



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS DE POTENCIA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

TEMA:

“ANÁLISIS DE LA PENDIENTE DE OPERACIÓN DEL RELÉ DIFERENCIAL FRENTE A FALLAS TRIFÁSICAS EN RÉGIMEN PERMANENTE, APLICADO A UN BANCO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS (Yd1)”

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

Autores:

Caiza Jami Robinson Israel

Ramos Araujo Mauricio Xavier

Tutor Académico:

Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado M.Sc.

LATACUNGA – ECUADOR

2019



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **CAIZA JAMI ROBINSON ISRAEL** y **RAMOS ARAUJO MAURICIO XAVIER**, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: “ANÁLISIS DE LA PENDIENTE DE OPERACIÓN DEL RELÉ DIFERENCIAL FRENTE A FALLAS TRIFÁSICAS EN RÉGIMEN PERMANENTE, APLICADO A UN BANCO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS (Yd1)”, 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 mi exclusiva responsabilidad.

.....
Caiza Jami Robinson Israel
C.C: 0503799033

.....
Ramos Araujo Mauricio Xavier
C.C: 1804534657



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

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

“ANÁLISIS DE LA PENDIENTE DE OPERACIÓN DEL RELÉ DIFERENCIAL FRENTE A FALLAS TRIFÁSICAS EN RÉGIMEN PERMANENTE, APLICADO A UN BANCO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS (Yd1)” de los señores CAIZA JAMI ROBINSON ISRAEL y RAMOS ARAUJO MAURICIO XAVIER, de la carrera de Ingeniería Eléctrica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias De la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Febrero, 2019

El Tutor

Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado Ms. C.

C.C. 0502656424

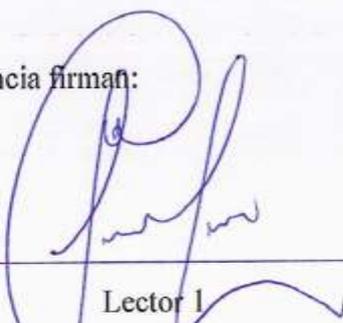
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

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: CAIZA JAMI ROBINSON ISRAEL y RAMOS ARAUJO MAURICIO XAVIER con el título de Proyecto de titulación: “ANÁLISIS DE LA PENDIENTE DE OPERACIÓN DEL RELÉ DIFERENCIAL FRENTE A FALLAS TRIFÁSICAS EN RÉGIMEN PERMANENTE, APLICADO A UN BANCO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS (Yd1)” han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

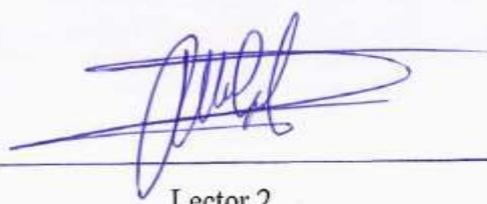
Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Febrero del 2019.

Para constancia firman:



Lector 1
Ing. MSc. Carlos Pacheco Mena
CC: 0503072902



Lector 2
Ing. MSc. William Guamán Cuenca
CC: 0603578956



Lector 3
Ing. MSc. Marco León Segovia
CC: 0502305402



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: **“ANÁLISIS DE LA PENDIENTE DE OPERACIÓN DEL RELÉ DIFERENCIAL FRENTE A FALLAS TRIFÁSICAS EN RÉGIMEN PERMANENTE, APLICADO A UN BANCO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS (Yd1)”** de los señores; CAIZA JAMI ROBINSON ISRAEL y RAMOS ARAUJO MAURICIO XAVIER, realizan la entrega de un Módulo de visualización, monitoreo y adquisición de datos, para el laboratorio de la Carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, Febrero, 2019


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



AGRADECIMIENTO

A Dios, por darme salud y fuerzas para culminar mis estudios.

A mis padres, José y María, quienes confiaron en mí y fueron los pilares fundamentales para culminar los estudios.

A los ingenieros: Xavier Proaño y Edison Velasco, ya que gracias a sus enseñanzas me han facilitado los conocimientos necesarios para hacer posible la culminación de este proyecto.

Robinson Caiza

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por ser mi fortaleza en mi formación académica, a mis padres por ser mi motivación constante y enseñarme que todo sacrificio tiene su recompensa, a mi abuelita que con su amor eterno me formo como persona, a mis hermanas que me ayudaron en cada momento con sus palabras de motivación, a toda mi familia y amigos que siempre estuvieron pendiente de mis estudios.

Un agradecimiento especial a los Ingenieros Xavier Proaño y Edison Velasco los cuales nos apoyaron en la elaboración de nuestro proyecto y en el transcurso de la carrera Universitaria, finalmente un eterno agradecimiento a la Universidad Técnica de Cotopaxi que nos abrió sus puertas para formarnos como profesionales de calidad y nos brindó la oportunidad de superarnos en todo los aspectos de nuestra vida.

Xavier Ramos

DEDICATORIA

A mis padres, José y María, quienes enseñaron que mediante el trabajo duro y la perseverancia se logra cumplir metas, también sus valiosos consejos que han inculcado en mí un espíritu de lucha constante.

A mis hermanos y familiares, con el incondicional apoyo y sus ejemplos han complementado el entusiasmo de conseguir mis metas. Por último todos aquellos que confiaron en mí, para el desarrollo del presente proyecto.

Robinson Caiza

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres Ángel Ramos y Narciza Araujo que me dieron la vida y siempre han estado a mi lado, siendo sus enseñanzas el pilar fundamental.

A mis hermanas Estefanía y Ángeles, a mi abuelita Eva, a mis tíos y amigos los cuales depositaron sus esperanzas en el transcurso de toda mi formación profesional.

Xavier Ramos

ÍNDICE

1. INFORMACIÓN BÁSICA.....	1
2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA	1
2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	1
2.2. TIPO DE ALCANCE	2
2.3. ÁREA DEL CONOCIMIENTO:.....	2
2.4. SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA:.....	2
2.5. OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN:	3
2.5.1. Objeto de estudio	3
2.5.2. Campo de acción.....	3
2.6. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA Y PROBLEMA	3
2.6.1. Situación problemática:	3
2.6.2. Problema:	4
2.7. HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA	5
2.8. OBJETIVO(S)	5
2.8.1. Objetivo general.....	5
2.8.2. Objetivos específicos	5
2.9. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES Y TAREAS PROPUESTAS CON LOS OBJETIVOS ESTABLECIDOS	6
3. MARCO TEÓRICO	8
3.1. Antecedentes.....	8
3.2. Protección diferencial	11
3.2.1. Protecciones diferenciales para transformadores de potencia	12
3.2.2. Funcionamiento del relé diferencial	13
3.3. Factores que afectan la operación del esquema direccional de corriente	15
3.3.1. La selección de los transformadores de corriente	15
3.3.2. El cambio de TAPs en los devanados	15

3.3.3.	Saturación de los TCs	15
3.3.4.	Corrientes de energización (Inrush).....	16
3.4.	Valores de voltaje y corriente rms.....	16
3.5.	El Transformador.....	17
3.5.1.	Partes del Transformador.....	17
3.5.1.1.	Núcleo	17
3.5.1.2.	Devanados	18
3.5.2.	Clasificación de los Transformadores.....	18
3.5.2.1.	Transformador monofásico:	18
3.5.2.2.	Transformador trifásico:.....	18
3.5.3.	Identificación de la polaridad en transformadores monofásicos.....	18
3.5.4.	Conexión de los transformadores trifásicos.....	19
3.5.4.1.	Conexión delta-delta	19
3.5.4.2.	Conexión estrella-estrella.....	20
3.5.4.3.	Conexión estrella –delta.....	20
3.5.4.4.	Conexión delta –estrella.....	21
3.5.5.	Índice Horario	21
3.6.	Principales fallas en Transformadores.....	22
3.6.1.	Fallas en los devanados.....	22
3.6.2.	Fallas en el núcleo.....	22
3.6.3.	Fallas entre fases	23
3.6.4.	Fallas entre espiras de un mismo devanado.....	23
3.6.5.	Fallas en el tanque.....	23
3.6.6.	Sobrecargas y sobrevoltajes.....	23
3.6.7.	Otros problemas comunes en transformadores	23
3.7.	Equipos utilizados para el desarrollo de la interfaz del modulo.....	23
3.7.1.	Arduino Mega 2560 R3	23

3.7.2.	Sensor de corriente de efecto Hall (ACS712).....	25
3.7.3.	Sensor de Voltaje AC ZMPT101B	26
3.7.4.	Relé Arduino.....	27
3.7.5.	RTC.....	27
3.7.6.	Adaptador micro SD para Arduino	28
3.7.7.	Nextion NX8048T070	28
3.7.8.	Interfaz Arduino.....	29
3.7.9.	Interfaz Nextion	29
3.7.10.	GUI (Interfaz Gráfica de Usuario).....	30
4.	Metodología	31
4.1.	Métodos de Investigación.....	31
4.1.1.	Método Analítico	31
4.1.2.	Método Deductivo	31
4.2.	Tipos de Investigación.....	32
4.2.1.	Investigación Descriptiva.....	32
4.2.2.	Investigación Bibliográfica.....	32
5.	ÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	32
5.1.	Diseño del Módulo Relé Diferencial	32
5.2.	Construcción del módulo de relé diferencial MRD-87T	36
5.3.	Programación.....	39
5.4.	Desarrollo de la Pagina Nextion.....	41
5.5.	Análisis de resultados	44
6.	PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO.....	52
6.1.	Presupuesto.....	52
6.2.	Análisis de impactos	53
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	54
8.	REFERENCIAS	55

9. ANEXOS.....	60
----------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3. 1. Diagrama esquemático de un relé diferencial.	11
Figura 3. 2. Protección Diferencial del transformador.	13
Figura 3. 3. Gráfica de la pendiente de operación de un relé diferencial.	14
Figura 3. 4. Señales de voltaje analógico y digital.	16
Figura 3. 5. Ensayo para identificar la polaridad en un transformador monofásico.	18
Figura 3. 6. Polaridades en transformador monofásico: a) Polaridad Adictiva b) Polaridad Sustractiva.	19
Figura 3. 7. Diagrama de conexión delta-delta de un banco de transformador trifásico.....	19
Figura 3. 8. Diagrama de conexión estrella-estrella de un banco de transformador trifásico.	20
Figura 3. 9 Diagrama de conexión estrella-estrella de un banco de transformador trifásico. .	20
Figura 3. 10. Diagrama de conexión estrella-estrella de un banco de transformador trifásico.	21
Figura 3. 11. Triangulo de tensiones que representa el desfase entre el primario y el secundario.....	21
Figura 3. 12. Arduino Mega	24
Figura 3. 13. Sensor de efecto Hall ASC712-20A	25
Figura 3. 14. Sensor de voltaje AC ZMPT101B	26
Figura 3. 15. Relé módulo Arduino.....	27
Figura 3. 16. Reloj para Arduino RTC	27
Figura 3. 17. Adaptador micro SD para Arduino	28
Figura 3. 18. Pantalla touch Nextion NX8048T070.....	28
Figura 3. 19. Programa Arduino.....	29
Figura 3. 20. Selección de la pantalla touch Nextion NX8048T070.....	29
Figura 3. 21. Programa Nextion Edition	30
Figura 3. 22. GUIDE en MatLab.....	31
Figura 5. 1. Diagrama unifilar el modulo rele ifrencial	33
Figura 5. 2. Diagrama del sistema de control del módulo relé diferencial.....	35
Figura 5. 3. Diseño de la ubicación de los equipos que conforman el módulo de relé diferencial	35

Figura 5. 4. Banco trifásico de transformadores.....	36
Figura 5. 5. Identificación de la ubicación de los elementos en la placa baquelita.....	37
Figura 5. 6. Elementos ensamblados en la placa baquelita.	38
Figura 5. 7. Designación de las borneras del relé diferencial.....	38
Figura 5. 8. Instalación de las cargas resistivas al módulo relé diferencial.	39
Figura 5. 9. Diagrama de flujos de la programación del Relé Diferencial.	40
Figura 5. 10. Página de Parámetros de Operación.....	41
Figura 5. 11. Factores de corrección y escalonamiento.....	42
Figura 5. 12. Páginas de visualización de corrientes y voltajes	42
Figura 5. 13. Pendiente de Operación del Relé Diferencial.	43
Figura 5. 14. Gráfica de onda de corriente del lado primario y secundario.	44
Figura 5. 1. Diagrama unifilar del módulo relé diferencial.....	33
Figura 5. 2. Diagrama del sistema de control del módulo relé diferencial.....	35
Figura 5. 3. Diseño de la ubicación de los equipos que conforman el módulo de relé diferencial.....	35
Figura 5. 4. Banco trifásico de transformadores.....	36
Figura 5. 5. Identificación de la ubicación de los elementos en la placa baquelita.....	37
Figura 5. 6. Elementos ensamblados en la placa baquelita.	38
Figura 5. 7. Designación de las borneras del relé diferencial.....	38
Figura 5. 8. Instalación de las cargas resistivas al módulo relé diferencial.....	39
Figura 5. 9. Diagrama de flujos de la programación del Relé Diferencial.	40
Figura 5. 10. Página de Parámetros de Operación.....	41
Figura 5. 11. Factores de corrección y escalonamiento.....	42
Figura 5. 12. Páginas de visualización de corrientes y voltajes	42
Figura 5. 13. Pendiente de Operación del Relé Diferencial.	43
Figura 5. 14. Gráfica de onda de corriente del lado primario y secundario.	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3. 1 Se detalla en resumen de las especificaciones técnicas de Arduino Mega.....	24
Tabla 3. 2 Rangos de corrientes y sensibilidad de sensores de efecto Hall.....	25
Tabla 5. 1. Error del sensor de corriente con una carga de 6.5Ω	45
Tabla 5. 2. Error del sensor de corriente con una carga de 4.20Ω	45
Tabla 5. 3. Error del sensor de corriente con una carga de 3.06Ω	45

Tabla 5. 4. Parametros de operacion del rele diferencial.....	46
Tabla 5. 5. Valores de corriente obtenidas de la pantalla Nextion.	46
Tabla 5. 6. Corrientes de comparación para la actuación de la protección.	46
Tabla 5. 7. Parametros para no operación del relé diferencial.....	49
Tabla 5. 8. Corrientes del modulo relé diferencial multiplicada por los factores de corrección.	49
Tabla 5. 9. Comparación de corrientes en las tres fases.	49
Tabla 5. 10. Parametros de Operación ingresados en el relé diferencial.....	50
Tabla 5. 11. Corrientes balanceadas tomadas del rele diferencial.....	50
Tabla 5. 12. Desvalance en la fase B por incremento de carga.	50
Tabla 5. 13. Actuación de la protección por la diferencia de corriente en la fase B.	51
Tabla 5. 14. Valores de la pendiente de operación.	51
Tabla 5. 15. Las corrientes de las fases se encuentran equilibradas.	51
Tabla 5. 16. Corrientes tomadas de la ventana de pendiente de operación del relé diferencial.	51
Tabla 5. 17. Corrientes del lado secundario cero por la simulación de la falla trifásica.	52
Tabla 5. 18. Incremento de la corriente de operación por la falla trifásica.	52
Tabla 6. 1 Presupuesto de equipos usados para la elaboración del modulo.	53
Tabla 6. 2. Presupuesto de gastos indirectos para la elaboración del módulo.....	53

RESUMEN DEL PROYECTO

TEMA:

“ANÁLISIS DE LA PENDIENTE DE OPERACIÓN DEL RELÉ DIFERENCIAL FRENTE A FALLAS TRIFÁSICAS EN RÉGIMEN PERMANENTE, APLICADO A UN BANCO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICO (Yd1)”

Autores:

Caiza Jami Robinson Israel

Ramos Araujo Mauricio Xavier

En el presente proyecto se construyó un prototipo de relé diferencial que fue implementado en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica junto a banco de transformadores trifásicos y un módulo de cargas resistivas, cuyo objetivo es analizar la pendiente de operación de este relé y desarrollar prácticas didácticas de laboratorio, familiarizando a los estudiantes con los parámetros de calibración del mismo.

En el banco de transformadores trifásicos se realiza la configuración Dy1 para alimentar un módulo de cargas balanceadas resistivas, y poder obtener las corrientes entre los devanados primarios y secundarios del transformador. Estas corrientes son censadas a través del módulo del relé diferencial que envía una señal al relé de protección, siempre que la corriente de operación I_{op} supere a la corriente diferencial de operación mínima I_{dopmin} , el relé actúa desconectando el sistema de alimentación y mostrando las gráficas de las pendientes de cada uno de las fases con sus respectivos valores de corrientes y registra el tiempo en el instante que ocurrió la falla.

Finalmente se elaboró prácticas de laboratorio donde los estudiantes pueden interactuar con el módulo de relé diferencial ingresando los parámetros de operación como son la pendiente, corriente de arranque, límite superior de la gráfica, los factores de corrección y escalonamiento. Al finalizar se elaboró un manual de usuario y guías de prácticas de laboratorio.

Palabras clave: protección, relé diferencial, corriente de operación, pendiente de operación, cargas resistivas, transformadores trifásicos.

THEME:

"ANALYSIS OF THE OPERATING PENDING OF THE DIFFERENTIAL RELAY BEFORE THREE-PHASE FAILURES IN PERMANENT REGIME, APPLIED TO A THREE-PHASE TRANSFORMER BANK (Yd1)"

Authors:

Caiza Jami Robinson Israel

Ramos Araujo Mauricio Xavier

ABSTRACT

In this research a differential relay prototype was built, which it was implemented in the Electrical Engineering laboratory together with a bank of three-phase transformers and a resistive load module, whose objective is to analyze the operating pending of this relay and develop laboratory teaching practices, familiarizing students with the calibration parameters of the same. In the bank of three-phase transformers, it did the Dy1 configuration is made to feed a module of resistive balanced loads, and to obtain the currents between the primary and secondary windings of the transformer. These currents are recorded through the differential relay module that sends a signal to the protection relay, provided that the operating current I_{op} exceeds the minimum operating current I_{dopmin} , the relay acts by disconnecting the power supply system and displaying the slope graphs of the slope of each phases with their respective current values and records the time at the time the fault occurred. Finally, it developed laboratory practices where students can interact with the differential relay module by entering the operation parameters such as the pending, start current, upper limit of the graph, correction and staging factors. At the end, it did user manual and laboratory practice guides.

Keywords: protection, differential relay, operating current, operation pending, resistive loads, three-phase transformers.



Universidad
Técnica de
Cotopaxi

CENTRO DE IDIOMAS

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 el señor Egresado de la Carrera de **INGENIERÍA ELÉCTRICA** de la Unidad Académica de **CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**, **CAIZA JAMI ROBINSON ISRAEL** y **RAMOS ARAUJO MAURICIO XAVIER**, cuyo título versa “ANÁLISIS DE LA PENDIENTE DE OPERACIÓN DEL RELÉ DIFERENCIAL FRENTE A FALLAS TRIFÁSICAS EN RÉGIMEN PERMANENTE, APLICADO A UN BANCO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS (Yd1)”, lo realizó bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

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

Latacunga, febrero del 2019

Atentamente,

SONIA JIMENA CASTRO BUNGACHO
DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS
C.C. 0501974729



CENTRO
DE IDIOMAS

1. INFORMACIÓN BÁSICA.

Propuestos por: Robinson Israel Caiza Jami.

Mauricio Xavier Ramos Araujo.

Tema aprobado:

ANÁLISIS DE LA PENDIENTE DE OPERACIÓN DEL RELÉ DIFERENCIAL FRENTE A FALLAS TRIFÁSICAS EN RÉGIMEN PERMANENTE, APLICADO A UN BANCO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICO (Yd1)

Carrera: Ingeniería Eléctrica

Director de la propuesta tecnológica: Msc. Xavier Proaño.

Equipo de trabajo:

Tutor: Msc. Xavier Alfonso Proaño Maldonado.

Estudiantes: Robinson Israel Caiza Jami.

Mauricio Xavier Ramos Araujo.

Lugar de ejecución:

En el laboratorio de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Tiempo de duración de la propuesta: Octubre 2018 – Febrero del 2019

Fecha de entrega: 21 de Febrero del 2018

Líneas y sublíneas de investigación a las que se asocia la propuesta tecnológica:

Sistema eléctrico de potencia y Protecciones eléctricas.

Tipo de propuesta tecnológica: Diseño y construcción de un prototipo de relé diferencial para la protección de un transformador trifásico.

2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

2.1. TÍTULO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

Análisis de la pendiente de operación del relé diferencial frente a fallas trifásicas en régimen permanente, aplicado a un banco de transformadores trifásico (Yd1).

2.2.TIPO DE ALCANCE

Interdisciplinar: El proyecto se considera de carácter interdisciplinario porque están involucradas algunas de las asignaturas de formación profesional del área de Ingeniería eléctrica como: circuitos eléctricos II, máquinas eléctricas I, sistemas de control y protecciones eléctricas. Las asignaturas mencionadas anteriormente permitirán el diseño y construcción de un prototipo de relé diferencial, aplicando los conocimientos adquiridos en clase.

2.3.ÁREA DEL CONOCIMIENTO:

Ingeniería, industria y construcción.

2.4.SINOPSIS DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA:

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar y construir un prototipo de relé diferencial que será implementado en el laboratorio de Ingeniería Eléctrica para la protección de un banco de transformador trifásico.

Las protecciones en los sistemas eléctricos son de gran importancia para prevenir daños a equipos ocasionados por fallas que alteren la estabilidad del sistema de potencia, es el caso de la protección diferencial tendrá su zona de operación dependiendo de la ubicación de los transformadores de corriente (TC's) en los extremos del elemento que se desea proteger, el principio de operación de la protección diferencial relaciona la diferencia de corrientes entrantes y salientes del elemento a proteger.

Los transformadores son equipos capaces de reducir o aumentar voltajes y son de suma importancia para los sistemas de potencia e industrias, están sujetos a diferentes fallas internas que se pueden producir por diferentes circunstancias entre esas tenemos la falla asimétrica que es la más crítica ocasionando sobre tensiones que afectan a los devanados del transformador por lo tanto es importante contar con elementos de protección que garanticen su normal funcionamiento.

Al producirse una falla externa fuera de la zona de operación se genera una corriente pequeña que circula por los devanados de los transformadores de corriente (TC's) y no influye para la actuación del relé diferencial. Al producirse una falla interna en cualquier lado que este dentro de la zona de operación se genera una diferencia de corrientes entrantes

y salientes lo que causa una corriente diferencial, si la corriente diferencial excede la calibración del relevador, este actuara.

2.5.OBJETO DE ESTUDIO Y CAMPO DE ACCIÓN:

2.5.1. Objeto de estudio

Implementar un prototipo de relé diferencial para la formación académica y desarrollo de las habilidades y capacidades de los estudiantes.

2.5.2. Campo de acción

Práctico: el prototipo de relé diferencial permitirá simular una falla simétrica en un banco de transformadores trifásico con la configuración Yd1 y calibrar la pendiente para verificar la operación del mismo.

2.6.SITUACIÓN PROBLEMÁTICA Y PROBLEMA

2.6.1. Situación problemática:

La protección diferencial es muy utilizada en generación, transmisión y distribución a nivel industrial. La protección del relevador 87T es una protección diferencial que actúa cuando se produce una falla interna dentro de la zona de operación del transformador, el funcionamiento se basa en comparar la magnitud de las corrientes y ángulo de fase que entran y salen del transformador de potencia por medios de sus TC's de alta y baja, cuando se tenga corrientes de igual magnitud en las bobinas del relé diferencial estas se anularan es decir no habrá diferencia de corriente que hagan operar a la protección diferencial. Para minimizar el impacto del daño de una falla interna es importante contar con una repuesta eficaz del sistema de protección.

La utilidad de los transformadores de Potencia en sistemas eléctricos, son importantes ya que se puede cambiar la amplitud del voltaje, aumentándola para ser más económica la transmisión y disminuyendo para una operación más segura en los equipos, y esta propenso a sufrir fallas eléctricas que afectan el funcionamiento del transformador. Fallas en el Transformador ocurren debido falla de asilamiento, envejecimiento de aislamiento, recalentamiento debido a sobre-excitación, contaminación del aceite, fuga o reducción de enfriamiento.

Las fallas son situaciones de una magnitud y gravedad muy superiores a las perturbaciones, y que puede causar daños serios en los equipos afectados. Los transformadores de potencia están propensos a sufrir fallas externas e internas, el relé diferencial (87 T) detecta anomalías internas entre las cuales tenemos: Fallas a tierra en los devanados, este tipo de fallas originan peligrosas corrientes que pueden dañar su aislamiento. Fallas en el núcleo se deben al flujo de corrientes parásitas por la lámina del núcleo, estas corrientes tienen la magnitud suficiente para producir un sobrecalentamiento que incluso puede afectar a los devanados. Fallas entre fases son muy probables que ocurran, pero si se presenta producen corrientes similares a los originados en las fallas a tierra. Fallas entre espiras de un mismo devanado se produce por pérdidas de aislamiento entre los devanados del transformador por esfuerzos, debido a altos voltajes inducidos en los devanados. Sobrecargas y sobrevoltajes sucede principalmente por fallas externas al transformador, cuando no son despejados adecuadamente por sus respectivos equipos de protección.

La Universidad Técnica de Cotopaxi una Institución de Educación superior con trayectoria investigativa y científica, cuenta con la Facultad de “CIYA” Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, formada por 4 carreras técnicas, en la cual tenemos a la Carrera de Ingeniería Eléctrica donde surge la necesidad de complementar los conocimientos teóricos con los prácticos. El contenido del pensum académico de la asignatura de Protecciones Eléctricas cuenta con su laboratorio de protecciones eléctricas donde los estudiantes realizan prácticas de cátedra, pero existe carencia de maquinaria técnica apta para su desarrollo como futuro profesional por tal motivo no se puede ejercer los conocimientos adquiridos en el aula al 100 % causando esto un gran déficit en su aprendizaje técnico. Al ser detectado el problema es importante implementar un módulo de pruebas con la finalidad de aportar con material especializado y técnico a la carrera y permitir a la misma formar profesionales con habilidades y destrezas tecnológicas de alto nivel competitivo con la capacidad solventar necesidades de la sociedad y el campo laboral.

2.6.2. Problema:

No contar con un equipo que permita ingresar parámetros de parametrización del relé diferencial, aplicando a un transformador trifásico para ver los efectos que producen cuando se realiza una mala calibración.

2.7.HIPÓTESIS O FORMULACIÓN DE PREGUNTA CIENTÍFICA

El relé diferencial permitirá visualizar la pendiente de operación mediante la corriente de falla simétrica en un transformador trifásico con la configuración Yd1.

2.8.OBJETIVO(S)

2.8.1. Objetivo general

Construir un prototipo de relé diferencial que permita parametrizar su pendiente de operación en régimen permanente para validar su funcionamiento frente a una falla trifásica.

2.8.2. Objetivos específicos

- Realizar una investigación bibliográfica para comprender el funcionamiento de la protección diferencial.
- Implementar un banco de transformadores trifásicos con la configuración (Yd1) para el análisis de las corrientes de falla trifásica.
- Implementar un prototipo de relé diferencial que permita evaluar sus valores de corriente para proteger el banco de transformadores trifásico.

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

OBJETIVO	ACTIVIDADES	RESULTADOS	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD
<p>1) Realizar una investigación bibliográfica para fortalecer el conocimiento sobre el relé diferencial.</p>	<p>1.1. Investigar sobre la operación del relé diferencial, cuando sucede una falla interna en un transformador. 1.2. Tipos de fallas internas en un transformador trifásico.</p>	<p>Información actual y precisa que ayudo para la elaboración del marco teórico.</p>	<p>Investigación en libros de protecciones eléctricas, tesis de grado, artículos científicos.</p>
<p>2) Implementar un banco de transformadores trifásicos con la configuración Yd1 para el análisis de las corrientes de falla trifásica.</p>	<p>2.1. Adquirir tres transformadores monofásicos. 2.2. Construir un banco de transformadores trifásico con la configuración Yd1. 2.3. Montar un módulo de cargas resistivas.</p>	<p>Un banco de transformadores trifásico con la configuración Yd1 conectado a al módulo de cargas resistivas.</p>	<p>Calculo de las corrientes del primario y secundario de los transformadores monofásicos, para implementar las cargas resistivas según la capacidad de los transformadores.</p>

<p>3) Implementar un prototipo de relé diferencial que permita evaluar sus valores de corriente para proteger el banco de transformadores trifásico.</p>	<p>3.1. Diseñar un prototipo de relé diferencial. 3.2. Programar en el software de Arduino, Nextion y Matlab. 3.3. Calibrar el relé diferencial. 3.4. Simular una falla 3Ø con cargas resistivas. 3.5. Evaluar el comportamiento del relé diferencial.</p>	<p>Un prototipo de relé diferencial que permite simular fallas y proteger al banco de transformadores trifásico.</p>	<p>Conexión de los sensores y programación en la tarjeta Arduino Mega. Medición de voltaje y corriente para obtener las magnitudes en rms, aplicando la fórmula de voltaje instantáneo. Diseño del HMI en la pantalla Nextion y Matlab para visualizar los valores de voltaje y corriente. Calibración del relé diferencial mediante parámetros de operación. Representación gráfica de la pendiente de operación.</p>
--	--	--	--

3. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

En la Provincia de Pichincha Cantón Mejía Parroquia de Cutuglagua: se realizó la "Implementación de un sistema de protección mediante relés digitales multifuncionales para el generador y transformador de la unidad #3 de la Central Termoeléctrica Santa Rosa, parroquia Cutuglagua, cantón Mejía de la Provincia de Pichincha en el periodo 2015". Este proyecto fue desarrollado e implementado por la Carrera de Ingeniería Eléctrica perteneciente a la Facultad de CIYA de la Universidad Técnica de Cotopaxi donde se realizó cambios de relés electromecánicos a relés digitales multifuncionales los cuales están estructurados relé de sobrevoltaje 59G, relé de potencia inversa 32G, relé de pérdida de excitación 40G, relé de carga asimétrica 46G, relé de compensador y otro relé digital multifuncional BE1-11G remplazara solo al relé diferencial del generador 87G y el ultimo relé digital multifuncional BE1-11T es para el transformador que reemplazara al relé de sobre corriente instantáneo y temporizado 50T/51T, relé diferencial 87T y relé de falla a tierra 64G [1] .

De igual manera la Carrera de Electromecánica se realizó: "Diseño de un sistema de protección para el generador eléctrico de la Universidad Técnica de Cotopaxi la Mana", donde se ejecutó la implementación de un sistema de protección para un generador de emergencia a diésel. Las protecciones eléctricas constituyen un sistema indispensable para todo tipo de instalación eléctrica por lo tanto instalaron un relé multifuncional para proteger al generador debido a las anomalías que se presentan en la red [2].

Se desarrolló la "Planificación de expansión, estudio de coordinación y ajuste de protecciones del sistema occidental de ELEPCO S.A.", proyecto ejecutado por la Facultad de CIYA Carrera de Eléctrica de la Universidad Técnica de Cotopaxi donde se realizó un estudio en que los equipos y cargas que se encuentran a lo largo de cada circuito, sean protegidos de manera adecuada y segura; las protecciones deben presentar los ajustes necesarios, para que los sistemas actúen de manera rápida, efectiva y selectivamente en la detección, ubicación y despeje de la falla. Después de realizar el estudio de coordinación se recomienda a la empresa ELEPCO S.A. realizar los cambios propuestos [3].

La Escuela Politécnica Nacional explica que se realizó un: “Estudio de coordinación de protecciones en el sistema de subtransmisión a 46 kV de la Empresa Eléctrica Quito considerando la conexión en paralelo de los transformadores T1 y T2 de la subestación Vicentina y la puesta en servicio de la línea Miraflores – Pérez Guerrero”. Esta referencia expresa que realizó un estudio para mejorar la seguridad y aumentar los índices de confiabilidad en un sistema de subtransmisión a 46 kV, realizando la coordinación de protecciones en líneas de subtransmisión y transformadores de potencia que son afectados por el cambio topológico de las instalaciones eléctricas [4].

En la Escuela Politécnica Nacional se investigó: sobre el funcionamiento de la “PROTECCIÓN DIGITAL DIFERENCIAL Y FRECUENCIA”, existentes en el Laboratorio de Protecciones Eléctricas de la EPN y desarrollaron prácticas didácticas para el laboratorio, también presentaron conceptos generales de tipos de fallas que suceden en un transformador de potencia y las respectivas protecciones que existen para cada uno de ellos, de igual manera explicaron el funcionamiento y del relé diferencial., También realizaron una descripción detallada de las partes constitutivas para el funcionamiento de los relés diferencial SPAD 346 C y de frecuencia SPAF 340 C3, además detallaron las condiciones para una correcta operación del relé digital [5].

En la Escuela Politécnica Nacional se realizó un “Estudio de Coordinación de Protecciones para la línea de transmisión de tres terminales Maduriacu-Santo Domingo-Los Bancos a 69 kV”, en el estudio analizaron el principio de operación de la protección de sobrecorriente, protección diferencial y la protección de distancia estos sistemas son usados en líneas de transmisión. Las protecciones fueron seleccionadas debido a que brindan una respuesta oportuna ante una eventual falla y una coordinación eficiente para proteger las líneas de transmisión [6].

En la Escuela Politécnica Nacional se realizó un estudio de “Modelación y análisis de la protección diferencial de barras de baja impedancia, aplicado a la barra de 69 kV de la S/E Machala”, la protección diferencial tiene gran aplicación para la protección de las barras, llegando a determinar los ajustes para estados diferentes del sistema, tales como energizaciones, fallas externas e internas a la zona de protección del relé. Los relés implementados emularon a los relés numéricos, usando señales analógicas, que obtenga de los transformadores de corriente, el equipo de protección de que utilizaron en la barra de baja impedancia 7SS60 SIPROTEC de marca SIEMENS [7].

En la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil se realizó el “Diseño de un módulo para protección diferencial de transformadores”, en el proyecto realizaron la implementación de un prototipo de protección diferencial de transformadores, utilizando equipos de medición como analizador de redes, transformadores de corriente y un relé de protección diferencial de corriente tipo Sel 587, el cual protegerá contra sobrecorrientes y la diferencia de corrientes que puede existir entre el lado primario y secundario del transformador de potencia, también el módulo fue creado con fines didácticos para la protección diferencial entre una falla interna y externa en los devanados de los transformadores., adicionalmente realizaron un manual de 12 prácticas experimentales que podrán realizar en el módulo de protección diferencial de transformadores [8].

En la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil realizaron un “Análisis matemático y simulación en Matlab de la protección diferencial en transformadores de potencia”, en el proyecto realizaron un modelo matemático para la simulación en el programa Matlab sobre la protección diferencial para transformadores de potencia, tendrá como objetivo simular las condiciones de operación del equipo de protección (SEL 587), el mismo equipo fue adquirido de una subestación., el equipo beneficia a los estudiantes que están cursando el último ciclo de la carrera de ingeniería eléctrica a fortalecer el conocimiento y analizar una falla interna, externa del lado primario o secundario del transformador [9].

En la Universidad Politécnica Salesiana se realizó un “Diseño y construcción de un módulo didáctico de protecciones de redes de distribución en sistemas eléctricos de potencia”, la finalidad del proyecto fue diseñar un módulo didáctico de protecciones de redes de distribución en sistemas eléctricos de potencia que permita realizar la calibración adecuada para que los relés entren en funcionamiento cuando suceda una eventual perturbación ocasionadas por fallas en el sistema eléctrico, el módulo cuenta con la protección diferencial de corriente (87 T) y la protección de sobre corriente (50/51) donde trabajan con datos reales para la simulación [10].

