.15.	Conexión estrella-delta de transformadores.....	21
Figura 3.16.	Cuadro circuito equivalente de secuencia cero.....	22
Figura 3.17.	Secuencia de fases directa e inversa.....	23
Figura 3.18.	Esquema para prueba de corto circuito.....	23
Figura 3.19.	Tipos de cortocircuito.....	26

Figura 3.20. Circuito R-L para análisis de cortocircuito.....	27
Figura 3.21. Circuito equivalente donde se presenta una falla trifásica.....	29
Figura 3.22. Circuito equivalente de las redes de secuencia.....	30
Figura 3.23. Aplicación de la superposición a un cortocircuito trifásico en un sistema de potencia.....	31
Figura 3.24. Diagrama de conexiones de los segmentos hipotéticos para una falla monofásica.....	32
Figura 3.25. Conexión de los equivalentes de Thévenin de las redes de secuencia para simular una falla monofásica.....	33
Figura 3.26. Conexión de los segmentos hipotéticos para una falla bifásica.....	34
Figura 3.27. Conexión de los equivalentes de Thévenin de las redes de secuencia para simular una falla bifásica.....	34
Figura 3.28. Diagrama de conexiones de los hipotéticos para una falla bifásica a tierra.....	35
Figura 3.29. Conexión de los equivalentes de Thévenin de las redes de secuencia para simular una falla bifásica a tierra.....	35
Figura 3.30. Diagrama de conexiones de una falla trifásica.....	36
Figura 3.31. Conexión de los equivalentes de Thévenin de las redes de secuencia para simular una falla trifásica.....	36
Figura 3.32. Arduino Mega.....	37
Figura 3.33. Arduino Nano.....	37
Figura 3.34. Sensor de Corriente.....	38
Figura 3.35. Sensor de Voltaje.....	39
Figura 3.36. Sensor de Corriente no invasivo.....	40
Figura 3.37. Raspberry Pi 3 b+.....	40
Figura 5.1. Diseño de la ubicación de los equipos y elementos del módulo para las corrientes de cortocircuito.....	42
Figura 5.2. Banco de Transformadores.....	43
Figura 5.3. Prueba de circuito abierto.....	43
Figura 5.4. Prueba de cortocircuito.....	45
Figura 5.5. Prueba en el microhmetro en el primario del transformador con una corriente de 100mA.....	46
Figura 5.6. Diagrama de sentido de las corrientes en conexión Dy.....	51
Figura 5.7. Conexión Dy1 del transformador.....	51

Figura 5.8. Dirección de las corrientes en conexión Dy1.....	52
Figura 5.9. Falla Monofásica.....	53
Figura 5.10. Diferencia de corrientes en el primario y secundario del transformador conexión Dy1.	53
Figura 5.11. Valores de corriente y desfases con datos obtenidos en conexión Dy1.....	54
Figura 5.12. Conexión Dy5 del transformador.....	55
Figura 5.13. Dirección de las corrientes en conexión Dy5.....	56
Figura 5.14. Falla Bifásica	57
Figura 5.15. Diferencia de corrientes en el primario y secundario del transformador conexión Dy5.	58
Figura 5.16. Valores de corriente y desfases con datos obtenidos en conexión Dy5.....	59
Figura 5.17. Conexión Yy6 del transformador.....	59
Figura 5.18. Dirección de las corrientes en conexión Yy6.	60
Figura 5.19. Falla Bifásica a Tierra	61
Figura 5.20. Valores de corriente y desfases con datos obtenidos en conexión Yy6.....	62
Figura 5.21. Conexión Yd1 del transformador.....	62
Figura 5.22. Dirección de las corrientes en conexión Yd1.....	64
Figura 5.23. Falla Trifásica	64
Figura 5.24. Valores de corriente y desfases con datos obtenidos en conexión Yd1.....	65

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Porcentaje de incidencia en tipos de cortocircuitos.....	26
Tabla 5.1. Impedancias medidas en el Microhmetro.....	46
Tabla 5.2. Voltajes a ser ingresados en los Variac's en Conexión Yyo y Dd0.	48
Tabla 5.3. Voltajes a ser ingresados en los Variac's en conexión Yd1 y Dy1.	48
Tabla 5.4. Voltajes a ser ingresados en los Variac's en conexión Yd5 y Dy5.	48
Tabla 5.5. Voltajes a ser ingresados en los Variac's Yd7 y Dy7.....	49
Tabla 5.6. Voltajes a ser ingresados en los Variac's Yd11 y Dy11.....	49
Tabla 5.7. Voltajes a ser ingresados en los Variac's en conexión Yy6 y Dd6.	49
Tabla 5.8. Corrientes y desfases en el primario y secundario del transformador en conexión Dy1	51
Tabla 5.9. Corrientes y desfases en el primario y secundario del transformador en conexión	

Dy5	56
Tabla 5.10. Corrientes y desfases en el primario y secundario del transformador en conexión	
Yy6	59
Tabla 5.11. Corrientes y desfases en el primario y secundario del transformador en conexión	
Yd1	63
Tabla 6.1. Presupuesto de gastos Directos.....	66
Tabla 6.2. Presupuesto gastos indirectos	66

RESUMEN DEL PROYECTO

TEMA:

“ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS CORRIENTES DE FALLA POR CORTOCIRCUITO FRENTE A DIFERENTES CONEXIONES DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN PROTOTIPO”

Autores:

Mejía Tubón Marissa Raquel

Quinatoa Yugcha Nelson Ramiro

En el presente proyecto se construyó un módulo de pruebas cuya finalidad es realizar fallas por cortocircuito, el mismo cuenta con un banco de transformadores monofásicos y un banco de autotransformadores regulables.

El banco de transformadores permite realizar las diferentes conexiones establecidas con lo cual se puede hacer el estudio del comportamiento de fallas monofásicas, bifásicas, bifásicas a tierra y trifásicas.

El módulo cuenta con un sistema de adquisición de datos en el cual se puede visualizar las corrientes, voltajes, ondas de desfases y diagramas fasoriales por grupo de conexión.

Para las distintas fallas que se pueden realizar en el módulo se debe regular el voltaje de entrada, para proteger al banco de transformadores que puede soportar una corriente máxima de 6. A Al igual el módulo cuenta con la capacidad de realizar distintas conexiones permitiendo el análisis de la corriente de falla en cada escenario.

Los resultados más relevantes obtenidos son los siguientes:

En una conexión Dy5 el desfase de corriente entre la fase de primario y secundario será de 150° en condiciones normales, tras ocurrir un cortocircuito bifásica la corriente en la fase C con 0.18 A se desprecia, al ser comparada con las corrientes de falla con 2.30 A, en cuanto a desfases la corriente de secuencia positiva se adelanta 90° a la corriente de falla., mientras que la corriente de secuencia negativa se retrasa en 90° de la corriente de falla.

Palabras clave: banco de transformadores, autotransformador regulable (variac), corrientes de falla, pantalla de visualización de datos.

THEME:

“ANALYZING THE BEHAVIOR OF THE FAILURE CURRENTS BY SHORT CIRCUIT AGAINST DIFFERENT CONNECTIONS OF A THREE-PHASE TRANSFORMER THROUGH THE USE OF A PROTOTYPE”

Authors:

Mejía Tubón Marissa Raquel

Quinatoa Yugcha Nelson Ramiro

ABSTRACT

This project aimed to create a test module to make failures by short circuit, it has a bank of single-phase transformers and a bank of adjustable autotransformers.

The bank of transformers allows making the different established connections with which to do a study about the behavior of single-phase, biphasic, biphasic faults to ground and three-phase. The module has a data acquisition system in which it can visualize the currents, voltages, phase shifts and phasor diagrams per connection group. For the different faults that can be made in the module, the input voltage must be regulated, to protect the bank of transformers that can withstand a maximum current of 6 A. The module also has the ability to make different connections allowing the analysis of the fault current in each scenario, the most relevant results obtained are the following: In a Dy5 connection, the current mismatch between the primary and secondary phase will be 150° under normal conditions, after a biphasic short circuit the current in phase C with 0.18A is disregarded, when compared with fault currents with 2.30 A, in terms of phase shifts the positive sequence current advances 90° to the fault current., while the current of negative sequence is delayed by 90° from the fault current.

Keywords: transformer bank, voltage regulator in ac (variac), currents offails, data acquisition screen.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: la traducción del resumen de tesis al idioma Inglés presentado por los señores Egresados de la Carrera de **INGENIERÍA ELÉCTRICA** de la Facultad de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, **MEJÍA TUBÓN MARISSA RAQUEL** y **QUINATOYA YUGCHA NELSON RAMIRO**, cuyo título versa “**ANALIZAR EL COMPORTAMIENTO DE LAS CORRIENTES DE FALLA POR CORTOCIRCUITO FRENTE A DIFERENTES CONEXIONES DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE UN PROTOTIPO**”, 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, Julio 2019

Atentamente,

Lic. Mayra Noroña Heredia Mg.
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0501955470



1. INFORMACIÓN BÁSICA

PROPUESTO POR: Mejía Tubón Marissa Raquel

Quinatoa Yugcha Nelson Ramiro

TEMA APROBADO: Analizar el comportamiento de las corrientes de falla por cortocircuito frente a diferentes conexiones de un transformador trifásico mediante la utilización de un prototipo

CARRERA: Ingeniería Eléctrica

DIRECTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA: Msc. Xavier Alfonso Proaño Maldonado

EQUIPO DE TRABAJO:

Tutor: Msc. Xavier Alfonso Proaño Maldonado

Estudiantes: Mejía Tubón Marissa Raquel

Quinatoa Yugcha Nelson Ramiro

LUGAR DE EJECUCIÓN: Ecuador, Cotopaxi, Latacunga, Eloy Alfaro, El Ejido

TIEMPO DE DURACIÓN DE LA PROPUESTA: 8 meses

FECHA DE ENTREGA: Diciembre del 2018

LÍNEA(S) Y SUBLINEAS DE INVESTIGACIÓN) A LAS QUE SE ASOCIA LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.

LINEA: Energías Alternativas y Renovables, eficiencia energética y protección ambiental.

SUBLINEA: Conversión y uso racional de la energía eléctrica.

TIPO DE PROPUESTA TECNOLÓGICA: Construir un “producto” o modulo con el fin de desarrollar prácticas que permita visualizar el comportamiento de corriente de falla en transformadores.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Analizar el comportamiento de las corrientes de falla por cortocircuito frente a diferentes conexiones de un transformador trifásico mediante la utilización de un prototipo.

2.2. TIPO DE ALCANCE

Interdisciplinar: El proyecto se considera de tipo interdisciplinar porque están involucradas varias asignaturas de formación profesional del área de Ingeniería Eléctrica como: protecciones, sistemas eléctricos de potencia y máquinas eléctricas

2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO:

Esta propuesta tecnológica se encuentra en el área de “Ingeniería, Industria y Construcción”. Y en la subárea de “Ingeniería y Profesiones afines.

2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

La finalidad del presente proyecto es diseñar, construir e implementar un módulo, para analizar el comportamiento de las corrientes de falla en un transformador trifásico según sus diferentes conexiones, mismo que permitirá el estudio al momento de ocasionarse una falla en uno de los devanados del transformador y sus efectos en el lado opuesto, mediante un dispositivo de representación gráfica que permita visualizar la distorsión de onda producida por el cortocircuito. Los principales beneficiarios de este módulo serán los estudiantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica y afines, que cursan la materia de protecciones eléctricas, de esta manera incrementando de forma práctica los conocimientos ya adquiridos con la teoría.

Para cuyo efecto conozco y acepto las disposiciones establecidas en las reglamentaciones de la Universidad Técnica de Cotopaxi para el proceso de titulación.

2.5.OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.5.1. Objeto de estudio

El objeto de estudio de esta propuesta es un implemetar un banco de transformadores trifásicos para realizar diferentes conexiones.

2.5.2. Campo de acción

Este tema se encuentra inmerso en el área de protecciones eléctricas.

2.6. SITUACIÓN PROBLÉMICA Y PROBLEMA

2.6.1. Situación Problemática

Las investigaciones realizadas de transformadores se encuentran enfocadas a sus beneficios y aplicaciones, dando poca importancia a lo que ocurre con las corrientes al momento de producirse una falla en sus diferentes conexiones y lo que sucede tanto interna como externamente en el transformador. Las fallas se pueden producir por daño en el aislamiento, sobrecalentamiento por cortocircuito etc.; cuando ocurre un cortocircuito la impedancia disminuye por lo que la corriente tiende a incrementar pudiendo producirse daños en los equipos suministrados de energía ocasionando pérdidas económicas, cuando un transformador falla debido a cortocircuitos se presentan efectos internos pos falla como son: en la conexión de baja voltaje se observa que el cobre posee un tono descolorido, el papel aislante de la bobina y salidas es quebradizo, aceite dieléctrico ennegrecido o quemado con gran formación de lodo, paredes del tanque descoloridas.

Considerando la importancia de analizar las fallas es necesario brindar a los estudiantes y docente un medio que permita visualizar el efecto de las fallas ya que en la actualidad no se cuenta con un equipo que brinde estas funcionalidades.

2.6.2. Problema

Visualizar el comportamiento de las corrientes de falla en un banco de 3 transformadores monofásicos frente a distintas fallas de cortocircuito.

2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA

Al realizar una falla en un banco de transformadores trifásicos con determinadas configuraciones se podrá visualizar el comportamiento de las corrientes en las fases tanto en el primario y secundario.

2.8. OBJETIVOS

2.8.1. Objetivo general

Determinar el comportamiento de las corrientes de falla por cortocircuito, frente a

diferentes conexiones de un transformador trifásico, mediante la utilización de un prototipo.

2.8.2. Objetivos específicos

- Recopilar información de investigaciones bibliográficas realizadas, sobre el comportamiento de transformadores frente a cortocircuitos.
- Diseñar el módulo de pruebas mediante la identificación de las variables necesarias para la visualización de materiales y equipos a utilizarse..
- Construir un módulo de pruebas para el área de talleres de la carrera de ingeniería eléctrica y verificar su funcionamiento frente a distintos tipos de falla por cortocircuito.

2.9.DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS

Se relacionan cada objetivo con las tareas a realizar para el cumplimiento de los objetivos.

OBJETIVOS	ACTIVIDADES O TAREAS	RESULTADOS	MEDIO DE VERIFICACIÓN
<p>1) Recopilar información de investigaciones bibliográficas realizadas, sobre el comportamiento de transformadores frente a cortocircuitos.</p>	<p>1.1. Investigar fundamentación teórica de la propuesta en libros, tesis, publicaciones de artículos científicos y otros.</p>	<p>Información real y precisa que permitió realizar el marco teórico del proyecto</p>	<p>Documentos físicos o digitales.</p>
<p>2) Diseñar el módulo de pruebas mediante la identificación de las variables necesarias para la adquisición de materiales y equipos a utilizarse.</p>	<p>2.1. Adquirir un banco de transformadores monofásicos. 2.2. Realizar pruebas de cortocircuito y vacío en los transformadores 2.3. Analizar los equipos a ser utilizados en el módulo</p>	<p>Un banco de transformadores monofásicos que permitió realizar las diferentes conexiones conectados un banco de reguladores de voltaje en Ac para limitar la corriente en los mismos.</p>	<p>-Planos en “AutoCAD” -Equipos a utilizar</p>

<p>3) Construir un módulo de pruebas para el área de talleres de la carrera de ingeniería eléctrica y verificar su funcionamiento frente a distintos tipos de falla por cortocircuito</p>	<p>3.1. Armar un módulo con los distintos materiales y equipos previstos para el funcionamiento del mismo.</p> <p>3.2. Realizar diferentes conexiones en el módulo.</p> <p>3.3. Realizar pruebas en el módulo para distintas fallas.</p> <p>Toma de resultados y análisis de los mismos.</p>	<p>Módulo de pruebas que permita realizar las diferentes fallas por cortocircuito en los transformadores en conexiones Delta – estrella y estrella - Delta</p>	<p>- Modulo didáctico para pruebas de corto circuito.</p> <p>- Resultados obtenidos</p> <p>- Análisis comparativas de resultados mediante gráficas</p>
---	--	--	--

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

La Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil se realizó: el “Análisis de sistemas trifásicos de transformadores conexión D – D” el proyecto tuvo como finalidad el estudio y análisis del comportamiento tanto en condiciones normales de funcionamiento, como en condiciones de falla de un sistema trifásico de transformadores en conexión delta- delta (D - D). Para realizar este estudio se diseñó y construyó un banco de pruebas para transformadores el mismo que se utilizó para la demostración experimental del comportamiento del sistema, para la conservación de todos los elementos que conforman el banco, se establecieron protocolos de mantenimiento preventivo que ayuden a dicho fin. Así mismo se diseñaron 10 prácticas de laboratorio las mismas que servirán como guías didácticas que incluyen varias pruebas experimentales. [1]

La Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil se desarrolló: el “Análisis de sistemas trifásicos de transformadores conexión D – Y”, el mismo que trata sobre la construcción de un banco de pruebas para transformadores, que específicamente permita efectuar el estudio de la conexión delta-estrella, por ser la más común de las conexiones en los transformadores de los sistemas de distribución en nuestro país, la implementación del módulo permitirá realizar prácticas de laboratorio de los estudiantes, y de esta manera estudiar la importancia y aplicación de este tipo de conexiones. [2]

La Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil se realizó: el “Análisis de sistemas trifásicos de transformadores conexión Y – D” para que el nivel de voltaje que parte desde los centros de generación llegue con valores correctos a los centros de distribución se utilizan los transformadores de elevación, debido a que al pasar la energía por las redes de transmisión se irán perdiendo cierta cantidad de voltaje, en el proyecto de titulación se realizó pruebas teniendo en cuenta los diversos tipos de carga; así como, el análisis en el comportamiento de los transformadores conectados en Estrella – Triángulo, todas estas pruebas formarán parte de la institución, de manera que al obtener este banco de pruebas permitirá a los estudiantes de todos los niveles poner en práctica los conocimientos adquiridos, además de la comprobación de los resultados, tomando de guía el documento a elaborarse. [3]

La Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil se realizó: “Análisis de sistemas

trifásicos de transformadores conexión Y – Y” para este estudio se ha construido un tablero de pruebas que servirá como instrumento para los ensayos de laboratorio, y así verificar todos los fenómenos que se pueden producir en un sistema trifásico de transformación. Para la correcta operación del tablero de pruebas se han diseñado guías y protocolos tanto de funcionamiento como de seguridad al momento de energizar dicho tablero, además se han propuesto 10 prácticas con casos reales para obtener un mejor entendimiento de los diferentes fenómenos que se producen en un banco de transformadores en conexión estrella - estrella (Y-Y) a los diferentes tipos de cargas que podemos encontrar en el campo. [4]

En la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil se desarrolló: el “Análisis de un sistema de distribución trifásico”, los sistemas trifásicos de distribución son la manera más eficiente que las empresas suministradoras de la energía eléctrica emplean para distribuir a los usuarios, los parámetros regulados son: el nivel de voltaje en las instalaciones de los usuarios, bajo factor de potencia, corrientes parásitas o armónicas, etc., el análisis de los sistemas de distribución permite establecer soluciones viables, efectivas y económicas para solucionar o regular estos parámetros dentro de los rangos establecidos por el CONELEC y permite conocer los principales problemas que se presenta en las líneas de media y baja tensión, gracias a la construcción del banco de pruebas para simular un sistema de distribución trifásico se encontró que la conexión de los transformadores del sistema influyen bastante en la calidad del servicio, principalmente vemos que la conexión delta-estrella es la más utilizada en las redes de distribución ya que al estar el primario del transformador en conexión delta ayuda a distribuir los desequilibrios parcialmente y a encasquillar o atrapar los armónicos generados por los usuarios. Se diseñaron 15 prácticas en las cuales se analizaran los parámetros antes mencionados y además de las fallas más usuales que tienen las redes de distribución. [5]

En la Escuela Politécnica Nacional se investigó: las “Causas de falla de un transformador del SN”, el proyecto presenta un estudio de las posibles causas y la secuencia probable de eventos de la falla que sufrió el transformador de la subestación Vicentina del Sistema Nacional Interconectado (SNI) el 6 de Enero de 1985, y a la vez, enuncia soluciones de manera que se eviten futuros problemas del mismo tipo. [6]

La Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil se realizó: el “Análisis de un sistema trifásico de transformadores en conexión Y - D.”, el desarrollo de este trabajo tiene como objetivo principal hacer el análisis mediante un modelo matemático, que se usara para la

posterior validación de los parámetros reales como curvas de corriente y voltaje en un banco de transformadores en conexión Y - D. [7]

La Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil desarrolló: en “Análisis matemático del diseño dieléctrico de un transformador de distribución monofásica de 3KVA” El análisis matemático consistió en adaptar numéricamente el diseño dieléctrico de un transformador monofásico de distribución 3 kVA, usando los datos geométricos y características del material para el cálculo de parámetros eléctricos empleando el modelo de la línea de transmisión multiconductora para conocer la respuesta transitoria de las capas de los devanados al introducir un pulso de frecuencia rápida, para el análisis se implementó una interfaz con la herramienta matemática MATLAB® para mostrar las matrices de los parámetros eléctricos en distintas frecuencias y representar gráficamente la distribución de voltaje (estado transitorio) dentro del devanado en el dominio del tiempo en el intervalo de microsegundos, también se efectuó el análisis matemático y pruebas experimentales al transformador de distribución monofásico 15 kVA proporcionado por el Laboratorio de Alta Tensión de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil para constatar el estado del dieléctrico profundizando conocimientos en pruebas de rutina aplicadas a los transformadores de distribución. [8]

La Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil desarrolló: el “Análisis para sistemas trifásicos de transformadores conexiones abiertas y especiales”, este proyecto propone el diseño y construcción de un banco de pruebas el cual está compuesto de un banco de tres transformadores monofásicos con bloques de simulaciones de fallas y sus respectivas protecciones, el mismo que nos permite realizar los respectivos análisis de las conexiones abiertas (trifásicas) o especiales (trifásicas y/o bifásicas). Adicionalmente, se elaboró un manual de usuario que contiene quince prácticas didácticas, incluidos los protocolos de seguridad y mantenimiento. [9]

En la Escuela Politécnica Nacional se investigó: el “Diseño y construcción de un autotransformador trifásico de tres devanados para el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia”, en el presente proyecto se diseñó y construyó un autotransformador trifásico con terciario en delta para el sistema a escala del Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia, el diseño de cada uno de los componentes del autotransformador se realiza en base a conocimientos de ingeniería eléctrica, referencias bibliográficas y con el soporte experimental de una fábrica de transformadores, el autotransformador con terciario en delta se diseña a partir

de la disponibilidad de un núcleo ferromagnético de segunda mano, con una potencia de 5 kVA entre los devanados del autotransformador y una potencia de 1 kVA en el tercer devanado. El devanado de alto voltaje del autotransformador, con 220 V, contiene taps fijos, con un rango de +/- 5 %, en pasos de 2,5 %, mientras que los demás devanados operan a voltajes nominales, el primario con 127 V y el terciario con 220 V. Realizado el diseño, se construyen las tres bobinas y se montan sobre el núcleo. También se construyen elementos de sujeción, como son prensas y caja metálica. Sobre el equipo se realizan pruebas eléctricas de vacío y cortocircuito como transformador trifásico y como autotransformador trifásico. A partir de sus resultados se determinan los parámetros del circuito equivalente monofásico, con sus ramas serie y paralelo. Se comparan los parámetros medidos y calculados con una de las normas referidas. [10]

La Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil desarrolló: “Análisis y adquisición de datos para sistemas de transformación conexión estrella-estrella de la universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil”, El presente tema de investigación de tesis, fue realizado debido a la necesidad de adquirir datos de los equipos de medición los cuales puedan ser plasmados en una interfaz gráfica donde se logre apreciar de mejor manera dichos datos adquiridos para un debido análisis de los mismos, en cuyo caso se escogió un tema práctico de análisis como lo es el comportamiento bajo distintos tipos de cargas de un sistema de transformación trifásico en conexión estrella-estrella. [11]

La Escuela Politécnica Nacional realizó la “Estimación de parámetros eléctricos transitorios de un transformador trifásico utilizando MATLAB-SIMULINK”, Este estudio se enfocó en probar una forma alternativa de obtener los parámetros eléctricos del modelo de transformadores trifásicos a partir de mediciones registradas mediante los equipos de protección y medida asociados al transformador. El potencial uso de esta metodología se enfocó en estimar el modelo eléctrico de transformadores trifásicos ya en funcionamiento; en un sistema eléctrico frente a eventos transitorios. La metodología permitirá disminuir tiempos asociados a las pruebas que se deben realizar a un transformador para obtener su modelo equivalente; puesto que, estas pruebas usualmente se realizan con el transformador desenergizado, equipos de prueba costosos y especializados, varios estudios existentes presentan modelos completos del transformador para eventos transitorios, los cuales sirvieron de base para estimar los parámetros en MATLAB-SIMULINK. Una vez que se pruebe la efectividad y confiabilidad del modelo desarrollado, éste se convertiría de gran ayuda para la identificación de parámetros en transformadores nuevos o en transformadores en

funcionamiento y con muchos años de vida útil; de los cuales solamente se posea información básica como aproximaciones a equipos similares, parámetros que con el pasar del tiempo y las condiciones de funcionamiento pudieron haberse modificado con respecto a los valores al momento de instalación del transformador. [12]

3.2.Transformadores

Los transformadores son máquinas estáticas que permiten reducir o elevar tensiones y corrientes alternas, debido a que su funcionamiento está basado en fenómenos de inducción electromagnética. Las partes principales que lo componen son un núcleo de chapas ferromagnéticas y dos devanados que lo rodean, denominados devanado primario y devanado secundario. [13]

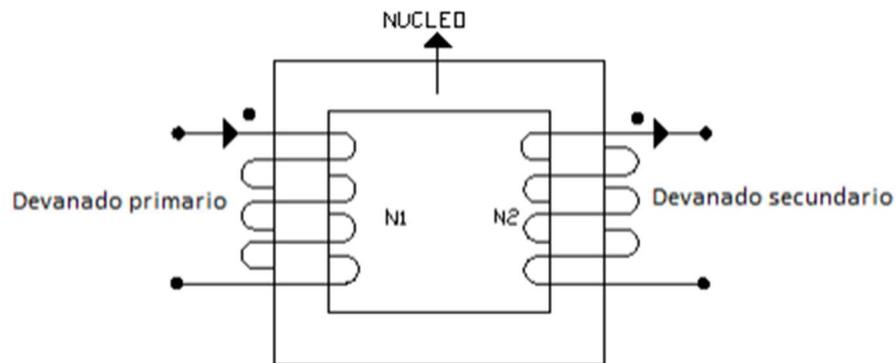


Figura 3.1. Partes de un transformador.

Fuente: [13]

3.3.Principio de Funcionamiento de un Transformador

3.3.1. El campo magnético

Los campos magnéticos producen el efecto por el cual es posible transformar energía AC en energía mecánica o viceversa, en motores o generadores y para transformar niveles de voltaje en transformadores. Existen cuatro principios básicos que describen como se utilizan los campos magnéticos en estas máquinas: [14]

- Un conductor que porta corriente produce un campo magnético a su alrededor.
- Un campo magnético variable en el tiempo induce un voltaje en una bobina de alambre si pasa a través de esta (está es la base del funcionamiento del transformador).

- Un conductor que porta corriente en presencia de un campo magnético experimenta una fuerza inducida sobre él (está es la base del funcionamiento del motor).
- Un conductor eléctrico que se mueva en presencia de un campo magnético tendrá un voltaje inducido en él (está es la base del funcionamiento del generador).

3.3.2. Transformadores Monofásicos

El transformador monofásico está constituido por dos columnas verticales de igual sección, unidas entre sí por dos culatas o yugos horizontales que permiten el cierre del flujo magnético. [15]

El transformador monofásico está formado por un devanado en el lado primario y otro devanado en el secundario, su principio de funcionamiento se basa en la acción mutua entre fenómenos eléctricos y magnéticos, y no contienen partes móviles.

Estos transformadores son diseñados para suministrar el voltaje adecuado a los usuarios. [16]

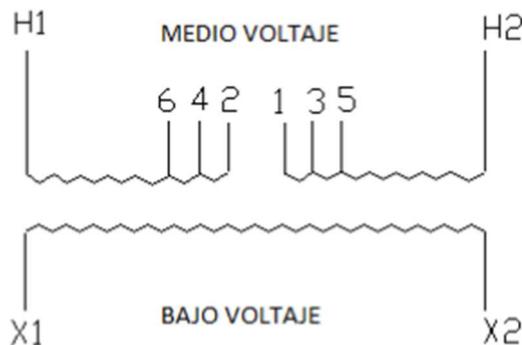


Figura 3.2. Conexión de un transformador monofásico.

Fuente: [16]

3.3.3. Conexión de un Transformador Trifásico

Un transformador trifásico se compone de tres devanados primarios y secundarios monofásicos en un solo núcleo. Con los transformadores trifásicos se consigue una gran economía, tanto en costo como en espacio ocupado, si se utiliza un solo transformador trifásico en lugar de tres monofásicos.

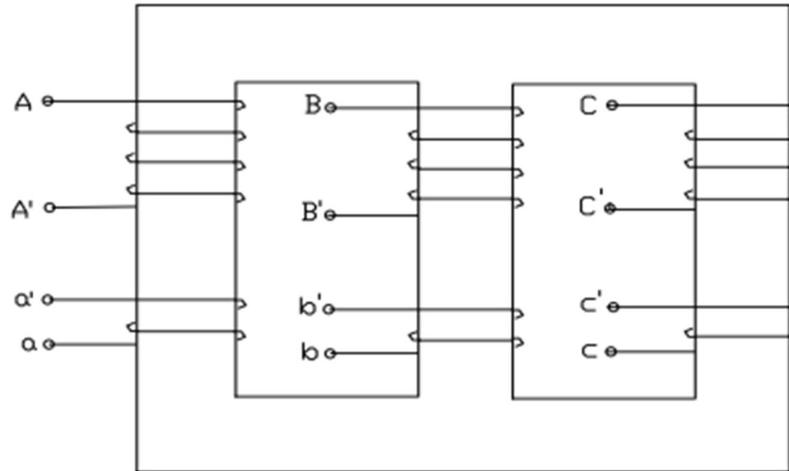


Figura 3.3. Devanado primario y secundario de un transformador trifásico.

Fuente: [16]

3.4. Transformador ideal

Un transformador ideal es un dispositivo sin pérdidas que tiene un devanado de entrada y un devanado de salida. Las relaciones entre el voltaje de entrada y el de salida, y entre la corriente de entrada y la de salida, se describen en dos sencillas ecuaciones.

La Figura 5 muestra un transformador con N_P vueltas de alambre en su lado primario y N_S vueltas de alambre en su lado secundario. La relación entre el voltaje $v_P(t)$ aplicado al lado primario del transformador y el voltaje $v_S(t)$ producido en el lado secundario es: [16]

$$\frac{v_P(t)}{v_S(t)} = \frac{N_P}{N_S} = a \quad (3.1)$$

Donde

a = se define como la relación de transformación del transformador

$v_P(t)$ = Aplicado al lado primario del transformador

$v_S(t)$ = Voltaje producido en el lado secundario

$$a = \frac{N_P}{N_S} \quad (3.2)$$

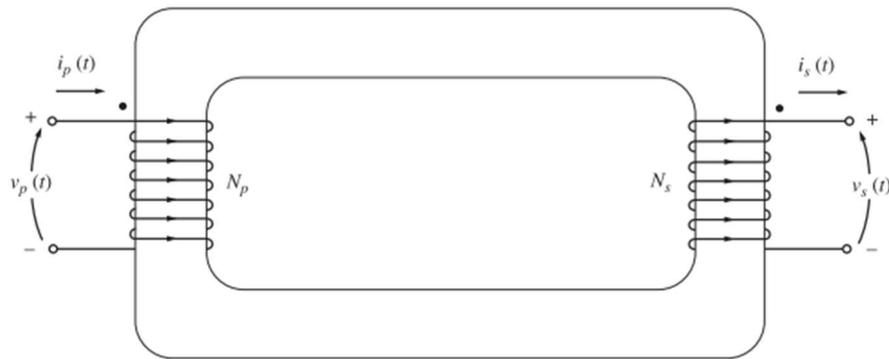


Figura 3.4. Transformador ideal.

Fuente: [16]

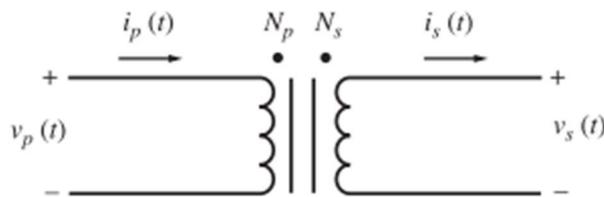


Figura 3.5. Representación de un transformador ideal.

Fuente: [16]

La relación entre la corriente $i_p(t)$ que fluye del lado primario del transformador y que sale del lado secundario del transformador es

$$N_p i_p(t) = N_s i_s(t) \quad (3.3)$$

$$\frac{i_p(t)}{i_s(t)} = \frac{1}{a} \quad (3.4)$$

En términos de cantidades fasoriales, estas ecuaciones son

$$\frac{V_p}{V_s} = a \quad (3.5)$$

$$\frac{I_p}{I_s} = \frac{1}{a} \quad (3.6)$$

Nótese que el ángulo de fase de V_p es el mismo que el ángulo de V_s y el ángulo fasorial de I_p es el mismo que el ángulo fasorial de I_s . La relación de vueltas del transformador ideal afecta las magnitudes de los voltajes y corrientes, pero no sus ángulos.

Las ecuaciones (3.5) a (3.6) describen las relaciones entre las magnitudes y ángulos de los voltajes y corrientes en los lados primarios y secundarios del transformador, pero dejan una pregunta sin respuesta puesto que el voltaje del circuito primario es positivo en un lado específico de la bobina, En un transformador real sería posible saber la polaridad secundaria sólo si se lo abriera y se examinaran sus devanados. Para evitar esto, los transformadores utilizan la convención de puntos. Los puntos que aparecen en un extremo de cada devanado en la Figura 3.5 muestran la polaridad del voltaje y de la corriente en el lado secundario del transformador. [16]

3.5. Bancos Trifásicos

Los transformadores trifásicos resultan más pequeños y son más económicos que tres transformadores monofásicos de la misma voltaje de línea y que sumen la misma potencia aparente, no obstante cuando las potencias son muy grandes una sola unidad trifásica puede resultar muy voluminosa y de difícil transporte, en esos puede ser conveniente un banco trifásico de tres transformadores monofásicos, además la reparación de una unidad monofásica es más económica que la del transformador trifásico y cuando hay varios bancos iguales, como en algunas centrales hidroeléctricas, puede resultar conveniente disponer de una unidad monofásica de reserva para prever eventuales fallas. [17]

Los núcleos de esos grandes transformadores monofásicos normalmente son acorazados, Figura 1, ya que tienen menor altura y permiten economizar material ferromagnético. Al poseer circuitos magnéticos independientes e iguales para cada fase, resultan perfectamente simétricos, lo que en general es ventajoso. [17]

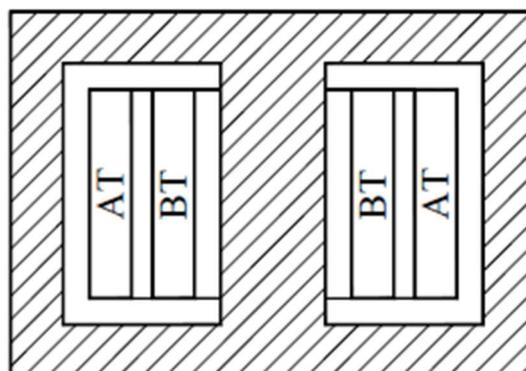


Figura 3.6. Transformador monofásico acorazado.

Fuente: [17]

3.5.1. Ventajas y Desventajas

Las principales ventajas e inconvenientes de un transformador trifásico, comparado con un banco de unidades monofásicas, se encuentran a continuación: [18]

Ventajas

- Suele costar menos
- Suele pesar menos
- Ocupa menos espacio
- Sólo hay que manejar y conectar una unidad

Inconvenientes

- Mayor peso por unidad
- Mayor costo de las unidades de recambio
- Mayor costo de las reparaciones

3.6. Tipos De Conexiones en un Sistema Trifásico

Un sistema trifásico, ya sea en la fuente o en la carga, se pueden hacer dos tipos de conexiones: delta o estrella. [19]

3.6.1. Conexión delta

Este tipo de conexión se realiza uniendo el final de una bobina con el principio de la siguiente, hasta cerrar la conexión formando un triángulo. Es una conexión sin neutro. Las fases salen de los vértices del triángulo. [19]

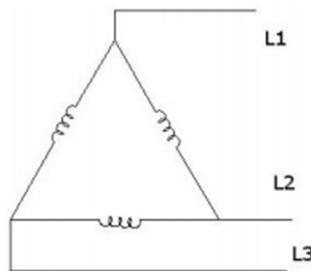


Figura 3.7. Conexión delta.

Fuente: [19]

Para este tipo de conexión, las tensiones de fase coinciden con las tensiones de línea. Por el contrario las corrientes de fase son distintas de las corrientes de línea, ya que estas últimas resultan de la multiplicación de las corrientes de fase por raíz de tres. Fasorialmente las corrientes de fase están 30° antes que las corrientes de línea. [19]

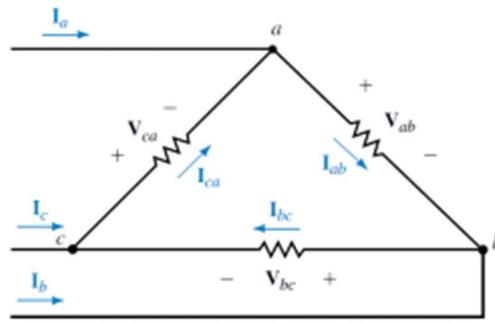


Figura 3.8. Magnitud de corrientes en conexión delta.

Fuente: [19]

3.6.2. Conexión estrella

La conexión en estrella se designa por la letra Y. Se consigue uniendo los terminales negativos de las tres bobinas en un punto común, que denominamos neutro y que normalmente se conecta a tierra. Los terminales positivos se conectan a las fases. [19]

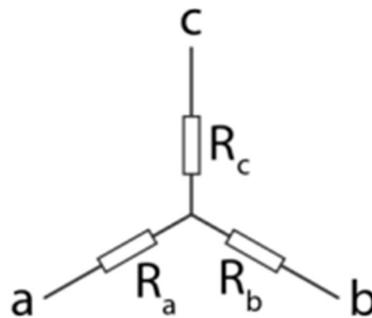


Figura 3.9. Conexión estrella.

Fuente: [19]

En esta conexión, las corrientes de línea y las corrientes de fase son las mismas. En cambio, los voltajes de fase son distintos a los voltajes de línea. Al igual que ocurre con las corrientes en la conexión delta, los voltajes de línea son iguales a los voltajes de fase multiplicados por raíz de tres. Fasorialmente, los voltajes de fase, atrasan 30° a los voltajes de línea. [19]

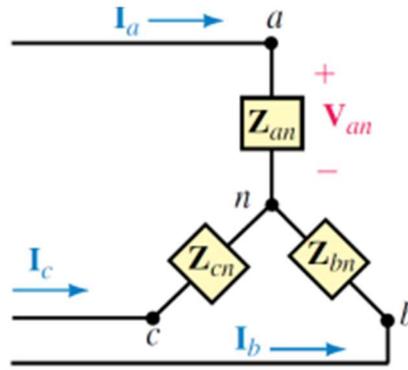


Figura 3.10. Magnitud de corrientes y voltajes en conexión estrella.

Fuente: [19]

3.7. Conexiones trifásicas.

Para transformar una fuente de voltaje trifásico se necesitan ya sea un banco de tres transformadores monofásicos idénticos, como se ve en la ilustración 6, o bien un solo transformador polifásico que tenga seis devanados, en un núcleo común de material ferromagnético.

En esta descripción emplearemos transformadores monofásicos individuales, pero las mismas conexiones y resultados se obtienen con devanados individuales idénticos en un transformador polifásico. Nótese que los transformadores individuales de la Figura tienen la misma capacidad de KVA y los mismos voltajes nominales de alta y baja, también obsérvese que los transformadores se defasan en forma individual y se marcan adecuadamente para que el subíndice de número impar presente polaridad positiva instantánea, tanto en los lados de alto como bajo voltaje.

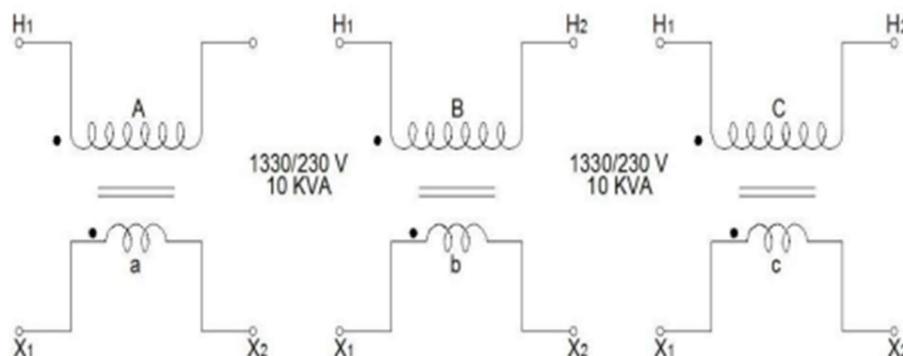


Figura 3.11. Transformadores monofásicos idénticos mostrando las identificaciones de polaridad.

Fuente: [20]

3.7.1. Conexión Delta (Δ) –Delta (Δ).

Los diagramas vectoriales desprecian la corriente magnetizante, las caídas por impedancias en los transformadores y está dibujado en relación al factor de potencia unitario entre el voltaje de fase y la corriente de fase. De este modo, I_{AB} está en fase con V_{AB} .

Los diagramas vectoriales están mostrados para una carga equilibrada. Deberá notarse que las corrientes de línea son 3 veces la corriente de fase y están desfasadas 30° atrás de la corriente de fase; el desplazamiento angular de 30° existe siempre para todas las cargas equilibradas, haciendo caso omiso del factor de potencia.

Para transformadores idénticos, que tienen relaciones de transformación iguales e impedancias iguales, no existe corriente circulante entre la delta primaria o secundaria, y los transformadores se repartirán igualmente la carga total.

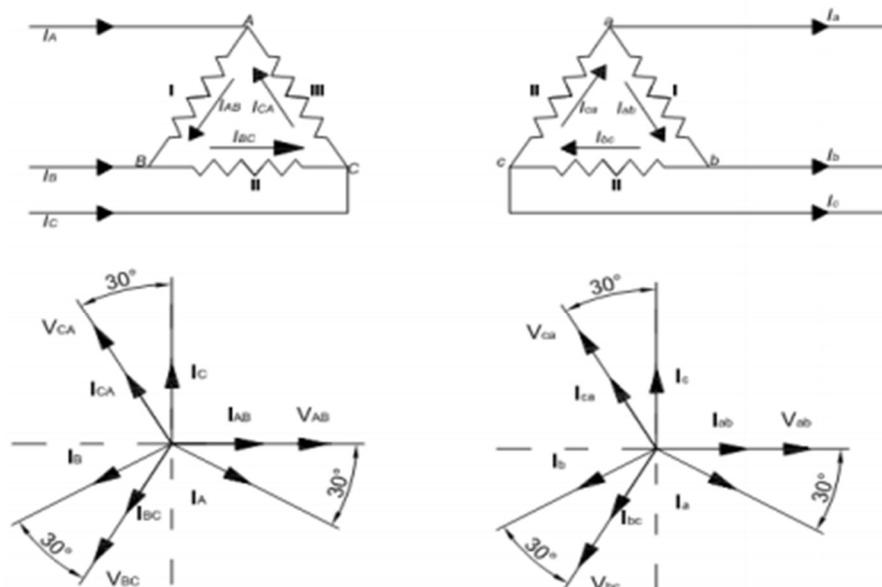


Figura 3.12. Conexión delta – delta de transformadores.