En la Escuela Superior Politécnica del Litoral realizaron un estudio de “Coordinación de las protecciones de la subestación de distribución del sistema de Guayaquil”, el trabajo realizaron con la finalidad de coordinar las protecciones de la subestación de distribución de energía eléctrica Garzota, utilizaron equipos tecnológicos como computadoras que brindó una confiable presión y reajuste en el sistema, también realizaron el estudio de flujos de potencia para conocer el estado actual de la operación de la subestación como potencia demanda, voltaje en las barras, carga en el transformador y conductores todos

estas simulaciones lo realizaron con la ayuda del software Power World Simulador. También describen la protección diferencial en transformadores de potencia de la subestación, donde indican las funciones de los relés, ajustes y calibración que requiere el relé de sobre corriente [11].

En la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca realizaron el “Desarrollo del algoritmo para la protección diferencial de transformadores de potencia aplicado a la subestación Azogues II, utilizando la transformada de Fourier”, diseñaron un modelo matemático con la transformada discreta de Fourier para el bloque de armónicos para proteger al transformador de potencia de fallas internas, ya también bloqueando la desconexión cuando se exista energización y sobreexcitación, los cuales presentan efectos similares a una falla [12].

3.2. Protección diferencial

En los sistemas eléctricos de potencia las protecciones diferenciales basan su funcionamiento en la comparación de las corrientes que entran y salen de un transformador o de un equipo. Su aplicación tiene pocas limitaciones, siendo la principal de ellas, la distancia que separa a los transformadores de corriente, ya que más separados se encuentren mayor será el burden que representa los conductores de interconexión. Por razones prácticas y económicas, el relé diferencial se usa para la protección de máquinas síncronas y asíncronas, transformadores de potencia, barras de subestación (SS/EE) y líneas siempre que su potencia sea importante sobre unos 5 a 8 MVA [13, p. 107].

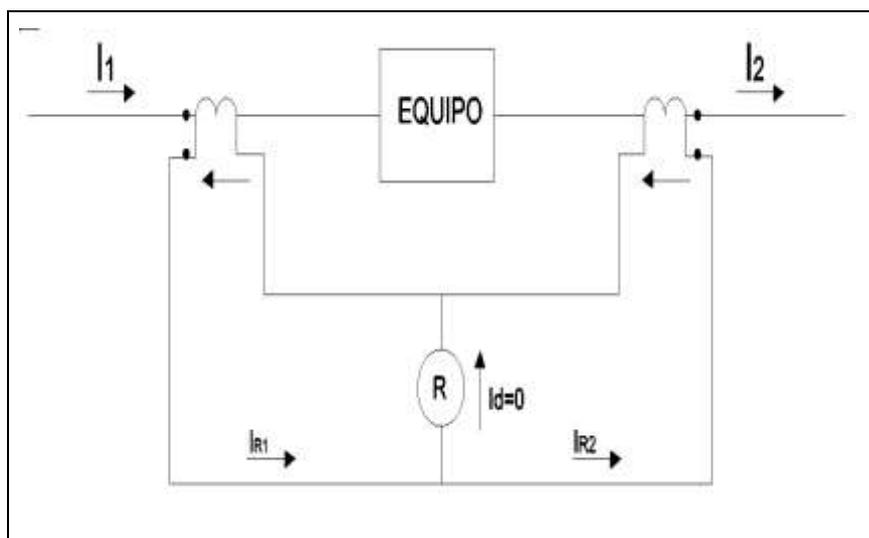


Figura 3. 1. Diagrama esquemático de un relé diferencial.

Fuente: [13]

En el esquema de la Figura 3.1 se puede apreciar que la corriente que detecta el relé diferencial R, en las condiciones indicadas, es igual a cero. Al ocurrir una falla, sea monofásica, bifásica o trifásica, en la zona protegida (entre los TT/CC), se produce un desequilibrio que hace fluir una corriente diferencial I_d distinta de cero, por el relé R, de modo que este da la orden de abrir el interruptor correspondiente [13, p. 107].

Según los estudios realizados por [13] los sistemas eléctricos de potencias (SEP), están propensos a sufrir fallas o perturbaciones que afectan el funcionamiento de los equipos que se encuentran conectados a la red, por lo tanto es necesario utilizar elementos de protección. La protección diferencial compara por medio de los transformadores de corriente (TCs), la intensidad de corriente que circula por los extremos del equipo a proteger.

3.2.1. Protecciones diferenciales para transformadores de potencia

“Cuando los transformadores son de gran potencia por encima de 5 a 10 MVA, se emplea el esquema diferencial. Este esquema tiene carácter absoluto, es decir solo actúa para cortocircuitos internos entre los dos interruptores que protegen el transformador” [14, p. 83].

Un sistema diferencial puede proteger un transformador de manera efectiva debido a la fiabilidad inherente de los relés, que son altamente eficientes en operación, y al hecho de que se desarrollan amperios-vueltas equivalentes en los devanados primario y secundario del transformador. Los TCs en los lados primario y secundario del transformador están conectados de tal forma que forman un sistema de corriente circulante, como se ilustra en la Figura 2. Las fallas en los terminales o en los devanados se encuentran dentro de la zona de protección del transformador y deben despejarse lo más rápido posible para evitar el estrés interno y el peligro de incendio. La mayoría de las fallas internas que ocurren en los devanados son a tierra (a través del núcleo) o entre giros, dependiendo de la severidad del diseño del transformador y el tipo de puesta a tierra [15, p. 167].

La protección diferencial también puede detectar y eliminar fallas de aislamiento en los devanados del transformador. La principal causa de estas fallas es el arco dentro de los bushings y las fallas en el cambiador de tomas. Este tipo de protección no solo responde a fallas de fase a fase y de fase a tierra, sino también en cierto grado a fallas entre giros. Sin embargo, las fallas de fase a fase entre los devanados de un transformador trifásico

son menos comunes. Una falla interna que no constituye un peligro inmediato se designa como una falla incipiente y, si no se detecta a tiempo, podría degenerar en una falla mayor. Las principales fallas en este grupo son las fallas del núcleo, causadas por el deterioro del aislamiento entre las laminaciones que forman el núcleo [15, p. 167].

3.2.2. Funcionamiento del relé diferencial

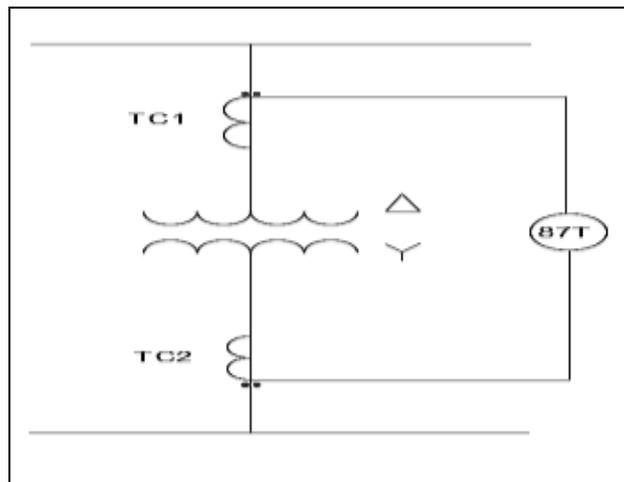


Figura 3. 2. Protección Diferencial del transformador.

Fuente: Autores

La corriente del secundario:

$$I_s = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_L} \quad (3.1)$$

$$I_2 = I_s$$

Donde:

I_2 es la corriente del secundario del transformador.

S es la potencia del transformador o carga

V_L es el voltaje de línea del secundario

La corriente del primario:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \times V_L} \quad (3.2)$$

$$I_1 = I_p$$

I_1 es la corriente del lado primario del transformador.

S es la potencia del transformador o carga

V_L es el voltaje de línea del primario

La corriente de operación:

$$I_{op} = |I_1 - I_2| \quad (3.3)$$

$$I_{op} = |I_1 K_1 - I_2 K_2| \cong 0 \quad (3.4)$$

Donde:

I_{op} es la corriente de operación

K_1 es el factor de corrección de la corriente del primario

K_2 es el factor de corrección de la corriente del secundario

La corriente de retención:

$$I_{ret} = \frac{|I_1 + I_2|}{2} \quad (3.5)$$

Corriente diferencial de operación mínima:

$$I_{dopmin} = m * I_{ret} + b \quad (3.6)$$

Donde:

I_{dopmin} = corriente de operación mínima

m = el porcentaje de la pendiente de operación

I_{ret} = a la corriente de retención

b = a la corriente de arranque

Zonas de operación del relé diferencial

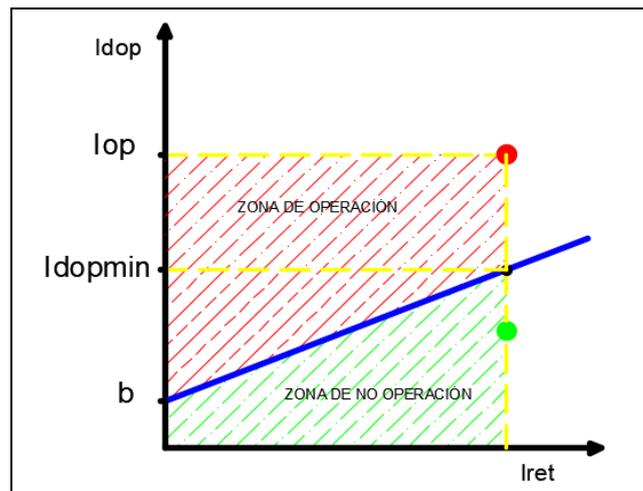


Figura 3. 3. Gráfica de la pendiente de operación de un relé diferencial.

Fuente: Los Autores

En la figura 3.3 se observa el funcionamiento interno del relé diferencial, existen dos zonas que es tomado en cuenta para que la protección entre en funcionamiento:

- Zona de no operación:
Cuando existe una $I_{d_{opmin}} \geq I_{op}$, es decir que la corriente es muy pequeña para que haga operar al relé diferencial.
- Zona de operación:
Esto sucede cuando la $I_{d_{opmin}} < I_{op}$, entonces habrá una corriente lo suficientemente alta que circulara por el relevador haciendo que esta actué.

3.3. Factores que afectan la operación del esquema direccional de corriente

La protección diferencial posee algunos factores que afecta el funcionamiento del esquema diferencial [14, p. 84].

- La selección de los transformadores de corriente (TCs) de cualquier relación de transformación.
- El cambio de TAPs en los devanados.
- La saturación de los transformadores de corriente (TCs).
- La corriente de energización (Inrush).

3.3.1. La selección de los transformadores de corriente

Los TCs se construyen bajo estándares de calidad, lo cual dificulta elegir un TC de la relación exactamente necesaria que uno requiere utilizar.

3.3.2. El cambio de TAPs en los devanados

Los transformadores de corriente fueron se eligen mediante la relación de transformación que tienen los transformadores de potencia, estas corrientes pueden cambiar y por tanto las corrientes diferenciales también cambiaran.

3.3.3. Saturación de los TCs

La saturación de un transformador de corriente ocurre, cuando la onda de la señal de corriente se deforma y el valor eficaz esperando en el secundario es inferior al que debe circular habitualmente por el devanado secundario. Por lo tanto los TCs puede saturarse y provocar la operación incorrecta de la protección diferencial.

Existen varios factores que provocan que un transformador de corriente se saturen: corrientes muy elevadas de las corrientes nominales, cargas mayores que superen las

capacidades nominales y la variación de la frecuencia a la de trabajo nominal., También los cortocircuitos incrementan las corrientes, ya que su valor no está definido y tienden al infinito, esto depende de muchos factores como la impedancia y la potencia del sistema.

3.3.4. Corrientes de energización (Inrush)

La aparición de la corriente INRUSH o energización del transformador de potencia, tiene un alto contenido de segundo armónico de frecuencia.

En vacío un transformador de potencia experimenta en el momento de energización una corriente de gran magnitud pero en el devanado por donde se está alimentando, que se le conoce como corriente de Inrush. Esto provocara una gran corriente diferencial que hará operar correctamente a la protección diferencial [14, p. 88].

En estado normal, esta corriente esta entre el 5 y 10% de la corriente nominal; pero en el momento de la energización, aparece una corriente de magnetización transitoria que puede tomar valores iguales a varias veces la corriente nominal. La magnitud de la corriente depende principalmente del valor instantáneo del voltaje que alimenta al transformador en el momento exacto que ocurre la energización, también otro factor importante es el flujo remanente [5, p. 31].

3.4. Valores de voltaje y corriente rms.

Para obtener el valor rms de voltaje y corriente se utiliza el método de cálculo de voltaje instantáneo, donde el voltaje y la corriente alterna cambian de valores en el transcurso de tiempo [16, p. 1067].

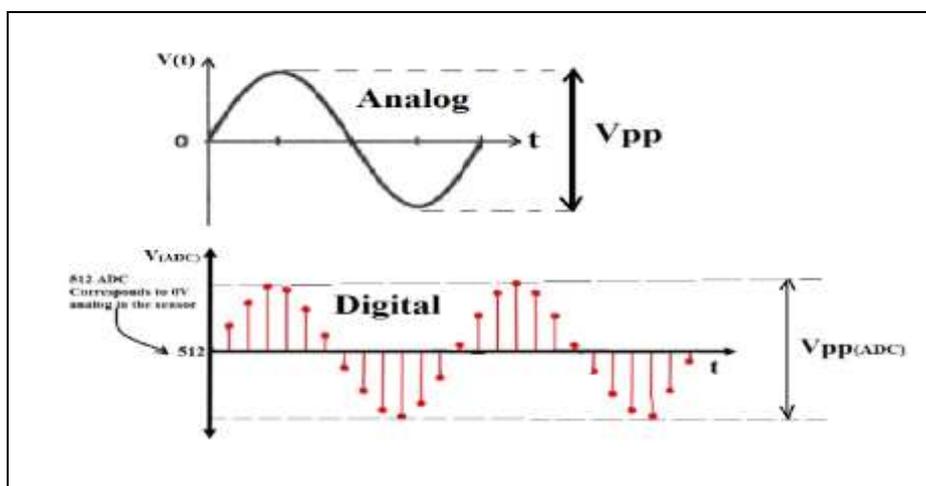


Figura 3. 4. Señales de voltaje analógico y digital.

Fuente: [16]

Los sensores de corriente y voltaje toman muestras cada determinado momento, las muestras se utilizadas para encontrar el voltaje y corriente rms aplicado la siguiente formula:

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i^2} \quad (3.7)$$

Donde:

V_i^2 = muestras de voltaje adquirido en un determinado tiempo.

n = numero de muestras obtenidas.

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i^2} \quad (3.8)$$

Donde:

I_i^2 = muestras de corriente adquirido en un determinado tiempo.

n = numero de muestras obtenidas.

3.5.El Transformador

Definición de transformador

ANSI / IEEE define un transformador como un dispositivo eléctrico estático, que no involucra partes en movimiento continuo. Se utiliza en sistemas de energía eléctrica para transferir energía entre circuitos mediante el uso de sistemas de inducción electromagnética [17, pp. 2-1].

Transformadores de Potencia

El transformador de potencia está diseñado para transmitir potencia de un circuito a otro. Su utilidad reside en la elevación o reducción de la tensión para que el transporte y el consumo de la energía eléctrica se realicen a las tensiones más adecuadas. [18, p. 138]

3.5.1. Partes del Transformador

3.5.1.1.Núcleo

El núcleo está desarrollado por varias hojas de metal ferromagnético que se encuentran colocadas una junto a la otra, sin soldar. La función del núcleo es conservar el flujo

magnético dentro del mismo, evitando de esta manera que fluya por el aire, ocasionando las pérdidas en el núcleo, y de esta manera reduciendo la eficiencia [19, p. 125].

3.5.1.2. Devanados

Constituye el circuito eléctrico del transformador, se realizan por medio de conductores de cobre, en forma de hilos redondos o de sección rectangular cuando se requieren secciones mayores, los conductores están recubiertos por una capa aislante, que suele ser de barniz en los pequeños transformadores. [20, p. 165].

3.5.2. Clasificación de los Transformadores

3.5.2.1. Transformador monofásico:

Son aquellos transformadores que tienen solo un bobinado de alta tensión y uno de baja tensión, son conectados mediante una sola línea y el neutro o tierra [21].

3.5.2.2. Transformador trifásico:

Son aquellos transformadores que son conectados a tres líneas o fases, y que tienen tres devanados del lado de baja tensión y tres en el lado de alta tensión [21].

3.5.3. Identificación de la polaridad en transformadores monofásicos

En un transformador monofásico se asigna los terminales del lado de alta como H1 y H2 mientras los del lado de bajo con X1 y X2, se conecta el terminal H1 y X1 por medio de un puente, mientras los terminales H2 y X2 se conecta con voltímetro (V) y se procede a alimentar los devanados H1 y H2 con corriente alterna (V_{in}) como se muestra en la figura 3.5 al realizar las lecturas obtendremos como resultado:

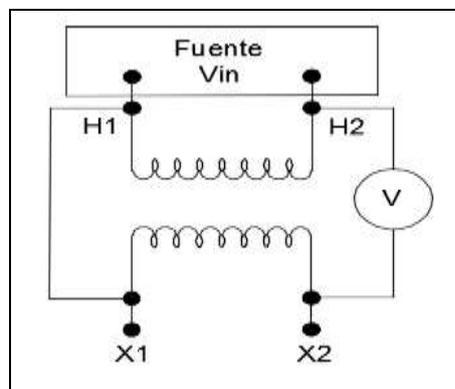


Figura 3. 5. Ensayo para identificar la polaridad en un transformador monofásico.

Fuente: Los Autores

- $V > V_{in}$ la polaridad es adictiva.
- $V < V_{in}$ la polaridad es sustractiva.

Para identificar cuando la polaridad es sustractiva se marca la bobina de alta H1 con la bobina de baja X1 quedando en el lado izquierdo como se muestra en la figura 3.6 a). En el caso de la polaridad adictiva se marca las bobinas H1 y X1 quedando cruzadas como se muestra la figura 3.6 b).

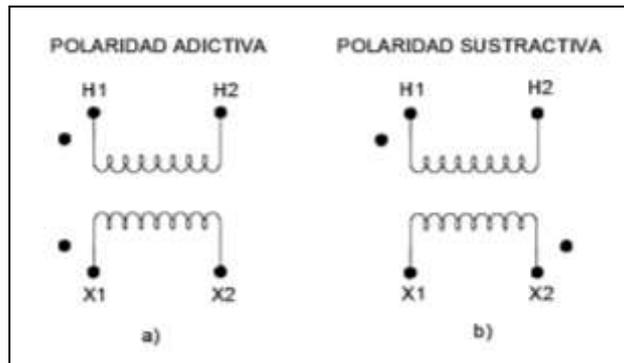


Figura 3. 6. Polaridades en transformador monofásico: a) Polaridad Adictiva b) Polaridad Fuente: Los Autores

3.5.4. Conexión de los transformadores trifásicos

3.5.4.1. Conexión delta-delta

Esta conexión se utiliza frente a cargas desequilibradas y en transformadores de Baja Tensión, ya que es necesario más espiras de menor sección, este acoplamiento permite trabajar al 58 por 100 ($1/\sqrt{3}$) de la potencia fijada cuando se trabaja en triangulo, en un banco trifásico de transformadores monofasicos la ventaja de la conexión D-d en el caso de una avería se puede separar la unidad sin afectar la continuidad en el funcionamiento del sistema. En la figura 3.7 se muestra la conexión delta-delta [20, p. 217].

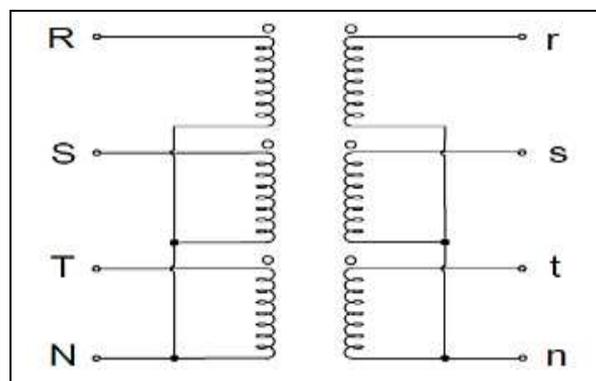


Figura 3. 7. Diagrama de conexión delta-delta de un banco de transformador trifásico. Fuente: [20].

3.5.4.2. Conexión estrella-estrella

Esta conexión se la realiza para transformadores con pequeñas potencias, las corrientes que circulan por los devanados del transformador es igual la corriente de línea, permite colocar el neutro en el devanado de alta o baja tensión y cuando no se conecten corrientes de desequilibrio, se debe tener una impedancia muy baja en el neutro entre el lado primario y la fuente ya que si no se coloca neutro los voltajes de la fase se desequilibran severamente cuando se presentan cargas desequilibradas. En la figura 3.8 se muestra la conexión estrella-estrella [20, p. 216].

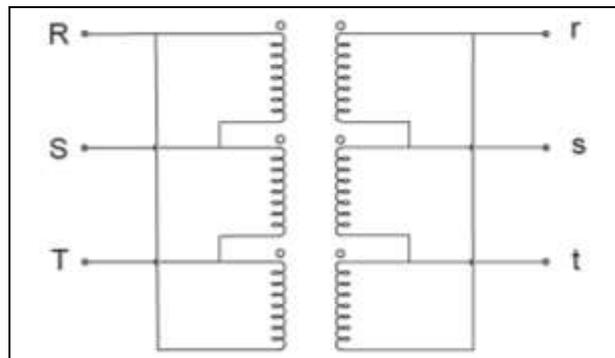


Figura 3. 8. Diagrama de conexión estrella-estrella de un banco de transformador trifásico.
Fuente: [20].

3.5.4.3. Conexión estrella –delta

Esta conexión no presenta inconvenientes con armónicos de tensión ya que circula una corriente en el lado conectado en triangulo, durante cargas desequilibradas se comporta razonablemente bien por tanto redistribuye cualquier desequilibrio parcialmente por la conexión en triangulo, las tensiones en la lado secundario tienden a un desplazamiento de 30° con relación a lado primario debido a la conexión en triangulo, esto puede ser un problema cuando sea desea conectar dos grupos de transformadores en paralelo. En la figura 3.9 se muestra la conexión estrella-delta [20, p. 217].

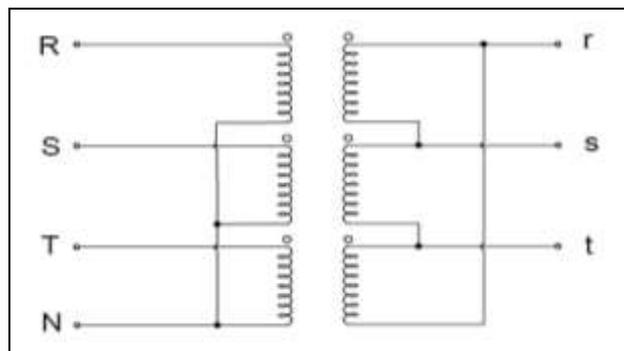


Figura 3. 9 Diagrama de conexión estrella-estrella de un banco de transformador trifásico.
Fuente: [20].

3.5.4. Conexión delta –estrella

Esta conexión es utilizada en transformadores elevadores en redes de Alta Tensión al igual que la conexión Y-d tiene un desplazamiento de fase de 30° , la conexión en estrella en el lado de alta tensión permite ubicar la tierra en el punto neutro permitiendo limitar el potencial en cualquiera de las fases a la tensión simple del sistema. En la figura 3.10 se muestra la conexión delta-estrella [20, p. 217].

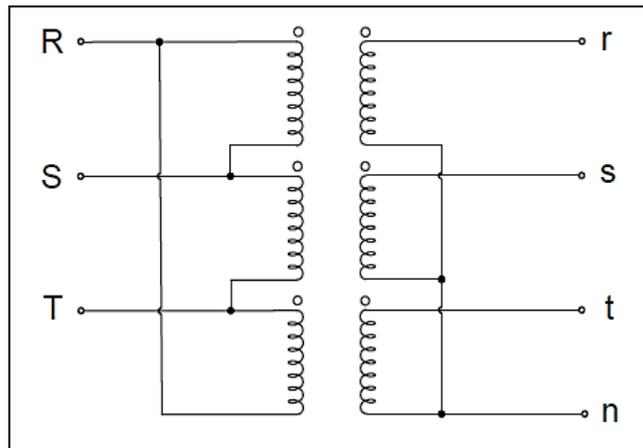


Figura 3. 10. Diagrama de conexión estrella-estrella de un banco de transformador trifásico.
Fuente: [20].

3.5.5. Índice Horario

El índice horario es el ángulo de la tensión entre dos fases del primario con la tensión entre las fases de igual nombre del secundario, en la figura 3.11 se muestra el desfase entre el lado de alta tensión U_{AB} con relación al lado de baja tensión U_{ab} mediante el triángulo de tensiones.

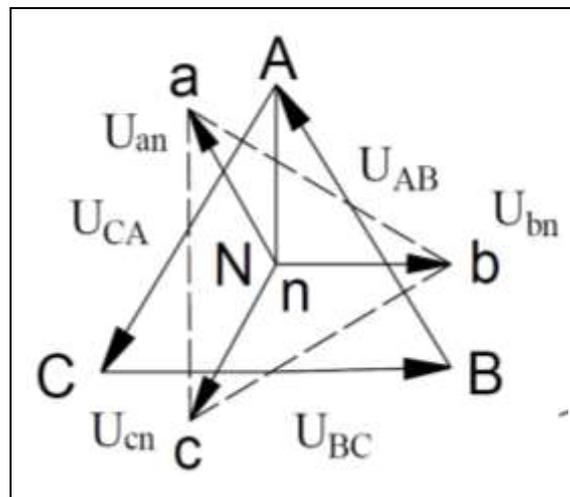


Figura 3. 11. Triángulo de tensiones que representa el desfase entre el primario y el secundario.
Fuente: Los Autores

3.6.Principales fallas en Transformadores

Las fallas principales que pueden ocasionar daños a los transformadores son:

- Fallas a tierra en los devanados
- Fallas en el núcleo
- Fallas entre fases fallas en los LTCs
- Fallas entre espiras de un mismo devanado
- Fallas en el tanque y demás accesorios
- Fallas no despejadas en el sistema

3.6.1. Fallas en los devanados

Las fallas presentes en los devanados pueden ser consecuencia de cortocircuitos entre espiras o entre devanados, por desgaste en el aislamiento ya que este se encuentra expuesto a calentamiento por sobrecorrientes ocasionadas por los cortocircuitos, o sobrecargas que con el pasar del tiempo irán disminuyendo las características del mismo [22, p. 66]. Este tipo de fallas originan peligrosas corrientes que pueden dañar su aislamiento, recalentar los devanados, y someterlos a grandes esfuerzos electromecánicos. La magnitud de la corriente de falla depende principalmente del grupo de conexión y tipo de conexión a tierra [23, p. 220].

3.6.2. Fallas en el núcleo

Las fallas en el núcleo pueden darse de manera lenta por diferentes razones como sistema de refrigeración del transformador averiado, aceite que ya no cumple con las características de rigidez dieléctrica, estas causas pueden dar lugar a elevadas temperaturas en el núcleo que producirán un sobrecalentamiento del mismo y saturarlo. Si existe problemas con el contacto a tierra y el aislamiento, a futuro se producen pequeñas corrientes de cortocircuito. Todas estas causas al no ser detectadas a tiempo terminaran por quemar el transformador [22, p. 67].

Las fallas en el aislamiento se deben a la lámina del núcleo que permitir el flujo de corrientes parasitas, estas corrientes tiene la magnitud suficiente para producir un sobrecalentamiento que incluso puede afectar a los devanados. El sobrecalentamiento del núcleo no produce cambios importantes en las corrientes de las fases, para detectar este tipo de fallas son utilizados relés de temperatura [23, p. 220].

3.6.3. Fallas entre fases

Este tipo de falla en realidad es muy probable que ocurra, pero si se presenta producen corrientes similares originados en fallas a tierra [23, p. 220].

3.6.4. Fallas entre espiras de un mismo devanado.

Este tipo de fallas se produce por pérdida de aislamiento en los devanados del transformador por esfuerzos debidos a altos voltajes inducidos en los devanados cuando ocurre maniobras de seccionamiento en el sistema, o cuando ocurren descargas atmosféricas que entran en el transformador por falla en los pararrayos [23, p. 221].

3.6.5. Fallas en el tanque

Cuando existe pérdida del nivel de aceite en el tanque por fuga, reduce considerablemente el aislamiento de los devanados debido a la pérdida del refrigerante e incrementa la temperatura interna del transformador [23, p. 221].

3.6.6. Sobrecargas y sobrevoltajes

Sucede principalmente por fallas externas al transformador, cuando no son despejados adecuadamente por sus respectivos equipos de protección [23, p. 221].

3.6.7. Otros problemas comunes en transformadores

Una de las fallas más comunes en los transformadores se da en el intercambiador automático de tap bajo carga.

- Malfuncionamiento de los dispositivos mecánicos que forman parte del ULTC
- Alta resistencia en los contactos por contaminación en el aceite aislante
- Falla en el aislamiento

3.7. Equipos utilizados para el desarrollo de la interfaz del módulo

3.7.1. Arduino Mega 2560 R3

Arduino Mega es una placa construida con un microprocesador Atmega2560, tiene pines de entradas y salidas tanto para señales digitales y análogas, su programación se la realiza en un entorno de desarrollo por el lenguaje Processing/Wiring, desde el adaptar USB-Serial permite conectar cualquier PC para la programación del microprocesador de

manera cómoda y para la ejecución de pruebas de comunicación con el propio chip, el arduino utilizado en el proyecto se muestra en la figura 3.12.

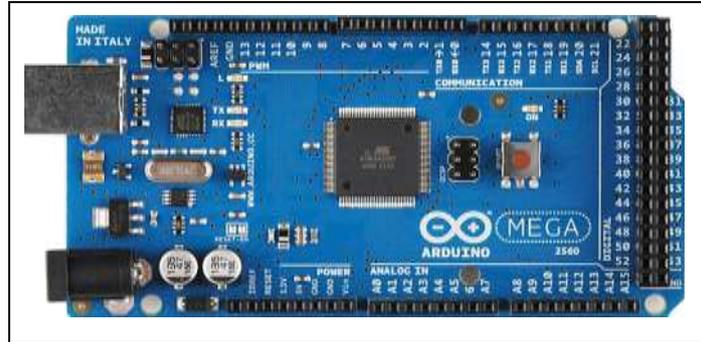


Figura 3. 12. Arduino Mega
Fuente: [24]

Entradas y Salidas

- Arduino Mega posee 54 pines que se puede utilizar como entradas o salidas.
- PWM: Arduino posee 14 salidas propuestas para señales PWM de hasta 8 bites.
- Posee 16 entradas análogas y 4 puertos serial por hardware.
- Cada Pin suministra hasta 40 mA.
- La entrada tendrá una intensidad máxima de 40 mA.

Alimentación de un Arduino Mega

- El voltaje limite esta entre los 6 a 12 V, si superamos los 12 V probablemente podremos ocasionar daños a la placa.
- La alimentación se la puede realizar desde un computador por medio del cable USB o por una fuente externa de 9 a 12V DC).

Tabla 3. 1 Se detalla en resumen de las especificaciones técnicas de Arduino Mega
Fuente: [24]

Microcontrolador	Atmega 2560
Voltaje operativo	5 V
Voltaje de entrada	7 - 12 V
Voltaje de entrada (límite)	6 - 20 V
Pines para entrada/salida	54 (de los cuales 15 se pueden usar como salida PWM)
Pines de entrada análogos	16
Corriente continua para cada Pin entrada/salida	40 mA
Corriente continua en el Pin 3.3V	50mA
Memoria Flash	256 KB (8 KB usados por el bootloader)
SRAM	2KB
EEPROM	1KB
Frecuencia de Reloj	16 MHz

3.7.2. Sensor de corriente de efecto Hall (ACS712)

Este sensor cuenta con un circuito Hall de alta precisión, de baja compensación con un recorrido de conducción de cobre. Se genera un campo magnético por la aplicación de corriente que fluye a través de la conducción del recorrido de cobre que el Hall IC transforma en un voltaje proporcional. La precisión del dispositivo se optimiza a través de la proximidad cercana de la señal magnética al transductor Hall, en la figura se presenta el sensor utilizado en el proyecto [25, p. 2]. El sensor utilizado en el proyecto se muestra en la figura 3.13.

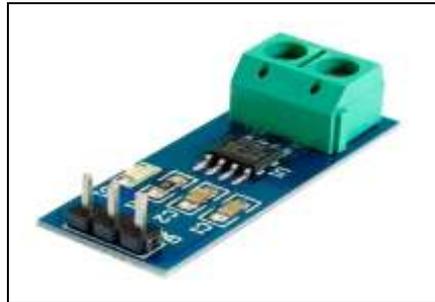


Figura 3. 13. Sensor de efecto Hall ASC712-20A
Fuente: [25]

Características y Beneficios

- Error de salida total 1.5% a $T_A = 25^\circ \text{C}$
- Bajo ruido de señal análoga
- Voltaje mínimo de aislamiento 2.1 KVRMS desde los pines 1-4 a los pines 5-8
- Ancho de Banda de 80 kHz
- 5 μs de tiempo de subida de salida en respuesta a la corriente de entrada por pasos
- Operación de suministros únicos de 3.0 a 5.0 V
- Sensibilidad de salida de 66 a 180 mV/A
- Extremadamente estable la salida de voltaje
- Tensión de salida correspondiente a las corrientes de CA o CC
- Histéresis magnética casi nula
- Capacidad del sensor 30A

Tabla 3. 2 Rangos de corrientes y sensibilidad de sensores de efecto Hall
Fuente: [25]

Modelo	Rango	Sensibilidad
ACS712ELCTR-05B-T	-5 a 5 A	185 mV/A
ACS712ELCTR-20A-T	-20 a 20 A	100 mV/A
ACS712ELCTR-30B-T	-30 a 30 A	66 mV/A

El sensor nos entrega un valor de 2.5 voltios para una corriente de 0A y a partir de allí incrementa proporcionalmente de acuerdo a la sensibilidad, teniendo una relación lineal entre la salida de voltaje del sensor y la corriente, donde se aplica la siguiente ecuación:

$$V = ml + 2.5 \quad (3.9)$$

Donde:

ml: representa a la pendiente y equivale a la sensibilidad.

2.5: representa la cantidad de voltios para una corriente de 0A

$$I = \frac{v - 2.5}{sensibilidad} \quad (3.10)$$

Donde:

V: voltaje del sensor

Sensibilidad: la sensibilidad de los sensores de nuestro proyecto es 0.1

3.7.3. Sensor de Voltaje AC ZMPT101B

El sensor de voltaje es fabricado con un módulo de transformador de voltaje, este sensor posee alta precisión para la medición de voltaje y potencia. Puede medir hasta 250V AC, es fácil de utilizar y cuenta con un potenciómetro de giro múltiple para ajustar la salida ADC [16, p. 1077]. En la figura 3.14 se observa el sensor de voltaje utilizado en el proyecto

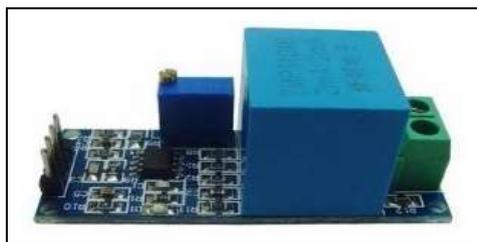


Figura 3. 14. Sensor de voltaje AC ZMPT101B

Fuente: [16]

Características:

- Voltaje de alimentación: 5VDC
- Señal de salida: análoga
- Corriente nominal de entrada y salida: 2mA
- Diferencia de fase <math><30^\circ</math> (a 50ohm)
- Rango linear 0-3mA (a 50ohm)

- Linearidad 1%
- Precisión 0.2

3.7.4. Relé Arduino

Un relé es un interruptor que puede activar mediante una señal eléctrica, mediante un voltaje de control de 5V, está conformado por una bobina que al circular una pequeña corriente se produce un campo magnético provocando que se mueva una placa metálica permitiendo abrir o cerrar un circuito eléctrico, en la figura 3.15 se muestra el sensor de voltaje utilizado en el proyecto [26].