Fuente: [20]

3.7.2. Conexión Estrella (Y)- Estrella (Y).

Para esta conexión pueden dibujarse los diagramas vectoriales en la misma forma que para la conexión delta-delta. El voltaje de línea es 3 veces el voltaje de fase, y las dos están desplazadas entre sí 30° . La relación de transformación es la misma que para el transformador individual.

Los bancos Y-Y pueden funcionar con los neutros conectados a tierra de manera similar, el neutro del primario se conecta al neutro de la fuente de potencia. Con el neutro aislado, cualquier desequilibrio en la carga o cualquier carga monofásica conectada a través de un transformador, o bien entre líneas, causara un desplazamiento de la posición del neutro eléctrico, y las tensiones por fase estarán desequilibradas.

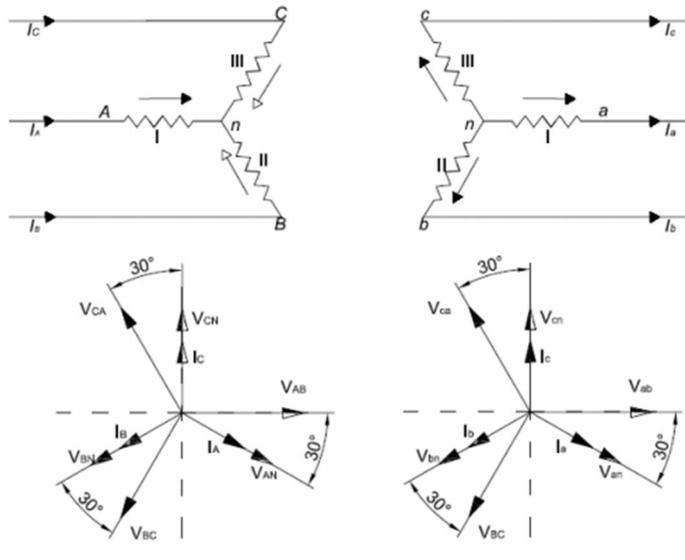


Figura 3.13. Conexión estrella – estrella de transformadores.

Fuente: [20]

3.7.3. Conexión Delta (Δ) – Estrella (Y).

En los diagramas fasoriales se observa que las tensiones y corrientes de la línea primaria y secundaria están desfasadas 30° entre sí. La relación de las tensiones de línea del primario al secundario es $1/3$ veces la relación de transformación para un transformador monofásico del banco.

El uso de un banco semejante permite un neutro a tierra en el lado secundario, proporcionando de este modo un servicio de 3 fases 4 hilos. El desequilibrio en las cargas causa un desequilibrio de voltaje muy pequeño, ya que el primario del transformador está conectado en delta.

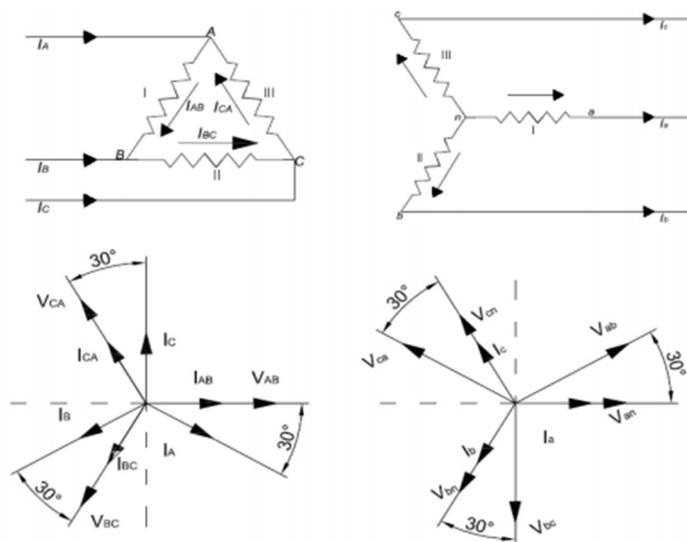


Figura 3.14. Conexión delta-estrella de transformadores.

Fuente: [20]

3.7.4. Conexión Estrella (Y) – Delta (Δ)

Esta conexión es muy similar a la conexión Δ -Y. Aparece un desfase de 30° en las tensiones de línea entre el primario y el secundario, y las corrientes de tercera armónica fluyen en la Δ para proporcionar flujo senoidal.

Cuando funciona en Y- Δ , se acostumbra y es conveniente conectar a tierra el neutro primario, obteniéndose de otra forma un sistema de 4 hilos.

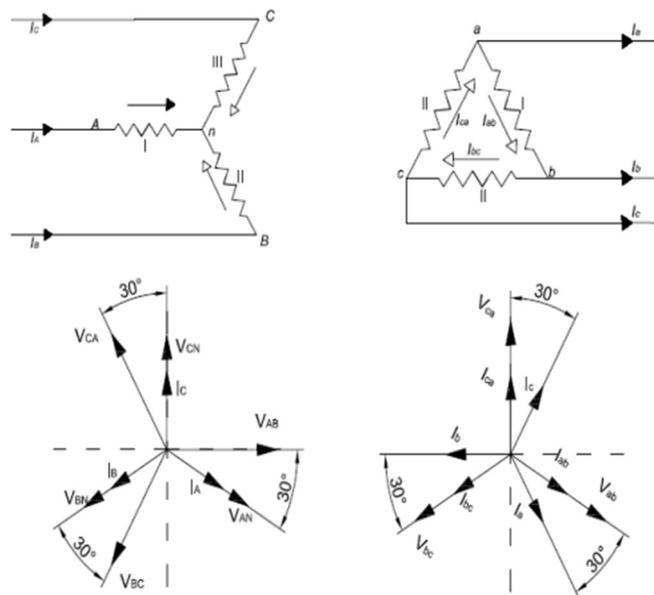


Figura 3.15. Conexión estrella-delta de transformadores.

Fuente: [20]

3.7.5. Circuitos de secuencia de transformadores Y y Δ

Los circuitos equivalentes de secuencia de transformadores trifásicos dependen de las conexiones de los devanados primario y secundario. Las diferentes combinaciones de los devanados Δ y Y determinan las configuraciones de los circuitos de secuencia cero y el desfase en los circuitos de secuencia positiva y negativa. Se recuerda que, si se desprecia la relativamente pequeña corriente magnetizante, no fluye corriente en el primario de un transformador a menos que fluya corriente en el secundario. [21]

También se sabe que la corriente del primario está determinada por la corriente del secundario y por la relación de vueltas o espiras de los devanados, si se considera despreciable la corriente

magnetizante. Estos principios son la guía para el análisis de los casos individuales. Se analizarán cinco conexiones posibles de transformadores de dos devanados. [21]

Estas conexiones se resumen, junto con sus respectivos circuitos de secuencia cero, en la Figura 16. Las flechas en los diagramas de conexiones en las Figuras que siguen muestran las posibles trayectorias del flujo de la corriente de secuencia cero. [21]

CASO	SÍMBOLO	DIAGRAMA DE CONEXIÓN	CIRCUITOS EQUIV. DE SECUENCIA CERO
1			
2			
3			
4			
5			

Figura 3.16. Cuadro circuito equivalente de secuencia cero.

Fuente: Los Autores

3.6.5.1. Secuencia de fases

El orden en que las tensiones o corrientes adquieren sus valores máximos se denomina secuencia de fases. Así la secuencia ABC significa que el voltaje V_a presenta su máximo antes que el voltaje V_b , y a su vez esta lo hace antes que el voltaje V_c . Si se toma un punto de referencia, se dice que la secuencia es directa si las fases giran en 28 sentido horario; por el contrario, si giran en sentido anti-horario se la llama secuencia inversa. [19]

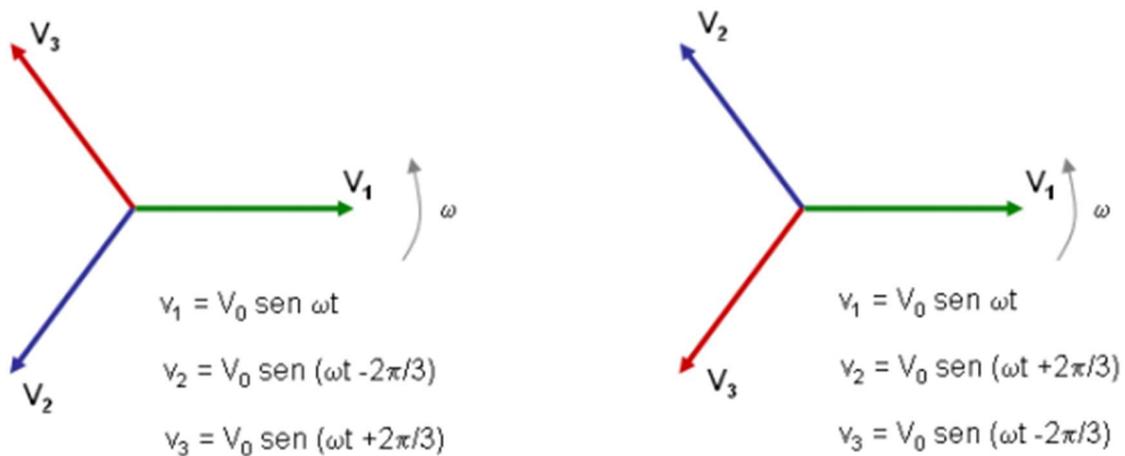


Figura 3.17. Secuencia de fases directa e inversa.

Fuente: [19]

3.7. Pruebas de un transformador

3.7.1. Prueba de corto circuito

En esta prueba se aplica un voltaje a un arrollamiento, usualmente el arrollamiento de alta tensión, con el otro arrollamiento puesto en cortocircuito sólidamente. El voltaje reducido, llamada frecuentemente voltaje de impedancia, se selecciona para que la corriente de cortocircuito I_{cc} no ocasione daño en los arrollamientos. Se escoge usualmente I_{cc} como la corriente en plena carga. [22]

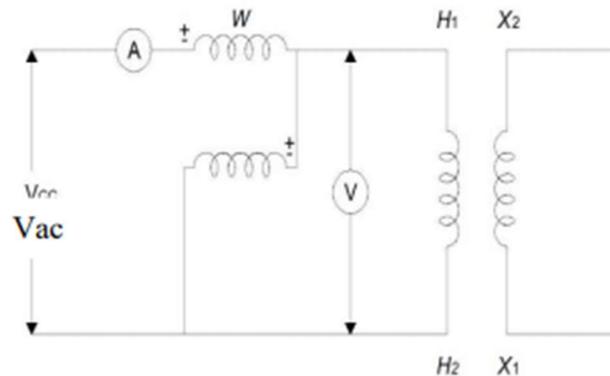


Figura 3.18. Esquema para prueba de corto circuito.

Fuente: [22]

3.7.2. Prueba de polaridad

La polaridad de un transformador se define según el sentido en que las bobinas se encuentran arrolladas sobre el núcleo del transformador, teniendo así el sentido relativo del flujo de la corriente entre los terminales de alto voltaje (H1 y H2) con relación a la V_{ac} 12 dirección del

flujo de la corriente en los terminales de baja voltaje(X1 y X2). La prueba de polaridad consiste en los siguientes pasos: [22]

2. Se coloca un puente entre uno de los terminales de la 1. Se conecta el devanado de alta voltaje a una fuente de bajo voltaje y se la considera como bobina de referencia bobina de referencia y el terminal adyacente en el lado de baja tensión.

3. Utilizando un voltímetro se realiza la medición entre los terminales opuestos de la bobina de referencia y el terminal adyacente en el lado de baja tensión.

3.7.3. Polaridad aditiva

Esta polaridad se da cuando el arrollamiento de la bobina del secundario se da en el mismo sentido que la bobina del primario lo que hará que los flujos de los dos bobinados se sumen. La medición del voltímetro será mayor que la suministrada por la fuente a los terminales de alta tensión. Los terminales H1 y X1 se encuentran cruzados. [22]

3.7.4. Polaridad substractiva

Esta polaridad se da cuando el arrollamiento de la bobina del secundario se da en el mismo sentido que la bobina del primario lo que hará que los flujos de los dos bobinados se resten. La medición del voltímetro será menor que la suministrada por la fuente a los terminales de alta tensión. Los terminales H1 y X1 son adyacentes. [22]

3.8. Aplicaciones de las conexiones del transformador

3.8.1. Aplicaciones conexión Y-Y

- Transformadores de distribución.
- Carga en neutro 10 % de carga nominal. [23]

3.8.2. Aplicaciones conexión D-Y5

- Transformadores de distribución.
- Carga en neutro = carga nominal. [23]

3.8.3. Aplicaciones conexión D-Y11

- Transformadores de red.
- Carga en neutro = carga nominal.

- Preferible a Yz5. [23]

3.8.4. Aplicaciones conexión Y-D

- Transformadores de centrales y subestaciones.
- Carga en neutro = carga nominal. [23]

3.8.5. Aplicaciones conexión Y-Z

- Transformadores de red.
- Carga en neutro = carga nominal.
- Potencia limitada a 400 kVA. [23]

3.9. Anormalidades

Una anomalía se explica como cualquier evento o suceso que obstruye el flujo normal de la intensidad. Las fallas eléctricas se las considera como condiciones anormales de operación, cuando se produce una falla las componentes de corriente y voltaje son excesivas en ciertos puntos del sistema. Para mitigar tales condiciones se instalan diversos equipos protectores. [24]

3.9.1. Cortocircuitos

Camino conductor accidental o intencionado entre dos o más partes conductoras, que fuerza a que la diferencia de potencial entre ellas sea igual o próxima a cero. [25]

El cortocircuito puede definirse como una conexión de muy baja impedancia entre dos puntos de un circuito eléctrico que están a diferentes niveles de voltaje y puede dar origen a corrientes muy superiores en magnitud a las corrientes nominales; en contraste con las corrientes producidas por una sobrecarga; las corrientes de cortocircuito pueden provocar importantes cambios de parámetros térmicos y electrodinámicos en los diferentes elementos de la instalación, además de interrupciones en el suministro del servicio eléctrico; siendo capaces de inducir daños severos e irreparables en un sistema si no son eliminados inmediatamente.

Las principales características de los cortocircuitos son [26]:

- Duración: autoextinguible, transitorio, permanente.
- Origen: pueden ser originados por factores mecánicos (como la rotura de conductores, conexión eléctrica accidental entre dos conductores producida por un objeto conductor extraño como herramientas o animales), también pueden

producirse debido a sobretensiones eléctricas de origen interno o atmosférico. También está presente la posibilidad de ser causados por la degradación del aislamiento provocada por el calor, la humedad o un ambiente corrosivo.

- Localización: dentro o fuera de una máquina o un tablero eléctrico

Desde otro punto de vista, los cortocircuitos pueden ser [26]:

- Monofásicos: 80% de los casos.
- Bifásicos: 15% de los casos. Los de este tipo, suelen degenerar en trifásicos.
- Trifásicos: de origen, sólo el 5% de los casos

3.9.1.1. Tipos de cortocircuitos

Los tipos de cortocircuitos más frecuentes:

- cortocircuito trifásico equilibrado.
- cortocircuito entre dos fases aislado (sin conexión a tierra).
- cortocircuito monofásico fase-tierra y fase-neutro. [27]

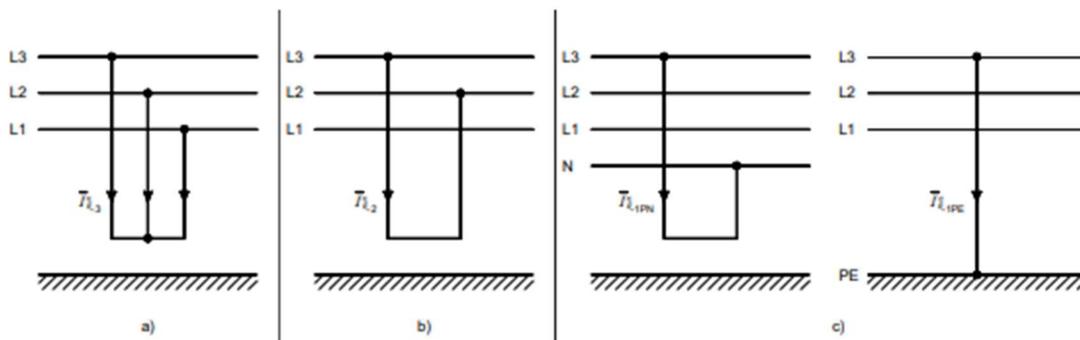


Figura 3.19. Tipos de cortocircuito.

Fuente: [27]

Los porcentajes promedios de ocurrencia de cada tipo de cortocircuito en una instalación, se indican en la Tabla siguiente: [27]

Tabla 3.1. Porcentaje de incidencia en tipos de cortocircuitos.

Tipos de cortocircuitos	Incidencia (%)
Monofásicos	80 %
Bifásicos	15 %
Trifásicos	5%

Fuente: [27]

3.9.1.2. Magnitud y efecto de las corrientes de cortocircuito

Considérese el circuito de la Figura siguiente, donde se determina el comportamiento de la corriente de cortocircuito en una fase, se simula la falla cerrando el interruptor, la corriente de falla es el factor dominante y la corriente de carga despreciable. [27]

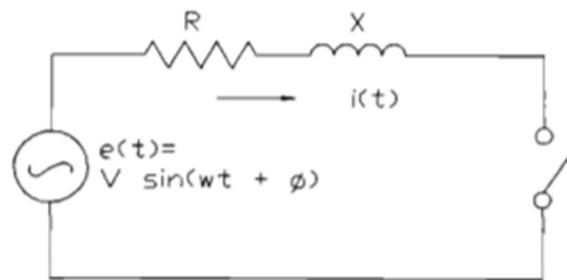


Figura 3.20. Circuito R-L para análisis de cortocircuito.

Fuente: [27]

Como la corriente de falla es en función del tiempo, debe resolverse la ecuación diferencial que gobierna al circuito ante

$$V \sin(\omega t + \phi) = Ri(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (3.7)$$

Dónde:

R y L = Resistencia e inductancia del circuito

$i(t)$ = Corriente instantánea en el circuito después de cerrar el interruptor

V = Valor cresta del voltaje senoidal de alimenta

ω = Frecuencia angular del generador

ϕ = Ángulo desde el cruce de voltaje por cero hasta el inicio de la falla

Según la manera en la que afecta al balance del sistema, los tipos de cortocircuitos pueden ser simétricos o asimétricos. [26]

3.9.1.3. Consecuencias de los cortocircuitos

Depende de la naturaleza y duración de los defectos, del punto de la instalación afectado y de la magnitud de la intensidad [28]:

Según el lugar del defecto, la presencia de un arco puede [28]:

- Degradar los aislantes
- Fundir los conductores
- Provocar un incendio o representar un peligro para las personas

Según el circuito afectado, pueden presentarse [28]:

- Sobreesfuerzos electrodinámicos, con:
 - Deformación de los juegos de barra
 - Arrancado o desprendimiento de los cables

Sobrecalentamiento debido al aumento de pérdidas por efecto Joule, con riesgo de aislantes

Para los otros circuitos eléctricos de la red afectada o de redes próximas [28]:

- Bajadas de voltaje durante el tiempo de la eliminación del defecto, de algunos milisegundos a varias centenas de milisegundos.
- Desconexión de una parte más o menos importante de la instalación según el esquema y selectividad de sus protecciones.
- Inestabilidad dinámica o pérdida de sincronismo de las máquinas.
- Perturbaciones en los circuitos de mando y control, etc.

3.9.2. Falla en un Sistema Eléctrico de Potencia

En un sistema eléctrico de potencia es muy importante proteger a los equipos de fallas en vista de que estos pueden ocasionar grandes corrientes que pueden dañar a los equipos del sistema. [29]

3.9.2.1. Fallas simétricas

Los fallos balanceados o simétricos (fallos trifásicos) tienen una frecuencia de ocurrencia del 5%, es decir, son los que menos se presentan en los sistemas de potencia bajo condiciones normales de operación. Sin embargo, su estudio es muy utilizado en el cálculo de protecciones debido a que presenta las condiciones extremas del sistema. Por el contrario, los fallos desbalanceados (línea a tierra, doble línea, doble línea a tierra) se presentan con mayor frecuencia, siendo la línea a tierra el más común de todos. [30]

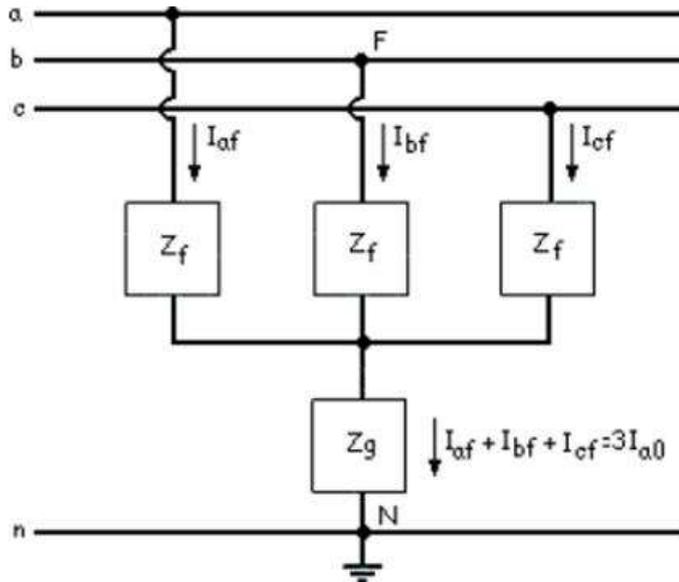


Figura 3.21. Circuito equivalente donde se presenta una falla trifásica.

Fuente: [30]

Para resolver los fallos tanto balanceados como desbalanceados se puede hacer uso del método de las componentes simétricas, mediante el cual se interconectan redes de secuencia positiva, negativa y cero dependiendo del tipo de fallo.

Las tensiones de fallo entre cada fase y tierra serán:

$$V_{af} = I_{af}Z_f + (I_{af} + I_{bf} + I_{cf}) Z_g \quad (3.8)$$

$$V_{bf} = I_{bf}Z_f + (I_{af} + I_b + I_{cf})Z_g \quad (3.9)$$

$$V_{cf} = I_{cf}Z_f + (I_{af} + I_b + I_{cf}) Z_g \quad (3.10)$$

Teniendo en cuenta que el sistema está balanceado $I_{af} + I_{bf} + I_{cf} = 0$, por lo que Z_g es como si no estuviera. Sabiendo que las corrientes de una secuencia solo ocasionan caídas de tensión de esa misma secuencia, se tiene:

$$V_{a_1} = I_{a_1} Z_1 \quad (3.11)$$

$$V_{a_2} = I_{a_2} Z_2 \quad (3.12)$$

$$V_{a_0} = I_{a_0} Z_0 \quad (3.13)$$

Pero también se tiene que para una fuente balanceada las componentes de secuencia son:

$$V_{a_1} = V_{pf} - I_{a_1} Z_1 \quad (3.14)$$

$$V_{a_2} = 0 - I_{a_2} Z_2 \quad (3.15)$$

$$V_{a_0} = 0 - I_{a_0} Z_0 \quad (3.16)$$

Dónde:

V_{pf} es el voltaje en la fase a antes del fallo (voltaje prefallo).

Igualando las tensiones de secuencia de las ecuaciones anteriores se llega a:

$$I_{a1} = \frac{V_{pf}}{Z_1 + Z_2} \quad (3.17)$$

$$I_{a2} = 0 \quad (3.18)$$

$$I_{a0} = 0 \quad (3.19)$$

Por lo tanto los voltajes de secuencia negativa y cero serán nulos y el voltaje de secuencia positiva igual a: $V_{a1} = I_{a1} * Z_f$ Las corrientes de fallo para cada fase serán iguales a I_{a1} . En este tipo de fallos las redes de secuencia están aisladas una de otra.

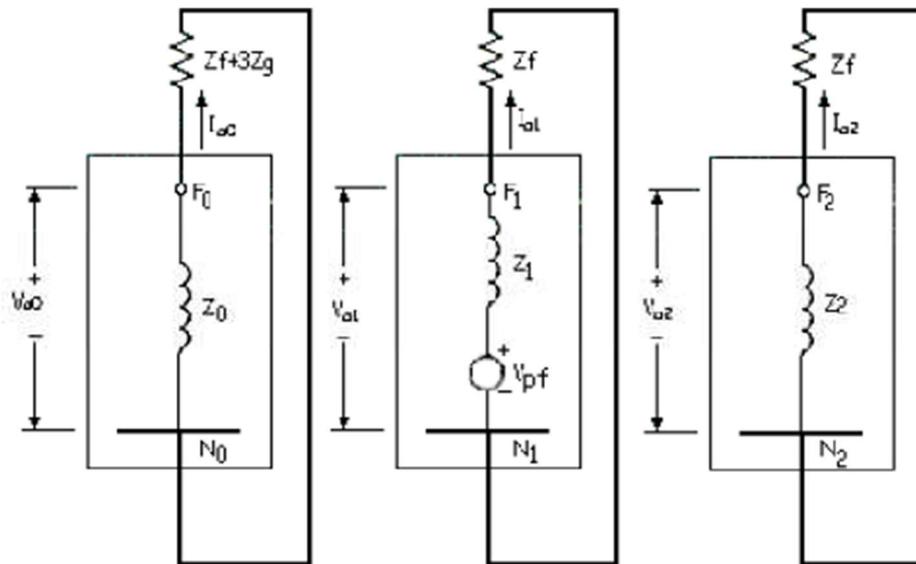


Figura 3.22. Circuito equivalente de las redes de secuencia.

Fuente: [31]

3.9.2.2. Cortocircuito trifásicos en sistemas de potencia

- A fin de calcular la corriente de falla subtransitoria para un cortocircuito trifásico en un sistema de potencia, se hacen las suposiciones siguientes:
- Los transformadores se representan por sus reactancias de dispersión. Se ignoran las resistencias de devanados, las admitancias en derivación y los desfases $\Delta - Y$.
- Las líneas de transmisión están representadas por sus reactancias equivalentes en serie. Se ignoran las resistencias en serie y las admitancias en derivación.
- Las máquinas síncronas están representadas por fuentes de voltaje constante detrás de las reactancias subtransitorias. Se ignora la resistencia de armadura, la saliente y la saturación.
- Se ignoran las cargas de impedancia no giratorias.
- Se ignoran motores de inducción o se presentan de la misma manera que las máquinas síncronas. [31]

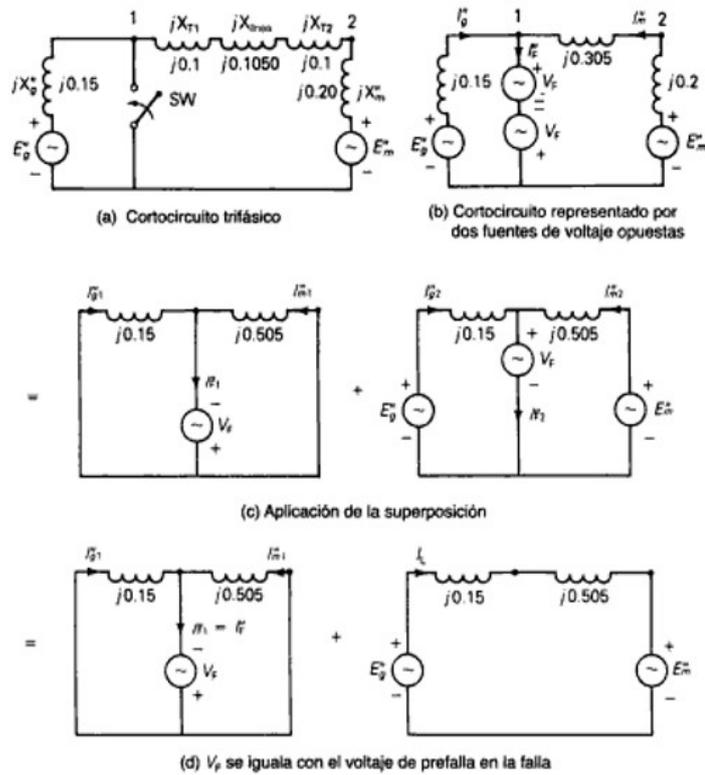


Figura 3.23. Aplicación de la superposición a un cortocircuito trifásico en un sistema de potencia.

Fuente: [31]

La corriente base

$$I_f^n = \frac{V_F}{Z_{Th}} \quad (3.20)$$

La corriente prefalla

$$I_L = \frac{V_{LL}}{\sqrt{3}Z_{Th}} \quad (3.21)$$

Las corrientes subtransitorias

$$I_g'' = I_f^n + I_L \quad (3.22)$$

$$I_m'' = I_{mt}^n - I_L \quad (3.23)$$

3.9.3. Fallas asimétricas

Los cortocircuitos ocurren en los sistemas de potencia trifásicos en orden de frecuencia. La trayectoria de la corriente de falla podría tener ya sea impedancia cero, la cual se llama cortocircuito sólido, o bien, impedancia distinta de cero. Otros tipos de falla son las de un conductor abierto y las de dos conductores abiertos, que pueden ocurrir cuando se rompen los conductores o cuando una o dos fases de un interruptor se abren de manera inadvertida.

En estas fallas, resulta interesante el cálculo en régimen fasorial del régimen permanente que alcanzan las intensidades de falla, para el calibrado de protecciones o el dimensionado de las puestas a tierra de los elementos, así como del régimen subtransitorio, para la selección de interruptores. [32]

3.9.3.1. Tipos de fallas asimétricas

Las fallas pueden ser de los siguientes tipos:

- 1) Falla trifásica, tres fases se interconectan entre sí.
- 2) Falla bifásica, dos fases se conectan entre sí.
- 3) Falla bifásica a tierra, ídem al segundo caso pero con la presencia de tierra.
- 4) Falla monofásica, una fase se conecta a tierra.

3.9.3.2. Falla monofásica

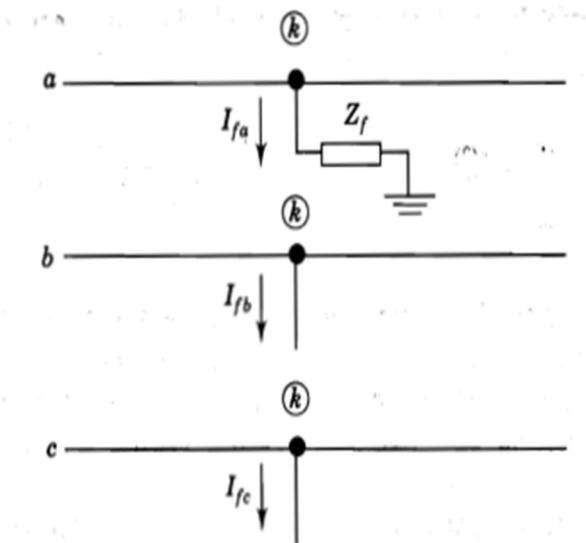


Figura 3.24. Diagrama de conexiones de los segmentos hipotéticos para una falla monofásica.

Fuente: [29]

La falla monofásica de línea a tierra (que es el tipo más común de falla) es originada por las descargas atmosféricas o por los conductores al hacer contacto con las estructuras aterrizadas. Para una falla monofásica a tierra desde la fase Z_f , a través de la impedancia Z_f , los segmentos hipotéticos de las tres líneas se conectan como muestra la Figura 3.2. Las relaciones por desarrollar para este tipo de falla, sólo se aplican cuando la fase a es la que ha fallado. Pero esto no es causa de dificultad, porque se han señalado arbitrariamente a las fases y cualquiera de ellas se puede designar como la a, las condiciones en la barra k que ha fallado se expresan por las siguientes ecuaciones. [29]

$$I_{fa}^1 = I_{fa}^2 = I_{fa}^0 \quad (3.24)$$

$$I_{fa}^0 = \frac{V_f}{Z_{pp}^1 + Z_{pp}^2 + Z_{pp}^0 + 3Z_f} \quad (3.25)$$

$$\begin{bmatrix} I_{fa} \\ I_{fb} \\ I_{fc} \end{bmatrix} = [Ts] \begin{bmatrix} I_{fa}^0 \\ I_{fa}^1 \\ I_{fa}^2 \end{bmatrix} = 3I_{fa}^0 \quad (3.26)$$

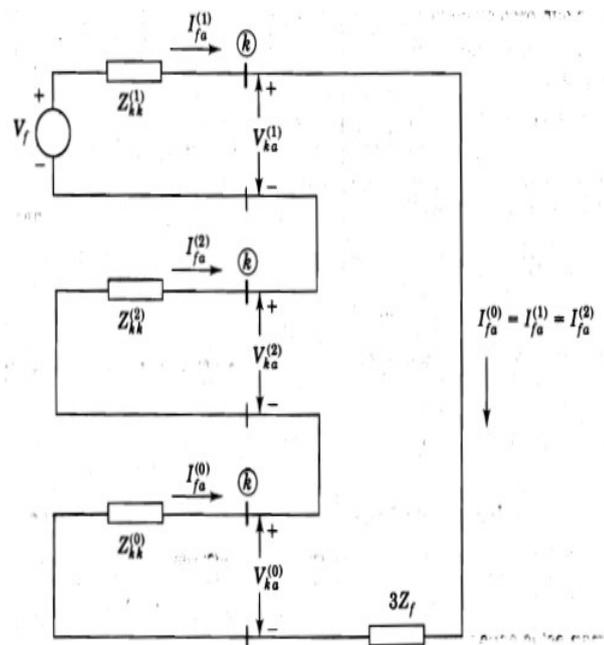


Figura 3.25. Conexión de los equivalentes de Thévenin de las redes de secuencia para simular una falla monofásica.

Fuente: [29]

3.9.3.3. Falla Bifásica

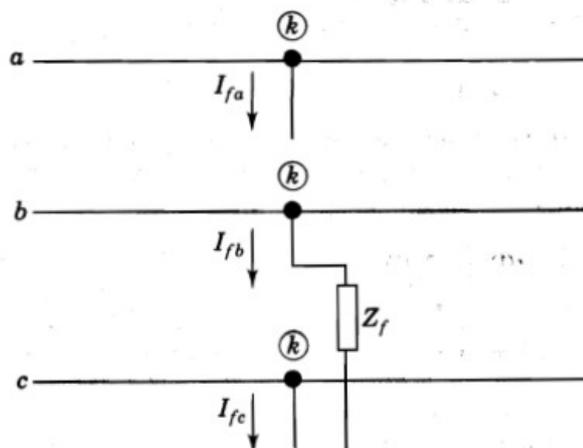


Figura 3.26. Conexión de los segmentos hipotéticos para una falla bifásica.

Fuente: [29]

Para representar una falla bifásica a través de una impedancia Z_f , se conectan los segmentos hipotéticos de tres líneas en la falla, de la manera a continuación mostrada en la Figura. La barra k es nuevamente la del punto de falla P , y sin perder generalidad, la falla bifásica se considera que está en las fases b y c . Las siguientes relaciones deben satisfacerse en el punto de falla. [29]

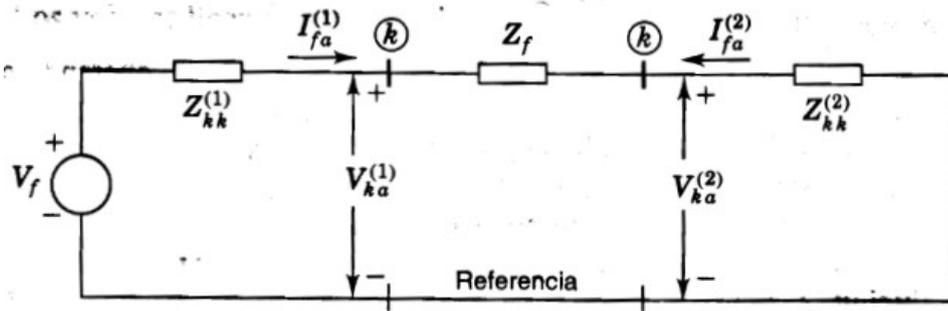


Figura 3.27. Conexión de los equivalentes de Thévenin de las redes de secuencia para simular una falla bifásica.

Fuente: [29]

$$I_{fa}^1 = \frac{V_f}{Z_{pp}^1 + Z_{pp}^2 + Z_f} \quad (3.27)$$

$$I_{fa}^2 = -I_{fa}^1 \quad (3.28)$$

$$\begin{bmatrix} I_{fa} \\ I_{fb} \\ I_{fc} \end{bmatrix} = [Ts] \begin{bmatrix} 0 \\ I_{fa}^1 \\ -I_{fa}^1 \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

3.9.3.4. Falla bifásica a tierra

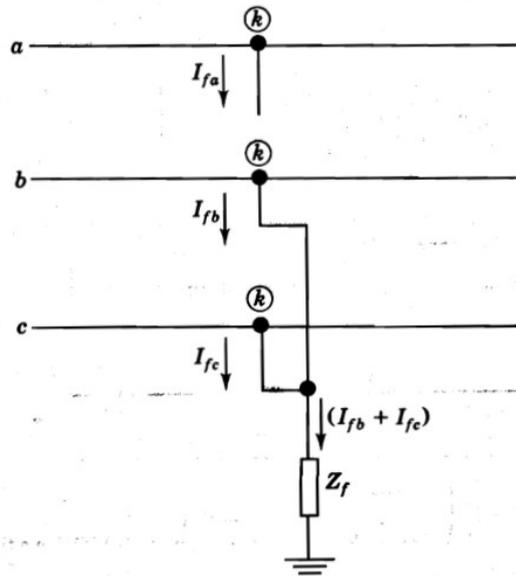


Figura 3.28. Diagrama de conexiones de los hipotéticos para una falla bifásica a tierra.

Fuente: [29]

Para una falla bifásica a tierra, los segmentos hipotéticos se conectan como se muestra en la Figura. Nuevamente, la falla se considera en las fases *b* y *c* y las relaciones que ahora hay en la barra *k* que ha fallado son:

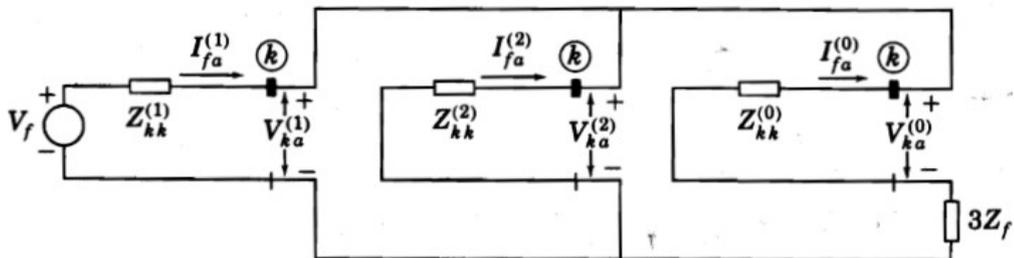


Figura 3.29. Conexión de los equivalentes de Thévenin de las redes de secuencia para simular una falla bifásica a tierra.

Fuente: [29]

$$I_{fa}^1 = \frac{V_f}{Z_{pp}^1 + \left[\frac{Z_{pp}^2 (Z_{pp}^0 + 3Z_f)}{Z_{pp}^2 + Z_{pp}^0 + 3Z_f} \right]} \quad (3.30)$$

$$I_{fa}^2 = -I_{fa}^1 \frac{Z_{pp}^0 + 3Z_f}{Z_{pp}^2 + Z_{pp}^0 + 3Z_f} \quad (3.31)$$

$$I_{fa}^0 = -I_{fa}^1 \frac{Z_{pp}^1}{Z_{pp}^2 + Z_{pp}^0 + 3Z_f} \quad (3.32)$$

$$\begin{bmatrix} I_{fa} \\ I_{fb} \\ I_{fc} \end{bmatrix} = [Ts] \begin{bmatrix} I_{fa}^0 \\ I_{fa}^1 \\ I_{fa}^2 \end{bmatrix} \quad (3.33)$$

3.9.3.5. Falla trifásica

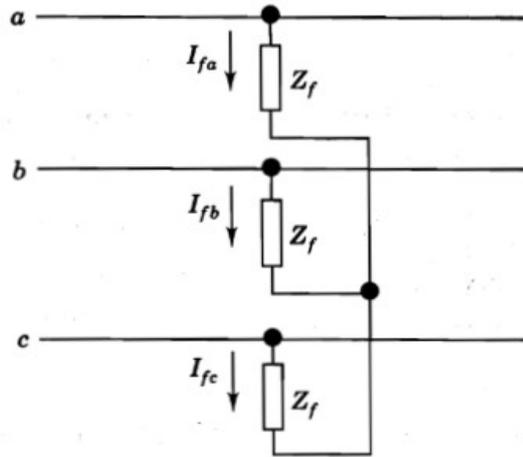


Figura 3.30. Diagrama de conexiones de una falla trifásica.

Fuente: [29]

La falla trifásica es la única que es simétrica, por lo tanto se puede decir que en el cálculo de la misma no se tomara en cuenta los diagramas de secuencia positiva ni negativa. [29]

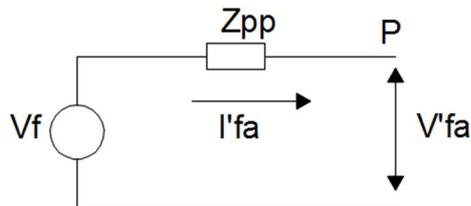


Figura 3.31. Conexión de los equivalentes de Thévenin de las redes de secuencia para simular una falla trifásica.

Fuente: Los Autores

$$I_{fa}^1 = \frac{V_f}{Z_{pp}^1} \quad (3.34)$$

$$\begin{bmatrix} I_{fa} \\ I_{fb} \\ I_{fc} \end{bmatrix} = [Ts] \begin{bmatrix} 0 \\ I_{fa}^1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.35)$$

$$[Ts] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \quad (3.36)$$

3.10. Elementos para el módulo de adquisición de datos

3.10.1. Arduino Mega



Figura 3.32. Arduino Mega.

Fuente: [33]

El Arduino Mega 2560 es un tablero de microcontrolador basado en el ATmega2560 . Tiene 54 pines de entrada / salida digital (de los cuales 15 se pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP, y un botón de reinicio. Contiene todo lo necesario para soportar el microcontrolador; simplemente conéctelo a una computadora con un cable USB o enciéndalo con un adaptador de CA a CC o una batería para comenzar. El tablero Mega 2560 es compatible con la mayoría de los escudos diseñados para el Uno y los tableros anteriores Duemilanove o Diecimila. [33]

3.10.2. Arduino Nano

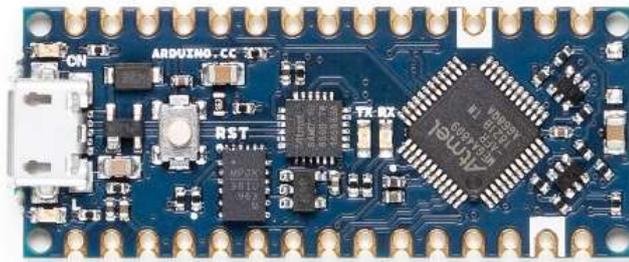


Figura 3.33. Arduino Nano.

Fuente: [34]

Esta pequeña, robusta y poderosa placa tiene la misma huella nano clásica que se aprecia en todo el mundo. Se puede programar con el IDE de Arduino, fácil de usar, disponible fuera de línea y en línea. Comience en minutos con miles de bocetos disponibles en código abierto o escriba el suyo: es la opción perfecta para sus proyectos cotidianos. Basado en el procesador AVR ATmega4809, el Arduino Nano Every es flexible a los requisitos de su diseño. Se puede

utilizar en una placa de pruebas al montar encabezados de pines, o como SMT soldado directamente en una PCB gracias a sus almohadillas almenadas. Un procesador SAMD11 ARM Cortex M0 + actúa como un convertidor de USB a serie de alto rendimiento que puede ser reprogramado por usuarios expertos para ampliar aún más las aplicaciones de esta placa. [34]

3.10.3. Sensor de Corriente ACS712

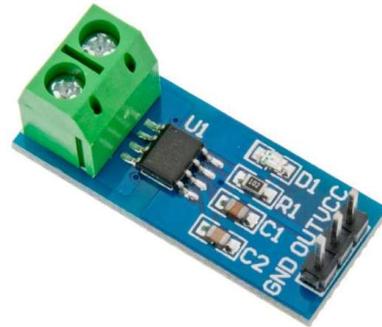


Figura 3.34. Sensor de Corriente.