Figura 3. 15. Relé módulo Arduino
Fuente: [26]

3.7.5. RTC

El Dispositivo RTC (Real Time Clock) es un reloj que funciona en tiempo real, permite obtener el tiempo actualizado iniciándose en la hora a la cual fue programado, las unidades que se obtienen del dispositivo son: años, meses, días, horas, minutos y segundos. El dispositivo RTC nos permite monitorear el proyecto dándonos como resultado el tiempo exacto cuando ocurrió una falla en el sistema, el tiempo que tardo la actuación de los relés frente a una falla. El dispositivo utilizado en el proyecto se muestra en la figura 3.16 [27, p. 9].



Figura 3. 16. Reloj para Arduino RTC
Fuente: [27]

3.7.6. Adaptador micro SD para Arduino

El Adaptador micro SD nos permite almacenar los datos obtenidos de los sensores, este adaptador permite grabar archivos con la extensión CSV a una tarjeta de micro SDHC con sistema de archivos FAT32, el voltaje de alimentación es de 5V que es proporcionado por el microprocesador Arduino, en la figura 3.17 se muestra el adaptador micro SD utilizado en el proyecto, es recomendable que la tarjeta micro SD que se ingrese no tenga ningún archivo ya que al efectuar una falla se registra datos en un bloc de notas [28, p. 28].

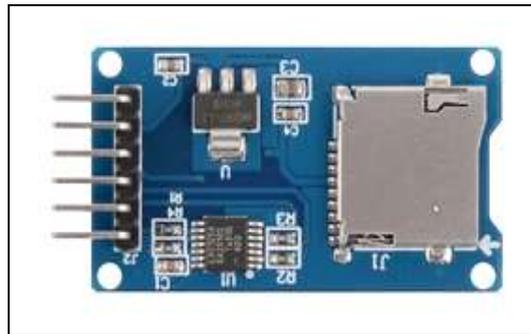


Figura 3. 17. Adaptador micro SD para Arduino
Fuente: [28]

3.7.7. Nextion NX8048T070

Nextion es una solución Human Machine Interface (HMI) que suministra una interfaz gráfica mediante un control lo que permite una relación entre máquina, humano y un proceso, en la figura 3.18 se muestra la pantalla utilizada en el proyecto [29].



Figura 3. 18. Pantalla touch Nextion NX8048T070
Fuente: [29]

Características:

- Compatible con Arduino
- Resolución 800 x 480

3.7.8. Interfaz Arduino

Arduino es un software de código abierto (libre) de fácil programación, al ejecutar el programa Arduino se crea un nuevo proyecto de nombre Sketch, además contamos con comandos verificar, subir, nuevo, abrir y salvar como se muestra en la figura 3.19. [30].



Figura 3. 19. Programa Arduino
Fuente: Los Autores

3.7.9. Interfaz Nextion

Nextion cuenta con un software gratuito disponible para todo público, permite un sistema de conexión entre maquina humano de cómodo uso, por tal motivo para la elaboración de la interfaz del módulo relé diferencial se optó por ocupar el software NEXTION EDITION. A continuación se puntualiza el desarrollo de la interfaz.



Figura 3. 20. Selección de la pantalla touch Nextion NX8048T070
Fuente: Los Autores

A continuación se crea una hoja de trabajo con 8 secciones para desarrollar la interfaz, como se muestra en la figura 3.21, para desarrollar la interfaz en Nextion Edition se utiliza la ventana de componentes donde podemos ingresar botones, texto, vectores, graficas, etc que permite la interrelación hombre máquina.

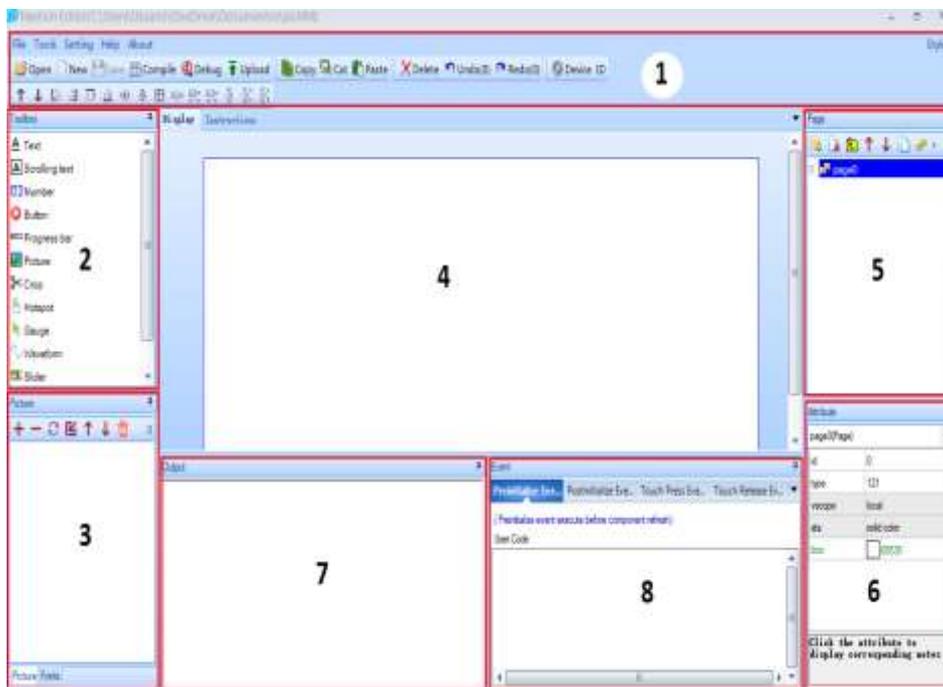


Figura 3. 21. Programa Nextion Edition
Fuente: Los Autores

1. Menú principal.
2. Componentes.
3. Biblioteca de imágenes.
4. Área de visualización.
5. Editor de página.
6. Área de edición de atributos
7. Ventana de salida del computador.
8. Área de eventos.

3.7.10. GUI (Interfaz Gráfica de Usuario)

GUI es una interfaz gráfica de usuario que permite al usuario tener una interacción con un sistema operativo o programa de una computadora, esta interfaz permite tener una interacción con un sistema de manera gráfica por medio de una aplicación, MatLab posee un entorno de programación grafica llamado GUIDE (Graphical User Interface Development Enviroment) es un entorno de programación visual para la creación y

ejecución de programas que necesiten tener un continuo ingreso de datos en la figura 3.21 se muestra GUIDE en MatLab utilizada en el proyecto [31, p. 43].

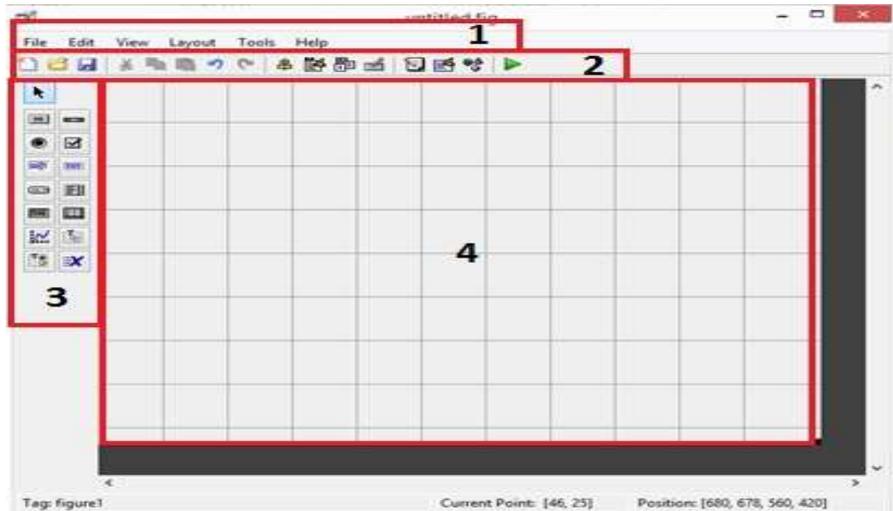


Figura 3. 22. GUIDE en MatLab

Fuente: Los Autores

A continuación se enumera las ventanas en la aplicación de GUIDE en MatLab:

1. Menú Principal
2. Herramientas
3. Paleta de Componentes
4. Área de Diseño

4. Metodología

4.1. Métodos de Investigación

4.1.1. Método Analítico

Este método implica un desglose de partes o elementos para obtener una comprensión de sus causas, utilizamos este método para la implementación de un prototipo que nos permita obtener datos por medio de señales recibidas en los transformadores de corrientes que permitan la operación del relé diferencial.

4.1.2. Método Deductivo

Este método se aplican datos detallados obtenidos para posterior analizar y comprobar su valides, por lo cual nos permitirá comprobar las señales obtenidas en relé diferencial para realizar la calibración correcta y proteger al equipo frente a una falla interna en el transformador trifásico.

4.2. Tipos de Investigación.

4.2.1. Investigación Descriptiva

Mediante este método podemos recolectar una muestra de la población de datos, en este caso podríamos recolectar corriente para describir el comportamiento de nuestras variables e inferir los resultados describiendo mediante diagramas de frecuencia.

4.2.2. Investigación Bibliográfica

Este tipo de investigación recoge toda la información teórica en diferentes fuentes para ayudar a la ejecución del proyecto, esta investigación se utilizó para la obtención de información a utilizar en la construcción del prototipo de relé diferencial, para esto se recopiló información en libros, tesis, fuentes electrónicas entre otros, cada fuente permitió conocer conceptos de transformadores y la actuación de protecciones ante fallas.

5. ÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Diseño del Módulo Relé Diferencial

Para el diseño del relé diferencial es necesario comprender el funcionamiento de cada uno de los elementos a utilizar, las variables que se necesitan obtener ya sea la independiente y dependiente.

a) Diseño del diagrama unifilar del circuito de potencia.

El diagrama unifilar permite entender de una manera sencilla la conexión del sistema de potencia, también da a conocer la funcionalidad y especificaciones de cada uno de los elementos que conforma el módulo diferencial.

b) Diseño del relé diferencial

Para el diseño del relé diferencial se utilizó el microprocesador Arduino que permite censar las corrientes para la actuación del relé, para la interacción entre humano y máquina se utilizó la pantalla Nextion y MatLab.

c) Diseño del módulo de pruebas

Para el diseño del módulo de pruebas se tomó en cuenta la dimensión de cada uno de los elementos y realizar las perforaciones con el radio correspondiente.

a) Diagrama Unifilar

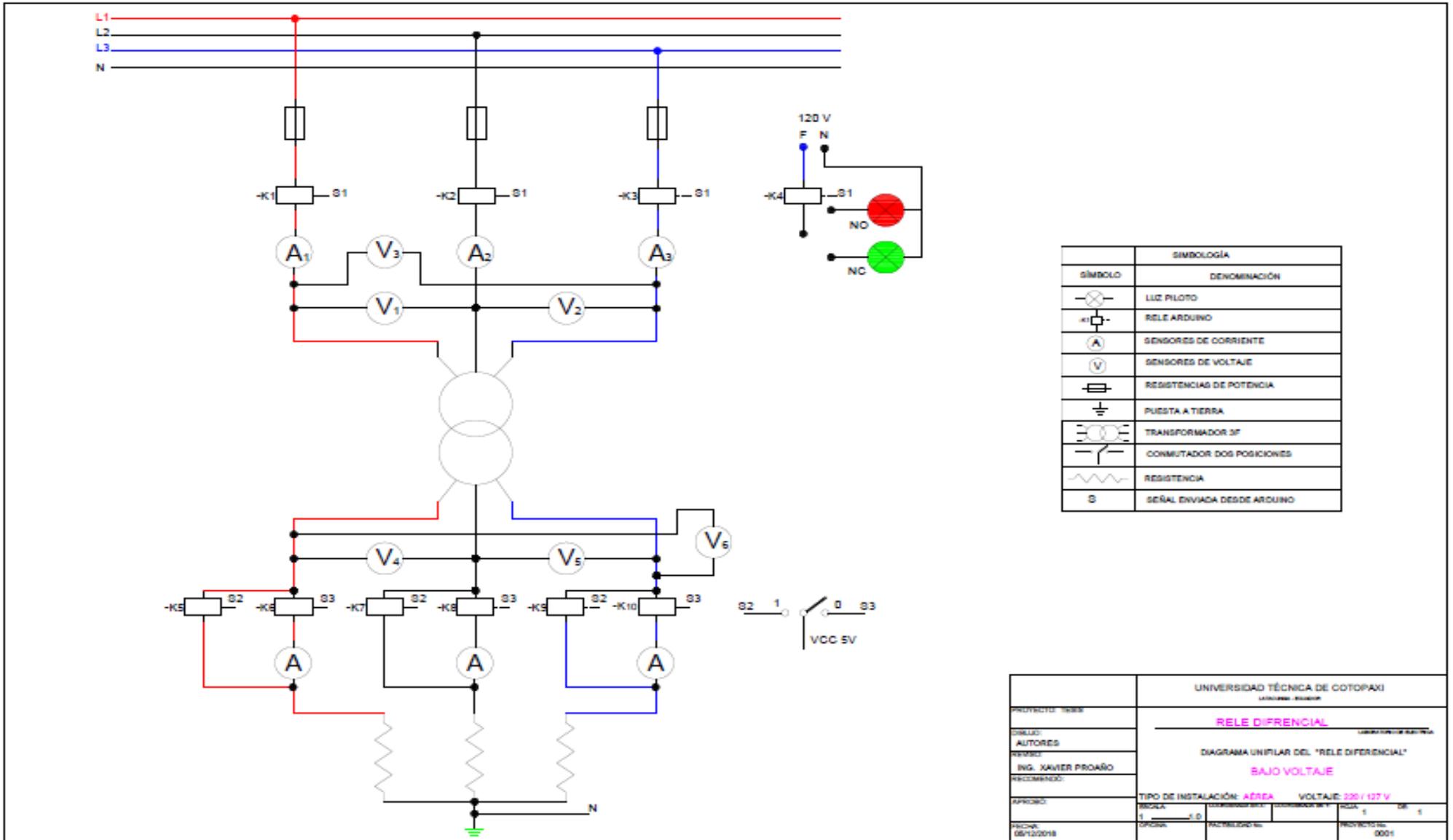


Figura 5. 1. Diagrama unifilar el módulo relé diferencial
Fuente: Los Autores

b) Sistema de control del relé diferencial.

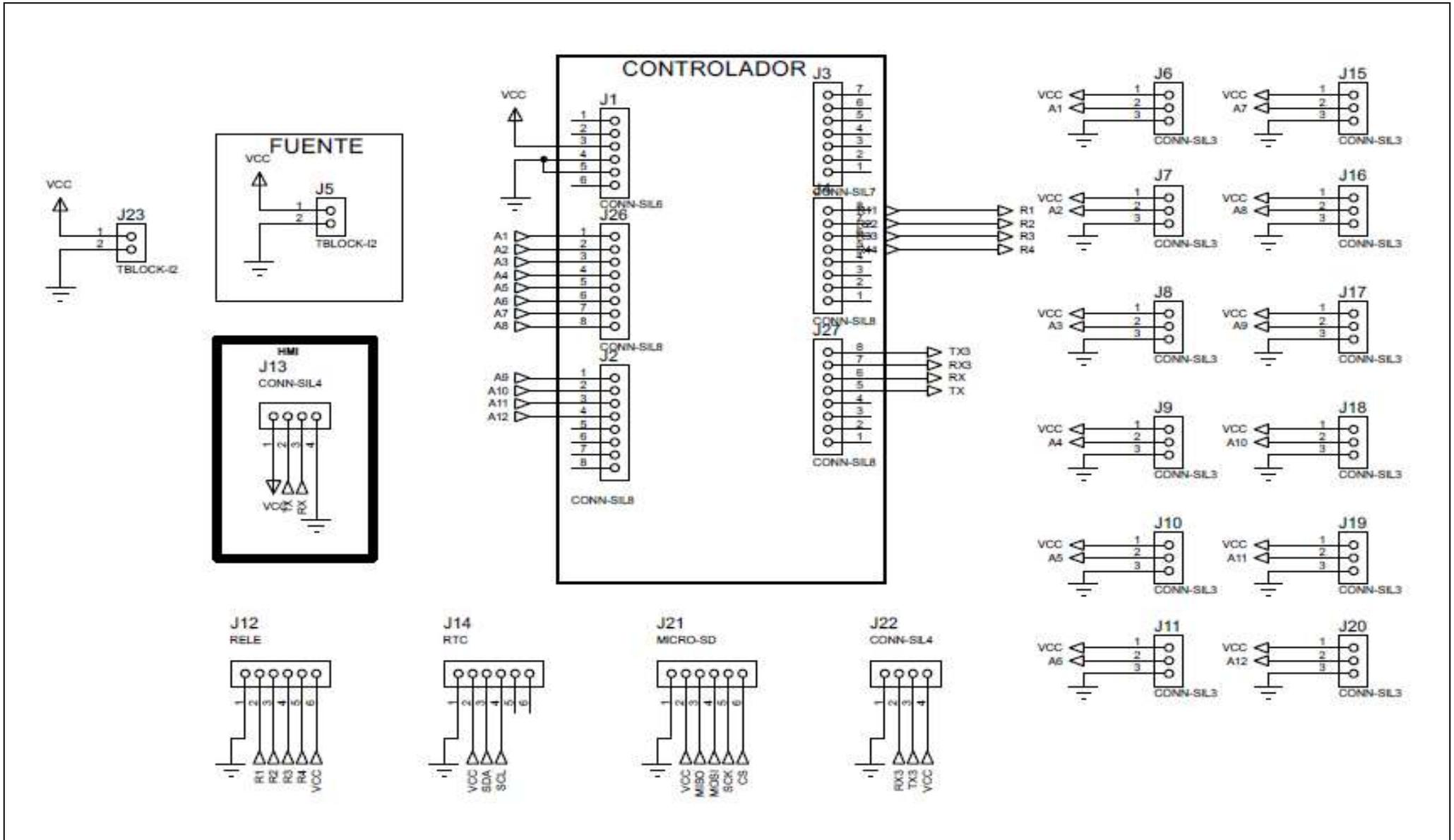


Figura 5. 2. Diagrama del sistema de control del módulo relé diferencial
Fuente: Los Autores

c) Diseño del módulo de relé diferencial.

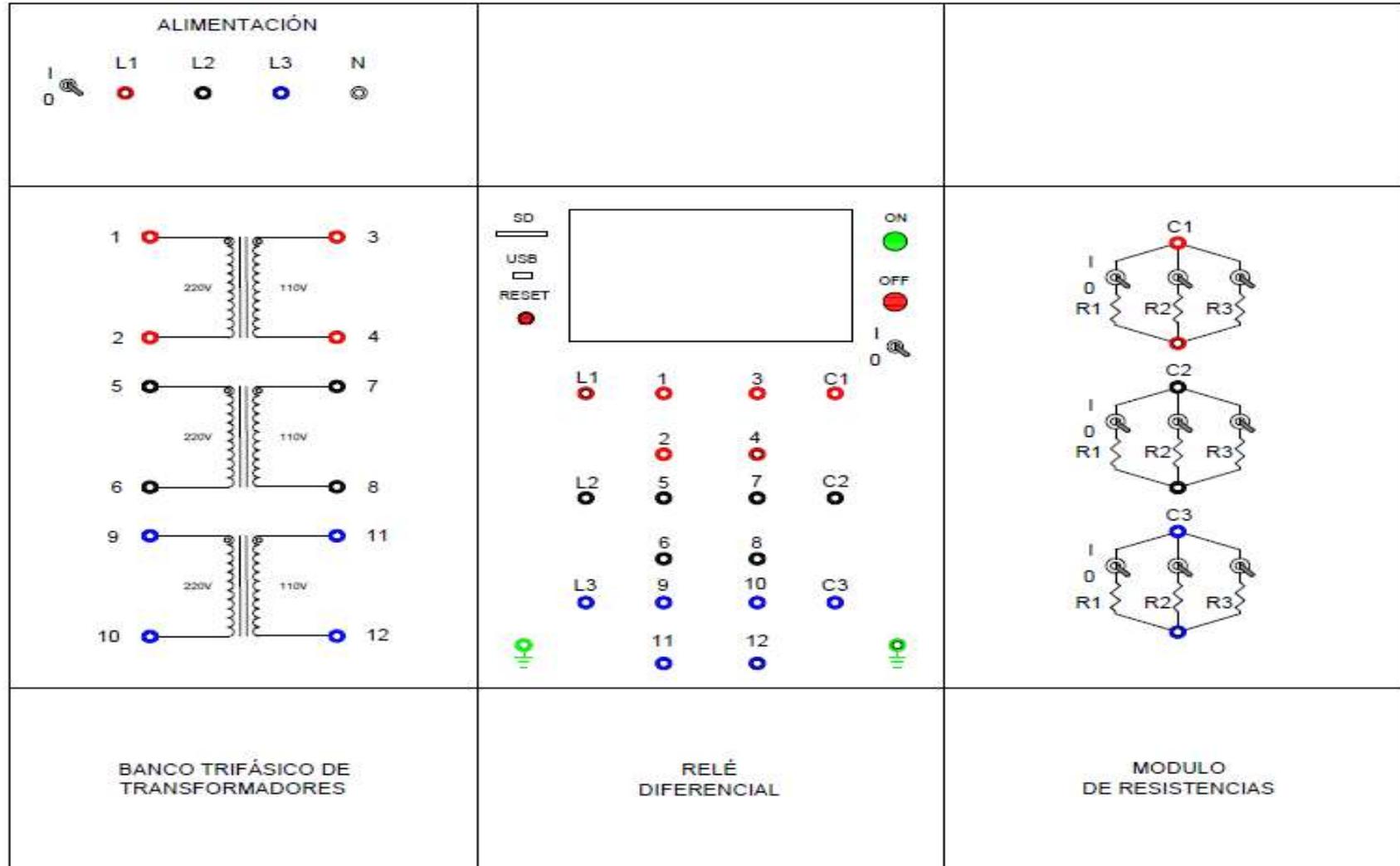


Figura 5. 3. Diseño de la ubicación de los equipos que conforman el módulo de relé diferencial
Fuente: Los Autores

5.2. Construcción del módulo de relé diferencial MRD-87T

En la elaboración del proyecto se construyó un módulo de metal que cuenta con tres compartimientos que contendrán los equipos necesarios para el funcionamiento del relé diferencial, para identificar cada fase se regió al código de colores según la norma C.E.C (Canadian Electric Code) la alimentación del módulo es por medio de una red trifásica y se instaló fusibles de 4 Amperios respectivamente por cada fase para la protección del módulo. A continuación se detallan los equipos utilizados.

5.2.1. Banco Trifásico de transformadores

En la construcción del Banco Trifásico de transformadores se utilizó tres transformadores monofásicos con una potencia de 300 W cada uno, con un volteje de entrada de 220V y de salida de 110V, la relación de transformación es 2/1, en la figura 5.4 se muestra el banco trifásico de transformadores utilizado en el proyecto.

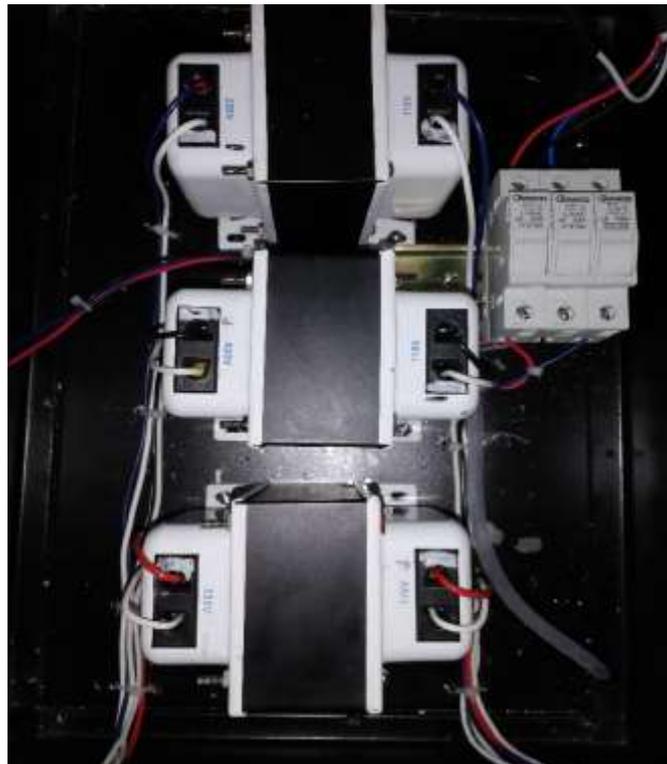


Figura 5. 4. Banco trifásico de transformadores.

Fuente: Los Autores

El banco de transformadores trifásico permite realizar la conexión Yd1 y conectar cargas resistivas en el lado secundario, para calcular las corrientes que soporta cada devanado se utiliza las formulas 3.1 y 3.2 descritas en el marco teórico.

Calculo de la corriente máxima que soporta el devanado primario:

$$I_p = \frac{400W}{220V} = 1.81 A$$

Calculo de la corriente máxima que soporta el devanado secundario:

$$I_s = \frac{400W}{110V} = 3.63 A$$

5.2.2. Relé Diferencial

El relé Diferencial nos permite medir corrientes en el lado primario y secundario del banco de transformador trifásico así como voltajes, mediante el incremento de carga y modificando los parámetros de operación se realiza la siguiente comparación, si la corriente de operación es mayor que la corriente mínima de operación la protección actúa y abre todo el circuito por medio de los relés. A continuación se detalla la construcción del módulo Relé Diferencial.

Una vez adquirido y realizado pruebas con los elementos necesarios para la elaboración del módulo y realizada la programación pertinente en los diferentes equipos procedemos al ensamble en la placa baquelita, en la figura 5.5 se muestra el diseño de la placa.

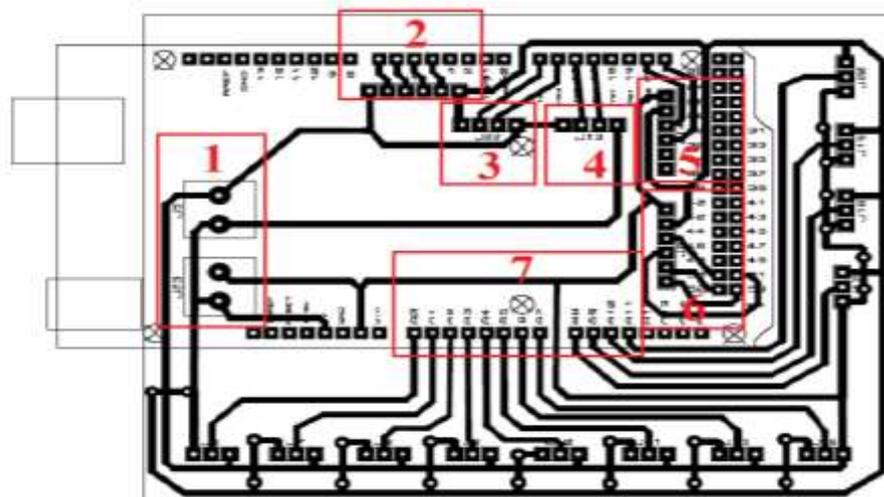


Figura 5. 5. Identificación de la ubicación de los elementos en la placa baquelita.

Fuente: Los Autores

A continuación se especifica la ubicación de los elementos que conforman el relé diferencial.

1. Fuente de Alimentación 5VCC.
2. Pines de conexión para los relés.
3. Pines para la conexión USB.
4. Pines de conexión de la Pantalla Nextion.

5. Pines de conexión al RTC.
6. Pines de conexión micro SD.
7. Pines de conexión de los sensores de corriente y voltaje.

Una vez obtenido el diseño se procede a ensamblar los elementos en la placa baquelita y colocarlos en el relé diferencial como se muestra en la figura 5.6.

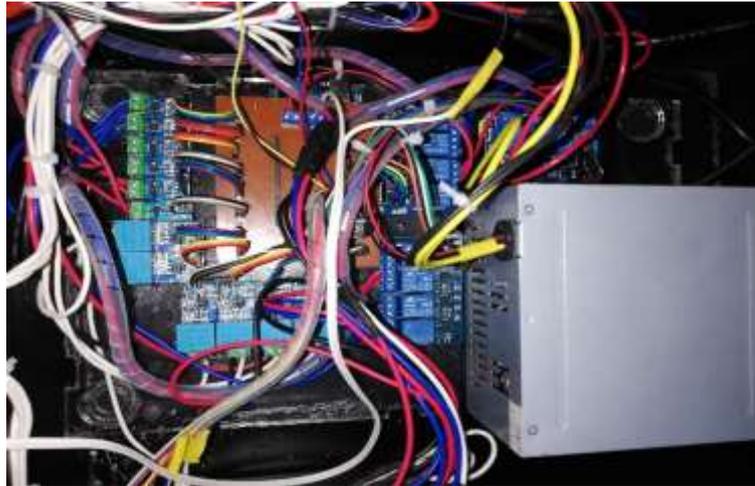


Figura 5. 6. Elementos ensamblados en la placa baquelita.

Fuente: Los Autores

La conexión de la alimentación para el relé Diferencial se realiza por medio de las borneras L1, L2 y L3, las borneras con la numeración 1 hasta 10 se utiliza para la conexión del banco de transformadores trifásicos mientras que las borneras C1, C2 y C3 se conecta las cargas resistivas, en la figura 5.7 se observa la designación de las borneras para la conexión de los equipos.



Figura 5. 7. Designación de las borneras del relé diferencial.

Fuente: Los Autores

Por último la energización del relé diferencial es realizada por una fuente de 650 W con voltaje de 120V que mediante un conversor transforma el voltaje en 5VCC que alimenta a la placa Arduino.

5.2.3. Banco de Resistencias

En la construcción del banco de resistencias procedemos a instalar cargas resistivas como son focos incandescentes, cada fase cuenta con tres cargas resistivas para realizar las pruebas de operación del relé diferencial, en la figura 5.8 se muestra el banco de resistencias.



Figura 5. 8. Instalación de las cargas resistivas al módulo relé diferencial.
Fuente: Los Autores

Los valores de las resistencias por cada fase son: $R_1= 6.5 \Omega$, $R_2=11.9 \Omega$ y $R_3=11.3 \Omega$ para calcular la resistencia total por fase aplicamos la siguiente formula.

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}} \tag{5.11}$$

Procedemos a calcular la resistencia total por fase del banco de resistencias:

$$R_T = \frac{1}{\frac{1}{6.5\Omega} + \frac{1}{11.9\Omega} + \frac{1}{11.3\Omega}} = 3.06\Omega$$

5.3.Programación

5.3.1. Diagrama de Flujo

El diagrama de flujo es la representación gráfica de un proceso que permite explicar de forma sencilla la programación del relé diferencial, la secuencia que continúa hasta alcanzar el propósito de la programación que es el abrir o cerrar el circuito mediante la señal que envíe el relé diferencial cuando existe una corriente diferencial elevada.

La lectura de las corrientes y voltaje del lado primario y secundario de un transformador es por medio de los sensores, una vez obtenido los valores se procede a calcular los valores de voltajes y corrientes rms. En la figura 5.1 se presenta el diagrama de flujos de la programación del proyecto.

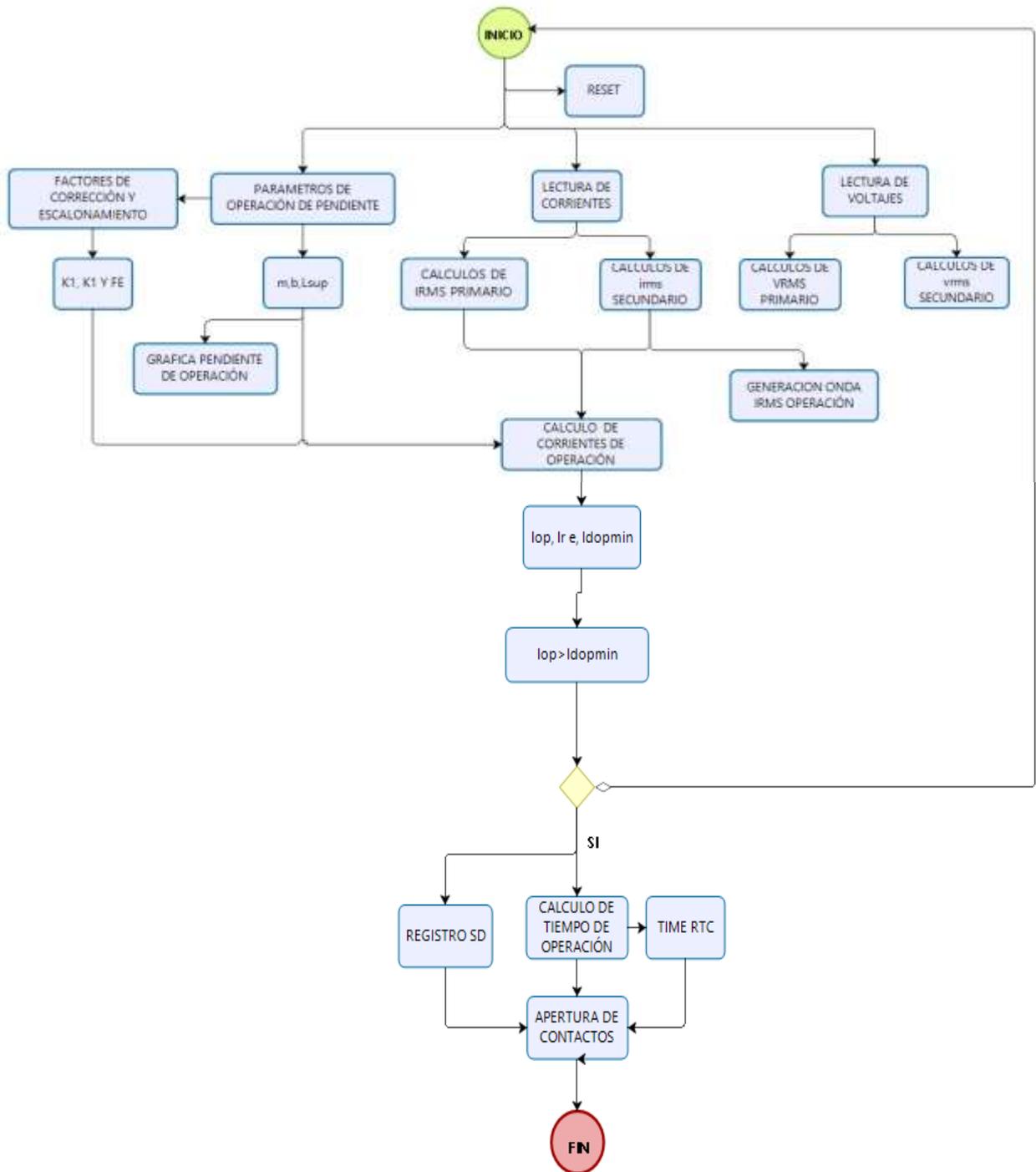


Figura 5. 9. Diagrama de flujos de la programación del Relé Diferencial.

Fuente: Los Autores

5.4.Desarrollo de la Pagina Nextion

Nextion Editor nos permite crear ventanas de visualización en las cuales podemos agregar etiquetas de textos, botones, imágenes y graficas que permite interactuar al usuario de una manera fácil, además se crean direcciones necesarias para la comunicación de Arduino, en nuestro proyecto la pantalla cuenta con ocho páginas de fácil uso, a continuación especificaremos las páginas más importantes para el desarrollo del relé diferencial.

5.4.1. Página de Parámetros de operación y factores corrección y escalonamiento

En la figura 5.10 se observa los parámetros de operación de pendiente, en esta página ingresaremos los valores para graficar la pendiente de operación.



Figura 5. 10. Página de Parámetros de Operación.