Fuente: [35]

Este módulo basado en el circuito integrado ACS712 de Allegro MicroSystems permite medir la cantidad de corriente que fluye a través de un circuito de corriente alterna (AC) o corriente directa (DC). El método de sensado es a través de un sensor de efecto hall que provee un voltaje de salida proporcional a la corriente que fluye en el circuito. El trayecto para la medida de corriente es por el interior del circuito integrado y se encuentra aislado del circuito de procesamiento. [35]

- Sensor lineal de efecto hall de bajo offset
- Alta precisión de medida debido a la cercanía del sensor de efecto hall al elemento de paso (ambos se encuentran dentro del IC).
- Baja resistencia del elemento de paso para una baja disipación de potencia (1.2 mΩ típico)
- Capacidad de sobrevivir a picos de corriente de hasta 5 veces la corriente nominal de operación.
- Las terminales del elemento conductor se encuentran aisladas electricamente (Hasta 2.1KV) por lo que evita la necesidad de aislamiento externo (optoacopladores).

3.10.4. Sensor de Voltaje



Figura 3.35. Sensor de Voltaje.

Fuente: [36]

El Módulo Sensor De Voltaje Ac Monofásico ZMP101B es un módulo utilizado para medir la tensión de fase de Corriente Alterna. El sensor de voltaje AC está diseñado a partir de un transformador, por lo cual única y exclusivamente se puede utilizar para medir el voltaje de Corriente Alterna. [36]

El Módulo contiene un transformador de CA de voltaje de salida monofásico activo A01B.

- Incluye circuito de amplificador operacional de precisión, señal para muestreo adecuado y función de compensación
- Puede medir hasta 250 V de AC de acuerdo con la salida analógica, la cual es ajustable
- Módulo Sensor De Voltaje Ac Monofásico ZMP101B
- Voltaje de suministro: 5 VCD
- Flujo de entrada: 2 mA
- Salida de señal: analógica
- Dimensiones: 5 cm x 2 cm x 2.4 cm
- Rango de tensión: 110-250V AC
- Sistema de transformador activo

3.10.5. Sensor de corriente AC no invasivo SCT-013



Figura 3.36. Sensor de Corriente no invasivo.

Fuente: [37]

Los sensores de la serie SCT-013 son sensores que trabajan como transformadores, la corriente que circula por el cable que deseamos medir actúa como el devanado primario (1 espira) e internamente tiene un devanado secundario que dependiendo del modelo pueden tener hasta más de 2000 espiras. [37]

La cantidad de espiras representa la relación entre corriente que circula por el cable y la que el sensor nos entrega, esta relación o proporción es la que diferencia entre los diferentes modelos de sensores SCT-013, adicionalmente pueden tener una resistencia de carga en la salida de esta forma en lugar de corriente se trabaja con una salida voltaje. A este tipo de sensores se los conoce como Sensores CT (Current transformers), que como se explicó son transformadores, Por el núcleo solo debe de atravesar una sola línea, si pasamos por ejemplo los dos cables de una conexión monofásica, nuestra lectura será 0, puesto que los cables tienen corrientes opuestas. Una ventaja de SCT-013 es que no necesitamos interrumpir (cortar o desempalmar) el cable que vamos a medir, esto porque al igual que una pinza amperimétrica tiene el núcleo partido. [37]

3.10.6. Raspberry PI 3 b plus



Figura 3.37. Raspberry Pi 3 b+.

Fuente: [38]

Raspberry Pi, es una placa que soporta varios componentes necesarios en un ordenador común, cuenta con un procesador de cuatro núcleos a 1,4 GHz de 64 bits, LAN inalámbrica de doble banda, Bluetooth 4.2 / BLE, Ethernet más rápida y compatibilidad con alimentación a través de Ethernet (con PoE HAT independiente). [38]

4. METODOLOGÍA

4.1.Métodos de Investigación

4.1.1. Método analítico

Este método permite el estudio de las corrientes de falla en un banco de transformadores monofásicos, con una rigurosa investigación documental también permitirá analizar la obtención de datos mediante la implementación del prototipo.

4.1.2. Método Deductivo

Este método permitirá deducir conclusiones lógicas a partir de la investigación realizada y mediante la construcción del módulo.

4.1.3. Método Experimental

En este método de investigación permitirá contralar las variables para delimitar relaciones entre ellas, en este método se recopilan datos para comparar las mediciones de comportamiento, las variables que se utilizan pueden ser variables dependientes y las variables independientes.

4.2. Tipos de Investigación

4.2.1. Investigación Descriptiva

La investigación descriptiva procura determinar la situación, las condiciones del problema en este caso permitirá determinar cómo se comportan las corrientes de falla cuando ocurre un cortocircuito en el transformador

4.2.2. Investigación Bibliográfica

Este tipo de investigación permite una revisión de material bibliográfico existente con respecto a las corrientes de falla por cortocircuito en un transformador trifásico, utilizando información proveniente de libros, tesis y fuentes electrónicas.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Construcción del módulo de corrientes de falla

Para la elaboración del presente proyecto se construyó una estructura metálica que cuenta con tres secciones, donde en la parte superior se encuentran ubicados las protecciones y la pantalla para visualización de datos; en la parte media se encuentra el banco de transformadores y fallas; y por último en la parte inferior se encuentran los variac y cargas correspondientes.

5.2. Diseño de la estructura para módulo de pruebas

Para el diseño de la estructura se tomó en cuenta las dimensiones de los transformadores, variac y cargas, para distribuirlos de manera uniforme en el módulo, así como para colocar las borneras en los lugares correspondientes.

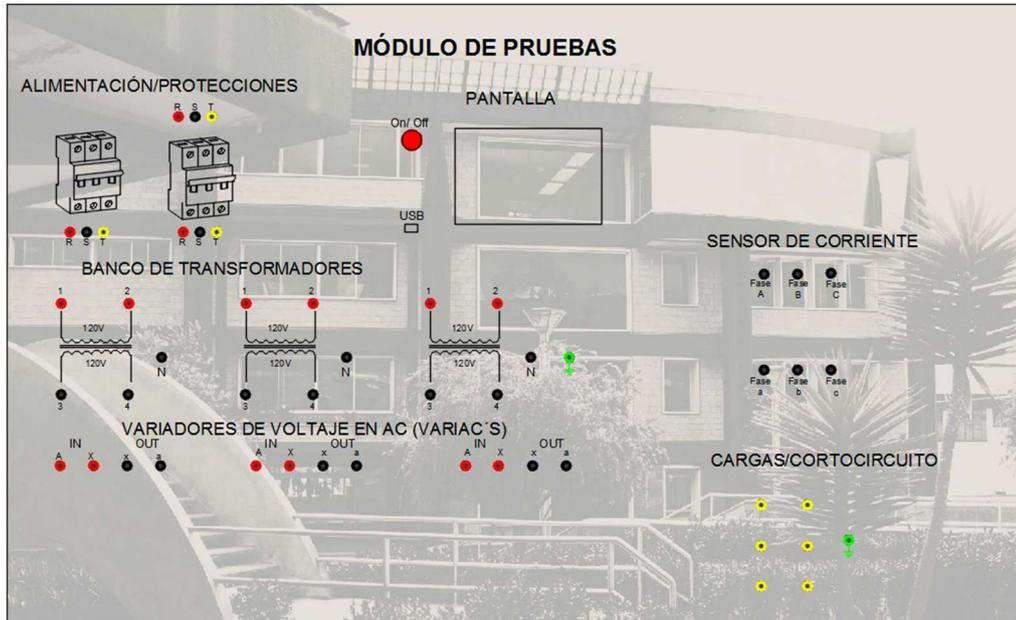


Figura 5.1. Diseño de la ubicación de los equipos y elementos del módulo para las corrientes de cortocircuito.

Fuente: Los Autores

5.3. Diseño del Transformador

Los transformadores constan con un bobinado de 150 vueltas tanto en el lado primario como en el lado secundario con un conductor de calibre #16, estos fueron diseñados a una potencia de 660W cada uno, con un voltaje de entrada 120V y un voltaje de salida 120V es decir relación 1:1, y una corriente máxima de 6A.

El módulo consta con un banco de transformadores monofásicos el mismo que permite realizar los desfasamientos de las conexiones Dd0, Yy0, Dy1, Yd1, Dy5, Yd5, Dy7, Yd7, Dy11, Yd11, Dd6 y Yy6.

Como se muestra en la siguiente figura.

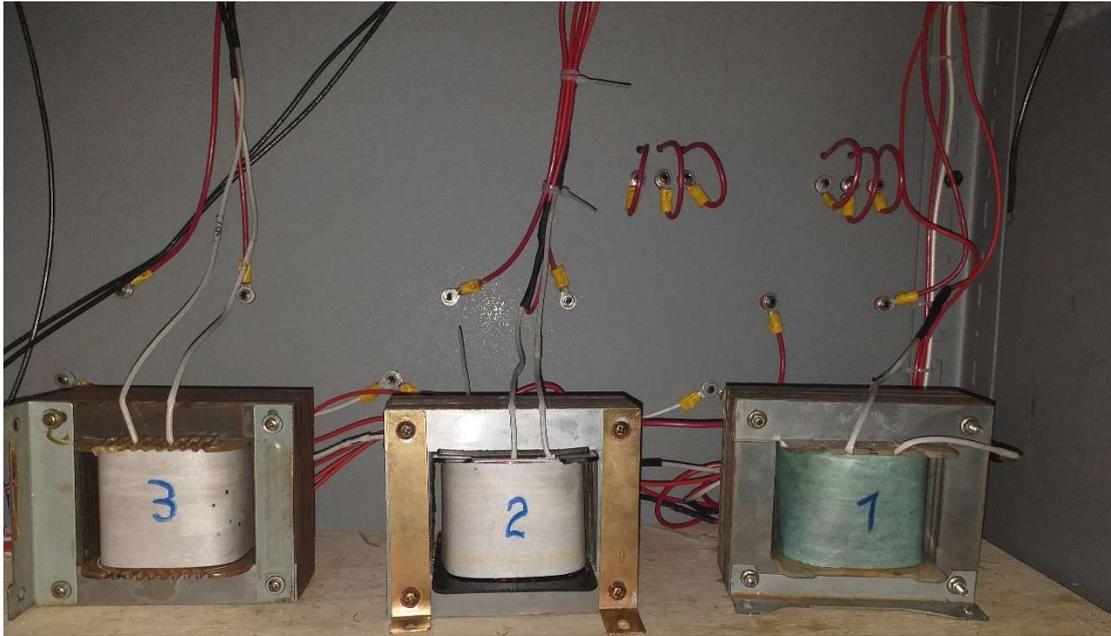


Figura 5.2. Banco de Transformadores.

Fuente: Los Autores

5.4. Pruebas del transformador

5.4.1. Pruebas de circuito abierto

El ensayo de circuito abierto o en vacío proporciona a través de las medidas de voltaje, corriente y potencia en el bobinado primario, los valores directos de la potencia de pérdida en el entre hierro y deja abierto el bobinado secundario. Por lo tanto en este bobinado no recorrerá ninguna corriente. El lado secundario se mantiene abierto, mientras tanto con la ayuda de un autotransformador regulable, el voltaje aplicado incrementa lentamente hasta obtener el voltaje nominal en el lado primario tomando en cuenta que los transformadores tiene una relación 1:1, después de alcanzar el voltaje nominal se registra los datos con la ayuda de un voltímetro, amperímetro y vatímetro.

AUTOTRANSFORMADOR
REGULABLE

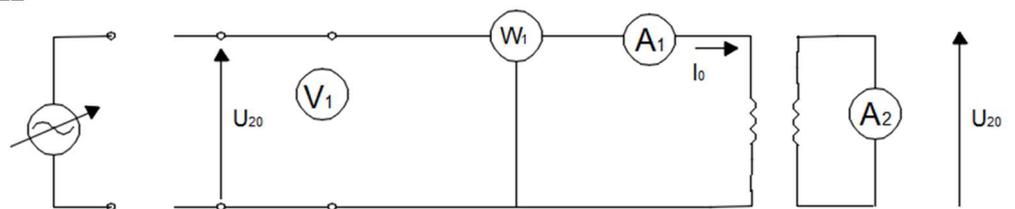


Figura 5.3. Prueba de circuito abierto.

Transformador monofásico 1

Datos

$V_{\text{prim}}=120\text{V}$	$P=1.8\text{W}$	$\text{fp}=0.80$
$V_s=120\text{V}$	$S=1.2\text{VA}$	
$I_0=0.6\text{A}$	$Q=2.1\text{VAR}$	

$$Z = \frac{V}{I} * \cos^{-1}\theta$$
$$Z = \frac{120\text{V}}{0.6\text{A}} * \cos^{-1}(0.80)$$
$$Z = 200 \angle 36.87^\circ$$

Transformador monofásico 2

Datos

$V_{\text{prim}}=120\text{V}$	$P=1.6\text{W}$	$\text{fp}=0.76$
$V_s=120\text{V}$	$S=2.0\text{VA}$	
$I_0=0.56\text{A}$	$Q=1.2\text{VAR}$	

$$Z = \frac{V}{I} * \cos^{-1}\theta$$
$$Z = \frac{120\text{V}}{0.56\text{A}} * \cos^{-1}(0.76)$$
$$Z = 214.28 \angle 40.53^\circ$$

Transformador monofásico 3

Datos

$V_{\text{prim}}=120\text{V}$	$P=1.8\text{W}$	$\text{fp}=0.78$
$V_s=120\text{V}$	$S=2.1\text{VA}$	
$I_0=0.36\text{A}$	$Q=1.2\text{VAR}$	

$$Z = \frac{V}{I} * \cos^{-1}\theta$$
$$Z = \frac{120\text{V}}{0.36\text{A}} * \cos^{-1}(0.78)$$
$$Z = 333.33 \angle 38.73^\circ$$

5.4.2. Pruebas de cortocircuito

Con el ensayo en cortocircuito, se consiguió las corrientes nominales tanto en el primario como en el secundario del transformador tomando en cuenta que la relación de transformación es 1:1, aplicando un pequeño voltaje progresivamente al lado primario con la ayuda de un autotransformador regulable hasta conseguir la corriente nominal en los dos bobinados y cortocircuitando el secundario.

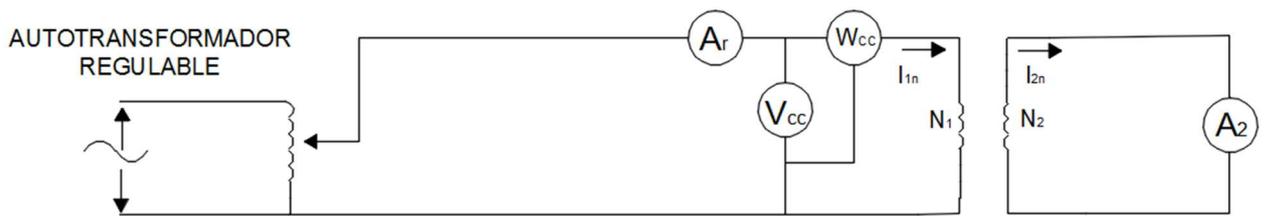


Figura 5.4. Prueba de cortocircuito.

Transformador monofásico 1

Datos:

Voltaje en el primario=7.25V

Corriente en el Primario= 6 A

Calculo de la impedancia

$$Z_{eq} = \frac{V}{I}$$

$$Z_{eq} = \frac{7.25V}{6 A}$$

$$Z_{eq} = 1.2083\Omega$$

$$U_{cc} = U_{cc} * \frac{100}{U_{1n}}$$

$$U_{cc} = 7.5 V * \frac{100}{120 V}$$

$$U_{cc} = 6.04 \%$$

Transformador 2

Datos:

Voltaje en el primario = 7.85 V

Corriente en el Primario = 6 A

Calculo de la impedancia

$$Z_{eq} = \frac{V}{I}$$

$$Z_{eq} = \frac{7.85V}{6 A}$$

$$Z_{eq} = 1.308\Omega$$

$$U_{cc} = U_{cc} * \frac{100}{U_{1n}}$$

$$U_{cc} = 7.85 V * \frac{100}{120 V}$$

$$U_{cc} = 6.54 \%$$

Transformador 3

Datos:

Voltaje en el primario = 6.6 V

Corriente en el Primario = 6A

Calculo de la impedancia

$$Z_{eq} = \frac{V}{I}$$

$$Z_{eq} = \frac{6.6V}{6A}$$

$$Z_{eq} = 1.1\Omega$$

$$U_{cc} = U_{cc} * \frac{100}{U_{1n}}$$

$$U_{cc} = 6.5V * 100 \frac{100}{120V}$$

$$U_{cc} = 5.50\%$$

5.5. Medición de impedancia

Mediante el uso del equipo “METREL MI 3250” se pudo determinar la impedancia tanto del primario como del secundario el transformador, con una corriente de 10mA, 100mA y 1A

Tabla 5.1. Impedancias medidas en el Microhmetro

Corriente de prueba	Impedancia Primario	Impedancia Secundario
100 mA	0.538 Ω	0.468 Ω
10 mA	0.538 Ω	0.468 Ω
1 A	200 m Ω	2 m Ω



Figura 5.5. Prueba en el microhmetro en el primario del transformador con una corriente de 100mA.

5.6. Dimensionamiento de protecciones

5.6.1. Cálculo del interruptor Termomagnético

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * V}$$
$$I = \frac{110V * (8A * 1.25)}{\sqrt{3} * 110}$$
$$I = 6.77A \approx 10^a$$

Para la protección del Módulo de cortocircuitos se determinó necesario contar con un interruptor termomagnético monopolar por fase de 6 A para la protección de la fuente reguladora de voltaje en AC (variac), ya que su corriente nominal es de 8A con las siguientes características

I_n: 10 A

I_{CU}: 10 KA

Curva tipo B

Según la norma IEC 60898 el rango de disparo será de 3 I_n y 5 I_n

5.6.2. Cálculo de Fusibles

Los fusibles a ser utilizados fueron coordinados mediante el siguiente cálculo:

$$I = \frac{P}{V \cos \theta}$$
$$I = \frac{297W}{110 * \cos(0.45)}$$
$$I = 6A$$

Obteniendo un fusible por fase de 6A, según las normas técnicas IEC 60269-2 y 60269-2-1 se determinó que el fusible será de tipo gG ya que este tiene coeficientes de fusión de fusibles de mayor valor, es decir que se funden en un tiempo prolongado.

5.7. Determinación del voltaje a ser ingresados para cálculo de fallas en los transformadores

Tabla 5.2. Voltajes a ser ingresados en los Variac's en Conexión Yy0 y Dd0.

Conexión Yy0		Conexión Dd0	
Tipo de Falla	V máx variac	Tipo de Falla	V máx variac
Monofásica	9 V	Monofásica	30 A
Bifásica a Tierra	9 V	Bifásica a Tierra	4 V
Bifásica	9 V	Bifásica	4 V
Trifásica	9 V	Trifásica	3 V

Tabla 5.3. Voltajes a ser ingresados en los Variac's en conexión Yd1 y Dy1.

Conexión Yd1		Conexión Dy1	
Tipo de Falla	V máx variac	Tipo de Falla	V máx variac
Monofásica	30 A	Monofásica	5 V
Bifásica a Tierra	6V	Bifásica a Tierra	3 V
Bifásica	7 V	Bifásica	3 V
Trifásica	5 V	Trifásica	4 V

Tabla 5.4. Voltajes a ser ingresados en los Variac's en conexión Yd5 y Dy5.

Conexión Yd5		Conexión Dy5	
Tipo de Falla	V máx variac	Tipo de Falla	V máx variac
Monofásica	30 V	Monofásica	5 V
Bifásica a Tierra	6 V	Bifásica a Tierra	5 V
Bifásica	6 V	Bifásica	4 V
Trifásica	5 V	Trifásica	3V

Tabla 5.5. Voltajes a ser ingresados en los Variac's Yd7 y Dy7.

Conexión Yd7		Conexión Dy7	
Tipo de Falla	V máx variac	Tipo de Falla	V máx variac
Monofásica	30 V	Monofásica	5 V
Bifásica a Tierra	6 V	Bifásica a Tierra	3 V
Bifásica	6 V	Bifásica	3 V
Trifásica	5 V	Trifásica	3 V

Tabla 5.6. Voltajes a ser ingresados en los Variac's Yd11 y Dy11.

Conexión Yd11		Conexión Dy11	
Tipo de Falla	V máx variac	Tipo de Falla	V máx variac
Monofásica	30 V	Monofásica	5 V
Bifásica a Tierra	7 V	Bifásica a Tierra	3 V
Bifásica	6 V	Bifásica	4 V
Trifásica	5 V	Trifásica	3 V

Tabla 5.7. Voltajes a ser ingresados en los Variac's en conexión Yy6 y Dd6.

Conexión Yy6		Conexión Dd6	
Tipo de Falla	V máx variac	Tipo de Falla	V máx variac
Monofásica	30 V	Monofásica	30 V
Bifásica a Tierra	9 V	Bifásica a Tierra	4 V
Bifásica	9 V	Bifásica	4 V
Trifásica	8 V	Trifásica	3 V

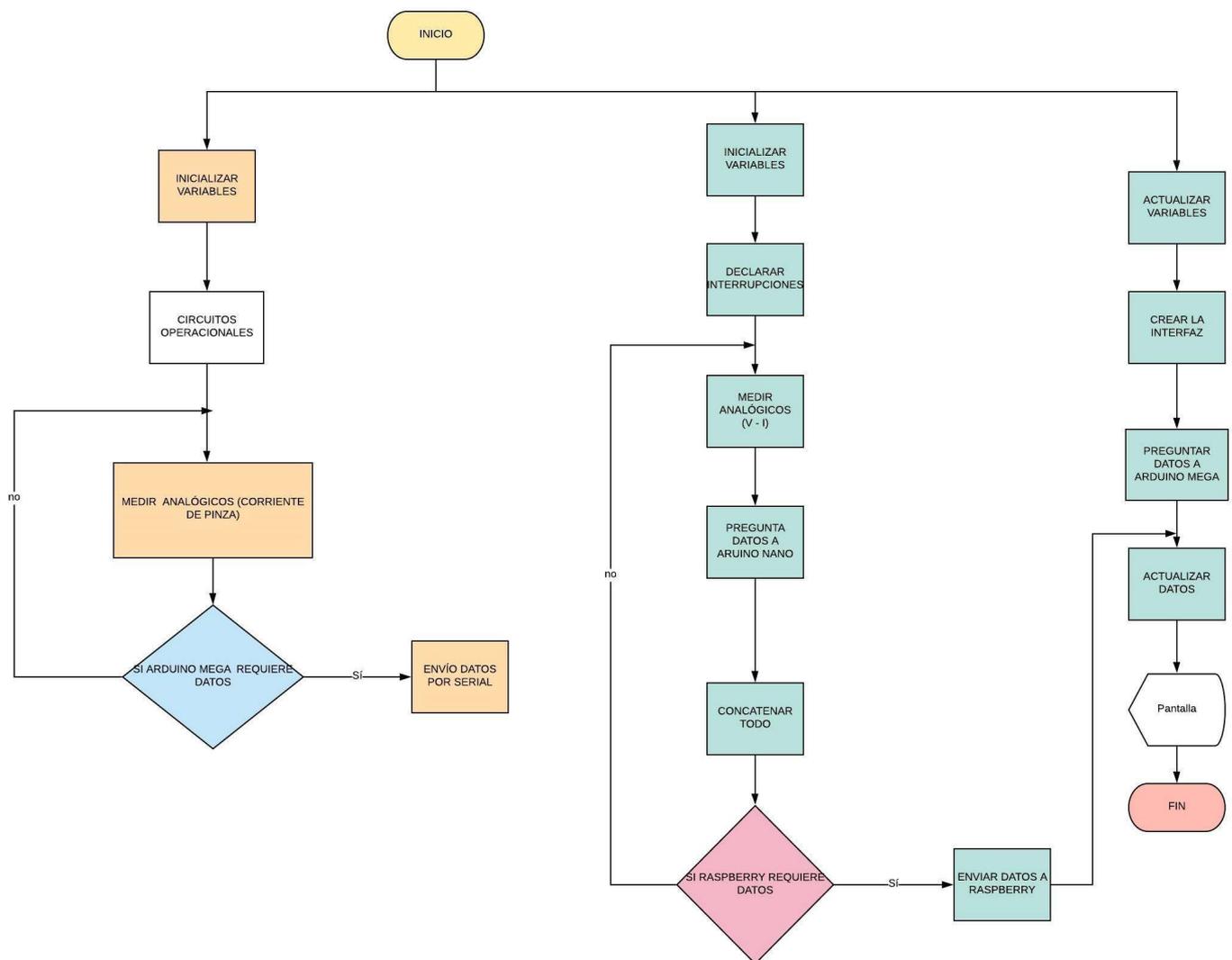
5.8. Diseño del sistema de adquisición y visualización de datos

Para este diseño se utilizó un ordenador Raspberry Pi 3 B plus, el mismo que recibe la señal de un microprocesador arduino mega el mismo que censa las corrientes y voltajes en los lados primario y secundario del transformador antes y después de ocurrir la falla, derivando las ondas senoidales a la pantalla HDMI 7'.

5.9. Programación

Para obtener los valores en el sistema de adquisición de datos se programó en arduino mega, arduino nano y phyton que serán detallados en el anexos I, II y III respectivamente

5.9.1. Diagrama de flujo



5.10. Pruebas de medición en el módulo

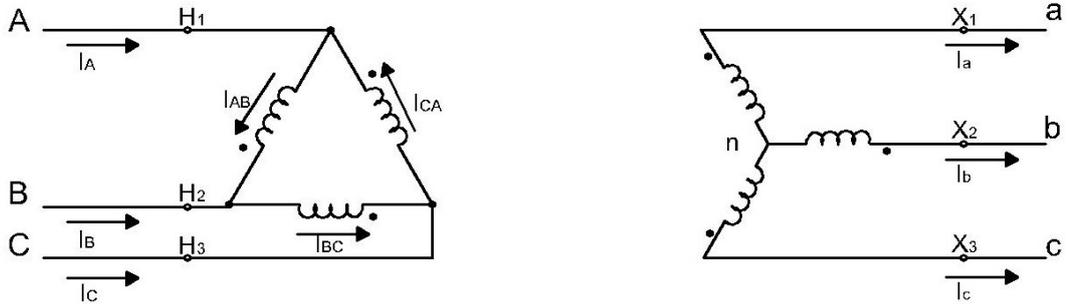


Figura 5.6. Diagrama de sentido de las corrientes en conexión Dy

Fuente: Los Autores

- **Conexión Dy1**

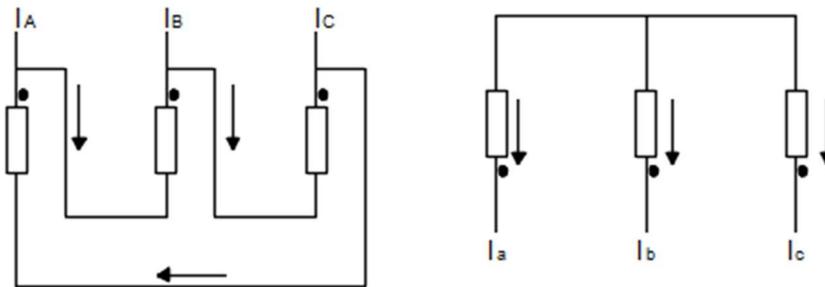


Figura 5.7. Conexión Dy1 del transformador.

Fuente: Los Autores

Tabla 5.8. Corrientes y desfases en el primario y secundario del transformador conexión Dy1

Tipo de falla	V _{máx} Variac	Corriente de Fase		Desfase		Diferencia
		Primario	Secundario	Primario	Secundario	
Sin Falla	30 V	0.54	0.28	0°	43.49°	43.49°
		0.54	0.29	235.79°	290.91°	55.12°
		0.56	0.29	120.61°	173.49°	52.88°
Monofásico	5 V	5.03	5.04	0°	66.1°	66.1°
		0.42	0.22	246.59°	283.56°	36.97°
		4.91	0.21	110.16°	183.95°	73.79
Bifásico	3 V	4.58	2.22	0°	91.41	91.41°
		2.35	2.43	272.33°	357.18	84.85°
		2.29	0.18	176.26°	184.64	8.48°

Tipo de falla	$V_{\text{máx}}$ Variac	Corriente de Fase		Desfase		Diferencia
		Primario	Secundario	Primario	Secundario	
Bifásico a Tierra	4 V	6.05	3.64	0°	46.57°	46.57°
		3.97	3.92	226.28°	287.54°	61.29°
		3.85	0.19	106.62°	183.86°	77.24°
Trifásico	4 V	6.82	3.84	0°	62.9°	62.9°
		6.85	3.81	242.01°	292.21°	50.2°
		6.94	3.96	122.77°	185.24°	62.47°

Este tipo de conexión es muy utilizado para elevar tensión en el lado de estrella, pero también es muy utilizado en redes de sub-transmisión y distribución, colocando el lado de estrella al de baja tensión, permitiendo alimentar cargas trifásicas y monofásicas entre fase y neutro.

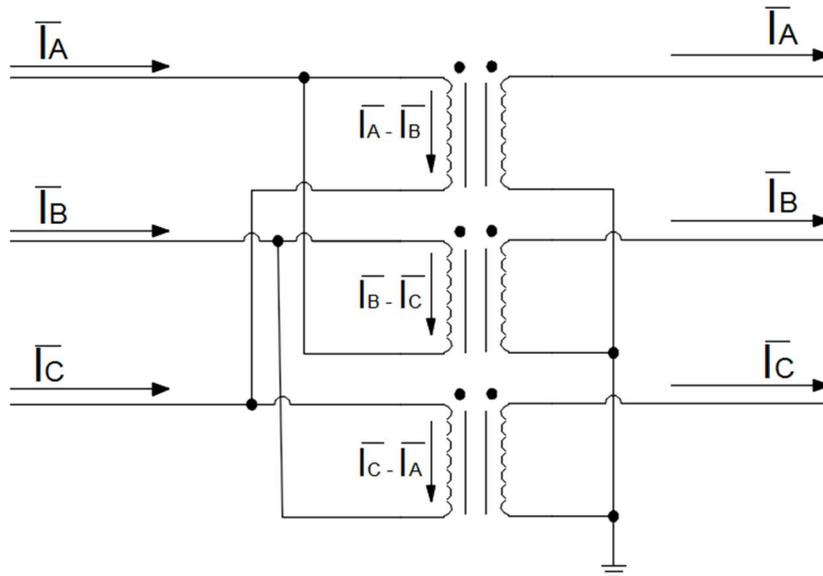


Figura 5.8. Dirección de las corrientes en conexión Dy1.

Fuente: Los Autores

Para esta conexión las corrientes en el lado primario se reflejarán en el lado secundario del transformador, siendo las corrientes en las fases del secundario igual a las corriente del primario dividido para $\sqrt{3}$.

Falla monofásica

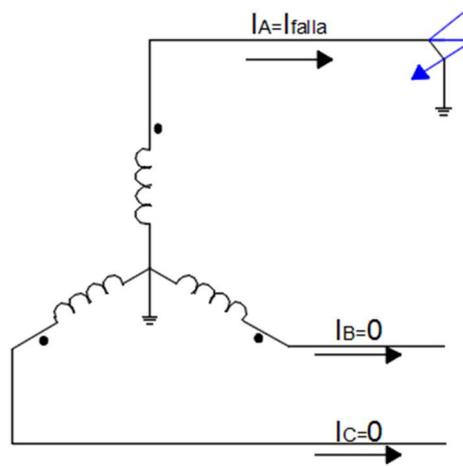


Figura 5.9. Falla Monofásica

Fuente: Los Autores

Tras ocurrir una falla monofásica las corrientes en el lado conectado en estrella del secundario se ven reflejadas en el lado conectado en delta del primario según su conexión.

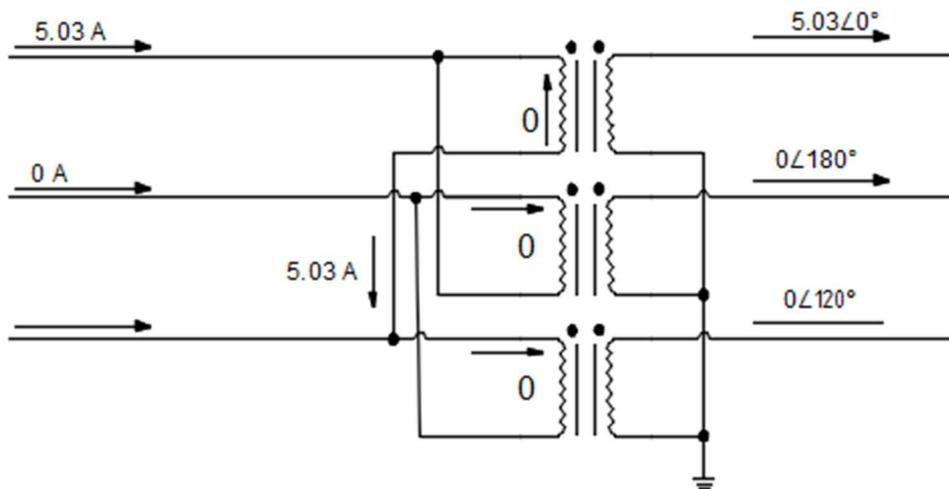


Figura 5.10. Diferencia de corrientes en el primario y secundario del transformador conexión Dy1.

Fuente: Los Autores

Las corrientes en las fases “A” y “a” no se verán afectadas y tendrán el mismo valor, de igual manera ocurre con las fases B del primario y secundario, en éste la diferencia en cuanto a desfases en el lado secundario se ve afectado puesto que será igual a 180° ; mientras que en la fase C si tendrá un cambio al verse afectado por la conexión ya que la fase A prima, se conecta a la fase C por lo que la corriente A Y C tendrán valores aproximados, la corriente de la fase “c” del secundario será un valor cercano a 0 A puesto que se ve afectada por la falla. En la

siguiente figura se detalla el valor y sentido de las corrientes:

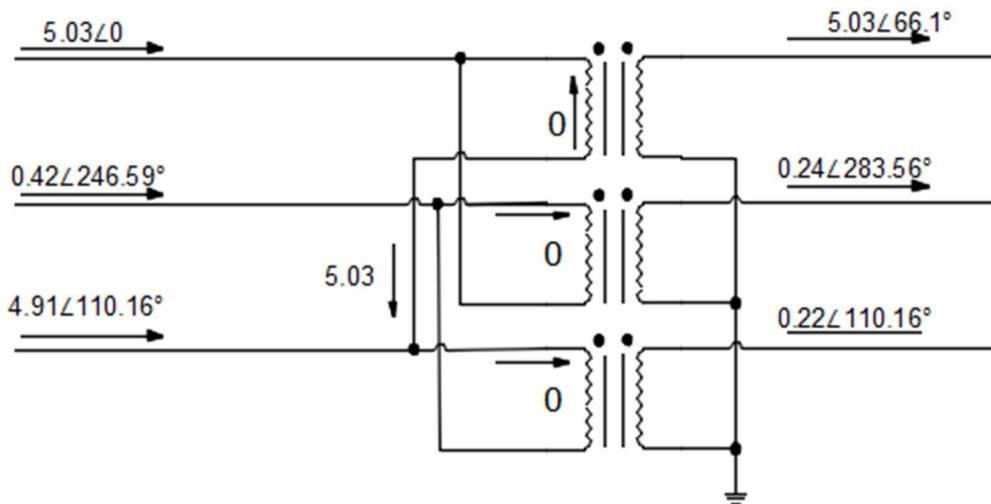


Figura 5.11. Valores de corriente y desfases con datos obtenidos en conexión Dyl

Fuente: Los Autores

Para la falla monofásica se determina que:

$$I_S = 0$$

$$I_T = 0$$

$$V = 0$$

$$I_{falla} = 5.03$$

La corriente de falla obtenida mediante el uso del sensor de corriente fue de 5.03 A, siendo una corriente aproximada a la realizada en el siguiente cálculo.

Por lo tanto el voltaje en la fase A será cero, pues esta es la fase que se conecta hacia tierra, obteniendo un valor en las corrientes de la fase B y C que serán igual a $I_B = 0.22 A$ y $I_C = 0.21 A$ y estas pueden despreciarse frente a la corriente que presenta la fase A con $I_A = 5.03 A$.

$$I_a = I_a^{(1)} + I_a^{(2)} + I_a^{(0)} = I_{falla}$$

$$I_a = 1.60 + 1.60 + 1.83 = 5.03 A$$

$$\begin{bmatrix} I_a^{(0)} \\ I_a^{(2)} \\ I_a^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & (1\angle 120) & (1\angle 240) \\ 1 & (1\angle 240) & (1\angle 120) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 5.04\angle 0^\circ \\ 0.22\angle 240^\circ \\ 0.23\angle 120^\circ \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_a^{(1)} \\ I_a^{(2)} \\ I_a^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1.60 \angle 0.1 \\ 1.60 \angle 0.1 \\ (1.83 \angle 0) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & (1 \angle 240) & (1 \angle 120) \\ 1 & (1 \angle 120) & (1 \angle 240) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 1.665 \angle 0.1 \\ 1.665 \angle 0.1 \\ (1.83 \angle 0) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 5.04 \angle 63^\circ \\ 0.22 \angle -119^\circ \\ 0.22 \angle 120^\circ \end{bmatrix}$$

Tras ocurrir una falla monofásica en este tipo de conexión la corriente de falla en el lado secundario del transformador será igual a suma de las corrientes de en las fases a, b y c

- **Conexión Dy5**

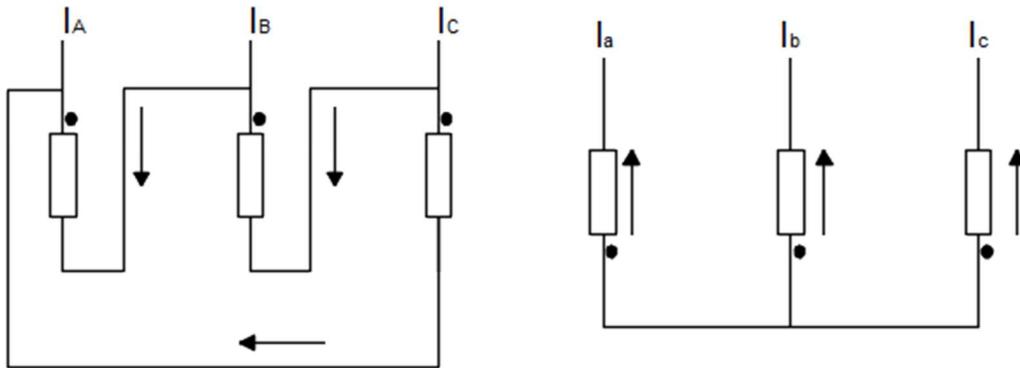


Figura 5.12. Conexión Dy5 del transformador.

Fuente: Los Autores

Tabla 5.9. Corrientes y desfases en el primario y secundario del transformador conexión Dy5

Tipo de falla	$V_{\text{máx}}$ Variac	Corriente de Fase		Desfase		Diferencia
		Primario	Secundario	Primario	Secundario	
Sin Falla	30 V	0.78	0.37	0°	166.84°	166.84°
		0.82	0.39	235.18°	47.52°	187.66°
		0.8	0.39	119.58°	290.04°	170.46°
Monofásico	5 V	4.41	4.31	0°	180.06°	180.06°
		4.34	0.2	242.27°	56.42°	185.85°
		0.41	0.19	121.48°	285.9°	164.42°
Bifásico	3 V	2.11	2.18	0°	179.45°	179.45°
		4.53	2.29	267.15°	81.04°	186.11°
		2.2	0.18	173.06°	355.19°	182.13°
Bifásico a Tierra	3 V	2.85	2.83	0°	179.54°	179.54°
		4.81	3.2	232.5°	47.35°	185.15°
		3.32	0.17	106.88°	288.14°	181.26°
Trifásico	3 V	5.09	2.84	0°	179.71°	179.71°
		5.0	2.98	240.71°	61.43°	179.28
		5.13	3.07	120.27°	302.75°	182.48°

La conexión Dy5 es la conexión más utilizada en transformadores de distribución en nuestro país ya que se puede conectar a tierra el punto neutro, por lo que queda limitado el potencial en cualquiera de las fases al voltaje del sistema; con este tipo de conexión se permite alimentar a cargas trifásicas y monofásicas entre fase y neutro.

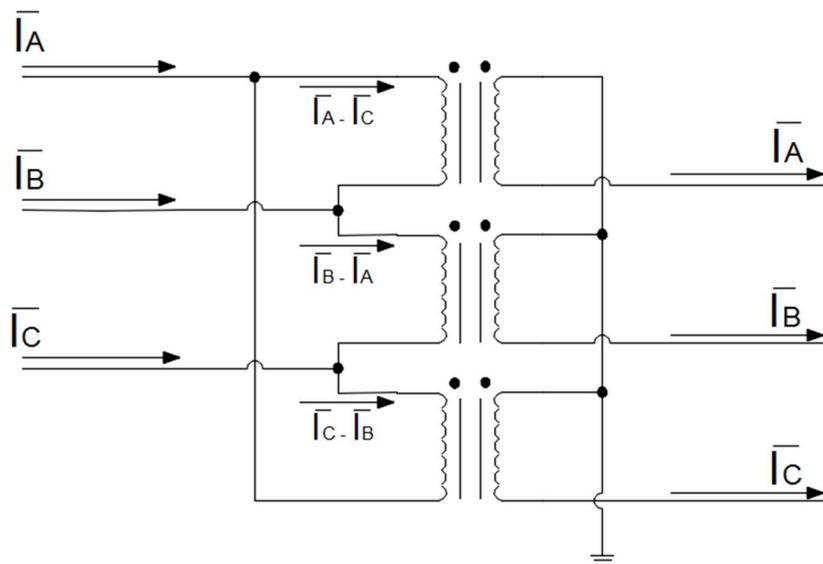


Figura 5.13. Dirección de las corrientes en conexión Dy5.

Fuente: Los Autores

Falla Bifásica

En una falla bifásica aislada de tierra, las corrientes entre las fases que se cortocircuitan serán de valores iguales pero de sentidos opuestos.

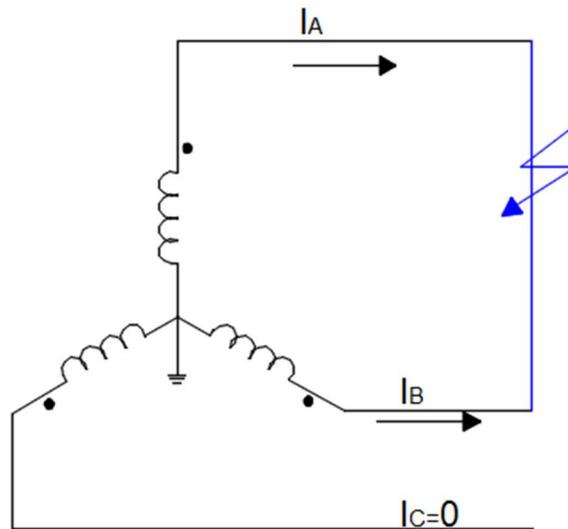


Figura 5.14. Falla Bifásica

Fuente: Los Autores

Para el análisis de la figura se obtiene que la corriente en $I_C = 0.18 A$ o se desprecia ya que sus valores son relativamente bajos frente a la corriente en I_A e I_B .