Fuente: Los Autores

Para asignar los parámetros de operación se debe tener en cuenta lo siguiente:

- El porcentaje de pendiente se representa por m y sus valores son de 0.15-0.3-0.45 que depende del transformador.
- La constante b es la corriente de arranque del transformador y sus valores parten de 0.1 a 1 A, dependiendo de la potencia del transformador.
- Límite superior es la corriente máxima que va a circular por el relé, la corriente máxima que soporta el relé del proyecto es de 15A.

En la figura 5.11 se observa los factores de corrección y escalonamiento, estos factores permite multiplicar las corrientes de alta y baja por los valores ingresados.

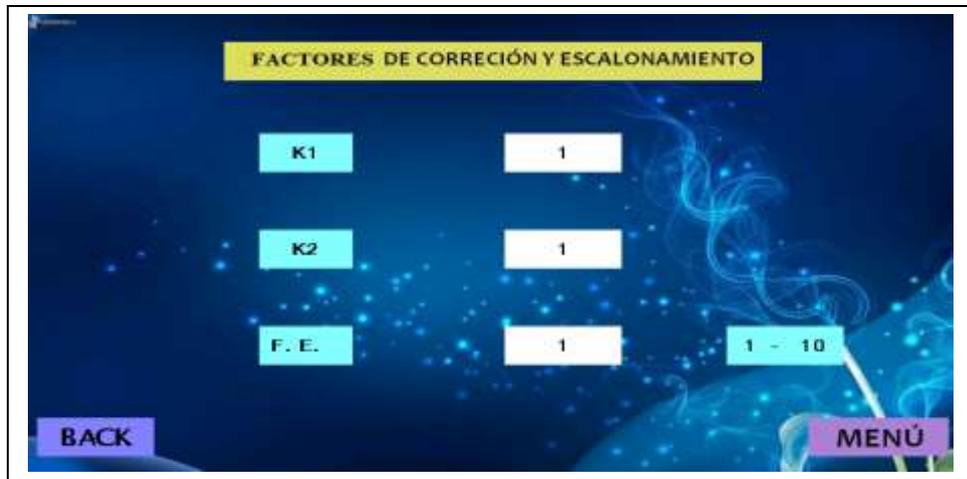


Figura 5. 11. Factores de corrección y escalonamiento.

Fuente: Los Autores

- Los factores de corrección K1 y K2 hacen referencia a la relación de transformación de los sensores de corriente utilizado en el proyecto.
- El factor de escalonamiento FE permite multiplicar el valor medido de las corrientes por una constante para la obtención de datos aproximados a los medidos en los transformadores de potencia.

5.4.2. Página de voltajes y corrientes

En la figura 5.6 representa la pagina 2 de la interfaz Nextion, en esta página se realiza las lecturas de corrientes y voltajes de cada uno de los sensores.



Figura 5. 12. Páginas de visualización de corrientes y voltajes

Fuente: Los Autores

Los sensores de corriente y voltaje transforman los datos medidos en valores RMS por medio de las formulas 3.7 y 3.8 descritas en el marco teórico y tardan un tiempo de 16.6 ms cada sensor para calcular los valores que se observa en la pantalla Nextion, estos valores son necesario para realizar la diferencia de corrientes en lado primario y secundario del banco trifásico de transformadores, son necesarios para realizar los cálculos y comparación de corrientes para la actuación o no de la protección diferencial.

5.4.3. Página Pendiente de Operación

En la figura 5.7 representa la página 5 de la interfaz Nextion, en esta página se grafica la pendiente de operación en cada una de las fases por medio de los valores ingresados en los parámetros de operación, la actuación de la protección se hará cuando la I_{op} sea mayor que la I_{dopmin} .

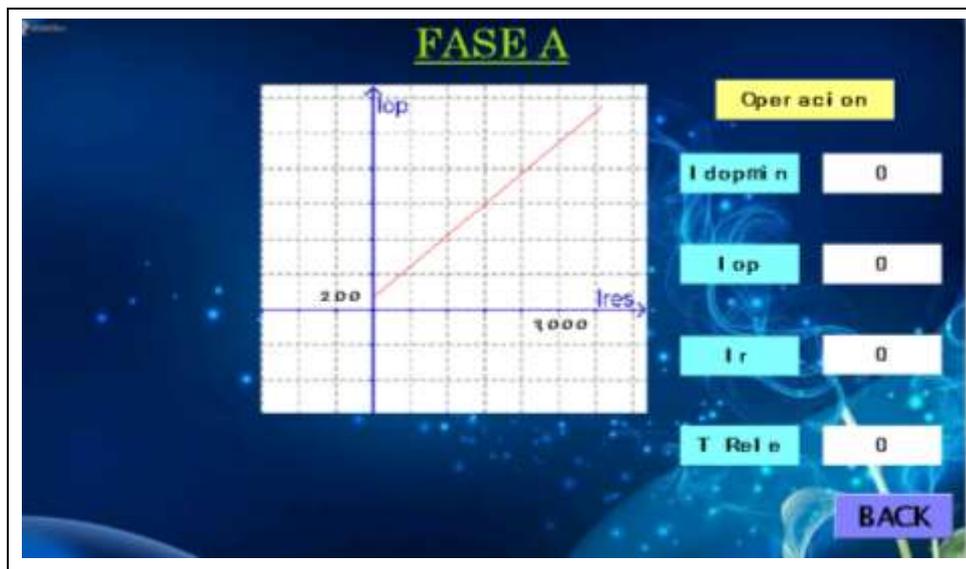


Figura 5. 13. Pendiente de Operación del Relé Diferencial.
Fuente: Los Autores

A continuación se detalla las etiquetas

- La I_{dopmin} se obtiene mediante la ecuación 3.6, los valores m , b son tomadas desde los Parámetros de Operación de la página 2 de la interfaz Nextion.
- La I_{op} es la diferencia de corrientes del lado primario y secundario del transformador, se obtiene con la ecuación 3.4
- La I_r se calcula mediante la ecuación 3.5, que toman los valores de los sensores de corriente tanto en lado primario como secundario.
- El $T_{Relé}$ es el tiempo que tarda en actuar el relé al detectar una falla en el sistema.

5.4.4. Página de la Gráfica de ondas de corrientes

En la figura 5.14 se observa las ondas de corrientes, para graficar las ondas en la interfaz Nextion utilizamos la opción Waveform y creamos dos canales para tener dos gráficas en la misma ventana, en la programación de Arduino aplicamos la fórmula.....para graficar las ondas de corriente.

$$\text{Float } a = (\text{sen}(0) * \text{IRMSA} * \text{ao1}) + \text{IRMSA} * 190 \quad (3.3)$$

Donde:

Sen(0): Es el angulo que inicia en 0 grados y se incrementa 10 grados en el tiempo para graficar la onda.

IRMSA: Corriente IRMS del lado primario obtenida de los sensores de corriente que representa la amplitud.

ao1: Amplitud de la onda.

190: Posición en la pantalla Nextion para graficar.

Para graficar la onda en el lado secundario se aplica la misma fórmula y se cambia la amplitud por las corrientes irms del lado secundario.



Figura 5. 14. Grafica de onda de corriente del lado primario y secundario.

Fuente: Los Autores

5.5. Análisis de resultados

5.5.1. Pruebas de medición de corriente en el módulo.

Para calcular el error de los sensores de corriente del módulo de relé diferencial se hizo una comparación entre las corrientes obtenidas de los sensores y la pinza amperimétrica Fluke 323,

mediante la incrementación de carga balanceada en cada fase, para calcular el error de los sensores de corriente se aplica la siguiente fórmula:

$$\% e = \frac{I_{Fluke} - I_{Modulo}}{I_{Fluke}} \times 100 \quad (5.11)$$

En la tabla 5.1 se observa el error de los sensores con una carga de 6.5 Ω en cada fase del lado primario y secundario:

Tabla 5. 1. Error del sensor de corriente con una carga de 6.5Ω

I primario	I fluke	I sensor	% error	I secundario	I fluke	I sensor	% error
IA	1,2	1,15	4,17	Ia	0,24	0,21	12,50
IB	1,2	1,11	7,50	Ib	0,24	0,21	12,50
IC	1,4	1,29	7,86	Ic	0,24	0,22	8,33

En la tabla 5.2 se observa el error del sensor con dos cargas conectadas en paralelo de 6.5 Ω y 11.9 Ω.

Tabla 5. 2. Error del sensor de corriente con una carga de 4.20Ω

I primario	I fluke	I sensor	% error	I secundario	I fluke	I sensor	% error
IA	1,26	1,12	11,11	Ia	0,36	0,32	11,11
IB	1,19	1,11	6,72	Ib	0,36	0,33	8,33
IC	1,4	1,22	12,86	Ic	0,36	0,33	8,33

En la tabla 5.3 se observa el error del sensor con tres cargas de 6.5 Ω, 11.9 Ω y 11.3 Ω conectadas en paralelo.

Tabla 5. 3. Error del sensor de corriente con una carga de 3.06 Ω.

I primario	I fluke	I sensor	% error	I secundario	I fluke	I sensor	% error
IA	1,38	1,27	7,97	Ia	0,24	0,22	8,33
IB	1,38	1,24	10,14	Ib	0,25	0,22	12,00
IC	1,38	1,36	1,45	Ic	0,25	0,22	12,00

5.5.2. Operación del relé diferencial modificando los Factores de Corrección

Para este análisis se realiza la conexión D-y 1 en el banco trifásico de transformadores, se toma los valores de resistencias en paralelo que se muestra en la tabla 5.4, en este caso se toma el valor de R1 en el banco de resistencias para cada fase y se ingresa los datos de la tabla 5.5 en la ventana de parámetros de operación del relé diferencial, en el anexo IV se muestran las imágenes obtenidas de este análisis en el módulo de relé diferencial.

Tabla 5. 4 Valores de resistencias conectadas en paralelo

RESISTENCIAS EN PARALELO				
FASES	CARGAS	R1	R1+R2	R1+R2+R3
L1	C1	6,5	4,2	3,06
L2	C2	6,5	4,2	3,06
L3	C3	6,5	4,2	3,06

Tabla 5. 5. Parámetros de operación del relé diferencial.

m	b	Lim. Super	K1	K2	F.E
0.15	0.2	1	1	0.2	1

Las lecturas de corrientes se multiplican por los factores de corrección en cada fase K1 lado primario y K2 lado secundario obteniendo como resultados los siguientes valores tomados del módulo relé diferencial como se observa en la tabla 5.6, ver Anexo IV.

Tabla 5. 6. Valores de corriente obtenidas de la pantalla Nextion.

Corriente del devanado primario(A)	Corriente del devanado secundario(A)
IA= 1.15	Ia= 0.21
IB= 1.11	Ib= 0.21
IC= 1.29	Ic= 0.22

Con los valores de corrientes obtenidos de la tabla 5.6 el relé diferencial procede a realizar cálculos de corrientes diferencial de operación, corriente de operación, corriente de restricción y el tiempo de actuación de la protección como se muestra en la tabla 5.7, ver Anexo IV.

Tabla 5. 7. Corrientes de comparación para la actuación de la protección.

FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin	0.30	Idopmin	0.30	Idopmin	0.31
Iop	0.94	Iop	0.90	Iop	1.07
Ir	0.68	Ir	0.66	Ir	0.75
T.Rele	939 ms	T.Rele	1062 ms	T.Rele	1147 ms

Como se observa en la tabla 5.7 los valores de Iop es mayor que Idopmin esto permite que la protección actúe, a continuación se realiza los cálculos con las ecuaciones descritas en el marco teórico y se toma los valores de corrientes que se muestra en la 5.8 obtenidos de la pinza aperimétrica fluke 323 para comprobar la operación de la protección.

Tabla 5. 8. Valores de corrientes obtenidas de la pinza amperimétrica Fluke 323

Corriente del devanado primario (A)	Corriente del devanado secundario (A)
IA= 1.2	Ia= 1.2
IB= 1.2	Ib= 1.2
IC= 1.4	Ic= 1.2

Fase A:

Corrientes de operación:

$$I_{opa} = |I_A K1 - I_a K2|$$

$$I_{opa} = |1.2(1) - 1.2(0,2)| = 0.96 A$$

$$I_{opa} = 0.96 A$$

Corrientes de restricción:

$$I_{ra} = \frac{I_A + I_a}{2}$$

$$I_{ra} = \frac{1.2(1) + 1.2(0.2)}{2}$$

$$I_{ra} = 0.72 A$$

Corriente diferencial de operación mínima:

$$I_{dopmin a} = m \times I_{ra} + b$$

$$I_{dopmin a} = 0.15 \times 0.72 + 0.2$$

$$I_{dopmin a} = 0.30 A$$

Comparación de corrientes:

$$I_{op} > I_{dopmin} = \text{opera}$$

$$0.96 A > 0.30 A = \text{opera}$$

Fase B:

Corrientes de operación en cada fase:

$$I_{opb} = |I_B K1 - I_b K2|$$

$$I_{opb} = |1.2(1) - 1.2(0,2)|$$

$$I_{opb} = 0.96 A$$

Corrientes de restricción:

$$I_{rb} = \frac{I_B + I_b}{2}$$

$$I_{rb} = \frac{1.2(1) + 1.2(0.2)}{2}$$

$$I_{rb} = 0.72 \text{ A}$$

Corriente diferencial de operación mínima:

$$I_{dopminb} = m \times I_{rb} + b$$

$$I_{dopminb} = 0.15 \times 0.72 + 0.2$$

$$I_{dopminb} = 0.30 \text{ A}$$

Comparación de corrientes:

$$I_{op} > I_{dopmin} = \text{opera}$$

$$0.96 \text{ A} > 0.30 \text{ A} = \text{opera}$$

Fase C:

Corrientes de operación:

$$I_{opc} = |I_{cK1} - I_{cK2}|$$

$$I_{opc} = |1.4(1) - 1.2(0.2)|$$

$$I_{opc} = 1.16 \text{ A}$$

Corrientes de restricción:

$$I_{rc} = \frac{I_C + I_c}{2}$$

$$I_{rc} = \frac{1.4(1) + 1.2(0.2)}{2}$$

$$I_{rc} = 0.82 \text{ A}$$

Corriente diferencial de operación mínima:

$$I_{dopminc} = m \times I_{rc} + b$$

$$I_{dopminc} = 0.15 \times 0.82 + 0.2 = 0.2 \text{ A}$$

$$I_{dopminc} = 0.32 \text{ A}$$

Comparación de corrientes:

$$I_{op} > I_{dopmin} = opera$$

$$1.16 A > 0.32 A = opera$$

Como resultado se obtiene la comprobación de la actuación de la protección por medio de la diferencia de corriente detectada por el relé diferencial y mediante la aplicación de fórmulas con los valores de las corrientes medidas con el amperímetro fluke 323.

5.5.3. No operación del relé diferencial modificando los parámetros de Operación de Pendiente

Para este análisis se emplea las cargas de R1 y R2 por cada una de las fases, se asigna el valor máximo del porcentaje de la pendiente de operación y se ingresan un valor en K1 y K2 para que exista una diferencia alta entre las corrientes primarias y secundarias como se muestra en la tabla 5.9.

Tabla 5. 9. Parámetros para no operación del relé diferencial.

m	b	Lim. Super	K1	K2	F.E
0.45	0.6	3	0.7	0.2	1

En la tabla 5.10 se observa el valor de las corrientes obtenidas del relé diferencial multiplicadas por los factores de corrección.

Tabla 5. 10. Corrientes del relé diferencial multiplicadas por los factores de corrección.

Corriente del devanado primario (A)	Corriente del devanado secundario (A)
IA= 1,11	Ia= 0,32
IB= 1,12	Ib= 0,32
IC= 1,24	Ic= 0,33

Las corrientes obtenidas en la pendiente de operación del relé diferencial se muestran en la tabla 5.11.

Tabla 5. 11. Comparación de corrientes en las tres fases.

FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin	0,93	Idopmin	0,93	Idopmin	0,95
Iop	0,82	Iop	0,81	Iop	0,92
Ir	0,73	Ir	0,73	Ir	0,78
T.Rele	0	T.Rele	0	T.Rele	0

Como podemos constatar al parametrizar los parámetros de operación, se incrementa la corriente de arranque y el porcentaje de operación, la corriente diferencial mínima de operación es mayor que la corriente de operación por tal motivo no supera la pendiente de operación y no opera la protección diferencial.

5.5.4. Operación del relé diferencial frente a una fase desbalanceada

En este estudio empleamos una carga R1 por cada fase del banco de resistencias del módulo de relé diferencial e ingresamos los siguientes parámetros de operación de la tabla 5.12:

Tabla 5. 12. Parámetros de Operación ingresados en el relé diferencial.

m	b	Lim. Super	K1	K2	F.E
0.3	0.3	3	1	1	1

En la tabla 5.13 se muestran los valores de las corrientes medidas por el relé diferencial con una carga R1 por cada fase, se observa que las corrientes en el lado primario y secundario son casi idénticas al estar balanceadas.

Tabla 5. 13. Corrientes balanceadas tomadas del relé diferencial

Corriente del devanado primario (A)	Corriente del devanado secundario (A)
IA= 1,16	Ia= 1,06
IB= 1,33	Ib= 1.08
IC= 1,38	Ic= 1,10

Ahora adicionamos una carga R2 en la fase B, en la tabla 5.14 observamos el desbalance de la fase con respecto a las demás a causa del incremento de carga en una sola fase, estos valores son tomados del relé diferencial.

Tabla 5. 14. Desbalance en la fase B por incremento de carga.

Corriente del devanado primario (A)	Corriente del devanado secundario (A)
IA= 1,16	Ia= 1,06
IB= 1,53	Ib= 2,3
IC= 1,38	Ic= 1,10

Con el desbalance producido existe una diferencia de corrientes en la fase B con respecto a las otras fases, la cual es detectada por el relé diferencial, en la tabla 5.15 se observa como la corriente de operación supera a la corriente diferencial mínima de operación haciendo actuar a la protección diferencial.

Tabla 5. 15. Actuación de la protección por la diferencia de corriente en la fase B.

FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin	0,46	Idopmin	0,55	Idopmin	0,50
Iop	0,10	Iop	0,97	Iop	0,48
Ir	1,10	Ir	1,68	Ir	1,33
T.Rele	535 ms	T.Rele	423 ms	T.Rele	565 ms

5.5.5. Actuación del relé diferencial frente a la simulación de una falla trifásica

Para este análisis empleamos la resistencia total por fase del banco de resistencias que es R1, R2 y R3 con 3.06Ω e ingresamos los valores que se muestra en la tabla 5.16 en parámetros de operación:

Tabla 5. 16. Valores de la pendiente de operación.

m	b	Lim. Super	K1	K2	F.E
0.3	0.1	3	1	1	1

La tabla 5.17 se muestran los valores de corrientes en cada fase con una resistencia de 3.06Ω obtenidas del relé diferencial:

Tabla 5. 17. Las corrientes de las fases equilibradas.

Corriente del devanado primario (A)	Corriente del devanado secundario (A)
IA= 2,09	Ia= 2,17
IB= 2,09	Ib= 2,21
IC= 2,26	Ic= 2,22

En la tabla 5.18 se observan los valores de corrientes en la ventana de pendiente de operación del módulo relé diferencial, al no existir una diferencia de corriente significativa la Iop está por debajo de la Idopmin por tal motivo la protección no actúa.

Tabla 5. 18. Corrientes tomadas de la ventana de pendiente de operación del relé diferencial.

FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin	0,74	Idopmin	0,75	Idopmin	0,78
Iop	0,08	Iop	0,14	Iop	0,02
Ir	2,12	Ir	2,15	Ir	2,26
T.Rele	535 ms	T.Rele	423 ms	T.Rele	565 ms

Ahora se procede a desconectar los sensores del lado de baja que simula una falla trifásica y observamos en la tabla 5.19 que los valores de las corrientes sesadas por el relé diferencia en el lado secundario registran 0.

Tabla 5. 19. Corrientes del lado secundario cero por la simulación de la falla trifásica.

Corriente del devanado primario (A)	Corriente del devanado secundario (A)
IA= 2,09	Ia= 0
IB= 2,09	Ib= 0
IC= 2,26	Ic= 0

En la tabla 5.20 se observan los valores del relé diferencial en la ventana de pendiente de operación cuando de simula una falla trifásica, se obtiene como resultado una diferencia elevada de corrientes entre el lado primario y secundario del banco trifásico de transformadores lo que provoca la actuación de la proyección diferencial.

Tabla 5. 20. Incremento de la corriente de operación por la falla trifásica.

FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin	0,41	Idopmin	0,41	Idopmin	0,45
Iop	1.04	Iop	1.04	Iop	1.09
Ir	2,12	Ir	2,15	Ir	2,26
T.Rele	397	T.Rele	479	T.Rele	565

Comparamos las tablas 5.18 y 5.20 y observamos que existe un incremento en la corriente de operación por la simulación de la falla trifásica lo que hace sea mayor que la corriente diferencial de operación lo que permite que la protección actúe.

6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO

6.1.Presupuesto

Una vez terminado el proyecto en la tabla se muestra los valores correspondientes al diseño y construcción del módulo de relé diferencial.

Gastos Directos

Gastos Directos están relacionados con los elementos y equipos usados en la construcción del módulo de relé diferencial, en la tabla 6.1 se detalla los equipos.

Tabla 6. 1. Presupuesto de equipos usados para la elaboración del modulo.

Detalle	Cantidad	V. Unitario	V. Total
Arduino Mega	1	30.25	30.25
Equipo de programación	3	20	60.00
Fuente de Alimentación	1	20.30	20.30
Sensor de corriente	6	5.60	33.60
Sensor de voltaje	6	7.35	44.10
RTC	1	5.75	5.75
Adaptador micro SD	1	12.00	12.00
Pantalla Nextion	1	140	140.00
Relé Arduino	3	7.50	22.50
Luz Piloto	2	2.25	4.50
Transformador monofásico	3	50.00	150.00
Focos Incandescentes	9	1.90	17.10
Módulo Relé Diferencial	1	200.00	200.00
Materiales Electrónicos	1	50.00	50.00
Materiales Eléctricos	1	200.00	60.00
Total			1017.10

Gastos Indirectos

Los gastos indirectos son aquellos que influyen en el proyecto, pero no directamente y son necesarios para la elaboración del proyecto, en la tabla se indica los gastos indirectos.

Tabla 6. 2. Presupuesto de gastos indirectos para la elaboración del módulo.

Detalles	Cantidad	V. Unitario	V. Total
Transporte	20	2.00	40.00
Alimentación	15	3.00	45.00
Varios	1	50.00	50.00
Total			135.00

$$GD + GI = \$(1017.10 + 135.00)$$

$$10\% \text{ de imprevistos} = \$1117.85 * 10\% = \$115.21$$

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

$$GT = \$1017.10 + \$135.00 + \$115.21 = \$1382.52$$

6.2. Análisis de impactos

El presente proyecto está enfocado al análisis de operación del relé diferencial parametrizando los parámetros de operación y emulando fallas físicas. Este módulo es capaz de censar la diferencia de corrientes en lado primario y secundario de un banco de transformadores trifásico mediante el aumento de cargas resistivas, la comparación entre la corriente de operación y la corriente diferencial mínima de operación lo que permite que la protección actúe o no.

Este módulo contribuirá al desarrollo práctico de los estudiantes en la materia de protecciones eléctricas, facilitando la comprensión de la protección diferencial frente a la diferencia de corriente dentro de la zona de operación, además permitirá realizar conexiones en los transformadores para analizar su comportamiento.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Mediante la investigación bibliográfica se pudo conocer la importancia de la protección diferencial para los transformadores de potencia, una mala parametrización afecta la vida útil y en casos extremos el equipo queda fuera de servicio causando grandes pérdidas económicas para la industria o empresa.
- Con la construcción del banco de transformadores trifásico y realizado las configuraciones delta-estrella, estrella-delta, delta-delta y estrella-estrella las corrientes entre el devanado primario y secundario serán distintas para algunos casos y similares para otros.
- La operación del relé diferencial dependerá directamente de las lecturas que entregue el sensor de corriente, el relé diferencial actúa cuando existe una diferencia de corriente elevada en el sistema de control y envía una señal al interruptor de protección para desconectar el circuito primario de la alimentación, de esta manera se comprobó la importancia de proteger a los transformadores de potencia debido a que siempre están sometidos a trabajar con corrientes altas, cuando aparece cualquier anomalía de fallas internas en el transformador el sistema de protección 87 T responderá adecuadamente siempre y cuando los valores estén debidamente parametrizados.
- Mediante la parametrización de los valores de pendiente (m), corriente de arranque del transformador (b) y el límite superior de la gráfica (L. sub), permite restringir la zona de operación del relé diferencial, con la comparación de la corriente de operación y la corriente de diferencial mínima de operación, el sistema tomará la decisión en desconectar el sistema de alimentación primario.
- Los factores de corrección permiten relacionar con los TC's que contiene cambiadores de Tap's, se utiliza para corregir las corrientes del devanado primario y secundario multiplicando por una constante para que el relé diferencial no interprete como una falla.

RECOMENDACIONES

- Para la elaboración del banco trifásico de transformadores es necesario contar con tres transformadores de iguales características mecánicas y eléctricas para que no exista un desbalance de cargas y ocasione la actuación de la protección.
- Se recomienda que la energización del banco de trifásico de transformador sea con carga ya que se produce una corriente generada por Inrush lo que puede ocasionar la actuación de la protección diferencial.
- Evitar trabajar con la fuente de alimentación encendida debido que se maneja voltajes elevados y puede ocasionar daños al sistema de control por conexiones erróneas en el módulo relé diferencial.
- Para realizar las prácticas propuestas en el módulo de relé diferencial es necesario que los estudiantes tengan una instrucción sobre el funcionamiento y conexión de los equipos que conforman el módulo de relé diferencial.

8. REFERENCIAS

- [1] A. P. Quelal Carrera , Implementación de un sistema de protección mediante relés digitales multifuncionales para el generador y transformador de la unidad #3 de la central termoeléctrica santa rosa, parroquia cutuglagua, cantón mejía de la provincia de pichincha, Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2016.
- [2] F. H. Allauca Gonzalez, Diseño de un sistema de protección para el genarador eléctrico de la la Universidad tecnica de Cotopaxi la Maná, La Mana: Universidad Tecnica de Cotopaxi, 2014.
- [3] I. O. Mena Venegas, Planificacion de expansión, estudio de coordinación y ajuste de protecciones del sistema occidental de ELEPCO S.A., Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi, 2014.
- [4] P. J. García Benítez , Estudio de coordinación de protecciones en el sistema de subtransmisión a 46 kV de la Empresa Eléctrica Quito considerando la conexión en paralelo de los transformadores T1 y T2 de la subestación Vicentina y la puesta en servicio de la línea Miraflores, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2018.

- [5] C. S. Herredía Arroyo, «Repositorio de la Escuela Politécnica Nacional,» 18 Abril 2011. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/3756/1/CD-3549.pdf>. [Último acceso: 17 Noviembre 2018].
- [6] H. E. Mafla Tutillo, «Repositorio de la Escuela Politecnica Nacional,» 11 Enero 2017. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17017>. [Último acceso: 17 Noviembre 2018].
- [7] R. L. Andrade Sanchez, «Repositorio digital de la Escuela Politecnica Nacional,» 14 Febrero 2014. [En línea]. Available: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17121>. [Último acceso: 17 Novimebre 2018].
- [8] R. Santana Jara, «Repositorio Digital de la Universidad Politecnica Salesiana,» 07 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/10655>. [Último acceso: 17 Noviembre 2018].
- [9] G. Solis y J. Rodriguez, «Repositorio digital de la Universidad Politecnica Salesiana,» 05 Junio 2018. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15736>. [Último acceso: 18 Noviembre 2018].
- [10] F. Barberán y M. Suárez, «Repositorio digital de la Universidad Politécnica Salesiana,» 18 Marzo 2017. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/14178>. [Último acceso: 18 Noviembre 2018].
- [11] J. Saavedra y E. Conde, «Repositorio Digital de la ESPOL,» 08 Diciembre 2017. [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/41807>. [Último acceso: 18 Noviembre 2018].
- [12] F. Guillén y J. Narváez, «Repositorio de la Universidad Politécnica Salesiana,» 05 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/5125>. [Último acceso: 18 Noviembre 2018].
- [13] M. Villaruel Moreno, Protección de sistemas electricos, Temuco: Universidad de la frontera, 2010.
- [14] O. E. Torres Breffe, Protecciones Eléctricas de Transformadores de Potencia, Cuba: CENACE, 2009.

- [15] J. M. Gers y E. J. Holmes, Protection of Electricity Distribution Networks, London: The Institution of Electrical Engineers, 2004.
- [16] Abubakar, S. N Khalid, M. W. Mustafa, Hussain Shareef, M. Mustapha, CALIBRATION OF ZMPT101B VOLTAGE SENSOR MODULE USING POLYNOMIAL REGRESSION FOR ACCURATE LOAD MONITORING, Universiti Teknologi Malaysia, Faculty of Electrical Engineering, 2017.
- [17] J. H. Harlow, ELECTRIC POWER TRANSFORMER ENGINEERING, New York: CRC Press, 2012.
- [18] F. C. López, TRANSFORMADORES, Barcelona: Edicions UPC, 2004.
- [19] E. R. Oliva, Transformadores de potencia, medicion y protección, Barcelona: marcombo, 1994.
- [20] J. F. Mora, MÁQUINAS ELÉCTRICAS, Madrid: Concepción Fernández Madrid, 2016.
- [21] P. Avelino Pérez, Transformadores de distribución: teoría, cálculo, construcción y pruebas, México: Reverté Ediciones, 2001.
- [22] R. D. C. NARVÁEZ, ESTUDIO DE CAUSAS DE FALLAS EN TRANSFORMADORES DE, Quito: EPN, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, 2013.
- [23] I. R. Calero Freire, Protección de generadores eléctricos mediante relés microprocesados multifuncionales, QUITO: EPN , 2008.
- [24] Arduino.cl, «Arduino.cl,» [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/HomePage>. [Último acceso: 25 Noviembre 2018].
- [25] A. MicroSystems, Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC, Massachusetts, 2017.
- [26] Programarfácil, «Programarfácil,» [En línea]. Available: <https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/rele-y-arduino-mkr1000/>. [Último acceso: 6 Diciembre 2018].

- [27] P. Vera, Librería para controlar un Reloj de tiempo, Universidad de Valladolid, Escuela de Ingenierías Industriales , 2017.
- [28] V. Larionov, Cybernetics and Robotics, Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering, 2017.
- [29] E. Lara, «hetpro,» hetpro, 17 Noviembre 2015. [En línea]. Available: <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/pantalla-nextion-arduino/>. [Último acceso: 5 Diciembre 2018].
- [30] PanamaHitex, «PanamaHitex,» 10 Marzo 2015. [En línea]. Available: <http://panamahitek.com/el-setup-y-el-loop-en-arduino/>. [Último acceso: 21 Noviembre 2018].
- [31] Cristhian Fernández, Wilmar Restrepo, IMPLEMENTACIÓN DE UNA INTERFAZ GRAFICA DE USUARIO EN MATLAB® - PARA CIRCUITOS CONVERTIDORES DE CC-CA., UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA, FACULTAD DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, FÍSICA Y SISTEMAS, 2013.