Los valores obtenidos durante la medición muestran que:

$$I_A = 2.18 A$$

$$I_B = 2.19 A$$

$$I_C = 0.18 A$$

Por lo tanto

$$I_A = -I_B$$

$$I_C = 0.18 A$$

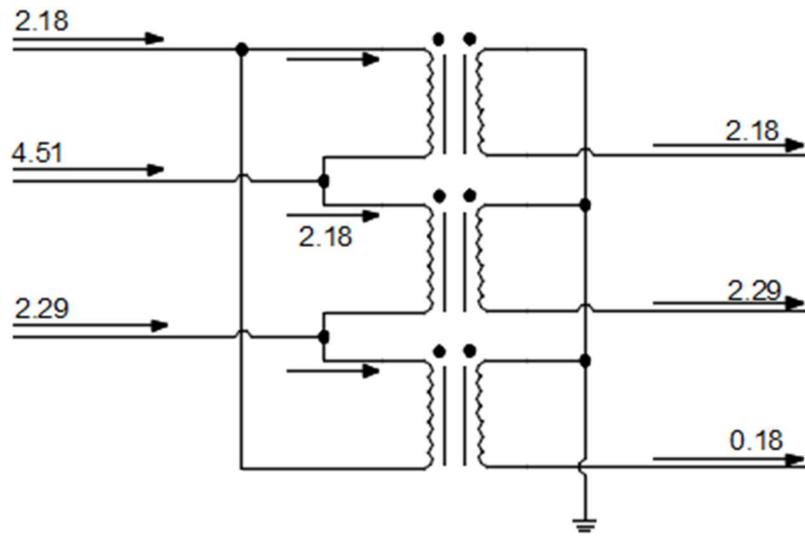


Figura 5.15 .Diferencia de corrientes en el primario y secundario del transformador conexión Dy5.

Fuente: Autores

La corriente en la fase B del lado primario del transformador es la suma de las corrientes tanto de la fase A como de la fase C, al encontrarse interconectadas entre sí.

Teniendo una corriente de falla de:

$$I_{falla} = 3.78 \text{ A}$$

$$I_{falla} = 3(1.26)$$

$$\begin{bmatrix} I_a^{(1)} \\ I_a^{(2)} \\ I_a^{(2)} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & (1\angle 120) & (1\angle 240) \\ 1 & (1\angle 240) & (1\angle 120) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0.18\angle 0 \\ -2.18\angle 120 \\ 2.18\angle 240 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_a^{(1)} \\ I_a^{(2)} \\ I_a^{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (1.26\angle -90) \\ (1.26\angle 90) \\ 0 \end{bmatrix}$$

Por lo que se determina que esta falla no tiene componente de secuencia cero.

La corriente de secuencia positiva adelanta con 90° a la corriente de falla o corriente en la fase B, mientras que la corriente de secuencia negativa está en retraso 90° de la corriente de la fase B.

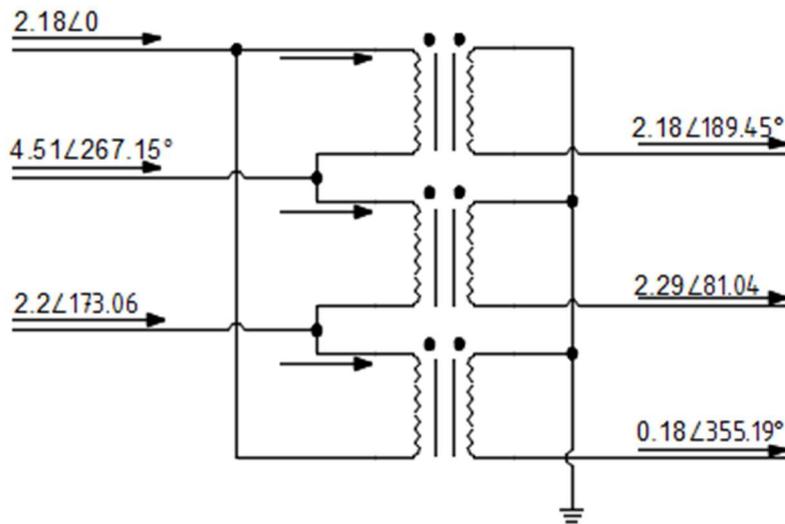


Figura 5.16. Valores de corriente y desfases con datos obtenidos en conexión Dy5

Fuente: Autores

- **Conexión Yy6**

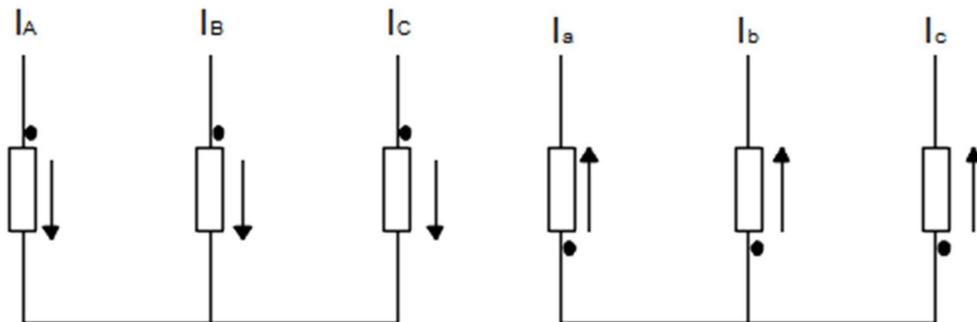


Figura 5.17. Conexión Yy6 del transformador.

Fuente: Los Autores

Tabla 5.10. Corrientes y desfases en el primario y secundario del transformador conexión Yy6

Tipo de falla	$V_{m\acute{a}x}$ Variac	Corriente de Fase		Desfase		Diferencia
		Primario	Secundario	Primario	Secundario	
Sin Falla	40 V	0.40	0.33	0	167.1°	167.1°
		0.41	0.35	238.10°	49.6°	188.5°
		0.47	0.35	117.50°	287.2°	169.8°
Monofásico	30 V	0.9	0.91	0°	179.3°	179.3°
		0.55	0.45	214.3°	58.6°	155.7°
		0.58	0.42	151.2°	316.4°	165.2°

Bifásico	9 V	4.69	4.67	0°	179.1°	179.1°
		4.78	4.9	263.5°	72.6°	190.9°
		0.32	0.22	176.9°	355°	178.1°
Bifásico a Tierra	9 V	4.83	4.75	0°	179.2°	179.2°
		4.85	5.12	267.1°	76.3°	190.8°
		0.35	0.24	176.4°	355.1°	178.7°
Trifásico	8 V	5.4	5.66	0°	179.1°	179.1°
		5.49	5.52	237.2°	54.4°	182.8°
		5.91	5.67	115.1°	294.3°	179.2°

Este tipo de conexión es generalmente utilizado para pequeñas potencias, ya que puede provocar fuertes desequilibrios de tensiones en el primario con desequilibrios de la carga en el secundario.

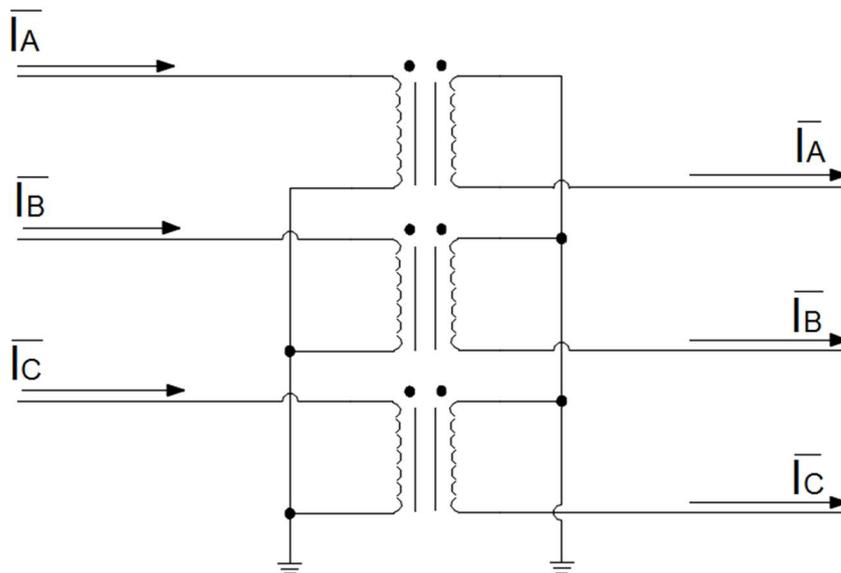


Figura 5.18. Dirección de las corrientes en conexión Yy6.

Fuente: Los Autores

Bifásica a Tierra

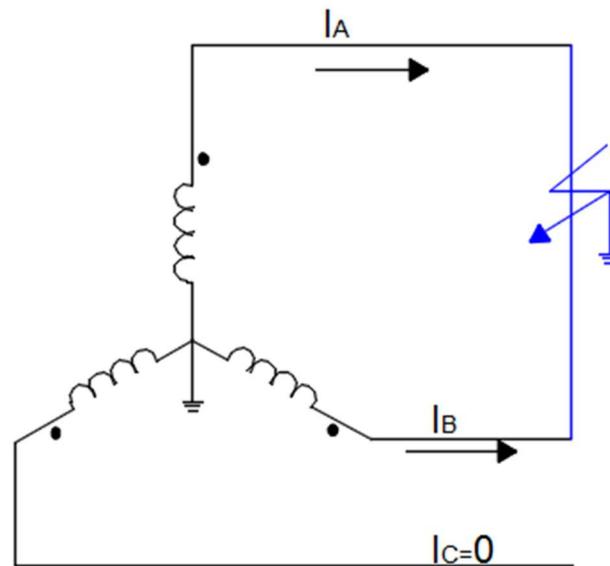


Figura 5.19. Falla Bifásica a Tierra

Fuente: Los Autores

Debido a que las fases A Y B se conectan a tierra, existirá una diferencia de potencial igual a 0 V.

Según las pruebas realizadas se muestran los siguientes datos:

$$I_C = 0.24 A$$

$$I_B = 5.12 A$$

$$I_A = 4.75 A$$

$$I_{falla} = 4.75 A$$

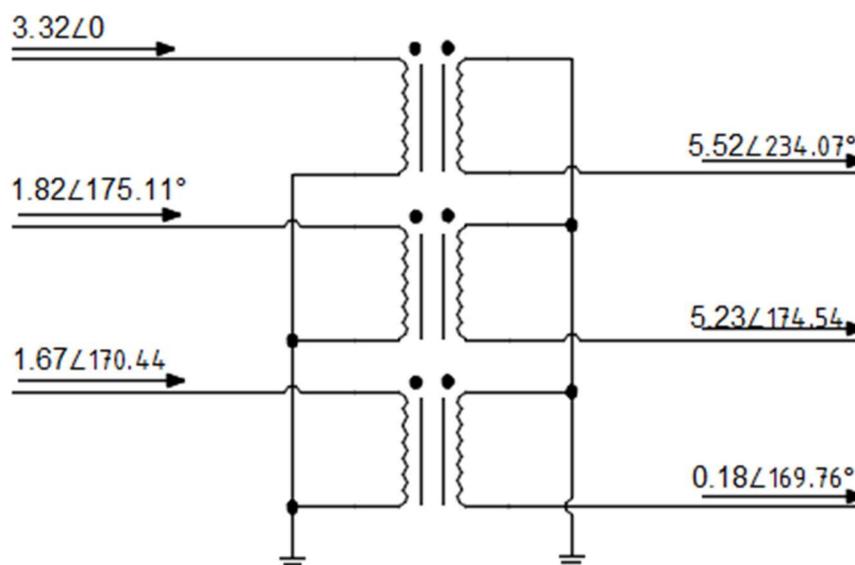


Figura 5.20. Valores de corriente y desfases con datos obtenidos en conexión Yy6.

Fuente: Los Autores

En la fase A del primario del transformador es la fase sobrecargada puesto que es la suma de las fases C y B, mientras que en el lado secundario del transformador las fases a y b donde se encuentra en cortocircuito son las que tienen la corriente más alta, la misma que se encuentra reflejada en el lado primario; la fase c posee un valor ínfimo con relación a las corrientes del corto.

Por lo tanto, en este tipo de fallas al contar con secuencia cero, los 3 fasores son iguales o aproximados, por lo que no cuenta con desfases.

- **Conexión Yd1**

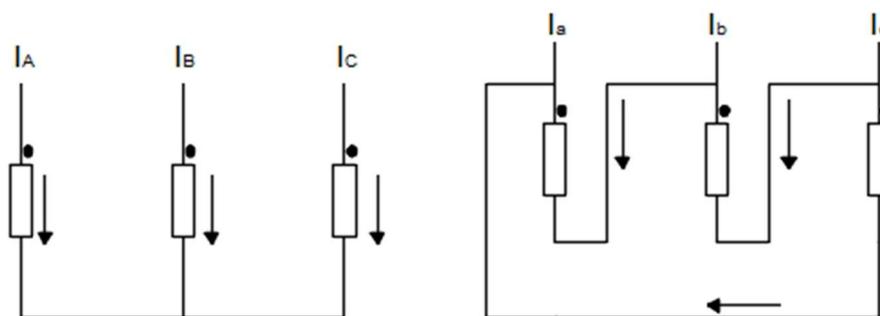


Figura 5.21. Conexión Yd1 del transformador.

Fuente: Los Autores

Tabla 5.11. Corrientes y desfases en el primario y secundario del transformador conexión Yd1

Tipo de falla	V _{máx} Variac	Corriente de Fase		Desfase		Diferencia
		Primario	Secundario	Primario	Secundario	
Sin falla	30 V	0.21	0.24	0°	335.21°	335.21°
		0.2	0.26	233.97°	215.8°	18.17°
		0.19	0.25	121.22°	95.2°	26.02°
Monofásico	35 V	0.35	0.55	0	335.88°	335.88°
		0.19	0.31	201.31°	194.42°	6.89°
		0.34	0.32	116.38°	99.33°	17.05
Bifásico	6 V	3.04	4.8	0°	240.88°	240.88°
		1.65	4.65	172.8°	187.23°	14.35°
		1.5	0.16	175.22°	179.45°	4.23°
Bifásico a Tierra	7 V	3.32	5.52	0°	234.07°	234.07°
		1.82	5.23	175.11°	174.54°	0.57°
		1.67	0.18	170.44°	169.76°	0.68°
Trifásico	5 V	2.92	5.37	0°	359.8°	359.8°
		3.14	5.55	238.39°	249°	10.61°
		3.15	5.47	119.58°	115.23°	4.35°

Esta conexión es utilizada para reducir voltajes en el lado secundario del transformador gracias a su condición en el lado delta, en las pruebas realizadas en esta conexión con una carga conectada en estrella sin falla, se determinó que con un voltaje ingresando en el variac de 30 V se obtuvo un voltaje entre líneas en la entrada de 58.8 V y un voltaje de salida entre líneas de 33.21 V.

$$V_{\text{estrella}} = 58.8 \text{ V}$$

$$V_{\text{delta}} = 30.21 \text{ V}$$

$$V_{\text{salida}} = \frac{58.8 \text{ V}}{\sqrt{3}}$$

$$V_{\text{salida}} = 33.94 \text{ V}$$

Este tipo de conexiones se comporta bien ante las cargas desequilibradas ya que el Δ redistribuye posibles desequilibrio, esta conexión tiene un desplazamiento de 30° entre voltaje de línea y voltaje de fase.

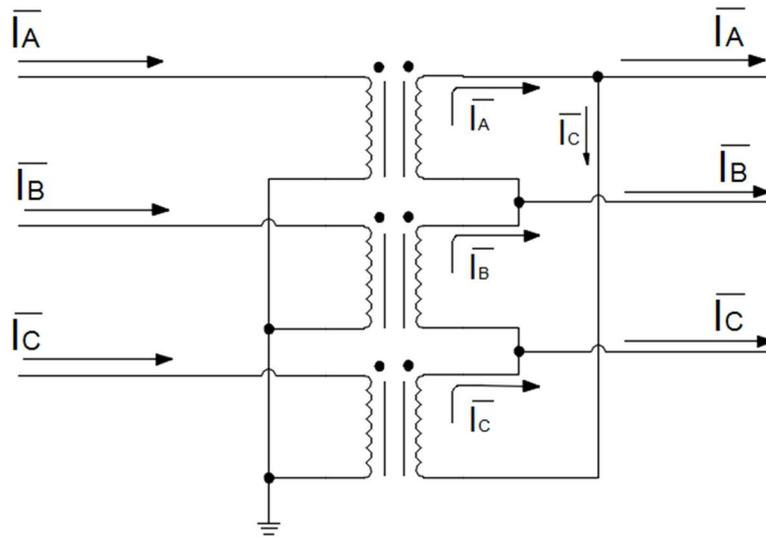


Figura 5.22. Dirección de las corrientes en conexión Yd1.

Fuente: Los Autores

Las corrientes en el lado de primario conectadas en estrella, se reflejan en las corrientes de lado secundario, sabiendo que las corrientes en el primario ingresan al transformador; mientras que en el lado secundario la corriente en la fase A es igual a la $I_a - I_c$; en la fase B $I_b - I_a$ y en la fase C $I_c - I_b$; y están se dirigen hacia las cargas que se encuentran conectadas en Y.

Falla Trifásica

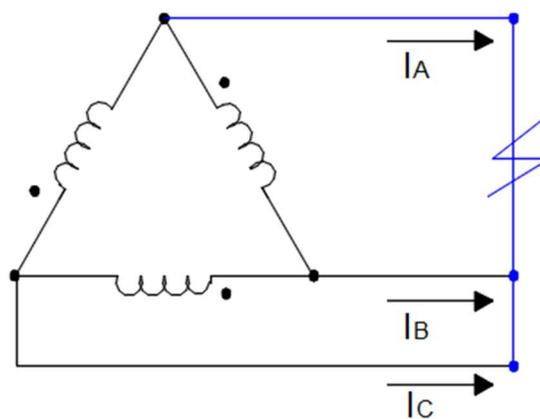


Figura 5.23. Falla Trifásica

Fuente: Los Autores

$$\begin{bmatrix} I_f \\ I_{fb} \\ I_{fc} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & (1\angle 240) & (1\angle 120) \\ 1 & (1\angle 120) & (1\angle 240) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0 \\ (5.55\angle 240^\circ) \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} I_f \\ I_{fb} \\ I_{fa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (5.55\angle -120) \\ (5.55\angle 120) \\ (5.55\angle 0) \end{bmatrix}$$

En un sistema trifásico, la suma de las corrientes en las líneas, es igual a la corriente en el retorno por el neutro, por lo que para este tipo de falla solo existe secuencia positiva

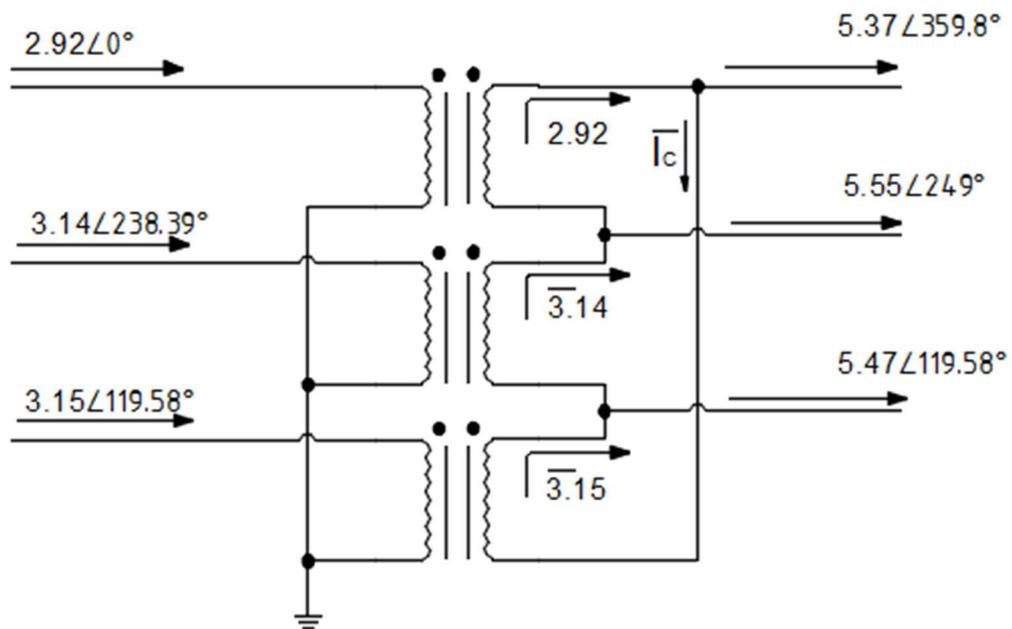


Figura 5.24. Valores de corriente y desfases con datos obtenidos en conexión Yd1.

Fuente: Los Autores

Con los valores obtenidos en el lado de estrella se puede analizar el comportamiento de las corrientes en el lado secundario obteniendo que la fase a es la suma de las corrientes de la fase A y B al encontrarse conectadas entre sí, de igual manera las corrientes en la fase b y c son similares al ser una falla equilibrada.

6. Presupuesto y Análisis de Impacto

6.1. Presupuesto

En las siguientes Tablas de detalla los gastos directos, indirectos e imprevistos correspondientes al diseño y construcción del módulo.

- Directos

Los gastos directos están relacionados con todos los equipos y elementos utilizados

en la construcción del módulo en la Tabla 6.1 se detallan los equipos.

Tabla 6.1. Presupuesto de gastos Directos

Detalle del producto	Cantidad	Precio Unitario	Total
Raspeberry Pi 3 B plus	1	70	70
Arduino	1	15	15
Arduino Nano	1	8	8
Case pantalla 7"	1	20	20
Kit 3 disipadores colores	1	5	5
Adaptador 5V 2.5A micro USB	1	9	9
Pantalla HDMI 7' touch 1024x600	1	105	105
Ventilador + disipador	1	6	6
Módulo Sensor Corriente	6	7	42
Módulo Sensor Voltaje	6	8,5	51
Pinza Amperimétrica a 5A	2	12	24
Material Electrónico	1	20	20
Transformadores monofásico de 120 a 240V a 10A	3	100	300
Variac a 8 A relación de 0 a 250V	3	80	240
Borneras hembra	50	0,15	7,5
Borneras macho	60	0,25	15
Cable # 12 varios colores	50	0,5	25
Material eléctrico	1	75,41	75,41
Estructura metálica	1	200	200
Impresión vinilo	1	20	20
TOTAL			1257,91

- Indirectos

Los gastos indirectos son aquellos que no influyen de manera directa en el proyecto de titulación pero son necesarios para su elaboración, a continuación detallada en la Tabla 6.2:

Tabla 6.2. Presupuesto gastos indirectos

Detalle del producto	Cantidad	Precio Unitario	Total
Transporte	2	150	300
Alimentación	2	100	200
Otros	1	300	300
TOTAL			800

$$GD + GI = \$(1257,91 + 800)$$

$$10\% \text{ de imprevistos} = \$2057,91 * 10\% = \$205,79$$

$$GT = GD + GI + 10\% \text{ imprevistos}$$

$$GT = \$2263,70$$

6.2. Análisis de Impactos

El presente proyecto de titulación se encuentra enfocado al análisis de las corrientes de falla simulando cortocircuitos reales controlados por autotransformadores regulables en corriente alterna, siendo estas fallas censadas con la ayuda de un equipo para visualización de datos, para posteriormente comparar el desfase entre la corriente del primario con respecto a la del secundario del banco de transformadores.

El desarrollo de este módulo permitirá a los estudiantes que cursan la materia de protecciones una comprensión práctica de las corrientes de falla en un banco de transformadores, además el módulo cuenta con 3 variac los mismos que son funcionales en diferentes prácticas como en arranque de motores.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Mediante la investigación en fuentes bibliográficas como libros, publicaciones y normas se determinó los grupos de conexión a utilizar en el proyecto, así como el comportamiento de las corrientes frente a fallas por cortocircuito.
- Para el diseño del prototipo fue necesario identificar las variables para la adquisición de materiales y equipos, siendo necesaria la obtención de un banco de transformadores con una corriente nominal de 6 A, y un banco de autotransformadores regulables en AC con una corriente máxima de 8 A.
- Con la construcción del banco de transformadores se pudo verificar que las corrientes en el lado primario y secundario varían de acuerdo al tipo de conexión, realizando las configuraciones estrella - estrella, delta – delta, estrella – delta y delta – estrella.
- El comportamiento de las corrientes en los devanados de los transformadores, se encuentra relacionado con el tipo de falla a producirse, debido a esto la dirección de la corriente se encuentra sujeta al tipo de conexión, pudiendo observarse este fenómeno de manera didáctica en los diagramas fasoriales.
- Para dibujar los diagramas fasoriales se tomó como referencia la fase A del lado primario del transformador, de ahí partirá los desfases con la ayuda de los sensores de corriente por grupo de conexión y por falla realizada, sabiendo que en el lado primario

los desfases serán de 0° , 240° y 120° .

Recomendaciones

- Durante la construcción del módulo se determinó que para obtener un sistema equilibrado es prescindible contar con transformadores de características idénticas, así como para obtener los desfases entre conexiones y valores en los secundarios, fue necesario contar con transformadores de relación 1:1.
- Se recomienda el uso de equipos de medición que puedan determinar valores de corriente en mili-amperios ya que en ciertas ocasiones al ser una falla controlada se puede llevar a tener valores ínfimos donde si no se dispone de un equipo adecuado este marcará cero (0), donde al momento de comparar resultados medidos manualmente y comparados con los sensores que se visualizan en la pantalla podría generar análisis equivocados.
- Antes de realizar una falla revisar la tabla de valores máximos a los que pueden llegar los autotransformadores regulable, ya que se encuentran limitados a las corrientes de cortocircuito de los transformadores (6 A) en cada una de las conexiones. Si no llegara a poseer estos datos realizar mediciones con amperímetros o pinzas amperimétricas también visualizar los datos de corriente que muestran en pantalla, donde estos no deben superar la corriente nominal del transformador.
- Para no desequilibrar el sistema se recomienda variar el voltaje de autotransformadores regulables de manera uniforme, voltio a voltio y al mismo tiempo, ya que de no hacerlo el sistema se sobrecarga en uno de los transformadores y los datos no coincidirán.
- Las pinzas amperimétricas permiten obtener valores cuando se encuentran correctamente direccionadas de acuerdo al sentido de la corriente. Dichos valores fluctúan debido a la proximidad con otros conductores, para ello se deben colocar en el sitio a tomar las medidas tratando de evitar la aglomeración de conductores alrededor de ellas.

8. REFERENCIAS

- [1] G. Aguirre y M. Cabrera, «Análisis de sistemas trifásicos de transformadores conexión D - D.,» Repositorio Digital de la Universidad Politécnica Salesiana, abril 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10240>.

- [2] M. Heredia y R. Intriago, «Análisis de sistemas trifásicos de transformadores conexión D – Y,» Repositorio Digital Universidad Politécnica Salesiana, Agosto 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10450>.
- [3] P. Barrios y K. Camacho, «Análisis de sistemas trifásicos de transformadores conexión Y – D,» Repositorio Digital Universidad Politécnica Salesiana, abril 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10237>.
- [4] J. Burbano y J. Cevallos, «Análisis de sistemas trifásicos de transformadores conexión Y - Y.,» Repositorio Digital Universidad Politécnica Salesiana , abril 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10239>. [Último acceso: Guayaquil].
- [5] L. Cevallos y R. Medina, «Análisis de un sistema de distribución trifásico,» Repositorio Digital Universidad Politécnica Salesiana, marzo 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10254>. [Último acceso: Guayaquil].
- [6] P. Novillo y M. Poveda, «Causas de falla de un transformador del SN,» Escuela Politécnica Nacional, 1986. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/9566>.
- [7] W. Castro y A. Andrade, «Análisis de un sistema trifásico de transformadores en conexión Y - D,» Repositorio Digital Universidad Politécnica Salesiana, enero 2019. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17343>. [Último acceso: Guayaquil].
- [8] S. Alarcón y J. Edgar, «Análisis matemático del diseño dieléctrico de un transformador de distribución monofásica de 3KVA,» Repositorio Digital Universidad Politécnica Salesiana, 2018. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16232>.
- [9] I. Di Lorenzo y M. Burbano, «Análisis para sistemas trifásicos de transformadores conexiones abiertas y especiales.,» Repositorio Digital Universidad Politecnica Salesiana, marzo 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10249>.
- [10] J. Agila, «Diseño y construcción de un autotransformador trifásico de tres devanados para el Laboratorio de Sistemas Eléctricos de Potencia,» Repositorio digital Universidad Politécnica Nacional, 2018. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19797>.

- [11] L. Gómez y W. Segura, «Análisis y adquisición de datos para sistemas de transformación conexión estrella-estrella de la universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.,» Repositorio Universidad Politécnica Salesiana, 2019. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17348>. [Último acceso: Guayaquil].
- [12] A. Guevara, «Estimación de parámetros eléctricos transitorios de un transformador trifásico utilizando MATLAB-SIMULINK,» Repositorio Digital Escuela Politécnica Nacional, febrero 2019. [En línea]. Available: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20186>.
- [13] I. Di Lorenzo y M. Burbano, «Análisis para sistemas trifásicos de transformadores conexiones abiertas y especiales,» Guayaquil, 2015.
- [14] S. J. Chapman, Fundamentos de máquinas eléctricas, Austria: Mc Graw Hill, 2012.
- [15] J. Manzano, Mantenimiento de máquinas eléctricas, Publisher, 2004.
- [16] H. Enriquez, Curso de transformadores y motores de inducción, México: Limusa, 2010.
- [17] N. Lemozy, «Transformadores Trifásicos,» 2015. [En línea]. Available: <http://docplayer.es/8633230-Norberto-a-lemozy-fig-1-transformador-monofasico-acorazado.html>.
- [18] B. Bandini, Medición Eléctrica, Tomo II Ensayos de Máquinas, Barcelona: Técnicas REDE, 1967.
- [19] M. Heredia y I. Rafael, «Análisis de sistemas trifásicos de transformadores conexión D-Y,» Guayaquil, 2015.
- [20] W. Castro y R. F, Diseño y Contrucción de un Bnaco de pruebas para Transformadores, Guayaquil , 2015.
- [21] J. Graniger y S. William, Análisis de Sistemas de Potencia, México: McGraw- Hill, 1996.
- [22] Jordi de la Hoz, Máqunas Eléctricas, Barcelona: Universidad Técnica de Cataluña, 2012.
- [23] UHM, «Análisis comparativo de los grupos de conexión más importantes,» [En línea]. Available: <http://umh2223.edu.umh.es/wp-content/uploads/sites/188/2013/02/Grupos-de-Conexi%C3%B3n.pdf>. [Último acceso: 21 06 2018].
- [24] A. Vizuite y J. Sares, «Diseño e implementación de un módulo didáctico de protecciones y sistemas eléctricos de potencia aplicado a sistemas de generación,» Guayaquil, 2017.

- [25] Commission Electrotechnique Internationale, «NORMA INTERNACIONAL IEC60909-0,» Primera Edición , Madrid, 2001.
- [26] F. Barberán y M. Suárez, «Diseño y construcción de un módulo didáctico de protecciones de redes de distribución en sistemas eléctricos de potencia,» Guayaquil, 2017.
- [27] E. Montesdeoca, «Estimación de corrientes de cortocircuito en sistemas radiales de distribución,» Quito - Ecuador, 1996.
- [28] F. Dumas y G. Thomasset, «Cuaderno Técnico n° 158 Schneider Electric,» de Cálculo de corrientes de cortocircuito, Barcelona, Schneider Electric España S.A., 2000.
- [29] W. Stevenson, Análisis de Sistemas de Potencia, México: McGraw-Hill, 1996.
- [30] M. Lujan, Optimización de la selectividad mediante aterramiento de sistemas con neutro aislado en la set ingenio., Perú, 2008.
- [31] J. Duncan, Sistemas de Potencia Análisis y Diseño, México: International Thomson Editores, 2004.
- [32] A. E. Gómez, Sistemas Eléctricos de Potencia: Problemas y ejercicios resueltos, Madrid: Educación S.A., 2003.
- [33] A. cl., «Arduino Mega 2560 Rev3,» [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>.
- [34] J. F. Mora, Máquina Eléctricas, Madrid : Paranifo, 2013.

9. ANEXOS

ANEXOS

Anexo I. Programación Arduino

```
///#include <Wire.h>

///#include "RTCLib.h"

//RTC_DS1307 rtc;

#include <Separador.h>

Separador s;

unsigned int promedio_ini=200; // cantidad de valores para inicializar

/////Varuables para comunicacion con Nano

const size_t dataLength = 6;

int data[dataLength];

int dataIndex = 0;

/////Variables Globales/////

/////Varialbes corrientes y voltajes

float corrientes[6]={0,0,0,0,0,0}; //Corrientes guardadas A1B1C1-a2b2c3

float corrientes_prue[6]={1,2,3,4,5,6};

float refe_corr[6]={0,0,0,0,0,0}; //Referencias de los sensores de corriente

float voltajes[6]={0,0,0,0,0,0}; //Voltajes guardadas A1B1C1-a2b2c3

float voltajes_prue[6]={7,8,9,10,11,12}; //Voltajes guardadas A1B1C1-a2b2c3

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';

bool cont=1; // variable para contar las interrupciones de la onda principal y conocer la
frecuencia.

/////{Asignacion de Datos}

//A=> IA D=> Ia

//B=> IB E=> Ib

//C=> IC F=> Ic
```

```

//G=> VA    J=> Va
//H=> VB    K=> Vb
//I=> VC    L=> Vc
//M=>Tiempo N=>frecuencia Z=>Fin

////////////////////////////////////

unsigned long desfase_tiempo = 0;          // Tiempo
long ini_intep[6]={0,0,0,0,0,0},timeold=0,T1,frec_onda;
float desfase[6]={0,0,0,0,0,0};
//unsigned long ini_intep_prue[6]={19,20,21,22,23,24};
float pinza[6]={0,0,0,0,0,0};
float pinza2[6]={0,0,0,0,0,0};
float pinza_prue[6]={13,14,15,16,17,18};
bool leer=1; //Variable para leer corrientes y voltajes
float freq=0;

void setup()

{
  pinMode(13,OUTPUT);
  digitalWrite(13,LOW);
  Serial.begin(9600); // velocidad de comunicacion serial nativo
  Serial3.begin(9600); // velocidad de comunicacion serial nativ
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(2), intep_1, RISING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(3), intep_2, RISING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(21), intep_3, RISING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(20), intep_4, RISING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(19), intep_5, RISING);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(18), intep_6, RISING);
}

```

```

//rtc.begin();
/*if (! rtc.isrunning()
    //Serial.println("[ERROR]:RTC no funciona!");
    //rtc.setTime(12, 00, 0); // Set the time to 12:00:00 (24hr format)
    //rtc.setDate(15, 02, 2019); // Set the date to Marzo 15, 2018*/

/////Inicializacion de sensores de corriente////////////////////////////////////

for (int i=0;i<6;i++){
    for(int j=0;j<promedio_ini;j++){
        refe_corr[i]+=analogRead(i)*(5.0 / 1023.0);

    }
    refe_corr[i]=refe_corr[i]/promedio_ini;
}

}

} //Fin setup

void loop()
{

if (millis() - timeold >= 1000){
    noInterrupts();
    timeold = millis();
    if(leer){
        for(int i=0;i<6;i++){
            corrientes[i]=corriente(i);
            voltajes[i]=voltaje(i+6);
        }
    }
}
}

```

```

}
if(Serial.available(>0)){
  int a=Serial.read();
  if(a=='A'){
    analogico_nano();
    enviar_datos();
  }
}
interrupts();
}
} //Fin del LOOP
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
//Funcion lectura de corrientes de linea primario y secundario
float corriente(int puerto)
{
  float corr_return=0;
  float Sensibilidad=0.1; //sensibilidad en V/A para el sensor
  for(int i=0; i<promedio_ini; i++)
  {
    float inp_corr= analogRead(puerto)*(5.0 / 1023.0);
    float Icorr= (inp_corr-refe_corr[puerto])/Sensibilidad;
    corr_return+= pow(Icorr,2);
  }
  corr_return=sqrt(corr_return/(promedio_ini))*0.95837;
  //corr_return= pow(corr_return,2)*0.95837; //ajuste de corriente con la medicion del
multimetro
  if(corr_return<=0.01) // condicion para medir desde 30 mA
    corr_return=0;
  return corr_return;
}

```

```

} // Fin lectura de corrientes

//Funcion lectura de tensiones de linea a linea
float voltaje(int pin)
{
float volt_return;
for(int i=0; i<400; i++)
{
float inp_volt= (analogRead(pin)-512);

volt_return+=pow(inp_volt,2); ;
}
volt_return=sqrt(volt_return/400);
//if(RMS1<25)
//RMS1=0;
} //Fin lecturas tension

void enviar_datos(){
desfase[0]=0;
for(int i=0; i<24; i++){
Serial.print(separador[i]);
if(i<6)
//Serial.print(corrientes[i]);
Serial.print(voltajes[i]);

else
if(i<12)
//Serial.print(voltajes[i-6]);

Serial.print(corrientes[i-6]);

```

```

else
if(i<18)
Serial.print(pinza[i-12]);
//Serial.print(pinza_prue[i-12]);
else
//Serial.print(ini_intep[i-18]);
Serial.print(desfase[i-18]);
}
Serial.print('Y');
Serial.print(freq);
Serial.print('Z');
Serial.println();

}
//////////////////////INTERRUPCIONES
void intep_1()
{

//noInterrupts();
ini_intep[0] = micros();
if (cont){
T1 = ini_intep[0];
cont=0;
}
else {
frec_onda=micros();
frec_onda = (1000000000/(frec_onda-T1));
freq=frec_onda/1000.0;
cont=1;
}
}

```

```
//interrupts();
}

void intep_2()
{
//noInterrupts();
ini_intep[1] = micros();
desfase[1]=(ini_intep[1]-ini_intep[0])*0.0216;

//interrupts();
}
void intep_3()
{
//noInterrupts();
ini_intep[2] = micros();
desfase[2]=(ini_intep[2]-ini_intep[0])*0.0216;
//interrupts();
}
void intep_4()
{
//noInterrupts();
ini_intep[3] = micros();
desfase[3]=(ini_intep[3]-ini_intep[0])*0.0216;
//interrupts();
}
void intep_5()
{
//noInterrupts();
ini_intep[4] = micros();
desfase[4]=(ini_intep[4]-ini_intep[0])*0.0216;
```

```

    //interrupts();
}
void intep_6()
{
    //noInterrupts();
    ini_intep[5] = micros();
    desfase[5]=(ini_intep[5]-ini_intep[0])*0.0216;
    //interrupts();
}
/////////////////////////////////////////////////////////////////

////Comunicacion Arduino Nano
void analogico_nano()
{
    char data_read;
    /*while (Serial3.available()>0){
        data_read=Serial3.read();
        Serial.print(data_read);
    }

    //Serial3.flush(); //flush all previous received and transmitted data*/

    data_read='.';
    Serial3.write(" ");

    if(Serial3.available()){
        while (data_read!='A'){
            data_read=Serial3.read();
            //Serial.print(data_read);
        }
    }
}

```

```

//data_read=Serial3.read();
// Serial.println(Serial3.available());
//String datos_rev= Serial3.readString();

//Serial.print(data_read);

int i=0;
while (data_read!='G'){
if(data_read==separador[i]){
//Serial.println(data_read);
pinza2[i]=0;
data_read=Serial3.read();
delay(1);
while(data_read!=separador[i+1]&& data_read!='G'){
pinza2[i]=pinza2[i]*10+(String(data_read).toInt());
//Serial.print("Datos: ");
//Serial.println(pinza2[i]);
//Serial.println(data_read);
}
}
i++;
}
if(data_read=='G' && i==6)
for(i=0;i<6;i++)
pinza[i]=pinza2[i]/100;

}

// Serial.print("Salio");

```

```
}
```

Anexo II. Programación en Arduino Nano

```
char separador[6]={'A','B','C','D','E','F'};
unsigned int pinza[6]={0,0,0,0,0,0};
unsigned int pinza_prue[6]={13,14,15,16,17,18};
int n = 0;
void setup() {
  analogReference(INTERNAL);
  Serial.begin(9600);
  pinMode(13,OUTPUT);
  digitalWrite(13,LOW);
}
const size_t dataLength = 6;
int data[dataLength];
int cont=0;
void loop() {
  //if(Serial.available()==0){
  for(int i=0;i<6;i++)
    pinza[i]=int(get_corriente(i)*100);
  //}
  enviar();

  delay(5);

}

float get_corriente(int pin_analog)
{
  float voltajeSensor;
  float corriente=0;
  float Sumatoria=0;
```

```

long tiempo=millis();
int N=0;
while(millis()-tiempo<300)//Duración 0.5 segundos(Aprox. 30 ciclos de 60Hz)
{
  voltajeSensor = analogRead(pin_analog) * (1.2 / 1023.0);////voltaje del sensor
  corriente=voltajeSensor*5.0; //corriente=VoltajeSensor*(30A/1V)
  Sumatoria=Sumatoria+sq(corriente);//Sumatoria de Cuadrados
  N=N+1;
  delay(1);
}
Sumatoria=Sumatoria*2;//Para compensar los cuadrados de los semiciclos negativos.
corriente=sqrt((Sumatoria)/N); //ecuación del RMS
return(corriente);
}

void enviar(){

  while (Serial.available()) {

    digitalWrite(13,!digitalRead(13));
    for (int i=0;i<6;i++){
      Serial.print((separador[i]));
      Serial.print(pinza[5-i]);
    }
    Serial.print('G');

  }
}

```

Anexo III. Diseño de la pantalla de adquisición de datos

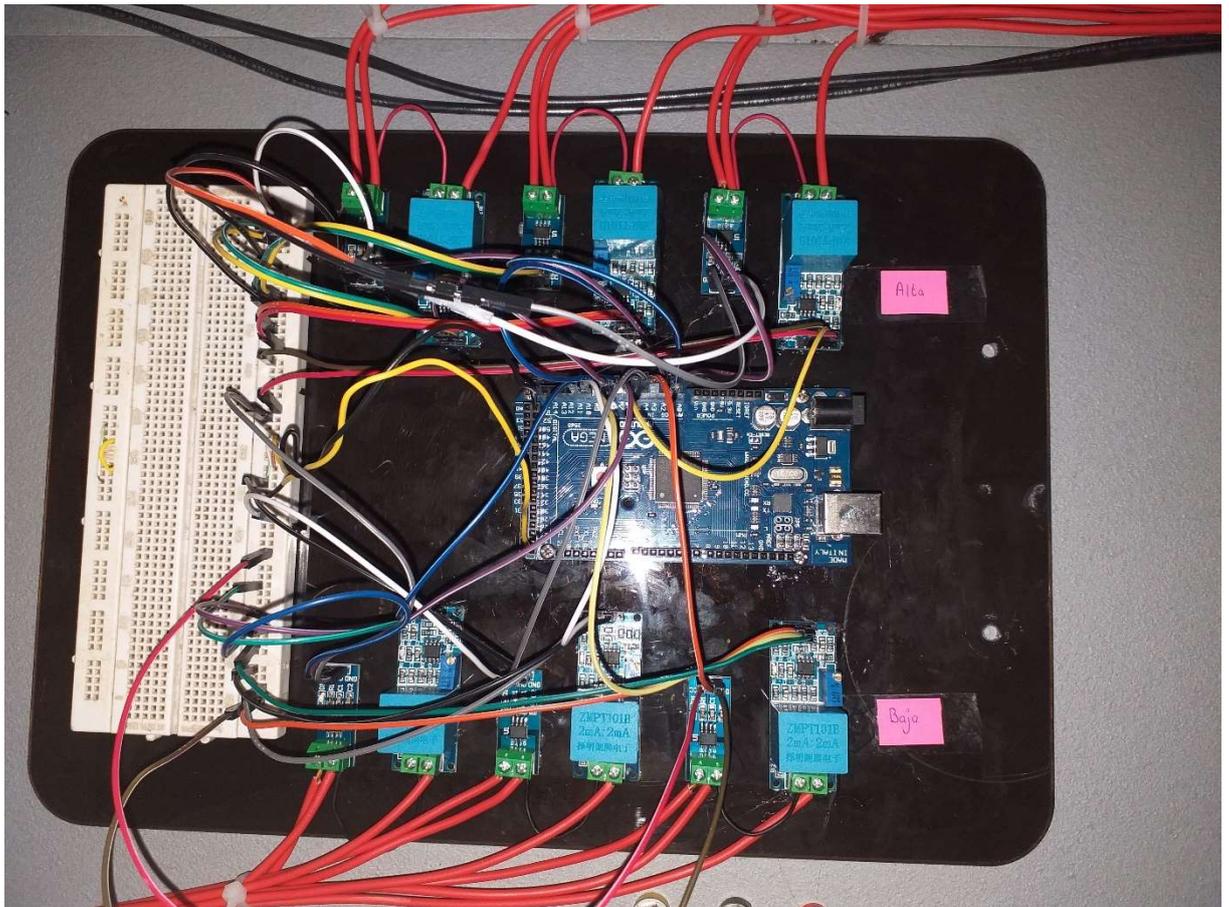


Figura III. 1. Colocación de los sensores de voltaje y corriente (1V - 5A)

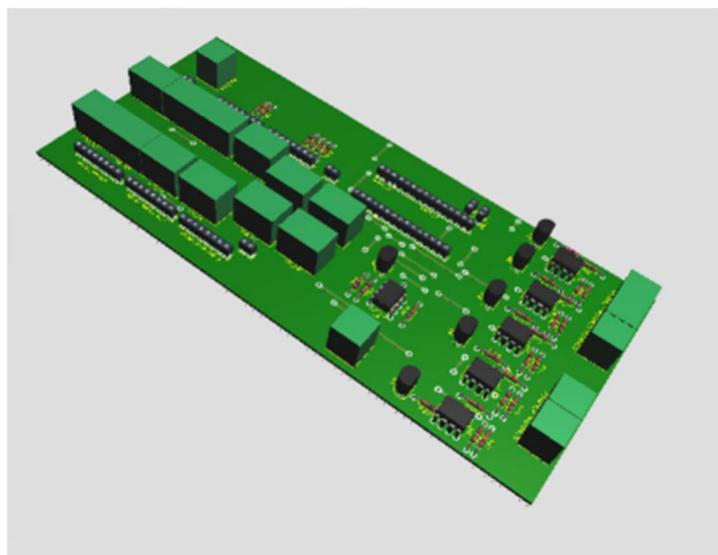
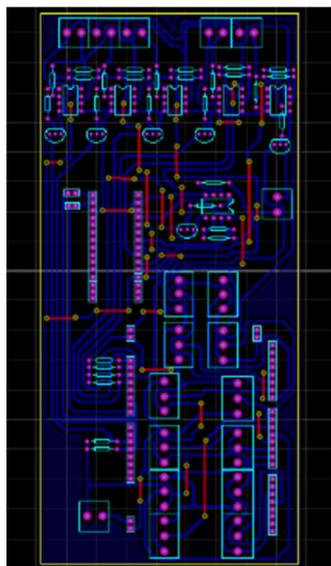


Figura III. 2. Diseño de placa para pinzas de corriente.

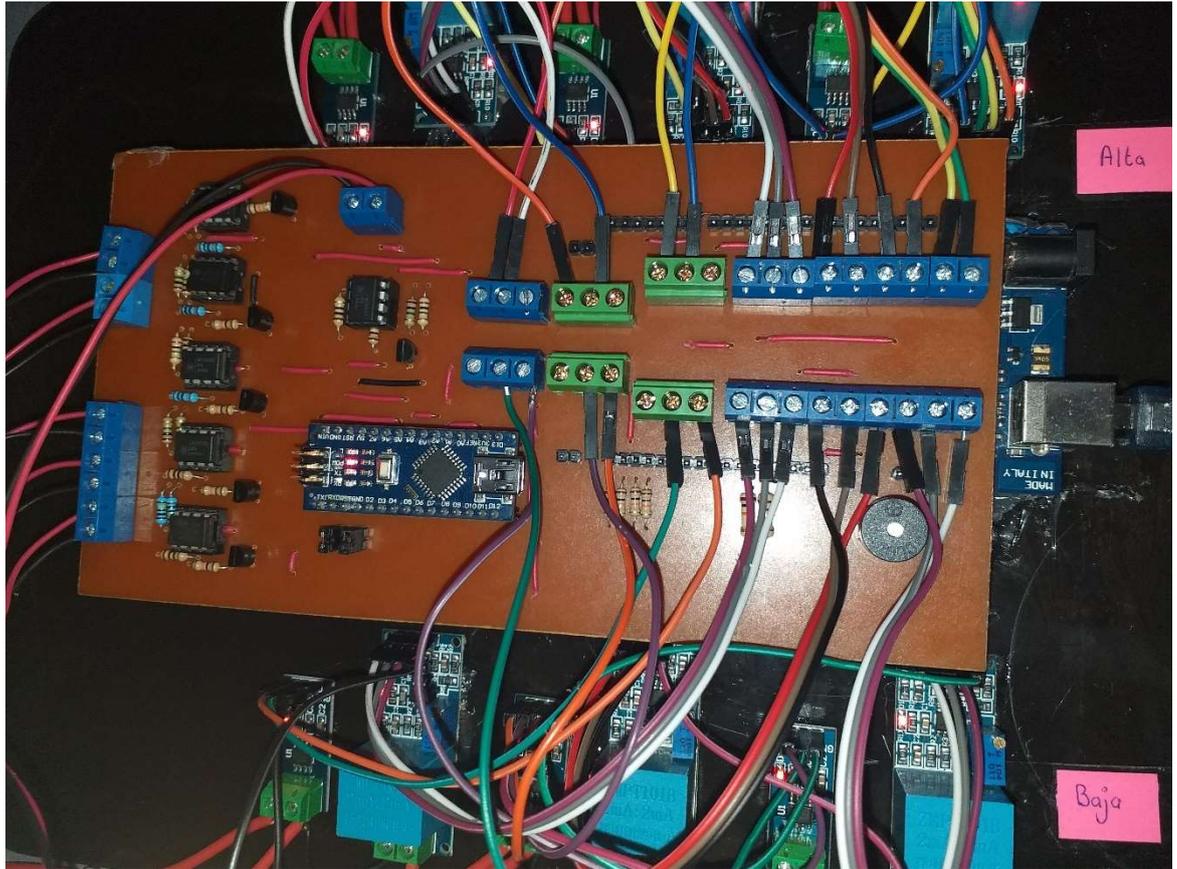


Figura III. 3. Placa para pinzas de corriente

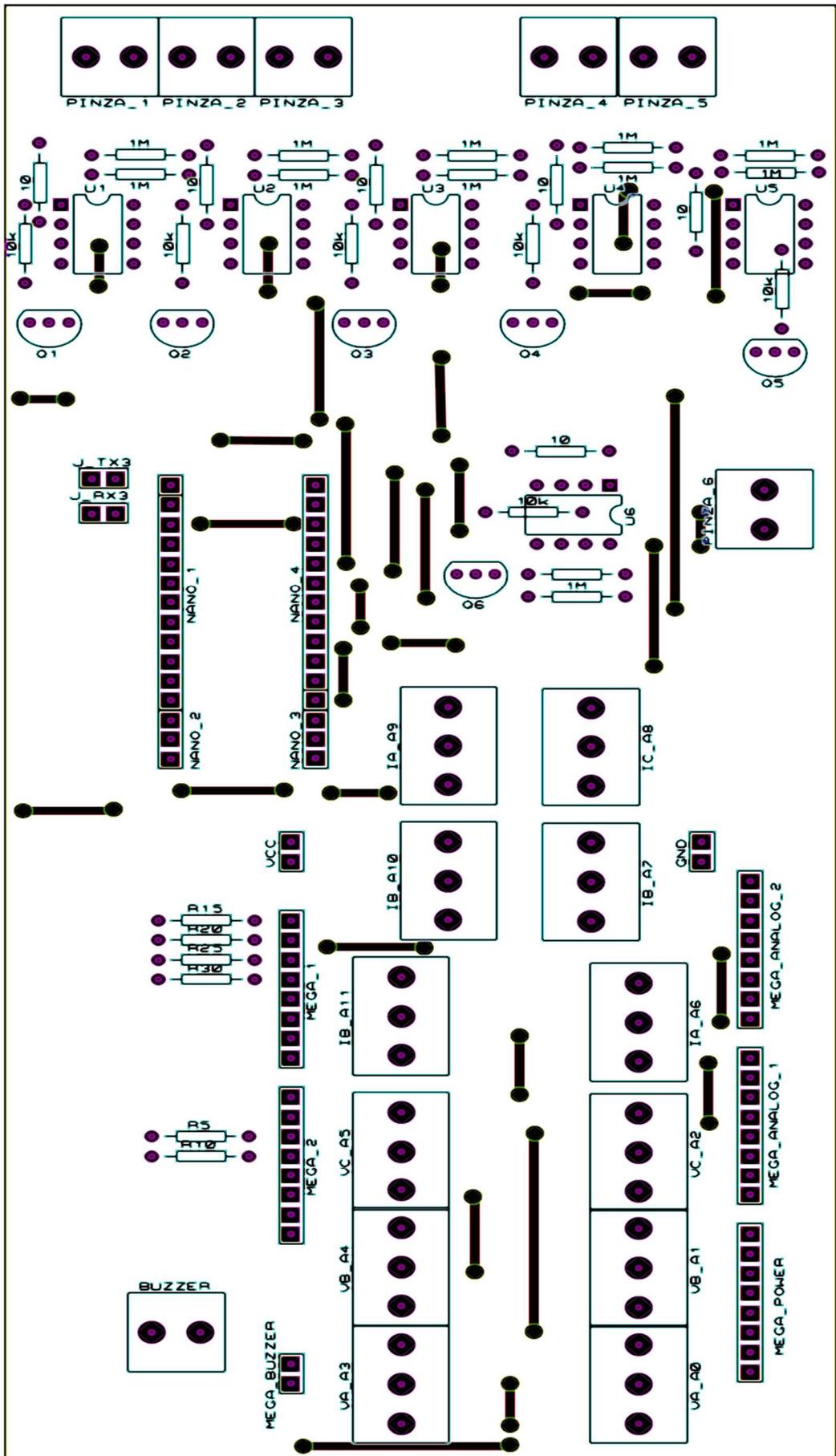


Figura III. 4. Diseño de placa

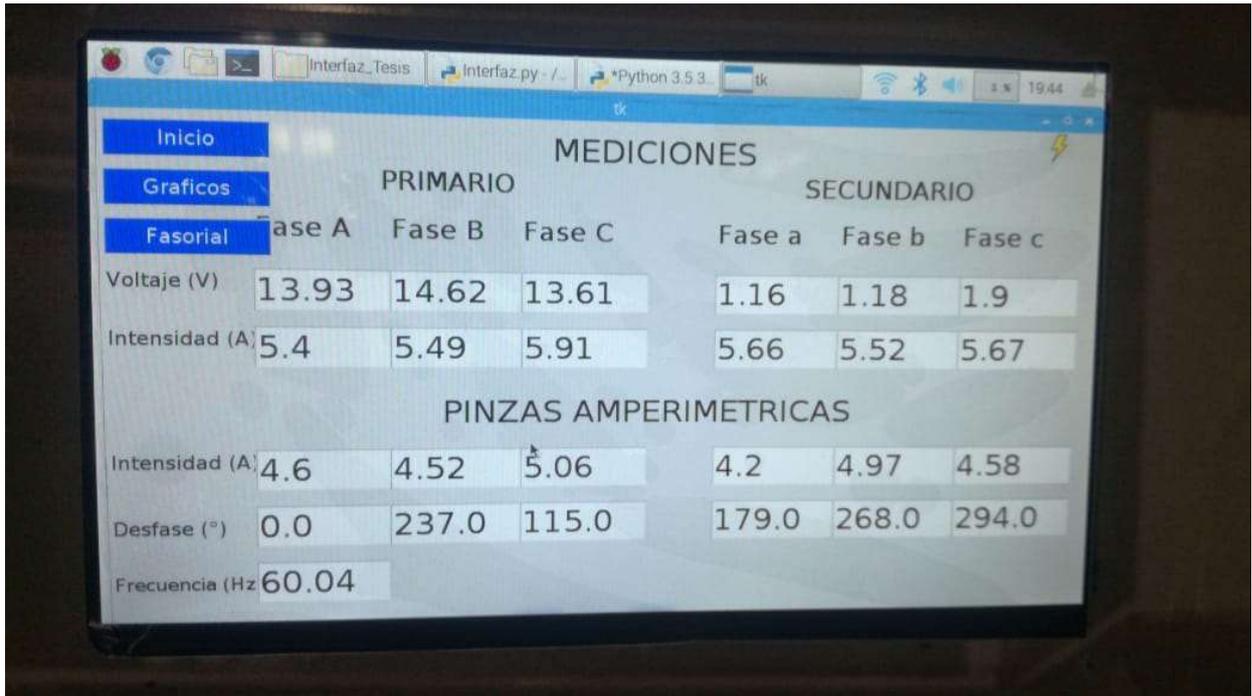


Figura III. 5. Tabla de mediciones

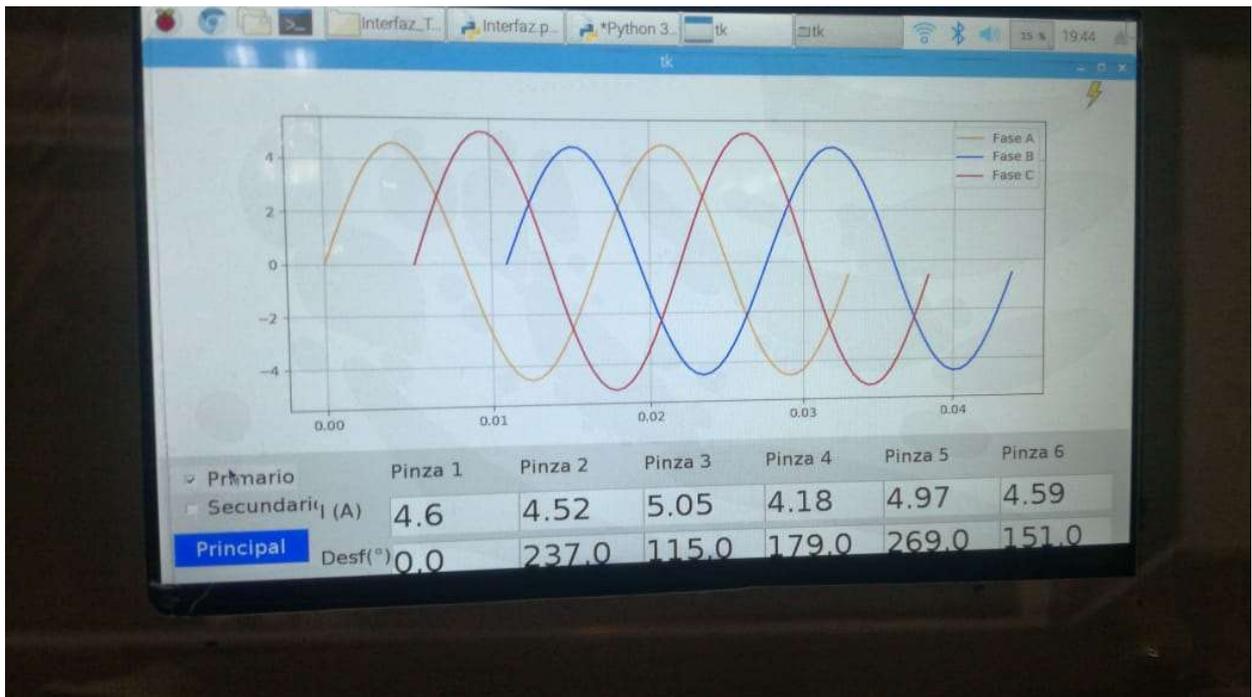


Figura III. 6. Gráficas senoidales de la corriente en el primario

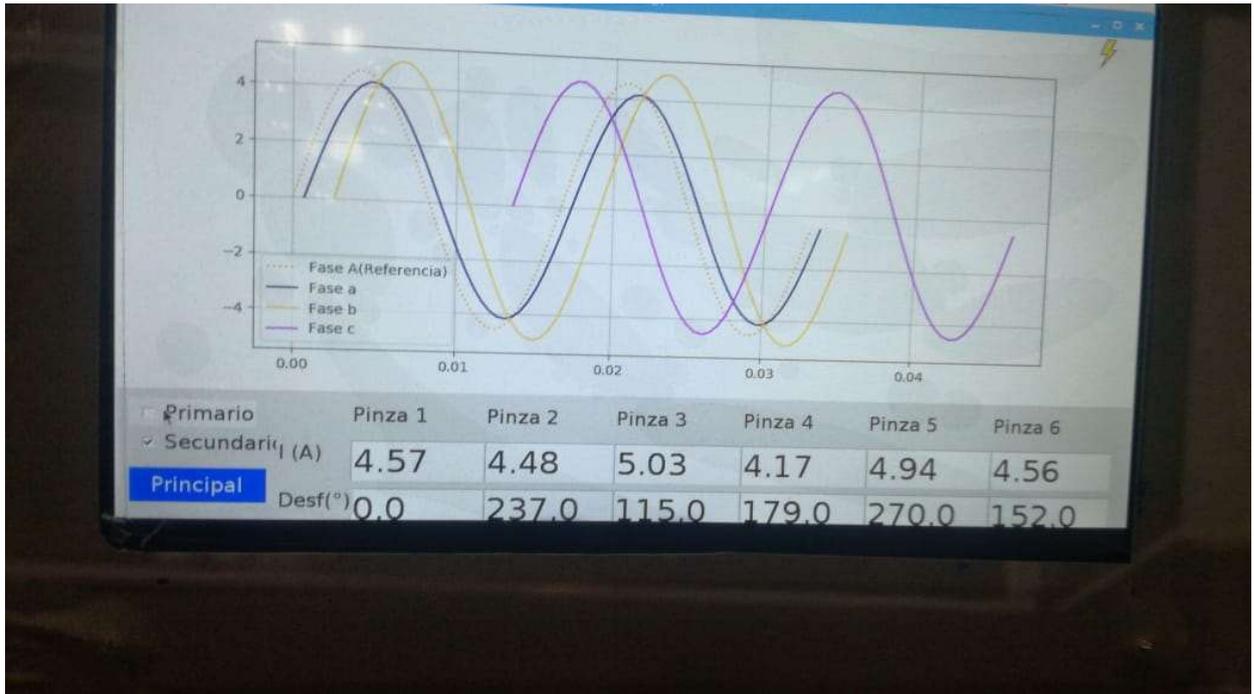


Figura III. 7. Gráficas senoidales en el secundario

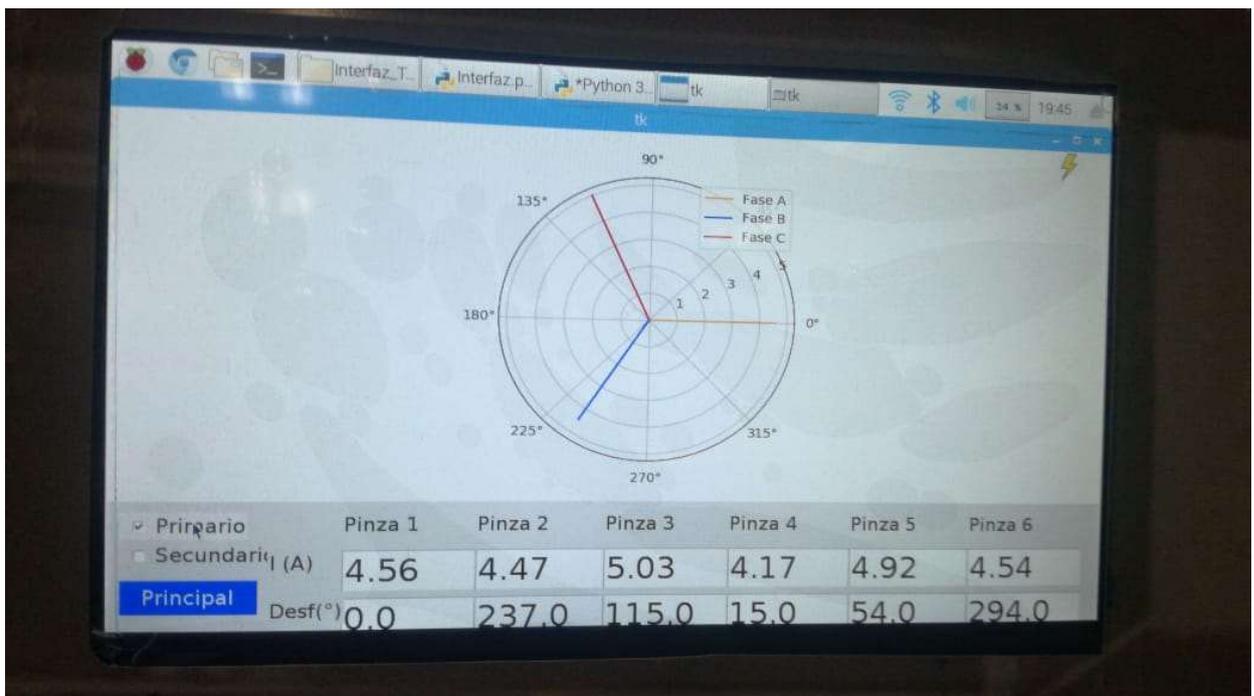


Figura III. 8. Diagramas fasoriales de corriente en el lado Primario

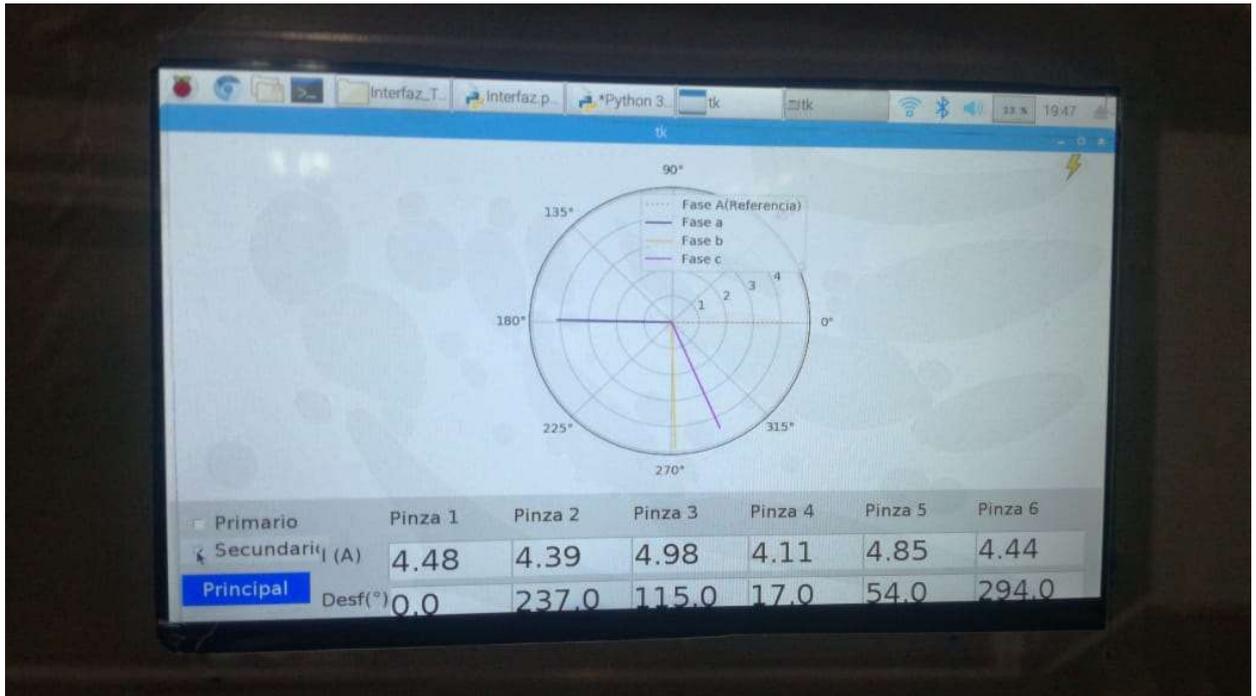


Figura III. 9. Diagramas fasoriales en el secundario

Anexo IV. Construcción del módulo



Figura IV. 1. Construcción de la estructura del módulo para corrientes de cortocircuito



Figura IV.2. Colocación del vinilo

Anexo V. Medición de las impedancias del transformador



Figura V. 1. Prueba en el microhmetro en el primario del transformador con una corriente de 10mA.



Figura V.2. Prueba en el microhmetro en el primario del transformador con una corriente de 100mA.

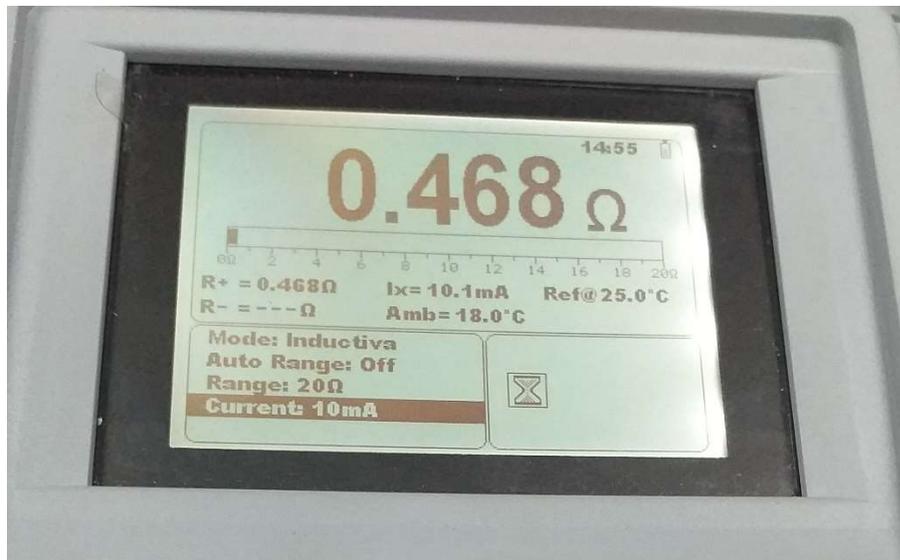


Figura V.3. Prueba en el microhmetro en el secundario del transformador con una corriente de 10mA.



Figura V.4. Prueba en el microhmetro en el secundario del transformador con una corriente de 100mA.

MANUAL DEL USUARIO

Modulo para pruebas de corto circuito.

El módulo está conformado por las siguientes partes que se describen a continuación: Protecciones termomagnéticas, banco de autotransformadores regulables, banco de transformadores monofásicos, sistema de visualización de datos y el banco de cargas resistivas.

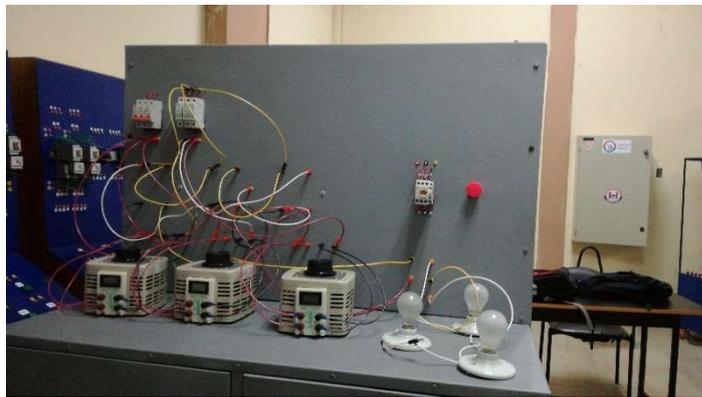


Figura 1. Módulo de pruebas para cortocircuitos.

Alimentación AC



Figura 2. Enchufe de alimentación

En la fig. 2 se observa el ENCHUFE LEG. IP44 3P +T 32A para la alimentación 3F para

energizar el banco de Variac's de 127 voltios entre fase y neutro.

Fuente de alimentación del módulo.

La fuente de alimentación consta de tres fases L1, L2, L3 y N, cada una de ellas alimentaran con un voltaje de 0-127v a los autotransformadores regulables a través de interruptores termomagnéticos monofásicos.



Figura 3. Fuente de alimentación.

Cada interruptor 1 F, soporta una corriente por línea de 10 amperios. Antes de realizar las conexiones correspondientes, en el banco de transformadores la fuente debe estar apagada (OFF), para evitar posibles electrocuciones y cortocircuitos indirectos en el módulo.

Banco de Autotransformadores/ Variac TDGC2 -1K



Figura 4. Banco de Autotransformadores.

Estos equipos permiten regular de forma manual el voltaje necesario para la realización de las pruebas de corto circuito. Los Variac's estan diseñados para soportar una corriente nominal no

mayor de 8A (amperios), estos deben ser conectados entre ellos para simular una alimentación 3F a los transformadores a conectarse.

Porta fusibles



Figura 5. Porta fusibles.

Este método de protección está destinado a para proteger a los Variac's de las corrientes de cortocircuito que sobrepasen el valor de funcionamiento de los transformadores, sabiendo que dichas corrientes se encuentran controladas esta protección actuara en caso de un imprevisto o emergencia, además de ya contar con los termomagnéticos.

Banco de Transformadores



Figura 6. Banco de transformadores.

Como se observa en la fig. 5 el banco de transformadores trifásico se encuentra identificada la polaridad del bobinado de cada transformador, la polaridad permite indicar la entrada de corriente para cada uno de los bobinados.

Sensores de corriente

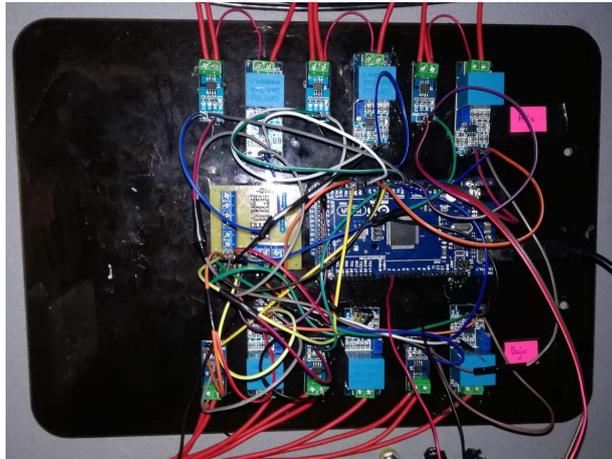


Figura 7. Sensores de corriente

El módulo permite medir corrientes y voltajes del banco de transformadores trifásicos.

Corrientes

- En los terminales de los transformadores 1, 2 y 3, el su polaridad de entrada conocida como (punto), tanto en el lado primario y secundario se encuentran conectados los sensores de corriente I_A, I_a' ; I_B, I_b' y I_C, I_c' .

Pantalla de visualización

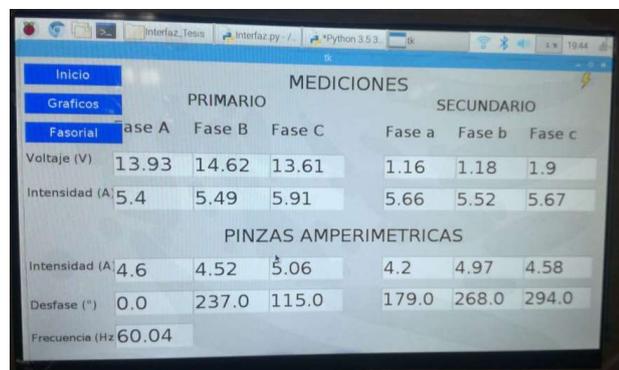


Figura 8. Pantalla de visualización de datos

Esta pantalla táctil de 7" pulgadas permite visualizar las corrientes de los transformadores tanto del primario y secundario mediante los sensores los cuales se encuentran conectados a la tarjeta de programación "Arduino" y mediante el interfaz a la tarjeta "Raspberry Pi 3b+" "el método graficación de los desfases está desarrollada en el programa Python con la adquisición de datos en arduino.

Anexo VII. Manual de uso de pantalla

Manual de uso de la pantalla MeiYiHeng

Paso 1. Menú de presentación

A continuación, se representa la primera ventana de interfaz de presentación.

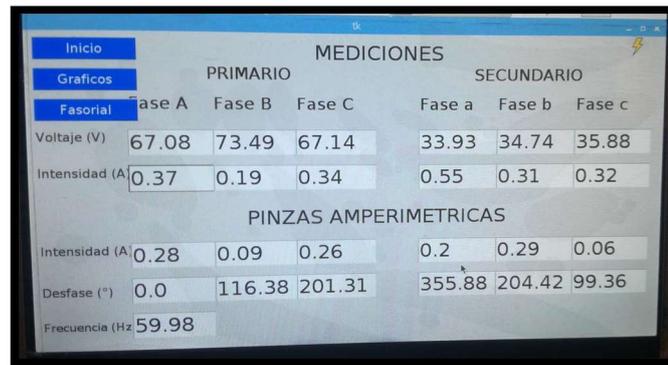


Figura 1. Menú de presentación.

Como se observa en la fig. 1 donde se tiene los valores medidos por las sensores y pinzas, adicional podemos seleccionar dos funciones que nos permiten visualizar los siguientes datos:

- a) Gráficos
- b) Fasorial

Parámetros de visualización en la pantalla principal.

Sensores de corriente y voltaje.

En la pantalla principal se muestran los valores medidos por los sensores ubicados en el lado primario y secundario.



Figura 2. Menú de presentación.

Voltajes y corrientes. – Los datos obtenidos en esta tabla se realizan tomando las fases:

En el lado primario:

$$(A-B)= A ;$$

$$(B-C)= B;$$

$$(C-A)= C$$

En el lado secundario:

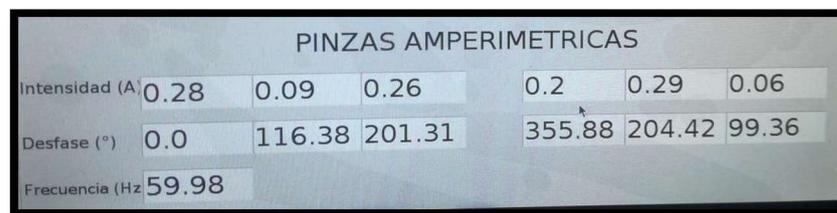
$$(a-b)= a ;$$

$$(b-c)= b;$$

$$(c-a)= c$$

Pinzas de corriente no invasivas.

Estas pinzas ayudan a medir la corriente dentro de las conexiones en delta (Δ) pero la principal función de estas es determinar la el ángulo de desfase entre los lados primario y secundario adicional a esto determina la frecuencia de la red.



PINZAS AMPERIMETRICAS						
Intensidad (A)	0.28	0.09	0.26	0.2	0.29	0.06
Desfase (°)	0.0	116.38	201.31	355.88	204.42	99.36
Frecuencia (Hz)	59.98					

Figura 3. Valores medidos con el uso de las pinzas de corriente.

GRÁFICOS

Paso 2. Visualización de ondas senoidales

Para poder acceder a la ventana grafica de visualizaciones de presionar la opción Gráficos el cual automáticamente llevara a la ventana seleccionada.

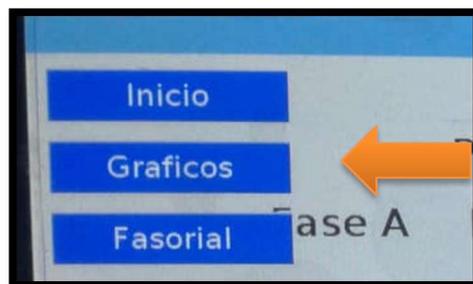


Figura 4. Valores medidos con el uso de las pinzas de corriente.

Se debe seleccionar la opcion (primario) para poder observar los desfases entre las ondas.

Nota: Considerar que la pinza 1, es considerada como la referencia siendo que los angulos de

desfase en el lado primario son: Fase A ($\angle 0$), Fase B ($\angle 120$), Fase C ($\angle 240$)

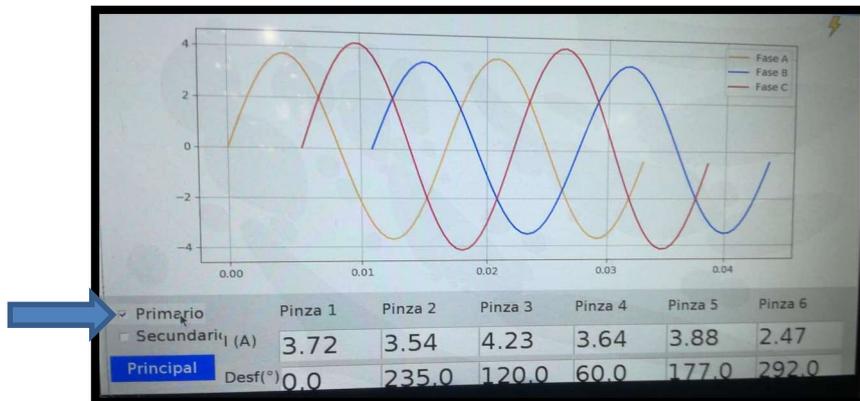


Figura 5. Ondas senoidales de corriente en el lado primario.

Para observar los desfases del lado secundario se debe seleccionar la opción (secundario) para poder observar los desfases entre las ondas.

Nota: Considerar que la pinza 1, es considerada como la referencia “Fase A ($\angle 0$)” siendo que los angulos de desfase en el lado secundario Fase a ($\angle 0 \pm$ valor por conexion), Fase b ($\angle 120 \pm$ valor por conexion), Fase c ($\angle 240 \pm$ valor por conexion) adicional a su respectivo desfase por conexión.

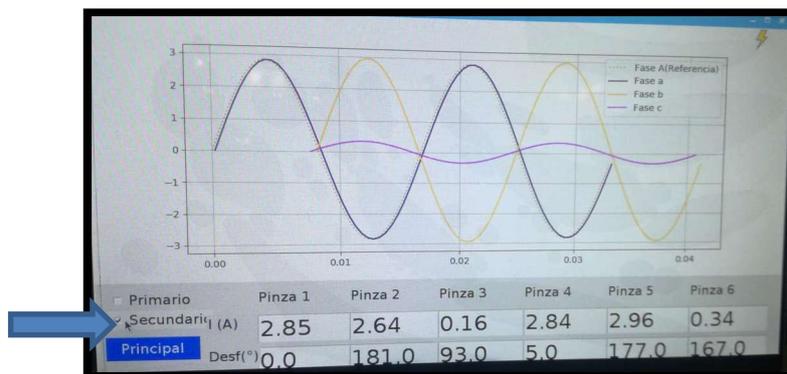


Figura 6. Ondas senoidales de corriente en el lado secundario.

Si se desea trasponer las ondas del primario al secundario se debe seleccionar las dos opciones como se muestra a continuación.

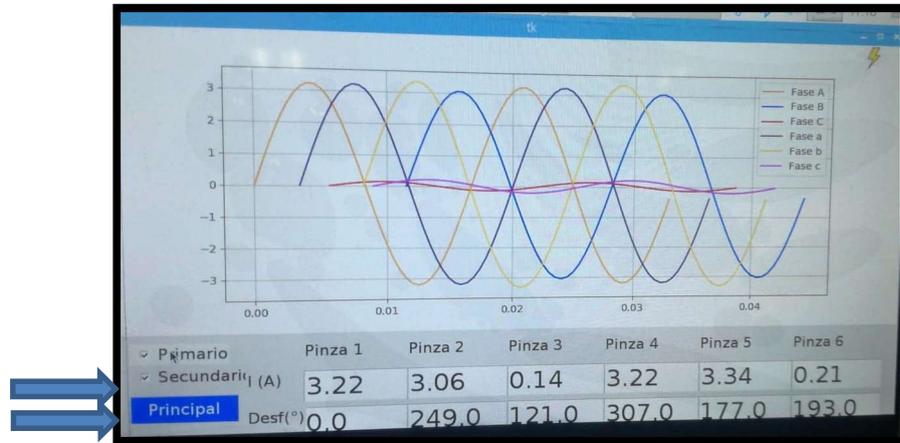


Figura 7. Ondas senoidales de corriente primario transpuesto al secundario.

Para poder observar los diagramas fasoriales se debe regresar a la ventana principal con la opción “principal”.

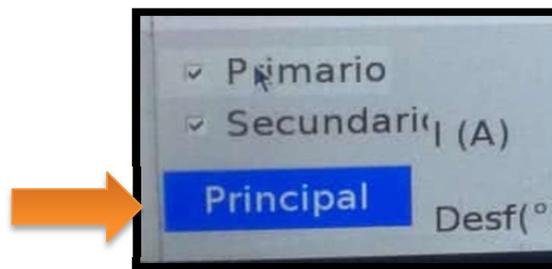


Figura 8. Opción (principal) para cambiar ventanas de visualización.

FASORIAL

Paso 3. Visualización de diagramas fasoriales

Seleccionar la opción fasorial.

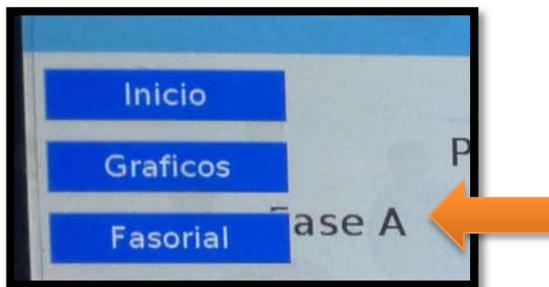


Figura 9. Opción “Fasorial” permite visualizar los vectores de corriente.

Esta ventana permite visualizar los desfases tanto del primario que del secundario siendo la Fase A la referencia.

En el lado primario los ángulos tendrán una magnitud limitada por el tipo de falla a producirse o no, siendo sus valores iniciales de 0, 120, 240 grados para el lado primario.

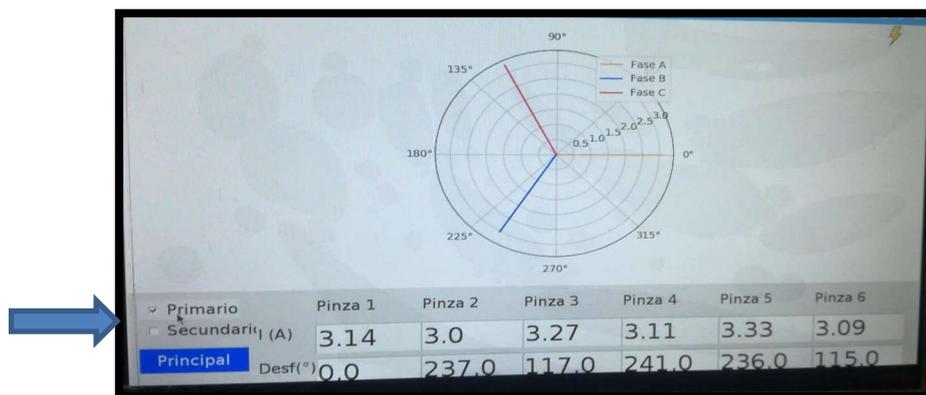


Figura 10. Diagrama fasorial de corriente del primario.

Para observar los diagramas fasoriales del lado secundario se debe seleccionar la opción (secundario) para poder observar los desfases entre las ondas.

Nota: Considerar que la pinza 1, es considerada como la referencia “Fase A ($\angle 0$)” y la graficación de los vectores se darán de acuerdo a sus magnitudes medidas, los ángulos a graficar se darán en sentido horario y tomando cuenta el desfase por el tipo de conexión del transformador.

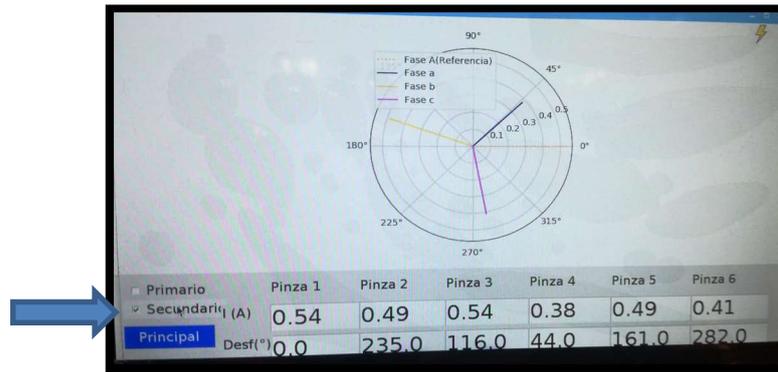


Figura 11. Diagramas fasoriales de corriente en el lado secundario

Si se desea trasponer las diagramas fasoriales del primario al secundario se debe seleccionar las dos opciones como se muestra a continuación.