ANEXOS

9. ANEXOS

Anexo I. Programacin en Arduino.

```
////Declaracion de Librerias
#include "Nextion.h"
#include "math.h"
#include "SD.h" //Load SD library
#include <DS3231.h>
// Definiciones
int chipSelect =53; //chip select pin for the MicroSD Card Adapter
File registros; // file object that is used to read and write data
// Init the DS3231 using the hardware interface
DS3231 rtc(SDA, SCL);
float Sensibilidad=0.1; //sensibilidad en V/A para nuestro sensor
#define SAMPLES 50 //Must be a power of 2
#define SAMPLING_FREQUENCY 1000 //Hz, debe ser inferior a 10000 debido a ADC
#define Luz_piloto 4
#define Rele_a 5
#define Rele_b 6
#define Rele_c 7
////Tap Nextion
String string;
////////////////////Graficador de pendiente
NexWaveform OO =NexWaveform(9,4,"s0");
////////////////Indicadores de voltajes y corriente
NexText IA = NexText(4,17,"t14");
NexText IB = NexText(4,18,"t15");
NexText IC = NexText(4,19,"t16");
NexText ia = NexText(4,20,"t17");
NexText ib = NexText(4,21,"t18");
NexText ic = NexText(4,22,"t19");
NexText VA = NexText(4,23,"t20");
NexText VB = NexText(4,24,"t21");
NexText VC = NexText(4,25,"t22");
NexText va = NexText(4,26,"t23");
NexText vb = NexText(4,27,"t24");
NexText vc = NexText(4,28,"t25");
//////////////// Parametros
NexText mA = NexText(2,11,"t8");
NexText bA = NexText(2,10,"t7");
NexText Ires1 = NexText(2,9,"t6");
NexText k1 = NexText(3,4,"t2e");
NexText k2 = NexText(3,6,"t4e");
NexText fcA= NexText(3,8,"t6e");
////////////////Punto de operacion

////////Fase1
NexText t1A = NexText(6,15,"t1A");//Idopmin
NexText t2A = NexText(6,16,"t2A");//Ires
NexText LA = NexText(6,2,"fase1");
```

```

NexText IIA = NexText(6,5,"t3A");
NexText RA = NexText(6,6,"t4A");
NexText treleA = NexText(6,13,"t5A");//tiempo rele A
/////Fase2
NexText t1B = NexText(7,5,"t1B");
NexText t2B = NexText(7,6,"t2B");
NexText LB = NexText(7,2,"fase2");
NexText IIB = NexText(7,7,"t3B");
NexText RB = NexText(7,8,"t4B");
NexText treleB = NexText(7,17,"t5B");//tiempo rele B
/////Fase 3
NexText t1C = NexText(8,5,"t1C");
NexText t2C = NexText(8,6,"t2C");
NexText LC = NexText(8,2,"fase3");
NexText IIC = NexText(8,7,"t3C");
NexText RRC = NexText(8,8,"t4C");
NexText treleC = NexText(8,17,"t5C");//tiempo rele C
////////////////////////////////////
/////Amplitud de onda
NexText Am = NexText(9,5,"amplitud");
////////////////////////////////////

///Variables Globales
double muestrasA[SAMPLES]; //se guardan los datos muestreados 200
double muestrasA1[SAMPLES]; //se guardan los datos muestreados 200
double rms=0;
double RMS=0;
double rms1=0;
double RMS1=0;
double grafico=0;
float IRMSA=0;
float irmsa=0;
float IRMSB=0;
float irmsb=0;
float IRMSC=0;
float irmsc=0;

float REF_A=0;
float REF_a1=0;
float REF_B=0;
float REF_b1=0;
float REF_C=0;
float REF_c1=0;

float VRMSA=0;
float vrmsa=0;
float VRMSB=0;
float vrmsb=0;
float VRMSC=0;
float vrmsc=0;

float I2A=0;

```

```
float l1a=0;
float l2B=0;
float l1b=0;
float l2C=0;
float l1c=0;
```

```
float lra=0;
float lrb=0;
float lrc=0;
```

```
float lopa=0;
float lopb=0;
float lopc=0;
```

```
float ldopmina=0;
float ldopminb=0;
float ldopminc=0;
float l_res=0;
float ldopmin_res=0;
```

```
char result[8];
char result1[8];
char result2[8];
char result3[8];
char result4[8];
char result5[8];
float m1=0.15;
float alfa=0;
float b1=0.3;
float fc1=1;
float lres111=1;
float k111=1;
float k222=1;
float ao1=1;
```

```
////Variables punto
int x_A=0,y_A=0,x_B=0,y_B=0,x_C=0,y_C=0;
unsigned long t=0;
unsigned int sampling_period_us;
unsigned long microseconds;
unsigned long t1=0;
unsigned long taux=0;
unsigned long tA=0;
//////////
char c;
int a;
bool Century=false;
bool h12;
bool PM;
byte ADay, AHour, AMinute, ASecond, ABits;
bool ADy, A12h, Apm;
//////////
```

```

void setup()
{
  nexInit();//Inicia la Funcion Nextion
  Serial.begin(9600); // velocidad de comunicacion serial nativo
  Serial3.begin(9600); // velocidad de comunicacion serial nativo
  sampling_period_us =round(1000000*(1.0/SAMPLING_FREQUENCY)); //Periodo de muestreo

  //////////////////////////////////////
  /// Definimos como salida a relees
  ///Salida a luz piloto indicador
  pinMode(Luz_piloto,OUTPUT);
  ///FASE A
  pinMode(Rele_a,OUTPUT);
  ///FASE B
  pinMode(Rele_b,OUTPUT);
  ///FASE C
  pinMode(Rele_c,OUTPUT);
  //////////////////////////////////////
  digitalWrite(Rele_a,LOW);
  digitalWrite(Rele_b,LOW);
  digitalWrite(Rele_c,LOW);
  digitalWrite(Luz_piloto,LOW);
  //////////////////////////////////////
  float acumA=0,acumai=0,acumB=0,acumbi=0,acumC=0,acumci=0;
  for (int i=0;i<10;i++){
    REF_A= analogRead(0)*(5.0 / 1023.0);
    REF_a1= analogRead(1)*(5.0 / 1023.0);
    REF_B= analogRead(2)*(5.0 / 1023.0);
    REF_b1= analogRead(3)*(5.0 / 1023.0);
    REF_C= analogRead(4)*(5.0 / 1023.0);
    REF_c1= analogRead(5)*(5.0 / 1023.0);
    acumA=acumA+REF_A;
    acumai=acumai+REF_a1;
    acumB=acumB+REF_B;
    acumbi=acumbi+REF_b1;
    acumC=acumC+REF_C;
    acumci=acumci+REF_c1;
  }
  REF_A=acumA/10;
  REF_a1=acumai/10;
  REF_B=acumB/10;
  REF_b1=acumbi/10;
  REF_C=acumC/10;
  REF_c1=acumci/10;

  //////////////////////////////////////
  // Iniciamos el módulo SD
  SD.begin(chipSelect);
  /// Definimos el módulo SD como salida
  pinMode(chipSelect, OUTPUT); // chip select pin must be set to OUTPUT mode
  if (!SD.begin(chipSelect)) {

```

```

Serial.println("Se ha producido un fallo al iniciar la comunicación");
return;
}
Serial.println("Se ha iniciado la comunicación correctamente");
////////////////////////////////////
// Initialize the rtc object
rtc.begin();
// The following lines can be uncommented to set the date and time
//rtc.setDOW(SATURDAY); // Set Day-of-Week to SUNDAY
//rtc.setTime(20, 47, 0); // Set the time to 12:00:00 (24hr format)
// rtc.setDate(03, 12, 2018); // Set the date to December 1st, 2018
////////////////////////////////////
} //Fin setup
////////////////////////////////////Desarrollo logico////////////////////////////////////
void loop()
{
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
////Declaracion de variables locales para comunicacion
char m_nex [8];
char b_nex [8];
char lres11_nex [8];
char k11_nex [8];
char k22_nex [8];
char fc_nex [8];
char ao_nex [8];
float lres11=0;
float k11=0;
float k22=0;
float m=0;
float b=0;
float fc=0;
float ao=0;
////////////////////////////////////
//Red de comunicacion con PC_AS; Comunicacion por puerto serie 3 del Arduino
////Recepta datos de la PC_AS
while (Serial3.available() > 0)
{
m=Serial3.read();
m=m/100;
b=Serial3.read();
b=b/100;
lres11=Serial3.read();
lres11=lres11/100;
k11=Serial3.read();
k11=k11/100;
k22=Serial3.read();
k22=k22/100;
fc=Serial3.read();
m1=m;
b1=b;
lres11=lres11;

```

```

    k111=k11;
    k222=k22;
    fc1=fc;
}
////////////////////////////////////
//Lectura de datos desde la aplicacion NEXTION
// m_ Pendiente de operacion
memset(m_nex, 0, sizeof(m_nex));
mA.getText(m_nex, sizeof(m_nex));
m=String(m_nex).toFloat();
m=m/100.0;
// b_ Corriente de arranque
memset(b_nex, 0, sizeof(b_nex));
bA.getText(b_nex, sizeof(b_nex));
b=String(b_nex).toFloat();
b=b/1000.0;
// Corriente de restriccion
memset(lres11_nex, 0, sizeof(lres11_nex));
lres1.getText(lres11_nex, sizeof(lres11_nex));
lres11=String(lres11_nex).toFloat();
lres11=lres11/1000.0;
// k1>>Factor TC--K1
memset(k11_nex, 0, sizeof(k11_nex));
k1.getText(k11_nex, sizeof(k11_nex));
k11=String(k11_nex).toFloat();
// k2>>Factor TC--K2
memset(k22_nex, 0, sizeof(k22_nex));
k2.getText(k22_nex, sizeof(k22_nex));
k22=String(k22_nex).toFloat();
// Factor de amplificacion corrientes
memset(fc_nex, 0, sizeof(fc_nex));
fcA.getText(fc_nex, sizeof(fc_nex));
fc=String(fc_nex).toFloat();
// Amplitud de onda de corrientes
memset(ao_nex, 0, sizeof(ao_nex));
Am.getText(ao_nex, sizeof(ao_nex));
ao=String(ao_nex).toFloat();
////Condicion para registro de datos en variables e intercambio de variables

if((m!=0)&&(b!=0)&&(lres11!=0))
{
    m1=m;
    b1=b;
    lres111=lres11;
}

if((k11!=0)&&(k22!=0)&&(fc!=0))
{
    k111=k11;
    k222=k22;
    fc1=fc;
}

```

```

if(ao!=0)
{
  ao1=ao;
}
////////////////////////////////////
//Lectura de corrientes en el el dispositivo
if(taux==0){
IRMSA=corriente(0)*(fc1)*(k111);
irmsa=corriente(1)*(fc1)*(k222);
IRMSB=corriente(2)*(fc1)*(k111);
irmsb=corriente(3)*(fc1)*(k222);
IRMSC=corriente(4)*(fc1)*(k111);
irmsc=corriente(5)*(fc1)*(k222);
//Lectura de voltajes en el el dispositivo
VRMSA=voltaje(6);
vrmsa=voltaje(7);
VRMSB=voltaje(8);
vrmsb=voltaje(9);
VRMSC=voltaje(10);
vrmsc=voltaje(11);
//Generacion de variacion de onda IRMS e irms
angulo1();
//Intercambio de variables de corriente del secundario
l1a=irmsa;
l1b=irmsb;
l1c=irmsc;
//Intercambio de variables de corriente del primario
I2A=IRMSA;
I2B=IRMSB;
I2C=IRMSC;
//Corriente de Ir
Ira=((I2A+l1a)/2);
Irb=((I2B+l1b)/2);
Irc=((I2C+l1c)/2);
//Corriente Iop
Iopa=abs(l1a-I2A);
Iopb=abs(l1b-I2B);
Iopc=abs(l1c-I2C);
//Corriente Idopmin
Idopmina=(m1*Ira+b1);
Idopminb=(m1*Irb+b1);
Idopminc=(m1*Irc+b1);
//Corrientes de restriccion L1-L2-L3
I_res=Ires111;
//Corrientes de restriccion - minima de operacion L1-L2-L3
Idopmin_res=(m1*I_res+b1);
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
//Envio de datos a Nextion
//Envio de corrientes
}
dtostrf(IRMSA, 2, 2, result);

```

```

IA.setText(result);
dtostrf(IRMSB, 2, 2, result);
IB.setText(result);
dtostrf(IRMSC, 2, 2, result);
IC.setText(result);
dtostrf(irmsa, 2, 2, result);
ia.setText(result);
dtostrf(irmsb, 2, 2, result);
ib.setText(result);
dtostrf(irmsc, 2, 2, result);
ic.setText(result);

```

```

////////////////////Grafica punto

```

```

uint8_t a= Page();
char nex_buffer[20];
Serial.println(Ires11);
Serial.println(Ires111);
Serial.println(l_res);
x_A=301+(((Ira*1000)*3/19)/l_res);
y_A=257-(((Iopa*1000)*3/19)/l_res);
x_B=301+(((Irb*1000)*3/19)/l_res);
y_B=257-(((Iopb*1000)*3/19)/l_res);
x_C=301+(((Irc*1000)*3/19)/l_res);
y_C=257-(((Iopc*1000)*3/19)/l_res);
if(x_A>528)
  x_A=528;
if(x_B>528)
  x_B=528;
if(x_C>528)
  x_C=528;
if(y_A<61)
  y_A=61;
if(y_B<61)
  y_B=61;
if(y_C<61)
  y_C=61;
if(a>5 && a<8){
switch (a){
case 6:
if((Iopa>Idopmina))
  sprintf(nex_buffer,"cirs %i,%i,4,RED",int(x_A),int(y_A));
else
  sprintf(nex_buffer,"cirs %i,%i,4,GREEN",int(x_A),int(y_A));
  nexSerial.print("page 6");
  nexSerial.write(0xFF);
  nexSerial.write(0xFF);
  nexSerial.write(0xFF);
break;
case 7:
if((Iopb>Idopminb))
  sprintf(nex_buffer,"cirs %i,%i,4,RED",int(x_B),int(y_B));
else

```

```

    sprintf(nex_buffer,"cirs %i,%i,4,GREEN",int(x_B),int(y_B));
    nexSerial.print("page 7");
    nexSerial.write(0xFF);
    nexSerial.write(0xFF);
    nexSerial.write(0xFF);
    break;
    case 8:
        if((lop<ldopminc))
            sprintf(nex_buffer,"cirs %i,%i,4,RED",int(x_C),int(y_C));
        else
            sprintf(nex_buffer,"cirs %i,%i,4,GREEN",int(x_C),int(y_C));
        nexSerial.print("page 8");
        nexSerial.write(0xFF);
        nexSerial.write(0xFF);
        nexSerial.write(0xFF);
        break;

    }
    nexSerial.print(nex_buffer);
    nexSerial.write(0xFF);
    nexSerial.write(0xFF);
    nexSerial.write(0xFF);
}
////////////////////////////////////
//Envio de Tension
////////////////////////////////////
if(VRMSA>0)
{
    dtostrf(VRMSA, 2, 1, result);
    VA.setText(result);
    dtostrf(VRMSB, 2, 1, result);
    VB.setText(result);
    dtostrf(VRMSC, 2, 1, result);
    VC.setText(result);
    dtostrf(vrmsa, 2, 1, result);
    va.setText(result);
    dtostrf(vrmsb, 2, 1, result);
    vb.setText(result);
    dtostrf(vrmsc, 2, 1, result);
    vc.setText(result);
}
//Envio de Corriente de operacion minima,ldopmin,lop,lres
//Linea1
if(lopa>0)
{
    dtostrf(ldopmina, 2, 2, result1);
    LA.setText(result1);
    dtostrf(lopa, 2, 2, result1);
    IIA.setText(result1);
    dtostrf(lra, 2, 2, result1);
    RA.setText(result1);
}

```

```

////////////////////////////////////
//Linea2
if(lopb>0)
{
  dtostrf(ldopminb, 2, 2, result2);
  LB.setText(result2);
  dtostrf(lopb, 2, 2, result2);
  IIB.setText(result2);
  dtostrf(lrb, 2, 2, result2);
  RB.setText(result2);
}
////////////////////////////////////
//Linea3
if(lopc>0)
{
  dtostrf(ldopminc, 2, 2, result3);
  LC.setText(result3);
  dtostrf(lopc, 2, 2, result3);
  IIC.setText(result3);
  dtostrf(lrc, 2, 2, result3);
  RRC.setText(result3);
}
////////////////////////////////////

///Envia Corrientes de restriccion Linea1,Linea2,Linea3
dtostrf(ldopmin_res, 2, 2, result1);
t1A.setText(result1);
t1B.setText(result1);
t1C.setText(result1);
dtostrf(l_res, 2, 2, result1);
t2A.setText(result1);
t2B.setText(result1);
t2C.setText(result1);

////////////////////////////////////
//Red de comunicacion con PC_AS; Comunicacion por puerto serie 3 del Arduino
//Envio de datos a PC_AS
Serial3.print(IRMSA);
Serial3.print(",");
Serial3.print(irmsa);
Serial3.print(",");
Serial3.print(IRMSB);
Serial3.print(",");
Serial3.print(irmsb);
Serial3.print(",");
Serial3.print(IRMSC);
Serial3.print(",");
Serial3.print(irmsc);
Serial3.print(",");
Serial3.print(VRMSA,1);
Serial3.print(",");
Serial3.print(vrmsa,1);

```

```
Serial3.print(",");
Serial3.print(VRMSB,1);
Serial3.print(",");
Serial3.print(vrmsb,1);
Serial3.print(",");
Serial3.print(VRMSC,1);
Serial3.print(",");
Serial3.print(vrmsc,1);
Serial3.print(",");
Serial3.print(lop_a);
Serial3.print(",");
Serial3.print(lop_b);
Serial3.print(",");
Serial3.print(lop_c);
Serial3.print(",");
Serial3.print(ldopmina);
Serial3.print(",");
Serial3.print(ldopminb);
Serial3.print(",");
Serial3.print(ldopminc);
Serial3.print(",");
Serial3.print(lra);
Serial3.print(",");
Serial3.print(lrb);
Serial3.print(",");
Serial3.print(lrc);
Serial3.print(",");
Serial3.println(taux);
```

```
////////////////////77
Serial.print("IA: ");
Serial.println(IRMSA);
Serial.print("Ia: ");
Serial.println(irmsa);
Serial.print("IB:");
Serial.println(IRMSB);
Serial.print("Ib: ");
Serial.println(irmsb);
Serial.print("IC: ");
Serial.println(IRMSC);
Serial.print("Ic: ");
Serial.println(irmsc);
Serial.print("m: ");
Serial.println(m1);
Serial.print("b: ");
Serial.println(b1);
Serial.print("k1: ");
Serial.println(k111);
Serial.print("k2: ");
Serial.println(k222);
```

```

Serial.print("Iopa: ");
Serial.println(Iopa);
Serial.print("Iopb: ");
Serial.println(Iopb);
Serial.print("Iopc: ");
Serial.println(Iopc);
Serial.print("IdominA: ");
Serial.println(Idopmina);
Serial.print("IdominB: ");
Serial.println(Idopminb);
Serial.print("IdominC: ");
Serial.println(Idopminc);
Serial.print("Iresa: ");
Serial.println(Ira);
Serial.print("Iresb:");
Serial.println(Irb);
Serial.print("Iresc:");
Serial.println(Irc);
Serial.print("Rele: ");
Serial.println(taux);

```

```

/////Condicion de funcionamiento del contactor
if(((IRMSA<irmsa)&&(IRMSB<irmsb)&&(IRMSC<irmsc)) || ((Iopa>Idopmina) || (Iopb>Idopminb) || (Iopc
>Idopminc)))
//if(((Iopa>Idopmina) || (Iopb>Idopminb) || (Iopc>Idopminc)))
{
    t1=millis();
    digitalWrite(Rele_a,HIGH);
    digitalWrite(Rele_b,HIGH);
    digitalWrite(Rele_c,HIGH);
    ///Indicador luz pilotos
    digitalWrite(Luz_piloto,HIGH);
    ///Tiempo de accionamiento del rele A,B and C
    tA=t1/100;
    dtostrf(tA, 2, 0, result4);
    treleA.setText(result4);
    dtostrf(tA, 2, 0, result4);
    treleB.setText(result4);
    dtostrf(tA, 2, 0, result4);
    treleC.setText(result4);
    if(tA>0)
    {
        taux=tA;
    }
}
//////////
//Registro de datos en SD
registro_datos_SD();
//////////

} //Fin del LOOP

```

```

/////////////////////////////////////////////////////////////////
/////////////////////////////////////////////////////////////////
//Funcion lectura de corrientes de linea primario y secundario
float corriente(int current)
{
  rms=0;
  RMS=0;
  for(int i=0; i<SAMPLES; i++)
  {
    microseconds = micros();
    float voltajeSensorA= analogRead(current)*(5.0 / 1023.0);
    float lcorr;
    if(current==0)
    {
      lcorr=(voltajeSensorA-REF_A)/Sensibilidad;
    }
    if(current==1)
    {
      lcorr=(voltajeSensorA-REF_a1)/Sensibilidad;
    }
    if(current==2)
    {
      lcorr=(voltajeSensorA-REF_B)/Sensibilidad;
    }
    if(current==3)
    {
      lcorr=(voltajeSensorA-REF_b1)/Sensibilidad;
    }
    if(current==4)
    {
      lcorr=(voltajeSensorA-REF_C)/Sensibilidad;
    }
    if(current==5)
    {
      lcorr=(voltajeSensorA-REF_c1)/Sensibilidad;
    }
    muestrasA[i] = pow(lcorr,2);
    while(micros() < (microseconds + sampling_period_us)){
    }
  }
  for(int i=0; i<SAMPLES; i++)
  {
    rms=rms+muestrasA[i] ;
  }
  RMS=sqrt(rms/(SAMPLES))*0.95837;
  if(RMS<=0.30)
  {
    RMS=0;
  }
  return RMS;
} // Fin lectura de corrientes

```

```

////////////////////////////////////
//Funcion lectura de tensiones de linea a linea
float voltaje(int volta)
{
  rms1=0;
  RMS1=0;
  for(int i=0; i<SAMPLES; i++)
  {
    microseconds = micros();
    float x= (analogRead(volta)-512);
    muestrasA1[i] = pow(x,2);
    while(micros() < (microseconds + sampling_period_us)){
    }
  }
  for(int i=0; i<SAMPLES; i++)
  {
    rms1=rms1+muestrasA1[i] ;
  }
  RMS1=sqrt(rms1/(SAMPLES));
  if(RMS1<25)
  {
    RMS1=0;
  }
  return RMS1;
}
//Fin lecturas tension
////////////////////////////////////
//Funcon generacion de onda sinoidal
void angulo1()
{
  double angulo = 0; // ponemos el angulo a cero
  double deltaAngulo = 2.0 * PI /36;
  while(angulo < 2 * PI) { // mientras no haya completado un ciclo
    microseconds = micros();
    float a =(sin(angulo)*IRMSA*ao1)+IRMSA*190;
    float b =(sin(angulo+(PI/6))*irmsa*ao1)+irmsa*110;
    ///Envio de onda sinoidal
    OO.addValue(0,a);
    OO.addValue(1,b);
    angulo += deltaAngulo;
    while(micros() < (microseconds + sampling_period_us)){
    }
  }
}
//Fin angulo desfase
////////////////////////////////////
//Registro de datos en archivo txt en micro SD
void registro_datos_SD()
{
  registros = SD.open("datos.txt", FILE_WRITE); //abrir "datos.txt" para escribir datos
  if (registros) {
    // escribe en SD
  }
}

```

```
//if((((lopa>ldopmina) || (lopb>ldopminb) || (lopc>ldopminc)) || ((IRMSA>irmsa)&&(IRMSB>irmsb)&&(IRMSC>irmsc))&&(rtc.getDateStr(>0)))
```

```
if((((lopa>ldopmina) || (lopb>ldopminb) || (lopc>ldopminc)) || ((IRMSA>irmsa)&&(IRMSB>irmsb)&&(IRMSC>irmsc))))
```

```
{
```

```
registros.print(rtc.getDateStr());
```

```
registros.print(";");
```

```
registros.print(rtc.getTimeStr());
```

```
registros.print(";");
```

```
registros.print(";");
```

```
registros.print("lopa=");
```

```
registros.print(lopa);
```

```
registros.print(";");
```

```
registros.print("lopb=");
```

```
registros.print(lopb);
```

```
registros.print(";");
```

```
registros.print("lopc=");
```

```
registros.print(lopc);
```

```
registros.print(";");
```

```
registros.print("ldopmina=");
```

```
registros.print(ldopmina);
```

```
registros.print(";");
```

```
registros.print("ldopminb=");
```

```
registros.print(ldopminb);
```

```
registros.print(";");
```

```
registros.print("ldopminc=");
```

```
registros.print(ldopminc);
```

```
registros.print(";");
```

```
registros.print("lra=");
```

```
registros.print(lra);
```

```
registros.print(";");
```

```
registros.print("lrb=");
```

```
registros.print(lrb);
```

```
registros.print(";");
```

```
registros.print("lrc=");
```

```
registros.print(lrc);
```

```
registros.print(";");
```

```
registros.print("ldopmin_res=");
```

```
registros.print(ldopmin_res);
```

```
registros.print(";");
```

```
registros.print("l_res=");
```

```
registros.print(l_res);
```

```
registros.print(";");
```

```
registros.print("T_Rele=");
```

```
registros.println(taux);
```

```
registros.close(); // close file
```

```
}
```

```
} else {
```

```
Serial.println("No se pudo abrir el archivo (escritura).");
```

```
}
```

```
}
uint8_t Page()
{
  while (nexSerial.available())
  {
    nexSerial.read();
  }
  nexSerial.print("sendme");
  nexSerial.write(0xFF);
  nexSerial.write(0xFF);
  nexSerial.write(0xFF);
  uint8_t temp[5] = {0};
  if (sizeof(temp) != nexSerial.readBytes((char *)temp, sizeof(temp))){
    return 0;
  }
  if (temp[0] == 0x66 && temp[2] == 0xFF &&temp[3] == 0xFF && temp[4] == 0xFF)
    return temp[1];
  return 0;
}
```

Anexo II.

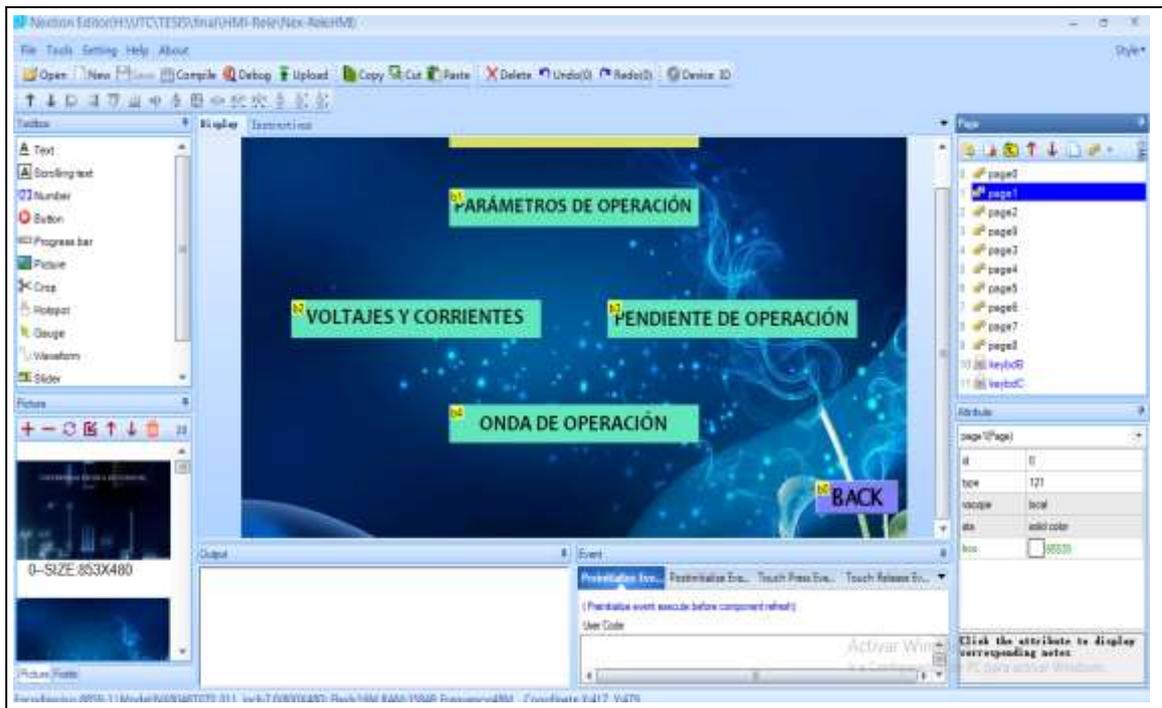


Figura II. 1. Diseño de las páginas en Nextion Editor.



Figura II.2. Pantalla Nextion cargando el programa.



Figura II.3. Interfaz gráfica en MatLab.

Anexo III.

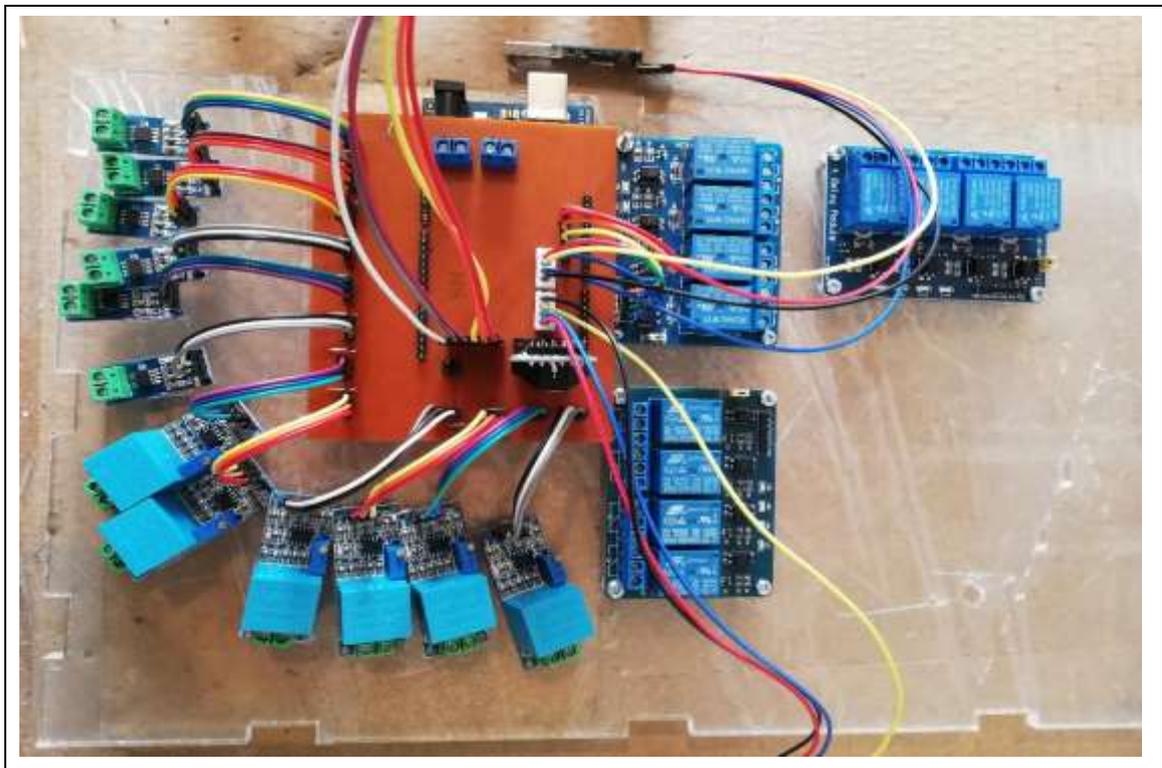


Figura III.1 Colocación de los elementos a la placa Baquelita.



Figura III.2. Construcción de la estructura del módulo relé diferencial MRD-87T.



Figura III.3. Colocación de borneras en el módulo relé diferencial MRD-87T.

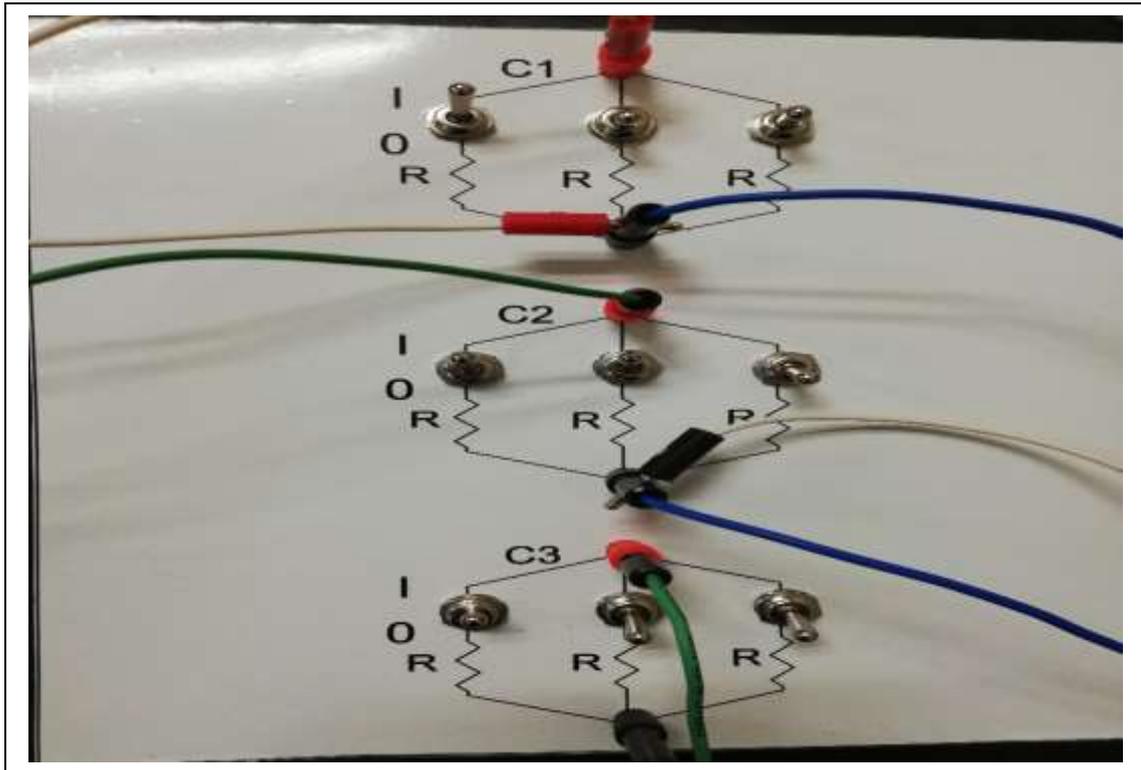


Figura III.4. Accionamiento de cargas.



Figura III.5. Módulo relé diferencial MRD-87T.

Anexo IV.

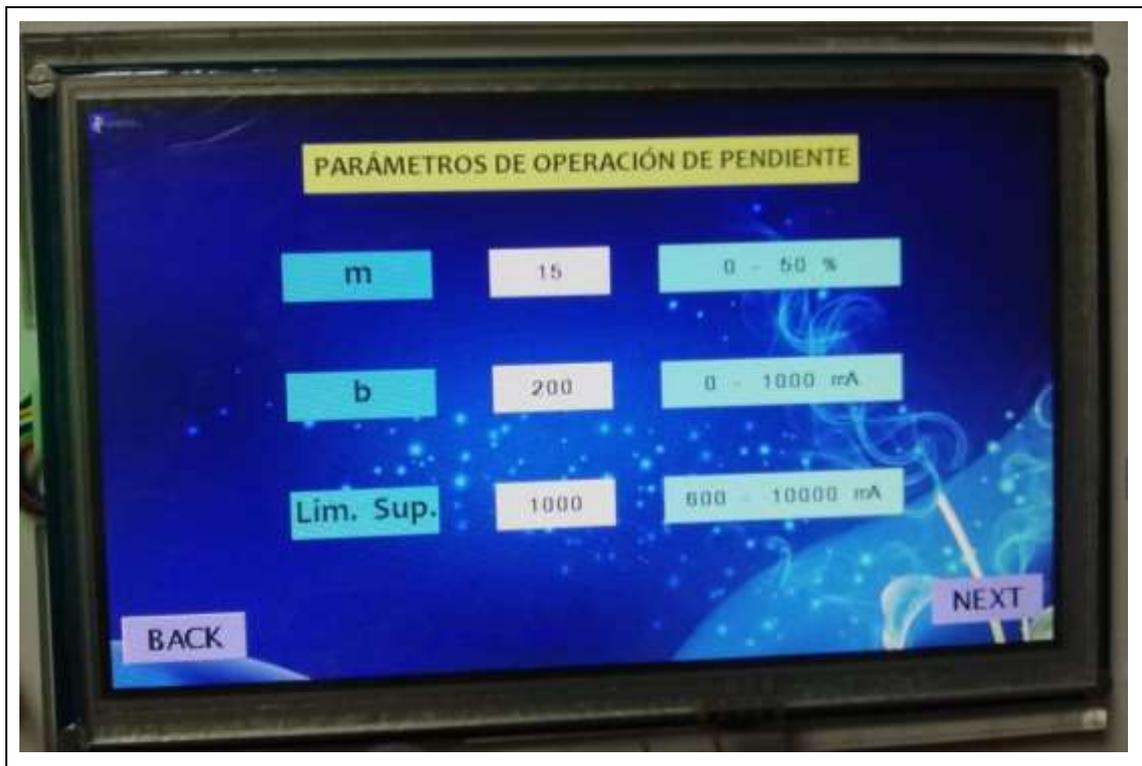


Figura IV.1. Parámetros de operación de pendiente.



Figura IV.2. Factores de corrección y escalonamiento.



Figura IV. Corrientes obtenidas con una carga de 6.4Ω y con un factor de corrección de 0.2



Figura IV. Operación de la protección en la fase A.

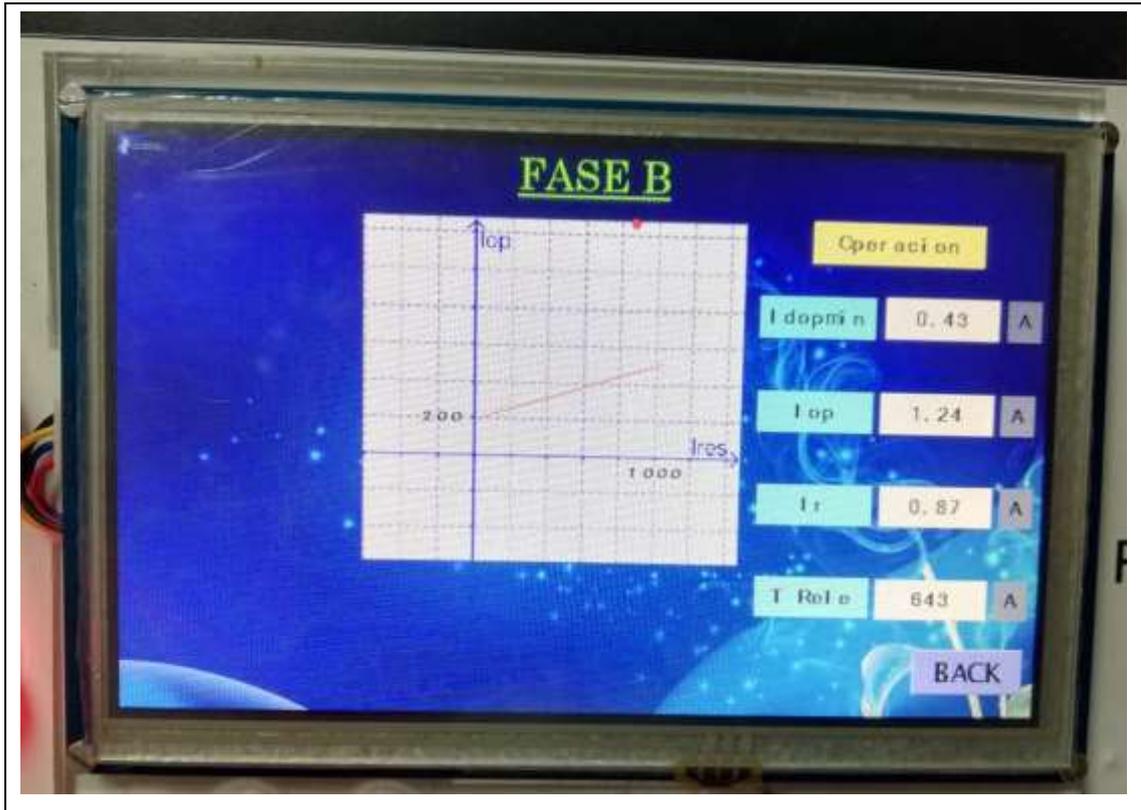


Figura IV. Operación de la protección en la fase B.

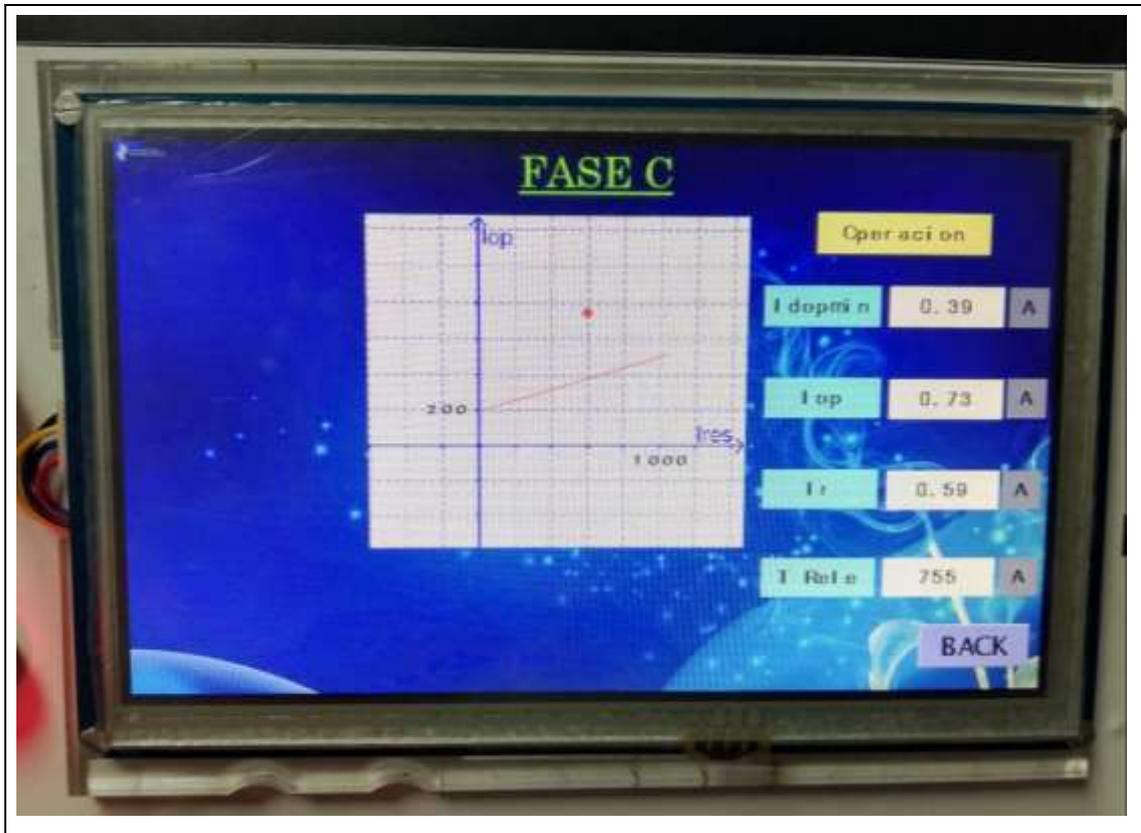
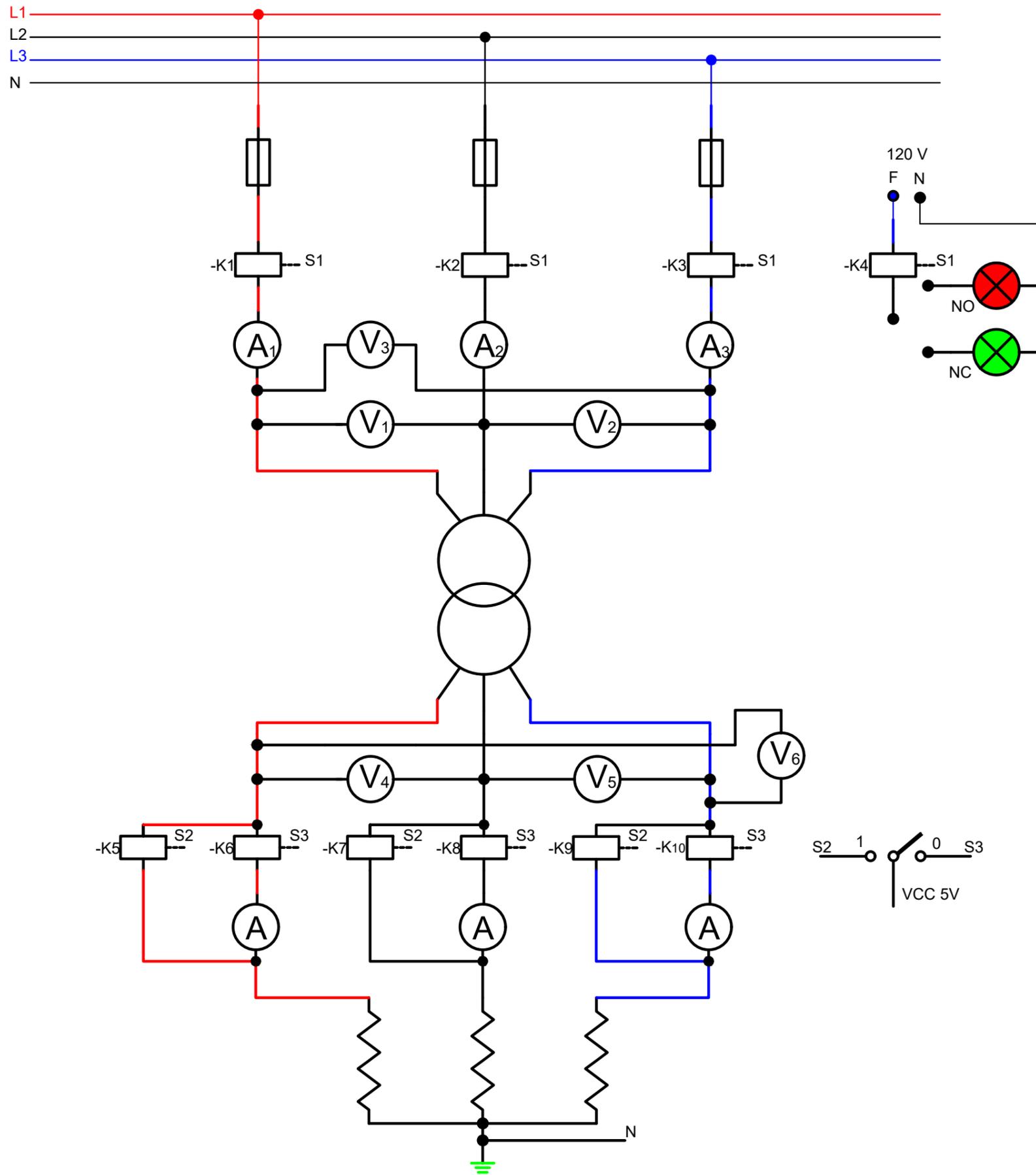


Figura IV. Operación de la protección en la fase C

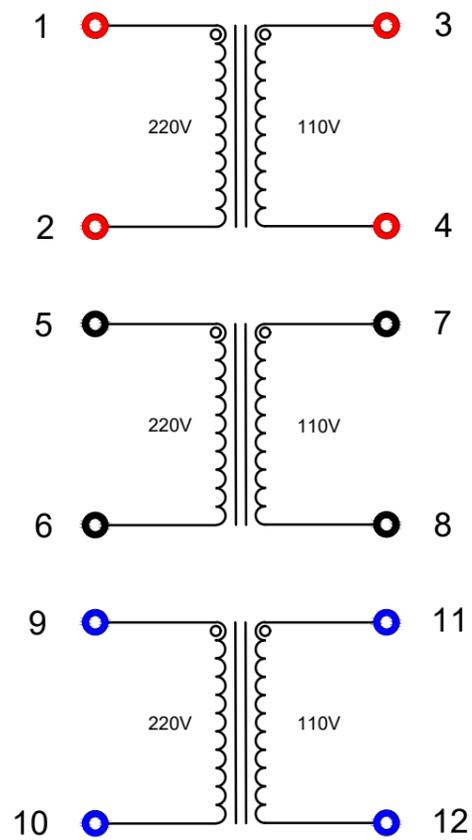
Anexo V. Planos del módulo relé diferencial MRD-87T



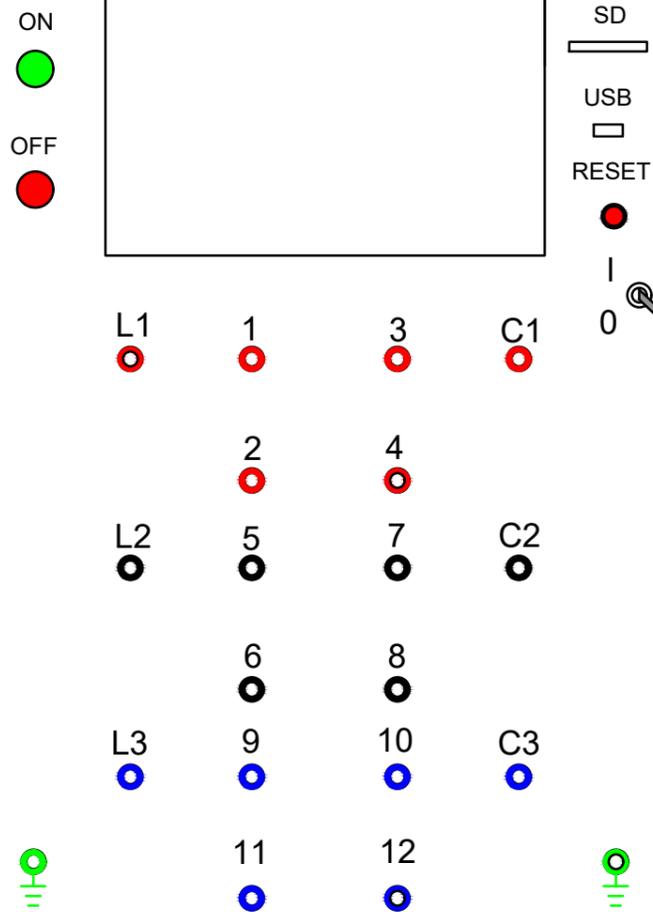
SIMBOLOGÍA	
SÍMBOLO	DENOMINACIÓN
	LUZ PILOTO
	RELE ARDUINO
	SENSORES DE CORRIENTE
	SENSORES DE VOLTAJE
	RESISTENCIAS DE POTENCIA
	PUESTA A TIERRA
	TRANSFORMADOR 3F
	CONMUTADOR DOS POSICIONES
	RESISTENCIA
S	SEÑAL ENVIADA DESDE ARDUINO

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI LATAGUNGA - ECUADOR	
PROYECTO: TESIS	RELE DIFERENCIAL
DIBUJO: AUTORES	<small>LABORATORIO DE ELECTRICIA</small>
REVISÓ: ING. XAVIER PROAÑO	DIAGRAMA UNIFILAR DEL "RELE DIFERENCIAL"
RECOMENDÓ:	BAJO VOLTAJE
APROBÓ:	TIPO DE INSTALACIÓN: AÉREA VOLTAJE: 220 / 127 V
FECHA: 05/12/2018	ESCALA: 1 / 1.0 COORDENADA EN X: COORDENADA EN Y: HOJA: 1 DE: 1
	OFICINA: FACTIBILIDAD No. PROYECTO No. 0001

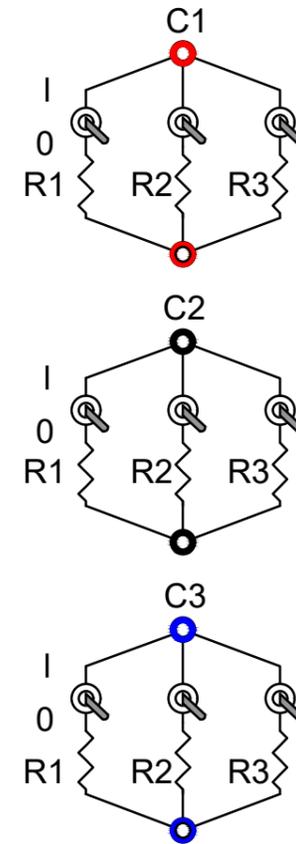
ALIMENTACIÓN



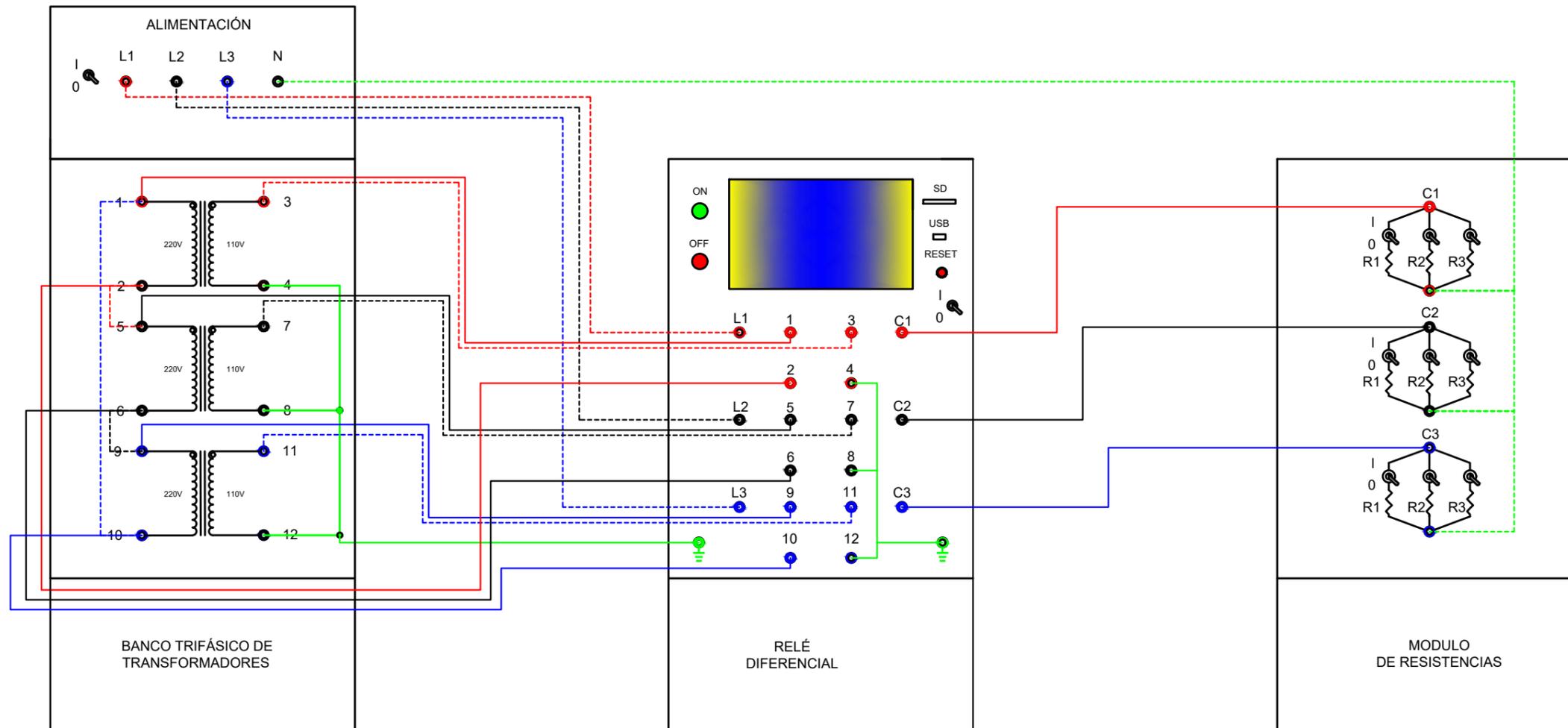
BANCO TRIFÁSICO DE TRANSFORMADORES



RELÉ DIFERENCIAL



MODULO DE RESISTENCIAS



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI LATACUNGA - ECUADOR	
PROYECTO: TESIS	RELE DIFERENCIAL <small>LABORATORIO DE ELECTRICA</small>
DIBUJO: AUTORES	PRACTICA N°4
REVISÓ: ING. XAVIER PROAÑO	BAJO VOLTAJE
RECOMENDÓ:	TIPO DE INSTALACIÓN: AÉREA VOLTAJE: 220 / 127 V
APROBÓ:	ESCALA: 1 : 1.0 COORDENADA EN X: COORDENADA EN Y: HOJA: 1 DE: 1
FECHA: 05/12/2018	OFICINA: FACTIBILIDAD No. PROYECTO No. 0001

MANUAL DEL USUARIO

Modulo diferencial 87 T

El prototipo de la protección diferencial está conformado en tres partes importantes que son: el banco de transformadores trifásicos, relé diferencial y el banco de cargas resistivas.



Figura 1. El módulo de protección diferencial 87 T.

Interruptores de alimentación



Figura 2. Enchufes de alimentación

Como se observa en la fig. 2 el literal (a) es un ENCHUFE LEG. IP44 3P +T 16A para la alimentación 3F para el módulo 127/220 V. (b) es el enchufe de 110 - 120 V para la alimentación, del fuente de poder como se indica en la fig. 3.

Fuente de poder



Figura 3. Fuente de poder.

La fuente de poder de la fig. 3 sirve para alimentar a los elementos del sistema de control como son al Arduino, sensores de corriente, voltaje, módulo de relés y las luces piloto.

Fuente de alimentación del módulo.

Como se observa en la fig. 4 la fuente de alimentación consta de tres fases L1, L2, L3 y N, las tres fases están controlados por un interruptor 3 F.



Figura 4. Fuente de alimentación.

El interruptor 3 F, soporta una corriente por línea de 15 amperios. Antes de realizar las conexiones correspondientes, en el banco de transformadores trifásico la fuente debe estar apagada (OFF), para evitar posibles electrocuciones y cortocircuitos en el módulo del relé diferencial.

Banco de Transformadores Trifásico

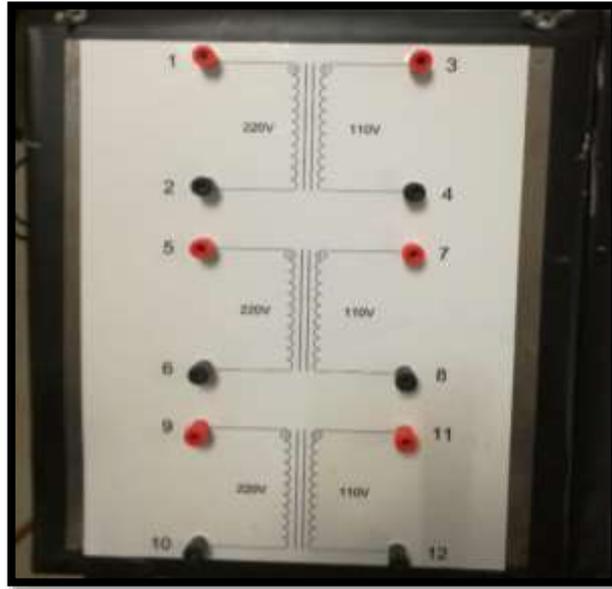


Figura 5. Banco de transformadores trifásico.

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

Modulo del relé diferencial 87 T



Figura 6. Modulo del relé diferencial 87 T

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

Corrientes

- Entre los terminales L1-1 se encuentra el sensor de corriente IA, entre los terminales 3-C1 se encuentra el sensor de corriente Ia.
- Entre los terminales L2-5 se encuentra el sensor de corriente IB, entre los terminales 7-C2 se encuentra el sensor de corriente Ib.
- Entre los terminales L3-9 se encuentra el sensor de corriente IC, entre los terminales 11-C3 se encuentra el sensor de corriente Ic.

Voltajes

- Entre los terminales 1-2 se encuentra el sensor de voltaje VA, entre los terminales 3-4 se encuentra el sensor de Va.
- Entre los terminales 5-6 se encuentra el sensor de voltaje VB, entre los terminales 7-8 se encuentra el sensor de Vb.
- Entre los terminales 9-10 se encuentra el sensor de voltaje VC, entre los terminales 11-12 se encuentra el sensor de Vc.

Módulo de cargas resistivas

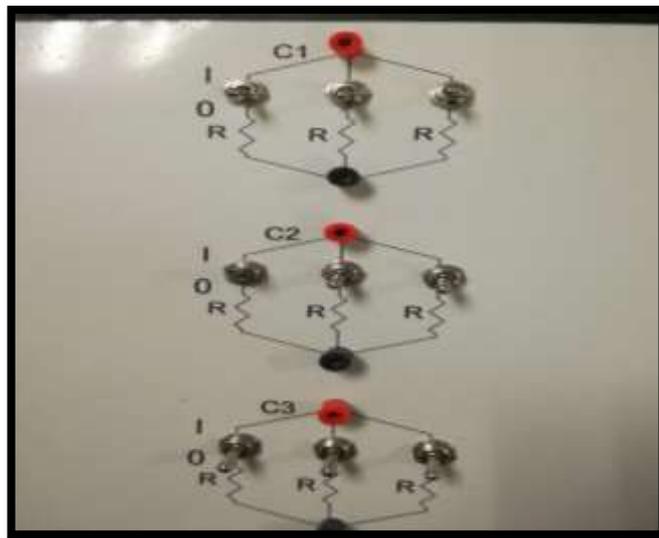


Figura 7. Módulo de cargas resistivas.

En la fig. 7 se observa el módulo de cargas resistivas cada una de las fases cuenta con tres cargas resistivas conectadas en paralelo R1, R2 y R3 respectivamente para C1, C2 y C3.

Aterrizar el modulo a tierra.



Figura 8. Conexión a tierra del laboratorio.

En la fig. 8 se observa el módulo con su respectiva acometida a tierra para realizar la conexión con la tierra del laboratorio, esto permite proteger al módulo diferencial 87 T de cortocircuitos y sobrecorrientes que pueda suceder durante las prácticas de laboratorio en el mismo.

Advertencia: se debe realizar la conexión a tierra antes de energizar el modulo, para evitar electrocución y daños en el equipo.

Manual de uso de la pantalla Nextion

Paso 1. Menú de presentación

A continuación se representa la primera página como menú de presentación.



Figura 1. Menú de presentación.

Como se observa en la fig. 1 donde:

- a) Nombre de la Universidad
- b) Nombre de la Carrera
- c) Nombre del tema
- d) Menú principal

Para ir al menú principal presionar en MENÚ.

Paso 2. Menú de interpretación

En el menú de interpretación indica las opciones que el usuario puede acceder



Figura 2. Menú de interpretación principal.

En la fig. 2 se da a conocer cada uno de los literales

- a) Menú de interpretación es un etiquetado o título
- b) Parámetros de operación es un botón de opciones que abre otra ventana
- c) Voltajes y corrientes es un botón para visualizar valores de corrientes y voltajes
- d) Parámetros de operación es un botón para visualizar la gráfica de la pendiente
- e) Onda de operación es un botón para visualizar las ondas de corriente.
- f) Back es un botón que sirve para retroceder al menú de presentación

Paso 3. Parámetros de operación de pendiente.

Los valores que aparecen son valores que se cargan al iniciar el programa por default



Figura 3. Vista de parámetros de operación.

Como se indica en la fig. 3:

- a) m es la inclinación de la pendiente está entre los rangos de 0,15 hasta 0,45
- b) b es la corriente de arranque que tiene un transformador se encuentra en los rangos de 0.1- 1A.
- c) Lim. Sup. es el límite superior que tiene la gráfica en el eje de las x hasta un valor superior de 10 amperios.
- d) Back es un botón que permite retroceder al menú principal.
- e) Next es un botón que permite pasar a la siguiente página de factores de escalonamiento.

Las unidades de corrientes en el literal (b) y (c) se encuentran en miliamperios, debido a que se necesita números enteros para dibujar la pendiente de operación.

Pasó 4. Factores de corrección y escalonamiento

Los valores que aparecen son valores que se cargan al iniciar el programa por default.



Figura 4. Factores de corrección y escalonamiento.

Donde la fig. 4 representa:

- K_1 es el factor de corrección que permite multiplicar todas las corrientes del devanado primario por una constante y los valores multiplicados se visualiza en la venta de voltajes y corrientes.
- K_2 es el factor de corrección que permite multiplicar todas las corrientes del devanado secundario por una constante y los valores multiplicados se visualiza en la venta de voltajes y corrientes.
- $F.E.$ factor de escalonamiento permite multiplicar todas las corrientes por una constante, cuando se requiera asemejar las corrientes medidas con las corrientes que se encuentra en los transformadores de potencia en la vida real.
- Back es el botón que nos permite regresar a la ventana de parámetros de operación.
- Menú es el botón que permite regresar al menú principal.

Advertencia: luego de verificar o ingresar los valores en la venta de parámetros se debe esperar mínimo 3 s, para que los datos se registren antes de regresar al menú principal caso contrario no leerá los valores ingresados.

Paso 5. Corrientes de Línea-Línea y Voltajes de Línea-Neutro

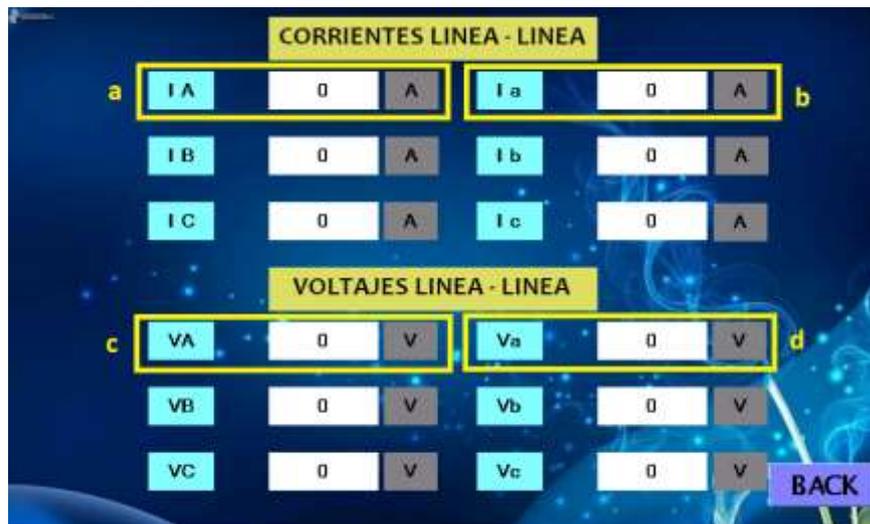


Figura 5. Ventana de representación de corrientes y voltajes.

Donde:

- a) I_A es la lectura del sensor de corriente transformado en valor Irms mediante la programación interna, el valor que visualiza es la corriente del devanado primario del primer transformador.
- b) I_a es la lectura del sensor de corriente transformada en valor irms mediante la programación interna, el valor que visualiza es la corriente del devanado secundario del transformador.
- c) V_A es la lectura del sensor de voltaje transformando en valor Vrms mediante la programación interna, el valor que visualiza es el voltaje del devanado primario del transformador.
- d) v_a es la lectura del sensor de voltaje transformando en valor vrms mediante la programación interna, el valor que visualiza es el voltaje del devanado secundario del transformador.

La venta representa las corrientes y voltajes instantánea de cada uno de las fases del devanado primario y secundario del banco de transformadores trifásico, cuando se alimenta a una carga resistiva. Estas corrientes son utilizadas para encontrar la corriente de operación, corriente diferencial de operación mínima y corriente de retención o restricción.

Paso 6. Pendiente de operación

La presente ventana indica los tres botones que dan acceso a cada uno de las fases, para observar la gráfica de la pendiente y sus parámetros de operación.

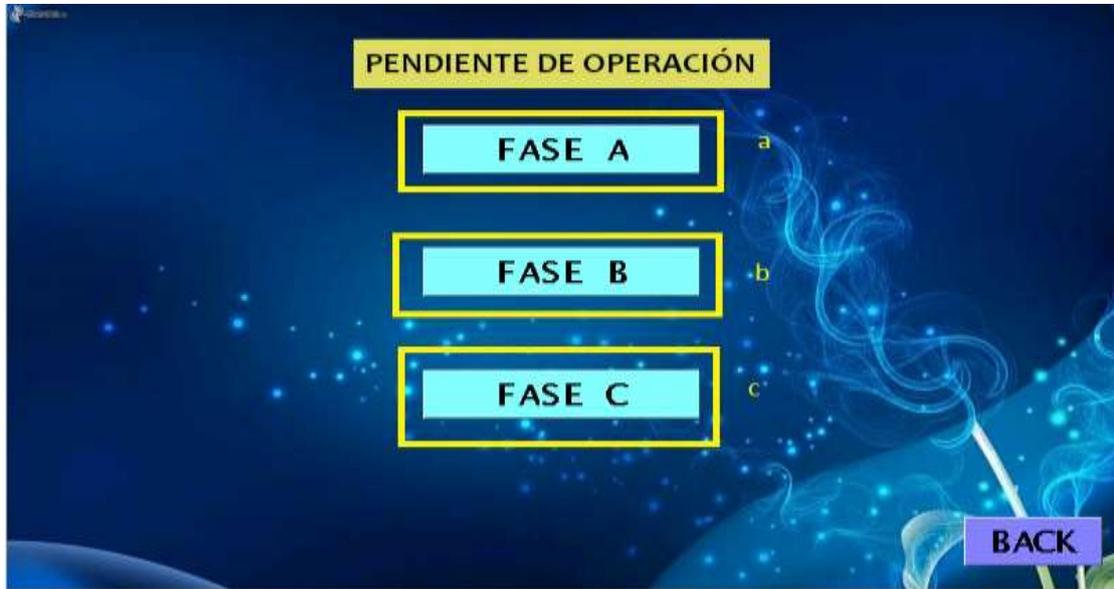


Figura 6. Menú de las pendientes de operación.

Donde:

- a) FASE A- FASE B - FASE C.- botones que dan acceso a una nueva venta, donde indica el valor de los parámetros de operación y la gráfica de la pendiente.

Paso 7. FASE A

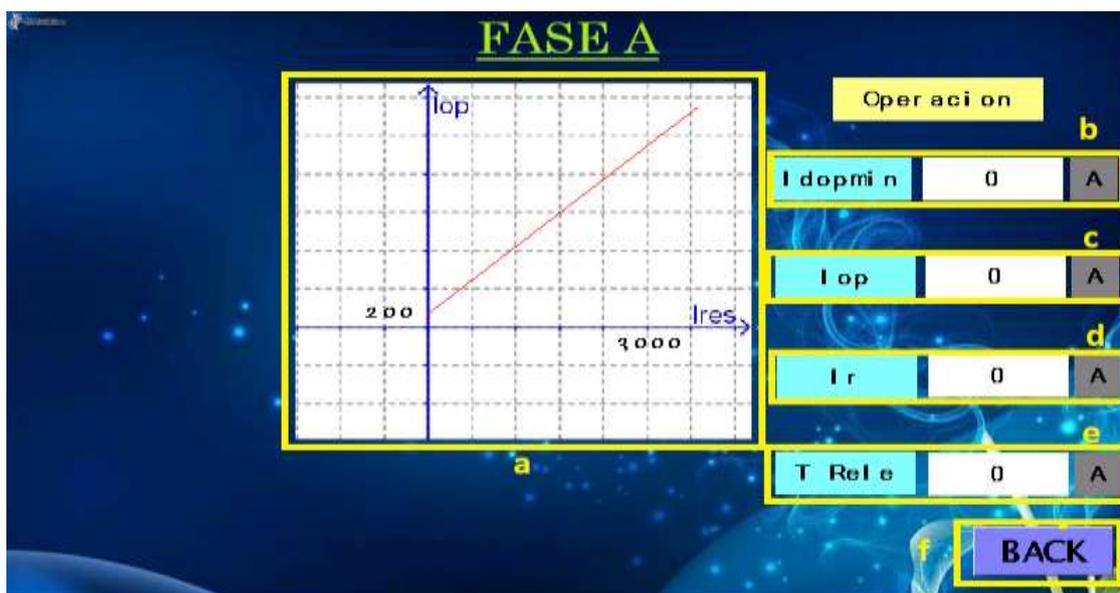


Figura 7. Pendiente de Operación.

Donde:

- a) Grafica de la pendiente, donde se representa la pendiente con los parámetros ingresados de m, b y Lim. Sup.
- b) $I_{d_{opmin}}$ es la corriente diferencial mínima
- c) I_{op} es la corriente de operación.
- d) I_r es la corriente de retención.
- e) T_Rele es el tiempo de operación del relé que se demora en abrir el circuito primario cuando detecta una falla de operación, la comparación lo realiza con la siguiente fórmula.

$$I_{op} > I_{d_{opmin}}$$

Los valores quedan registrados en las ventanas de FASE A, FASE B y FASE C, cuando ocurre la falla.

Paso 8. Ondas de corriente



Figura 8. Grafica de Ondas de Corriente.

Donde:

- a) Amplitud es una constante que permite multiplicar la señal sinusoidal por el valor de la corriente Irms, que permite visualizar de mejor manera la señal de la onda.
- b) Es el área donde se dibuja la onda sinusoidal de la corriente.

Manual de uso de Matlab

Es la interfaz grafica de usuario en Matlab

GUIDE es un entorno de programacion visual disponible en Matlab para realizar y ejecutar programas que necesiten ingreso continuo de datos. Tiene las características básicas de todos los programas visuales como Visual Basic O visual C++.

Paso 1.- Conectar el cable serial USB

El cable serial USB se debe conectar en la entrada usb del modulo relé diferencial como se indica en la fig. 1, y luego encender.



Figura 1. Conexión a la entrada USB del módulo.

Paso 2. Abrir el archivo ejecutable.

El archivo ejecutable de Matlab contiene la interfaz gráfica que permite visualizar cada uno de las opciones vistas anteriormente en la pantalla Nextion.

Paso 3. Ventana de presentación.

Es la primera ventana donde el usuario interactúa con la interfaz gráfica, para continuar debe presionar en menú y conectar el cable usb al puerto usb de la computadora, luego verificar la dirección del puerto usb.



Figura 2. Menú de presentación realizado en Guide-Matlab

La fig. 2 contiene,

- (a) nombre de la carrera,
- (b) botón menu donde se encuentran el resto de los submenús,
- (c) botón exit sirve para salir de la aplicación y
- (d) imagen de fondo.

Paso 4.- Menú interpretación.

Es la ventana donde se encuentran todos los botones que dan acceso a cada uno de las opciones.

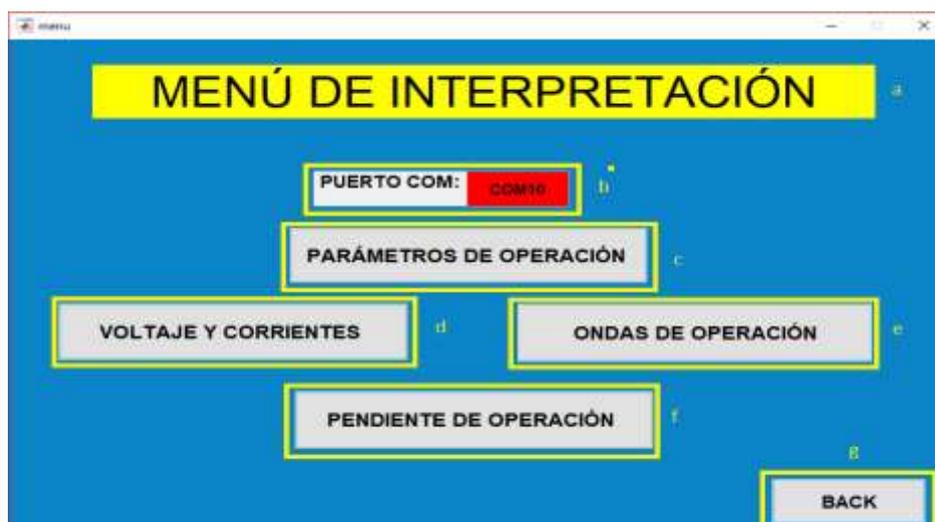


Figura 3. Representación del menú de opciones en Guide-Matlab

Como se observa en la fig. 3. donde (a) menú de interpretación es un etiquetado, (b) puerto com es un etiquetado en com10 se debe ingresar la dirección del puerto serial usb de la Laptop a

utilizar, (c) parámetros de operación es un sub menú que translanda hacia a otra ventana, la misma funcion realiza los literales (d) (e) (f), (g) Back es el boton que permite regresar.