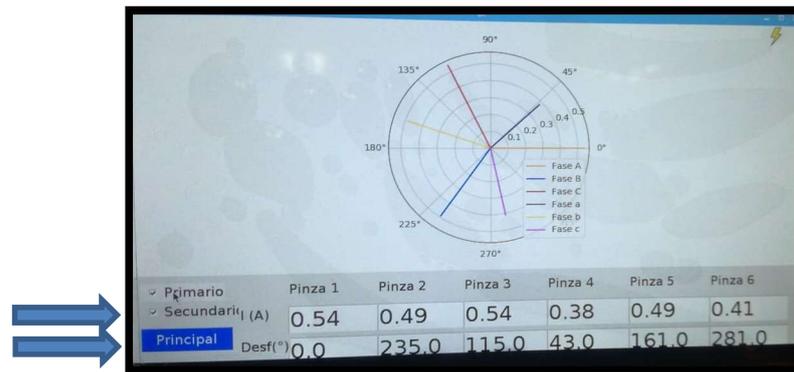


Figura 12. Diagramas fasoriales de corriente del primario transpuesto al secundario

Si se desea volver a observar algún dato o gráfico pulsar en la opción y trasladarse a las diferentes opciones según la necesidad del usuario con el botón principal.

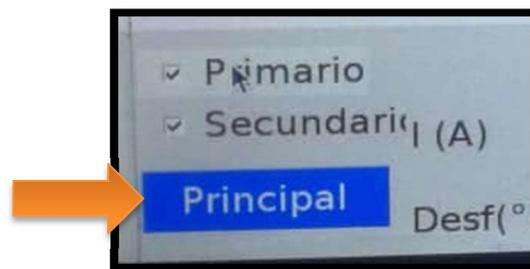


Figura 13. Opción (principal) para cambiar ventanas de visualización

Anexo VII. Guías de Laboratorio



GUÍA PARA LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO



GUÍA DE PRÁCTICA					
FACULTAD:	CIYA		CARRERA:		
ASIGNATURA:	PROTECCIONES ELECTRICAS		PERÍODO ACADÉMICO:		NIVEL:
DOCENTE:			FECHA:		PRÁCTICA N°: 1
LABORATORIO DONDE SE DESARROLLARÁ LA PRÁCTICA:					
TEMA DE LA PRÁCTICA:	IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN EL MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS				
INTRODUCCIÓN:					
<p>El transformador es una máquina eléctrica que permite aumentar o disminuir la tensión en un circuito eléctrico de corriente alterna, manteniendo la potencia (salvo la que se produce por las pérdidas debidas a su propio rendimiento de transformación).</p> <p>Un cortocircuito sabemos que se produce por un contacto entre dos partes activas a distinto potencial de una instalación eléctrica. Dicho contacto puede suceder de forma intencionada (acto vandálico) o accidental (caída inesperada de una herramienta durante una reparación, deterioro de aislamiento por sobrecargas etc.), y es más peligroso cuando el contacto es directo (sin resistencia de paso).</p> <p>Cuando ocurre el cortocircuito, toda la corriente de los receptores próximos afluye hacia el punto de corto por ser de resistencia cero. La corriente toma un valor que puede oscilar desde decenas hasta miles de amperios, en función de la configuración de la red de distribución, potencia del transformador y lo alejado que esté el punto de corto de la alimentación.</p> <p>Las corrientes de cortocircuitos, son peligrosas, porque ocasionan incendios que pueden acabar con vidas humanas y destruyen las instalaciones. Las de valores de corrientes muy elevadas, suman sus efectos destructivos inmediatos por los intensos campos magnéticos que se crean, que generan fuerzas electrodinámicas capaces de arrancar de cuajo embarrados de sus aisladores, retorciéndolos, mientras que el calor generado los derrite. Los cortocircuitos pueden ser clasificados en dos grupos:</p> <p>a) Simétricos</p> <p>b) Asimétricos</p> <p>El Variac es un transformador con varios devanados reductores conectados a un interruptor rotativo, con el fin de regular el voltaje AC desde el devanado primario. Esa cualidad lo convierte en una fuente variable de AC la cual es ideal para hacer reparaciones en fuentes conmutadas. Cuando existe un problema en una fuente de alimentación sobre todo del tipo conmutada, se pone en alto riesgo los componentes electrónicos que la conforman, y estos suelen dañarse cuando sus parámetros máximos de operación son excedidos.</p> <p>Las cargas resistivas como lámparas incandescentes, calefactores, etc el voltaje y la corriente están en fase es decir el ángulo de desfase es cero.</p>					
OBJETIVOS:					

GENERAL:

Identificar los elementos que conforman el módulo para el correcto uso y funcionamiento cuando se realice las prácticas pertinentes.

ESPECÍFICOS:

- Identificar los diferentes elementos que para realizar las prácticas.
- Identificar la ubicación de los sensores de corrientes y voltajes para el análisis de las mediciones a obtener.
- Examinar el banco de resistencias para comprobar el funcionamiento de las resistencias en caso de necesitarlas.

LISTADO DE EQUIPO Y MATERIALES:

MATERIALES:

- Fuente de alimentación
- 1ra protección (termomagnéticos monofásicos).
- Banco de autotransformadores variables/ Variac's.
- 2da protección (porta físisbles monofásicos).
- Banco trifásico de transformadores.
- Sensores de corriente y voltaje estáticos.
- Sensores tipo Pinzas movibles.
- Banco de cargas.
- Amperímetro AC.
- Voltímetro AC.

PREPARATORIO:

1. Describa el funcionamiento del transformador.
2. Describa el funcionamiento del autotransformador regulable.
3. Calcular la corriente máxima que soporta el devanado primario y secundario para un transformador de 660W a 110V con una relación 1/1.
4. Investigar las conexiones más usadas en los transformadores
5. Consulte el comportamiento de la corriente frente a cargas resistivas.

ADVERTENCIAS

Advertencia: ¡En este experimento de laboratorio se manejan corrientes peligrosas! ¡No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada! ¡Los Variac's deben estar en cero y posteriormente desactivar los termomagnéticos, posición (Off) para desconectar cualquier cable conector!

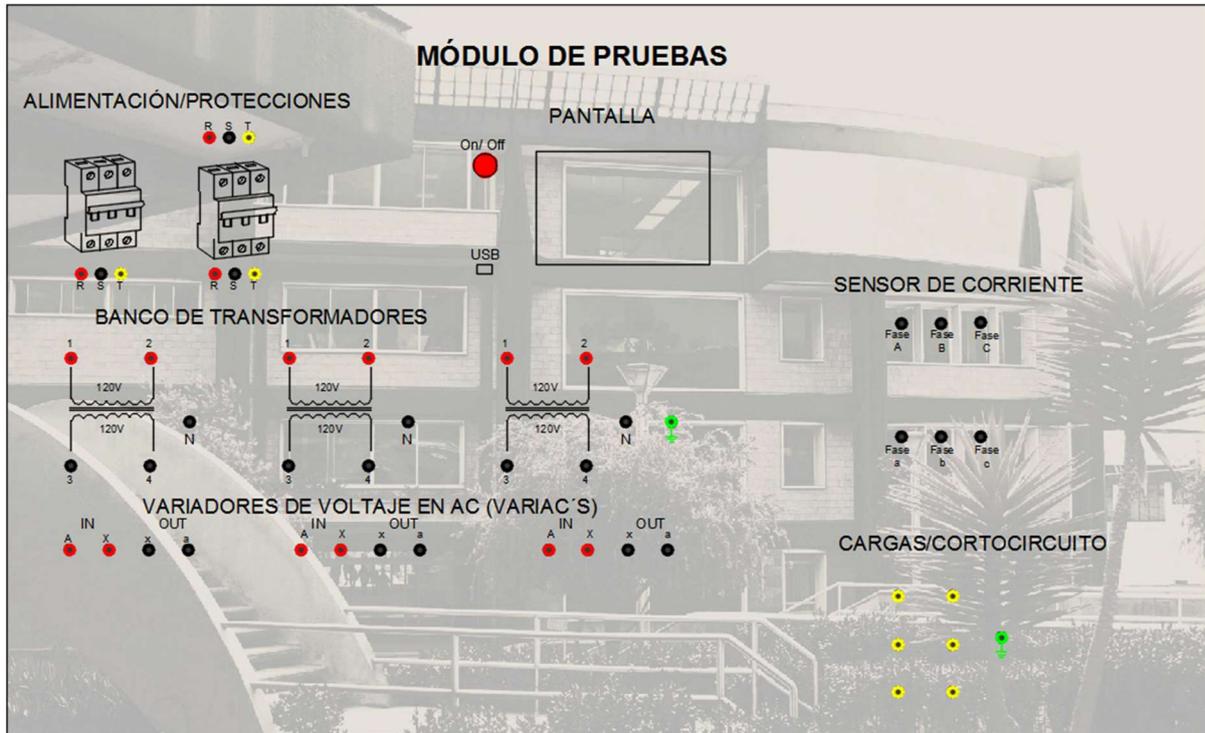
- Mantener un plan de emergencia por presentarse cualquier eventualidad por accidente de trabajo o enfermedad ocupacional.
- Establecer un cronograma de las actividades a desarrollar y responsables de cada una de ellas.
- Evitar distracciones en el momento de desarrollar la práctica.
- Verifique la disponibilidad de los equipos a usar en la práctica y comprobar que todos los elementos estén en buenestado.
- Utilizar el equipo de protección adecuado para realizar la práctica.

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

- Identificación de elementos que conforman el módulo:

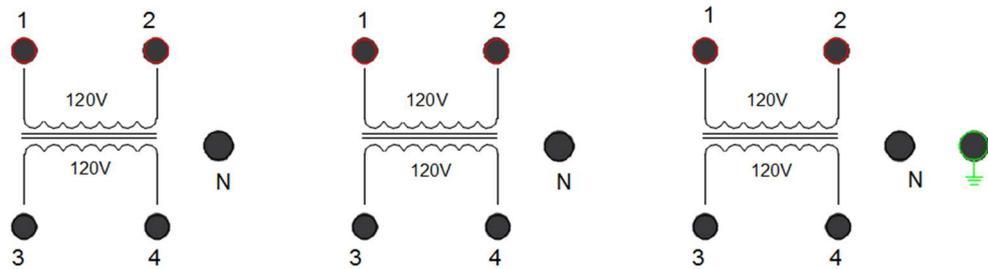
1. Relacionar la siguiente figura con el módulo.

Fig. 1: Módulo

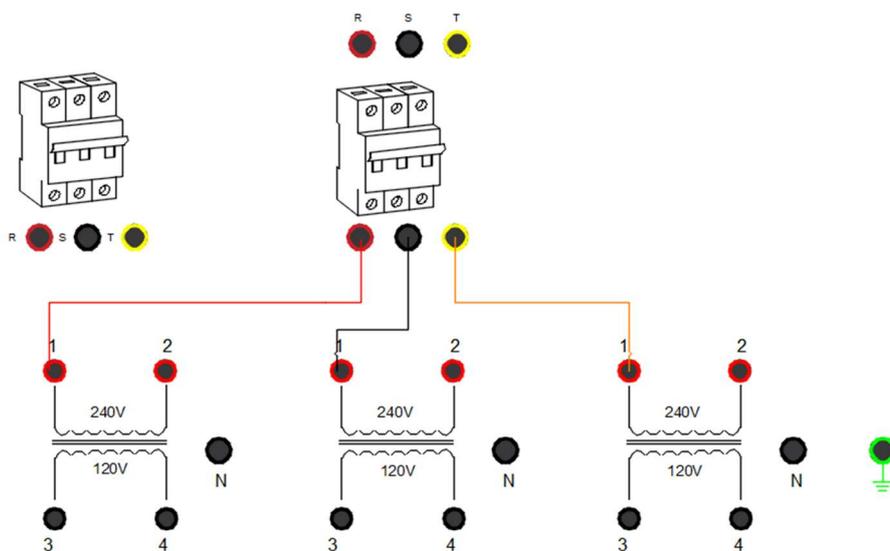


2. Identificar la fuente trifásica de alimentación.
3. Identificar el banco trifásico de autotransformadores.
4. Identificar los portafusibles y verificar su continuidad con el multímetro.
5. Identificar el banco trifásico de transformadores.
6. Identificar borneras para la conexión de la carga o el corto circuito.
8. Conexión de las pinzas móviles en los lugares a observar el desfase.

⚡ Realice la siguiente conexión (Dy5) en el banco trifásico de transformadores:

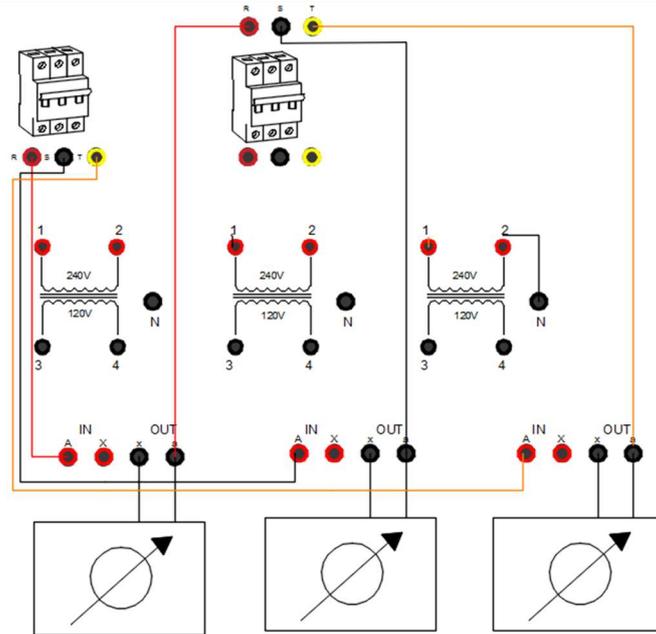


- Realice la conexión Dy5.
- Alimentar de la salida de los portafusibles (líneas R, S y T) hacia los terminales número 1 de cada transformador.



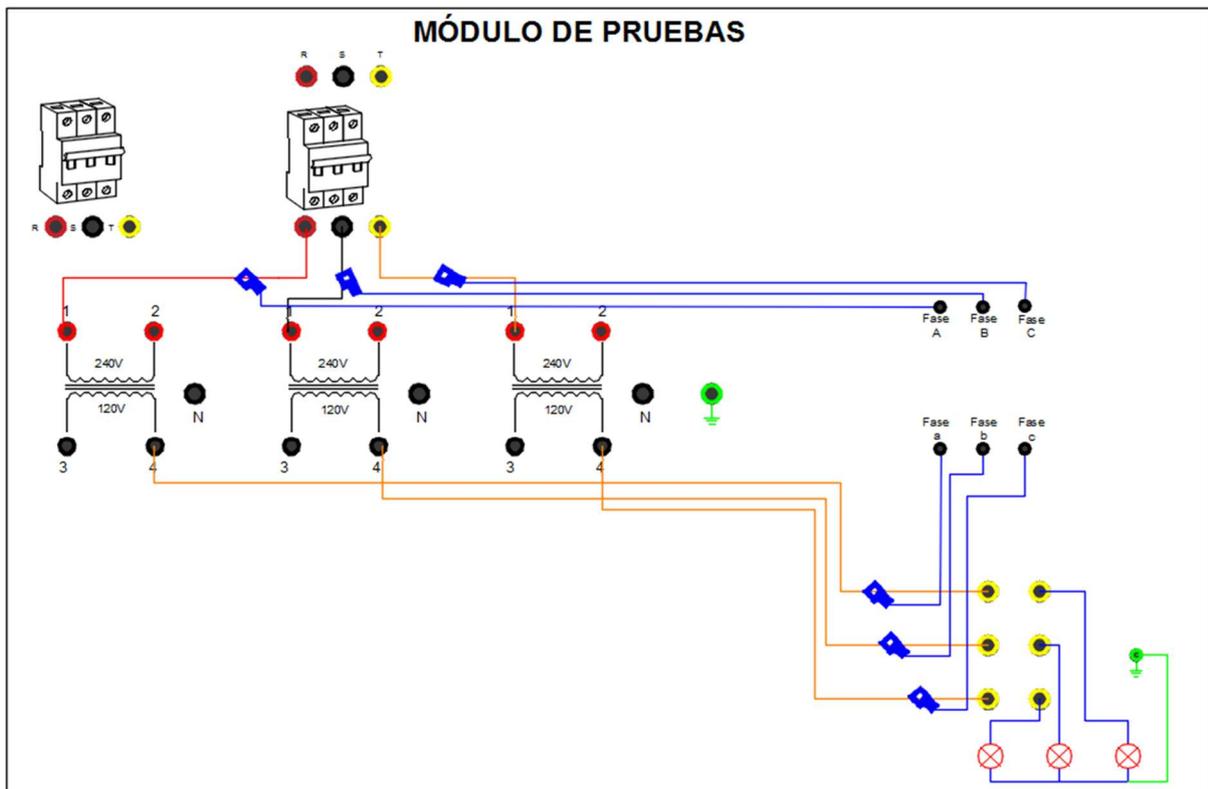
⚡ Conecte y alimente los variac

- Alimente los autotransformadores regulables en ca desde las líneas R, S y T, de los interruptores termomagnéticos hacia las entradas denominadas de los variac con la letra "A"
- Las entradas denominadas con la letra "X" se encuentran conectadas entre sí y hacia neutro (conexión interna)
- Las salidas denominadas con la letra "x" se encuentran con cortocircuitadas entre sí (conexión interna)
- La salida denominada con la letra "a" será conectada hacia la entrada de las líneas R, S y T de los portafusibles



⚡ Conecte las cargas

- g) Conecte los terminales de los transformadores hacia las cargas dependiendo de la conexión.
- h) Coloque las pinzas en las entradas y salidas de los transformadores, tomando en cuenta el sentido de la corriente.
- i) Posteriormente encienda los interruptores termomagnéticos y regule el voltaje de los variac voltio a voltio y observe en la pantalla el desfase de la conexión del transformador y la corriente obtenida, sin sobrepasar los 6 A de corriente.



RESULTADOS OBTENIDOS:

✚ Realice la conexión del transformador conexión Dy5

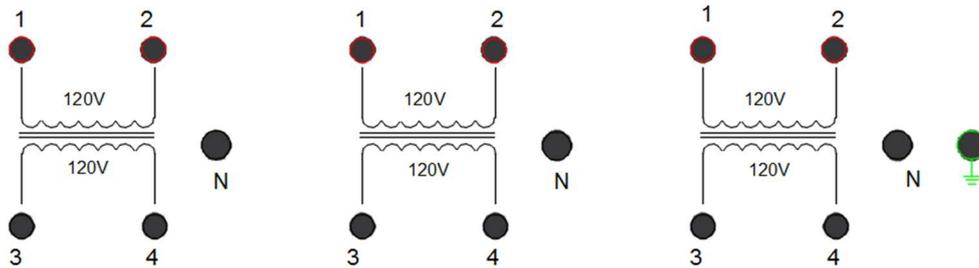


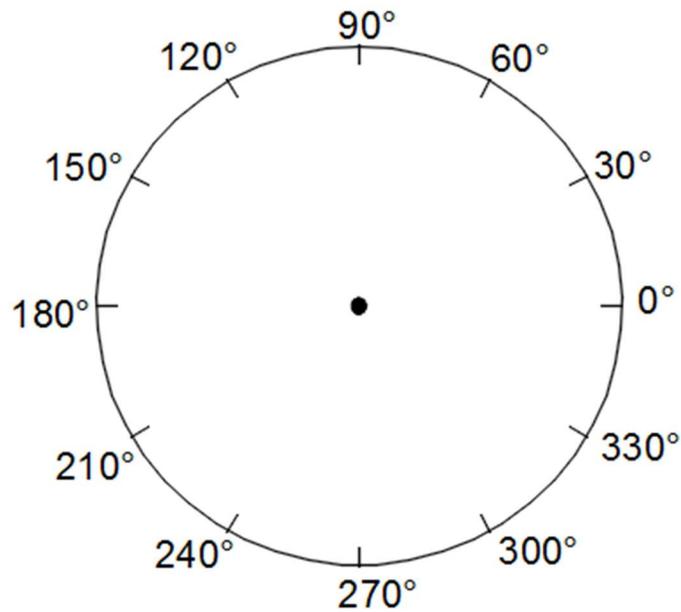
Tabla 1. Corrientes y voltajes obtenidos por los sensores

I Primario		I Secundario		V Primario		V Secundario	
I _A =		I _a =		V _A =		V _a =	
I _B =		I _b =		V _B =		V _b =	
I _C =		I _c =		V _C =		V _c =	

Tabla 2. Corrientes y desfases obtenidos por las pinzas amperimétricas

I Primario		I Secundario		Desfases Primario		Desfases Secundario	
I _A =		I _a =		α_A =		α_a =	
I _B =		I _b =		α_B =		α_b =	
I _C =		I _c =		α_C =		α_c =	

✚ Realice el diagrama fasorial de la conexión



CUESTIONARIO:

- Describa el funcionamiento de los bancos de transformadores
- Explique cómo se conecta el banco de transformadores trifásico con su polaridad respectiva?
- ¿Explique cuándo debe operar la protección del (porta fusibles) y a cuál es el objetivo del mismo?
- ¿Cuánto se desfasa el lado primario del secundario del transformador?
- ¿Cuál es la corriente máxima que soporta el módulo de cortocircuitos?
- Investigue cuales son los usos que se pueden dar a los variadores en ac.
- Investigar las conexiones más usadas en los transformadores reductores en nuestro país.

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES



GUÍA PARA LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO

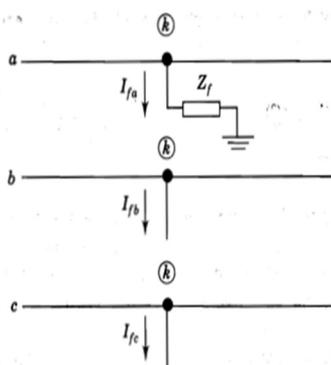


GUÍA DE PRÁCTICA

FACULTAD:	CIYA	CARRERA:	
ASIGNATURA:	PROTECCIONES ELECTRICAS	PERÍODO ACADÉMICO:	NIVEL:
DOCENTE:		FECHA:	PRÁCTICA N°: 2
LABORATORIO DONDE SE DESARROLLARÁ LA PRÁCTICA:			
TEMA DE LA PRÁCTICA:	REALICE LA PRÁCTICA DE FALLAS POR CORTOCIRCUITO EN UNA CONEXIÓN Yy6		

INTRODUCCIÓN:

El cortocircuito se define como una conexión de relativamente baja resistencia o impedancia, entre dos o más puntos de un circuito que están normalmente a tensiones diferentes. Las corrientes de cortocircuitos se caracterizan por un incremento prácticamente instantáneo y varias veces superior a la corriente nominal, en contraste con las de una sobrecarga que se caracteriza por un incremento mantenido en un intervalo de tiempo y algo mayor a la corriente nominal.



La falla monofásica de línea a tierra (que es el tipo más común de falla) es originada por las descargas atmosféricas o por los conductores al hacer contacto con las estructuras aterrizadas. Para una falla monofásica a tierra desde la fase Z_f , a través de la impedancia Z_f , las relaciones por desarrollar para este tipo de falla, sólo se aplican cuando la fase a es la que ha fallado. Pero esto no es causa de dificultad, porque se han señalado arbitrariamente a las fases y cualquiera de ellas se puede designar como la a, las condiciones en la barra k que ha fallado.

OBJETIVOS:

GENERAL:

Identificar las conexiones a utilizar en la práctica y el procedimiento para conectar el módulo y realizar las fallas requeridas.

ESPECÍFICOS:

- Identificar los diferentes elementos que para realizar las prácticas.
- Identificar las fases donde se tomarán las lecturas de corriente y voltaje.
- Realizar las conexiones pertinentes

LISTADO DE EQUIPO Y MATERIALES:

MATERIALES:

- Fuente de alimentación
- Banco de reguladores de voltaje en AC
- Banco trifásico de transformadores.
- Sensores de corriente y voltaje estáticos.
- Sensores de corriente no invasivos (Pinzas de corriente)
- Banco de cargas.
- Pinza Amperimétrica.
- Voltímetro AC.

PREPARATORIO:

Identifique cómo se conecta un transformación en Yy6

Consulte cuales son las fallas por cortocircuito

Identifique el sentido de las corrientes de la conexión Yy6

Consulte el comportamiento de la corriente frente a cargas resistivas.

Identificar con cuántos grados se desfasa la corriente en el primario y secundario de esta conexión

ADVERTENCIAS:

Advertencia: ¡En este experimento de laboratorio se manejan corrientes peligrosas! ¡No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada! ¡Los Variac's deben estar en cero y posteriormente desactivar los termomagnéticos, posición (Off) para desconectar cualquier cable conector!

- Mantener un plan de emergencia por presentarse cualquier eventualidad.
- Establecer un cronograma de las actividades a desarrollar y responsables de cada una de ellas.
- Evitar distracciones en el momento de desarrollar la práctica.
- Verifique la disponibilidad de los equipos a usar en la práctica y comprobar que todos los elementos estén en buen estado.
- Utilizar un equipo de protección adecuado para realizar la práctica.

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

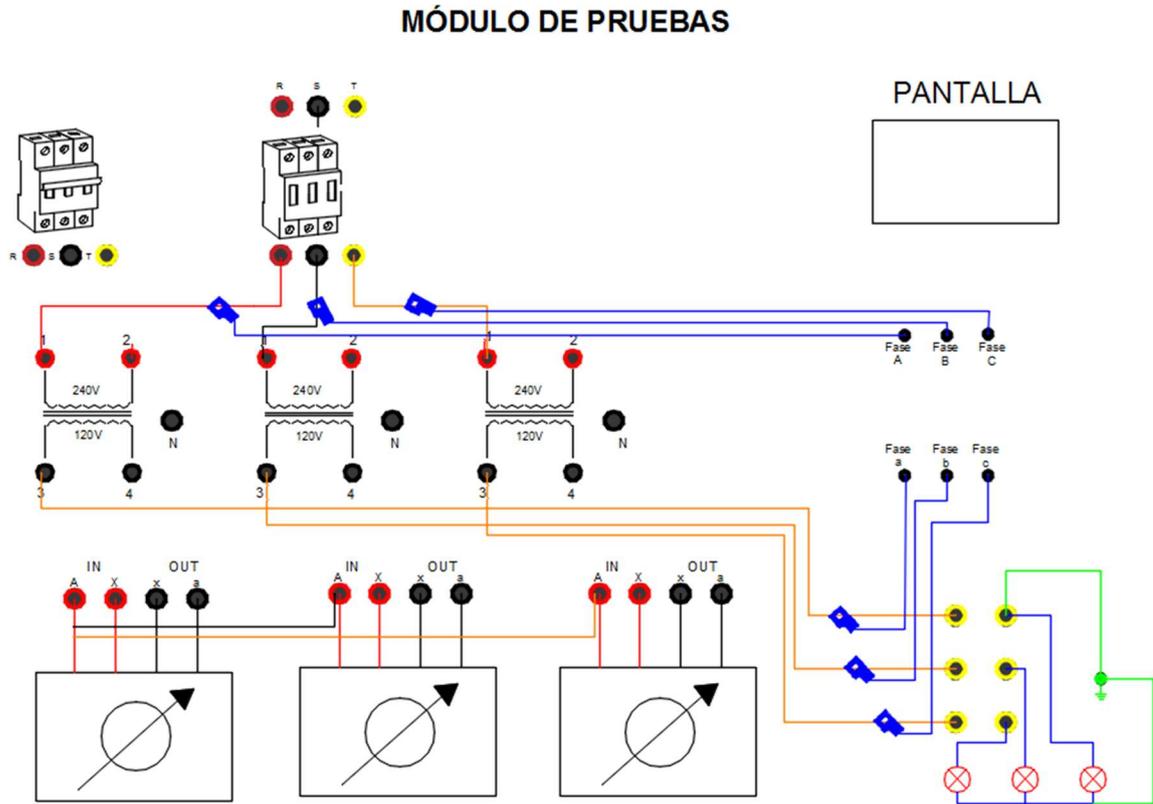
1. Realice la falla monofásica tomando en cuenta la siguiente tabla

Tabla 1. Voltajes a ser ingresados en los Variac's en conexión Yy6

Conexión Yy6	
Tipo de Falla	V máx variac
Monofásica	160 V (4A)
Bifásica a Tierra	9 V
Bifásica	9 V
Trifásica	8 V

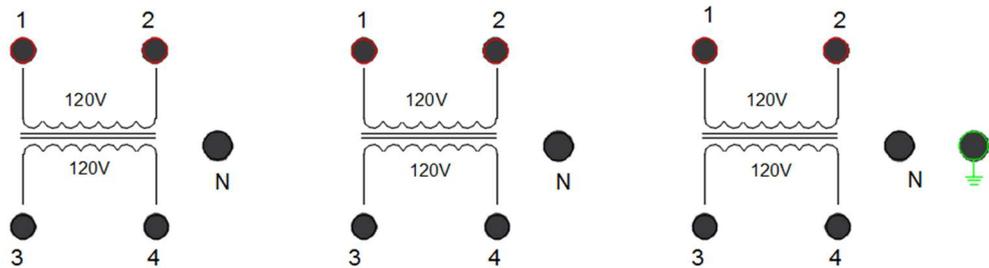
- a) realizar la falla monofásica, bifásica, bifásica a tierra y trifásica

b) Coloque las pinzas amperimétricas



- c) Conecte los sensores de corriente en los terminales número 1 de los primarios de los transformadores y a la salida de los secundarios de los transformadores que se dirigen hacia las cargas, tomando en cuenta la dirección de la corriente.
- d) Posteriormente encienda los interruptores termomagnéticos y regule el voltaje de los variac uno por uno y observe en la pantalla el desfase de la conexión del transformador y la corriente obtenida, sin sobrepasar los 6 A de corriente.
- e) Observe la relación de corriente entre las fases del primario y secundario y compárelas con una pinza amperimétrica

RESULTADOS OBTENIDOS:

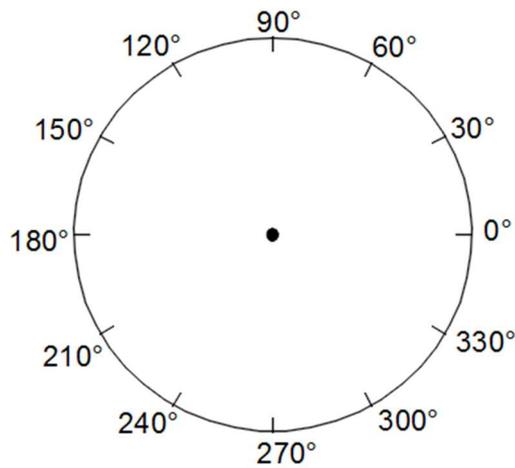


1. Datos falla monofásica

Tabla 1. Corrientes y desfase en una falla monofásica

$V_{m\acute{a}x}$ Variac	Corriente de Fase				Desfase				Diferencia
	Primario		secundario		Primario		Secundario		

Realice el dígrama fasorial de la falla monofásica

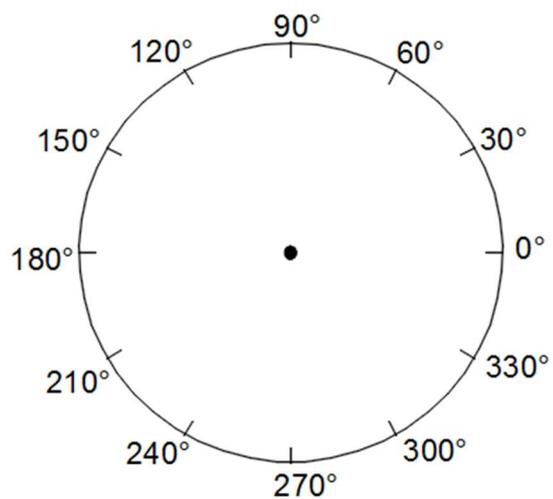


2. Datos falla bifásica

Tabla 2. Corrientes y desfase en una falla bifásica

$V_{\text{máx}}$ Variac	Corriente de Fase				Desfase				Diferencia
	Primario		secundario		Primario		Secundario		

Realice el digrama fasorial de la falla bifásica

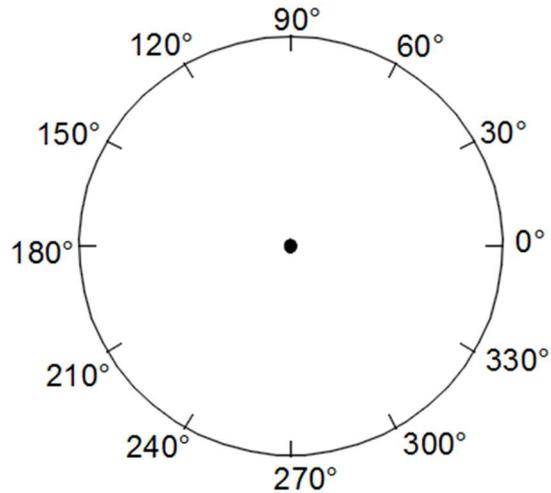


3. Datos falla bifásica a tierra

Tabla 3. Corrientes y desfase en una falla bifásica a tierra

$V_{\text{máx}}$ Variac	Corriente de Fase				Desfase				Diferencia
	Primario		secundario		Primario		Secundario		

Realice el diagrama fasorial de la falla trifásica



CUESTIONARIO:

- Explique cómo se conecta el banco de transformadores trifásico en conexión Yy6
- ¿Cuál es el desfase de corriente en el lado primario vs el lado secundario del transformador en esta conexión sin falla
- ¿Que ocurre cuando el ángulo de desfase es negativo?
- ¿Los fasoriales se grafican en sentido horario o antihorario, y por qué ?
- ¿Qué sucede con la corriente en la Fase A y B en una falla monofásica?
- ¿Cuál es la diferencia entre una falla bifásica y una bifásica a tierra?
- ¿Influye el sentido de conexión de las pinzas en el desfase de las conexiones del transformador ?

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES



GUÍA PARA LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO

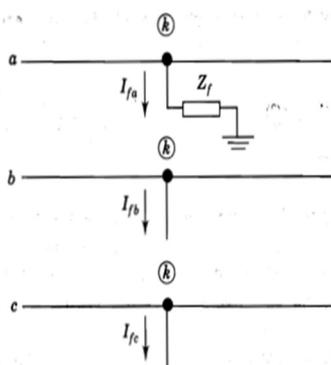


GUÍA DE PRÁCTICA

FACULTAD:	CIYA	CARRERA:	
ASIGNATURA:	PROTECCIONES ELECTRICAS	PERÍODO ACADÉMICO:	NIVEL:
DOCENTE:		FECHA:	PRÁCTICA N°: 3
LABORATORIO DONDE SE DESARROLLARÁ LA PRÁCTICA:			
TEMA DE LA PRÁCTICA:	REALICE LA PRÁCTICA DE FALLAS POR CORTOCIRCUITO EN UNA CONEXIÓN Dy1		

INTRODUCCIÓN:

El cortocircuito se define como una conexión de relativamente baja resistencia o impedancia, entre dos o más puntos de un circuito que están normalmente a tensiones diferentes. Las corrientes de cortocircuitos se caracterizan por un incremento prácticamente instantáneo y varias veces superior a la corriente nominal, en contraste con las de una sobrecarga que se caracteriza por un incremento mantenido en un intervalo de tiempo y algo mayor a la corriente nominal.



La falla monofásica de línea a tierra (que es el tipo más común de falla) es originada por las descargas atmosféricas o por los conductores al hacer contacto con las estructuras aterrizadas. Para una falla monofásica a tierra desde la fase Z_f , a través de la impedancia Z_f , las relaciones por desarrollar para este tipo de falla, sólo se aplican cuando la fase a es la que ha fallado. Pero esto no es causa de dificultad, porque se han señalado arbitrariamente a las fases y cualquiera de ellas se puede designar como la a, las condiciones en la barra k que ha fallado.

OBJETIVOS:

GENERAL:

Identificar las conexiones a utilizar en la práctica y el procedimiento para conectar el módulo y realizar las fallas requeridas.

ESPECÍFICOS:

- Identificar los diferentes elementos que para realizar las prácticas.
- Identificar las fases donde se tomarán las lecturas de corriente y voltaje.
- Realizar las conexiones pertinentes

LISTADO DE EQUIPO Y MATERIALES:

MATERIALES:

- Fuente de alimentación
- Banco de reguladores de voltaje en AC
- Banco trifásico de transformadores.
- Sensores de corriente y voltaje estáticos.
- Sensores de corriente no invasivos (Pinzas de corriente)
- Banco de cargas.
- Pinza Amperimétrica.
- Voltímetro AC.

PREPARATORIO:

Identifique cómo se conecta un transformador en Dyl

Consulte cuáles son las fallas por cortocircuito

Identifique el sentido de las corrientes de la conexión Dyl

Identificar con cuántos grados se desfasa la corriente en el primario y secundario de esta conexión

ADVERTENCIAS:

Advertencia: ¡En este experimento de laboratorio se manejan corrientes peligrosas! ¡No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada! ¡Los Variac's deben estar en cero y posteriormente desactivar los termomagnéticos, posición (Off) para desconectar cualquier cable conector!

- Mantener un plan de emergencia por presentarse cualquier eventualidad.
- Establecer un cronograma de las actividades a desarrollar y responsables de cada una de ellas.
- Evitar distracciones en el momento de desarrollar la práctica.
- Verifique la disponibilidad de los equipos a usar en la práctica y comprobar que todos los elementos estén en buen estado.
- Utilizar un equipo de protección adecuado para realizar la práctica.

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

1. Realice la falla monofásica tomando en cuenta la siguiente tabla

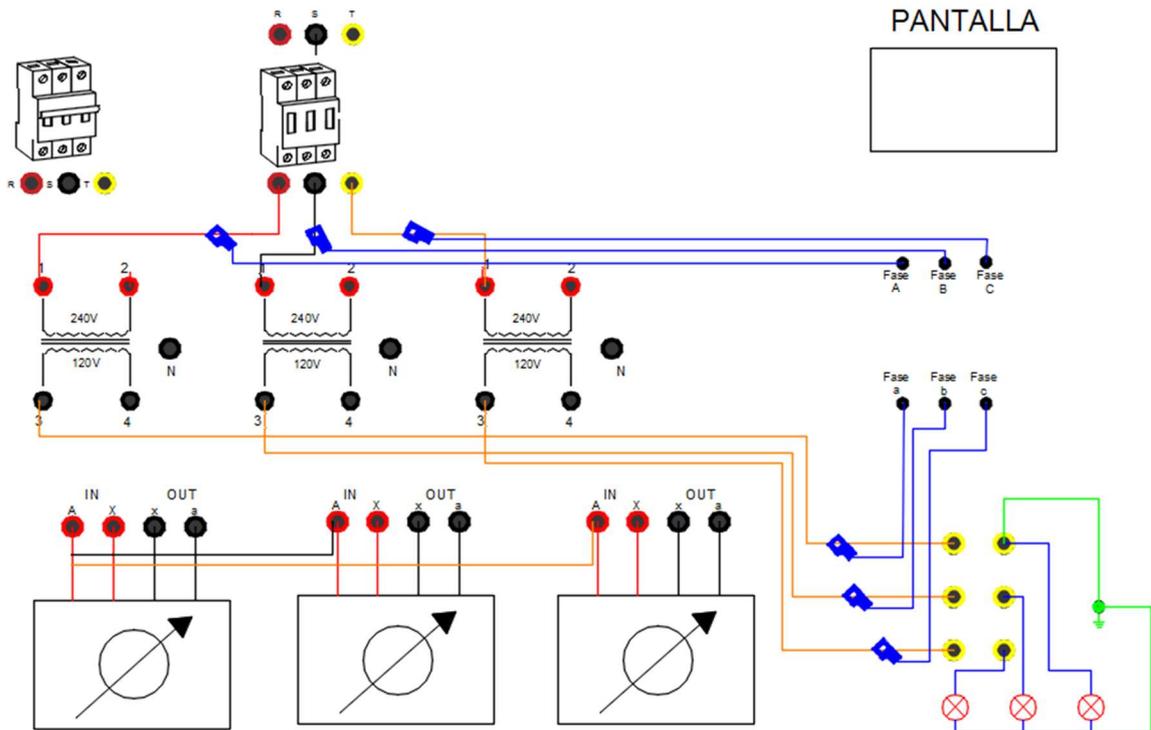
Tabla 1. Voltajes a ser ingresados en los Variac's en conexión Yy6

Conexión Dyl	
Tipo de Falla	V máx variac
Monofásica	5 V
Bifásica a Tierra	3 V
Bifásica	3 V
Trifásica	4V

- a) Realizar la falla monofásica, bifásica, bifásica a tierra y trifásica

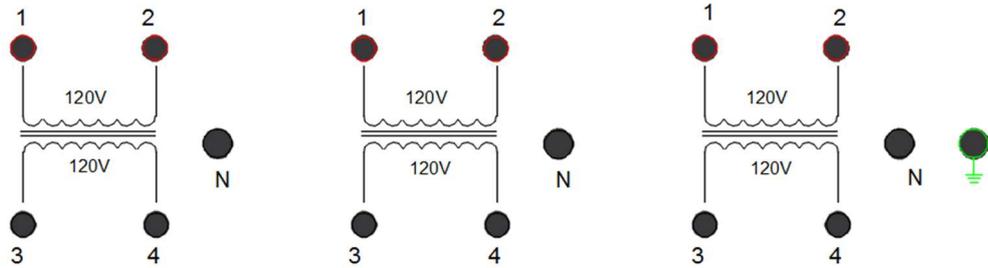
a. Coloque las pinzas amperimétricas

MÓDULO DE PRUEBAS



- Conecte los sensores de corriente en los terminales número 1 de los primarios de los transformadores y a la salida de los secundarios de los transformadores que se dirigen hacia las cargas, tomando en cuenta la dirección de la corriente.
- Posteriormente encienda los interruptores termomagnéticos y regule el voltaje de los variac uno por uno y observe en la pantalla el desfase de la conexión del transformador y la corriente obtenida, sin sobrepasar los 6 A de corriente.
- Observe la relación de corriente entre las fases del primario y secundario y compárelas con una pinza amperimétrica

RESULTADOS OBTENIDOS:

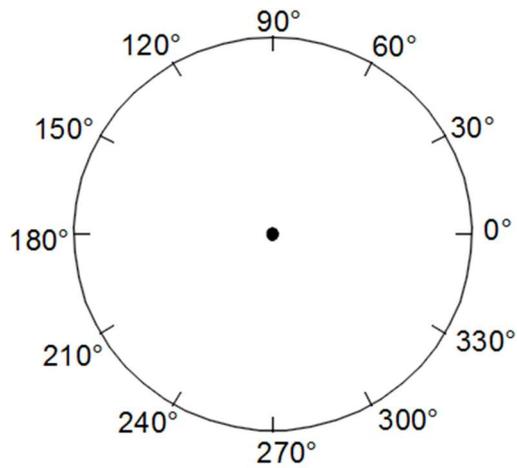


Datos falla monofásica

Tabla 1. Corrientes y desfase en una falla monofásica

$V_{\text{máx}}$ Variac	Corriente de Fase		Desfase		Diferencia
	Primario	Secundario	Primario	Secundario	
	I_A	I_a	α_A	α_a	
	I_B	I_b	α_B	α_b	
	I_C	I_c	α_C	α_c	

Realice el digrama fasorial de la falla monofásica

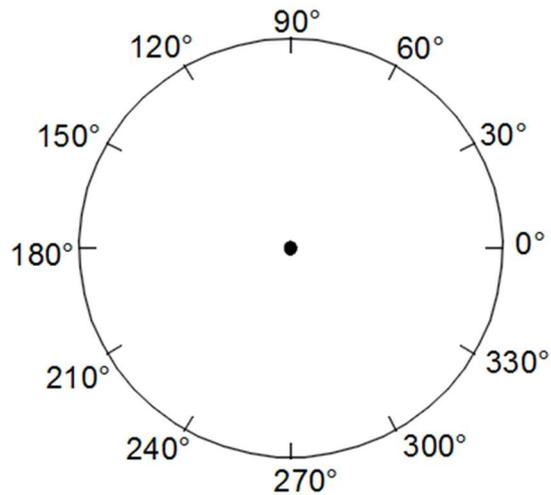


Datos falla bifásica

Tabla 2. Corrientes y desfase en una falla bifásica

$V_{\text{máx}}$ Variac	Corriente de Fase				Desfase				Diferencia
	Primario		Secundario		Primario		Secundario		
	I_A		I_a		α_A		α_a		
	I_B		I_b		α_B		α_b		
	I_C		I_c		α_C		α_c		

Realice el digrama fasorial de la falla bifásica

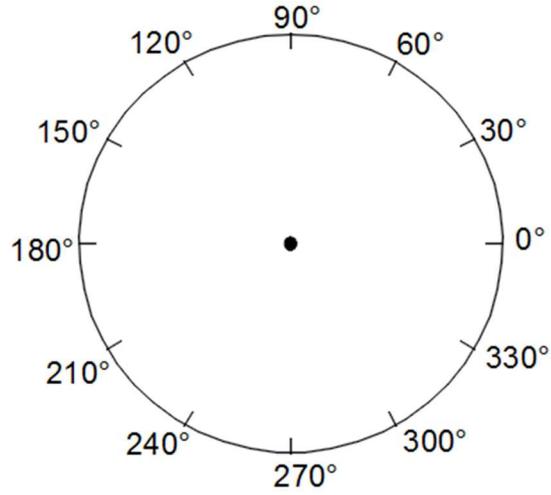


Datos falla bifásica a tierra

Tabla 3. Corrientes y desfase en una falla bifásica a tierra

$V_{\text{máx}}$ Variac	Corriente de Fase				Desfase				Diferencia
	Primario		Secundario		Primario		Secundario		
	I_A		I_a		α_A		α_a		
	I_B		I_b		α_B		α_b		
	I_C		I_c		α_C		α_c		

Realice el digrama fasorial de la falla bifásica a tierra

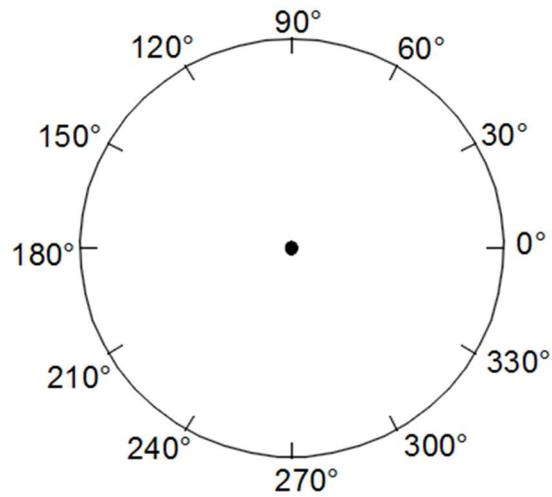


Datos falla trifásica

Tabla 4. Corrientes y desfase en una falla trifásica

$V_{m\acute{a}x}$ Variac	Corriente de Fase				Desfase				Diferencia
	Primario		Secundario		Primario		Secundario		
	I_A		I_a		α_A		α_a		
	I_B		I_b		α_B		α_b		
	I_C		I_c		α_C		α_c		

Realice el diagrama fasorial de la falla trifásica



CUESTIONARIO:

- Explique cómo se conecta el banco de transformadores trifásico en conexión Dy1
- ¿Qué ocurre con las fases las corrientes en las fases A y B tras ocurrir una falla bifásica entre líneas?
- ¿En una falla monofásica en la conexión Dy1 a cuántos voltios debe alimentarse los variac?
- ¿Cuál es la corriente que transita por la falla en un cortocircuito trifásico?
- ¿En la conexión Dy1 el lado primario se adelanta o retrasa del secundario?