Paso 5.- Parámetros de operación de pendiente, Factores de corrección y Escalonamiento.

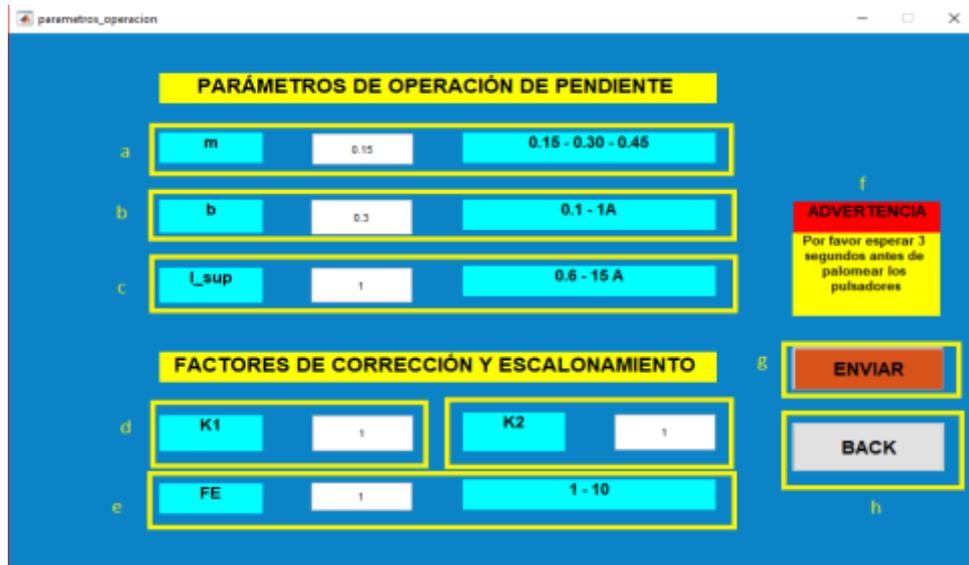


Figura 4. Ventana para ingresar los parámetros de operación Guide-Matlab.

En la fig. 4 se observa los literales

- (a) m es la inclinación de la pendiente está entre los rangos de 0,15 hasta 0,45
- (b) b es la corriente de arranque que tiene un transformador se encuentra en los rangos de 0.1- 1A.
- (c) Lim. Sup. es el límite superior que tiene la gráfica en el eje de las x , con un valor superior de 15 amperios.
- (d) K_1 es el factor de corrección que permite multiplicar todas las corrientes del devanado primario por una constante y los valores multiplicados se visualiza en la venta de voltajes y corrientes. K_2 es el factor de corrección que permite multiplicar todas las corrientes del devanado secundario por una constante y los valores multiplicados se visualiza en la venta de voltajes y corrientes.
- (e) $F.E.$ factor de escalonamiento permite multiplicar todas las corrientes por una constante, cuando se requiera asemejar las corrientes medidas con las corrientes que se encuentra en los transformadores de potencia en la vida real.
- (f) Advertencia después de pulsar los botones de Enviar y Back se debe esperar tres segundos para que se registre.
- (g) Enviar es el botón que permite enviar los datos ingresados de las variables.
- (h) Back es el botón que permite regresar al menú principal

Paso 6.- Voltajes y corrientes de línea

Es la ventana donde muestran los valores medidos por los sensores de corriente y voltaje.



Figura 5. Ventana para mostrar los valores de las corrientes y voltajes.

En la fig. 5 se observa, (a) (b) I_A, I_a donde refleja el valor medido por los sensores de corriente, (c)(d) V_A, V_a es donde refleja el valor medido por los sensores de voltaje, (e) Advertencia la nota sugiere esperar 3 segundos después de pulsar los botones de iniciar, detener y back (f).

Paso 7.- Pendiente de operación

Es la representación gráfica de las pendientes de cada una de las fases para la visualización si los relés entran en funcionamiento, también se observa la variación de la pendiente m cuando se realiza cambios en la ventana parámetros de operación.

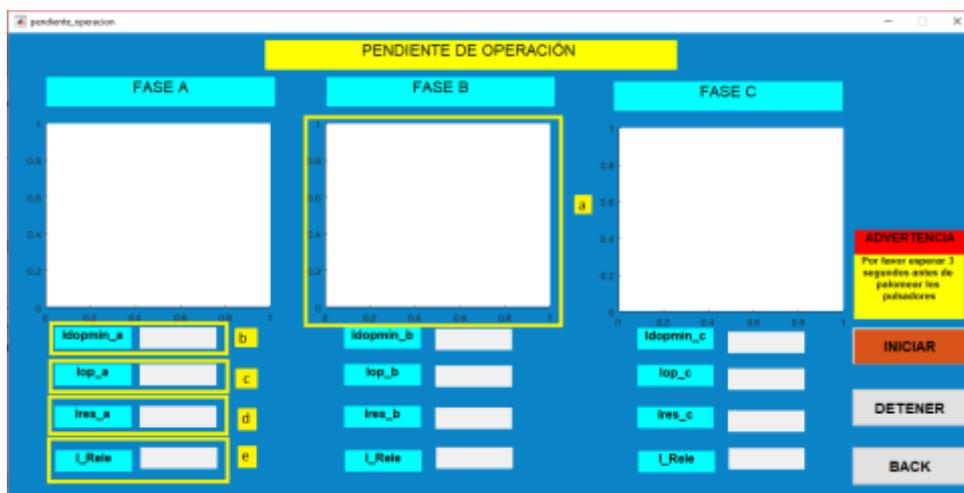


Figura 6. Ventana de visualización, Pendiente de Operación en Guide-Matlab.

En la Fig. 6 Se observa en el literal (a) donde se representa la gráfica de la pendiente y visualiza los puntos de operación y no operación, (b) la corriente diferencial de operación minima calculada con las corrientes medidas por el sensor, (c) la corriente de operación indica cuando debe entrar en funcionamiento, (d) la corriente de restricción o retención del relé, (e) el tiempo que tarda el Arduino en procesar la información y enviar al relé hasta que actúa.

Advertencia: después de pulsar las acciones de Iniciar, Detener y Back esperar 3 segundos hasta que los datos se registre en el Arduino.

Paso 8. Ondas de corriente



Figura 7. Ventana para visualizar las ondas de corriente, Guide-Matlab.

Como se observa en la fig. 7, (a) Amplitud de la onda, donde el usuario puede ingresar una constante para multiplicar por la corriente I_{rms} y dibujar la señal sinusoidal, el valor que aparece en la venta está cargado por default. (b) el botón iniciar permite dibujar la onda, detener permite para el ejecución de la ventana y Back permite regresar al menú principal. (c) es el área donde se va dibujar la señal sinusoidal de la corriente.

Advertencia: Luego de presionar los botones de iniciar y detener de debe esperar 3 segundos para que el sisma registre la solicitud que se encuentre ejecutando.

Anexo VII. Prácticas de Laboratorio.



GUÍA PRÁCTICA

FACULTAD:	CIYA	CARRERA:	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
ASIGNATURA:	PROTECCIONES ELÉCTRICAS	PERÍODO ACADÉMICO		NIVEL:	
DOCENTE:		FECHA		PRÁCTICA N°:	1
LABORATORIO DONDE SE DESARROLLARÁ LA PRÁCTICA:					
TEMA DE LA PRÁCTICA:	IDENTIFICACIÓN DE ELEMENTOS QUE COMPONEN EL MÓDULO DE RELÉ DIFERENCIAL				

INTRODUCCIÓN:

Los transformadores es una maquina estática eléctrica que cuenta con dos arrollamientos primario y secundario, su principal función es elevar o reducir el voltaje, los transformadores son importantes para el transporte, distribución y consumo de energía eléctrica, por tal motivo es importante protegerlos contra fallas internas que puedan ocasionar daños y alteren la vida útil del mismo.

La protección diferencial nos permite proteger transformadores de potencia frente a fallas internas, por medio de transformadores de corrientes ubicaos en le lada primario y secundario del equipo a proteger, cuando haya una diferencia muy elevada de corriente la protección actúa accionando a los relés ubicados en cada fase.

Las cargas resistivas como lámparas incandescentes, calefactores, etc el voltaje y la corriente están es fase es decir el ángulo de desfase es cero.

OBJETIVOS:

GENERAL

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

ESPECÍFICOS

- Identificar los diferentes elementos que ponen el relé diferencial.
- Identificar la ubicación de los sensores de corrientes y voltajes en el relé diferencial.
- Examinar el banco de resistencias para comprobar el funcionamiento de las resistencias.

LISTADO DE EQUIPOS, MATERIALES:

MATERIALES:

- Fuente de alimentación.
- Banco trifásico de transformadores.
- Relé Diferencial.
- Banco de cargas.
- Amperímetro AC.
- Voltímetro AC.

PREPARATORIO:

Se refiere a nociones preliminares enviados al estudiante como un trabajo autónomo, simulaciones, cálculos previos que corroborará a la implementación práctica:

1. Describa el funcionamiento del transformador.
2. Calcular la corriente máxima que soporta el devanado primario y secundario para un transformador de 400W.
3. Investigue sobre el funcionamiento de la protección diferencial 87 T.
4. Investigue como los parámetros para dibujar la pendiente de operación de la protección diferencial 87 T.
5. Consulte el comportamiento de la corriente frente a cargas resistivas.

INSTRUCCIONES:

Advertencia: ¡En este experimento de laboratorio se manejan altos voltajes! ¡No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada! ¡La fuente debe desconectarse después de hacer cada medición!

- 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 buen estado.
- Utilizar el equipo de protección adecuado para realizar la práctica.

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

Se refiere al procedimiento a seguir en la práctica:

- Identificación de elementos que conforman el módulo Relé Diferencial:
 1. Relacionar la siguiente figura con el módulo relé diferencial.

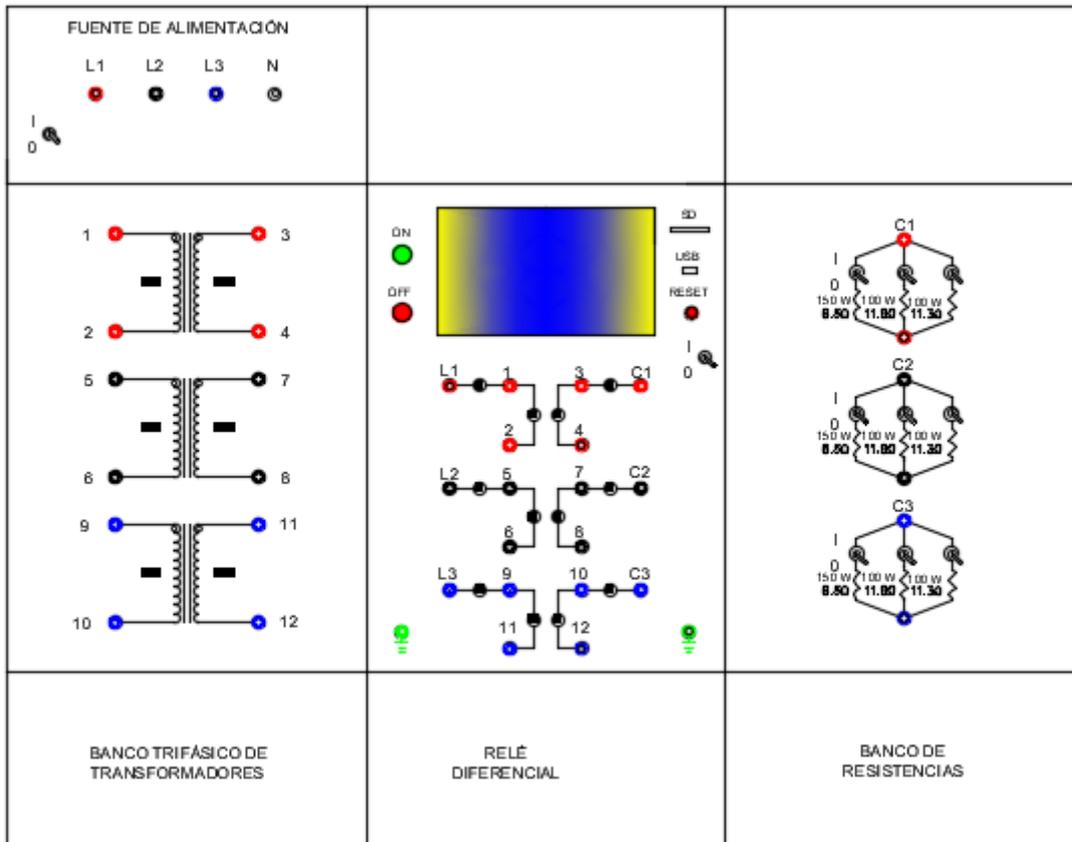


Fig. 1: Módulo Relé Diferencial



5. Identificar la fuente trifásica de alimentación.
6. Identificar el banco trifásico de transformadores.
7. Verificar la ubicación de los voltímetros y amperímetros en el relé diferencial.
7. Identificar el banco de resistencias y comprobar la resistencia total por línea.
8. Conexión de equipos del relé diferencial :
 - Realice la siguiente conexión (Dy1) en el banco trifásico de transformadores:

RESULTADOS OBTENIDOS:

CUESTIONARIO:

- ¿Explique cómo se conecta el banco de transformadores trifásico al relé diferencial?
- ¿Por qué los sensores de corrientes están instalados en la de primario y secundario del transformador?
- ¿Explique cuándo debe operar la protección diferencial frente a fallas internas en transformadores?
- ¿Qué sucede con el relé diferencial cuándo $I_{op} > I_{dopminm}$?

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES:



GUÍA PRÁCTICA

FACULTAD:	CIYA	CARRERA:	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
ASIGNATURA:	PROTECCIONES ELÉCTRICAS	PERÍODO ACADÉMICO		NIVEL:	
DOCENTE:		FECHA		PRÁCTICA N°:	2
LABORATORIO DONDE SE DESARROLLARÁ LA PRÁCTICA:					
TEMA DE LA PRÁCTICA:	COMPROBACIÓN Y FUNCIONAMIENTO QUE COMPONEN EL MÓDULO DE RELÉ DIFERENCIAL				

INTRODUCCIÓN:

Los transformadores es una maquina estática eléctrica que cuenta con dos arrollamientos primario y secundario, su principal función es elevar o reducir el voltaje, los transformadores son importantes para el transporte, distribución y consumo de energía eléctrica, por tal motivo es importante protegerlos contra fallas internas que puedan ocasionar daños y alteren la vida útil del mismo.

La protección diferencial nos permite proteger transformadores de potencia frente a fallas internas, por medio de transformadores de corrientes ubicaos en le lada primario y secundario del equipo a proteger, cuando haya una diferencia muy elevada de corriente la protección actúa accionando a los relés ubicados en cada fase.

Las cargas resistivas como lámparas incandescentes, calefactores, etc. El voltaje y la corriente están es fase es decir el ángulo de desfase es cero.

OBJETIVOS:

GENERAL

- Comprobar los elementos que conforman el módulo de relé diferencial para el correcto uso y funcionamiento cuando se realice las prácticas pertinentes.

ESPECÍFICOS

- Conectar el banco de transformadores trifásico con la configuración Dy1.
- Conectar el relé diferencial a la fuente de alimentación para medir corrientes y voltajes.
- Conectar el módulo cargas resistivas en estrella para medir corriente con las respectivas cargas.

LISTADO DE EQUIPOS, MATERIALES:

MATERIALES:

- Fuente de alimentación.
- Banco trifásico de transformadores.
- Relé Diferencial.
- Banco de cargas.
- Amperímetro AC.
- Voltímetro AC.

EQUIPOS:

PREPARATORIO:

Se refiere a nociones preliminares enviados al estudiante como un trabajo autónomo, simulaciones, cálculos previos que corroborará a la implementación práctica:

6. Describa el funcionamiento del transformador.
7. Calcular la corriente máxima que soporta el devanado primario y secundario para un transformador de 400W.
8. Investigue sobre el funcionamiento de la protección diferencial 87 T.
9. Investigue como los parámetros para dibujar la pendiente de operación de la protección diferencial 87 T.
10. Consulte el comportamiento de la corriente frente a cargas resistivas.

INSTRUCCIONES:

Advertencia: ¡En este experimento de laboratorio se manejan altos voltajes! ¡No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada! ¡La fuente debe desconectarse después de hacer cada medición!

- 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 buen estado.
- Utilizar el equipo de protección adecuado para realizar la práctica.
- Conectar la tierra del módulo a la tierra del laboratorio.

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

Se refiere al procedimiento a seguir en la práctica:

1. CONEXIÓN Dy1 AL BANCO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICO.

Realizar las respectivas conexiones como se indica en la fig. 1.

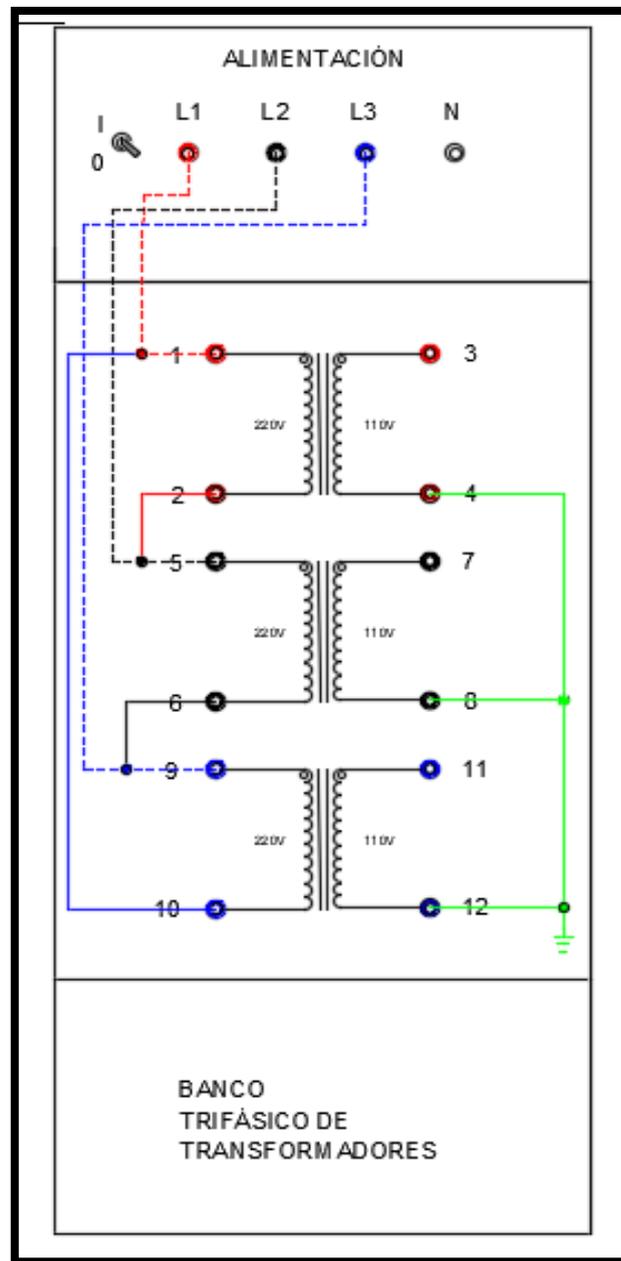


Figura 1. Módulo Relé Diferencial

- Conectar los terminales de la fuente con los terminales del banco de transformador L1-1, L2-5, L3-9 y realizar puentes entre los terminales del devanado primario del transformador 2-5, 6-9, 10-1.
- Puentear los terminales del devanado secundario del transformador entre 4-8-12 y luego conectar al terminal a tierra.
- Medir continuidad del terminal 1 entre los terminales 2-5-6-9-10, si la continuidad existe entre los terminales antes mencionado la conexión es correcta en el devanado primario, caso contrario volver a revisar.
- Medir continuidad del terminal a tierra entre los terminales 4-8-12, si la continuidad existe entre los terminales antes mencionado la conexión es la correcta en el devanado secundario, caso contrario volver a revisar.
- Conectar la acometida a tierra del módulo a la tierra del laboratorio.
- Encender la fuente de alimentación.
- Medir voltajes de línea en el devanado primario, Voltajes de línea y línea neutra en el devanado secundario.

2. CONEXION EL MÓDULO DE CARGAS EN ESTRELLA.

Realizar las respectivas conexiones como se indica en la fig. 2.

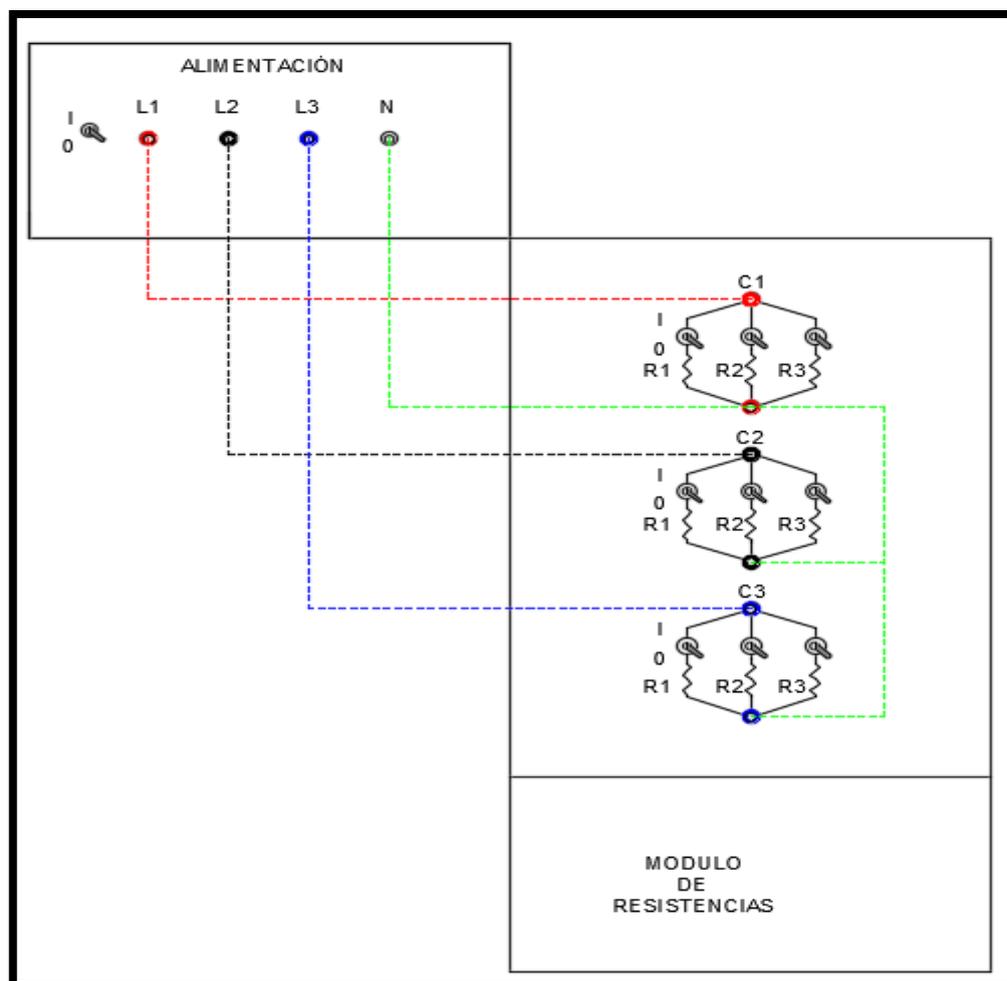


Figura 2. Módulo de cargas resistivas.

RESULTADOS OBTENIDOS:

- Conectar los terminales de la fuente con los terminales del módulo de cargas L1-C1, L2-C2, L3-C3 y las salidas de las cargas C1, C2, C3 a neutro.
- Medir continuidad entre los terminales antes mencionado.
- Encender la fuente de alimentación
- Medir las corrientes y voltajes, de cada una de las cargas y tomar nota.

3. CONEXIÓN DEL RELÉ DIFERENCIAL AL MÓDULO DE CARGAS.

Realizar las respectivas conexiones como se indica en la fig. 3.

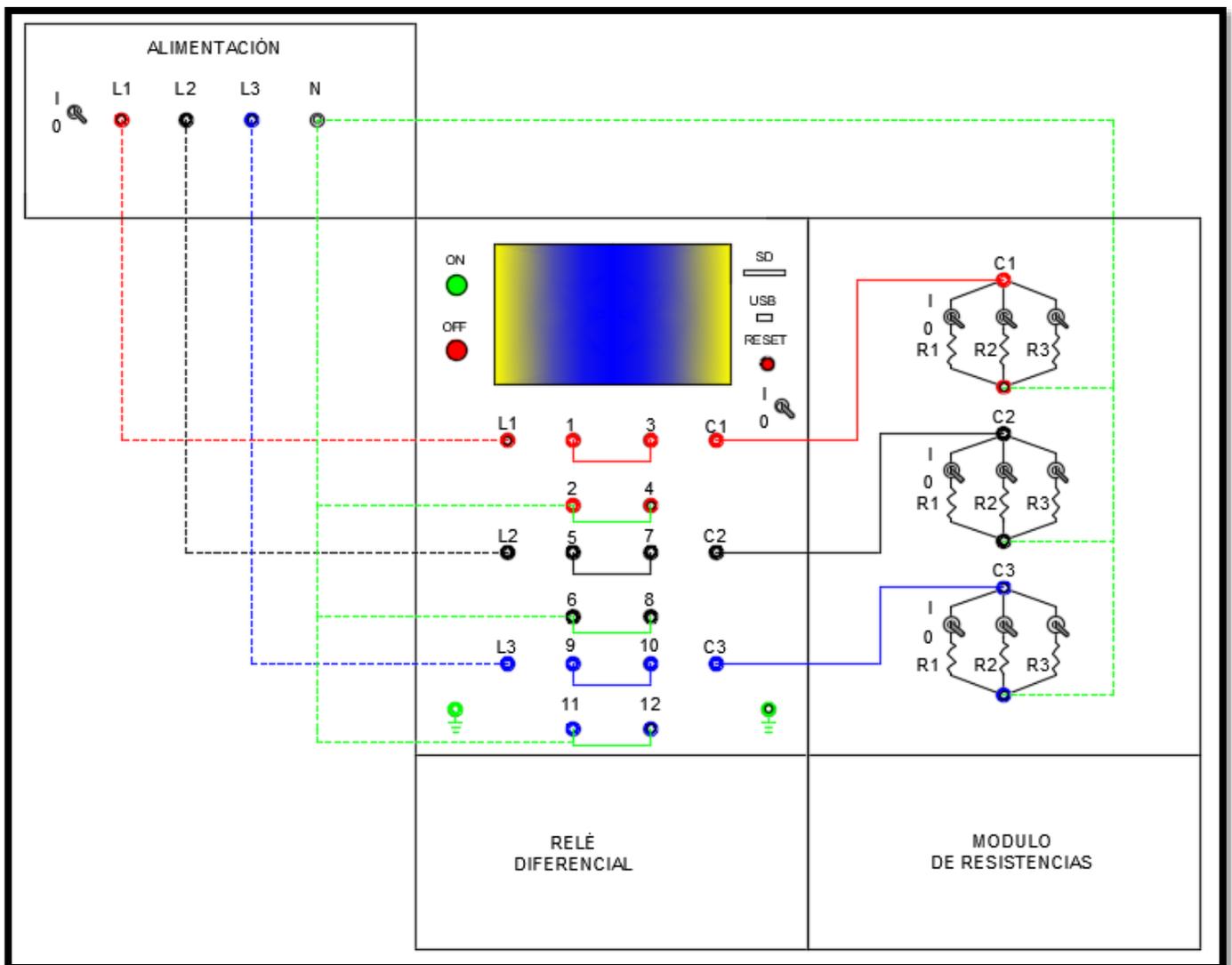


Figura 3. Relé diferencial y módulo de cargas.

- Conectar los terminales de la fuente alimentación con los terminales del relé diferencial, L1-L1, L2-L2, L3-L3 y medir continuidad.
- Puentear los terminales 1-3, 2-4, 5-7, 6-8, 9-10, 11-12 y medir continuidad.
- Conectar los terminales 2-6-11 al N neutro de la fuente y medir continuidad.



- d) Conectar los terminales del relé diferencial con los terminales del módulo de cargas, C1-C1, C2-C2, C3-C3 y luego la salida de cada uno de las cargas C1, C2, C3 conectar a tierra.
- e) Medir continuidad en cada uno de los pasos anteriores caso contrario verificar la conexión.
- f) Encender el relé diferencial.
- g) Encender la fuente de alimentación.
- h) Accionar el interruptor R1 para cada uno de las cargas C1, C2 y C3.
- i) Tomar nota de las corrientes y voltajes.
- j) Accionar el interruptor R2 para cada una de las cargas, C1, C2, C3.
- k) Tomar nota de las corrientes y voltajes.
- l) Accionar el interruptor R3 para cada uno de las cargas, C1, C2, C3.
- m) Tomar nota de las corrientes y voltajes.
- n) APAGAR LA FUENTE Y LUEGO EL RELE DIFERENCIAL.
- o) Retirar los cables de conexión cuidadosamente.

CUESTIONARIO:

- ¿Explique el funcionamiento y conexión del banco de transformadores trifásico?
- ¿Explique el funcionamiento del módulo de cargas?
- ¿Explique el funcionamiento del relé diferencial?

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES:



GUÍA PRÁCTICA

FACULTAD:	CIYA	CARRERA:	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
ASIGNATURA:	PROTECCIONES ELÉCTRICAS	PERÍODO ACADÉMICO		NIVEL:	
DOCENTE:		FECHA		PRÁCTICA N°:	3
LABORATORIO DONDE SE DESARROLLARÁ LA PRÁCTICA:					
TEMA DE LA PRÁCTICA:	MEDICIÓN DE CORRIENTE Y VOLTAJE EN UN MANCO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICO (DY1) CONECTADO A UN BANCO DE CARGAS RESISTIVAS.				

INTRODUCCIÓN:

Tipos de conexión para transformadores trifásico.

En la actualidad es muy común encontrarnos con los transformadores eléctricos, basta con salir de nuestras casas y mirar en los postes del tendido eléctrico para poder observar, también en las subestaciones y plantas generadoras de electricidad. El transformador es una maquina eléctrica de las más utilizadas en el área de la ingeniería eléctrica, por lo que resulta indispensable su estudio. El transformador eléctrico monofásico consta generalmente de dos embobinados y se basa en el principio de inducción electromagnética.

Básicamente existen 4 tipos de conexiones con los transformadores trifásicos. Las cuales son: Conexión estrella-estrella, delta-delta, delta-estrella y estrella-delta. Estas conexiones se usan tanto para elevar la tensión como para reducirla.



Figure 1. Transformador trifásico de potencia.

Banco de cargas resistivas

El banco de carga portátil resistiva es un mueble de acero robusto que contiene tres bancos de cargas resistivas conmutables. Cada banco de resistencias está separado eléctricamente, por lo que pueden conectarse como una carga en estrella o delta para circuitos trifásicos. Cada banco tiene un conjunto de conmutadores para poner cada resistencia en circuito. Esto permite a los estudiantes crear y estudiar los efectos de cargas resistivas balanceadas o no balanceadas. Los estudiantes conectan las cargas a los circuitos de experimentación usando conectores de seguridad en el panel frontal del gabinete. Los estudiantes pueden utilizar este banco de carga en combinación con otros bancos de carga similares para proporcionar cargas variables de potencia y de factor de potencia.



OBJETIVOS:

GENERAL

- Medir corrientes y voltajes en un transformador trifásico (Dy1) conectado a cargas balanceadas resistivas.

ESPECÍFICOS

- Investigar los tipos de conexión para transformadores trifásicos.
- Realizar la conexión Dy 1 en el banco de transformadores trifásico.
- Medir corrientes y voltajes de línea conectando un banco de cargas.

LISTADO DE EQUIPOS, MATERIALES:

MATERIALES:

- Cables conectores tipo banana.

EQUIPOS:

- Pinza a perimétrica
- Multímetro
- Equipo de protección personal (EPP)
- Banco de transformadores Trifásico
- Banco de cargas resistivas

PREPARATORIO:

(Antes de la Practica Realizar el siguiente trabajo preparatorio que relaciona la temática a desarrollar en la práctica)

1. ¿investigar tipos de conexiones para transformadores trifásicos?
2. ¿Investigar formulas correspondientes para el cálculo de corriente y voltaje de línea 3F?
3. ¿investigar que sucede con el voltaje y corriente cuando se conecta una carga en paralelo o en serie?

INSTRUCCIONES:

Advertencia: ¡En este experimento de laboratorio se manejan altos voltajes! ¡No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada! ¡La fuente debe desconectarse después de hacer cada medición!

- 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 buen estado.
- Utilizar el equipo de protección adecuado para realizar la práctica.

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

1. CONEXIÓN Dy1 AL BANCO DE TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS:

- Identificar el banco de transformadores trifásico.
- Identificar las polaridades de cada uno de los transformadores, para realizar la conexión Dy1.
- Conecte el banco de transformadores como se indica en la fig. 2.

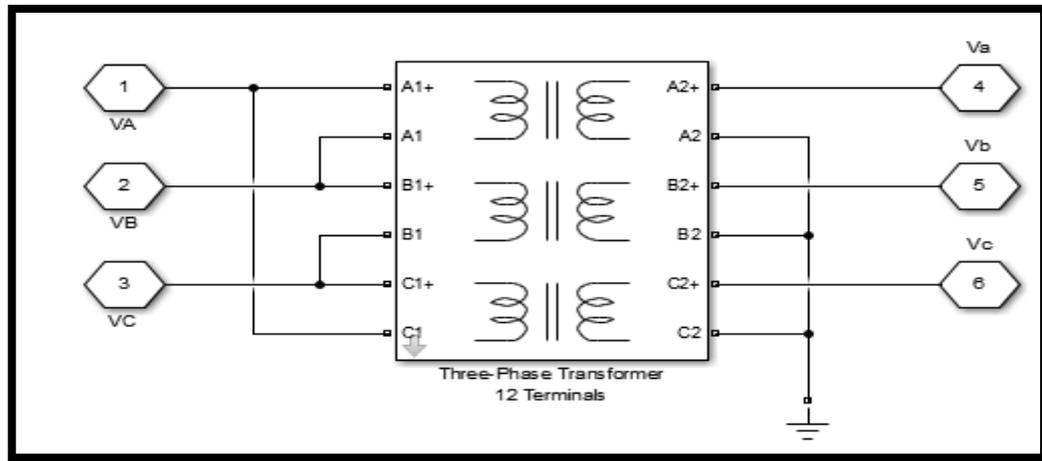


Figura 2. Banco de transformadores Dy 1.

- Verificar la conexión.
- Conectar al módulo de alimentación con los terminales L1-1, L2-5, L3-9, y puentear los terminales 2-5,6-9, 10-1. Los terminales 4-8-12 se debe conectar al terminal de tierra, como se indica en la fig. 3.