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES



GUÍA PARA LAS PRÁCTICAS DE LABORATORIO

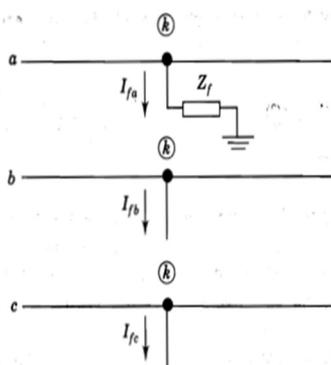


GUÍA DE PRÁCTICA

FACULTAD:	CIYA	CARRERA:	
ASIGNATURA:	PROTECCIONES ELECTRICAS	PERÍODO ACADÉMICO:	NIVEL:
DOCENTE:		FECHA:	PRÁCTICA N°: 4
LABORATORIO DONDE SE DESARROLLARÁ LA PRÁCTICA:			
TEMA DE LA PRÁCTICA:	REALICE LA PRÁCTICA DE FALLAS POR CORTOCIRCUITO EN UNA CONEXIÓN Yd1		

INTRODUCCIÓN:

El cortocircuito se define como una conexión de relativamente baja resistencia o impedancia, entre dos o más puntos de un circuito que están normalmente a tensiones diferentes. Las corrientes de cortocircuitos se caracterizan por un incremento prácticamente instantáneo y varias veces superior a la corriente nominal, en contraste con las de una sobrecarga que se caracteriza por un incremento mantenido en un intervalo de tiempo y algo mayor a la corriente nominal.



La falla monofásica de línea a tierra (que es el tipo más común de falla) es originada por las descargas atmosféricas o por los conductores al hacer contacto con las estructuras aterrizadas. Para una falla monofásica a tierra desde la fase Z_f , a través de la impedancia Z_f , las relaciones por desarrollar para este tipo de falla, sólo se aplican cuando la fase a es la que ha fallado. Pero esto no es causa de dificultad, porque se han señalado arbitrariamente a las fases y cualquiera de ellas se puede designar como la a, las condiciones en la barra k que ha fallado.

OBJETIVOS:

GENERAL:

Identificar las conexiones a utilizar en la práctica y el procedimiento para conectar el módulo y realizar las fallas requeridas.

ESPECÍFICOS:

- Identificar los diferentes elementos que para realizar las prácticas.
- Identificar las fases donde se tomarán las lecturas de corriente y voltaje.
- Realizar las conexiones pertinentes

LISTADO DE EQUIPO Y MATERIALES:

MATERIALES:

- Fuente de alimentación
- Banco de reguladores de voltaje en AC
- Banco trifásico de transformadores.
- Sensores de corriente y voltaje estáticos.
- Sensores de corriente no invasivos (Pinzas de corriente)
- Banco de cargas.
- Pinza Amperimétrica.
- Voltímetro AC.

PREPARATORIO:

- Identifique cómo se conecta un transformador en Yd1
- Consulte cuáles son las fallas por cortocircuito
- Identifique el sentido de las corrientes de la conexión Yd1
- Identificar con cuántos grados se desfasa la corriente en el primario y secundario de esta conexión
- Identifique si se adelanta en lado en estrella o delta

ADVERTENCIAS:

Advertencia: ¡En este experimento de laboratorio se manejan corrientes peligrosas! ¡No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada! ¡Los Variac's deben estar en cero y posteriormente desactivar los termomagnéticos, posición (Off) para desconectar cualquier cable conector!

- Mantener un plan de emergencia por presentarse cualquier eventualidad.
- Establecer un cronograma de las actividades a desarrollar y responsables de cada una de ellas.
- Evitar distracciones en el momento de desarrollar la práctica.
- Verifique la disponibilidad de los equipos a usar en la práctica y comprobar que todos los elementos estén en buen estado.
- Utilizar un equipo de protección adecuado para realizar la práctica.

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

Realice la falla monofásica tomando en cuenta la siguiente tabla

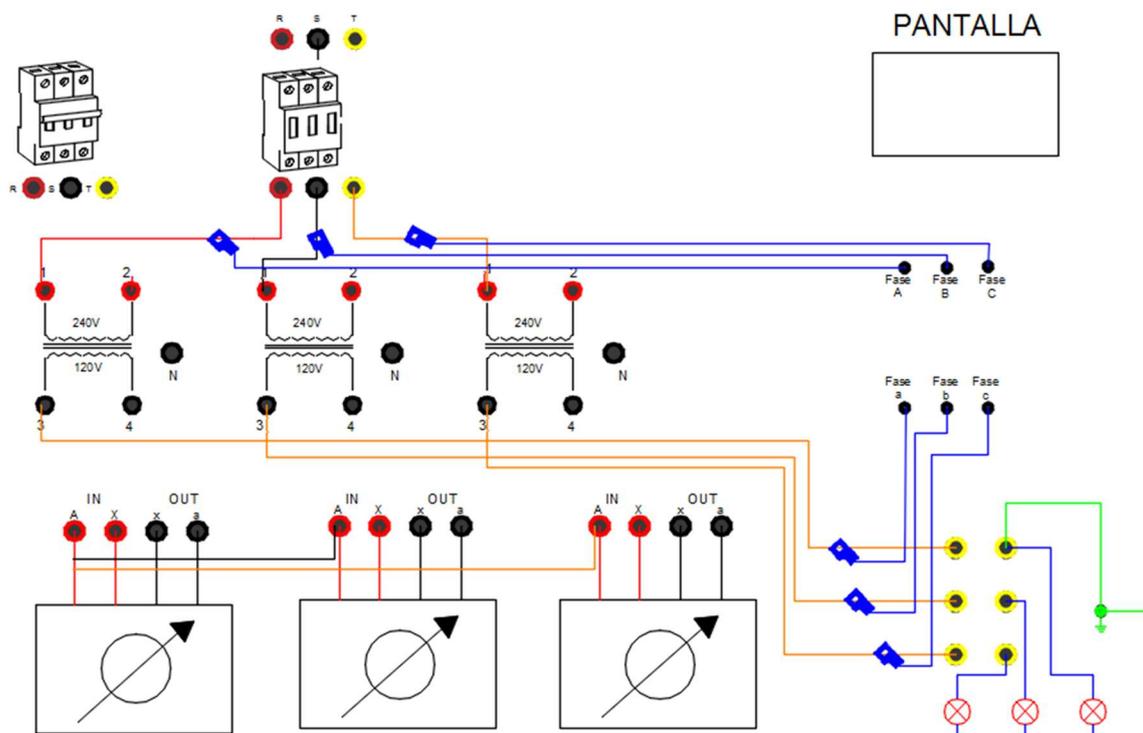
Tabla 1. Voltajes a ser ingresados en los Variac's en conexión Yd1

Conexión Yd1	
Tipo de Falla	V máx variac
Monofásica	147 V (1A)
Bifásica a Tierra	6V
Bifásica	7 V
Trifásica	5 V

Realizar la falla monofásica, bifásica, bifásica a tierra y trifásica

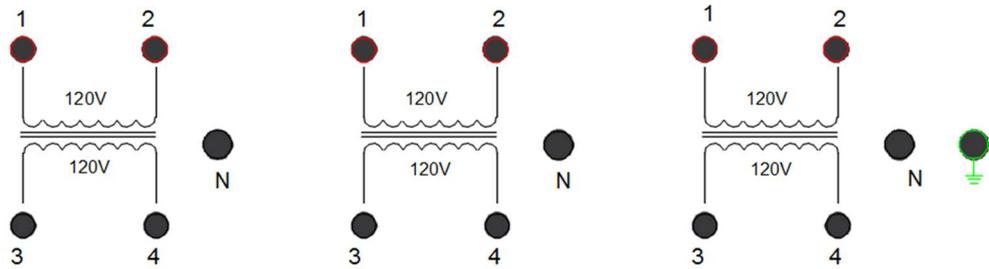
Coloque las pinzas amperimétricas

MÓDULO DE PRUEBAS



- e) Conecte los sensores de corriente en los terminales número 1 de los primarios de los transformadores y a la salida de los secundarios de los transformadores que se dirigen hacia las cargas, tomando en cuenta la dirección de la corriente.
- f) Posteriormente encienda los interruptores termomagnéticos y regule el voltaje de los variac uno por uno y observe en la pantalla el desfase de la conexión del transformador y la corriente obtenida, sin sobrepasar los 6 A de corriente.
- g) Observe la relación de corriente entre las fases del primario y secundario y compárelas con una pinza amperimétrica

RESULTADOS OBTENIDOS:

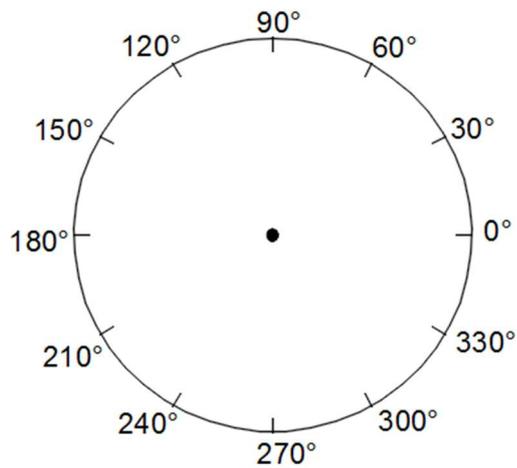


Datos falla monofásica

Tabla 1. Corrientes y desfase en una falla monofásica

$V_{\text{máx}}$ Variac	Corriente de Fase		Desfase		Diferencia
	Primario	Secundario	Primario	Secundario	
	I_A	I_a	α_A	α_a	
	I_B	I_b	α_B	α_b	
	I_C	I_c	α_C	α_c	

Realice el digrama fasorial de la falla monofásica

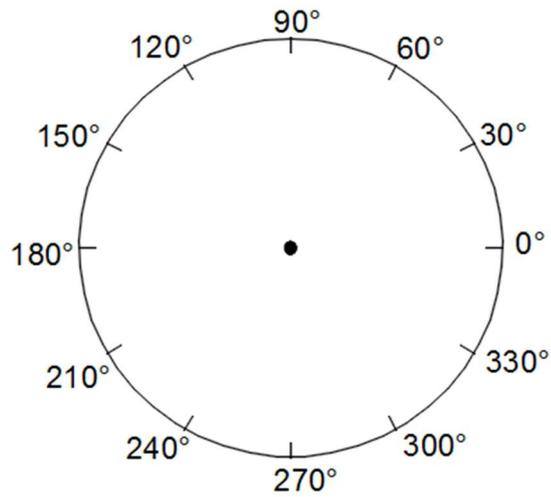


Datos falla bifásica

Tabla 2. Corrientes y desfase en una falla bifásica

$V_{m\acute{a}x}$ Variac	Corriente de Fase				Desfase				Diferencia
	Primario		Secundario		Primario		Secundario		
	I_A		I_a		α_A		α_a		
	I_B		I_b		α_B		α_b		
	I_C		I_c		α_C		α_c		

Realice el digrama fasorial de la falla bifásica

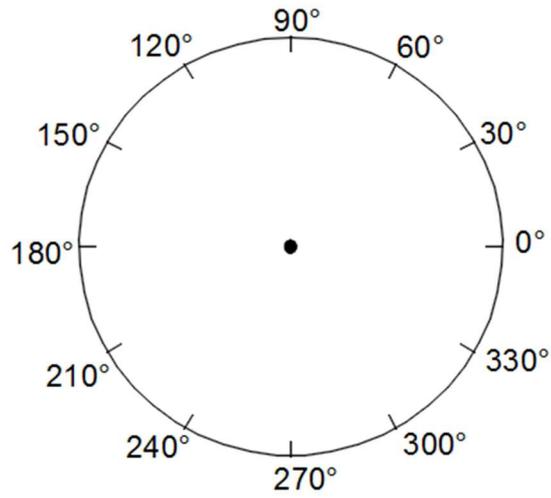


Datos falla bifásica a tierra

Tabla 3. Corrientes y desfase en una falla bifásica a tierra

$V_{m\acute{a}x}$ Variac	Corriente de Fase				Desfase				Diferencia
	Primario		Secundario		Primario		Secundario		
	I_A		I_a		α_A		α_a		
	I_B		I_b		α_B		α_b		
	I_C		I_c		α_C		α_c		

Realice el digrama fasorial de la falla bifásica a tierra

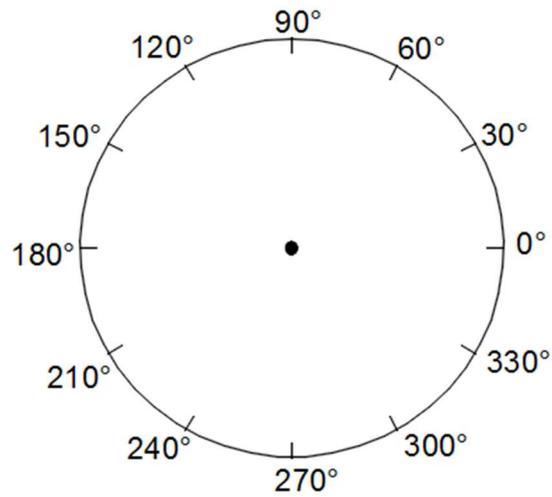


Datos falla trifásica

Tabla 4. Corrientes y desfase en una falla trifásica

$V_{m\acute{a}x}$ Variac	Corriente de Fase				Desfase				Diferencia
	Primario		Secundario		Primario		Secundario		
	I_A		I_a		α_A		α_a		
	I_B		I_b		α_B		α_b		
	I_C		I_c		α_C		α_c		

Realice el diagrama fasorial de la falla trifásica



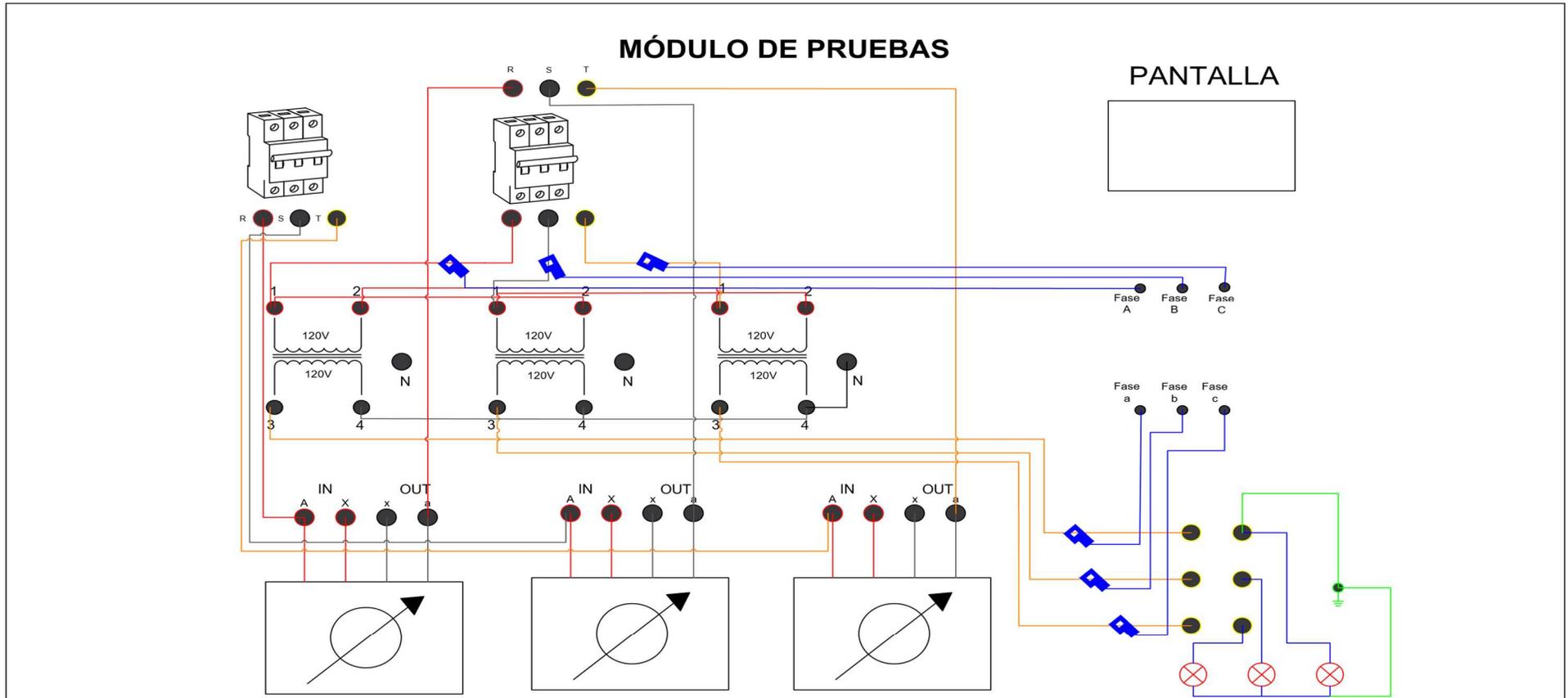
CUESTIONARIO:

- Explique cómo se conecta el banco de transformadores trifásico en conexión Yd1
- ¿Qué ocurre con las fases las corrientes en las fases A y B tras ocurrir una falla bifásica entre líneas?
- ¿En una falla monofásica en la conexión Yd1 a cuántos voltios debe alimentarse los variac?
- ¿Cuál es la corriente que transita por la falla en un cortocircuito trifásico?
- ¿En la conexión Yd1 el lado primario se adelanta o retrasa del secundario?

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES

Anexo VIII. Planos del módulo

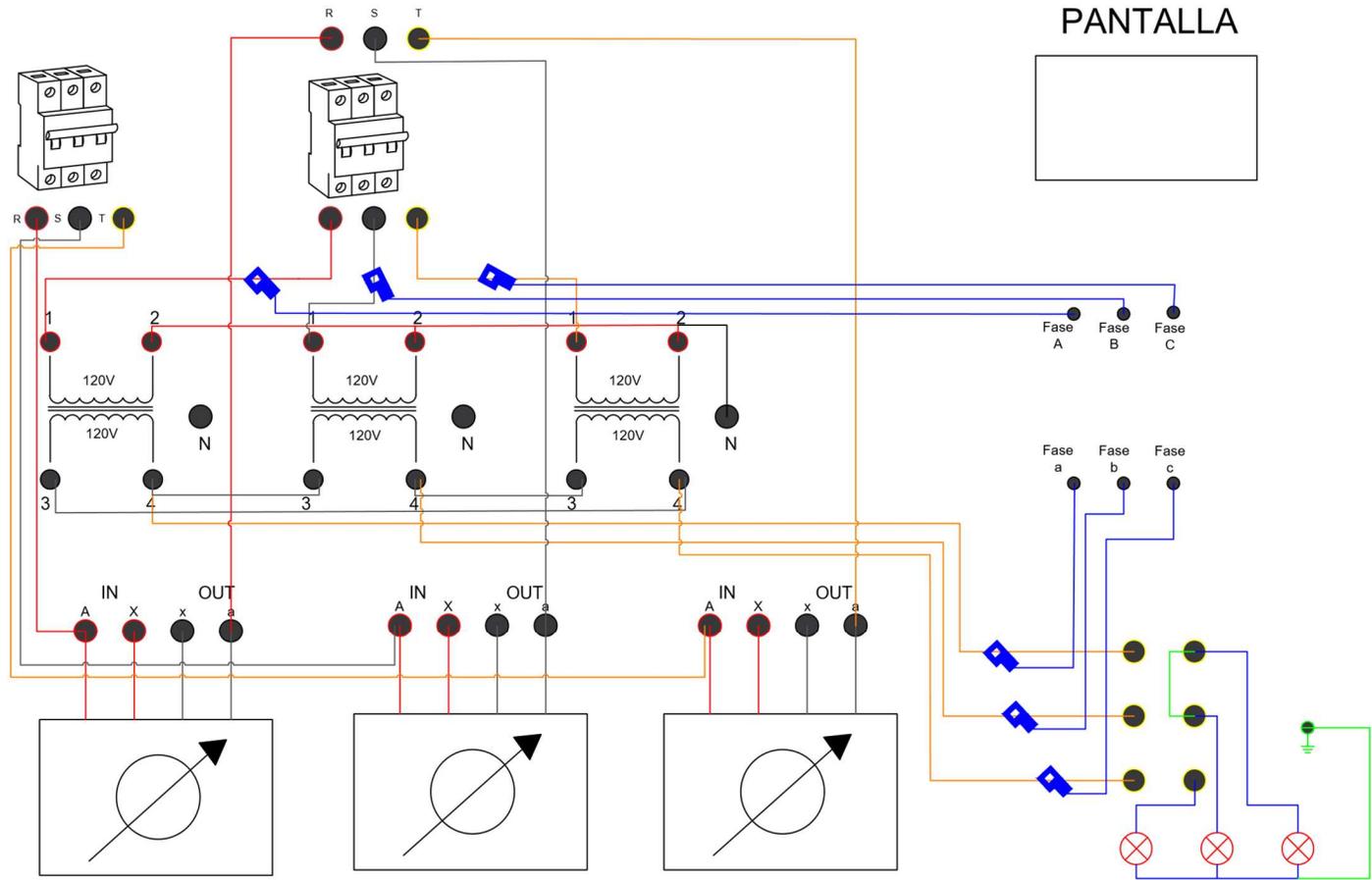


SIMBOLOGÍA	
TRANSFORMADOR 120V/120V	
REGULADOR DE VOLTAJE EN AC (VARIAC)	
INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	
PORTAFUBIBLE	
BANCO DE CARGAS RESISTIVAS CONECTADAS EN Y	
SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO 5A	

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI LATACUNGA-ECUADOR	
	PLANO DE CONEXIÓN PARA MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS FALLA MONOFÁSICA CONEXIÓN Dy1	
PROYECTO: TESIS DIBUJO: MEJIA MARISSA QUINATOA NELSON REVISO: ING. XAVIER PROAÑO, MSc. APROBADO:	VOLTAJE: 120V/120 ESCALA: 1 — 1.0	REFERENCIA: HOJA: 1 DE 1 PROYECTO N°: 001
FECHA: JULIO 2019	PROYECTO N°:	PROYECTO N°: 001

MÓDULO DE PRUEBAS

PANTALLA



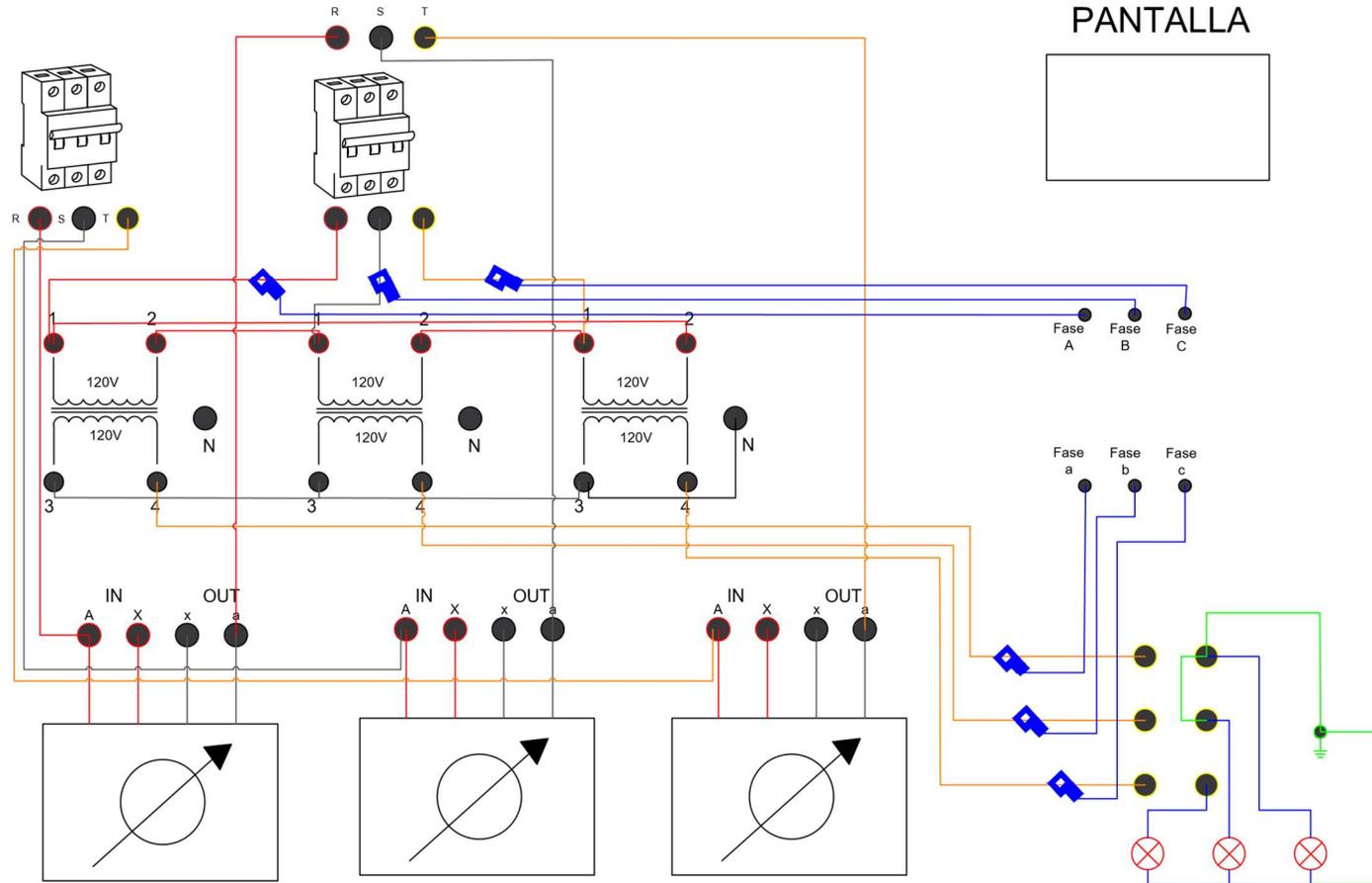
SIMBOLOGÍA

TRANSFORMADOR 120V/120V	
REGULADOR DE VOLTAJE EN AC (VARIAC)	
INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	
PORTAFUBIBLE	
BANCO DE CARGAS RESISITIVAS CONECTADAS EN Y	
SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO 5A	

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI LATACUNGA-ECUADOR	
PLANO DE CONEXIÓN PARA MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS FALLA BIFÁSICA CONEXIÓN DyS	
PROYECTO: TESIS DIBUJO: MEJIA MARISSA QUINATOA NELSON REVISO: ING. XAVIER PROAÑO, M.Sc.	VOLTAJE: 120/120 ESCALA: 1 — 1.0
APROBADO FECHA: JULIO 2019	REFERENCIA: HOJA: 1 DE 1 PROYECTO N°: 001

MÓDULO DE PRUEBAS

PANTALLA



SIMBOLOGÍA

TRANSFORMADOR 120V/120V	
REGULADOR DE VOLTAJE EN AC (VARIAC)	
INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	
PORTAFUBIBLE	
BANCO DE CARGAS RESISITIVAS CONECTADAS EN Y	
SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO 5A	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
LATACUNGA-ECUADOR

PROYECTO:
TESIS
DIBUJO: MEJÍA MARISSA
QUINATOA NELSON

PLANO DE CONEXIÓN PARA MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS
FALLA BIFÁSICA A TIERRA
CONEXIÓN Dy5

REVISO:
ING. XAVIER PROAÑO, MSc

VOLTAJE: 120/120

APROBADO

ESCALA:
1 1.0

REFERENCIA: HOJA 1 DE 1

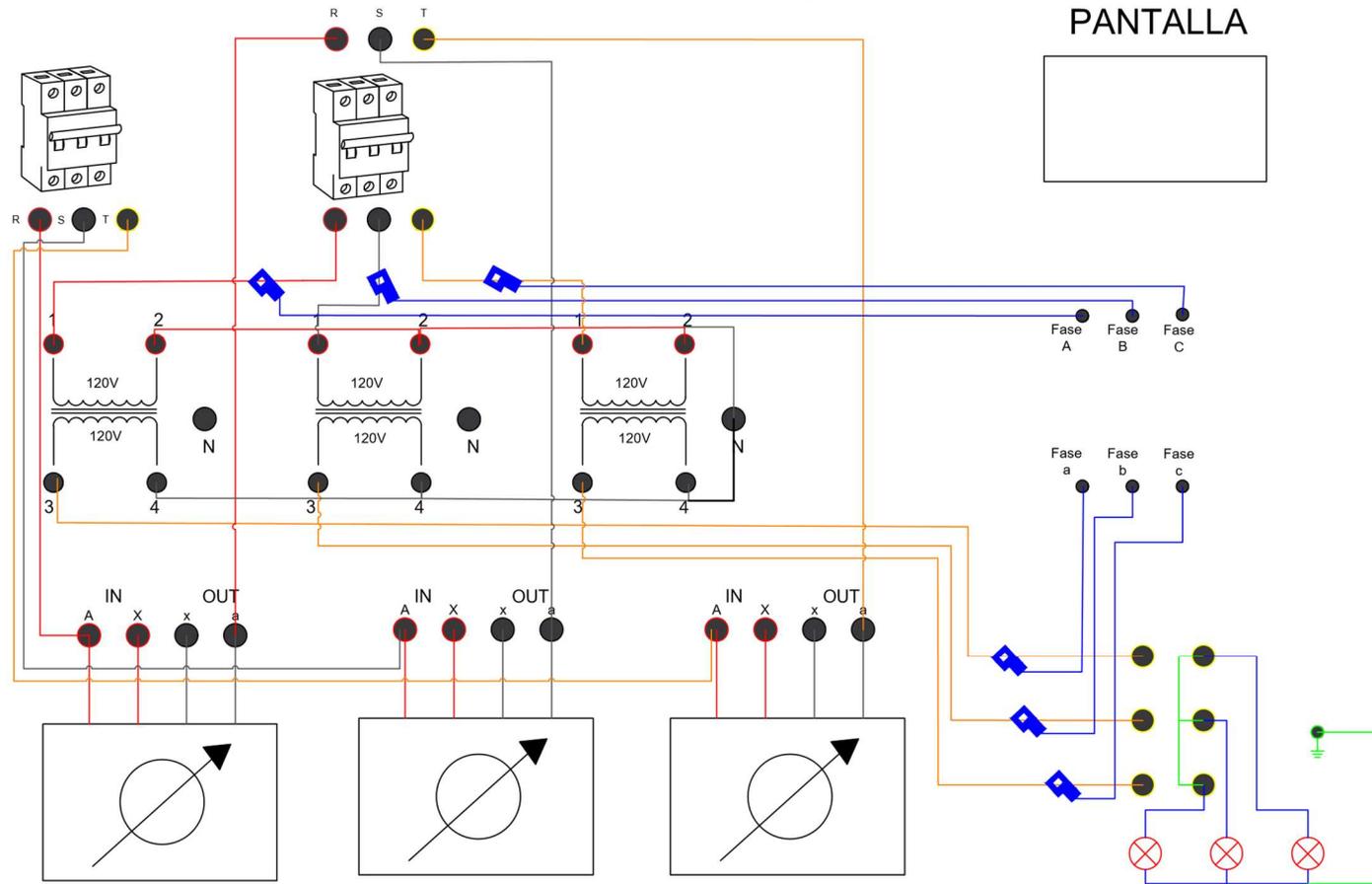
FECHA:
JULIO 2019

PROYECTO N°:

PROYECTO N°: 001

MÓDULO DE PRUEBAS

PANTALLA



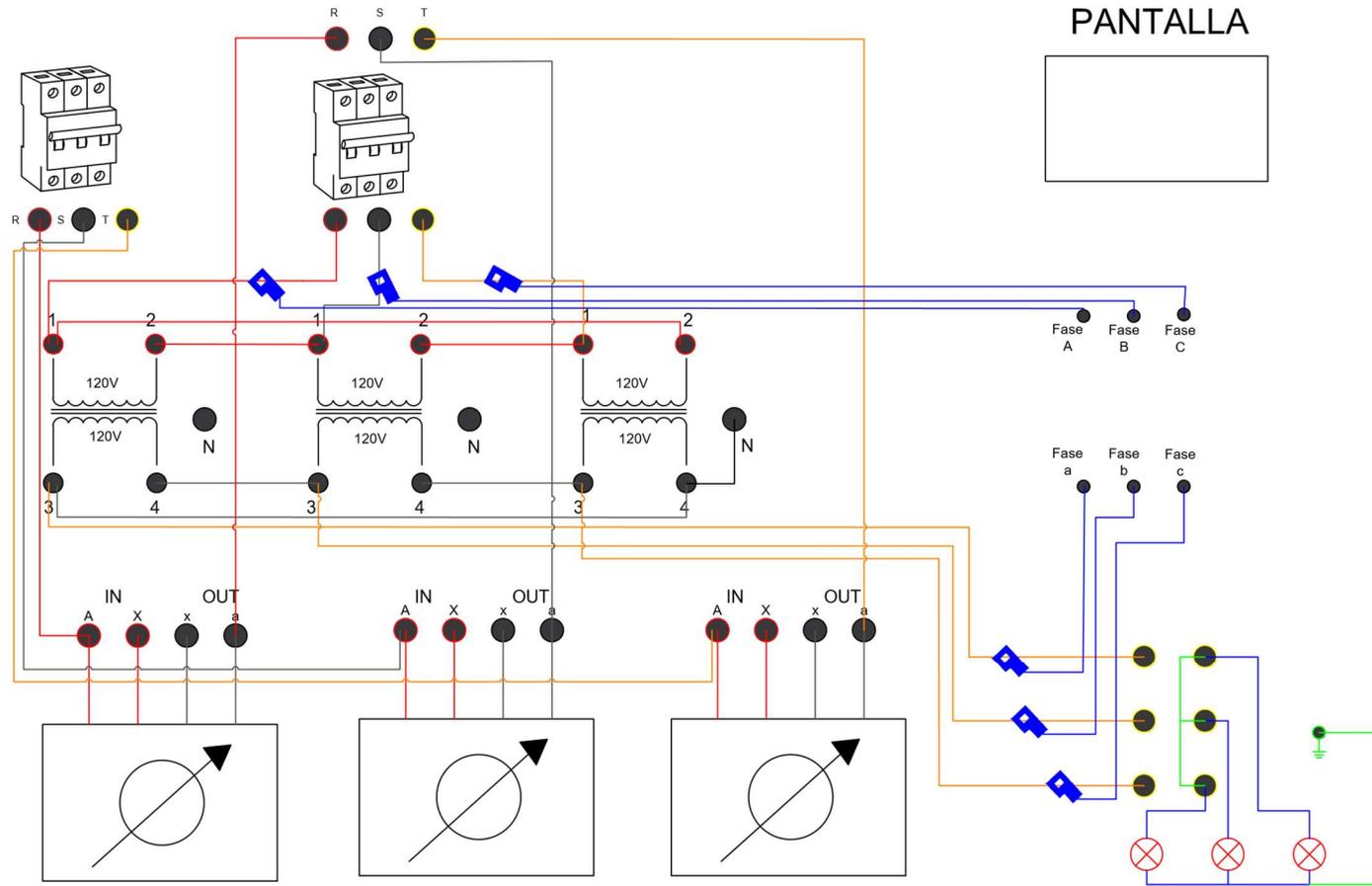
SIMBOLOGÍA

TRANSFORMADOR 120V/120V	
REGULADOR DE VOLTAJE EN AC (VARIAC)	
INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	
PORTAFUBIBLE	
BANCO DE CARGAS RESISITIVAS CONECTADAS EN Y	
SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO 5A	

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI LATACUNGA-ECUADOR	
PLANO DE CONEXIÓN PARA MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS FALLA TRIFÁSICA CONEXIÓN Yy	
PROYECTO: TESIS DIBUJO: MEJÍA MARISSA QUINATOGA NELSON REVISO: ING. XAVIER PROAÑO, MSc APROBADO	VOLTAJE: 120/120 ESCALA: 1 : 1.0 REFERENCIA: HOJA 1 DE 1 PROYECTO N°: PROYECTO N°: 001
FECHA: JULIO 2019	

MÓDULO DE PRUEBAS

PANTALLA



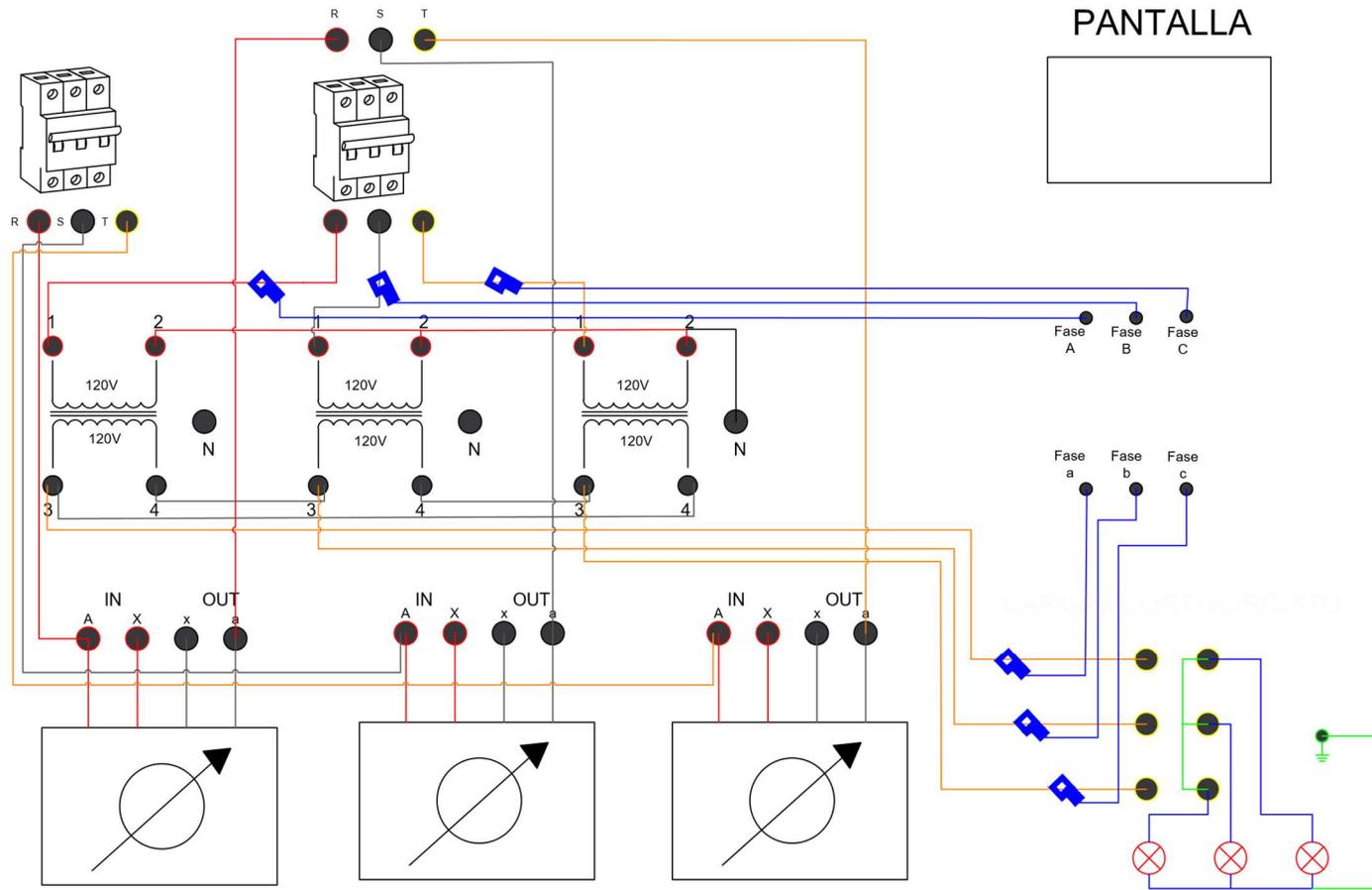
SIMBOLOGÍA

TRANSFORMADOR 120V/120V	
REGULADOR DE VOLTAJE EN AC (VARIAC)	
INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	
PORTAFUBIBLE	
BANCO DE CARGAS RESISITIVAS CONECTADAS EN Y	
SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO 5A	

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI LATACUNGA-ECUADOR	
	PLANO DE CONEXIÓN PARA MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS FALLA BIFÁSICA A TIERRA CONEXIÓN Dd	
PROYECTO: TESIS DIBUJO: MEJÍA MARISSA QUINATGA NELSON	VOLTAJE: 120/120 ESCALA: 1 : 1.0 REFERENCIA: HOJA 1 DE 1	
REVISO: ING. XAVIER PROAÑO, MSc APROBADO	PROYECTO N°:	PROYECTO N°: 001
FECHA: JULIO 2019		

MÓDULO DE PRUEBAS

PANTALLA



SIMBOLOGÍA

TRANSFORMADOR 120V/120V	
REGULADOR DE VOLTAJE EN AC (VARIAC)	
INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	
PORTAFUBIBLE	
BANCO DE CARGAS RESISITIVAS CONECTADAS EN Y	
SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO 5A	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
LATACUNGA-ECUADOR

PROYECTO:
TESIS
DIBUJO: MEJÍA MARISSA
QUINATGA NELSON

PLANO DE CONEXIÓN PARA MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS

FALLA TRIFÁSICA

CONEXIÓN Yd1

REVISO:
ING. XAVIER PROAÑO, MSc

VOLTAJE: 120/120

APROBADO

ESCALA: 1:1.0

REFERENCIA: HOJA 1 DE 1

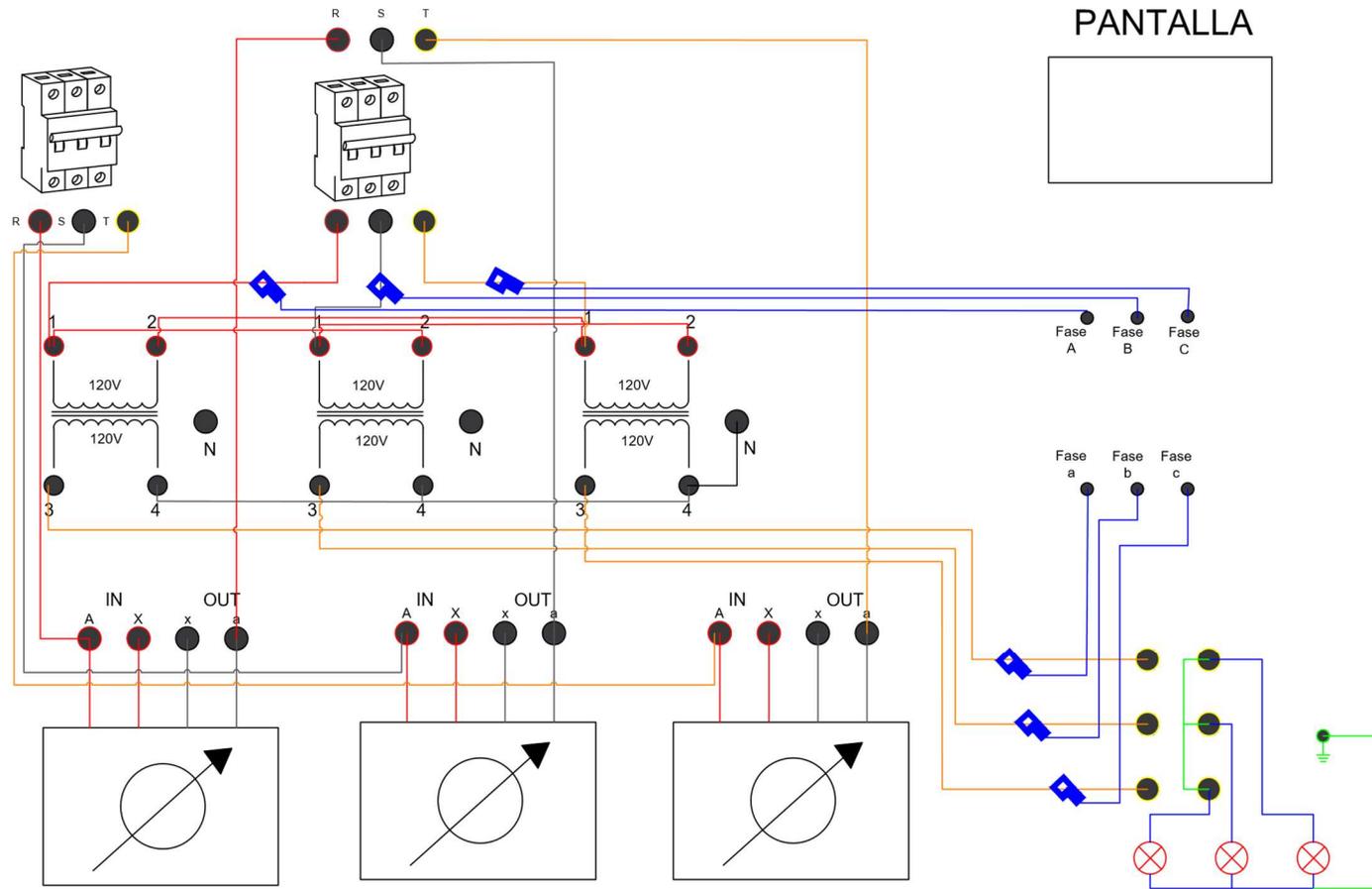
FECHA:
JULIO 2019

PROYECTO N°:

PROYECTO N°: 001

MÓDULO DE PRUEBAS

PANTALLA



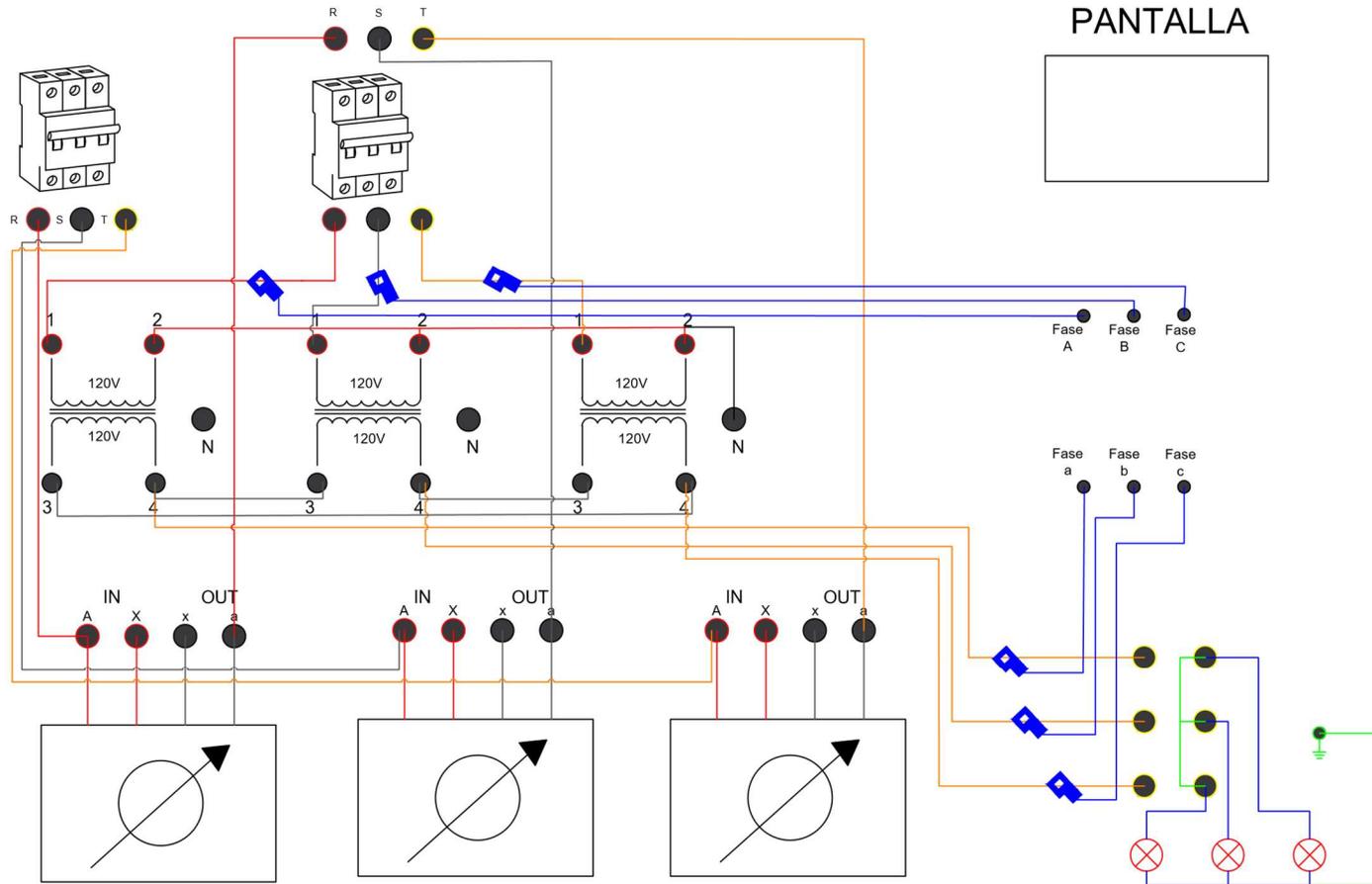
SIMBOLOGÍA

TRANSFORMADOR 120V/120V	
REGULADOR DE VOLTAJE EN AC (VARIAC)	
INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	
PORTAFUBIBLE	
BANCO DE CARGAS RESISITIVAS CONECTADAS EN Y	
SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO 5A	

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	
	LATACUNGA-ECUADOR	
PROYECTO: TESIS	PLANO DE CONEXIÓN PARA MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS	
DIBUJO: MEJÍA MARISSA QUINATGA NELSON	FALLA BIFÁSICA A TIERRA	
REVISO: ING. XAVIER PROAÑO, MSc	CONEXIÓN Dy1	
APROBADO	VOLTAJE: 120/120 ESCALA: 1:1.0	REFERENCIA: HOJA 1 DE 1
FECHA: JULIO 2019	PROYECTO N°:	PROYECTO N°: 001

MÓDULO DE PRUEBAS

PANTALLA



SIMBOLOGÍA

TRANSFORMADOR 120V/120V	
REGULADOR DE VOLTAJE EN AC (VARIAC)	
INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	
PORTAFUBIBLE	
BANCO DE CARGAS RESISITIVAS CONECTADAS EN Y	
SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO 5A	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
LATACUNGA-ECUADOR

PROYECTO:
TESIS
DIBUJO: MEJÍA MARISSA
QUINATOA NELSON

PLANO DE CONEXIÓN PARA MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS
FALLA TRIFÁSICA
CONEXIÓN Yd5

REVISO:
ING. XAVIER PROAÑO, MSc

APROBADO

VOLTAJE: 120/120

ESCALA: 1:1.0

REFERENCIA: HOJA 1 DE 1

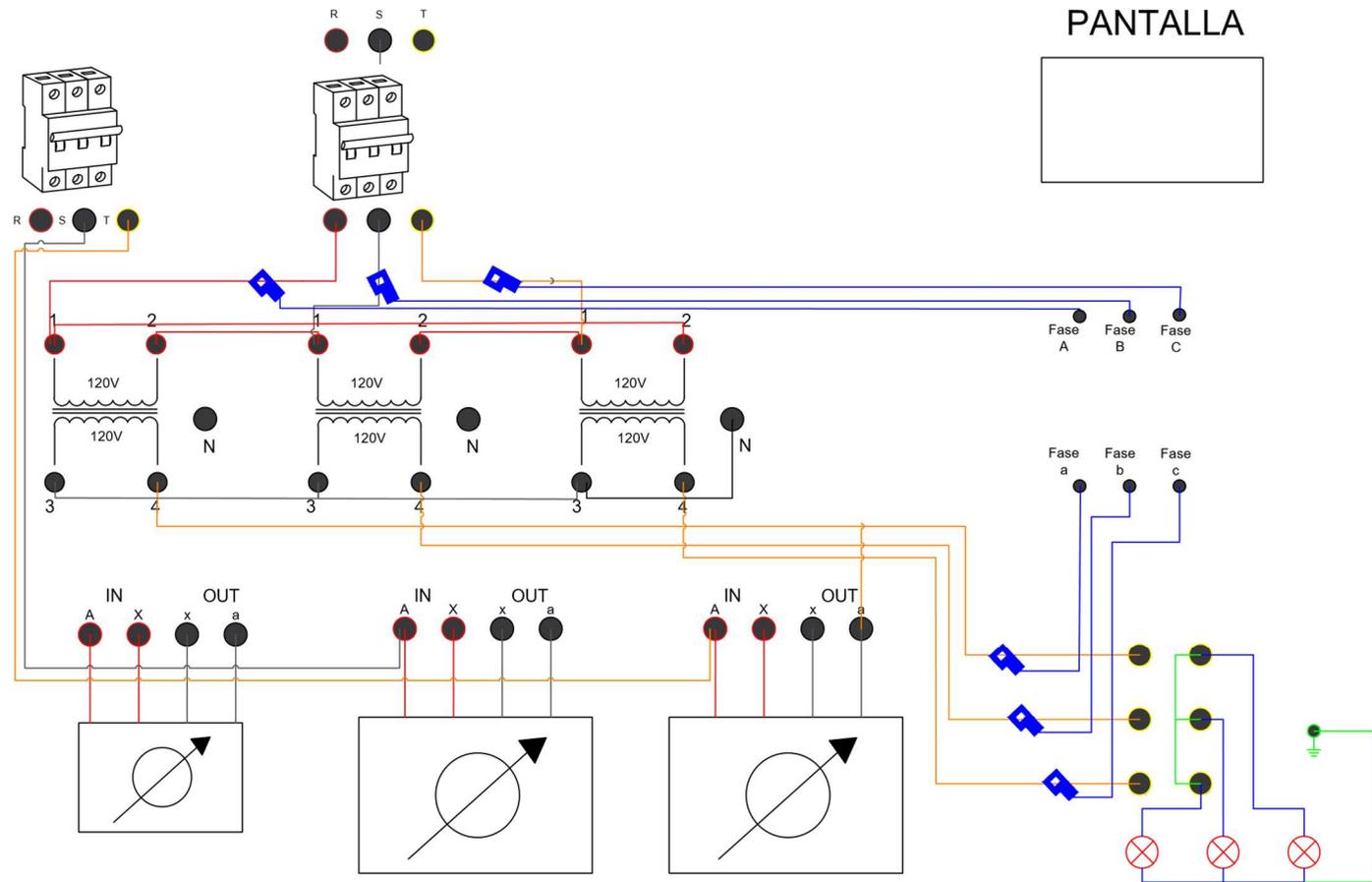
FECHA:
JULIO 2019

PROYECTO N°:

PROYECTO N°: 001

MÓDULO DE PRUEBAS

PANTALLA



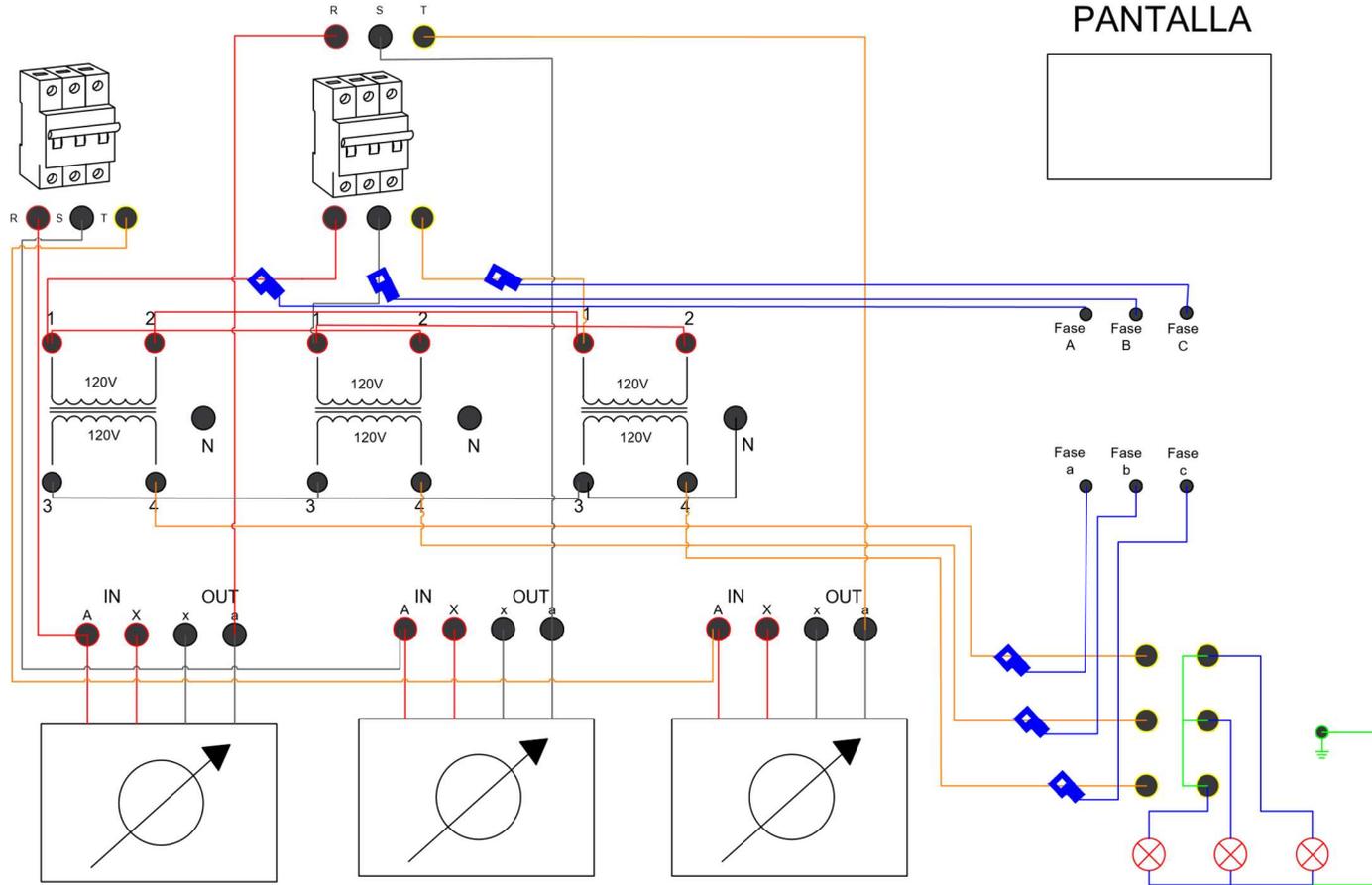
SIMBOLOGÍA

TRANSFORMADOR 120V/120V	
REGULADOR DE VOLTAJE EN AC (VARIAC)	
INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	
PORTAFUBIBLE	
BANCO DE CARGAS RESISITIVAS CONECTADAS EN Y	
SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO 5A	

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI LATACUNGA-ECUADOR	
PLANO DE CONEXIÓN PARA MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS FALLA BIFÁSICA A TIERRA CONEXIÓN Dy5	
PROYECTO: TESIS DIBUJO: MEJÍA MARISSA QUINATOGA NELSON REVISO: ING. XAVIER PROAÑO, MSc APROBADO: FECHA: JULIO 2019	VOLTAJE: 120/120 ESCALA: 1: 1.0 REFERENCIA: HOJA: 1 DE 1 PROYECTO N°: PROYECTO N°: 001

MÓDULO DE PRUEBAS

PANTALLA



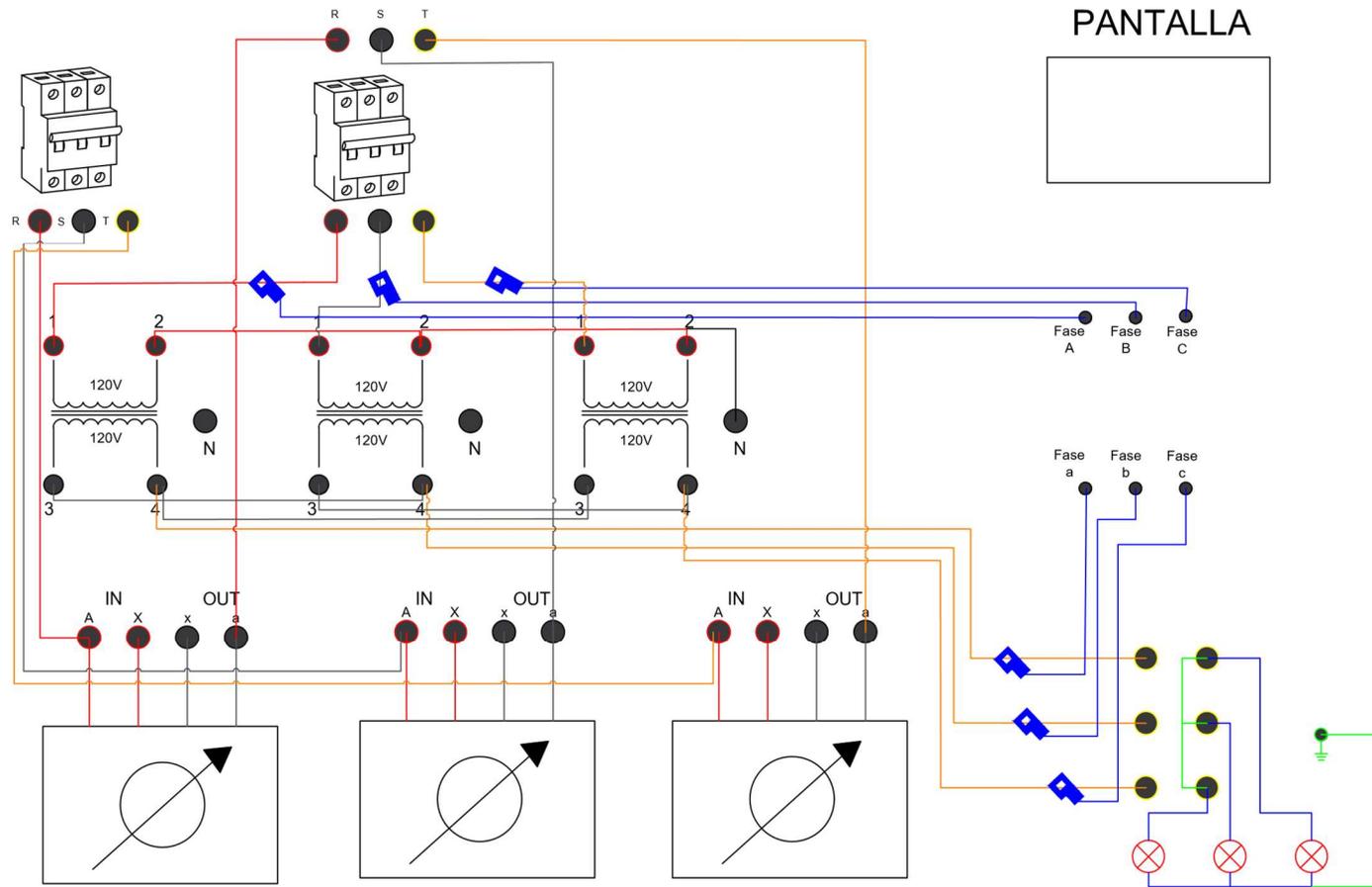
SIMBOLOGÍA

TRANSFORMADOR 120V/120V	
REGULADOR DE VOLTAJE EN AC (VARIAC)	
INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	
PORTAFUBIBLE	
BANCO DE CARGAS RESISITIVAS CONECTADAS EN Y	
SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO 5A	

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI LATACUNGA-ECUADOR	
PLANO DE CONEXIÓN PARA MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS FALLA BIFÁSICA A TIERRA CONEXIÓN Dy7	
PROYECTO: TESIS DIBUJO: MEJÍA MARISSA QUINATOGA NELSON REVISO: ING. XAVIER PROAÑO, MSc. APROBADO	VOLTAJE: 120/120 ESCALA: 1 : 1.0 REFERENCIA: HOJA 1 DE 1
FECHA: JULIO 2019	PROYECTO N°: PROYECTO N°: 001

MÓDULO DE PRUEBAS

PANTALLA



SIMBOLOGÍA

TRANSFORMADOR 120V/120V	
REGULADOR DE VOLTAJE EN AC (VARIAC)	
INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	
PORTAFUBIBLE	
BANCO DE CARGAS RESISITIVAS CONECTADAS EN Y	
SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO 5A	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
LATACUNGA-ECUADOR

PROYECTO:
TESIS
DIBUJO: MEJÍA MARISSA
QUINATGA NELSON

REVISO:
ING. XAVIER PROAÑO, MSc

APROBADO
FECHA:
JULIO 2019

VOLTAJE: 120/120
ESCALA:
1 1.0

REFERENCIA: HOJA 1 DE 1

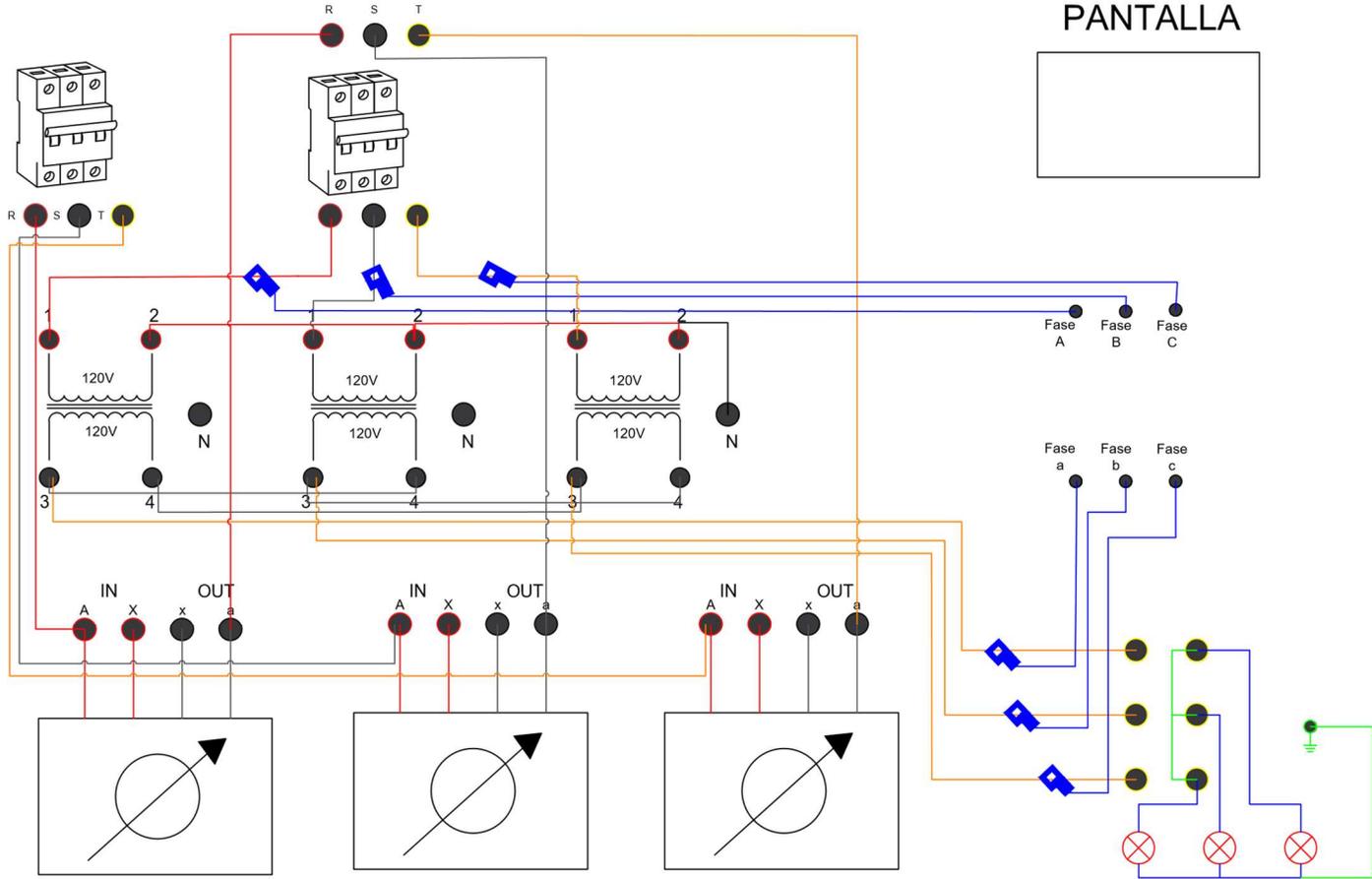
PROYECTO N°:

PROYECTO N°: 001

PLANO DE CONEXIÓN PARA MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS
FALLA TRIFÁSICA
CONEXIÓN Yd7

MÓDULO DE PRUEBAS

PANTALLA



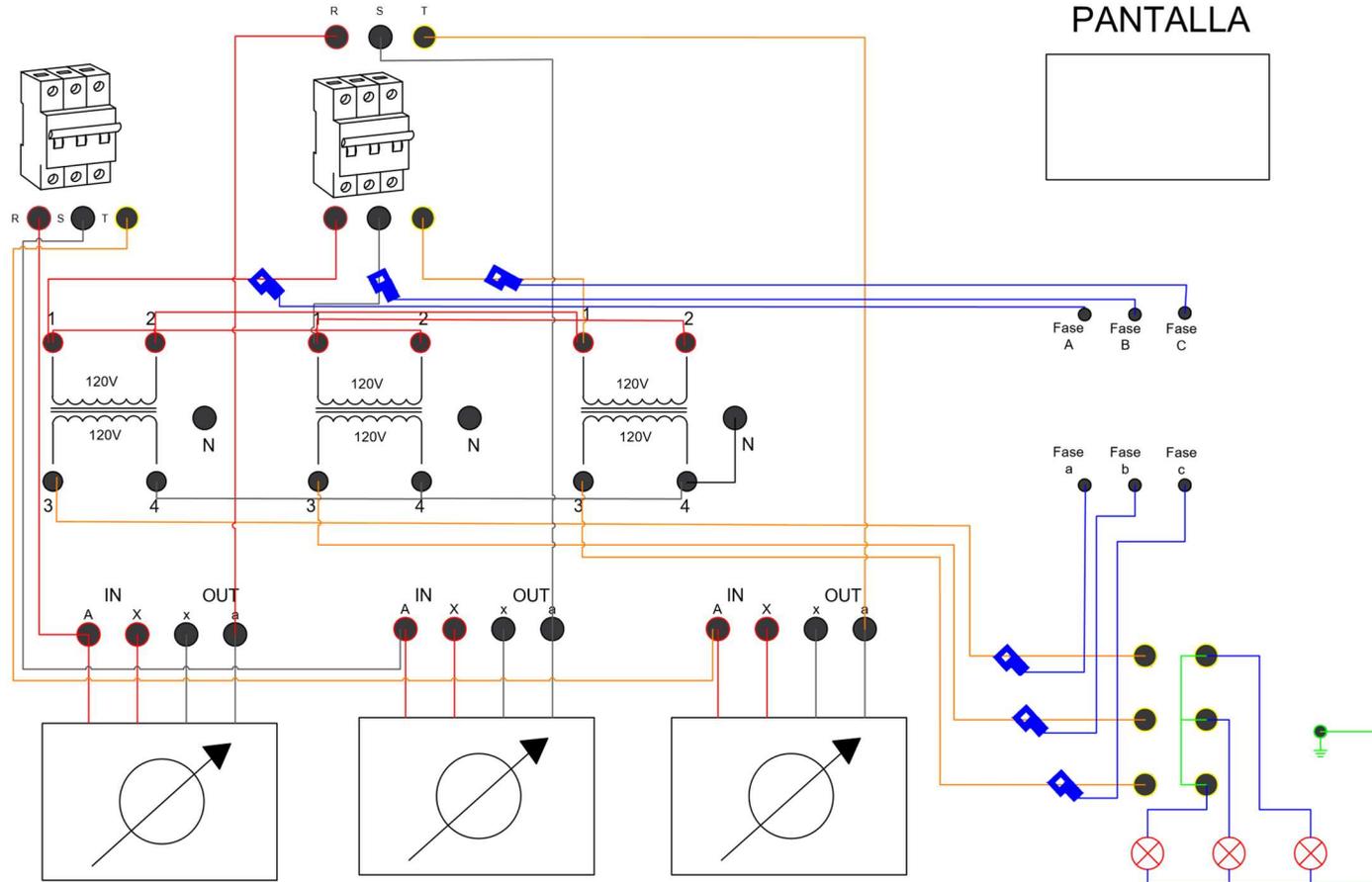
SIMBOLOGÍA

TRANSFORMADOR 120V/120V	
REGULADOR DE VOLTAJE EN AC (VARIAC)	
INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	
PORTAFUBIBLE	
BANCO DE CARGAS RESISITIVAS CONECTADAS EN Y	
SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO 5A	

 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI LATACUNGA-ECUADOR	
PLANO DE CONEXIÓN PARA MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS FALLA TRIFÁSICA CONEXIÓN Yd11	
PROYECTO: TESIS DIBUJO: MEJÍA MARISSA QUINATOGA NELSON REVISO: ING. XAVIER PROAÑO, MSc APROBADO	VOLTAJE: 120/120 ESCALA: 1 : 1.0 REFERENCIA: HOJA 1 DE 1 PROYECTO N°: PROYECTO N°: 001
FECHA: JULIO 2019	

MÓDULO DE PRUEBAS

PANTALLA



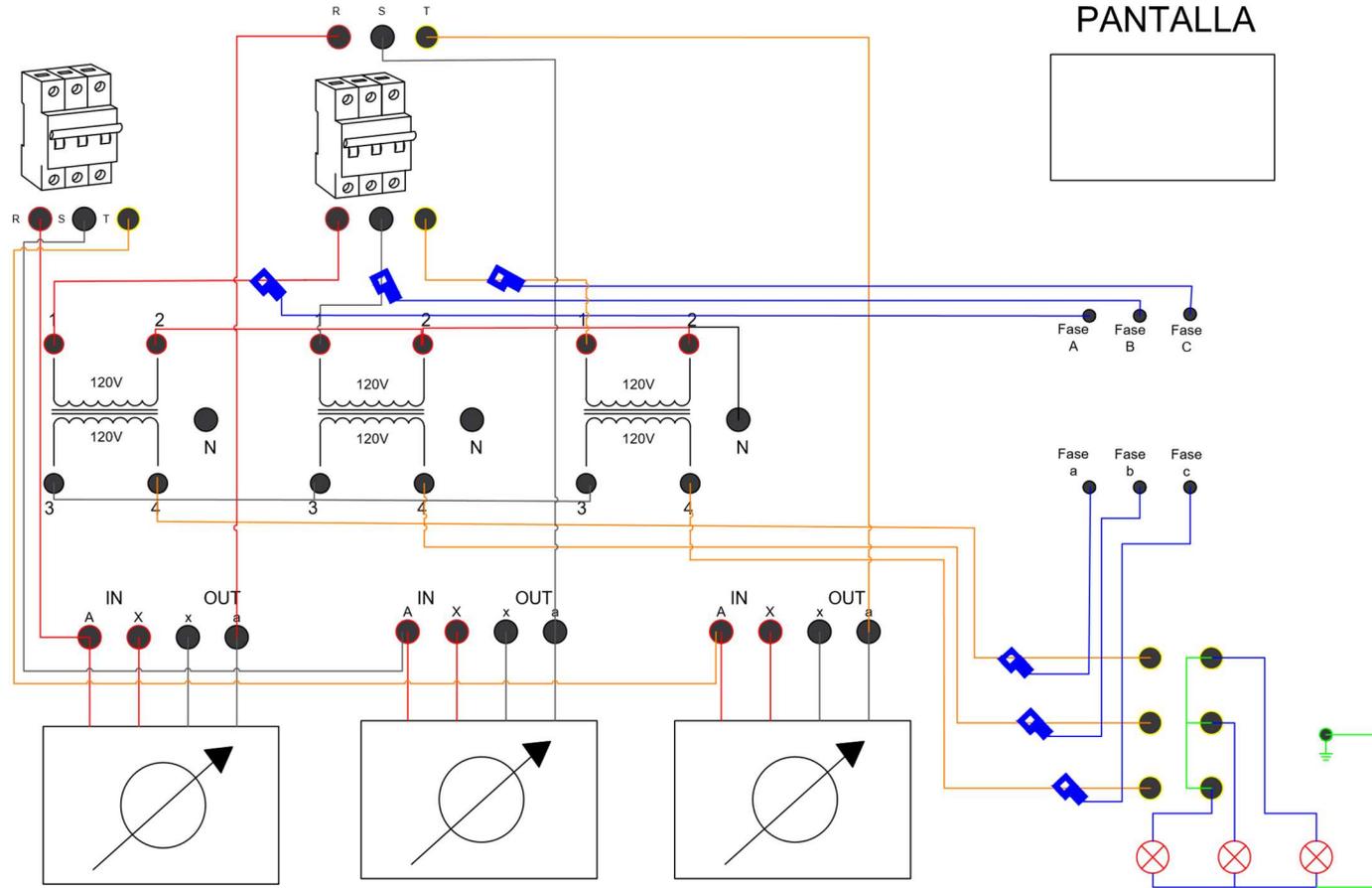
SIMBOLOGÍA

TRANSFORMADOR 120V/120V	
REGULADOR DE VOLTAJE EN AC (VARIAC)	
INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	
PORTAFUBIBLE	
BANCO DE CARGAS RESISITIVAS CONECTADAS EN Y	
SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO 5A	

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	
	LATACUNGA-ECUADOR	
PROYECTO: TESIS DIBUJO: MEJÍA MARISSA QUINATOA NELSON REVISO: ING. XAVIER PROAÑO, MSc APROBADO: FECHA: JULIO 2019	PLANO DE CONEXIÓN PARA MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS FALLA BIFÁSICA A TIERRA CONEXIÓN Dy11	
	VOLTAJE: 120/120	REFERENCIA: HOJA 1 DE 1
	ESCALA: 1:1.0	PROYECTO N°: PROYECTO N°: 001

MÓDULO DE PRUEBAS

PANTALLA



SIMBOLOGÍA

TRANSFORMADOR 120V/120V	
REGULADOR DE VOLTAJE EN AC (VARIAC)	
INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	
PORTAFUBIBLE	
BANCO DE CARGAS RESISTIVAS CONECTADAS EN Y	
SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO 5A	



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
LATACUNGA-ECUADOR

PROYECTO:
TESIS
DIBUJO: MEJÍA MARISSA
QUINATOA NELSON

REVISO:
ING. XAVIER PROAÑO, MSc

APROBADO
FECHA:
JULIO 2019

PLANO DE CONEXIÓN PARA MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS
FALLA TRIFÁSICA
CONEXIÓN Yy6

VOLTAJE: 120/120
ESCALA:
1 1.0

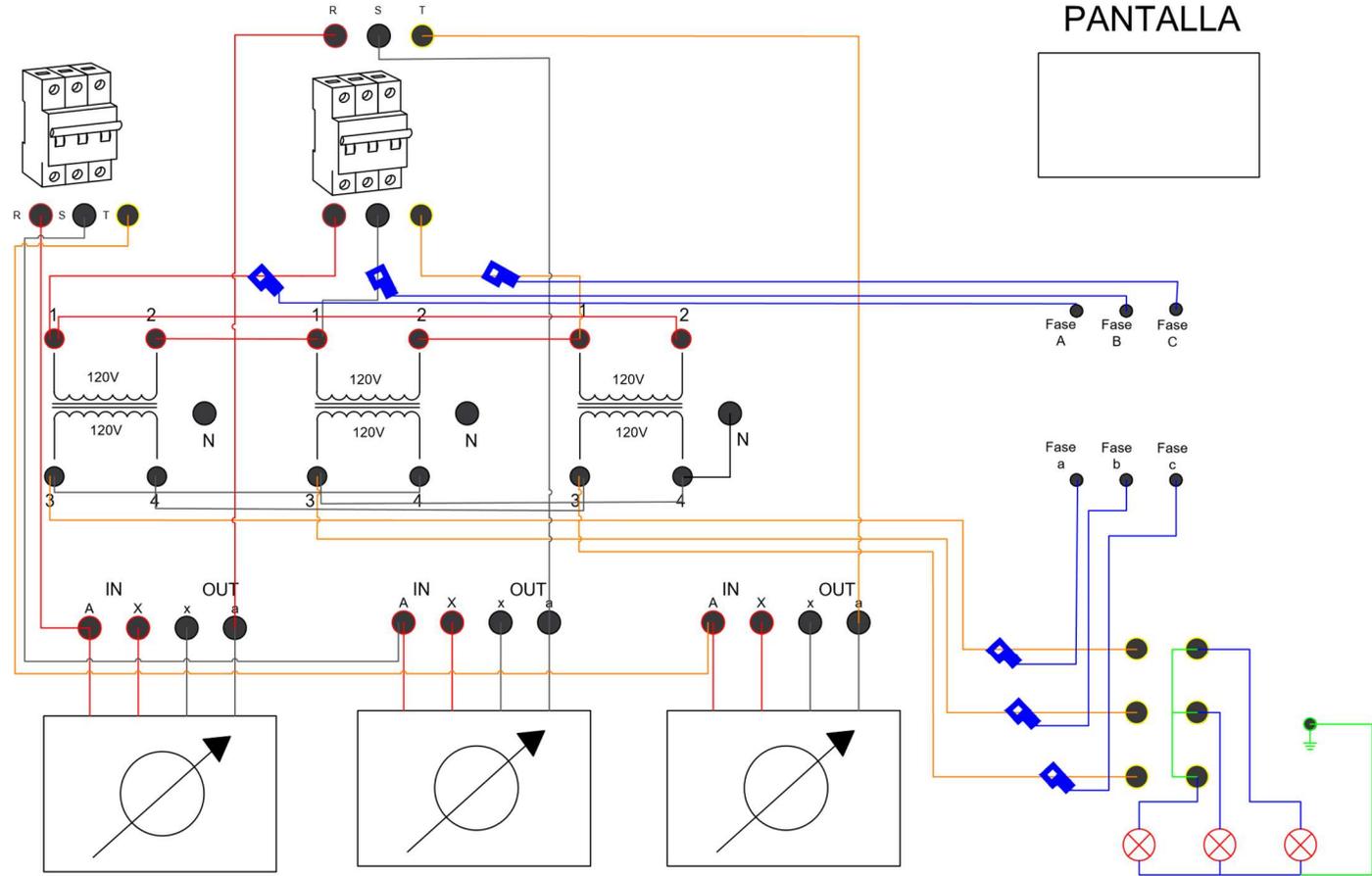
REFERENCIA: HOJA 1 DE 1

PROYECTO N°:

PROYECTO N°: 001

MÓDULO DE PRUEBAS

PANTALLA



SIMBOLOGÍA

TRANSFORMADOR 120V/120V	
REGULADOR DE VOLTAJE EN AC (VARIAC)	
INTERRUPTOR TERMOMAGNÉTICO	
PORTAFUBIBLE	
BANCO DE CARGAS RESISITIVAS CONECTADAS EN Y	
SENSOR DE CORRIENTE NO INVASIVO 5A	

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI	
	LATACUNGA-ECUADOR	
PROYECTO: TESIS	PLANO DE CONEXIÓN PARA MÓDULO DE CORTOCIRCUITOS	
DIBUJO: MEJÍA MARISSA QUINATGA NELSON	FALLA BIFÁSICA A TIERRA	
REVISO: ING. XAVIER PROAÑO, MSc	CONEXIÓN Dd6	
APROBADO	VOLTAJE: 120/120	REFERENCIA: HOJA 1 DE 1
FECHA: JULIO 2019	ESCALA: 1 : 1.0	PROYECTO N°: PROYECTO N°: 001