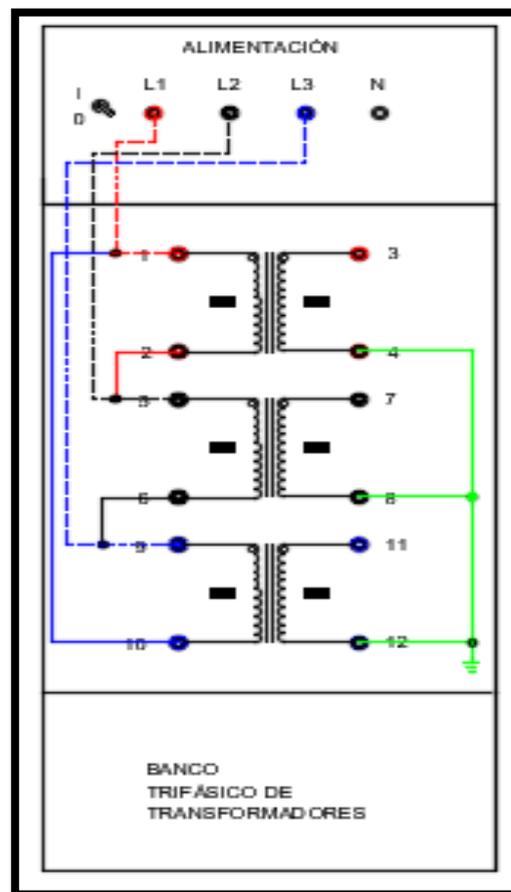


Figura 3. Módulo de alimentación y banco de transformadores.

- Encender la fuente de alimentación, medir corrientes y voltajes sin carga.

g) Tomar nota de los valores medidos en la tabla 1.

Tabla 1. Datos medidos de corrientes y voltajes de línea, del banco de transformador sin carga.

VOLTAJES Y CORRIENTES DE LÍNEA					
VAB	VBC	VCA	IA	IB	IC
VOLTAJES Y CORRIENTES DE LINEA					
Vab	Vbc	Vca	Ia	Ib	Ic

h) Apagar la fuente y mantener la conexión realizada.

2. CONEXIÓN DEL BANCO DE CARGA RESISTIVA:

a) Realizar la conexión estrella en banco de cargas como se indica en la fig. 4

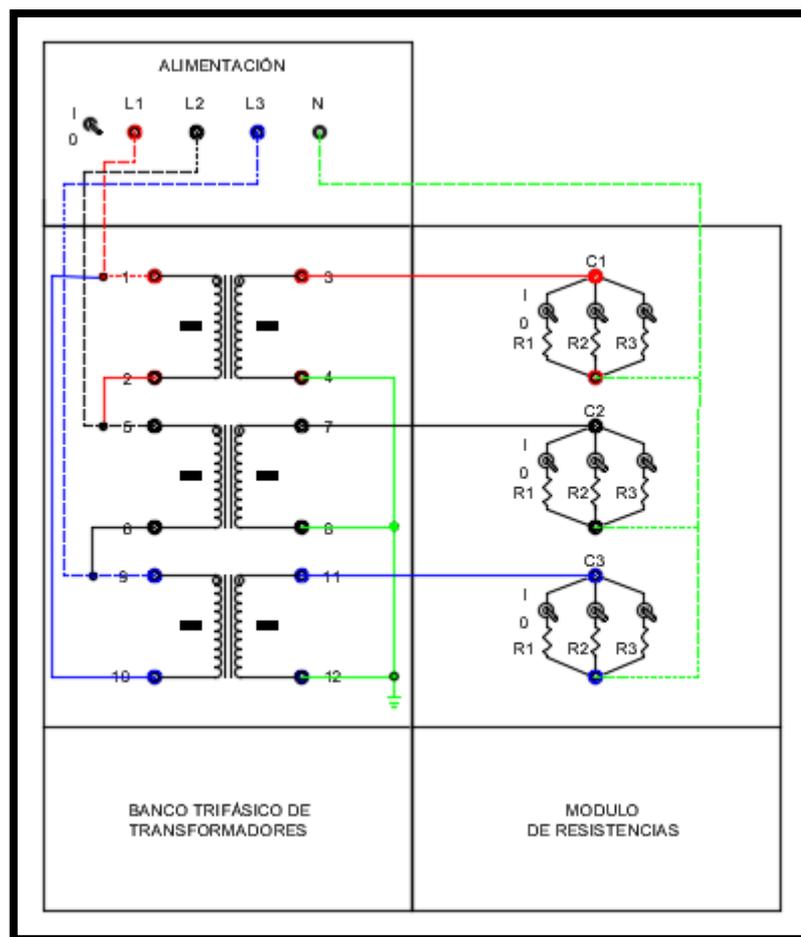


Figura 4. Banco de cargas conexión en estrella.

- b) Conectar el banco de cargas al devanado secundario del transformador con los terminales 3-C1, 7-C2, 11-C3.
- c) Encender la alimentación.
- d) Tomar nota de los valores medidos en la tabla 2.



Tabla 2. Datos medidos de corrientes y voltajes de línea, del banco de transformador con carga.

CARGAS	RESISTENCIAS	VOLTAJES Y CORRIENTES DE LÍNEA DEL DEVANADO PRIMARIO					
		VAB	VBC	VCA	IA	IB	IC
C1,C2,C3	R1						
C1,C2,C3	R1,R2						
C1,C2,C3	R1,R2,R3						
		VOLTAJES Y CORRIENTES DE LÍNEA DEL DEVANADO SECUNDARIO					
		Vab	Vbc	Vca	Ia	Ib	Ic
C1,C2,C3	R1						
C1,C2,C3	R1,R2						
C1,C2,C3	R1,R2,R3						

e) Realizar el cálculo de corrientes y voltajes de línea, para cada uno de las líneas y registrar en la tabla 3.

Tabla 3. Datos calculados de corrientes y voltajes de línea, del banco de transformador con carga.

CARGAS	RESISTENCIAS	VOLTAJES Y CORRIENTES DE LÍNEA DEL DEVANADO PRIMARIO					
		VAB	VBC	VCA	IA	IB	IC
C1,C2,C3	R1						
C1,C2,C3	R1,R2						
C1,C2,C3	R1,R2,R3						
		VOLTAJES Y CORRIENTES DE LÍNEA DEL DEVANADO SECUNDARIO					
		Vab	Vbc	Vca	Ia	Ib	Ic
C1,C2,C3	R1						
C1,C2,C3	R1,R2						
C1,C2,C3	R1,R2,R3						

f) Comparar los valores medidos con los calculados y obtener el porcentaje de error.

RESULTADOS OBTENIDOS:



CUESTIONARIO:

- ¿Explique con cuantos grados se desfasa la corriente entre el devanado primario y el secundario cuando se realiza la conexión Dy1?
- ¿Explique que es la corriente de Inrush?
- ¿Explique porque aparece corriente en el devanado primario del transformado cuando esta sin carga?

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES:



GUÍA PRÁCTICA

FACULTAD:	CIYA	CARRERA:	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
ASIGNATURA:	PROTECCIONES ELÉCTRICAS	PERÍODO ACADÉMICO		NIVEL:	
DOCENTE:		FECHA		PRÁCTICA N°:	4
LABORATORIO DONDE SE DESARROLLARÁ LA PRÁCTICA:					
TEMA DE LA PRÁCTICA:	FUNCIONAMIENTO DEL RELÉ DIFERENCIAL FRENTE A CONDICIONES NORMALES.				

INTRODUCCIÓN:

El relé diferencial no actuara cuando no exista una diferencia de corriente alta entre el lado primario y secundario del elemento a proteger en este caso estará en condiciones normales, el incremento de carga producirá un corrientes proporcional tanto en lado de alta como el lado de baja en este caso la corriente de operación será menor a la corriente de operación mínima por tal motivo los relés permanecerán cerrados hasta cuando haya una diferencia de corriente elevada.

OBJETIVOS:

GENERAL

- Comprobar el funcionamiento del relé diferencial en condiciones normales mediante el incremento de cargas en cada fase para que las corrientes del lado primario y secundario sean proporcionales y no actué la protección.

ESPECÍFICOS

- Incrementar la carga para que las corrientes del lado primario y secundario sean proporcionales.
- Comprobar el aumento de corriente al incrementar la carga.
- Verificar que la I_{dopmin} sea mayor a la I_{op} para que la protección no actué.

LISTADO DE EQUIPOS, MATERIALES:

MATERIALES:

EQUIPOS:

- Fuente de alimentación.
- Banco trifásico de transformadores.
- Relé Diferencial.
- Banco de cargas.

PREPARATORIO:

Se refiere a nociones preliminares enviados al estudiante como un trabajo autónomo, simulaciones, cálculos previos que corroborará a la implementación práctica:

1. Describa el funcionamiento del transformador.
2. Calcular la corriente máxima que soporta el devanado primario y secundario para un transformador de 400W.
3. Investigue sobre el funcionamiento de la protección diferencial 87 T.

4. Investigue como los parámetros para dibujar la pendiente de operación de la protección diferencial 87 T.
5. Consulte el comportamiento de la corriente frente a cargas resistivas.

INSTRUCCIONES:

Advertencia: ¡En este experimento de laboratorio se manejan altos voltajes! ¡No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada! ¡La fuente debe desconectarse después de hacer cada medición!

- 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 buen estado.
- Utilizar el equipo de protección adecuado para realizar la práctica.

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

Se refiere al procedimiento a seguir en la práctica:

1. Funcionamiento del relé diferencial en condiciones normales:
2. Realizar la siguiente conexión en el módulo relé diferencial.

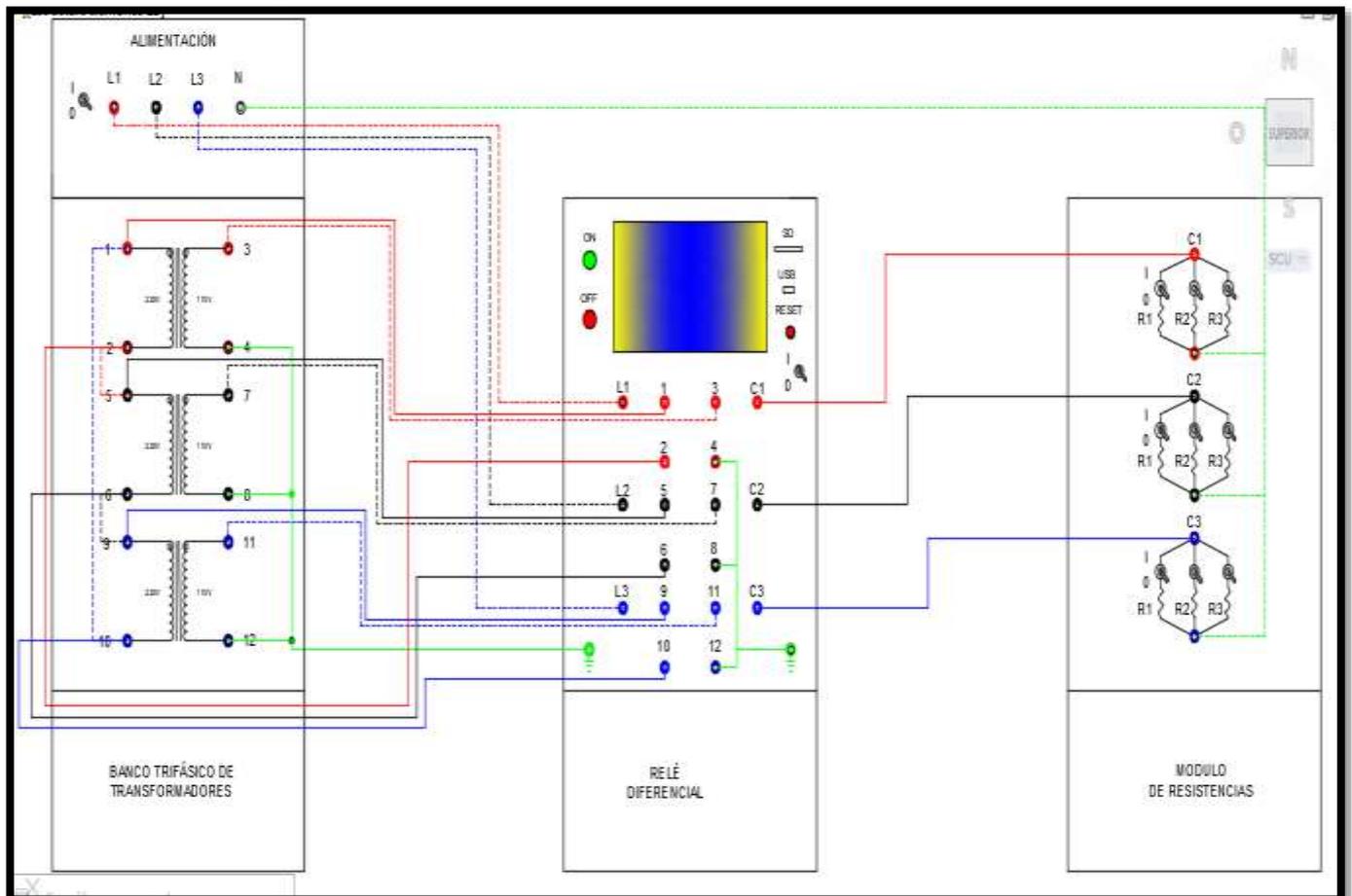


Fig. 1: Conexión de los equipos al relé diferencial.

3. Encender el relé diferencial.
4. Verificar que los valores de los Parámetros de Operación sean los siguientes:
 - Para esta práctica se asume que el porcentaje de la pendiente es 30% debido a un máximo de cambio de taps del transformador de un 6%, aun error de tap del 5% y error de saturación del 4%.



- Tomar una corriente de arranque de 200 mA.
- Tomar los factores K1 y K2 por defecto.
- El límite superior de 1000 mA.

m	b	Lim. Super	K1	K2	F.E
30%	200	1000	1	1	1

5. Verificar que los interruptores de la fuente de alimentación y banco de cargas se encuentren en OFF y 0 (apagadas).

Caso 1:

6. Accionar el primer interruptor por fase del banco de cargas (I)
7. Encender la fuente de Alimentación (ON).
8. Seleccionar el botón de Voltajes y Corrientes, anote los valores de las corrientes Línea - Línea.

IA=	Ia=
IB=	Ib=
IC=	Ic=

9. Seleccionar el botón de Pendiente de Operación y verifique si la protección actuó (cuando $I_{op} > I_{opmin}$ actúa la protección caso contrario se mantiene en operación), anote los siguientes los valores:

FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin		Idopmin		Idopmin	
Iop		Iop		Iop	
Ir		Ir		Ir	
T.Rele		T.Rele		T.Rele	

Caso 2:

10. Accionar el segundo interruptor por fase del banco de cargas (I) y anote los siguientes valores:
Botón: **Voltajes y Corrientes:**

IA=	Ia=
IB=	Ib=
IC=	Ic=

Botón: **Pendiente de Operación:**

FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin		Idopmin		Idopmin	
Iop		Iop		Iop	
Ir		Ir		Ir	
T.Rele		T.Rele		T.Rele	

Caso 3:

11. Accionar el tercer interruptor por fase del banco de cargas (I) y anote los siguientes valores:
Botón: **Voltajes y Corrientes:**

IA=	Ia=
IB=	Ib=
IC=	Ic=

Botón: **Pendiente de Operación:**



FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin		Idopmin		Idopmin	
Iop		Iop		Iop	
Ir		Ir		Ir	
T.Rele		T.Rele		T.Rele	

12. Apagar la fuente de alimentación y el banco de cargas (0).

RESULTADOS OBTENIDOS:

CUESTIONARIO:

- ¿Explique el funcionamiento del relé diferencial frente a condiciones normales?
- ¿Por qué existe un incremento de corriente el caso 2 a comparación del caso 1?
- Con los valores de Parámetros de Operación y los datos obtenidos de corrientes de línea – línea calcular Idopmin, Iop, e Ir por fase en cada uno de los tres casos, aplicando las siguientes formulas:

$$Iop = IA - Ia ; Idopmin = m * Ir + b ; Ir = \frac{IA - Ia}{2}$$

- Comparar los valores de la pendiente de operación en el relé diferencial frente a los resultados obtenidos mediante los cálculos.

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES:



GUÍA PRÁCTICA

FACULTAD:	CIYA	CARRERA:	INGENIERÍA ELÉCTRICA		
ASIGNATURA:	PROTECCIONES ELÉCTRICAS	PERÍODO ACADÉMICO		NIVEL:	
DOCENTE:		FECHA		PRÁCTICA N°:	5
LABORATORIO DONDE SE DESARROLLARÁ LA PRÁCTICA:					
TEMA DE LA PRÁCTICA:	ACCIONAMIENTO DEL RELÉ DIFERENCIAL PARAMETRIZANDO LOS PARÁMETROS DE OPERACIÓN Y SIMULANDO UNA FALLA TRIFÁSICA				

INTRODUCCIÓN:

El funcionamiento de la protección diferencial se basa en la comparación de corrientes en el lado primario y secundario de un transformador o de un equipo a proteger, al ocurrir una falla dentro de zona protegida se producirá un desequilibrio lo que ocasiona que fluya una corriente diferencial distinta a cero por el Relé, lo que ocasiona abrir el interruptor del circuito.

El relé diferencial realiza una comparación de corrientes, si la corriente de operación es mayor que la corriente mínima de operación la protección actúa y la intersección entre la corriente de operación y la corriente de restricción supera la pendiente de operación, la Parametrización del relé diferencial se realiza en función del equipo a proteger donde es necesario conocer el porcentaje de la pendiente de operación, corriente de retención y la corriente de arranque con estos valores se grafica la pendiente de operación como se muestra en la figura 1.

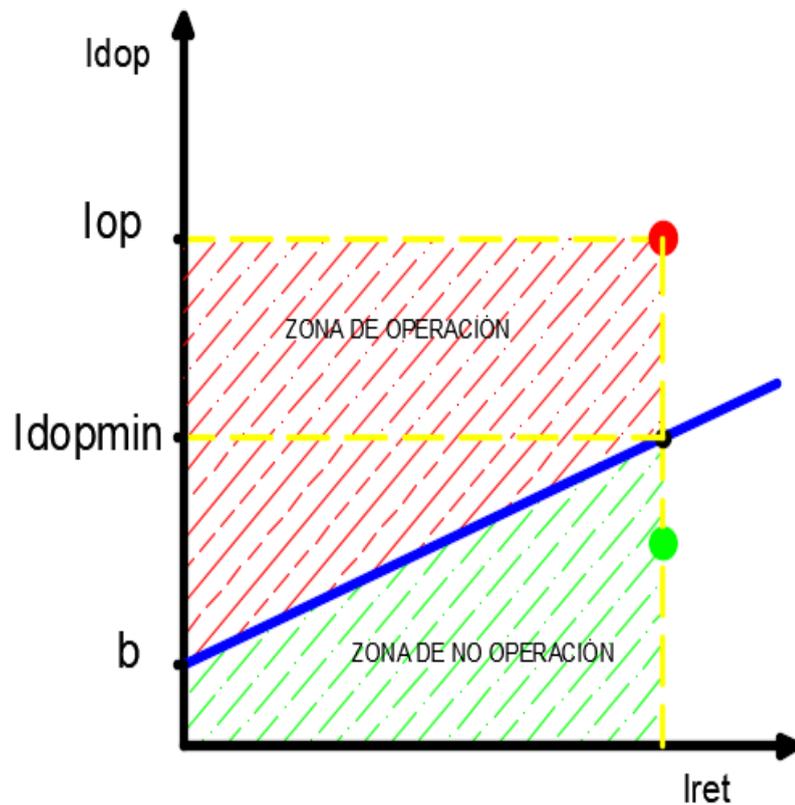


Figura 1. Pendiente de operación del relé diferencial.

OBJETIVOS:

GENERAL

- Comprobar la actuación de la protección diferencial mediante la parametrización de los parámetros de operación, factores de corrección, desbalance de cargas y falla trifásica para relacionar los valores obtenidos en el módulo relé diferencial y compararlos con los calculados.



ESPECÍFICOS

- Ingresar valores en los factores de escalonamiento para la actuación del relé diferencial.
- Parametrizar el relé diferencial para comprobar su actuación.
- Realizar desbalances de cargas para la actuación del relé.
- Ingresar valores en parámetros de Operación para que no actúe el relé diferencial.
- Accionar el interruptor que simula una falla trifásica para Observar el comportamiento del relé diferencial.

LISTADO DE EQUIPOS, MATERIALES:

MATERIALES:

EQUIPOS:

- Fuente de alimentación.
- Banco trifásico de transformadores.
- Relé Diferencial.
- Banco de cargas.

PREPARATORIO:

Se refiere a nociones preliminares enviados al estudiante como un trabajo autónomo, simulaciones, cálculos previos que corroborará a la implementación práctica:

11. Investigar el funcionamiento de la protección diferencial.
12. Investigar sobre la pendiente de Operación de la Protección Diferencial.
13. Consultar bajo que parámetros la protección actúa o no.
14. Investigar sobre tipos de conexiones de los transformadores.
15. Consultar sobre fallas trifásicas.

INSTRUCCIONES:

**Advertencia: ¡En este experimento de laboratorio se manejan altos voltajes! ¡No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada! ¡La fuente debe desconectarse después de hacer cada medición!
¡Antes de manipular los equipos del módulo relé diferencial leer el manual del uso!**

- 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 buen estado.
- Utilizar el equipo de protección adecuado para realizar la práctica.

ACTIVIDADES POR DESARROLLAR:

Se refiere al procedimiento a seguir en la práctica:

13. Funcionamiento del relé diferencial en condiciones normales:
14. Realizar la siguiente conexión en el módulo relé diferencial.

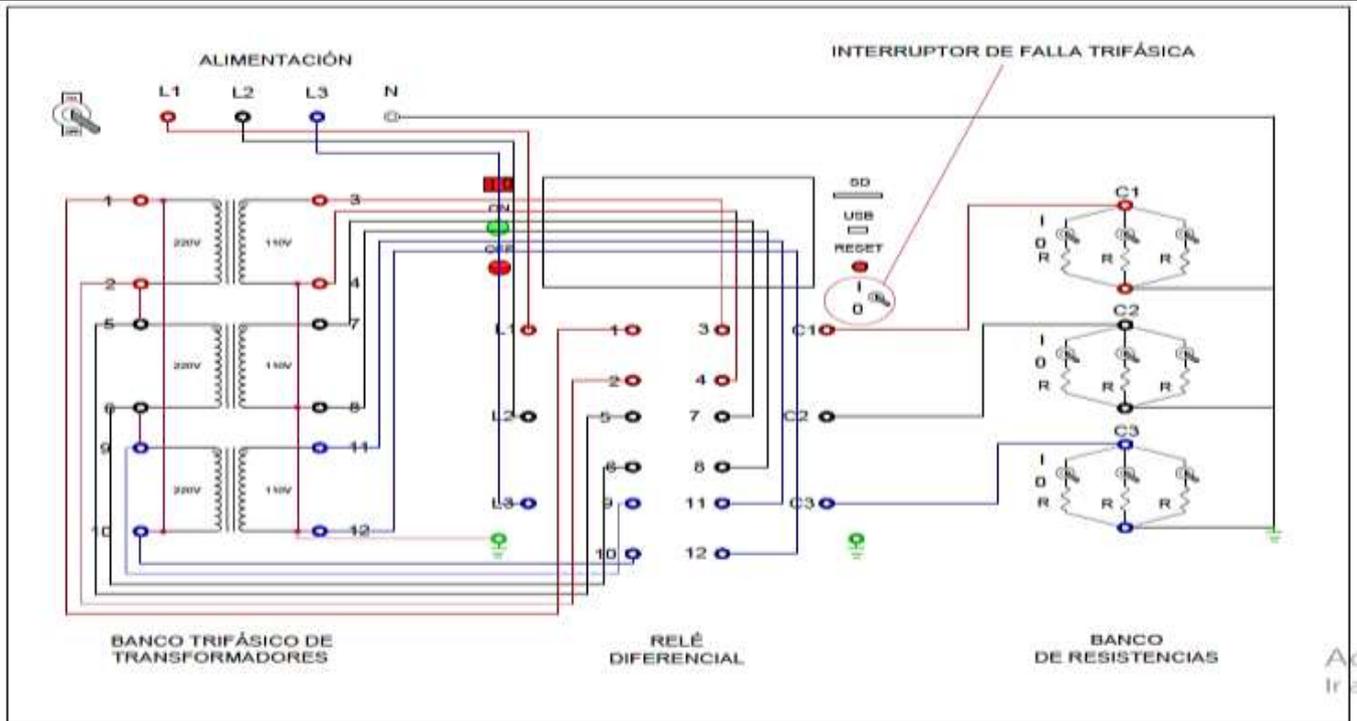


Fig. 1: Conexión de los equipos al relé diferencial.

Operación del relé Diferencial modificando los Factores de Corrección:

Caso 1:

15. Encender el relé diferencial e ingresar una tarjeta micro SD.
16. Valores que pueden tomar m (pendiente).

Pendiente (m)
15 %
25 %
40 %
50 %

17. Valores que pueden tomar b (corriente de arranque).

Corriente de arranque (b)	Unidad
100	mA
200	mA
300	mA
400	mA
500	mA
600	mA
700	mA
800	mA
900	mA
1000	mA



18. Valores que pueden tomar K1 y K2 (factores de corrección)

K1	K2
0,1	0,1
0,2	0,2
0,3	0,3
0,4	0,4
0,5	0,5
0,6	0,6
0,7	0,7
0,8	0,8
0,9	0,9
1	1
1,1	1,1
1,2	1,2
1,3	1,3
1,4	1,4
1,5	1,5
1,6	1,6
1,7	1,7
1,8	1,8
1,9	1,9
2	2

19. Ingresar los siguientes valores en Parámetros de Operación:

- Para esta práctica se asume que el porcentaje de la pendiente es 15% debido a un máximo de cambio de taps del transformador de un 6%, aun error de tap del 5% y error de saturación del 4%.
- Tomar una corriente de arranque 0.2, este valor se asume para un transformador de potencia pequeña.
- El factor K2 toma un valor de 0.2 debido que simulamos una falla en el segundo bobinado.
- Un límite superior de 1, este valor se ingresa para dibujar el límite de la pendiente en el eje x.

m	b	Lim. Super	K1	K2	F.E
15%	200	1000	1	0.2	1

20. Verificar que los interruptores de la fuente de alimentación y banco de cargas se encuentren apagadas.

21. Accionar el primer interruptor del banco de cargas por cada fase (I)

22. Encender la fuente de Alimentación (ON).

23. Anotar los siguientes valores:

Botón: **Voltajes y Corrientes:**

IA=	Ia=
IB=	Ib=
IC=	Ic=



Botón: **Pendiente de Operación:**

FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin		Idopmin		Idopmin	
Iop		Iop		Iop	
Ir		Ir		Ir	
T.Rele		T.Rele		T.Rele	

24. Apagar la Fuente de Alimentación y presionar el botón reset del relé diferencial.

Operación del relé Diferencial modificando los Parámetros de Operación de Pendiente y Factores de Corrección

Caso 2:

25. Ingresar los siguientes valores en Parámetros de Operación:

- Para esta práctica se asume que el porcentaje de la pendiente es 30% debido a un máximo de cambio de taps del transformador de un 10%, un error de tap del 5% y error de saturación del 15%.
- Tomar una corriente de arranque 0.3, este valor se asume para un transformador de potencia pequeña.
- Se toma el valor K1 de 0.7 y K2 de 0.2 para intentar equilibrar la diferencia de corriente.
- Se ingresa un límite superior de 1 para graficar la pendiente de operación.

m	b	Lim. Super	K1	K2	F.E
30%	300	1000	0.7	0.2	1

26. Accionar dos interruptores por fase del banco de resistencias y encender la fuente de alimentación.

27. Anotar los siguientes valores:

Botón: **Voltajes y Corrientes:**

IA=	Ia=
IB=	Ib=
IC=	Ic=

Botón: **Pendiente de Operación:**

FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin		Idopmin		Idopmin	
Iop		Iop		Iop	
Ir		Ir		Ir	
T.Rele		T.Rele		T.Rele	

28. Apagar la Fuente de Alimentación y presionar el botón reset del relé diferencial.

No Operación del relé diferencial modificando los Parámetros de Operación de Pendiente

Caso 3:

29. Ingresar los siguientes valores en Parámetros de Operación:

- Para esta práctica se asume que el porcentaje de la pendiente es 45% debido a un máximo de cambio de taps del transformador de un 10%, un error de tap del 5% y error de saturación del 30%.
- Tomar una corriente de arranque 0.6, este valor se asume para un transformador de potencia.
- Se toma el valor K1 de 0.7 y K2 de 0.2 para intentar equilibrar la diferencia de corriente.
- Se ingresa un límite superior de 3 para graficar la pendiente de operación.

m	b	Lim. Super	K1	K2	F.E
45%	600	3000	0.7	0.2	1

30. Encender la fuente de alimentación

31. Anotar los siguientes valores:



Botón: **Voltajes y Corrientes:**

IA=	Ia=
IB=	Ib=
IC=	Ic=

Botón: **Pendiente de Operación:**

FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin		Idopmin		Idopmin	
Iop		Iop		Iop	
Ir		Ir		Ir	
T.Rele		T.Rele		T.Rele	

Operación del Relé Diferencial modificando los Parámetros de Operación de Pendiente

Caso 4:

32. Dirigir al Menú de interpretación e ingresar los siguientes valores en Parámetros de Operación:
- Para esta práctica se asume que el porcentaje de la pendiente es 30% debido a un máximo de cambio de taps del transformador de un 10%, un error de tap del 5% y error de saturación del 15%.
 - Tomar una corriente de arranque 0.1, este valor se asume para un transformador de potencia pequeña.
 - Se toma el valor K1 de 0.6 y K2 de 0.1 para asumir un incremento de corriente en el lado de alta.
 - Se ingresa un límite superior de 3 para graficar la pendiente de operación.

m	b	Lim. Super	K1	K2	F.E
30%	100	3000	0.6	1	1

33. Accionar el tercer interruptor por fase del banco de cargas.
34. Anotar los siguientes valores:

Botón: **Voltajes y Corrientes:**

IA=	Ia=
IB=	Ib=
IC=	Ic=

Botón: **Pendiente de Operación:**

FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin		Idopmin		Idopmin	
Iop		Iop		Iop	
Ir		Ir		Ir	
T.Rele		T.Rele		T.Rele	

35. Apagar la Fuente de Alimentación y presionar el botón reset del relé diferencial.

No Operación del relé diferencial modificando los factores de corrección.

Caso 5:

36. Dejar accionado los tres interruptores por fase en el banco de resistencias.
37. Dirigir al Menú de interpretación e ingresar los siguientes valores en Parámetros de Operación:
- Para esta práctica se asume que el porcentaje de la pendiente es 30% debido a un máximo de cambio de taps del transformador de un 10%, un error de tap del 5% y error de saturación del 15%.
 - Tomar una corriente de arranque 0.3, este valor se asume para un transformador de potencia pequeña.



- Se toma el valor K_1 y K_2 para asumir que las corrientes sean las mismas (según el tipo de conexión del transformador).
- Se ingresa un límite superior de 3 para graficar la pendiente de operación.

m	b	Lim. Super	K1	K2	F.E
30%	100	3000	1	1	1

38. Encender la fuente de alimentación.

39. Anotar los siguientes valores:

Botón: **Voltajes y Corrientes:**

IA=	Ia=
IB=	Ib=
IC=	Ic=

Botón: **Pendiente de Operación:**

FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin		Idopmin		Idopmin	
Iop		Iop		Iop	
Ir		Ir		Ir	
T.Rele		T.Rele		T.Rele	

Operación del Relé Diferencial cuando existe una diferencia de corriente alta

Caso 6:

40. Dirigir a la ventana de voltajes y corrientes

41. Apagar todos los interruptores del banco de resistencias simultáneamente.

42. Anotar los siguientes valores:

Botón: **Voltajes y Corrientes:**

IA=	Ia=
IB=	Ib=
IC=	Ic=

Botón: **Pendiente de Operación:**

FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin		Idopmin		Idopmin	
Iop		Iop		Iop	
Ir		Ir		Ir	
T.Rele		T.Rele		T.Rele	

43. Apagar la Fuente de Alimentación y presionar el botón reset del relé diferencial.

Operación del Relé Diferencial frente a una fases desbalanceadas

Caso 7:

44. Dirigir al Menú de interpretación e ingresar los siguientes valores en Parámetros de Operación:

m	b	Lim. Super	K1	K2	F.E
30%	300	3000	1	1	1

45. Accionar un interruptor por fase del banco de resistencias y encender la fuente de alimentación.

46. Dirigir hacia la ventana de pendiente de operación de la fase B.

47. Accionar un interruptor en la fase B del banco de cargas.

48. Anotar los siguientes valores:



Botón: **Voltajes y Corrientes:**

IA=	Ia=
IB=	Ib=
IC=	Ic=

Botón: **Pendiente de Operación:**

FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin		Idopmin		Idopmin	
Iop		Iop		Iop	
Ir		Ir		Ir	
T.Rele		T.Rele		T.Rele	

49. Apagar la Fuente de Alimentación y presionar el botón reset del relé diferencial.

- Para esta práctica se asume que el porcentaje de la pendiente es 30% debido a un máximo de cambio de taps del transformador de un 10%, un error de tap del 5% y error de saturación del 15%.
- Tomar una corriente de arranque 0.3, este valor se asume para un transformador de potencia pequeña.
- Se toma el valor K1 de 0.7 y K2 de 0.2 para intentar equilibrar la diferencia de corriente.
- Se ingresa un límite superior de 1 para graficar la pendiente de operación.

Operación del relé diferencial frente a una falla trifásica.

Caso 8:

50. Dirigir al Menú de interpretación e ingresar los siguientes valores en Parámetros de Operación:

m	b	Lim. Super	K1	K2	F.E
30%	200	1	1	1	1

51. Accionar dos interruptores por fase del banco de resistencias.
52. Encender la fuente de alimentación.
53. Dirigir al Botón de voltajes y corrientes.
54. Accionar el interruptor de falla interna, ver figura 2.
55. Anotar los siguientes valores:

Botón: **Voltajes y Corrientes:**

IA=	Ia=
IB=	Ib=
IC=	Ic=

Botón: **Pendiente de Operación:**

FASE A		FASE B		FASE C	
Idopmin		Idopmin		Idopmin	
Iop		Iop		Iop	
Ir		Ir		Ir	
T.Rele		T.Rele		T.Rele	

56. Apague la fuente de alimentación y retire la tarjeta micro SD.
57. Apague el relé diferencial.
58. Desconecte los equipos del módulo Relé Diferencial.

Nota: Las prácticas se la pueden realizar por medio de la pantalla Nextion o a través de interfaz gráfica de MatLab, para utilizar MatLab debe poseer el programa y conectar por medio del cable USB al módulo relé diferencial MRD-87Ty la PC.



RESULTADOS OBTENIDOS:

CUESTIONARIO:

- ¿Explique porque utilizamos los factores de corrección y con que se relaciona con la protección diferencial?
- ¿Explique cómo se grafica la pendiente de operación?
- ¿Cuándo $I_{op} > I_{dopmin}$ el relé diferencial actúa, explique por qué?
- ¿Explique la operación del relé diferencial en el caso 1 y caso 2?
- ¿Explique porque no opera el relé diferencial en el caso 3?
- ¿Por qué en el caso 5 el relé diferencial no opera?
- ¿Explique la operación o no del relé diferencial cuando existe una corriente diferencial alta?
- ¿Explique la operación del relé diferencial en el caso 7?
- ¿Explique la operación del relé diferencial frente a una falla trifásica y relacione con el caso 8?
- Con los valores de corrientes registradas calculas I_{dopmin} , I_{op} , e I_r en cada caso y comprobar con los valores obtenidos en el relé diferencial, aplique las siguientes formulas:

$$I_{op} = IA - Ia ; I_{dopmin} = m * I_r + b ; I_r = \frac{IA - Ia}{2}$$

- Con los datos obtenidos en la tarjeta micro SD realice una gráfica en Excel para identificar los tiempos de actuación del relé diferencial.

CONCLUSIONES:

RECOMENDACIONES: