



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD
PROPUESTA TECNOLÓGICA

**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL
87 EN TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS ANTE PRESENCIA DE FALLAS,
MEDIANTE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO**

Propuesta tecnológica presentada previo a la obtención del Título de Ingeniero Eléctrico

Autores:

Barahona Vaca Edgar Geovanny

Bonilla Ramírez Gabriela Alejandra

Tutor Académico:

Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso M. Sc.

LATAACUNGA – ECUADOR

2022




DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Nosotros, **Barahona Vaca Edgar Geovanny y Bonilla Ramírez Gabriela Alejandra**, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación “**EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL 87 EN TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS ANTE PRESENCIA DE FALLAS, MEDIANTE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO**”, siendo el Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso M. Sc. tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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



Barahona Vaca Edgar Geovanny
C.C. 06061355119



Bonilla Ramírez Gabriela Alejandra
C.C. 0550297949



AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: **“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL 87 EN TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS ANTE PRESENCIA DE FALLAS, MEDIANTE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO”**, de **Barahona Vaca Edgar Geovanny y Bonilla Ramírez Gabriela Alejandra**, de la carrera de **Ingeniería en Electricidad** 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, marzo, 2022

El Tutor

Firma

Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso MSc.
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 **Barahona Vaca Edgar Geovanny** y **Bonilla Ramírez Gabriela Alejandra** con el título de Proyecto de titulación: **“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL 87 EN TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS ANTE PRESENCIA DE FALLAS, MEDIANTE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO”** han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúnen los méritos suficientes para ser sometidos al acto de Sustentación de Proyecto.

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

Latacunga, marzo 2022

Para constancia firman:

Lector 1 (Presidente)

Ing. Carlos Iván Quinatoa Caiza

C.C. 0503287864

Lector 2

Ing. Luis Rolando Cruz Panchi

C.C. 0502595176

Lector 3

Ing. Pacheco Mena Carlos Francisco

C.C. 0503072902



AVAL DE IMPLEMENTACIÓN

En calidad de director de la carrera de Ingeniería en Electricidad de la Universidad Técnica de Cotopaxi certifico que mediante la propuesta tecnológica **“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL 87 EN TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS ANTE PRESENCIA DE FALLAS, MEDIANTE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO”** de los postulantes BARAHONA VACA EDGAR GEOVANNY y BONILLA RAMÍREZ GABRIELA ALEJANDRA, realizan la entrega de un prototipo didáctico al Ing. Carlos Rodolfo Maldonado Chávez, responsable de los laboratorios de la carrera de Ingeniería en Electricidad de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Latacunga, marzo 2022


 Carrera de
Electricidad
Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado M. Sc.
C.C. 0502656424



AGRADECIMIENTO

Si pudiera reconocer a todas y cada de una de las personas que de una u otra manera han incidido en la materialización de este objetivo, sería una lista interminable, sin embargo, quisiera agradecer...

A **Dios**, por permitirme vivir este momento colmado de bendiciones y rodeado de las personas que amo.

A **mi familia**, por ser mi motivación y mi refugio, en especial a mis papás y mi hermano, quienes siempre han confiado en mí y mediante su ayuda y esfuerzo me han permitido llegar hasta este punto de mi vida que me permitirá formarme como profesional ya que ellos han sido quienes me han formado como persona.

A **mis amigos**, por ser aquellas personas que he elegido para que formen parte de mi vida, siendo quienes me han extendido la mano en más de una ocasión y hemos compartido grandes momentos que siempre quedaran grabados en mi mente.

A **mis compañeros**, con quienes he compartido diferentes asignaturas donde hemos aprendido mutuamente, aportando unos a otros.

A **mi compañera y tutor de tesis**, quienes han sido las personas con quienes, mediante nuestros aportes hemos logrado culminar el presente trabajo de titulación.

A los **docentes de la carrera de Ingeniería en Electricidad**, quienes, a través de su sabiduría, ética profesional y su ejemplo, me han permitido obtener los conocimientos necesarios para ser un profesional que aporte al continuo desarrollo del país, al igual que cada uno de ellos.

A ustedes, mis más sinceros sentimientos de gratitud y estima.

Edgar Geovanny Barahona Vaca



AGRADECIMIENTO

Si pudiera reconocer a todas y cada de una de las personas que de una u otra manera han incidido en la materialización de este objetivo, sería una lista interminable, sin embargo, quisiera agradecer...

A Dios, quien me ha permitido poder vivir esta experiencia llena de bendiciones y así poder alcanzar mis metas.

A mi familia, quienes me han dado fuerza, consejo, valor para poder seguir adelante, mis abuelitos que siempre supieron darme consejos, mis tíos quienes siempre me animaron para seguir adelante, mis padres y mi hermanado quienes siempre me dieron refugio, me animaron en los momentos de dificultad supieron motivarme para poder a alcanzar este momento y así lograr completar mi formación profesional.

A mi novio, que desde el principio de esta etapa universitaria estuvo a mi lado, apoyándome, animándome, y supo motivarme para poder seguir adelante, quien cuando no podía explicar algo o no entendía me guió y me explico.

A mis compañeros, con quienes he compartido aula y juntos hemos aprendido aportando conocimientos mutuos.

A mi compañero y tutor de tesis, quienes con apoyo y trabajo mutuo han permitido lograr culminar este presente trabajo de titulación que se compone de aportes de cada uno de nosotros.

A los docentes de la carrera de Ingeniería en Electricidad, quienes, a través de sus enseñanzas, sabiduría, ética profesional y su ejemplo, me han permitido obtener los conocimientos necesarios para ser un excelente profesional.

A cada uno de ustedes, mis más sincero agradecidito y sentimiento de estima.

Gabriela Alejandra Bonilla Ramírez



DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a...

A **Dios**, quien, a través de su omnipotencia, omnipresencia y omnisapiencia me ha permitido llegar hasta este punto.

A **mis papás**, Edgar Barahona Mancero y Myriam Vaca Puente, quienes han sido mi ejemplo a seguir, y que mediante este logro he podido retribuir una pequeña parte del esfuerzo y sacrificio que han hecho por mí y mi hermano.

A **Carlos**, mi hermano y amigo, a quien quisiera decirle que, con constancia, esfuerzo, coherencia y mesura toda meta que se plantee es posible.

A **mis amigos**, con quienes hemos hecho más ameno nuestro proceso de formación profesional y que a pesar de las adversidades lograremos materializar nuestros objetivos.

Edgar Geovanny Barahona Vaca



DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a....

A Dios, quien a través de sus bendiciones supo guiar mi camino hasta este punto.

A mis Abuelitos, Rómulo, Laura, Pamela, Jorge, Judith, quienes, con sus consejos, y mimos supieron motivarme siempre, en especial dedico este trabajo a mi abuelita Laura que en paz descansa, que siempre me motivara y cuidara desde el cielo.

A mis tíos, Carlos, Lourdes, Jorge, David, Fernanda, Jorge Esteban, María Fernanda, que siempre estuvieron para darme consejos no solo de estudio si no de vida permitiéndome crecer como persona.

A mis padres, Marco Bonilla, Johanna Ramírez, que siempre me apoyaron, confiaron, me guiaron y aconsejaron en cada etapa de mi vida, siendo los pilares fundamentales de mi vida y mis grandes ejemplos a seguir.

A mi hermanito Adrián, quien siempre me apoyo y me mantuvo animada, quiero decirle que con constancia y estudio se puede lograr todo.

A mi novio, Ángel Cepeda, que siempre me apoyo, me ayudo, me aconsejo, en cada momento, siempre estando a mi lado con su constante alegría y amor.

Gabriela Alejandra Bonilla Ramírez



INDICE GENERAL

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	ii
AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN.....	iv
AVAL DE IMPLEMENTACIÓN	v
AGRADECIMIENTO	vi
DEDICATORIA	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
AVAL DE TRADUCCIÓN.....	xix
1. INTRODUCCIÓN:	2
1.1. EL PROBLEMA	3
1.1.1. <i>Situación Problémica</i>	3
1.1.2. <i>Formulación del problema:</i>	4
1.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN	5
1.2.1. CAMPO DE ACCIÓN:	5
1.2.2. OBJETO DE ESTUDIO:	5
1.3. BENEFICIARIOS:.....	5
1.3.1. <i>Beneficiarios directos</i>	5
1.3.2. <i>Beneficiarios indirectos:</i>	5
1.4. JUSTIFICACIÓN:	5
1.5. OBJETIVOS	7
1.5.1. <i>General:</i>	7
1.5.2. <i>Específicos:</i>	7
1.6. SISTEMA DE TAREAS.....	8
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	10
2.1. ANTECEDENTES.....	10
2.2. TRANSFORMADORES	13
2.2.1. <i>Corrientes de Falla</i>	14
2.2.2. <i>Sobrecorrientes</i>	15
2.2.3. <i>Fallas de alta impedancia</i>	16
2.2.4. <i>Daños en transformadores</i>	16
2.3. TRANSFORMADORES DE CORRIENTE	17
2.4. <i>Protecciones en transformadores de potencia</i>	17
2.5. <i>SISTEMAS DE PROTECCIONES ELÉCTRICA</i>	18
2.6. SISTEMA DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL.....	18
2.7. PROTECCIÓN DIFERENCIAL 87	18
2.7.1. <i>Funcionamiento de la protección diferencial</i>	20
2.8. FILTROS.....	23
2.8.1. <i>Filtros Pasa Bajos</i>	23
2.8.2. <i>Filtro pasa bajo de media móvil</i>	24



2.8.3.	<i>Filtro Senoidal</i>	25
2.8.4.	<i>Filtro Fourier</i>	25
2.9.	MEDICIÓN DE CORRIENTE	26
2.9.1.	<i>Método de deflexión</i>	26
2.9.2.	<i>Método de detección de cero</i>	27
2.9.3.	<i>Método de comparación</i>	28
2.9.4.	<i>Método de sustitución</i>	28
2.9.5.	<i>Método diferencial</i>	28
2.9.6.	<i>Métodos generales</i>	28
2.10.	MUESTREO DE SEÑALES	28
2.11.	MATLAB 2018	29
2.12.	LABVIEW 2019	30
2.13.	ARDUINO	31
3.	MATERIALES Y MÉTODOS:	33
4.1	MÉTODOS	34
4.1.1.	<i>Métodos de Investigación</i>	34
4.1.2.	<i>Método Analítico</i>	34
4.1.3.	<i>Método Deductivo</i>	34
4.2.	MATERIALES	35
4.2.1.	<i>Etapa de alimentación del módulo</i>	36
4.2.2.	<i>Etapa de Elemento protegido</i>	37
4.2.3.	<i>Etapa de análisis y toma de datos de corriente y voltaje</i>	38
4.2.4.	<i>Etapa de simulación de falla del módulo</i>	40
4.2.5.	<i>Etapa de banco de cargas del módulo</i>	41
4.3.	DISEÑO DE MÓDULO	43
4.3.1.	<i>Diseño Estructural del módulo</i>	46
4.3.2.	<i>Diseño Eléctrico del módulo</i>	49
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	54
5.1.	CONSTRUCCIÓN DEL MÓDULO CORRESPONDIENTE A LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL 87	54
5.2.	PROGRAMACIÓN DE LA ETAPA DE TOMA Y ANÁLISIS DE DATOS	55
•	<i>Desarrollo del algoritmo de programación</i>	56
5.2.1.	<i>Diagrama de Flujo</i>	70
5.3.	PRUEBAS DE MEDICIÓN DE CORRIENTE	74
5.4.	ACTUACIÓN DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL 87	76
5.4.1.	<i>Actuación de la protección diferencial</i>	76
5.4.2.	<i>Actuación de la protección diferencia porcentual</i>	79
5.5.	NO ACTUACIÓN DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL 87	84
5.5.1.	<i>No actuación de la protección diferencial</i>	84
5.5.2.	<i>No actuación de la protección diferencial porcentual</i>	86
•	<i>Caso 1.- Falla en el lado primario del transformador, protección diferencial porcentual no actúe.</i>	86
•	<i>Caso 2.- Falla en el lado secundario del transformador, protección diferencial porcentual, no actúe.</i>	88
5.6.	ANÁLISIS DE IMPACTO	95
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	96
6.1.	CONCLUSIONES	96
6.2.	RECOMENDACIONES	97
7.	BIBLIOGRAFÍA	98
8.	ANEXOS	103



ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2-1. Tipos de cortocircuito.....	15
Fig. 2-2. Diagrama del relé diferencial.	19
Fig. 2-3. Protección diferencial de transformador (87T).	20
Fig. 2-4. Pendiente de operación del relé.	22
Fig. 2-5. Circuito en el cual se desea medir la corriente.	26
Fig. 2-6. Introducción del amperímetro.	26
Fig. 2-7. Puente de Wheatstone.....	27
Fig. 2-8. Métodos de medida de corriente.....	27
Fig. 2-9. Señal analógica y señal muestreada.....	29
Fig. 2-10. Conversor analógico/digital.....	29
Fig. 2-11. Pantalla de Matlab 2018.....	30
Fig. 2-12. Pantalla de LabVIEW 2019.....	31
Fig. 3-1. Diagrama de flujo de posesos del módulo didáctico de protección diferencial.....	35
Fig. 3-2. Módulo de Lucas Nülle.....	44
Fig. 3-3. Material utilizado para la construcción estructural del módulo.	44
Fig. 3-4. Diseño y medidas correspondientes a la estructura del módulo.....	45
Fig. 3-5. Caja del transformador para el módulo.....	47
Fig. 3-6. Diseño de nomenclatura a usar para el transformador monofásico.....	49
Fig. 3-7. Diseño de la parte delantera de la caja del elemento protegido.....	50
Fig. 3-8. Diseño de la parte delantera de la caja del Relé Diferencial.	51
Fig. 3-9. Diagrama unifilar del banco de cargas para simulación de falla.	52
Fig. 3-10. Diseño de la parte delantera de las cajas correspondientes a los bancos de carga para simulación de falla.	53
Fig. 3-11. Diagrama unifilar del banco de cargas.	53
Fig. 3-12. Diseño de la parte delantera de la caja correspondiente al banco de carga.....	54
Fig. 5-1. Estructura del módulo de protección diferencial 87.	55
Fig. 5-2. Código de medición de voltaje a través de sensores en el primario y secundario.	56
Fig. 5-3. Código de medición de corriente a través de sensores en el primario y secundario.....	57
Fig. 5-4. Señal percibida por el sensor N°1.....	58
Fig. 5-5. Señal percibida por el sensor N°2.....	58
Fig. 5-6. Muestreo de las señales de corriente.	59
Fig. 5-7. Muestreo de señal en el sensor N°1.....	60
Fig. 5-8. Muestreo de señal en el sensor N°2.....	60
Fig. 5-9. Muestreo de las señales de corriente.	61
Fig. 5-10. Código correspondiente al filtro pasa bajos de media móvil exponencial.....	61
Fig. 5-11. Filtrado de señales del sensor N°1.....	62
Fig. 5-12. Filtrado de señales del sensor N°2.....	62
Fig. 5-13. Código de comunicación serial.....	63
Fig. 5-14. Bloque de comunicación serial.....	64
Fig. 5-15. Bloque de ingreso de parámetros.....	64
Fig. 5-16. Bloque de ingreso de los TC's.....	65
Fig. 5-17. Bloque de cálculo de la corriente diferencial.	66
Fig. 5-18. Bloque de Indicador de actuación.....	66
Fig. 5-19. Bloques de Ingresos de parámetros.	66



Fig. 5-20. Bloque de ingreso de los TC's.....	67
Fig. 5-21 . Bloque de cálculo para la protección diferencial 87 porcentual.	68
Fig. 5-22. Bloque de Indicador de actuación.....	68
Fig. 5-23. Bloque de activación de indicadores físicos.	69
Fig. 5-24. Bloque de la gráfica de la zona de operación.	70
Fig. 5-25. Diagrama de flujo de la etapa de toma y análisis de datos.	71
Fig. 5-26. Interfaz correspondiente a la primera etapa.....	72
Fig. 5-27. Interfaz correspondiente a la segunda etapa y zona de operación.	73



ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 3-1. Filtros pasa bajos RLC.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 3-2. Tipos de Arduino</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 4-1. Materiales generales del módulo.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 4-2. Materiales de la etapa del elemento a proteger</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 4-3. Opciones de materiales de la etapa de toma de datos.....</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 4-4. Materiales electrónicos para la toma de datos del módulo.....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 4-5. Materiales del banco de cargas para la simulación de falla.</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 4-6. Materiales para el banco de cargas del módulo.</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 4-7. Tabla de materiales para conexiones del modulo</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 5-1. Error entre corrientes medidas con el sensor y el multímetro Fluke</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 5-2. Error entre voltajes medidos con el sensor y el multímetro Fluke</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 5-3. Error entre corrientes medidas con el sensor y el multímetro Fluke, Caso 2.</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 5-4. Error entre voltajes medidos con el sensor y el multímetro Fluke, Caso 2.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 5-5. Error entre corrientes medidas con el sensor y el multímetro Fluke, Caso 3.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 5-6. Error entre voltajes medidos con el sensor y el multímetro Fluke, Caso 3.....</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 5-7. Datos de corriente medida.</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 5-8. Parámetros requeridos para la actuación de la protección diferencial</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 5-9. Resultados del caso 1 (falla en el lado primario), protección diferencial.</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 5-10. Datos de corriente medida.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 5-11. Parámetros requeridos para la actuación de la protección diferencial</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 5-12. Resultados del caso 1 (falla en el lado primario), protección diferencial.</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 5-13. Datos de corriente medidos por el sensor.</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 5-14. Parámetros requeridos para la actuación de la protección 87 porcentual.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 5-15. Resultados del caso 1 (falla en el lado primario).....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 5-16. Datos de corriente medidos por el sensor, Caso 2 de la protección diferencial porcentual.</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 5-17. Parámetros requeridos para la actuación de la protección 87 porcentual en el caso 2... 82</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 5-18. Resultados del caso 2 (falla en el lado secundario).....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 5-19. Datos de corriente medida caso 1 no actuación.</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 5-20. Parámetros requeridos para la actuación de la protección diferencial caso 1 no actuación.</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 5-21. Resultados del caso 1 (falla en el lado primario), protección diferencial.</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 5-22. Datos de corriente medida caso 2 no actuación.</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 5-23. Parámetros requeridos para la actuación de la protección diferencial no actuación caso 2</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 5-24. Resultados del caso 2, protección diferencial no actuación.</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 5-25. Datos de corriente medidos por el sensor, caso 1 de la protección diferencial porcentual no actuación.....</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 5-26. Parámetros requeridos para la no actuación de la protección diferencial porcentual en el caso 1.</i>	<i>86</i>
<i>Tabla 5-27. Resultados del caso 1 de la protección diferencial porcentual (falla en el lado primario), no actuación.....</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 5-28. Datos de corriente medidos por el sensor, caso 2 de la protección diferencial porcentual no actuación.</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 5-29. Parámetros requeridos para la no actuación de la protección diferencial porcentual en el caso 2.</i>	<i>88</i>



<i>Tabla 5-30. Resultados del caso 2 de la protección diferencial porcentual no actuación</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 5-31. Error de los corrientes secundarios de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la actuación de la protección diferencial caso 1.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 5-32. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial caso 1.....</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 5-33. Error de los corrientes secundarios de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la actuación de la protección diferencial caso 2.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 5-34. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial caso 2.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 5-35. Error de los corrientes secundarios de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 1.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 5-36. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 1.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 5-37. Error de la corriente de restricción calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 1.....</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 5-38. Error de la corriente mínima de operación calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 1.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 5-39. Error de los corrientes secundarios de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 2.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 5-40. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 2.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 5-41. Error de la corriente de restricción calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 1.....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 5-42. Error de la corriente mínima de operación calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 1.....</i>	<i>92</i>
<i>5-43. Error de los corrientes secundarios de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la no actuación de la protección diferencial caso 1.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 5-44. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial caso 1.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 5-45. Error de los corrientes secundarios de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la no actuación de la protección diferencial caso 2.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 5-46. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial caso 2.....</i>	<i>93</i>
<i>5-47. Error de los corrientes secundarios de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la no actuación de la protección diferencial porcentual no actúe caso 1.....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 5-48. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial porcentual caso 1.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 5-49. Error de la corriente de restricción calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial porcentual caso 1.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 5-50. Error de la corriente mínima de operación calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial porcentual caso 1.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 5-51. Error de los corrientes secundarios de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la no actuación de la protección diferencial porcentual no actúe caso 2.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 5-52. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial porcentual caso 2.....</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 5-53. Error de la corriente de restricción calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial porcentual caso 2.....</i>	<i>95</i>



Tabla 5-54. Error de la corriente mínima de operación calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial porcentual caso 2..... 95



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS
“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL
87 EN TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS ANTE PRESENCIA DE FALLAS,
MEDIANTE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO”

Autores:

Barahona Vaca Edgar Geovanny
Bonilla Ramírez Gabriela Alejandra

Tutor:

Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso M. Sc.

RESUMEN

En el presente trabajo, se realizó la construcción de un prototipo didáctico que permite evaluar el funcionamiento de la protección diferencial 87, mediante la parametrización de variables. El módulo emplea diferentes componentes entre los que destaca el transformador monofásico, el cual se constituye como el elemento protegido, de esta forma mediante los distintos elementos que integran el prototipo didáctico se logra establecer las condiciones para la actuación de la función de protección diferencial 87. Para ello, se consideran varios parámetros, como la corriente mínima de operación, la corriente de arranque o la pendiente de operación, los cuales conjuntamente con los datos medidos, como la corriente el primario y secundario, que, a su vez, posibilitan determinar el valor correspondiente a la corriente diferencial, han permitido emular la función de protección diferencial 87 y su variante porcentual. Para lograr lo anteriormente expuesto, se empleó sensores de corriente de la marca Arduino, los cuales en conjunto con el microprocesador Nano, de la misma marca, permitirá la toma de datos, lo cuales tras su procesamiento, serán comunicados a LabVIEW donde se emplea una constante, la cual permite escalar los valores obtenidos para así, poder desarrollar la lógica de programación que permite el ingreso de parámetros, selección de TC's, cálculo de la corriente diferencial y mínima de operación, así como también la identificación de las zonas de operación. Finalmente, se elaboró los documentos correspondientes que permiten la interacción con el prototipo didáctico, estos son la guía de usuario y la guía práctica, los cuales permiten al usuario emplear de forma adecuada el módulo.

Palabras clave. – Prototipo, protección diferencial 87, parametrización, transformador, ingreso de parámetros, cálculos, zona de operación, guías prácticas, guía de usuario.



TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES
"EVALUATION OF THE OPERATION OF THE DIFFERENTIAL PROTECTION 87
IN SINGLE-PHASE TRANSFORMERS IN THE PRESENCE OF FAULTS,
THROUGH A DIDACTIC PROTOTYPE"

Authors:

Barahona Vaca Edgar Geovanny
Bonilla Ramírez Gabriela Alejandra

Tutor:

Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso M. Sc.

ABSTRACT

In this paper, the construction process of the didactic prototype that allows to evaluate the operation of the differential protection 87 was performed, by means of the parameterization of variables, is compiled. The module uses different components, among which the single-phase transformer stands out as the protected element. In this way, by means of the different elements that integrate the didactic prototype, it is possible to establish the conditions for the performance of the differential protection function 87. For this purpose, several parameters are considered, such as the minimum operating current, the starting current or the operating slope, which, together with the measured data, such as the primary and secondary current, which in turn make it possible to determine the value corresponding to the differential current, have made it possible to emulate the differential protection function 87 and its percentage variant. To achieve the above, current sensors of the Arduino brand were used, which together with the Nano microprocessor, of the same brand, will allow data collection, which after processing, will be communicated to LabVIEW where a constant is used, which allows scaling the values obtained in order to develop the programming logic that allows the entry of parameters, selection of CT's, calculation of the differential and minimum operating current, as well as the identification of the operation zones. Finally, the corresponding documents that allow the interaction with the didactic prototype were elaborated, these are the user's guide and the practical guide, which allow the user to use the module in an adequate way.

Keywords. Prototype, differential protection 87, parameterization, transformer, parameter input, calculations, operating zone, practical guides, user's guide.



AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal CERTIFICO que:

La traducción del resumen de tesis al Idioma Inglés presentado por los postulantes de la Carrera de Ingeniería Eléctrica: Barahona Vaca Edgar Geovanny y Bonilla Ramírez Gabriela Alejandra cuyo título versa **“EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL 87 EN TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS ANTE PRESENCIA DE FALLAS, MEDIANTE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO”** presentado por: Barahona Vaca Edgar Geovanny y Bonilla Ramírez Gabriela Alejandra, estudiantes de la Carrera de Ingeniería en Electricidad perteneciente a la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma. Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo al peticionario hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, 17 marzo del 2022

Atentamente,


Mg. Marco Paúl Beltrán Semblantes



DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI: 0502666514

INFORMACIÓN GENERAL

Título: *EVALUACIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIAL 87 EN TRANSFORMADORES MONOFÁSICOS ANTE PRESENCIA DE FALLAS, MEDIANTE UN PROTOTIPO DIDÁCTICO*

Fecha de inicio: octubre 2021

Fecha de finalización: marzo 2022

Lugar de ejecución: Barrio El Ejido Sector San Felipe, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi, Laboratorio de la Carrera de Ingeniería en Electricidad de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia: Ingeniería en Electricidad

Proyecto Macro Asociado: Desarrollo de sistemas para el abastecimiento y uso del servicio de energía eléctrica a nivel local, regional o nacional.

Equipo de Trabajo:

Grupo de investigación de Sistemas Eléctricos de Potencia

- **Tutor de titulación**

Ing. Proaño Maldonado Xavier Alfonso MSc.

- **Estudiante/s**

Gabriela Alejandra Bonilla Ramírez

Edgar Geovanny Barahona Vaca

Área de Conocimiento:

07 ingeniería, Industria y Construcción.	071 ingeniería y profesiones afines.	0713 electricidad y Energía.
--	--------------------------------------	------------------------------

Línea de investigación: Energías alternativas y renovables, eficiencia energética y protección ambiental

Sublíneas de investigación de la Carrera: Inteligencia artificial y modelación de sistemas

1. INTRODUCCIÓN:

La energía eléctrica se constituye como una de las principales fuentes energéticas de las que dispone la humanidad, mediante su aplicación se puede llevar a cabo diferentes actividades que permiten mantenerse en continuo desarrollo, por lo cual es necesario que el abastecimiento de energía sea eficiente, continuo y confiable.

Para lograr dicho cometido es necesario asegurar un correcto funcionamiento de los diferentes elementos que conforman los sistemas eléctricos, puesto que mediante este sistema se logra abastecer energéticamente a los diferentes grupos de consumo. Dentro de dichos elementos, destaca el transformador, el cual es una máquina eléctrica que permite un adecuado cumplimiento técnico en relación a ciertos parámetros que rigen la operatividad del sistema eléctrico.

Considerando la importancia de dicho elemento, es necesario tomar en cuenta ciertas herramientas que permitan mantener la integridad del transformador, es así que los sistemas de protección son considerados para su implementación, puesto que estos tienen por objetivo la detección, localización y desconexión en forma automática de un elemento defectuoso.

De esta forma, uno de los principales aspectos a considerar son los sistemas de protección, puesto que estos tienen como finalidad evitar el deterioro de los diferentes elementos que conforman los sistemas eléctricos de potencia, a causa de fallas; dichos sistemas basan su funcionamiento en el aislamiento de los componentes afectados, de esta forma se puede llegar a evitar la perturbación del sistema, limitando los daños que podría presentar el equipo.

Es así que la presente propuesta tecnológica tiene por objetivo evaluar el funcionamiento de la función de protección 87 en un transformador monofásico mediante un prototipo didáctico, de esta forma, se busca constituir una herramienta que permita identificar el principio de funcionamiento de la protección diferencial 87, considerando los parámetros que rigen su

funcionamiento, así como también el rol de cada uno de los agentes que se relacionan con la actuación de la función de protección.

Para lograr que el prototipo didáctico funcione adecuadamente se llevó a cabo un proceso que relaciona aspectos teórico-prácticos, el cual se encuentra especificado en el desarrollo del presente documento, por lo tanto, en base a los resultados obtenidos se ha construido una herramienta que permite al usuario emular el funcionamiento de un relé diferencial a través de la parametrización de variables.

Por lo tanto el presente escrito contiene la información relacionada al proceso que ha permitido concebir el prototipo didáctico, mostrando los antecedentes que cimentan la presente investigación, el marco teórico que recopila las diferentes temáticas que permiten la evaluación de los principios de funcionamiento, los materiales y métodos que permiten desarrollar los objetivos de la propuesta tecnológica, así como también los resultados obtenidos procedentes de la construcción y funcionamiento del prototipo didáctico.

1.1. EL PROBLEMA

1.1.1. Situación Problemática

La protección diferencial 87 es una función que permite desenergizar una cierta sección de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), ante la presencia de una falla, la cual basa su funcionamiento en la comparación de señales, considerando generalmente las fallas producidas dentro de los transformadores.

Los Sistemas Eléctricos de Potencia son el conjunto de elementos que permiten abastecer de energía eléctrica a diferentes zonas donde se encuentran ubicados diferentes grupos de consumo, dentro del SEP se puede identificar diferentes etapas consecutivas que permiten llevar electricidad de un punto a otro, estas son generación, transmisión y distribución, así de esta forma se puede abastecer energéticamente a los usuarios, como es de suponer, dentro de cada una de estas se encuentran componentes que de acuerdo a sus características de construcción y funcionamiento, serán destinados a una tarea específica, permitiendo un funcionamiento eficiente del SEP.

Dentro de las etapas de transmisión y distribución se pueden mencionar diferentes elementos que integran dichas etapas de funcionamiento, sin embargo, uno de los más importantes es el transformador, este es una máquina eléctrica que de acuerdo a su principio de funcionamiento permite pasar de un nivel de tensión a otro, según las necesidades que se presenten dentro del

SEP, un transformador se encuentra conformado por dos bobinados, un primario y un secundario, estos se diferencian principalmente porque en el bobinado primario se conecta la fuente de energía mientras que en el secundario se conectan las cargas.

Considerando lo anteriormente mencionado, se puede identificar que existirán corrientes de entrada y salida, así como también existirán cargas conectadas al elemento, las cuales varían en función de la etapa en la que se encuentre el mismo, por lo tanto, es importante considerar que pueden presentarse eventos que afecten el normal funcionamiento de dichos elementos, estos eventos son conocidos como fallas.

Las fallas son eventos de gran magnitud y gravedad, que pueden incurrir en daños serios en los equipos expuestos a dichas condiciones, por lo tanto, es necesario considerar la implementación de herramientas que contribuyan a despejar las fallas que se presenten, en el caso de los transformadores de potencia, estos pueden estar expuestos a fallas externas e internas, el relé diferencial (87) puede detectar condiciones anormales a la interna del equipo provocadas por eventos como fallas a tierra en los devanados, las cuales abren paso a la presencia de corrientes dañinas que afectan al aislamiento del equipo; otra de las fallas que puede llegar a presentarse corresponde a las fallas en el núcleo, a causa de corrientes parásitas que atraviesan las láminas del núcleo, produciendo un sobrecalentamiento en el equipo, de igual forma, se pueden presentar fallas entre espiras de un mismo devanado lo cual produce deterioro en el aislamiento del transformador por el esfuerzo que se presenta debido a los voltajes inducidos en los devanados.

Por lo tanto, ante la presencia de este tipo de fallas es necesaria la aplicación de la protección diferencial 87, la cual compara corrientes de entrada y salida monitoreando constantemente la relación del sistema, asegurando un adecuado funcionamiento del elemento dentro del sistema, por lo cual es necesario evaluar el funcionamiento de la protección, así como también conocer las zonas de operación, permitiendo conocer el comportamiento del transformador ante la presencia de fallas.

1.1.2. Formulación del problema:

¿Es posible emular la parametrización de la función de protección diferencial 87 en un transformador monofásico mediante un prototipo didáctico?

1.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

1.2.1. Campo de acción:

Protecciones Eléctricas

1.2.2. Objeto de estudio:

330000 ciencias Tecnológicas / 3306 Ingeniería y Tecnología Eléctricas /330602

Aplicaciones eléctricas.

1.3. BENEFICIARIOS:

1.3.1. Beneficiarios directos

- Usuarios de protecciones eléctricas

1.3.2. Beneficiarios indirectos:

- Profesionales de pregrado de Ingeniería Eléctrica o afines.

1.4. JUSTIFICACIÓN:

En la actualidad, la energía eléctrica es una de las fuentes energéticas más importantes para el ser humano, puesto que mediante la misma puede llevar a cabo diferentes actividades productivas, para ello, es necesario proveer de un adecuado servicio energético a los diferentes usuarios.

Para lograr dicho cometido es necesario considerar el adecuado funcionamiento de los sistemas eléctricos de potencia, puesto que estos a través de las etapas de generación, transmisión y distribución, permitirá abastecer energéticamente a los diferentes grupos de consumo. Es así, como en los puntos de transmisión y distribución en función de las características técnicas de operación, como los niveles de voltaje, se emplean máquinas eléctricas, como los transformadores, que permiten adecuar los niveles de tensión según los requerimientos en cada punto.

Los transformadores, son máquinas eléctricas que de acuerdo a su principio de funcionamiento permite pasar de un nivel de tensión a otro según las necesidades que se presenten dentro del SEP, un transformador se encuentra conformado por dos bobinados, un primario y un

secundario, estos se diferencian principalmente porque en el bobinado primario se conecta la fuente de energía mientras que en el secundario se conectan las cargas. Este tipo de equipos pueden llegar a presentar condiciones de falla, es decir, eventos que alteren el normal funcionamiento del transformador, estas fallas pueden presentarse de forma externa e interna, por tanto, los efectos que producen en la máquina son distintos en función de sus causas.

Cuando de fallas externas se trata, estas pueden llegar a presentarse por medio de fallas de cortocircuito, donde las líneas que ingresan hacia el transformador se ven inmiscuidas, este tipo de eventos puede llegar a afectar a las pérdidas que el transformador presenta en el cobre, por lo tanto, llega a generar excesivo calentamiento interno; otra falla externa en el transformador se asocia con la perturbación de tensión y frecuencia en el transformador, lo cual puede llegar a provocar la ruptura del aislamiento. En cuanto a fallas internas se refiere, estas pueden ser fallas a tierra en los devanados, las cuales abren paso a la presencia de corrientes dañinas que afectan al aislamiento del equipo; otra de las fallas que puede llegar a presentarse corresponde a las fallas en el núcleo, a causa de corrientes parásitas que atraviesan las láminas del núcleo, produciendo un sobrecalentamiento en el equipo, de igual forma, se pueden presentar fallas entre espiras de un mismo devanado lo cual produce deterioro en el aislamiento del transformador por el esfuerzo que se presenta debido a los voltajes inducidos en los devanados.

Por lo tanto, con la finalidad de detectar la presencia de fallas internas, y así realizar el despeje de fallas correspondiente, es necesario emplear herramientas de protección, como el relé diferencial, el cual es capaz de percibir la presencia de fallas internas, en base a la comparación de señales correspondientes a corriente, de esta forma se puede evitar daños en el transformador, puesto que la presencia de fallas conlleva a situaciones contraproducentes que necesitan ser solventadas mediante intervenciones que implican gastos y pérdidas de productividad. Para ello, es importante contar con los medios necesarios para estudiar los sistemas de protección, por lo que se hace uso de los diferentes elementos que permiten emular fallas, y que, a su vez, permitirán conocer el comportamiento del transformador ante la presencia de corrientes de falla, debido a esto, es necesario diseñar un prototipo didáctico que brinde las facilidades necesarias para el estudio de los sistemas de protección, en especial la protección diferencial 87. Mediante la constitución de dicho prototipo se podrá estudiar el funcionamiento de la protección diferencial 87, permitiendo conocer: las zonas de operación de la protección, el comportamiento del elemento ante la presencia de corrientes de falla y la forma mediante la cual dichas corrientes llegan a presentarse.

Consolidándose, así como una herramienta importante para la formación teórico-práctica dentro de las carreras técnicas, permitiendo afrontar situaciones similares a las del ámbito laboral, se determina los parámetros para el funcionamiento adecuado de la función 87 dada la importancia y la presencia de los sistemas de protección dentro de los SEP.

HIPÓTESIS

Mediante el prototipo didáctico se podrá parametrizar las variables relacionadas a la función 87 y verificar su funcionamiento.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. General:

Evaluar el funcionamiento de la protección diferencial en transformadores monofásicos mediante un prototipo didáctico, para determinar el comportamiento de la función 87 ante los cambios en la parametrización de la misma.

1.5.2. Específicos:

- Revisar el estado del arte referente al funcionamiento de la protección 87 y el comportamiento de las corrientes de falla.
- Construir un prototipo de un módulo de protección 87 en base a los parámetros de funcionamiento, permitiendo conocer la zona de operación de la protección.
- Elaborar una guía de usuario que contenga información del módulo, además casos prácticos para uso didáctico.

1.6. SISTEMA DE TAREAS

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
<p>Revisar el estado del arte referente al funcionamiento de la protección 87 y el comportamiento de las corrientes de falla.</p>	<p>Recopilar la información sobre el funcionamiento, funciones, y aplicaciones de la protección 87 y de las corrientes de falla</p>	<p>Marco conceptual que respalda el trabajo de titulación</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Técnicas investigativas ✓ Bibliografías (Tesis, documentos, Artículos)
<p>Construir un prototipo de un módulo de protección 87 en base a los parámetros, permitiendo conocer la zona de operación de la protección.</p>	<p>Identificar los parámetros y los elementos, que constituyen el módulo y así conocer su operatividad para emplear en el diseño del módulo</p>	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Valoración del estado de los elementos del módulo. ✓ Diseño del módulo didáctico ✓ Modulo didáctico de protección 87. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fichas técnicas ✓ Programas ✓ Módulo previo

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Elaborar una guía de usuario que contenga información del módulo, además casos prácticos para uso didáctico.	Prácticas de laboratorio empleando el módulo. Creación de una guía del módulo para el usuario	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Guías practicas ✓ Guía de Usuario 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fichas técnicas ✓ Tablas ✓ Programas ✓ Módulo

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Antecedentes

En Colombia, en la ciudad Cartagena de indias en el año 2011, Se realizó un trabajo para lo obtención del título de ingeniero Eléctrico en la Universidad Tecnológica de Bolívar el cual es: “*Metodología para el cálculo de las corrientes de cortocircuito*” realizado por Aguas Raul, Buelvas Ariel. El cual ayuda a considerar una herramienta que permita afrontar ciertos retos de forma teórico-práctico, es importante conocer instrumentos que permitan conocer ciertas magnitudes asociadas con el fenómeno de estudio, como es el caso de la monografía presentada, en la cual se menciona metodologías que posibiliten conocer el comportamiento de las corrientes de falla donde se concluyó que la corriente inicial de cortocircuito y la corriente pico tendrían un resultado de cero cuándo existen fallas bifásicas ya que los transformadores usados para el estudio tiene una conexión delta la cual evita que el transformado aporte al cortocircuito, brindado así un sustento teórico a prácticas realizadas en softwares de simulación, [1].

En México, en la Ciudad de México en el año 2019, se realizó un trabajo de titulación en la Universidad Nacional Autónoma de México el cual es: “*Esquema de protección diferencial para transformadores de potencia*” realizado por Frogoso Carlos. En donde se especifica que es una protección diferencial, como funciona dicha protección, así como también presenta el diseño de la protección, a su vez trata de la importancia de los transformadores de corriente y potencia, los cuales son elementos de gran importancia en el caso de las protecciones, en el diseño de la protección diferencial no solo se lo presenta teóricamente, si no a su vez lo demuestran a través de una simulación el software ATP el cual permite la realización de varios casos prácticos sujetos a la protección 87T [2].

En Perú, en la ciudad de Arequipa en el año 2021, en la Universidad Continental se realizó el: “*Planteamiento de metodologías para la verificación y comprobación del funcionamiento de las protecciones mecánicas y eléctricas ante anomalías que mejoren la confiabilidad de un banco de autotransformadores de 250/250/75 MVA ONAF en una subestación eléctrica de 220/138/22.9 kV en zona de selva peruana*” realizado por Carlos Cerna. En este proyecto se trata de vencer inconvenientes a los que se enfrentan con los autotransformadores de niveles de potencia de 220/138/22.9 kV a una potencia de 250/250/75 MVA ONAF en la zona de la ciudad de Arequipa, para asegurar el servicio

eléctrico en la zona selvática, por esto se revisó la secuencia de operación, protecciones mecánicas y eléctricas de los autotransformadores para garantizar calidad energética y la confiabilidad en los bancos de autotransformadores, esto se realizó a través de metodología de investigación y de trabajo lo cual permite tener un trabajo confiable en cuanto a los datos y resultados obtenidos.[3].

En la provincia del Guayas, ciudad Guayaquil, en la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, en el año 2015, se realizó el trabajo de titulación de: “*Diseño y construcción de un módulo para protecciones diferenciales de transformadores*” realizado por Naranjo Aurelio, Freud Miguel, Villacres Raul. En dicho proyecto de titulación se diseñó y construyó un módulo de protección diferencial de transformadores el cual formará parte de los laboratorios de protecciones de la universidad, su objetivo es poder realizar 12 prácticas que permiten analizar el funcionamiento de la protección diferencial en distintos casos de fallas externas, internas, y combinadas facilitan proceso de aprendizaje, una vez ya construido el módulo con el relé SEL 587, se puede simular fallas que ocurre en los sistemas de potencia permitiendo tener una interacción mucho más fiable, a su vez se lo gro demostrar el funcionamiento del relé en condiciones normales, de fallas internas y externas, también se logra observar a través de la practica la selectividad, rapidez, y confiabilidad de las protección 51 y 87 [4] .

En la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas en la Universidad Politécnica Salesiana, Sede Guayaquil, en el año 2015, se realizó el trabajo de titulación de “*Análisis de sistemas trifásicos de transformadores conexión D – Y*” Heredia Mario, Intriago Rafael. Donde se tiene por objetivo el estudio y análisis del comportamiento tanto en condiciones normales de funcionamiento, como en condiciones de falla de un sistema trifásico de transformadores en conexión delta-estrella, sirvió para llevar a cabo demostraciones experimentales del comportamiento del sistema, lo cual sumado al diseño de prácticas de laboratorio lograron un aporte significativo a la formación teórico-práctico, y a su vez se demostró que la conexión delta-estrella es perfecta pasar ser implementada en los sistemas de distribución [5].

En la ciudad de Guayaquil, en el país de Ecuador, se realizó un proyecto de titulación para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico con el tema de: “*Análisis matemático y simulación en Matlab de la protección diferencial en transformadores de potencia*”,

escrito por Julio Rodriguez, y German Solis, estudiantes de la universidad Politécnica Salesiana, en el año 2018. En este proyecto se realizó un modelo matemático en el software Matlab de la protección diferencial para transformadores de potencia, siendo su objetivo, poder simular las condiciones de operación del equipo de protección SEL 587, el cual ayudará a los estudiantes de la carrera ya que permite el análisis de fallas internas, externas del lado primario y secundario del transformador, una vez realizado el modelo en Matlab el cual permitió observar el comportamiento de la protección diferencial en caso de fallas, logrando demostrar un porcentaje de error de apenas el 5% en los datos de la corrientes de operación y restricción [6].

En la ciudad de Cuenca, en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, en el año 2019, se realizó el trabajo de titulación de: “*Desarrollo del algoritmo para la protección diferencial del transformador de potencia aplicado a la subestación Azogue II, utilizando la transformada de Fourier*” realizado por Guillen Freddy, Narváez Javier. En el cual se menciona que la protección diferencial es capaz de proteger al transformador no solo de fallas internas, sino que a su vez también puede despejar fallas de aislamiento provocadas por la formación de arcos en el cambiador de derivaciones del equipo. Para que la protección diferencial entre en funcionamiento se debe producir un desbalance entre la corriente primaria y secundaria provocando que la corriente diferencial ya no sea cero o corresponda al valor de referencia, provocando la actuación del relé 87, para poder llevar a cabo el objetivo de estudio e desarrollo un algoritmo sobre la protección 87 y se modeló la demanda como una carga trifásica con pequeños desbalances entre fases [7].

En la ciudad de Latacunga, Provincia de Cotopaxi, en el año 2019, se realizó el: “*Análisis de la pendiente de operación del relé diferencial frente a fallas trifásicas en régimen permanente, aplicado a un banco de transformadores trifásicos (Yd1)*” realizado por Robinson Caiza y Mauricio Ramos. En este Trabajo de implementaciones se construyó un módulo de prototipo de relé diferencial, un banco de transformadores y un módulo de cargas implementado en los laboratorios de la Universidad Técnica de Cotopaxi, En el cual a través del banco de transformadores trifásicos conectados en Dy1 que alimenta un módulo de cargas resistivas balanceadas y así poder obtener los niveles de corriente secundarios y primarios, para compararlos con el módulo del relé diferencial y actuar la protección, se obtuvo un módulo el cual permitió el ingreso de ciertos valores que en caso de no ser correctos provocarían que la protección no funcionase y el módulo tampoco [8].

En la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, en la Universidad Técnica de Cotopaxi, en el año 2019, se realizó: “*Analizar el comportamiento de las corrientes de falla por cortocircuito frente a diferentes conexiones de un transformador trifásico mediante la utilización de un prototipo*” Marissa Mejia y Nelson Quinatoa. En este proyecto de titulación se construyó un módulo de pruebas el cual permite realizar pruebas de fallas por cortocircuito, dicho módulo cuenta con un banco de transformadores monofásicos y un banco de autotransformadores regulables, Este módulo permite realizar las simulaciones de fallas monofásicas, bifásicas, trifásicas y bifásicas a tierra, dicho módulo cuenta con sistema de adquisición de datos que ayuda a visualizar las corrientes, voltajes diagramas fasoriales, y ondas de desfase para distintos grupos de conexión [9].

2.2. Transformadores

Los transformadores son máquinas eléctricas empleadas en diferentes etapas de los Sistemas Eléctricos de Potencia, generalmente estos se encuentran dentro de las etapas de transmisión y distribución, principalmente son empleados para adecuar los niveles de tensión según los requerimientos establecidos. Un transformador basa su funcionamiento en dos devanados de corriente alterna, estos se encuentran enrollados en un núcleo magnético, el devanado por el cual ingresa la energía eléctrica se denomina primario, mientras que el devanado que alimenta las cargas se denomina secundario [10].

Ambos devanados se encuentran compuestos por un determinado número de espiras, N_1 y N_2 , de esta forma, al conectarse un voltaje al devanado primario empieza a circular una corriente que produce un flujo alterno en el núcleo magnético, y a su vez, en base a la Ley de Faraday, se inducirá una fuerza electromotriz (f.e.m) en el devanado secundario dando paso a que exista tensión en bornes del devanado, de esta forma se consigue pasar de un cierto valor de tensión en bornes del devanado primario, V_1 , a otro valor en bornes del devanado secundario, V_2 [10].

Un transformador podrá ser elevador o reductor, esto según se requiera elevar o disminuir la tensión, un transformador elevador tendrá su lado primario en baja tensión (B.T), mientras que un transformador reductor tendrá su lado primario en alta tensión (A.T), cabe resaltar que un transformador es una máquina reversible, es decir que este puede ser elevador y reductor a la vez, solamente dependerá del lugar donde se conecta su alimentación.

Los transformadores pueden ser monofásicos o trifásicos, sus usos y aplicaciones varían puesto que aunque presentan ciertas similitudes, también mantienen algunas diferencias, la principal diferencia es que dentro de un transformador monofásico se encuentra una sola fase, es decir que el voltaje varía de la misma forma, generalmente un transformador monofásico transforma el voltaje inducido en el primario a través de un devanado aterrizado a la mitad, dando paso a dos voltajes diferentes a tierra, ± 120 V, dando paso a una de 240 V de amplitud [11].

En un transformador trifásico, se presentan tres corrientes alternas monofásicas de igual frecuencia y magnitud, pero que presentan desplazados angulares entre sí a más de un orden determinado, generalmente dentro de este tipo de transformadores existe una relación de voltaje primario de 120/208V. Dentro de sistemas trifásicos también puede utilizarse un banco de tres transformadores monofásicos, donde los primarios y secundarios pueden ser conectados en estrella o delta [11].

Los transformadores son de gran importancia dentro de los sistemas eléctricos de potencia, claramente este tipo de máquinas eléctricas constituyen un campo de amplio interés, por lo tanto, se puede tomar ciertas consideraciones, como, por ejemplo, la presencia de fallas que podrían llegar a afectar la integridad del elemento. Entre las principales fallas se presentan:

2.2.1. Corrientes de Falla

Las corrientes de falla surgen a partir de ciertas anomalías las cuales aparecen por la existencia de condiciones desfavorables de operación en el sistema, por lo tanto, en cuanto a fallas eléctricas se refiere, estas provocan condiciones anormales de operación perjudicando a los elementos de sistema, una falla eléctrica, incide directamente en las componentes de corriente y voltaje, llegando a ser excesivas por lo cual requiere de elementos de protección.

Uno de estos eventos desfavorables que podrían llegar a presentarse a lo largo del sistema es el cortocircuito, este fenómeno en particular ocurre cuando dos puntos, entre los cuales existe una diferencia de potencial, entran en contacto entre sí, dando paso a elevados niveles de corriente que circulan por el sistema hasta llegar a un punto de falla [12].

Durante la ocurrencia de un cortocircuito, las condiciones de operación pueden llegar a cambiar abruptamente, no solamente por el incremento de la corriente circulante, sino

también por el hecho de que las máquinas rotativas del sistema pueden llegar a comportarse como generadores en vez de cargas por un corto lapso de tiempo [12].

Este tipo de eventos puede llegar a presentarse por diferentes causas, generalmente, en instalaciones comerciales e industriales, la principal causa se asocia a la ruptura o debilitamiento del aislamiento de conductores o equipos, a su vez, la presencia de estas se debe a agentes ambientales desfavorables para los elementos [13].

La presencia de cortocircuitos abre paso a las corrientes de fallas, las cuales pueden llegar a ser perjudiciales para los elementos del sistema, causando cambios en sus parámetros térmicos y electrodinámicos, incluso, provocando interrupciones en el suministro eléctrico, además, pudiendo ser responsables de severos daños, incluso irreparables, de no ser eliminados a tiempo. Entre los principales tipos de cortocircuitos que pueden llegar a presentarse dentro del SEP se encuentran [13]:

- a) Cortocircuito trifásico equilibrado
- b) Cortocircuito bifásico aislado
- c) Cortocircuito monofásico fase-tierra y fase-neutro

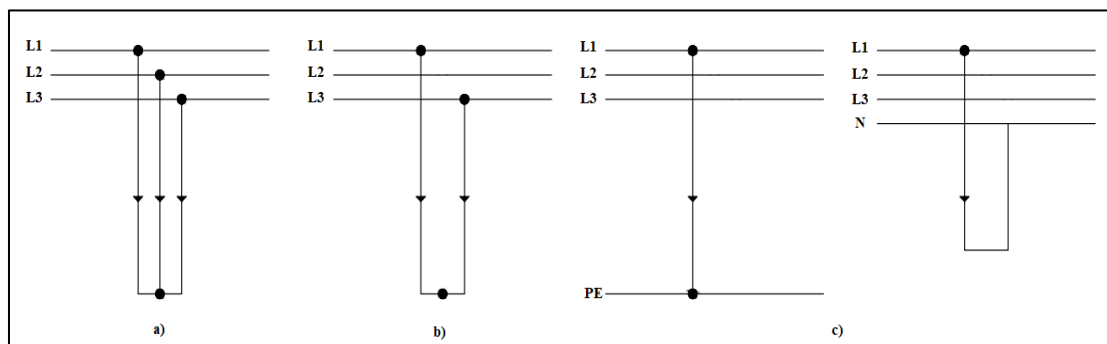


Fig. 2-1. Tipos de cortocircuito.

Fuente: [13]

Por lo tanto, según la manera en la que afecte al balance del sistema, los tipos de cortocircuito pueden ser simétricos o asimétricos.

2.2.2. Sobrecorrientes

Las sobrecorrientes son eventos adversos que llegan a presentarse debido a la ocurrencia de cortocircuito o de sobrecargas, la sobrecorriente puede llegar a afectar de forma directa al transformador, reduciendo parcial o completamente la vida útil del equipo. Al hablar de sobrecarga, se entiende como un abrupto incremento de la corriente nominal de

operación, este incremento puede llegar a presentarse no solamente en el transformador, sino también en líneas y otros componentes de los sistemas de transmisión y distribución. Generalmente la presencia de una sobrecorriente representa un incremento de hasta seis veces la corriente nominal, sin embargo, la presencia de sobrecorrientes también pueden ser causadas por aumentos temporales de corriente, esto asociado principalmente al arranque de motores y la energización de transformadores, al ser sobrecorrientes transitorias, el tiempo de presencia es mínimo y no se considera perjudicial [13].

Por otra parte, así como existen sobrecorrientes transitorias, pueden llegar a presentarse sobrecorrientes continuas, esto se debe principalmente a elementos defectuosos conectados a la red, equipos sobrecargados o muchas cargas integradas a un mismo circuito, este tipo de sobrecorrientes pueden llegar a ser dañinas para el sistema de distribución, por lo que deberán ser mitigadas por los dispositivos de protección antes de afectar al sistema completo; este tipo de fallas, si bien es cierto son perjudiciales, puede llegar a ser mucho más perjudiciales las corrientes de falla a causa de cortocircuitos.

2.2.3. Fallas de alta impedancia

También conocidas como High Impedance Faults (HIFs), son un contacto eléctrico no deseado entre los conductores energizados y objetos cercanos no conductores los cuales presenta una alta impedancia por sus materiales de composición, estos objetos con alta impedancia eléctrica permiten el paso de una pequeña magnitud de corriente. Una de las características de las fallas de alta impedancia es su no linealidad, ya que la corriente se presenta con una combinación de diferentes frecuencias armónicas, una no linealidad está generalmente asociada a un arco eléctrico que puede estar relacionado al punto de contacto del conductor con la tierra u otro objeto durante la ocurrencia de una falla de alta impedancia [14].

Este tipo de fallas son difíciles de detectar por los equipos de monitoreo ya que se presenta como un pequeño incremento en la corriente de carga, lo cual puede ser confundido con un incremento de carga para el sistema. Para un dispositivo de protección convencional un incremento en la corriente, puede ser una falla de alta impedancia o un incremento en la carga, y no hay manera de diferenciarlos.

2.2.4. Daños en transformadores

Entre las principales afecciones que producen la presencia de fallas en transformadores se encuentran las sobrecargas, principalmente por el deterioro en el aislamiento del mismo

a causa de sobrecalentamientos en el equipo, causando así un rápido envejecimiento del elemento el cual pudiese desembocar en eventuales fallas internas; otra problemática presente en los transformadores a causa de las altas temperaturas son las fallas en la fuerza dieléctrica del líquido que se encuentra al interior del transformador, puesto que los sitios calientes pueden provocar burbujas que afecten al dieléctrico, así como también podrían llegar a generar desbordamiento o rotura [15].

Por lo tanto, es importante incluir ciertos elementos que permitan proteger a los equipos, no solamente a los transformadores, sino a todos aquellos componentes que pueden presentarse a lo largo del SEP, dado que, de no existir ningún tipo de control, la falla podría prolongarse, desencadenando en varios problemas, es así como surge la implementación de sistemas de protección.

2.3. Transformadores de corriente

El transformador de corriente también denominado TC, este tipo de transformadores son usados para la medición y protección de los equipos, el lado secundario del transformador de corriente puede ser de entre 1 a 5 amperios, cumpliendo así las funciones de medición, de aislamiento de circuitos es decir de protección y de transformar la corriente. El TC permite tener una corriente secundaria llamada ISTC que sería proporcional a la corriente primaria, es por esta razón la corriente secundaria es baja.

La forma de conexión del TC es que el lado primario es conectado en serie con el circuito del cual se desea obtener una medición, y el lado secundario se conecta en serie con la bobina de los elementos o aparatos de medición y protección que necesitan ser energizados [16].

Para poder escoger un TC se debe tomar en cuenta la corriente que deberá circular por el lado secundario, por el relé.

2.4. Protecciones en transformadores de potencia

El transformador de potencia es un equipo que ayuda con la alimentación a equipos de medición y protección a través de una tensión equivalente a la red donde están conectados. Al ser uno de los elementos importantes del sistema, la elección de protección para este transformador debe considerar aspectos técnicos, y de confiabilidad del transformador.

2.5. Sistemas de protecciones eléctrica

Este sistema es uno de los más importantes que se incluyen en una subestación, los componentes de este sistema son:

- Relés de protección
- Disyuntor de poder
- Circuitos de control

Los relés de protección ayudan a efectuar a proteger a los equipos como el transformador, las líneas, las barras, etc., es por esta razón que se los define por equipos, función, señal de entrada, y principios de operación [17].

Ya que los relés de protección son el epicentro del sistema de protección, estos deben cumplir con algunas características operativas como:

Selectividad: Capacidad de operación cuando la falla se encuentra dentro de la zona de operación.

- *Sensibilidad*: Capacidad de operación en condiciones de falla mínima.
- *Velocidad*: Rapidez de operación para evitar daños a equipos.
- *Confiabilidad*: Operación del relé cuando se requiera durante su vida útil.
- *Sencillez*: Su diseño debe ser simple evitando así mayor probabilidad de daños.

2.6. Sistema de protección diferencial

Según Freddy Guillén y Javier Santos, escritores del trabajo de titulación “*Desarrollo del algoritmo para la protección diferencial de transformador de potencia aplicado a la subestación Azogues II, utilizando la transformada de Fourier*”. El sistema de su protección diferencial es capaz de proteger al transformador de fallas internas, y no que también puede ayudar a despejar fallas de aislamiento producida por la formación de arcos en el cambiador de derivaciones de los equipos [7].

2.7. Protección diferencial 87

En sistemas eléctricos de potencias es muy importante que se tengan protecciones que permitan aislar secciones de los circuitos en caso de fallas, es por esta razón que existen varios tipos de protección para cada sección de los SEP, en el presente trabajo de titulación se asocia en base a la protección diferencial para el transformador. Una protección diferencial se basa en la comparación de dos corrientes: la corriente de entrada y la corriente de salida del transformador [8].

Es por esta razón que el relé o protección diferencial tiene pocas limitaciones, una de las principales limitaciones son la distancia de separación de los TC, ya que entre mayor sea la separación será mayor el burden que representa los conductores de interconexión.

El relé diferencial no solo se usa en transformadores sino también en Líneas de transmisión, generadores, etc.

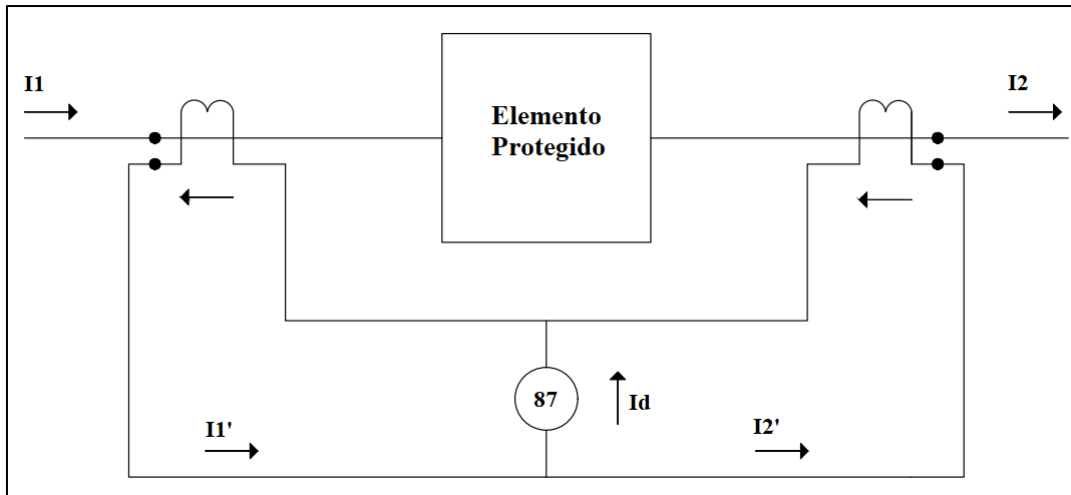


Fig. 2-2. Diagrama del relé diferencial.

Fuente: [8]

En la Figura 3-2 se puede divisar que el relé sería el punto R, en donde en condiciones normales de funcionamiento del transformador o equipo la corriente $I_d=0$, de manera que al ocurrir una falla ya sea esta monofásica, bifásica o trifásica se produce un desequilibrio en la corriente haciendo que la corriente $I_d \neq 0$ al ocurrir esta variación de corriente el relé 87 da la orden de abrir el interruptor correspondiente a donde se produjo dicha falla. “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” según [8].

En el caso de los transformadores con TAPS, los TAP1 y TAP2 se usan para restablecer la corriente secundaria en por unidad en la protección, compensando las diferencias de relación de transformación de las distintas fases del transformador, en el caso de un transformador con una conexión Delta-Estrella existe un desfase de 30° del ángulo de la misma fase, razón por la cual se proporciona una ángulo para corregir el desfase, haciendo que la corriente esté en múltiplos del ajuste realizado [18].

La protección diferencial además también incluye, elementos filtrados los cuales ayudan a evitar que opere el relé por la corriente de Inrush. Elementos de frenado que ayudan a compensar errores en los TC por el cambio de TAP, provocando una reducción de sensibilidad, mientras la corriente de falla externa aumenta [19].

2.7.1. *Funcionamiento de la protección diferencial*

Como se mencionó anteriormente el relé diferencial compara dos corrientes de las cuales se las compara con la corriente I_D cuando esta sea distinta de cero significa que el relé debe funcionar desconectando los circuitos y protegiendo los equipos.

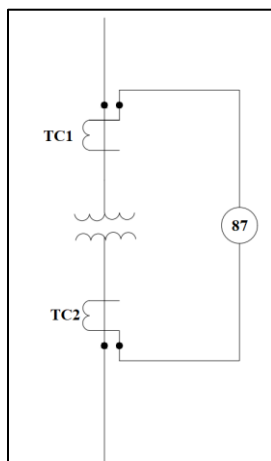


Fig. 2-3. *Protección diferencial de transformador (87T).*

Fuente: [8]

Para poder empezar entender el funcionamiento de relé 87, debemos identificar las corrientes primarias y secundarias, las fórmulas correspondientes dichas corrientes son:

Corriente del primario

$$I_P = S / (\sqrt{3} \times V_L) \quad 2-1$$

Donde

I_P Corriente del lado primario del transformador

S Potencia del transformador o de las cargas

V_L Voltaje línea del lado Primario

Corriente del secundario

$$I_S = S / (\sqrt{3} \times V_L) \quad 2-2$$

Donde

I_S Corriente del lado secundario del transformador

S Potencia del transformador o de las cargas

V_L Voltaje línea del lado secundario

Corriente diferencial

$$I_d = [I']_1 - [I']_2 \quad 2-3$$

$$I_d = \left[I' \right]_1 * \left[TAP \right]_{TC1} - \left[I' \right]_2 * TAP_{TC2} \quad 2-4$$

Donde

TAP_{TC1} Factor de corrección de la corriente del lado primario

TAP_{TC2} Factor de corrección de la corriente del lado secundario

Corriente de restricción

$$I_{rest} = |I_P + I_S| / 2 \quad 2-5$$

$$I_{rest} = |I_P * \left[TAP \right]_{TC1} + I_S * TAP_{TC2}| / 2 \quad 2-6$$

Corriente de operación mínima

$$I_{minop} = m * I_{rest} + I_{arr} \quad 2-7$$

Donde

m porcentaje de la pendiente de operación

I_{rest} corriente de retención

I_{arr} corriente de arranque

Zona de operación del relé diferencial

Se debe tomar en cuenta, que en un relé diferencial existen dos zonas de operación las cuales se delimitan por la ubicación del TC, estas zonas de operación son:

- La zona operación

La zona de operación de la protección diferencial se da cuando $I_{minop} < I_d$ lo que significa que la corriente de operación mínima sobrepasa a la corriente de operación presentado una sobrecorriente y haciendo que la protección actúe de inmediato [8].

- La zona de no operación

La zona de no operación se da cuando $I_{minop} \geq I_d$ lo que se refiere a que la corriente de operación mínima está por debajo del valor de la corriente de operación, provocando que el relé se mantenga en estado normal y no active su funcionamiento [8].

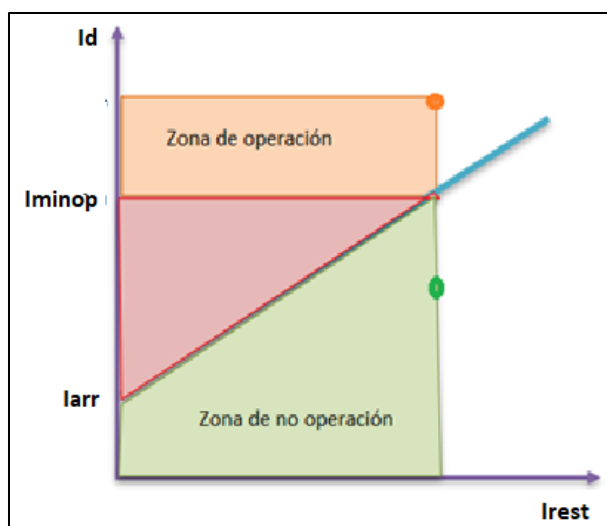


Fig. 2-4 .Pendiente de operación del relé.

Fuente: Autores

La protección diferencial 87 tiene algunos factores que pueden afectar al esquema diferencial, las cuales son:

- *Selección de TC:* Los transformadores de corriente se construyen bajo distintos niveles de calidad por lo que no he sencillo poder escoger correctamente un TC.
- *Cambios de TAP en los devanados del transformador:* Los cambios de TAP permiten escoger un TC y a que al cambiar el TAP se cambia la corriente y a su vez también variará las corrientes diferenciales.
- *La saturación de las TC:* La saturación de un TC se da cuando la señal de la corriente es decir su onda se deforma, y el valor eficaz del devanado secundario es menor a lo habitual, los factores que pueden hacer que los TC se saturen pueden ser:
 - Corrientes muy elevadas
 - Cargas mayores a las nominales
 - Variación de frecuencia nominal
 - Cortocircuitos
- *Corrientes de energización o magnetización:* Más conocida como corriente de Inrush, corriente la cual tiene muchos segundos armónicos de frecuencia. La corriente de Inrush ese coeficiente se define como la energización de un transformador con un voltaje nominal, dependiendo del instante de cierre del interruptor se puede duplicar el flujo máximo, saturando el núcleo ferromagnético ocasionando un aumento de la corriente de excitación que sobrepase a la corriente

nominal, ya que la impedancia del núcleo disminuye en la región donde se presenta la saturación [18].

Cuando un transformador está en vacío se energiza presentará una gran magnitud de corriente en el devanado donde recibe la alimentación, esta corriente se la conoce como corriente de Inrush. En estado normal la corriente está entre el 5% y 10% de la corriente nominal.

2.8. Filtros

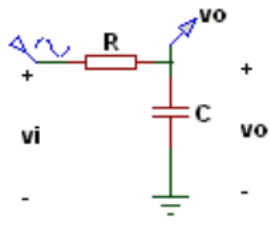
Son dispositivos o circuitos los cuales se diseñan para que pueden modificar de determinados modos una señal que pasa a través de estos. Un filtro eléctrico tiene como función es deformar o modificar el espectro en frecuencia de una determinada señal de entrada, comúnmente se usa para atenuar o amplificar las señales de frecuencia dentro de un determinado rango, también ayuda a rechazar o aislar componentes de la frecuencia. Existen dos tipos de filtros los Filtros activos, que se componen por amplificadores y transmisores y los Filtros Pasivos, que se incluyen resistencias, inductores y capacitores, estos a su vez se dividen en cuatro tipos distintos de filtros.

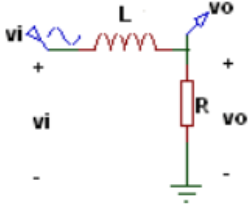
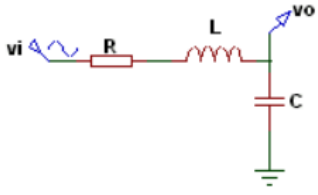
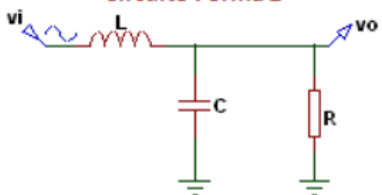
2.8.1. Filtros Pasa Bajos

Este filtro permite el paso de ellas frecuencias más bajas y a su vez disminuye las frecuencias más altas, este tipo de filtros requiere de dos terminales de entrada y dos de salida, las cuales salen de un cuadripolo, presentando así todas las frecuencias a la entrada, pero a su salida solo se presentan las señales que ya están filtradas.

Los filtros pasan bajos tiene varias clasificaciones como primer y segundo orden que corresponden a RC, RL, RLC, Los cuáles se especificarán a continuación.

Tabla 2-1. Filtros pasa bajos RLC

<i>Filtro pasa bajos</i>	Ecuación para el diseño:
 <p><i>Filtro pasa bajos pasivos de primer orden RC.</i></p> <p><i>Fuente: [21]</i></p>	$R = 1/(2\pi f_c C)$

 <p>Filtro pasa bajos pasivos de primer orden RL.</p> <p>Fuente: [22]</p>	$R = 2\pi f_c L S$
<p>Filtro pasa bajos RLC</p>	<p>Ecuación de transferencia</p>
<p>Circuito Forma 1</p>  <p>Esquema del filtro pasa bajos pasivos de segundo orden RLC.</p>	$C = 1/(2\pi k f_c Q R), L = Q R / (2\pi k f_c)$
<p>Circuito Forma 2</p>  <p>Esquema del filtro pasa bajos pasivos de segundo orden RLC.</p> <p>Fuente: [23]</p>	$C = Q / (2\pi k f_c R), L = R / (2\pi k f_c Q S)$

2.8.2. Filtro pasa bajo de media móvil

Este tipo de filtro funciona igual que un filtro analógico pasa-bajo, ya que atenúa la frecuencia más alta y solo deja pasar frecuencias más bajas, pero este tipo de filtro, se considera como un filtro digital ya que se lo puede aplicar a un Arduino, y funciona de manera que va creando promedios de cada lectura tomada y nos entrega una salida de datos más estables que los que se obtienen en la lectura original, para poder realizar este tipo de filtrado se basa en la siguiente ecuación.

$$Datos_filtrado = (\alpha * Dato_leído) + ((1 - \alpha) * Dato_filtrado)$$

2-8

Donde:

- *Dato_filtrado*: El dato que ya fue procesado.
- *Alpha*: Es una constante que permite determinar el grado de filtrado, donde 1 es sin filtro o es filtrado totalmente, comúnmente se utiliza 0.05, pero es más recomendado que se busquen valores más convenientes para cada proyecto [24].
- *Dato_leido*: es nuestra entrada de datos sin filtrar.

Una de las desventajas que se tiene con este tipo de filtros es que su reacción es lenta en caso de cambios muy bruscos en los valores, razón por la cual se recomienda dar un tiempo de espera hasta que el valor se estabilice y poder tener valores estables.

2.8.3. Filtro Senoidal

Este tipo de filtros están diseñados para proporcionar un voltaje de salida de onda sinusoidal cuando de una unidades de frecuencia o inversores de conmutación de 2kHz a 8kHz, sus aplicaciones pueden ser para unidad de frecuencia variable , un ejemplo de este tipo de filtros, es el filtro de onda sinusoidal MTE serie A, que puede ayudar a eliminar fallas de aislamiento de motor res o cables, así como también ayuda a disminuir el calentamiento y ruido [21].

Los filtros senoidales proporcionan ondas senoidales con ondas residual bajas, a partir de ondas cuadradas presentes en la salida de controladores de motores, sus ventajas se tienen que se puede tener una tensión de salida senoidal casi perfecta, protege a los motores de sobrecorrientes, elimina ruidos de los motores, ayudan a extender la vida útil de los equipos [25].

2.8.4. Filtro Fourier

Se debe tomar en cuenta que las transformadas y los filtros son herramientas que ayudan a procesar una señal y a su vez analiza los datos discretos, regularmente se los usa para el procesamiento de señales, cuando los datos se representan en función del tiempo, la transformada de Fourier ayuda a transformar los datos en componentes de frecuencia.

Uno de estos filtros se lo conoce como filtro FFT o transformada rápida de Fourier, este filtro representa un algoritmo que analiza rápidamente la frecuencia y la amplitud, permitiendo realizar varias transformaciones en la frecuencia y amplitud a las señales [26].

2.9. Medición de Corriente

La corriente eléctrica se encuentra presente en circuitos eléctricos funcionales, puesto que esta circula dentro de los mismos, por ende, la corriente se define como el flujo de carga que recorre por un material. La corriente eléctrica puede ser de dos tipos, corriente continua, en la cual el flujo de electrones conserva el mismo sentido de corriente alterna, donde el sentido de circulación de los electrones cambia de forma periódica, además, cabe resaltar que el flujo de corriente lleva consigo efectos caloríficos, químicos y magnéticos. Por lo tanto, es importante cuantificar la presencia de corriente eléctrica dentro de los conductores de un circuito, para ello se lleva a cabo procesos de medición, en donde se compara una unidad con otra asignando una valoración numérica, empleando instrumentos de medida y considerando un cierto error presente dentro de la medición. Para cuantificar la corriente presente en ciertos elementos de un circuito, se puede determinar mediante los siguientes métodos:

2.9.1. Método de deflexión

Dentro del método de deflexión se considera que esto ocurre dentro del instrumento, dando directamente la medida a partir de su aguja, por ejemplo, si se tiene un circuito en el cual se desea medir corriente, se introduce un amperímetro.

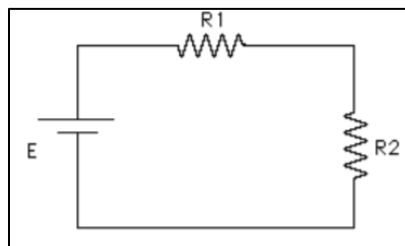


Fig. 2-5. Circuito en el cual se desea medir la corriente.

Fuente: Autores

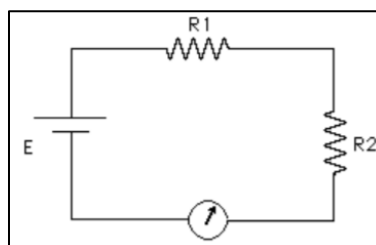


Fig. 2-6. Introducción del amperímetro.

Fuente: Autores

Ya que, si dentro del instrumento de medición existen diez divisiones, de la cual cada una representa 1mA, y la aguja se ha movido tres, eso indicaría que por el circuito circulan 3mA.

2.9.2. Método de detección de cero

El método de cruce por cero, determina el valor de una incógnita mediante una indicación de cero a partir de otros valores conocidos, para ello, se hace uso del circuito denominado puente de Wheatstone, el cual tiene la siguiente configuración:

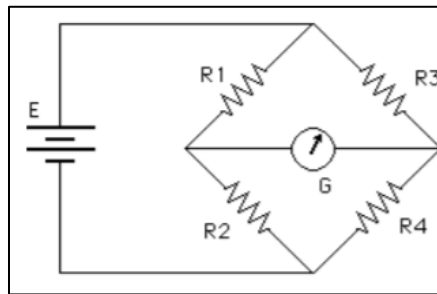


Fig. 2-7. Puente de Wheatstone.

Fuente: Autores

Si $R1/R2 = R3/R4$, el galvanómetro (G), indica que circula una corriente cero, por lo tanto, en base a este particular se puede medir resistencias utilizando el arreglo correspondiente al puente de Wheatstone, para ello, se considerará como incógnita la resistencia R1, mientras que R2 será una resistencia variable, dejando a R3 y R4 como resistencias fijas, despejando R1, se obtiene $R1 = (R3/R4)R2$ y considerando que R3 y R4 son constantes, la expresión se puede reescribir como: $R1 = K R2$.

A partir de ambos métodos de medición se pueden presentar otras subdivisiones, estas son:

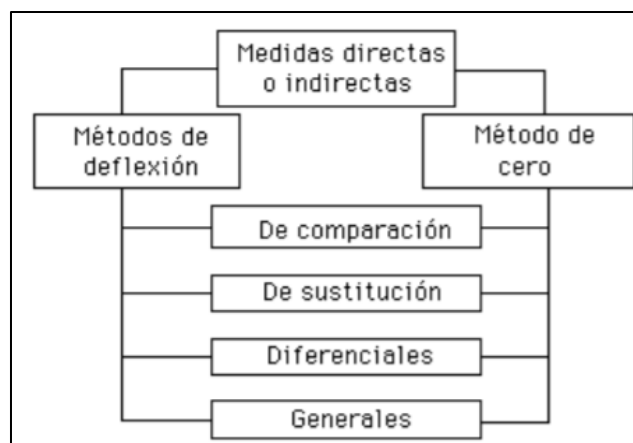


Fig. 2-8. Métodos de medida de corriente.

Fuente: Autores

2.9.3. Método de comparación

Este método se emplea cuando se tiene una incógnita, un parámetro conocido similar a la incógnita que se encuentra conectado al circuito y un instrumento de detección, que no tiene que estar calibrado en las mismas unidades que la incógnita:

2.9.4. Método de sustitución

En el método de sustitución, la incógnita se reemplaza por el patrón, éste a su vez se ajusta para que produzca el mismo efecto que el de la incógnita, pudiendo estar este en unidades diferentes a la de la incógnita:

2.9.5. Método diferencial

Este método se emplea cuando se requiere medir la variación de un parámetro con respecto a un valor inicial. El valor inicial deberá ser ajustado respecto a una referencia estable, de tal forma que el instrumento sensor indique cero, cualquier variación de la incógnita puede determinarse mediante la indicación del instrumento sensor:

2.9.6. Métodos generales

Son aquellos que no pueden incluirse dentro la presente clasificación, dentro de los métodos generales se pueden mencionar la medición de corriente mediante un amperímetro o la medición de voltaje mediante un voltímetro.

2.10. Muestreo de señales

Según Cortés, Cabo, y Chaves, el muestreo también denominado Discretización de señal, es el primer paso a realizar en un proceso en el cual se quiere convertir de una señal analógica con tiempo y amplitud a una señal digital con tiempos y amplitud discretos. Dicha conversión (Conversión A/D), se realiza porque las señales digitales tienen varias ventajas al momento en la que son procesadas y tiene facilidad de multiplexaje [27].

En el presente trabajo las muestras se tomarán en intervalo de tiempo iguales en el caso de las señales de corriente, a lo cual se lo conoce como muestreo periódico de señal, facilitando así el proceso de reconstrucción de la señal.

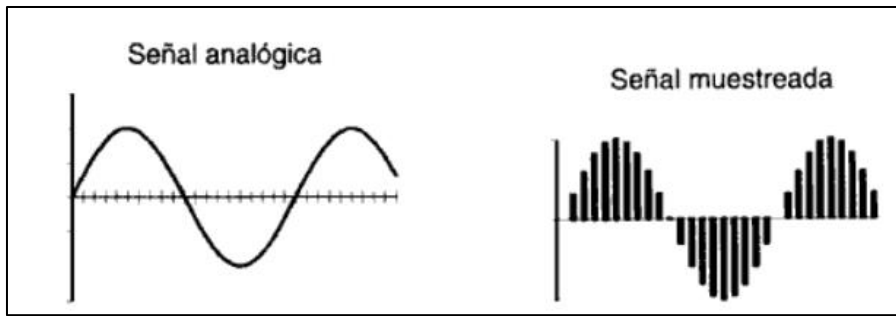


Fig. 2-9. Señal analógica y señal muestreada.

Fuente:[27]

2.10.1. Conversión Analógico/ Digital

Este proceso ayuda a la transformación de señales de magnitudes analógicas a un formato binario o digital, para poder tratar las señales por un protocolo de comunicación a un computador. Regularmente la conversión de señal es un proceso que usualmente usa dispositivos electrónicos, las magnitudes pasan por una configuración electrónica que ayuda a disminuir el ruido de las señales para después ser transmitida por un acondicionador Analógico/Digital, donde finalmente se obtienen señales digitalizadas [28] .

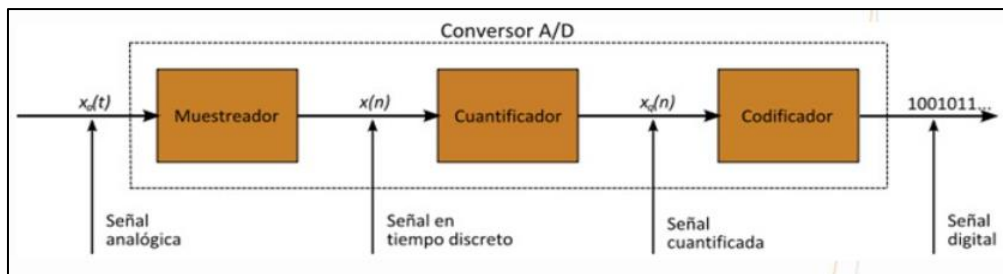


Fig. 2-10. Conversor analógico/digital.

Fuente: [29]

2.11. Matlab 2018

Matlab es un software de programación y cálculo numérico con un lenguaje de programación técnico computacional fácil de usar que permite el análisis iterativo y procesos matemáticos con matrices y arrays. A su vez el software no solo permite trabajar con matrices sino también con vectores por lo que también puede trabajar con números reales o complejos, por su versatilidad ayuda herramientas propias como funciones y programas.

Matlab es un programa que consta con varias herramientas integradas dentro de la pantalla de interacción, esta herramienta permite que Matlab sea un programa adecuado para la creación de herramientas propias.

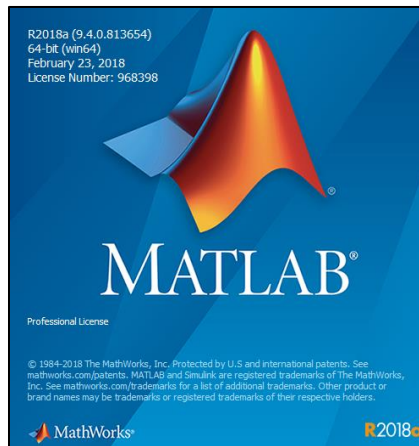


Fig. 2-11. *Pantalla de Matlab 2018.*

Fuente: Autores

2.12. LabVIEW 2019

Laboratory virtual instrument Engineering Workbench, es un programa con un entorno de programación gráfica, dicha herramienta que permite tener una programación gráfica que puede estar aplicada a equipos electrónicos, los programas que se crean en el programa se guardan como ficheros llamados VI.

El programa cuenta con un panel frontal, es la parte que observa el usuario y es de fondo gris, y un diagrama de bloques donde se realiza la programación y tiene un fondo blanco, estas se conectan a través de los terminales [30].

- Los controles son la entrada de datos y los indicadores de las salidas, que se pueden clasificar según su estilo en varios submenús como Modern, System, y Classic [30].
- El lenguaje de programación de este software es visual-gráfico, Lenguaje G [30].

Algunas de las características de LabVIEW son:

- Facilidad de uso mediante interfaces gráficas amigables
- Posibilidad de rápida programación
- Capacidad para la creación de miles de VIs
- Alta capacidad para desarrollar programas de automatización
- Creación de VIs modulares y personalizados



Fig. 2-12. Pantalla de LabVIEW 2019.

Fuente: Autores


2.13. Arduino

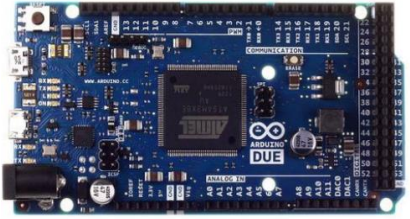



Un Arduino es una placa hardware libre que tiene incorporado microcontroladores programables y pines hembra, los cuales están unidos a la placa, permitiendo conectar diferentes sensores y actuadores para complementar el uso y funcionamiento de la placa. Existen varios tipos de placas de Arduino, cada una de estas tiene diferentes características y funciones [31].


Los microcontroladores de los distintos tipos de Arduino pertenecen a la misma familia tecnológica, y son de tipo AVR, por lo que su funcionamiento es bastante parecido entre sí. El diseño del hardware de la placa de Arduino, se debe instalar en el computador, ya que a través de este se puede escribir, verificar, y guardar en la memoria del microcontrolador de la placa Arduino para poder ejecutar las instrucciones que se le plantearon la comunicación de la placa con el computador es a través de un cable USB [31].

Cómo se mencionó anteriormente hay varios tipos de Arduino como:

Tabla 2-2. Tipos de Arduino

<p>Arduino Uno</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Modelo estándar ● 14 pines de entrada/salidas digitales ● 6 pines se los puede usar como PWM ● 6 entradas analógicas ● USB tipo b, se alimenta con 9 Voltios [31] 	 <p style="text-align: center;"><i>Placa Arduino UNO.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Fuente:[31]</i></p>
---------------------------	---	---

<p>Arduino DUE</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Microcontrolador de 32 Bits ● La placa cuenta con 54 entradas/salidas ● 12 salidas digitales ● 12 entradas analógicas ● 2 buses TWI ● Funciona con 3.3 voltios 	 <p><i>Placa Arduino DUE.</i> <i>Fuente:[32]</i></p>
<p>Arduino Leonardo</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Cuenta con 12 entradas analógicas ● 20 salidas digitales ● Microcontrolador ATmega32u4, No posee un puerto USB ● Pines de interrupción externa <p>Comunicación se da a través de TWI, SPI y dos UART</p>	 <p><i>Placa Arduino Leonardo.</i> <i>Fuente: [32]</i></p>
<p>Arduino Mega 2560</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Microcontrolador ATmega2560 ● 54 entradas/salidas digitales, ● PWM 16 ● 16 entradas analógicas ● 4 UART ● 2 modos PWI y uno SPI 	 <p><i>Placa Arduino Mega 2560.</i> <i>Fuente:[32]</i></p>
<p>Arduino Micro</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Cuenta con 12 entradas analógicas ● 20 salidas digitales ● microcontrolador ATmega32u4 	 <p><i>Placa Arduino Micro.</i> <i>Fuente: [32]</i></p>

<p>Arduino Nano</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Microcontrolador ATmega328 ● 14 pines de entrada y salida digitales ● 6 PWM ● 6 entradas analógicas, ● Conexión con cable Mini-USB ● Terminales para conexión ICSP y un botón de reseteo 	 <p style="text-align: center;"><i>Placa Arduino Nano.</i></p> <p style="text-align: center;"><i>Fuente:[33]</i></p>
----------------------------	---	--

3. MATERIALES Y MÉTODOS:

Para poder determinar el funcionamiento del módulo es necesario identificar los parámetros con los cuales operará la protección diferencial 87, según [8] es necesario monitorear los niveles de corriente en el primario y secundario, y así verificar bajo qué circunstancias actúa la protección. Para el diseño se debe considerar tanto las características físicas y técnicas del módulo, considerando cada uno de los elementos que integran las etapas de alimentación, medición y de cargas; con la finalidad de brindar procesos didácticos semejantes a los módulos de Lucas Nülle.

En base a los parámetros de funcionamiento se elegirán los materiales y elementos que más acorde se encuentren con respecto al funcionamiento del módulo. Uno de los principales elementos que conforman el módulo, es el transformador, por lo cual, según lo indicado en [11] se selecciona un transformador monofásico puesto que las características de construcción y funcionamiento son las que mejor se acoplan a las finalidades del módulo. De igual forma, en base a lo determinado en [14] y conforme a lo seleccionado respecto al transformador, se sabe que las condiciones de falla, corresponden a una falla de alta impedancia, motivo por lo que, los elementos que conforman el módulo deberán estar dimensionados en función de las mismas. Razón por lo cual, para obtener los datos de corriente y voltaje se emplean instrumentos de medición para ello, en base a lo determinado en [16] se deberá seleccionar un elemento que posibilite tomar los datos necesarios para su posterior procesamiento.

En base al proceso de diseño se debe llevar a cabo la construcción del módulo, empleando materiales y elementos determinados en el punto anterior, de manera que la construcción cumpla con las necesidades y condiciones de funcionamiento del módulo.

Para comprobar el funcionamiento del módulo se deben realizar pruebas de funcionamiento las cuales, se llevan a cabo en base a simulaciones de sistemas o circuitos

los cuales permiten comprobar el funcionamiento correcto de la protección diferencial. En caso de que el módulo no cumpla con su correcto funcionamiento este debe volver a parametrizar los valores, de manera que se pueda volver a realizar las pruebas de funcionamiento correspondientes para determinar una adecuada operación del mismo. En base a los resultados obtenidos se deberá realizar un contraste, permitiendo determinar un margen de error entre los resultados arrojados por el módulo y valores obtenidos mediante métodos matemáticos.

4.1 MÉTODOS

4.1.1. Métodos de Investigación

Dentro del desarrollo de la propuesta tecnológica se empleó métodos de investigación en función de lo mencionado dentro del método científico, los cuales son:

4.1.2. Método Analítico

Considerando que la propuesta tecnológica plantea la construcción de un módulo didáctico es necesario identificar la función que cumplirá cada uno de los elementos que lo conformen, para ello es necesario emplear el método analítico.

El método analítico permite diagnosticar problemas y a su vez, plantear hipótesis que permiten solventarlos, mediante un estudio segmentado, este método se encuentra compuesto por diferentes etapas: observación, descripción, examen crítico, segmentación, enumeración de partes, ordenación y clasificación.

De esta forma, se podrá segmentar al módulo en cada una de las etapas que posibilitan su funcionamiento, de esta forma, de ser el caso, se identificará adecuadamente las problemáticas presentes y se establecerá las interrelaciones correspondientes entre etapas, de esta forma se obtendrá un desglose de partes y etapas, que faciliten una mayor comprensión del funcionamiento del módulo.

4.1.3. Método Deductivo

Una vez que el módulo este construido, se espera obtener información asociada a las corrientes que circulan por el elemento protegido para posteriormente evaluar el funcionamiento de la protección 87, por lo tanto, es necesario comprobar la validez de los datos obtenidos, para ello se hará uso del método deductivo.

El método deductivo además permitirá emplear la lógica y así obtener conclusiones a partir de ciertas afirmaciones que se consideran ciertas, de esta forma, mediante este método se puede partir de lo general hacia lo particular, por lo tanto, la validez de las conclusiones obtenidas depende de la validez de las premisas referenciales.

En el caso particular de la propuesta tecnológica, se plantea emplear premisas veraces que permitan obtener conclusiones fiables, para ello, se hará uso de instrumentos de medida que brinden una referencia confiable, mientras que, para el análisis de los resultados obtenidos dentro de la etapa de toma de datos, se emplearán las fórmulas correspondientes de la protección diferencial 87, de esta forma, se podrá validar los resultados obtenidos.

Es así como, mediante la metodología de investigación planteada anteriormente, se puede plantear un diagrama de flujo que permita comprender de mejor forma la manera en la cual se ejecutará la construcción del módulo didáctico:

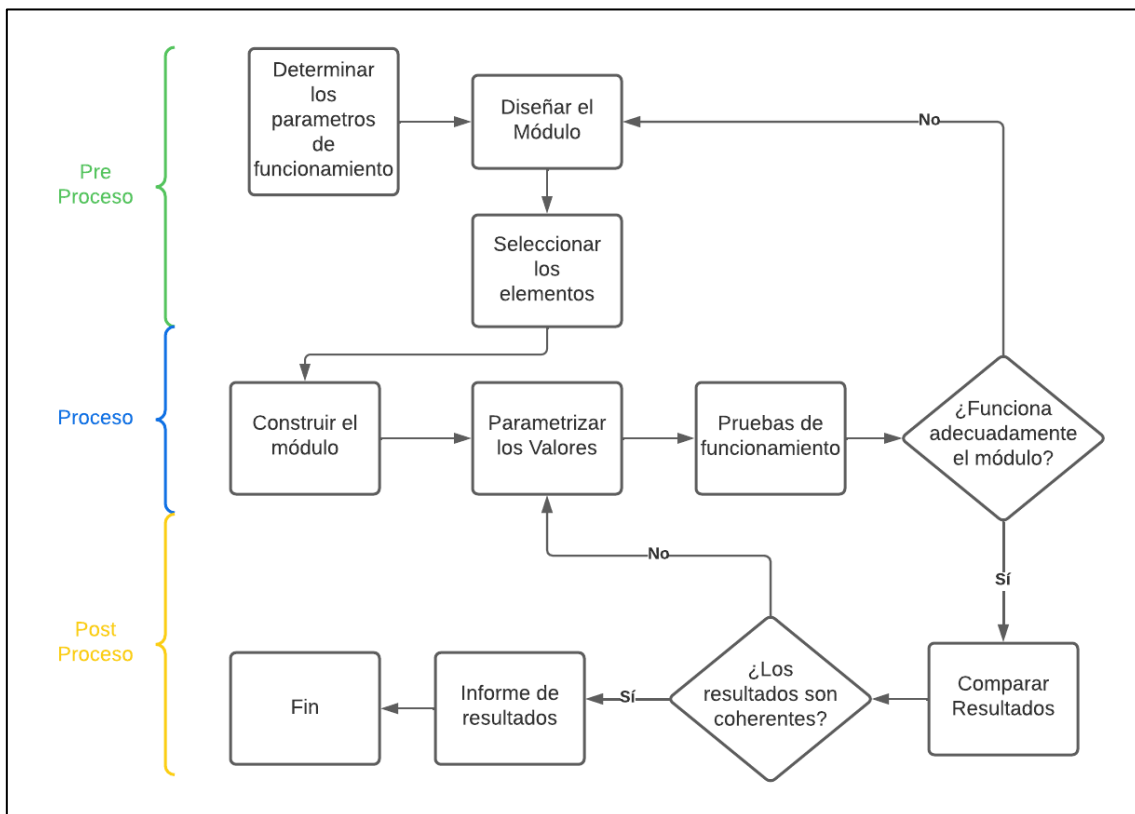


Fig. 3-1. Diagrama de flujo de posesos del módulo didáctico de protección diferencial

Fuente: Autores

4.2. MATERIALES

Para poder determinar de manera adecuada los materiales a utilizar dentro de la construcción del módulo se consideró trabajar por etapas, donde se podrá identificar la

alimentación, elemento protegido, análisis y toma de datos, simulación de falla, y banco de cargas.

4.2.1. Etapa de alimentación del módulo

Dentro de esta etapa se considera el medio físico que permita la conexión necesaria entre el módulo y la fuente de energía, que para este caso se ha considerado implementarlo a la red eléctrica. Para proveer de un adecuado servicio eléctrico al módulo se empleó un tomacorriente trifásico de 32 A, a pesar de que la alimentación del transformador será monofásica, por lo tanto, para asegurar la integridad de los elementos del módulo se debe dimensionar adecuadamente las protecciones, para ello se usó la siguiente expresión:

$$I_p = I_n * 1.25$$

La expresión anterior se considera a partir de la norma NEC 2017, dentro del artículo 210.20, donde se menciona que un circuito derivado que suministra cargas continuas o no continuas, el dispositivo de protección no debe ser inferior a la carga no continua más el 125% de la carga continua [29]. Por lo tanto, la protección necesaria para la alimentación del módulo se determina de la siguiente manera:




$$I_p = 2.045A * 1.5$$

$$I_p = 2.5562 A$$

Una vez que se haya identificado cual es el valor que la protección deberá tener para asegurar de forma adecuada la integridad de los diferentes componentes del módulo, se deberá analizar el tipo de protección adecuada, de las cuales, inicialmente se consideran: **Magnetotérmicos:** Estos dispositivos también son denominados PIAs (Pequeños Interruptores Automáticos), este tipo de protecciones protegen a los elementos que conforman el circuito, conductores y cargas, puesto que interrumpen de forma directa si detectan una sobrecorriente, según el origen de la sobrecorriente este se activará de manera térmica o magnética [30].

Fusibles: Este tipo de elementos se emplean para proteger a los conductores y cargas que conforman el circuito, puesto que de presentarse una sobrecorriente o sobrecarga, este interrumpirá de manera inmediata la alimentación. Generalmente, este tipo de componentes están formados por un conductor diseñado para que cuando circule una corriente mayor a la nominal, este se funda, interrumpiendo el circuito [30].

Tabla 3-1. Materiales generales del módulo.

Material	Imagen	Características
Tomacorrientes		<ul style="list-style-type: none"> - Enchufe Pin & Sleeve - IP67 6H Rojo - 32 A 3P+T 380-415 V AC
Portafusibles		<ul style="list-style-type: none"> - Corriente nominal 32A - Curva de fusible AM GG - Tensión nominal 500 V AC - Tensión nominal del aislamiento 500 V AC 50/60 Hz - 3 polos
Fusibles		<ul style="list-style-type: none"> - Corriente que soporta 5 A

4.2.2. Etapa de Elemento protegido

Para poder identificar el funcionamiento de la protección diferencial 87, es necesario considerar un elemento a proteger, es decir, un elemento dentro del cual se lleva a cabo el análisis que comprende la corriente diferencial, para ello se planifica dos casos.

Dentro del primer caso se emplea un transformador monofásico, cuya potencia es de 500 W, su voltaje de entrada es 220V y el voltaje de salida es de 110 V por lo tanto la relación de transformación es de 2/1.

Considerando trabajar con una potencia que se encuentre cercana al límite de potencia que ofrece el transformador, estableciendo el siguiente rango de funcionamiento:


500 W → 100%

450 W → X

$$X = (450 * 100)/500 = 90\%$$

Por lo tanto, los materiales considerados dentro de esta etapa son:

Tabla 3-2. Materiales de la etapa del elemento a proteger

Material	Imagen	Características
Transformador monofásico		<ul style="list-style-type: none"> -Potencia: 500 W -Vin: 220 V AC -Vout: 110 V AC - Relación de transformación: 2/1

4.2.3. Etapa de análisis y toma de datos de corriente y voltaje.

La etapa de análisis y toma de datos es la parte central del módulo, puesto que mediante esta se podrá llegar a evaluar el funcionamiento de la protección diferencial 87, para ello es necesario comprender el funcionamiento de la protección, por lo tanto, según la información brindada en [8], Caiza y Ramos mencionan que el principio de funcionamiento se basa en la comparación de corrientes, siendo estas la corriente de entrada y de salida del transformador.

Por lo tanto, se necesita de ciertos instrumentos de medición que permitan identificar el valor de las corrientes que circulan por la entrada y salida del transformador, considerando lo detallado en [17] se ha considerado emplear transformadores de corriente o TC's. Para poder enlazar la toma de medidas se necesita de una unidad programable, que permita procesar los datos provenientes del TC.

Tabla 3-3. Opciones de materiales de la etapa de toma de datos

Elemento	Descripción	Observación
Arduino	Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual se basa en hardware y software libre, flexible y fácil de emplear, se encuentra conformado por circuitos integrados que posibilitan grabar instrucciones.	Cuenta con diferentes complementos de hardware que lo vuelven más versátil, útil y se acopla a las necesidades de toma de medida y comunicación del módulo.
PIC's	Un Circuito Integrado Programable, brinda las facilidades necesarias para realizar y controlar una tarea, contiene una memoria de programa, base de tiempo y circuitos auxiliares, bus de datos, entradas y salidas programables	El PIC brinda ciertas facilidades en cuanto al hardware, sin embargo, los elementos no cuentan con una compatibilidad similar a la de Arduino, además existe una gran diferencia en cuanto a la programación, no solamente entre PIC y Arduino, sino también entre microcontroladores.

Considerando la versatilidad de Arduino, como se indica en la tabla anterior, se ha considerado implementar sensores de corriente alterna, que cumplirían con la misma función de un TC, de igual forma se ha considerado implementar sensores de voltaje, siendo así que también se considera una placa de desarrollador de Arduino.



De esta manera, mediante la toma de datos que provienen de Arduino, a través el puerto de comunicación serial mini USB se procederá a establecer comunicación con un programa ejecutable desarrollado en LabVIEW 2019, tomando en cuenta las características de funcionamiento que se describen en [30], donde se podrá estructurar el funcionamiento de la protección diferencial 87, considerando los parámetros necesarios en función de las características de los elementos que conforman el módulo.


De acuerdo con los requerimientos de la protección 87, se debe tomar en cuenta ciertas consideraciones adicionales, una de ellas es el hecho de trabajar con voltaje y corriente alterna, por ende, al ser estas señales sinusoidales, se implementa un filtro pasa bajos, esto en función de que las características detalladas en [24].

Una vez que se haya obtenido una señal fiable, esta pasará hacia el programa ejecutable desarrollado en LabVIEW 2019, el cual se comportará como un medio de comunicación entre el usuario y el módulo, así como también se encargará de emular el funcionamiento de la protección diferencial 87.

De esta forma, los materiales empleados para la etapa de análisis y toma de datos son:

Tabla 3-4. Materiales electrónicos para la toma de datos del módulo.

Material	Imagen	Características
Sensor de Corriente ASC712-20 A		<ul style="list-style-type: none"> - Error de salida: 1.5% - Bajo ruido de señal analoga - Ancho de banda de 80 kHz - Capacidad hasta de 30 A -Sensibilidad de salida de 66 - 180 mV/A
Sensor de Voltaje AC ZMPT101B		<ul style="list-style-type: none"> -Alimentación 5VDC -Señal de salida analoga - Corriente nominal de entrada y salida: 2 mA

Arduino Nano		<ul style="list-style-type: none"> - 14 pines de entrada/salida digital - 6 entradas analógicas - Terminal de conexión Mini-USB
--------------	---	--

4.2.4. Etapa de simulación de falla del módulo

Para poder evaluar el comportamiento del transformador monofásico ante la presencia de una corriente de falla es necesario que esta se presente dentro del módulo, sin embargo, con la finalidad de obtener resultados similares, sin poner en riesgo la integridad de los elementos, se considera simular la falla.

En base a lo señalado en [15], las fallas pueden ser de diferentes características, provocando ciertos efectos considerables, como ciertas sobrecorrientes como se indica en [16] por lo tanto en base a esto se considera ciertos elementos que permiten simular fallas dentro del sistema.

Para lograrlo se necesita considerar integrar una etapa donde mediante resistencias se pueda integrar una rama derivada del secundario y el primario que permite saturar la corriente en ambos devanados, simulando una sobrecorriente.

Por lo que en función de la finalidad del módulo, se considera necesario integrar el valor de las resistencias en pasos, de esta forma considerando herramientas de cálculo como la Ley de Ohm, la corriente a saturar en el secundario es:

$$I_{\text{primario}} = 450W/220V = 2.045 A$$

$$I_{\text{secundario}} = 450W/110V = 4.090 A$$

De esta forma considerando la corriente que circula por el banco de cargas, y la necesaria para saturar la corriente en el secundario y el primario se obtiene la corriente que debe pasar por la resistencia de la rama:

Resistencia en la rama del devanado primario:

$$I_{rp} = I_{\text{primario}} - I_{\text{carga}}$$

$$I_{rp} = 2.045 - 1.3635$$

$$I_{rp} = 0.6815 A$$

$$R_{rp} = 220V/0.6815A$$

$$R_{rp} = 322.817 \Omega$$

$$Prp = (220 V) * (0.6815 A)$$

$$Prp = 149.93 W$$

Resistencia en la rama del devanado secundario:

$$I_{rs} = I_{secundario} - I_{carga}$$

$$I_{rs} = 4.090 - 2.7272$$

$$I_{rs} = 1.3628 \text{ A}$$

$$R_{rs} = 110V / (1.3628 \text{ A})$$




$$R_{rs} = 80.71 \Omega$$

$$P_{rs} = (110 \text{ V}) * (2.7274 \text{ A})$$

$$P_{rs} = 149.908 \text{ W}$$

Por lo cual, los materiales seleccionados para simular la falla en el devanado secundario y primario son:

Tabla 3-5. Materiales del banco de cargas para la simulación de falla.

Material	Imagen	Características
Focos Incandescentes		- Potencia: 50 W - Voltaje: 110/220 V
Interruptor		- Voltaje: 110/220 V
Amperímetro		- Corriente máxima: 10 A - Voltaje de alimentación: 3-12 V DC

4.2.5. Etapa de banco de cargas del módulo

Dentro de la etapa que conforma el banco de cargas se considera implementar ciertos elementos que permitan demandar corriente al sistema, por lo tanto, en función de las cualidades de los elementos previamente detallados, las cargas se obtienen de la siguiente forma:

$$I_{carga} = 100W/110V = 0.9090A$$




$$I_{tcarga} = 3 * 0.9090A$$

$$I_{tcarga} = 2.7272A$$

$$Prs = (110 V) * (2.7272A)$$

$$Prs = 300 W$$

Tabla 3-6. Materiales para el banco de cargas del módulo.



Material	Imagen	Características
Focos Incandescentes		- Potencia: 100 W - Voltaje: 110V
Interruptor		- Voltaje: 110/220 V
Amperímetro		- Corriente máxima: 10 A - Voltaje de alimentación: 3-12 V DC

Cabe resaltar que para posibilitar la conexión entre las diferentes etapas del módulo se considerara emplear ciertos elementos que garanticen de forma adecuada, una correcta conexión, brindando seguridad y facilidades al usuario. Para lo cual se ha considerado utilizar puertos de conexión que brinden la oportunidad de realizar conexiones momentáneas, que sean seguras tanto para el usuario como para el elemento y que permita una conexión didáctica.

Siendo así que los conectores considerados para la presente propuesta tecnológica son los conectores banana para chasis, este tipo de conector es ampliamente utilizado en diferentes elementos, como instrumentos de medición, generadores, fuentes o multímetros, entre otros, estos a su vez cuentan con un terminal empleado para conexiones internas a la vez que permite fijar el conector al chasis correspondiente a la etapa del módulo.

De igual forma, es necesario considerar el cable conductor a utilizar dentro de las conexiones entre módulos, por lo tanto, en función de las tablas brindadas por diferentes fabricantes y la corriente que atravesara por los mismos, se puede escoger un cable conductor de las siguientes características.

Tabla 3-7.Tabla de materiales para conexiones del modulo

Material	Imagen	Características
Conectores		<ul style="list-style-type: none"> - Tipo: Banana para chasis - Diámetro interior: 0.4 cm - Diámetro: 1 cm - Color: Negro y Rojo
Cable conductor		<ul style="list-style-type: none"> -AWG: 16 - Temperatura: 200 °C - Color: Negro/Rojo

4.3. Diseño de módulo

Una vez que se haya determinado tanto las etapas que componen el funcionamiento del módulo, así como también los materiales que constituyen las mismas, se procederá a establecer el diseño correspondiente al módulo didáctico, para ello, se considerará establecer dos partes principales, la estructura física y la parte eléctrica.

De esta forma, considerando que una de las principales finalidades del módulo es evaluar el funcionamiento de la protección diferencial de forma didáctica se ha tomado como referencia los sistemas de entrenamiento de Lucas Nülle, la cual es una compañía dedicada a la construcción de tecnología aplicada a la educación, especialmente dentro del área técnica donde los equipos que ofrecen se encuentran destinados a diferentes ámbitos, como tecnología de vehículos comerciales, control de procesos, análisis de fluidos, automatización e industria 4.0, electrónica de potencia, máquinas eléctricas, Ingeniería eléctrica, redes inteligentes e incluso energías renovables, de esta forma, existen herramientas que faciliten los procesos de aprendizaje, así como también emular situaciones que se podrían presentar en el ámbito laboral.

Por lo tanto, considerando la importancia y la presencia de las protecciones eléctricas dentro del ámbito profesional, se considera producible, diseñar y construir el módulo simulando los equipos de Lucas Nülle, como se puede visualizar en la Fig. 3-2

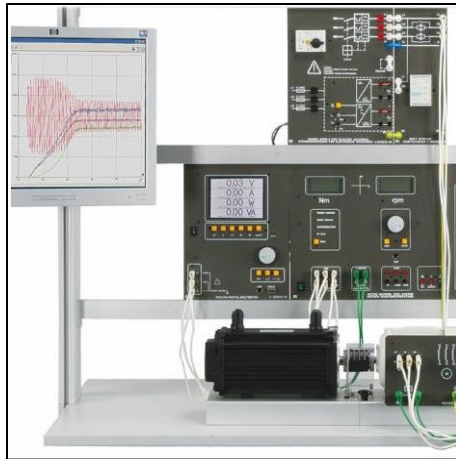


Fig. 3-2. Módulo de Lucas Nülle.

Es así, como estos de módulos de entrenamiento brindan mayores oportunidades de poner en práctica los conocimientos adquiridos, posibilitando identificar cada uno de los componentes que admiten realizar la práctica correspondiente, de igual forma, permite realizar las conexiones correspondientes de forma didáctica e incluso integrar más componentes de ser necesario.

Para poder obtener un resultado eficiente, se empleará un software de diseño que permita obtener una referencia similar a lo propuesto en función de los recursos disponibles, siendo AutoCAD 2021 la herramienta empleada para lograr lo propuesto.

Inicialmente se ha considerado identificar los materiales que permitirán conforma la estructura, para las cuales se contempla los espacios que permitan colocar cada componente, de igual forma, un espacio de trabajo adecuado, por lo que inicialmente se graficara los materiales empleados, en la Fig. 3-3:

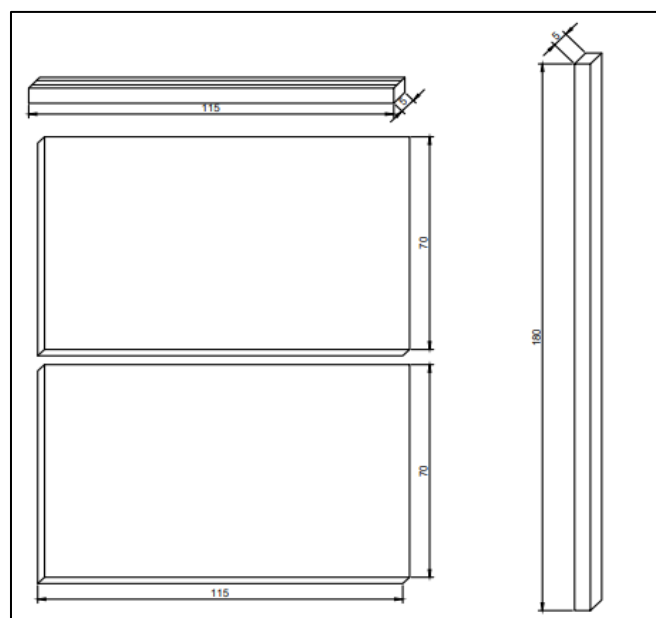


Fig. 3-3. Material utilizado para la construcción estructural del módulo.

Fuente: Autores

De esta forma se considera que para la construcción del módulo se deberá emplear tubo cuadrado, este permitirá formar la estructura que albergara las diferentes secciones del módulo, de igual forma, servirá para poder implementar dos tableros uno de madera y otro metálico que funcionaran como espacio de trabajo y de igual forma un espacio adicional que permitirá colocar materiales y herramientas, brindando una mejor condición del espacio para realizar las correspondientes actividades prácticas.

Ya que se haya escogido los materiales que permitirán construir la estructura del módulo que corresponde a la parte mecánica de la propuesta tecnológica, se deberá diseñar la estructura, contemplando los espacios adecuados para colocar las secciones que conforman al módulo. De igual forma, este proceso se ha realizado empleado el software AutoCAD 2021, puesto que brinda las facilidades necesarias para poder visualizar de mejor manera los resultados esperados y solventar cualquier inconveniente que se presente evitando realizar ciertas actividades contraproducentes al momento de llevar a cabo la construcción de la estructura del módulo.

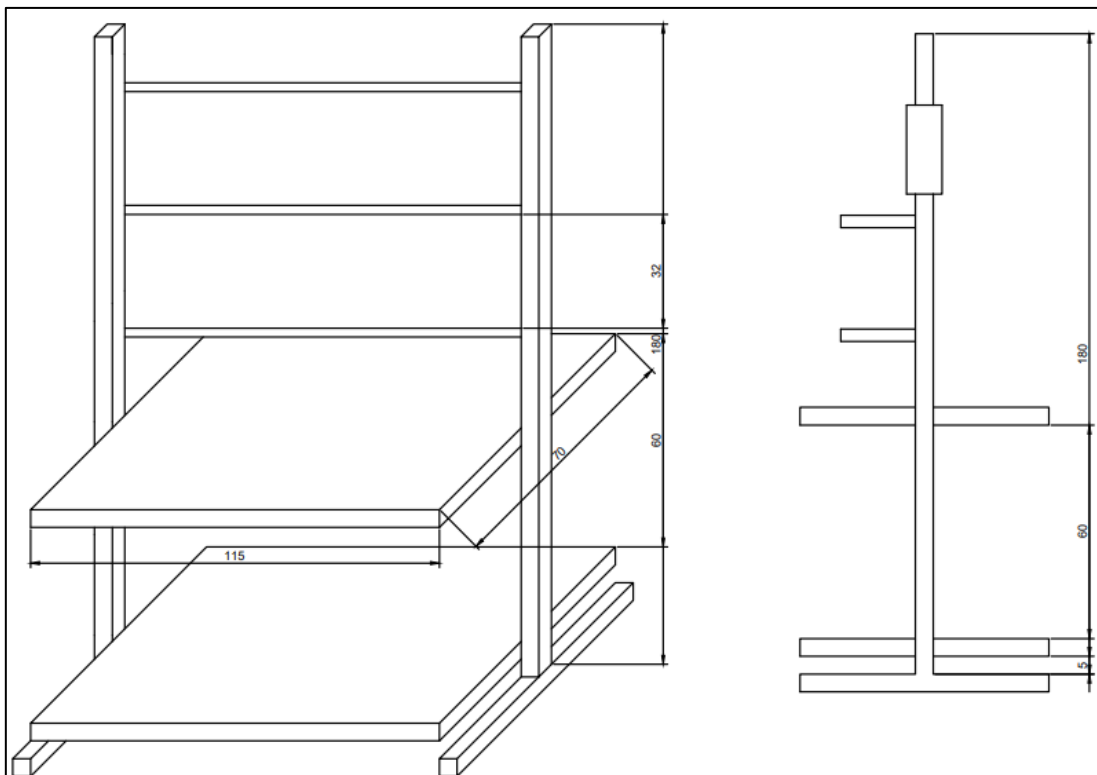


Fig. 3-4. Diseño y medidas correspondientes a la estructura del módulo.

Fuente: Autores

En la Fig. 3-4, se presenta tanto la vista frontal como lateral de la estructura del módulo, dentro de esta se podrá colocar y retirar las secciones que permiten el funcionamiento del módulo, las cuales, dentro del funcionamiento, se consideran como etapas, es decir, la

etapa del elemento protegido, de cargas, análisis y toma de datos entre otros elementos y componentes que hacen posible el adecuado funcionamiento del módulo.

Mediante la construcción de esta estructura se espera asimilar de la manera más próxima posible brindar las facilidades que ofrece la tecnología de Lucas Nülle, por lo que es igual de importante diseñar los espacios que alberguen los elementos empleados dentro de cada una de las etapas.

Las etapas que comprenden el módulo son cinco, y cada una de ellas cumple con una función en específico, por ende, se encuentra constituido por diferentes elementos, acorde a su utilidad dentro del módulo, considerando la referencia constructiva que se ha tomado para la propuesta tecnológica, cada una de las etapas se ensamblaran dentro de cajas metálicas que faciliten el usos y almacenamiento de las misma, de igual forma, se considera brindar el acceso correspondiente hacia los elemento en caso de que fuera necesario.

Para ello, se emplean 7 cajas metálicas, de las cuales, 3 corresponden a la etapa del elemento protegido, 1 pertenece a la etapa de análisis y toma de datos, 2 pertenecen a la etapa de simulación de la falla, y 1 que corresponde a la etapa de carga.

Por lo tanto, en base a los materiales anteriormente seleccionados, el diseño de cada una de las etapas del módulo son los siguientes:

4.3.1. Diseño Estructural del módulo

Dentro del diseño estructural del prototipo didáctico, el cual se encuentra constituido por etapas, en las cuales para poder albergar los diferentes materiales que la componen se realizarán cajas las cuales tienen medidas de 20 cm de largo, 30 cm de alto, como se muestra en la Fig. 3-5.

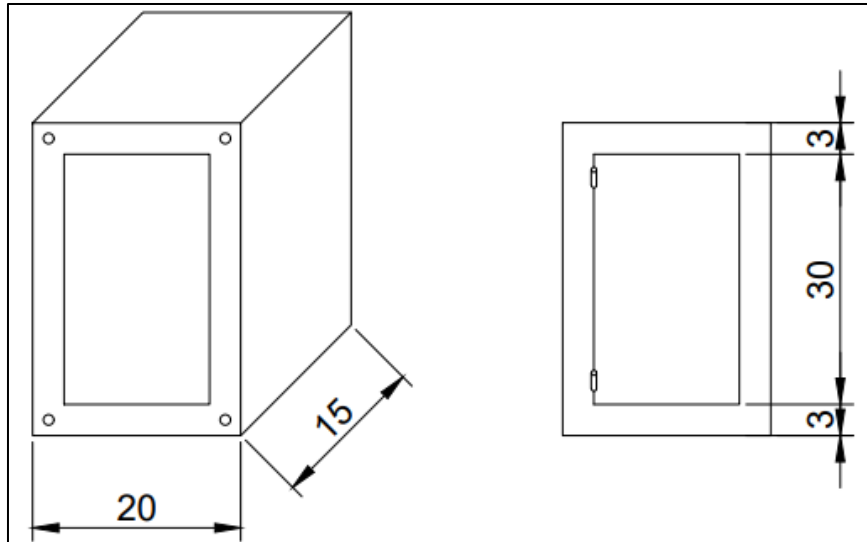


Fig. 3-5. Caja del transformador para el módulo.

Fuente: Autores

- **Etapa de alimentación del módulo**

Esta se encuentra conformada por, un tomacorriente trifásico, un porta fusibles y los fusibles correspondientes, para esta etapa se prevee que brinde las facilidades correspondientes para realizar las conexiones respectivas, por lo tanto, se considera que esta etapa sea la única que permanezca fija dentro del módulo, similar a la referencia de construcción. De igual manera es la única caja del módulo que posee dimensiones distintas.

- **Etapa de Elemento protegido**

En esta etapa, se especifica que se tendrán dos elementos protegidos, el primero es un transformador de 500 W, el cual se trabajara con 450 W como valor de protección, de igual forma este transformador es de 220-110 V correspondiendo una relación de 2/1 del transformador.

Para poder ser ubicado en el módulo se realizarán caja las cuales tiene las medidas de 20 cm de largo, 30 cm de alto, al ser tres transformadores de las mismas características se realizará una caja por cada uno de estos.

Para el segundo elemento a, proteger se usará un banco de cargas con 3 focos de una potencia de 50W a un voltaje de 110/220 V. Al igual que para los transformadores se elaborará una caja de 20*30, similar a la utilizada para los transformadores.

- **Etapa de análisis y toma de datos de corriente y voltaje**

La etapa de toma de datos se decidió trabajar con un microprocesador Arduino Nano, debido a las características y ventajas que este posee. Para la elaboración se realizará una placa electrónica la cual permita la comunicación entre Arduino, los sensores de corriente y voltaje y el software de LabVIEW 2019, ya que en este se desarrollará la programación que permita emular el funcionamiento de la protección diferencial 87, así como también la interfaz que posibilite la comunicación entre el usuario y el módulo.

Para poder ubicar esta parte en el módulo se construirá una caja de 30x30 para poder ubicar; la placa y realizar las conexiones para poder enlazar elemento protegido y las cargas.

En esta caja se contará con dos focos piloto los cuales representarán si la protección diferencial está en funcionamiento o no, de igual forma se cuenta con 8 conectores bananas hembra los cuales permitirán conectar el transformador y el banco de cargas, para poder enlazar Arduino con LabVIEW 2019, es necesario considerar un cable USB que se conecte a un computador.

- **Etapa de simulación de falla del módulo**

Para poder simular la falla se implementaran 3 focos de 50 W cada uno, con interruptores, estos permitirán encenderlos uno por uno, así como también, se tenderá un amperímetro que permita medir la corriente entrante a los focos, para ubicar los elementos en el módulo se deberá elaborar una caja de 20*30 para poder realizar las conexiones correspondientes con el resto de elementos, y de esta manera se pueda simular una falla en el transformador ya que variará la cantidad de corriente, ya sea del primario o secundario, y así hacer que la protección diferencial 87 funcione.

- **Etapa de banco de cargas del módulo**

Para la elaboración del banco de cargas, estos se ubicarán de forma muy similar a los bancos de cargas para la simulación de fallas con la excepción que los tres focos que se ubicarán serán de 100W cada uno.

Una vez finalizada la etapa que comprende el diseño y construcción de la parte estructural del módulo se puede proceder a diseñar la sección eléctrica de cada una de las etapas del módulo, donde se considerarán las conexiones correspondientes cada una de las mismas, por lo tanto, se considerará nuevamente las etapas anteriormente mencionadas.

4.3.2. Diseño Eléctrico del módulo

- *Etapa de alimentación del módulo*

Dentro de la etapa correspondiente a la alimentación, se conoce los materiales que la conforman, las características correspondientes y el espacio que ocuparan dentro del módulo, por lo tanto, dentro del presente bloque se presentara la conexión correspondiente de los elementos.

Es así como el módulo obtendrá la alimentación necesaria correspondiente para poder abastecer los requerimientos de las demás etapas del sistema, posibilitando un adecuado funcionamiento, de igual forma, considerando el diseño estructural del módulo, se hará uso de cables conductores para poder interconectar cada segmento.

- *Etapa del elemento protegido*

En la etapa correspondiente al elemento protegido, se considera los materiales anteriormente mencionados en la Tabla 3-2, con sus respectivas características, por lo tanto, dentro de esta etapa se considera habilitar los puertos de conexión correspondientes al bobinado primario y secundario del transformador.

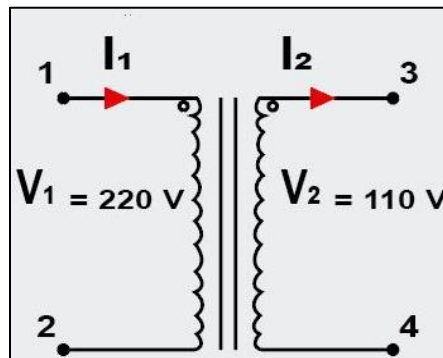


Fig. 3-6. Diseño de nomenclatura a usar para el transformador monofásico

Fuente: Autores

Siendo que se denomina 1 y 2 a los conectores correspondientes al primario, mientras que 3 y 4 pertenece al lado secundario, permitiendo así la conexión con el resto de etapas del módulo, ya que aquí es donde se emplea los conectores banana y cable conductor de forma interna. Dentro del diseño correspondiente a la fachada de la caja correspondiente se considera adecuado indicar ciertos datos técnicos correspondientes al elemento, como la tensión en el primario y secundario, la potencia de la máquina y la frecuencia.

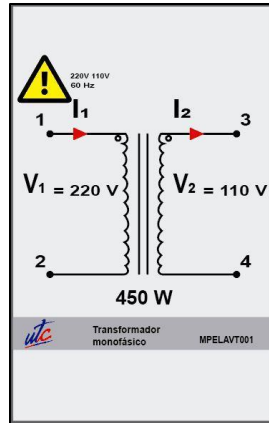


Fig. 3-7. Diseño de la parte delantera de la caja del elemento protegido.

Fuente: Autores

- **Etapa de análisis y toma de datos de corriente y voltaje**

Dentro de la etapa de análisis y toma de datos se emplean los materiales anteriormente descritos en la Tabla 3-4, esta etapa se encuentra compuesta por dos secciones importantes, la toma de datos y el análisis de los mismos, por lo cual, cada uno de los componentes seleccionados permitirán obtener un resultado satisfactorio.

Para la toma de datos se empleará el microprocesador Arduino Nano, puesto que este brinda la posibilidad de tomar los valores de corriente de forma efectiva mediante el uso de sensores de corriente, así mismo, se puede conocer el voltaje en los terminales correspondiente al bobinado primario y secundario del transformador mediante sensores de voltaje, para ello se hará uso de las entradas analógicas del microprocesador.

Una vez que los sensores brinden la información correspondiente al voltaje y la corriente en el primario y secundario, empezando así la etapa de adquisición de datos, estos pasaran por Arduino, donde mediante la programación del mismo se implementa un filtro a la señal que ingresa desde los sensores, a través de un protocolo de comunicación VISA 232, permitiendo que los datos tomados en Arduino puedan ser analizados en el software LabVIEW 2019, de esta forma se clasifican los datos de voltajes y corrientes primarias y secundarias, donde se lleva a cabo un muestreo de señal de los datos correspondientes a las corrientes I_1 y I_2 correspondientes al lado primario y secundario. Después se procede a la etapa del análisis de datos, procediendo con tres etapas:

- *Primera etapa*

Se puede identificar la toma de datos medidos y se centra en la actuación de la protección diferencial, en donde se podrá ingresar el parámetro de corriente mínima de operación,

así como también los TAP's correspondientes al lado primario y secundario, de esta manera se obtendrá la corriente diferencial, donde en caso de que esta sea mayor a la corriente mínima de operación la protección actuaría.

➤ *Segunda etapa*

Se constituye el cálculo e ingreso de ciertos parámetros asociados la protección diferencial 87 porcentual, estos permitirán determinar el funcionamiento de la protección e identificar el comportamiento del transformador ante la presencia de las corrientes de falla. En este apartado se muestra la lectura del voltaje y la corriente en el primario y secundario; la posibilidad de ingresar el TAP deseado para cada TC, la corriente de arranque y la pendiente de operación en porcentaje, y así, considerando los parámetros ingresados se podrá calcular la corriente mínima de operación, la corriente de restricción, y la corriente diferencial, indicando si la protección debería actuar o no.

➤ *Tercera etapa*

Permite identificar la zona de operación y no operación de la protección, en esta se muestra de forma gráfica los parámetros que se han establecido dentro de la segunda etapa, de esta forma se podrá evidenciar de una forma más didáctica bajo que rangos actúa la protección diferencial.

Tomando en cuenta estas consideraciones de funcionamiento el diseño de la etapa de análisis y toma de datos contempla la implementación de diodos pilotos, los cuales serán los encargados de indicar si la protección diferencial actúa o no; así también, se consideran los puertos de conexión necesarios para energizar al microprocesador, y los puertos de conexión para la toma de datos. Dentro del mismo también se muestra los correspondientes datos técnicos de funcionamiento:



Fig. 3-8. Diseño de la parte delantera de la caja del Relé Diferencial.

- **Simulación de falla**

En la etapa que constituye la simulación de la falla se contemplan diferentes elementos que permiten demandar corriente al elemento protegido, de esta forma, se considera cargas que, colocadas en el primario o secundario, puedan saturar la corriente nominal de operación, permitiendo simular una falla de alta impedancia.

De esta forma, si bien es cierto que se presentan anomalías en el funcionamiento del sistema este no se encuentra sometido a una falla sólida, puesto que la tensión ni el voltaje se ven completamente alterados.

Es así que, en función de la tensión presente en bornes, tanto del primario como del secundario, se ha considerado la potencia y voltaje adecuado para que las cargas empleadas dentro de la etapa de simulación de falla sean lo más adecuado posible, de esta forma, la conexión para esta etapa es la siguiente:

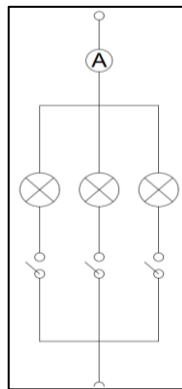


Fig. 3-9. Diagrama unifilar del banco de cargas para simulación de falla.

Por lo tanto, considerando el diagrama unifilar Fig. 3-9 que muestra la conexión de los elementos, se puede establecer una distribución adecuada de los componentes que constituyen la etapa de simulación de falla, siendo esta:

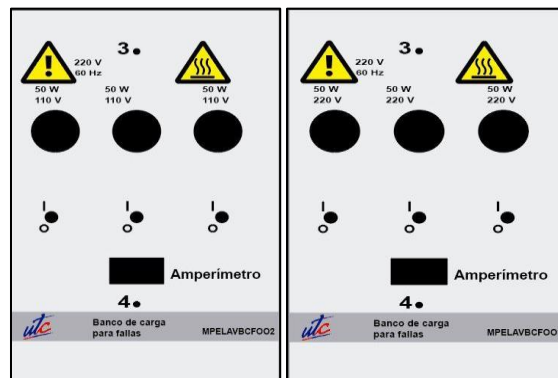


Fig. 3-10. Diseño de la parte delantera de las cajas correspondientes a los bancos de carga para simulación de falla.

Fuente: Autores

Dentro del diseño, Fig. 3-10, se encuentra cada elemento seleccionado para constituir la etapa, donde de igual forma se considera necesario advertir que puede ser una superficie caliente, así como también se muestra cada característica técnica asociada con el funcionamiento de los componentes, asegurando que las conexiones se realicen de forma correcta asegurando la integridad del equipo, cabe resaltar que existen bancos para simulación de falla a 220V y 110V.

- **Banco de cargas**

El banco de cargas, se encuentra compuesto por lo elementos anteriormente descritos en la Tabla 3-6, puesto que cada uno de ellos permite completar la demanda de corriente que puede abastecer el transformador dentro de sus límites técnicos.

El banco de cargas cumple una función similar al banco empleado dentro de la etapa de simulación de falla, completando así entre ambos la demanda que permite la presencia de una falla de alta impedancia dentro del elemento protegido.

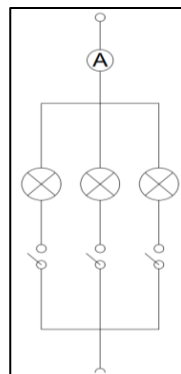


Fig. 3-11. Diagrama unifilar del banco de cargas.

Fuente: Autores

De esta forma el diseño que corresponde a la etapa del banco de cargas se encuentra compuesto por todos y cada uno de los elementos considerados, mostrando las características técnicas correspondientes, a más de un aviso de superficie caliente que advierta al usuario a la hora de manipular el elemento.

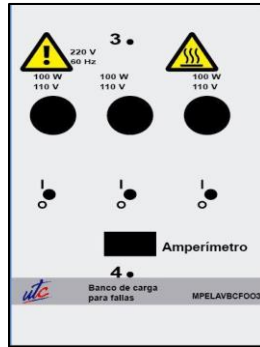


Fig. 3-12. Diseño de la parte delantera de la caja correspondiente al banco de carga.

Fuente: Autores

5. ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Construcción Del Módulo Correspondiente a la Protección Diferencial 87

Una vez que el diseño del módulo se llevó a cabo con éxito, y se pudo considerar todas las etapas que hacen posible el funcionamiento del mismo, se procedió a ejecutar la etapa de construcción donde se buscó materializar todo lo anteriormente dimensionado.

Se inicio con la etapa estructural, puesto que esta alberga todos los materiales que hacen posible la evaluación del funcionamiento de la protección diferencial 87, para ello, y en función de la referencia estimada, se procedió a elaborar una estructura metálica considerando los diagramas anteriormente establecidos.

De igual forma, se llevó a cabo la elaboración de cajas metálicas que servirán para colocar los elementos que componen las diferentes etapas del módulo, estos se rigen al diseño anteriormente establecido el cual a su vez se encuentra dimensionado para albergar de forma adecuada cada elemento. Así mismo, se construyó las fachadas delanteras de cada caja, donde se encuentran ubicados los elementos que se considera necesario visualizar y manipular. Cabe resaltar que, dentro de cada caja, se realizó las conexiones necesarias para poder brindar un adecuado funcionamiento individual de cada sección, para ello se ha considerado el dimensionamiento de materiales anteriormente descritos. Es así como finalmente se construyó el módulo de la protección diferencial 87, el cual se encuentra conformado por cinco etapas, ubicadas dentro de una sola estructura, cada una de las etapas puede ser removida y empleada en el orden que el usuario considere adecuado, incluso este particular permite que las etapas sean empleadas en otros módulos, siempre

y cuando se respete los valores nominales de cada uno de los elementos anteriormente descritos.



Fig. 5-1. Estructura del módulo de protección diferencial 87.

Fuente: Autores

5.2. Programación De La Etapa De Toma y Análisis De Datos

Parte importante del funcionamiento del módulo es la evaluación del funcionamiento de la protección diferencial 87, para lo cual se debe considerar ciertos parámetros que se asocian con su operación, puesto que en función de los mismos el relé diferencial actuará. Para poder emular a un relé diferencial se consideró el principio de funcionamiento de la protección diferencial 87 como se muestra en [8], por lo que para lograr realizar este particular es necesario identificar que existen tres agentes que se relacionan de forma directa dentro del funcionamiento del módulo, estos son el elemento protegido, el relé diferencial y el usuario.

El elemento protegido cuenta con sus correspondientes valores de operación, cabe señalar que estos serán diferentes a los valores nominales del elemento, por lo cual fue necesario emplear ciertas herramientas de medición que posibilitaron la toma de datos, de igual forma se necesita ciertos parámetros que el usuario podrá definir; una vez que estos se hayan definido son procesados para poder evaluar si la protección diferencial actúa o no. Para la toma de datos se empleó los sensores descritos en la Tabla 3-4, de esta forma se puede conocer los valores de corriente y voltaje que se presentan en el elemento protegido bajo ciertas condiciones de funcionamiento, así mismo se estableció una comunicación serial con LabVIEW 2019 que permita procesar los datos medidos junto con los parámetros que ingrese el usuario.

Para poder establecer una comunicación eficiente entre el usuario y la computadora, siendo esta última la encargada de establecer la comunicación serial entre Arduino y LabVIEW 2019, se diseñó una interfaz que posibilite ingresar los valores correspondientes a cada parámetro posible, así como también, visualizar el funcionamiento de la protección diferencial 87.

- *Desarrollo del algoritmo de programación.*

- **Toma de datos**

La toma de datos permite conocer la magnitud de corriente que circula por el lado primario y secundario del transformador, así como también los voltajes en bornes del bobinado primario y secundario, el cual es una parte crucial para el adecuado funcionamiento del módulo.

Los datos medidos que se reflejen en las posteriores etapas del algoritmo de programación, deben ser lo más confiables y reales posible, puesto que de ello dependerá que los resultados finales sean fiables, por lo tanto, es necesario definir ciertas herramientas y procesos que permiten obtener valores adecuados de corriente y voltaje, estos son, el muestreo y el filtro.

- *Toma de datos de Voltaje*

Para tomar los datos correspondientes al voltaje presente en el sistema, se empleó un sensor ZMPT101B de Arduino cuyo principio de funcionamiento, se basa en un transformador el cual refleja el valor que se encuentra en corriente alterna, mediante una relación establecida por la conversión de corriente alterna a corriente continua.

Para que el algoritmo de programación funcione adecuadamente, fue necesario que previamente los valores que ingresen al mismo se conviertan de bytes a voltaje, para lo cual se empleó la ecuación 5.3:

```
Voltaje_Sensor_V1 = analogRead(sensor_V1)*(5.0 / 1023.0);  
Voltaje_Sensor_V2 = analogRead(sensor_V2)*(5.0 / 1023.0);
```

Fig. 5-2. Código de medición de voltaje a través de sensores en el primario y secundario.

Fuente: Autores

En la Fig. 5-2, se puede observar la aplicación de la ecuación mencionada en Arduino.

- *Toma de datos de corriente:*

Para la toma de datos se emplea el sensor de corriente ACS712-20A de Arduino, por lo que se tiene un rango de medición de 0 a 20 amperios, considerando que la máxima

corriente que se presenta en el sistema es de 4.09 amperios, el sensor brinda las características de funcionamiento adecuadas para el presente caso.

El funcionamiento de dicho sensor se desenvuelve de forma invasiva al ser de tipo hall, por tanto, el sensor entrega un valor de 2.5V al detectar una corriente de 0A, así a partir de dicha relación y en función de la sensibilidad, la cual está definida por el fabricante y para el sensor seleccionado se encuentra en un valor nominal de 100 mV/A, se establece una relación lineal entre el voltaje de salida del sensor y la corriente, que se establece de la siguiente forma:

$$V = mI + 2.5 \quad 5-1$$

Donde:

- V es el voltaje de salida del sensor
- I es la corriente medida
- m es la sensibilidad del sensor

Por lo que para determinar el valor de la corriente medida se procede a despejar la corriente, por lo tanto:

$$I = (V - 2.5)/m \quad 5-2$$

Para que el algoritmo de programación funcione adecuadamente, es necesario que previamente los valores que ingresen al mismo se conviertan de bytes a voltaje, para lo cual se emplea la siguiente fórmula:

$$V_voltaje = V_bytes * 5/1023 \quad 5-3$$

Donde:

- $V_voltaje$ es el valor en voltaje de salida del sensor
- V_bytes es el valor en bytes que proviene inicialmente de la salida del sensor
- $5/1023$ es el factor de conversión de bytes a voltaje

```
Voltaje_Sensor_I1 = analogRead(sensor_I1)*(5.0 / 1023.0);  
I1 =(Voltaje_Sensor_I1 - 2.5)/sensibilidad;  
Voltaje_Sensor_I2 = analogRead(sensor_I2)*(5.0 / 1023.0);  
I2 = (Voltaje_Sensor_I2 - 2.5)/sensibilidad2;
```

Fig. 5-3. Código de medición de corriente a través de sensores en el primario y secundario.

Fuente: Autores

De esta forma, en base a los procedimientos anteriormente descritos, se pudo evidenciar en la Fig. 5-4 y Fig. 5-5, que la toma de datos de corriente es inestable, este particular se debe a la sensibilidad del sensor, puesto que este puede verse afectado ante la presencia

de ruido, para verificar su ocurrencia, se empleó la herramienta de monitor serial que provee Arduino, mediante este se pudo monitorear los valores que percibe el sensor, cabe señalar que este inconveniente se presenta en los dos sensores empleados.

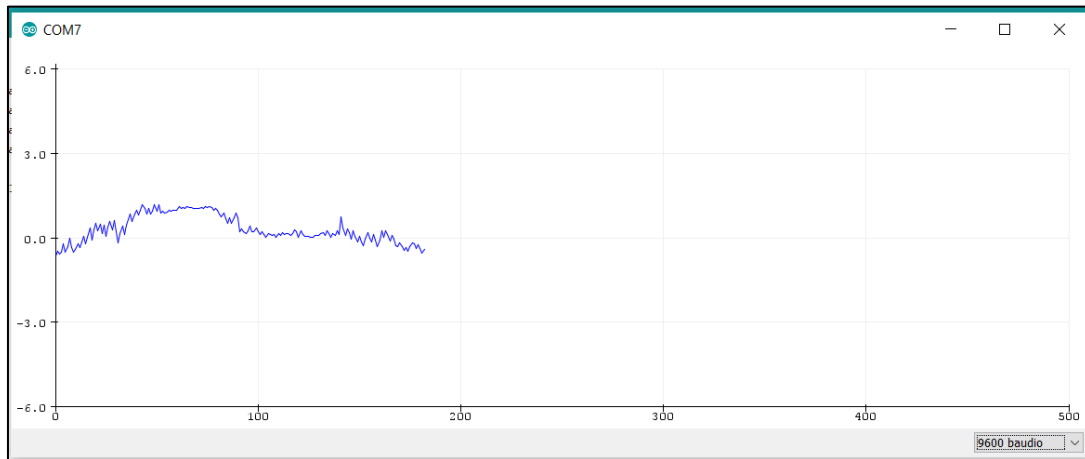


Fig. 5-4. Señal percibida por el sensor N°1.

Fuente: Autores

En la Fig. 5-4, se puede observar que la señal percibida por el sensor N°1, tiene presencia de ruido, es decir los datos que brinda esta señal no son muy confiables ya que tiene varias fluctuaciones que pueden considerar datos erróneos.

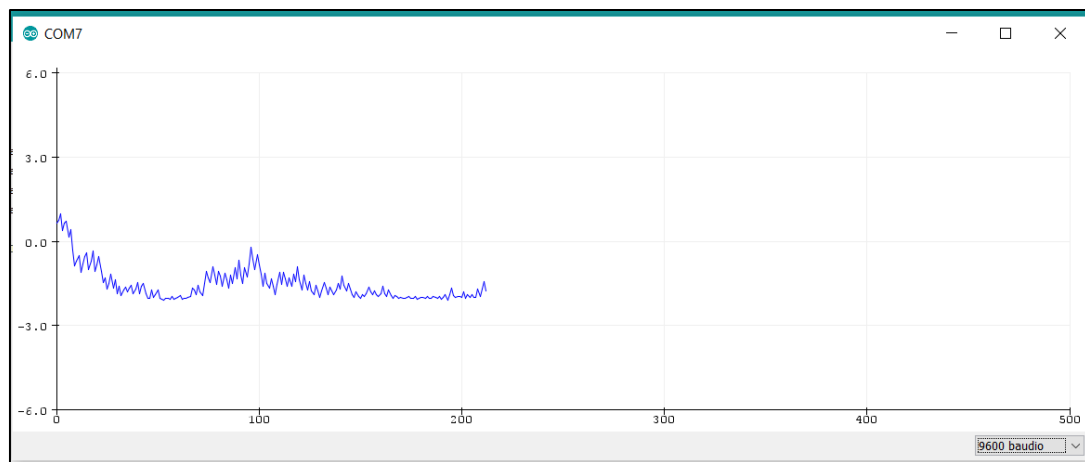


Fig. 5-5. Señal percibida por el sensor N°2.

Fuente: Autores

En la Fig. 5-5, se puede apreciar la señal del sensor N°2 en la cual al igual que en la señal del sensor N°1 se tiene presencia de ruido, el cual no permite una buena interpretación de datos.

Como es evidente, las señales entregadas por ambos sensores no son idóneas, por lo tanto, se debe considerar la implementación de herramientas que ayudaron a mejorar las señales que permitieron llevar a cabo los posteriores procesos de programación planteados,

siendo la primera herramienta seleccionada, la implementación de un proceso de muestreo.

- **Muestreo de señales**

Una vez que la toma de datos se ha ejecutado, es necesario que los valores mostrados se sometan a un proceso que facilite su análisis, por lo tanto, el muestreo brinda las facilidades adecuadas para poder llevar a cabo dicho procedimiento.

Por lo que se tomó un número finito de muestras dentro de un lapso de tiempo definido, y así obtener un número de valores que pueda ser tabulado con mayor facilidad.

Para poder establecer un muestreo, se definió el tiempo durante el cual se desea tomar valores correspondientes a la señales, dado a que la fluctuación de valores no es significativa y considerando la importancia de la segmentación de las señales se consideró tomar muestras por un tiempo de 0.05 segundos, lo cual represento tomar medidas durante 3 ciclos, para poder definir un valor promedio de los datos seleccionados, durante este tiempo se obtuvieron corrientes máximas (I_{max} , I_{max2}) y mínimas (I_{min} , I_{min2}), por lo que a partir de estas se determinó un valor promedio de corriente.

```
float get_corriente1()                                float get_corriente2()
{
  long tiempo = millis();                             {
  float Imax=0;                                       long tiempo2 = millis();
  float Imin=0;                                       float Imax2=0;
  while(millis()-tiempo<50)                          float Imin2=0;
  {                                                    while(millis()-tiempo2<50)
  {                                                    {
    Voltaje_Sensor_I1 = analogRead(sensor_I1)*(5.0 / 1023.0); Voltaje_Sensor_I2 = analogRead(sensor_I2)*(5.0 / 1023.0);
    I1 =(Voltaje_Sensor_I1 - 2.5)/sensibilidad;        I2 = (Voltaje_Sensor_I2 - 2.5)/sensibilidad2;
    if(I1>Imax) Imax=I1;                               if(I2>Imax2) Imax2=I2;
    if(I1<Imin) Imin=I1;                               if(I2<Imin2) Imin2=I2;
  }                                                    }
  }                                                    return (((Imin2-Imin2)/2)-0.2));
  return (((Imax-Imin)/2));                            }
}
}
```

Fig. 5-6. Muestreo de las señales de corriente.

Fuente: Autores

De esta forma, una vez que el muestreo se ha implementado de forma eficiente, se logró obtener una señal mucho más estable a comparación de las condiciones iniciales, de esta forma se mejoró las circunstancias bajo las que se efectuó el resto de procedimientos asociados al procesamiento de datos.

En cuanto a la señal correspondiente al sensor número uno se refiere, muestro un comportamiento estable, incluso ante el aumento o disminución de la carga que se encuentra conectada en el sistema, como se muestra en la Fig.5-7.

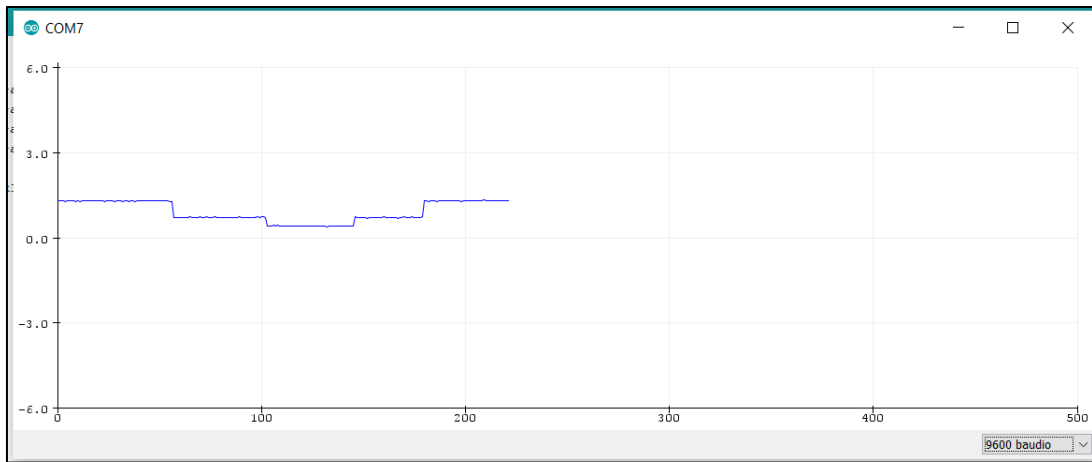


Fig. 5-7. Muestreo de señal en el sensor N°1.

Fuente: Autores

Por otra parte, la señal correspondiente al sensor número dos, que se muestra en la Fig.5-8, a diferencia del caso anterior, este mostro inestabilidad conforme la conexión de cargas, por lo cual fue necesario considerar una herramienta que permita eliminar los picos que presenta la señal, para lo cual se implementó un proceso de filtrado.

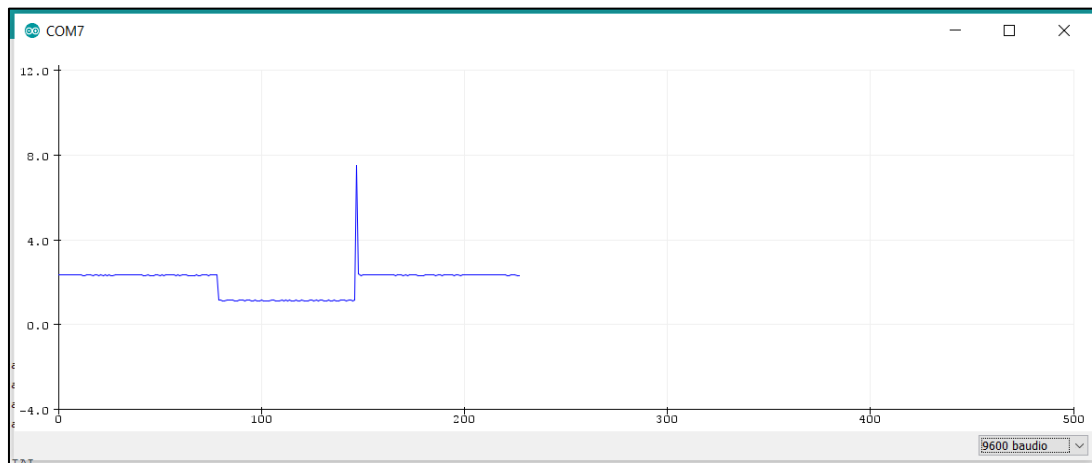


Fig. 5-8. Muestreo de señal en el sensor N°2.

Fuente: Autores

En cuanto al voltaje se refiere, el proceso que se llevó a cabo es el mismo, se muestra en la Fig.5-9, considerando que en este caso se obtienen voltajes máximos (V_{max} , V_{max2})

y mínimos (V_{min} , V_{min2}), donde de igual forma se obtiene un valor promedio de voltaje

```

float get_voltaje1()
{
    long tiempo3 = millis();
    float Vmax=0;
    float Vmin=0;
    while(millis()-tiempo3<50)
    {
        Voltaje_Sensor_V1 = analogRead(sensor_V1)*(5.0 / 1023.0);

        if (V1>Vmax) Vmax=V1;
        if (V1<Vmin) Vmin=V1;
    }
    return (((Vmax-Vmin)/2)*128);
}

float get_voltaje2()
{
    long tiempo4 = millis();
    float Vmax2=0;
    float Vmin2=0;
    while(millis()-tiempo4<50)
    {
        Voltaje_Sensor_V2 = analogRead(sensor_V2)*(5.0 / 1023.0);

        if (V2>Vmax2) Vmax2=V2;
        if (V2<Vmin2) Vmin2=V2;
    }
    return (((Vmax2-Vmin2)/2)*73);
}

```

Fig. 5-9. Muestreo de las señales de corriente.

Fuente: Autores

- **Filtro pasa bajos**

Una vez que se han tomado los datos de corriente y voltaje, y que se ha implementado el muestreo de señales, se debe considerar si es necesaria la implementación de un filtro que permita trabajar con señales que no presenten una distorsión significativa, por lo que considerando las condiciones bajo las que operan los sensores seleccionados, es necesario considerar su implementación.

El filtro implementado es de tipo pasa bajos y basa su funcionamiento en el método de media móvil exponencial el cual es de primer orden y tiene como finalidad la atenuación de ruido presente en las señales tomadas por el sensor, en base a la ecuación $Datos_filtrado = (\alpha * Dato_leído) + ((1 - \alpha) * Dato_filtrado)$

2-8, se debe considerar ciertos parámetros que permiten un adecuado funcionamiento del filtro

caso, fue importante definir el valor de Alpha, considerando que mientras más pequeño sea su valor mejor será la atenuación del sistema, mientras que la velocidad de respuesta se verá expuesta a un incremento; es así que el valor nominal de Alpha para el presente caso es de 0.2, como se muestra en la Fig. 5-10.

```

I1_Filtrado = (alpha*I1_lectura)+((1-alpha)*I1_Filtrado);
I2_Filtrado = (alpha*I2_lectura)+((1-alpha)*I2_Filtrado);
V1_Filtrado = (alpha*V1_lectura)+((1-alpha)*V1_Filtrado);
V2_Filtrado = (alpha*V2_lectura)+((1-alpha)*V2_Filtrado);

```

Fig. 5-10. Código correspondiente al filtro pasa bajos de media móvil exponencial.

Fuente: Autores

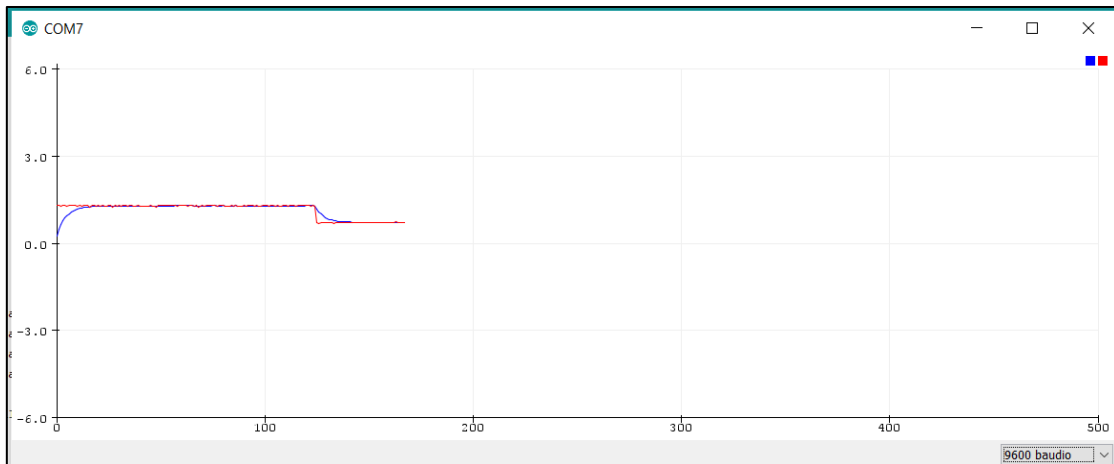


Fig. 5-11. Filtrado de señales del sensor N°1.

Fuente: Autores

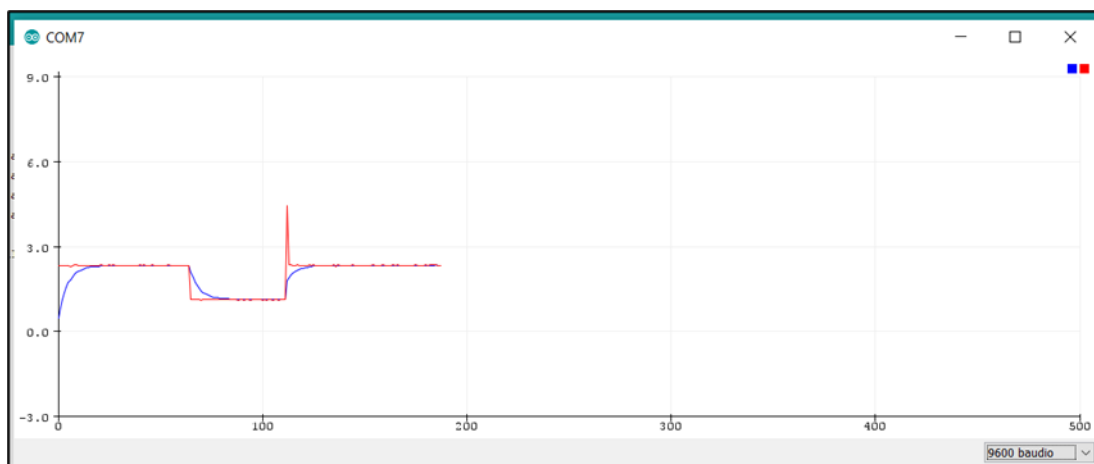


Fig. 5-12. Filtrado de señales del sensor N°2.

Fuente: Autores

De esta forma, como se puede evidenciar en la Fig. 5-11 y Fig. 5-12, el proceso de procesamiento de señales ha atenuado por completo la distorsión que se presentaba en condiciones iniciales, por tanto, en base a las señales obtenidas se puede llevar a cabo el resto de etapas que permiten emular el funcionamiento de la función de protección diferencial 87.

- **Comunicación Serial**

Una vez que la etapa de toma y procesamiento de datos a culminado, se procedió con la etapa de comunicación, donde a través de un proceso de comunicación VISA RS-232, el cuál es una herramienta que permite establecer una comunicación virtual a través de un puerto serial entre Arduino y LabVIEW 2019, se enviaron los datos procesados para su posterior utilización en el emulador de la protección diferencial 87 del prototipo didáctico. Debido a las características de funcionamiento de Arduino en cuanto a la comunicación serial se refiere, se tuvo que incorporar una constante de mil, que permita que los valores

mantengan una estructura que no se vea afectada y pueda ser corregida en etapas posteriores.

```
//////// ENVIO DE DATOS AL PUERTO SERIAL
int i1 = (I1_Filtrado*1000);
int i2 = (I2_Filtrado*1000);
int v1 = (V1_Filtrado*100);
int v2 = (V2_Filtrado*100);

Serial.print(i1);
Serial.print(",");
Serial.print(i2);
Serial.print(",");
Serial.print(v1);
Serial.print(",");
Serial.println(v2);

if (Serial.available()>0) {
  int lectura = Serial.read();
  digitalWrite(PinSalida,lectura);
}
}
```

Fig. 5-13. Código de comunicación serial.

Fuente: Autores

- **Emulación de la protección diferencial 87**

La emulación de la protección diferencial fue llevada a cabo en el software LabVIEW 2019, considerado las herramientas que este brinda su entorno de programación gráfico. Dentro de la programación realizada, se brindan las condiciones para evaluar el funcionamiento de la protección diferencial 87; así como también su variante porcentual, donde se buscó graficar su correspondiente zona de operación.

Para comenzar con la emulación del funcionamiento fue necesario establecer la comunicación serial correspondiente que proviene desde Arduino, por lo que se debe considerar dos aspectos importantes.

El primer aspecto está relacionado con la forma en la que se envían los datos procesados, estos se encuentran en bloque, por lo que es importante identificar el orden y correspondencia de cada valor, cada uno se encuentra separado por una coma, por lo que LabVIEW 2019 es el encargado de desglosar la información recibida.

El segundo aspecto considerado, es la constante incorporada previamente, la cual es eliminada para que los valores de corriente y voltaje sean fiables, por tal motivo se integró. Es importante identificar el orden y correspondencia de cada valor, cada uno se encuentra separado por una coma, por lo que LabVIEW 2019 es el encargado de desglosar la información recibida un filtro que permitió obtener un valor promedio durante un periodo de tiempo que contempla dos muestras.

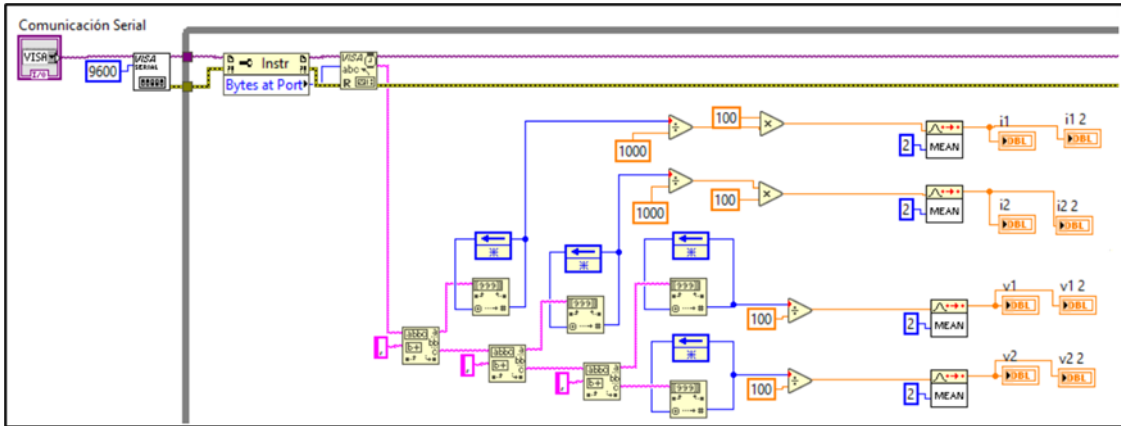


Fig. 5-14. Bloque de comunicación serial.

Fuente: Autores

De Esta forma dentro del programa se cuenta con los valores correspondientes a las corrientes medidas en el lado primario y secundario del transformador, con la finalidad de que el principio de funcionamiento de la protección diferencial se cumpla a cabalidad se consideró implementar una constante k , con un valor de 100, la cual tiene como finalidad escalar los valores de corriente que se emplearan en las próximas etapas.

○ **Protección diferencial 87**

Para poder llevar a cabo el funcionamiento de la protección diferencial 87 fue necesario considerar los parámetros a ingresar, en este caso se contempló el ingreso de la corriente mínima de operación, así como también el valor del TAP y el valor de los TC's ubicados en el lado de alta y baja del transformador.

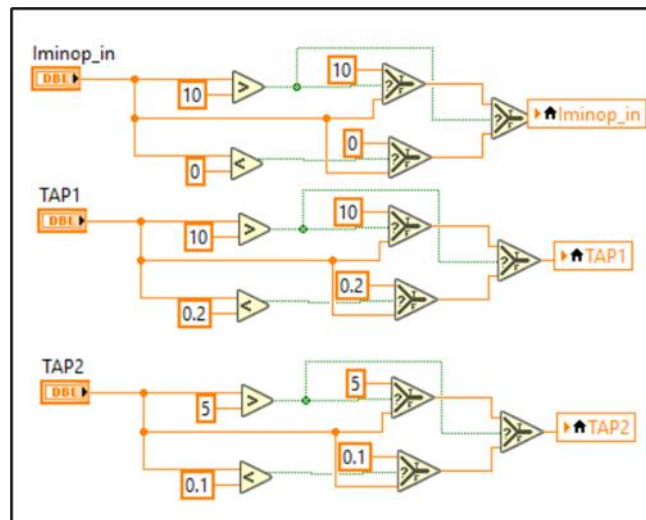


Fig. 5-15. Bloque de ingreso de parámetros.

Fuente: Autores

Cada uno de los parámetros se ha restringido con los valores máximos y mínimos que puede tomar, en el caso de la corriente mínima de operación (I_{minop_in}) se encuentra

en un rango arbitrario de 0-10 A, mientras que los valores de los TAP, tanto del TC1 como del TC2, se encuentran restringidos en un rango de 1-10, de esta forma el usuario podrá escoger el valor que se acople a las necesidades prácticas, considerando que el TAP nominal es de 5.

Para lograr dichas condiciones de funcionamiento se hizo uso de la función de comparación seleccionar (select), la cual toma una condición y opera dentro de lo establecido, por ejemplo, en el caso del TAP primario (TAP1), en caso de ingresar un valor mayor a 10, la condición $TAP > 10$, se cumpliría por lo que cambiaría el valor ingresado por 10, y así para los tres parámetros como se indica en la ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.

De igual forma, la interfaz brinda la opción de escoger el valor del TC que mejor se acople al caso práctico en ejecución, para ello se ha considerado integrar los valores comerciales que se podría encontrar, en cuanto a la relación de transformación se refiere, como se muestra en la Fig. 5-16.

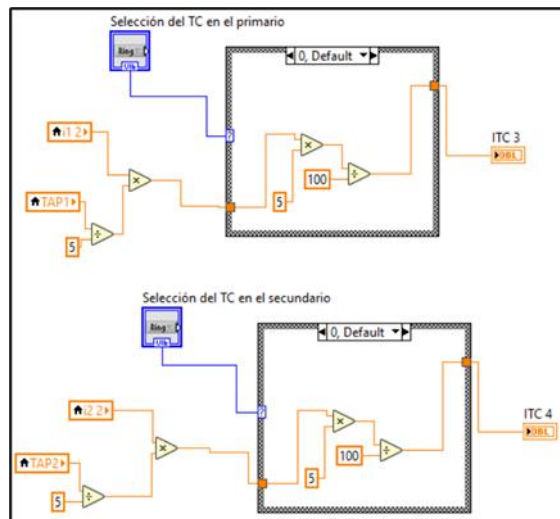


Fig. 5-16. Bloque de ingreso de los TC's.

Fuente: Autores

Una vez obtenidos los valores medidos, y los parámetros ingresados para este caso, se procedió a efectuar los cálculos correspondientes para determinar la corriente diferencial, la cual se obtiene a partir de la ecuación 2-3, como se muestra en la Fig. 5-17.

$$Datos_filtrado = (\alpha * Dato_leído) + ((1 - \alpha) * Dato_filtrado)$$

2-8

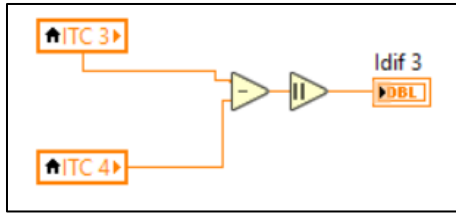


Fig. 5-17. Bloque de cálculo de la corriente diferencial.

Fuente: Autores

Así, con los valores correspondientes a la corriente mínima de operación y la corriente diferencial se procedió a evaluar el criterio que rige la actuación de la protección diferencial, el cual se define como $I_d > I_{minop}$.

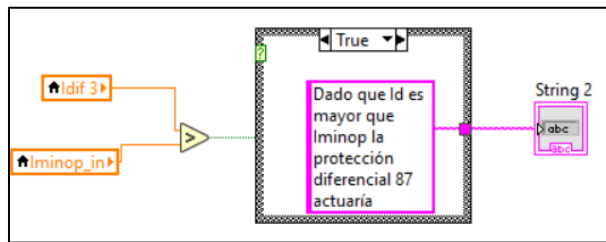


Fig. 5-18. Bloque de Indicador de actuación.

Fuente: Autores

○ Protección Diferencial 87 Porcentual

Para emular el funcionamiento de la protección diferencial 87 de carácter porcentual fue necesario considerar los parámetros que se asocian con el principio de funcionamiento de la misma, por lo tanto, en el presente caso se consideró que, a más de los datos medidos de corriente y voltaje, es necesario el ingreso de la pendiente de operación, la corriente de arranque y los valores del TAP correspondiente a los TC's del primario y secundario respectivamente como se muestra la Fig. 5-19.

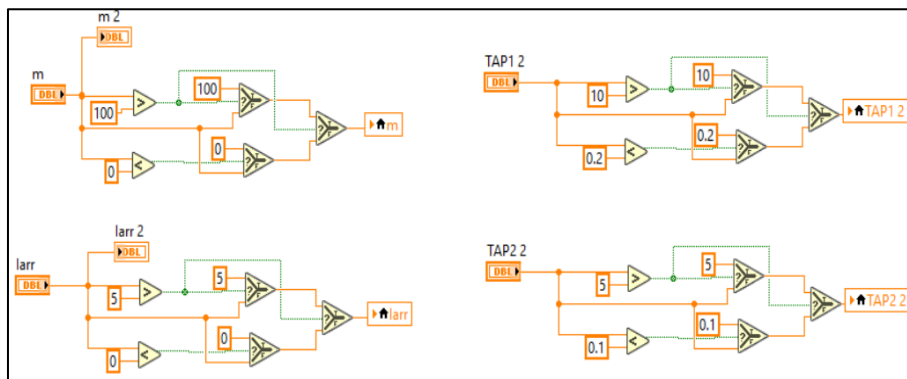


Fig. 5-19. Bloques de Ingresos de parámetros.

Fuente: Autores

Cada uno de los parámetros se ha restringido con los valores máximos y mínimos que puede tomar, en el caso de la pendiente de operación (m) se encuentra en un rango 0% - 100%, la corriente de arranque se encuentra limitada en un rango de 0A a 5A en función de la máxima corriente que puede presentarse en el sistema, mientras que los valores de los TAP, tanto del TC1 como del TC2, se encuentran restringidos en un rango de 1-10, de esta forma el usuario podrá escoger el valor que se acople a las necesidades prácticas, considerando que el TAP nominal es de 5.

Para lograr dichas condiciones de funcionamiento se hizo uso de la función de comparación seleccionar (select), la cual toma una condición y opera dentro de lo establecido, por ejemplo, en el caso del TAP primario (TAP1), en caso de ingresar un valor mayor a 10, la condición $TAP > 10$, se cumpliría por lo que cambiaría el valor ingresado por 10, y así para los tres parámetros.

De igual forma, la interfaz brinda la opción de escoger el valor del TC que mejor se acople al caso práctico en ejecución, para ello se ha considerado integrar los valores comerciales que se podría encontrar, en cuanto a la relación de transformación se refiere, como se muestra en la Fig. 5-20.

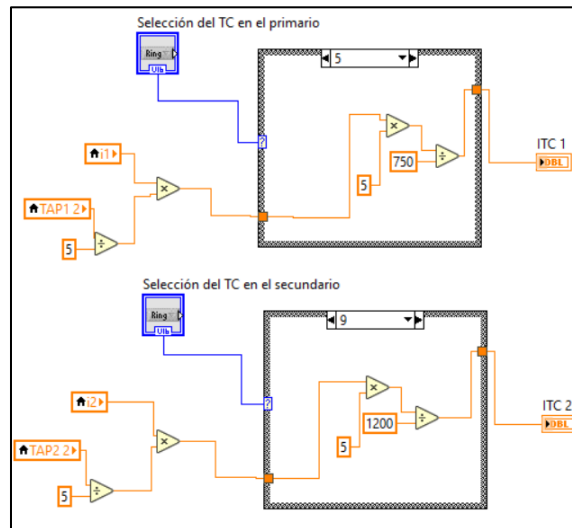


Fig. 5-20. Bloque de ingreso de los TC's.

Fuente: Autores

Es así como una vez definidos los parámetros necesarios para emular la protección diferencial porcentual, se procedió a efectuar los cálculos correspondientes para definir la corriente diferencial, la corriente de restricción y la corriente mínima de operación, para lo que se hará uso de la ecuación 3-4, 3-6 y 3-7 respectivamente.

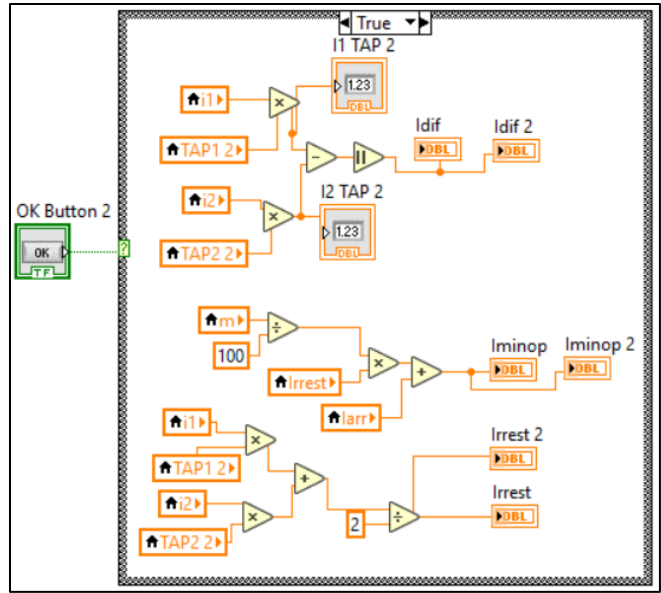


Fig. 5-21 . Bloque de cálculo para la protección diferencial 87 porcentual.

Fuente: Autores

Una vez que se obtuvieron los parámetros que rigen el funcionamiento de la protección, los datos medidos y los resultados del proceso de cálculo, se procedió a evaluar la actuación de la protección en función del criterio $I_d > I_{minop}$.

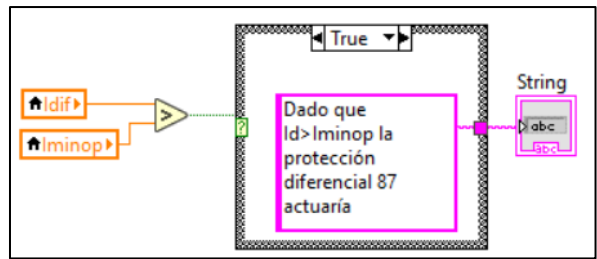


Fig. 5-22. Bloque de Indicador de actuación.

Fuente: Autores

Una vez que se ha establecido el funcionamiento de los bloques de programación correspondiente a la protección diferencial 87 y su variante porcentual es importante que los indicadores físicos de funcionamiento (focos piloto) se accionen en función de los valores que se analicen, para ello se ha asignado el valor de 1 para la protección diferencial 87 y 2 para la protección diferencial 87 porcentual, de esta forma, mediante un ciclo “while” se evaluará que datos debe comunicarse a Arduino para la activación de los focos piloto.

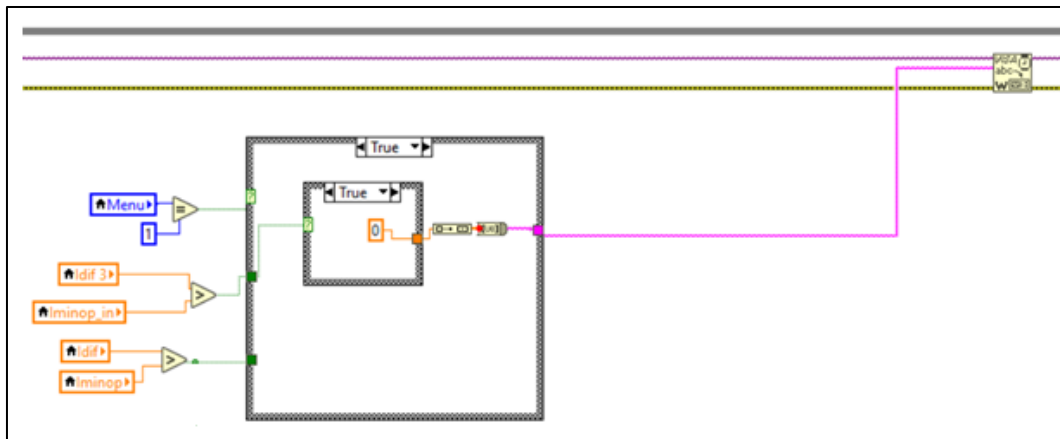


Fig. 5-23. Bloque de activación de indicadores físicos.

Fuente: Autores

Para el caso de la Fig. 5-23. Bloque de activación de indicadores físicos los valores que condicionan la activación de los indicadores físicos corresponden a la protección diferencial 87, por lo que en caso de que las condiciones de operación y el criterio de actuación sea verdadero, se enviara una señal digital de 0 a Arduino, puesto que el sistema funciona con lógica inversa, debido a caídas de tensión que presenta una señal digital 1.

- **Zona de operación**

Una vez que efectuó la emulación correspondiente a la protección diferencial 87 porcentual, se puede identificar su zona de operación en función de los parámetros que se definieron previamente, para ello, en el presente bloque se considera que, a partir de los datos medidos, y los cálculos correspondientes se podrá visualizar la actuación de la protección.

Para poder realizar la gráfica correspondiente a la zona de operación de la protección se consideró tomar los datos correspondientes a la corriente diferencial, corriente de arranque, corriente de restricción y la corriente mínima de operación.

En función de las características de funcionamiento de la herramienta gráfica “XY” de LabVIEW 2019, se implementó un arreglo, en forma de vectores que permita graficar cada punto de la zona de operación, este a su vez, se encuentra dentro de un bucle “while” el cual se limitó por un botón que permite cambiar la gráfica en caso de que los parámetros que considera la protección diferencial 87 porcentual hayan sido alterados.

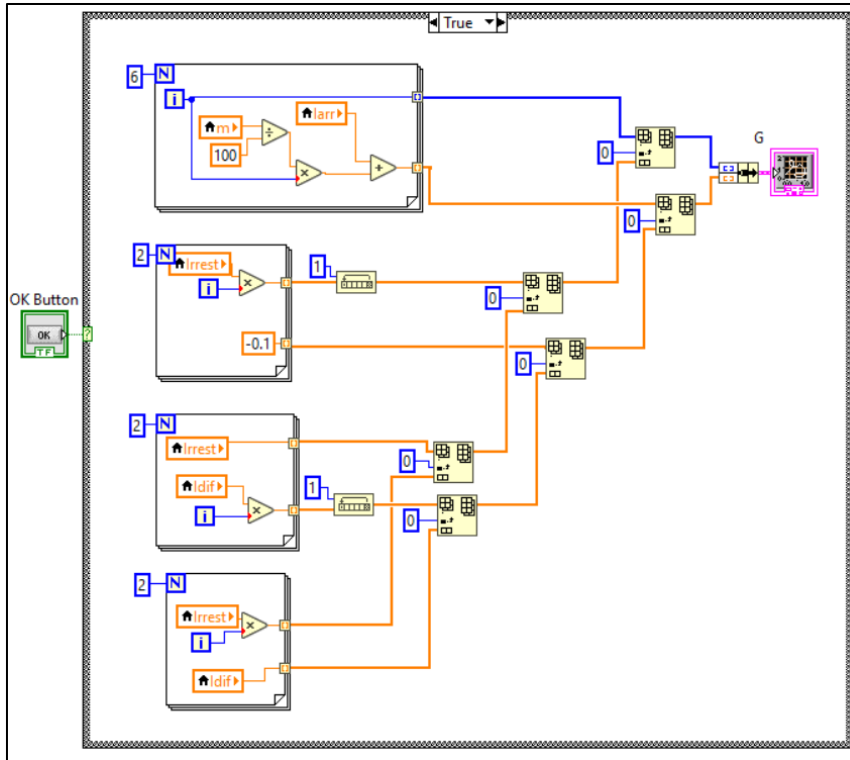


Fig. 5-24. Bloque de la gráfica de la zona de operación.

Fuente: Autores

5.2.1. Diagrama de Flujo

A continuación, se presenta el diagrama de flujo que corresponde a la emulación del relé diferencial 87, donde se puede evidenciar cada proceso que permite el funcionamiento de la etapa de toma y análisis de datos.

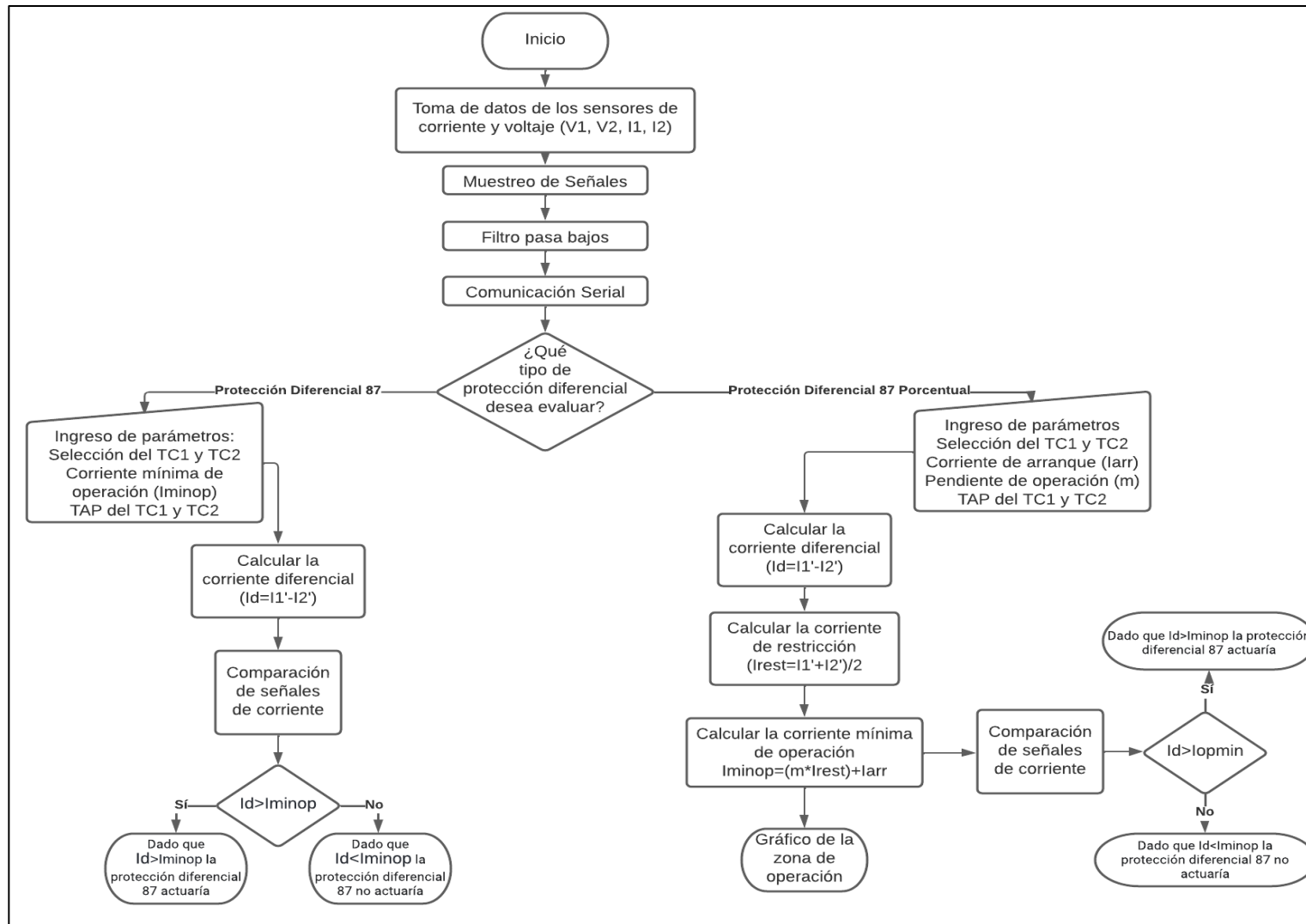


Fig. 5-25. Diagrama de flujo de la etapa de toma y análisis de datos.

Fuente: Autores

Así, una vez finalizada la elaboración del algoritmo de programación que permite emular el funcionamiento de la protección diferencial 87, se tuvo como resultado la creación de la interfaz, la cual se constituye como el medio de comunicación entre el usuario y el prototipo las cuales se muestran en las figuras Fig. 5-26 y Fig. 5-27 .

- Protección diferencial 87

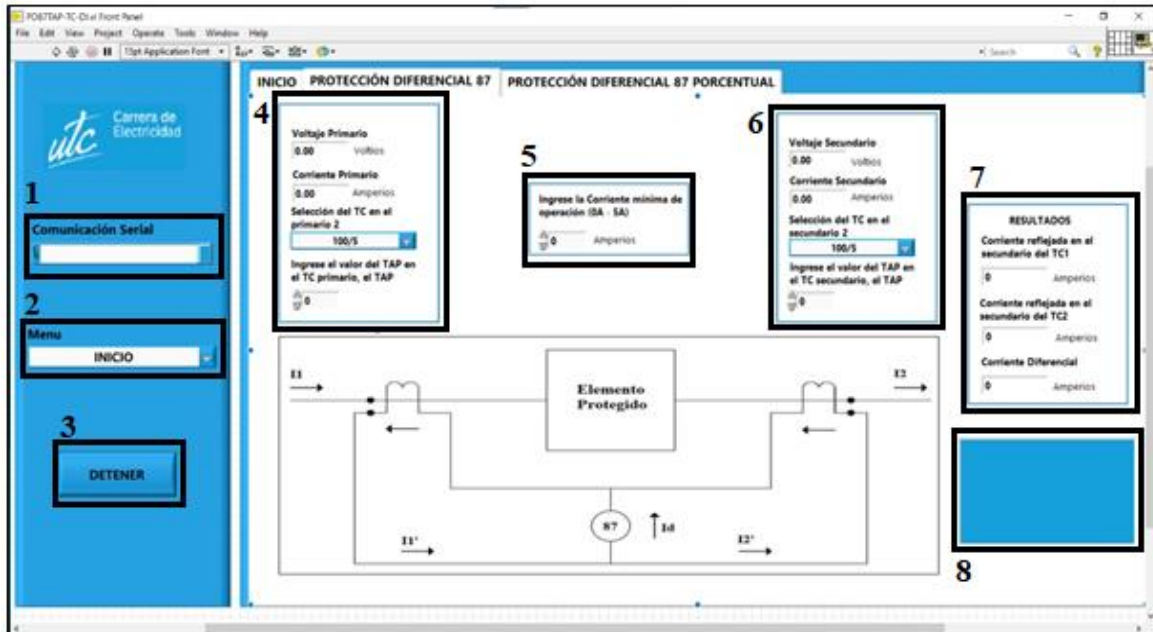


Fig. 5-26. Interfaz correspondiente a la primera etapa.

Fuente: Autores

1. **Comunicación serial:** Permite seleccionar el puerto al cual se encuentra conectado el microprocesador para poder establecer la comunicación necesaria.
2. **Menú:** Permite seleccionar la función que desee emplear el usuario.
3. **Boton “Detener”:** Permite detener el funcionamiento de la etapa de análisis y toma de datos, se recomienda detener el funcionamiento antes de desconectar por completo el módulo.
4. **Datos del lado primario:** Muestra los datos obtenidos, así como también, permite el ingreso de parámetros asociados al lado primario.
5. **Ingreso de parámetros:** Permite ingresar la corriente mínima de operación.
6. **Datos del lado secundario:** Muestra los datos obtenidos, así como también, permite el ingreso de parámetros asociados al lado secundario.
7. **Indicador:** Dentro del espacio se muestra si la protección diferencial 87 actuaría o no.

- Protección diferencial 87 porcentual

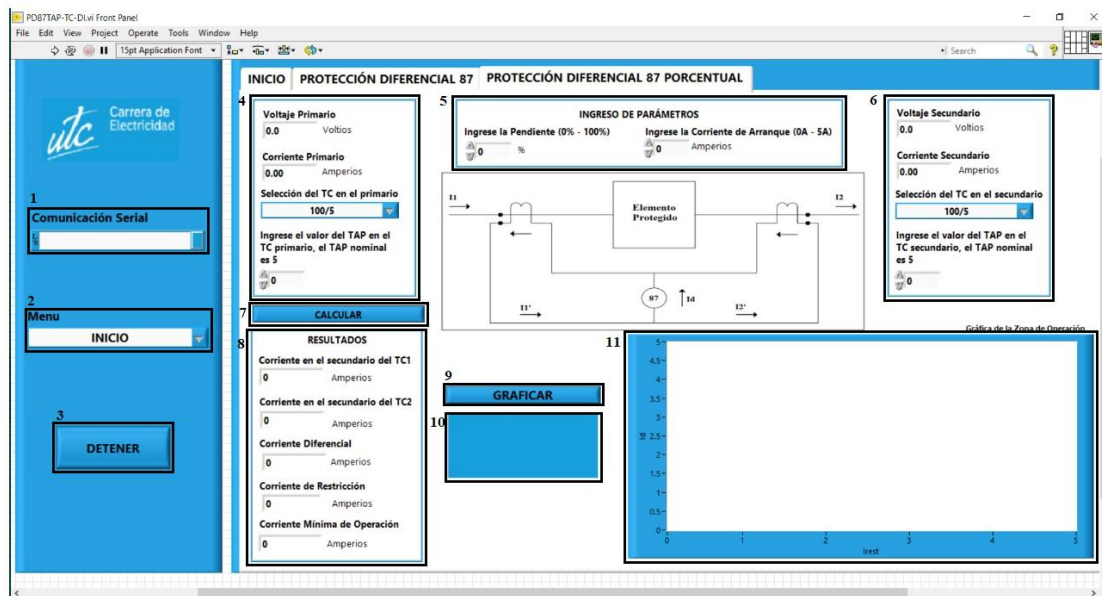


Fig. 5-27. Interfaz correspondiente a la segunda etapa y zona de operación.

Fuente: Autores

1. **Comunicación serial:** Permite seleccionar el puerto al cual se encuentra conectado el microprocesador para poder establecer la comunicación necesaria.
2. **Menú:** Permite seleccionar la función que desee emplear el usuario.
3. **Botón “Detener”:** Permite detener el funcionamiento de la etapa de análisis y toma de datos, se recomienda detener el funcionamiento antes de desconectar por completo el módulo.
4. **Datos del lado primario:** Muestra los datos obtenidos, así como también, permite el ingreso de parámetros asociados al lado primario.
5. **Ingreso de parámetros:** Dentro de este apartado se puede parametrizar las variables asociadas a la protección diferencial, como la pendiente y la corriente de arranque, además se muestran los rangos que pueden tomar cada parámetro.
6. **Datos del lado secundario:** Muestra los datos obtenidos, así como también, permite el ingreso de parámetros asociados al lado secundario.
7. **Botón “Calcular”:** Permite calcular los valores deseados en función de los cambios de corriente medida, permitiendo así realizar los cambios deseados en la estructura.
8. **Resultados:** Muestra los valores obtenidos correspondientes a la corriente diferencial, corriente de restricción y la corriente mínima de operación.
9. **Botón “Graficar”:** Permite graficar la zona de operación de la protección diferencial 87, en base a los parámetros ingresados y los valores calculados.

10. **Indicador:** Dentro del espacio se muestra si la protección diferencial 87 actuaría o no.

11. **Area gráfica:** Muestra el grafico de la zona de operación.

En base a la interfaz desarrollada se realizó un software el cual podrá ser instalado en cualquier computador que cumpla con ciertos requisitos mínimos, por lo que facilitará el acceso para el usuario del prototipo didáctico.

5.3. Pruebas de Medición de Corriente

Los sensores empleados dentro de la etapa de toma de datos deben ser sometidos a un análisis previo que permita determinar la confiabilidad de los mismos, puesto que este particular permitirá demostrar la fiabilidad de los resultados que se obtenga a partir del módulo.

Para poder determinar el error de medida de los sensores se empleará la metodología anteriormente indicada dentro del capítulo cuatro, donde en base a una premisa confiable se podrá obtener ciertas conclusiones.

En el caso de la toma de datos, se hará una comparación entre los resultados obtenidos por los sensores de corriente y voltaje de Arduino, especificados en la Tabla 5-1, y un multímetro de la marca Fluke, modelo; para determinar el error que existe dentro de la toma de datos se emplea las siguientes fórmulas:

- Error en el sensor de corriente:

$$\% \text{ error} = (I_{(Fluke)} - I_{Sensor}) / I_{Fluke} * 100 \quad 5-4$$

Donde:

I_{Fluke} corresponde al valor medido por el instrumento de medición

I_{Sensor} corresponde al valor medido por el sensor de corriente

- Error en el sensor de voltaje:

$$\% \text{ error} = (V_{(Fluke)} - V_{Sensor}) / V_{Fluke} * 100 \quad 5-5$$

Donde:

V_{Fluke} corresponde al valor medido por el instrumento de medición

V_{Sensor} corresponde al valor medido por el sensor de corriente

Caso N°1

Para el primer caso se consideró comparar las corrientes obtenidas, cuando la etapa del elemento protegido este interconectado con la etapa de carga, obteniendo una potencia de la carga de hasta 300W.

- **Medición de Corriente**

Tabla 5-1. Error entre corrientes medidas con el sensor y el multímetro Fluke

Primario			Secundario		
I Fluke	I sensor	% error	I Fluke	I sensor	% error
1,32	1,312	0,61	2,35	2,361	0,47

- **Medición de Voltaje**

Tabla 5-2. Error entre voltajes medidos con el sensor y el multímetro Fluke

Primario			Secundario		
V Fluke	V sensor	% error	V Fluke	V sensor	% error
210.0	213.3	1.6	100.0	107.0	7.0

Caso N°2

Para el segundo caso se consideró comparar las corrientes obtenidas cuando la etapa del elemento protegido se encuentra interconectado con la etapa de carga y la etapa de simulación de fallas correspondiente al lado primario del transformador, donde la potencia de la carga llega hasta los 450W.

- **Medición de Corriente**

Tabla 5-3. Error entre corrientes medidas con el sensor y el multímetro Fluke, Caso 2.

Primario			Secundario		
I Fluke	I sensor	% error	I Fluke	I sensor	% error
1,728	1,7235	0,26	2,36	2,361	0,04

- **Medición de Voltaje**

Tabla 5-4. Error entre voltajes medidos con el sensor y el multímetro Fluke, Caso 2.

Primario			Secundario		
V Fluke	V sensor	% error	V Fluke	V sensor	% error
210.0	212.0	1.0	100.0	107.0	7.0

Caso N°3

Para el tercer caso se consideró comparar las corrientes obtenidas cuando la etapa del elemento protegido se encuentra interconectado con la etapa de carga y la etapa de simulación de fallas

correspondiente al lado secundario del transformador, donde la potencia de la carga llega hasta los 450W.

- **Medición de Corriente**

Tabla 5-5. Error entre corrientes medidas con el sensor y el multímetro Fluke, Caso 3.

Primario			Secundario		
I Fluke	I sensor	% error	I Fluke	I sensor	% error
2,09	2,06	1,44	3,8	3,95	3,95

- **Medición de Voltaje**

Tabla 5-6. Error entre voltajes medidos con el sensor y el multímetro Fluke, Caso 3.

Primario			Secundario		
V Fluke	V sensor	% error	V Fluke	V sensor	% error
210.0	213.0	1.4	100.0	106.0	6.0

5.4. Actuación de la protección diferencial 87

Para poder evaluar el funcionamiento de la protección diferencial 87 se consideró necesario plantear dos casos en los cuales, en función de los valores medidos, y la parametrización correspondiente, se pueda evidenciar la actuación de la protección diferencial 87, tomando en cuenta el funcionamiento de la protección diferencial 87 y la protección diferencial 87 porcentual.

5.4.1. Actuación de la protección diferencial

Para la protección diferencial se tomó en cuenta dos casos de análisis los cuales son:

- *Caso 1.- Falla en el lado primario del transformador para la protección diferencial*

Primero se debe obtener lo datos medidos de corriente por el módulo, los cuales son:

Tabla 5-7. Datos de corriente medida.

Corriente Medida	
Corriente medida en el primario (I1) A	172,7
Corriente medida en el secundario (I2) A	235,75

Para la protección diferencial se debe ingresar la corriente mínima de operación, así como también los TAP correspondientes a los TC's, los cuales son considerados parámetros.

Tabla 5-8. Parámetros requeridos para la actuación de la protección diferencial

Parámetros	
Corriente mínima de operación (I_{minop})	1
TAP TC1	5
TAP TC2	5
TC1	300
TC2	300

Los resultados obtenidos son la corriente diferencial.

Tabla 5-9. Resultados del caso 1 (falla en el lado primario), protección diferencial.

Resultados	
Corriente en el secundario TC1	2,869
Corriente en el secundario TC2	3,922
Corriente diferencial (I_d)	1,053

Para la corriente en el secundario del TC1 se obtiene:

$$I'^1_{TC1} = I_1 * TAP_{TC1} / 5 * 5 / TC1$$

$$I'^1_{TC1} = 172,15 * 5 / 5 * 5 / 300$$

$$I'^1_{TC1} = 2,869$$

Para la corriente en el secundario del TC2 se obtiene:

$$I'^2_{TC2} = I_2 * TAP_{TC2} / 5 * 5 / TC2$$

$$I'^2 = 235,3 * 5 / 5 * 5 / 300$$

$$I'^2_{TC2} = 3,922$$

Para la corriente diferencial, se hace uso de la ecuación $I_d = |I'^1 - I'^2|$ donde se expresa que:

$$I_d = |I'^1 - I'^2|$$

De esta forma en función de los datos medidos se tiene que:

$$I_d = |I_1 - I_2|$$

$$I_d = |(2,869) - (3,922)|$$

$$I_d = 1,053$$

Por lo tanto, en base al principio de funcionamiento que rige a la protección diferencial 87, se puede determinar que:

$$I_d > I_{minop}$$

$$1,053 > 1$$

La protección diferencial actuará.

- *Caso 2.- Falla en el lado Secundario del transformador para la protección diferencial*

Los datos medidos de corriente para este caso son:

Tabla 5-10. Datos de corriente medida.

Corriente Medida	
Corriente medida en el primario (I1) A	205,15
Corriente medida en el secundario (I2) A	395,3

Para la protección diferencial se debe ingresar la corriente mínima de operación, así como también los TAP correspondientes a los TC's, los cuales son considerados parámetros.

Tabla 5-11. Parámetros requeridos para la actuación de la protección diferencial

Parámetros	
Corriente mínima de operación (<i>I_{minop}</i>)	1
TAP TC1	4
TAP TC2	5
TC1	250
TC2	400

Los resultados obtenidos son la corriente diferencial.

Tabla 5-12. Resultados del caso 1 (falla en el lado primario), protección diferencial.

Resultados	
Corriente en el secundario TC1	3,28
Corriente en el secundario TC2	4,94
Corriente diferencial (<i>I_d</i>)	1,66

Para la corriente en el secundario del TC1 se obtiene:

$$I'^1_{TC1} = I1 * TAPTC1/5 * 5/TC1$$

$$I'^1_{TC1} = 205,15 * 4/5 * 5/250$$

$$I'^1_{TC1} = 3,282$$

Para la corriente en el secundario del TC2 se obtiene:

$$I'^2_{TC2} = I2 * TAPTC2/5 * 5/TC2$$

$$I'^2 = 395,3 * 5/5 * 5/400$$

$$I'^1_{TC1} = 4,941$$

Para la corriente diferencial, se hace uso de la ecuación $I_d = [I']_1 - [I']_2$ 2-3 donde se expresa que:

$$Id = |I1'^ - I2'^ |$$

De esta forma en función de los datos medidos se tiene que:

$$Id = |I1'^ - I2'^ |$$

$$Id = |(3,282) - (4,941)|$$

$$Id = 1,659$$

Por lo tanto, en base al principio de funcionamiento que rige a la protección diferencial 87, se puede determinar que:

$$Id > Iminop$$

$$1,659 > 1$$

La protección diferencial actuará.

5.4.2. Actuación de la protección diferencia porcentual

- *Caso 1.- Falla en el lado primario del transformador, protección diferencial porcentual*

Para el presente caso, se tomará en cuenta la conexión de del banco de fallas en el lado primario.

Se parte desde los siguientes datos medidos:

Tabla 5-13. Datos de corriente medidos por el sensor.

Corriente Medida	
Corriente medida en el primario (I1) A	172,7
Corriente medida en el secundario (I2) A	236,5

De igual forma se consideran los siguientes parámetros:

Tabla 5-14. Parámetros requeridos para la actuación de la protección 87 porcentual

Parámetros	
Pendiente (m)	10
Corriente de arranque (Iarr)	0,1
TAP TC1	5
TAP TC2	5
TC1	250
TC2	300

En base a los datos establecidos, y empleando las fórmulas correspondientes se puede establecer lo siguiente:

Tabla 5-15. Resultados del caso 1 (falla en el lado primario)

Resultados	
Corriente en el secundario TC1	3,454
Corriente en el secundario TC2	3,924
Corriente diferencial (Id)	0,488
Corriente de restricción (Irest)	3,698
Corriente mínima de operación (Iminop)	0,470

Primero se determina corriente en el secundario del TC1 se obtiene:

$$I^{1}_{TC1} = I_1 * TAP_{TC1}/5 * 5/TC1$$

$$I^{1}_{TC1} = 172,70 * 5/5 * 5/250$$

$$I^{1}_{TC1} = 3,454$$

Para la corriente en el secundario del TC2 se obtiene:

$$I^{2}_{TC2} = I_2 * TAP_{TC2}/5 * 5/TC2$$

$$I^{2}_{TC2} = 236,50 * 5/5 * 5/300$$

$$I^{2}_{TC2} = 3,942$$

Primero, se determinará la corriente diferencial, para ello se hará uso de la ecuación 3-3 donde se expresa que:

$$I_d = |I_1^{1'} - I_2^{2'}|$$

De esta forma en función de los datos medidos se tiene que:

$$\begin{aligned} Id &= |I1 \wedge - I2 \wedge| \\ Id &= |(3,454) - (3,942)| \\ Id &= 0.488 \end{aligned}$$

Una vez establecida la corriente diferencial, se podrá determinar la corriente de restricción, para lo cual se hace uso de la ecuación $I_{rest} = |I_P + I_S| / 2$ 2-5 donde se indica que:

$$I_{rest} = |I1 \wedge + I2 \wedge *| / 2$$

Por lo que, de igual forma, en función de los datos medidos, se puede decir que:

$$\begin{aligned} I_{rest} &= |I1 \wedge + I2 \wedge *| / 2 \\ I_{rest} &= |(3,454) + (3,942)| / 2 \\ I_{rest} &= |7,396| / 2 \\ I_{res} &= 3,698 \end{aligned}$$

Una vez definido el valor de la corriente diferencial, la corriente de restricción y haciendo uso de los parámetros establecidos en la Tabla 5-14, se podrá determinar el valor de la corriente mínima de operación mediante la ecuación $I_{minop} = m * I_{rest} + I_{arr}$ 2-7, la cual indica:

$$I_{minop} = m I_{res} + I_{arr}$$

Obteniendo como resultado que:

$$\begin{aligned} I_{minop} &= m I_{res} + I_{arr} \\ I_{minop} &= 10/100 * (3,698) + 0,1 \\ I_{minop} &= 0.469 \end{aligned}$$

Por lo tanto, en base al principio de funcionamiento que rige a la protección diferencial 87, se puede decir que:

$$\begin{aligned} Id &> I_{minop} \\ 0.488 &> 0.469 \end{aligned}$$

La protección diferencial actuará.

- *Caso 2.- Falla en el lado secundario del transformador, protección diferencial porcentual*

Para el presente caso, se tomará en cuenta la conexión de del banco de fallas en el lado secundario del transformador. Se parte desde los siguientes datos medidos:

Tabla 5-16. Datos de corriente medidos por el sensor, Caso 2 de la protección diferencial porcentual.

Corriente Medida	
Corriente medida en el primario (I1) A	205,15
Corriente medida en el secundario (I2) A	395,3

De igual forma se consideran los siguientes parámetros:

Tabla 5-17. Parámetros requeridos para la actuación de la protección 87 porcentual en el caso 2.

Parámetros	
Pendiente (m)	30
Corriente de arranque (Iarr)	0,20
TAP TC1	5
TAP TC2	5
TC1	300
TC2	400

En base a los datos establecidos, y empleando las fórmulas correspondientes se puede establecer lo siguiente:

Tabla 5-18. Resultados del caso 2 (falla en el lado secundario)

Resultados	
Corriente en el secundario TC1	3,419
Corriente en el secundario TC2	4,941
Corriente diferencial (Id)	1,522
Corriente de restricción (Irest)	4,180
Corriente mínima de operación (Iminop)	1,454

Primero se determina corriente en el secundario del TC1 se obtiene:

$$I^{1}_{TC1} = I1 * TAP_{TC1}/5 * 5/TC1$$

$$I^{1}_{TC1} = 205,15 * 5/5 * 5/300$$

$$I^{1}_{TC1} = 3,419$$

Para la corriente en el secundario del TC2 se obtiene:

$$I'^2_{TC2} = I_2 * T_{APTC2}/5 * 5/TC2$$

$$I'^2 = 395,3 * 5/5 * 5/400$$

$$I'^1_{TC1} = 4,941$$

Al igual que en el caso 1, se usará la ecuación 3-3, en función de los datos medidos se tiene:

$$Id = |I1'^ - I2'^ |$$

$$Id = |(3,419) - (4,941)|$$

$$Id = 1,522$$

Establecida la corriente diferencial, se determinará la corriente de restricción con la ecuación 3-5 en función de los datos medidos se obtiene:

$$Irest = |I1'^ + I2'^ * | / 2$$

$$Irest = |(3,419) + (4,941)| / 2$$

$$Irest = |8,36| / 2$$

$$Ires = 4,18$$

Usando los parámetros establecidos en la Tabla 5-17, se podrá determinar el valor de la corriente mínima de operación mediante la ecuación 3-7, la cual indica:

$$Iminop = m Ires + Iarr$$

Obteniendo como resultado que:

$$Iminop = m Ires + Iarr$$

$$Iminop = 30/100 * (4,18) + 0,20$$

$$Iminop = 1,454$$

Por lo tanto, en base al principio de funcionamiento que rige a la protección diferencial 87, se puede decir que:

$$Id > Iminop$$

$$1,52 > 1,454$$

La protección diferencial actuará.

5.5. No actuación de la protección diferencial 87

5.5.1. No actuación de la protección diferencial

- *Caso 1.- Falla en el lado primario del transformador para la protección diferencial no actúe*

Tabla 5-19. Datos de corriente medida caso 1 no actuación.

Corriente Medida	
Corriente medida en el primario (I1) A	172,7
Corriente medida en el secundario (I2) A	235,75

Ingresar la corriente mínima de operación, y de los TAP correspondientes a los TCs.

Tabla 5-20. Parámetros requeridos para la actuación de la protección diferencial caso 1 no actuación.

Parámetros	
Corriente mínima de operación (I_{minop})	1
TAP TC1	5
TAP TC2	5
TC1	250
TC2	300

Los resultados obtenidos son la corriente diferencial.

Tabla 5-21. Resultados del caso 1 (falla en el lado primario), protección diferencial.

Resultados	
Corriente en el secundario TC1	3,44
Corriente en el secundario TC2	3,94
Corriente diferencial (I_d)	0,488

Para la corriente en el secundario del TC1 se obtiene:

$$I^{1}_{TC1} = I_1 * TAP_{TC1}/5 * 5/TC1$$

$$I^{1}_{TC1} = 172,15 * 5/5 * 5/250$$

$$I^{1}_{TC1} = 3,443$$

Para la corriente en el secundario del TC2 se obtiene:

$$I^{2}_{TC2} = I_2 * TAP_{TC2}/5 * 5/TC2$$

$$I^{2}_{TC2} = 235,3 * 5/5 * 5/300$$

$$I^{1}_{TC1} = 3,922$$

La corriente diferencial, para ello se hará uso de la ecuación 3-3 donde se expresa que:

$$I_d = |I_1 - I_2|$$

De esta forma en función de los datos medidos se tiene que:

$$I_d = |I_1 - I_2|$$

$$I_d = |(3,443) - (3,922)|$$

$$I_d = 0.479$$

Por lo tanto, en base al principio de funcionamiento que rige a la protección diferencial 87, se puede determinar que:

$$I_d > I_{minop}$$

$$0.479 > 1$$

La protección diferencial no actuará.

- *Caso 2.- Falla en el lado Secundario del transformador para la protección diferencial no actúe*

Los datos medidos para este caso son:

Tabla 5-22. Datos de corriente medida caso 2 no actuación.

Corriente Medida	
Corriente medida en el primario (I1) A	205,15
Corriente medida en el secundario (I2) A	395,3

Para la protección diferencial se debe ingresar la corriente mínima de operación, así como también los TAP correspondientes a los TC's, los cuales son considerados parámetros.

Tabla 5-23. Parámetros requeridos para la actuación de la protección diferencial no actuación caso 2

Parámetros	
Corriente mínima de operación (<i>I_{minop}</i>)	1
TAP TC1	5
TAP TC2	5
TC1	250
TC2	400

El resultado obtenido de la corriente diferencial es:

Tabla 5-24. Resultados del caso 2, protección diferencial no actuación.

Resultados	
Corriente en el secundario TC1	4,10
Corriente en el secundario TC2	4,94
Corriente diferencial (I_d)	0,838

Para la corriente en el secundario del TC1 se obtiene:

$$I^{1}_{TC1} = I_1 * T_{A_{TC1}}/5 * 5/TC1$$

$$I^{1}_{TC1} = 205,15 * 5/5 * 5/250$$

$$I^{1}_{TC1} = 4,103$$

Para la corriente en el secundario del TC2 se obtiene:

$$I^{2}_{TC2} = I_2 * T_{A_{TC2}}/5 * 5/TC2$$

$$I^{2}_{TC2} = 395,3 * 5/5 * 5/400$$

$$I^{2}_{TC2} = 4,94$$

Usando la ecuación 3-3, y reemplazando los datos medidos de corriente se obtiene:

$$I_d = |I^{1}_{TC1} - I^{2}_{TC2}|$$

$$I_d = |(4,103) - (4,941)|$$

$$I_d = 0,838$$

En base al funcionamiento que rige a la protección diferencial 87, se puede determinar que:

$$I_d > I_{minop}$$

$$0,838 > 1$$

La protección diferencial no actuará.

5.5.2. No actuación de la protección diferencial porcentual

- *Caso 1.- Falla en el lado primario del transformador, protección diferencial porcentual no actúe.*

Para el presente caso se parte desde los datos medidos por el módulo:

Tabla 5-25. Datos de corriente medidos por el sensor, caso 1 de la protección diferencial porcentual no actuación

Corriente Medida	
Corriente medida en el primario (I1) A	172,7
Corriente medida en el secundario (I2) A	236,5

De igual forma se consideran los siguientes parámetros:

Tabla 5-26. Parámetros requeridos para la no actuación de la protección diferencial porcentual en el caso 1.

Parámetros	
Pendiente (m)	10
Corriente de arranque (Iarr)	0,2
TAP TC1	5
TAP TC2	5
TC1	250
TC2	300

En base a los datos establecidos, y empleando las fórmulas correspondientes se puede establecer lo siguiente:

Tabla 5-27. Resultados del caso 1 de la protección diferencial porcentual (falla en el lado primario), no actuación

Resultados	
Corriente en el secundario TC1	3,454
Corriente en el secundario TC2	3,924
Corriente diferencial (<i>I_d</i>)	0,488
Corriente de restricción (<i>I_{rest}</i>)	3,698
Corriente mínima de operación (<i>I_{minop}</i>)	0,569

Primero se determina corriente en el secundario del TC1 se obtiene:

$$I^{1}_{TC1} = I_1 * TAP_{TC1}/5 * 5/TC1$$

$$I^{1}_{TC1} = 172,70 * 5/5 * 5/250$$

$$I^{1}_{TC1} = 3,454$$

Para la corriente en el secundario del TC2 se obtiene:

$$I^{2}_{TC2} = I_2 * TAP_{TC2}/5 * 5/TC2$$

$$I^{2}_{TC2} = 236.50 * 5/5 * 5/300$$

$$I^{2}_{TC2} = 3.942$$

Para determinar la corriente diferencial, para lo cual se usa la ecuación 3-3:

$$I_d = |I_1^{1} - I_2^{2}|$$

$$I_d = |(3,454) - (3,942)|$$

$$I_d = 0.488$$

Una vez establecida la corriente diferencial, se podrá determinar la corriente de restricción, para lo cual se hace uso de la ecuación $I_{rest} = |I_P + I_S| / 2$ 2-5 donde se indica que:

$$I_{rest} = |I_1' + I_2' *| / 2$$

$$I_{rest} = |(3,454) + (3,942)| / 2$$

$$I_{rest} = |7,396| / 2$$

$$I_{res} = 3,698$$

Una vez definido el valor de la corriente diferencial, la corriente de restricción y haciendo uso de los parámetros establecidos en la Tabla 5-26, se podrá determinar el valor de la corriente mínima de operación mediante la ecuación 3-7, la cual indica:

$$I_{minop} = m I_{res} + I_{arr}$$

$$I_{minop} = 10/100 * (3,698) + 0,2$$

$$I_{minop} = 0.569$$

Por lo tanto, en base al principio de funcionamiento que rige a la protección diferencial 87, se puede decir que:

$$I_d > I_{minop}$$

$$0.488 > 0.569$$

La protección diferencial no actuará.

- *Caso 2.- Falla en el lado secundario del transformador, protección diferencial porcentual, no actúe.*

Se obtienen los datos medidos por el módulo:

Tabla 5-28. Datos de corriente medidos por el sensor, caso 2 de la protección diferencial porcentual no actuación.

Corriente Medida	
Corriente medida en el primario (I1) A	205,15
Corriente medida en el secundario (I2) A	395,3

De igual forma se consideran los siguientes parámetros:

Tabla 5-29. Parámetros requeridos para la no actuación de la protección diferencial porcentual en el caso 2.

Parámetros	
Pendiente (m)	30
Corriente de arranque (Iarr)	0,60
TAP TC1	5

TAP TC2	5
TC1	300
TC2	400

En base a los datos establecidos, y empleando las fórmulas correspondientes se puede establecer lo siguiente:

Tabla 5-30. Resultados del caso 2 de la protección diferencial porcentual no actuación

Resultados	
Corriente en el secundario TC1	3,419
Corriente en el secundario TC2	4,941
Corriente diferencial (<i>I_d</i>)	1,522
Corriente de restricción (<i>I_{rest}</i>)	4,180
Corriente mínima de operación (<i>I_{minop}</i>)	1,854

Primero se determina corriente en el secundario del TC1 se obtiene:

$$I^{1}_{TC1} = I_1 * TAP_{TC1}/5 * 5/TC1$$

$$I^{1}_{TC1} = 205,15 * 5/5 * 5/300$$

$$I^{1}_{TC1} = 3,419$$

Para la corriente en el secundario del TC2 se obtiene:

$$I^{2}_{TC2} = I_2 * TAP_{TC2}/5 * 5/TC2$$

$$I^{2}_{TC2} = 395,3 * 5/5 * 5/400$$

$$I^{2}_{TC2} = 4,941$$

Se determina la corriente diferencial a través de la ecuación 3-3, reemplazando los datos medidos de corriente se obtiene:

$$I_d = |I_1^{1'} - I_2^{2'}|$$

$$I_d = |(3,419) - (4,941)|$$

$$I_d = 1,522$$

Una vez establecida la corriente diferencial, se podrá determinar la corriente de restricción, para lo cual se hace uso de la ecuación 3-5 donde se indica que:

$$I_{rest} = |I_1^{1'} + I_2^{2'}|/2$$

$$I_{rest} = |(3,419) + (4,941)|/2$$

$$I_{rest} = |8,36|/2$$

$$I_{rest} = 4,18$$

Una vez definido el valor de la corriente diferencial, la corriente de restricción y haciendo uso de los parámetros establecidos en la Tabla 5-29, se podrá determinar el valor de la corriente mínima de operación mediante la ecuación 3-7, la cual indica:

$$I_{minop} = m I_{res} + I_{arr}$$

$$I_{minop} = 30/100 * (4,18) + 0,6$$

$$I_{minop} = 1,854$$

Por lo tanto, en base al principio de funcionamiento que rige a la protección diferencial 87, se puede que:

$$I_d > I_{minop}$$

$$1,52 > 1,854$$

La protección diferencial no actuará.

En base a los resultados obtenidos por medio de los casos planteados, mediante herramientas matemáticas y el algoritmo de programación con el cual cuenta el módulo, se puede mostrar el error entre resultados, para ello se emplea la siguiente fórmula:

$$\% \text{ error} = (R_{\text{cálculo}} - R_{\text{módulo}}) / R_{\text{cálculo}} * 100$$

5-6

Donde:

- $R_{\text{cálculo}}$ corresponde al valor obtenido mediante el uso de herramientas matemáticas
- $R_{\text{módulo}}$ corresponde al valor obtenido por el módulo

Protección Diferencial Actúa

- Caso 1.- Falla en el lado primario del transformador para la protección diferencial

Tabla 5-31. Error de las corrientes secundarias de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la actuación de la protección diferencial caso 1.

TC1			TC2		
I'1 calculada	I'1 Obtenida	% error	I'2 calculada	Id Obtenida	% error
2,869	2,869	0,00	3,922	3,92	0,05

Tabla 5-32. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial caso 1.

Corriente diferencial		
Id calculada	Id Obtenida	% error
1,053	1,053	0,00

- Caso 2.- Falla en el lado Secundario del transformador para la protección diferencial

Tabla 5-33. Error de los corrientes secundarios de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la actuación de la protección diferencial caso 2.

TC1			TC2		
I'1 calculada	I'1 Obtenida	% error	I'2 calculada	Id Obtenida	% error
2,869	2,869	0,00	3,922	3,92	0,05

Tabla 5-34. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial caso 2.

Corriente diferencial		
Id calculada	Id Obtenida	% error
1,053	1,053	0,00

Protección Diferencial Porcentual Actúa

- Caso 1.- Falla en el lado primario del transformador, protección diferencial porcentual

Tabla 5-35. Error de los corrientes secundarios de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 1.

TC1			TC2		
I'1 calculada	I'1 Obtenida	% error	I'2 calculada	Id Obtenida	% error
2,869	2,869	0,00	3,922	3,92	0,05

Tabla 5-36. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 1.

Corriente diferencial		
Id calculada	Id Obtenida	% error
1,053	1,053	0,00

Tabla 5-37. Error de la corriente de restricción calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 1

Corriente de restricción		
Irest calculada	Irest Obtenida	% error

3,698	3,698	0,00
-------	-------	------

Tabla 5-38. Error de la corriente mínima de operación calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 1

Corriente mínima de operación		
I _{minop} calculada	I _{minop} obtenida	% error
0,47	0,469	0,21

- Caso 2.- Falla en el lado secundario del transformador, protección diferencial porcentual

Tabla 5-39. Error de los corrientes secundarios de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 2.

TC1			TC2		
I ₁ calculada	I ₁ Obtenida	% error	I ₂ calculada	I ₂ Obtenida	% error
3,419	3,419	0,00	4,941	4,941	0,00

Tabla 5-40. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 2.

Corriente diferencial		
I _d calculada	I _d Obtenida	% error
1,522	1,522	0,00

Tabla 5-41. Error de la corriente de restricción calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 1

Corriente de restricción		
I _{rest} calculada	I _{rest} Obtenida	% error
4,18	4,18	0,00

Tabla 5-42. Error de la corriente mínima de operación calculada y medida, para la actuación de la protección diferencial porcentual caso 1

Corriente mínima de operación		
I _{minop} calculada	I _{minop} obtenida	% error
1,454	1,454	0,00

Protección Diferencial No Actúa

- *Caso 1.- Falla en el lado primario del transformador para la protección diferencial no actúe*

5-43. Error de los corrientes secundarios de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la no actuación de la protección diferencial caso 1.

TC1			TC2		
I1 calculada	I1 Obtenida	% error	I2 calculada	Id Obtenida	% error
3,44	3,443	0,09	3,94	3,922	0,46

Tabla 5-44. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial caso 1.

Corriente diferencial		
Id calculada	Id Obtenida	% error
0,488	0,479	1,84

- *Caso 2.- Falla en el lado secundario del transformador, protección diferencial no actúe*

Tabla 5-45. Error de los corrientes secundarios de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la no actuación de la protección diferencial caso 2.

TC1			TC2		
I1 calculada	I1 Obtenida	% error	I2 calculada	Id Obtenida	% error
4,103	4,1	0,07	4,941	4,94	0,02

Tabla 5-46. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial caso 2.

Corriente diferencial		
Id calculada	Id Obtenida	% error
0,838	0,838	0,00

Protección Diferencial Porcentual No Actúa

- *Caso 1.- Falla en el lado primario del transformador, protección diferencial porcentual no actúe.*

5-47. Error de los corrientes secundarios de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la no actuación de la protección diferencial porcentual no actúe caso 1.

TC1			TC2		
I'1 calculada	I'1 Obtenida	% error	I'2 calculada	Id Obtenida	% error
3,454	3,454	0,00	3,924	3,924	0,00

Tabla 5-48. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial porcentual caso 1.

Corriente diferencial		
Id calculada	Id Obtenida	% error
3,698	3,698	0,00

Tabla 5-49. Error de la corriente de restricción calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial porcentual caso 1

Corriente de restricción		
Irest calculada	Irest Obtenida	% error
0,488	0,488	0,00

Tabla 5-50. Error de la corriente mínima de operación calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial porcentual caso 1

Corriente mínima de operación		
Iminop calculada	Iminop calculada	% error
0,569	0,569	0,00

- Caso 2.- Falla en el lado secundario del transformador, protección diferencial porcentual, no actúe.

Tabla 5-51. Error de los corrientes secundarios de los TC1 y TC2 calculadas y medidas, para la no actuación de la protección diferencial porcentual no actúe caso 2.

TC1			TC2		
I'1 calculada	I'1 Obtenida	% error	I'2 calculada	Id Obtenida	% error
3,419	3,419	0,00	4,941	4,941	0,00

Tabla 5-52. Error de la corriente diferencial calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial porcentual caso 2.

Corriente diferencial		
Id calculada	Id Obtenida	% error

1,522	1,522	0,00
-------	-------	------

Tabla 5-53. Error de la corriente de restricción calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial porcentual caso 2

Corriente de restricción		
Irest calculada	Irest Obtenida	% error
4,18	4,18	0,00

Tabla 5-54. Error de la corriente mínima de operación calculada y medida, para la no actuación de la protección diferencial porcentual caso 2

Corriente mínima de operación		
Iminop calculada	Iminop calculada	% error
1,854	1,854	0,00

De esta forma, considerando los casos de estudio planteados y mediante la utilización de diferentes herramientas de cálculo se puede determinar que el prototipo didáctico brinda resultados brinda resultados fiables.

Por lo tanto, la validación de datos ha sido completada con éxito constituyendo un aval de la validez del funcionamiento del módulo, lo cual permite llevar a cabo el desarrollo de los casos prácticos planteados dentro de las guías de usuario que se encuentran ubicadas en el capítulo 8.

5.6. Análisis de Impacto

El presente módulo se enfoca en evaluar el funcionamiento de la protección diferencial, para lo cual es necesario parametrizar ciertas variables asociadas al principio de funcionamiento, así como también, emular fallas de alta impedancia dentro del elemento protegido.

Así mismo, el módulo tiene la capacidad de tomar datos de la corriente que circula por el elemento protegido, lo cual da paso a poder emular el funcionamiento de un relé diferencial, el cual tiene como finalidad mostrar el principio de funcionamiento de la protección 87.

De esta forma, en base a los resultados obtenidos se puede decir que la hipótesis planteada dentro de la presente propuesta tecnológica se puede comprobar de manera satisfactoria, por lo tanto, es verídica, permitiendo parametrizar las variables asociadas a la protección diferencial 87 verificando así su funcionamiento.

Por lo que el módulo permite estudiar, mediante una herramienta didáctica, el área de protecciones eléctricas desde la carrera de ingeniería en electricidad, incluso desde la carrera de ingeniería electromecánica, posibilitando realizar las conexiones pertinentes para el funcionamiento del módulo, así como también evidenciar las zonas de operación y no operación de la protección.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- La investigación realizada mediante fuentes de información primarias y secundarias han permitido definir ciertos aspectos que rigen el funcionamiento de la protección, tales como, principio de funcionamiento, usos de la protección, la importancia de los relés diferenciales en el ámbito eléctrico, entre otros.
- La presente propuesta tecnológica emplea como elemento protegido a un transformador monofásico, puesto que, en base a la información recabada, este se constituye como un elemento de gran importancia dentro del sistema eléctrico, por lo que protegerlo permite asegurar un rendimiento adecuado de su vida útil, así como también, evita incurrir en gastos de arreglo o reemplazo del elemento.
- La recolección de información asociada con la protección diferencial ha permitido poder emular el funcionamiento mediante el uso de ciertos materiales que en conjunto permiten evaluar la labor del relé diferencial dentro de los sistemas de protección.
- El proceso de construcción del módulo se desarrolló enfocado en brindar las facilidades correspondientes para llevar a cabo casos prácticos que permitan evaluar el funcionamiento de la protección 87, por lo tanto, la parte estructural permite identificar plenamente los elementos empleados en cada caso, de igual forma, las conexiones internas de cada etapa brindan la seguridad de que cada interconexión se realizará de manera adecuada y eficiente.
- El error que se pudo determinar entre las mediciones de corriente del módulo y las mediciones realizadas con un multímetro son menores al 1.6 % en los 3 casos de estudio.
- Una vez que se han planteado los casos prácticos, como el caso N°2, que permitirán al usuario parametrizar y evaluar el funcionamiento de la función de protección diferencial 87, se confirma que la corriente de arranque es un parámetro que permite el cambio de estado de la protección, puesto que si el valor pasa de 0.1 A a 0.2 A, se

presentan las condiciones para la actuación de la protección, lo cual se corrobora en la gráfica de la zona de operación.

- El módulo cuenta con las herramientas necesarias para poder parametrizar las variables asociadas a la protección diferencial, como la pendiente, la corriente de arranque en caso de la protección diferencial porcentual, mientras que en la zona de protección diferencial se puede ingresar el valor de la corriente mínima de operación, permitiendo así verificar el funcionamiento de la protección e identificar las zonas de operación del mismo.
- Si bien es cierto cada una de las etapas que constituyen el módulo de protecciones eléctricas, son de vital importancia para el funcionamiento del módulo, la etapa medular del mismo la constituye la toma y análisis de datos, puesto que esta es la encargada de emular el funcionamiento del relé diferencial, a la vez que permite la comunicación entre el usuario y el módulo.
- La guía práctica y la guía de usuario son documentos de importancia que juegan un papel fundamental dentro del módulo puesto que contienen información sobresaliente del mismo.
- La información impartida dentro de la guía de usuario permite que el módulo funcione en óptimas condiciones, brindando resultados satisfactorios y a su vez permitiendo conservar la integridad de los materiales que componen cada etapa del módulo.
- La guía práctica permite definir los casos que permiten la evaluación del funcionamiento de la protección diferencial 87, por lo tanto, dentro de esta se recopila información que contribuye a cimentar el conocimiento que se adquirirá mediante el uso del módulo de protecciones eléctricas.

6.2. RECOMENDACIONES

Así mismo, considerando el proceso que ha llevado la construcción del módulo y el funcionamiento del mismo se pueden establecer las siguientes recomendaciones:

- Se debe hacer uso de la guía práctica y la guía de usuario previo a poner en marcha el módulo de protecciones eléctricas, puesto que dentro de este se brinda la información necesaria para conocer el principio de funcionamiento del módulo, y así, evitar incurrir en situaciones contraproducentes que pondrían en riesgo al módulo.

- Se recomienda que para la toma de mediciones que se realicen en el módulo siempre se aseguren de trabajar con un mínimo de 0.5 A en los bancos de cargas, ya que así se estabilizan los datos medidos del módulo.
- Se recomienda que al escoger el valor de TC se los escoja con un valor extra del límite que se tiene de la corriente del primario o secundario, asegurando así una mejor diferenciación de corriente.
- Para que exista un adecuado funcionamiento del módulo hay que considerar que este es el resultado del trabajo que realizan los elementos que componen cada etapa en conjunto con el criterio del usuario, siendo esto posible mediante la comunicación que entabla la interfaz.
- Se debe evitar realizar interconexiones entre las diferentes etapas del módulo mientras la fuente de energía se encuentra desconectada, evitando que ocurran daños en los elementos que constituyen el módulo.
- Una vez que se haga uso del módulo es necesario identificar la importancia de realizar cada maniobra con responsabilidad, puesto que este se constituye como una herramienta más para el aprendizaje dentro de la carrera de ingeniería en electricidad.

7. BIBLIOGRAFÍA

[1] R. Aguas y A. Buelvas, «“Metodología para el cálculo de las corrientes de cortocircuito”», Trabajo de Titulación, UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR, Cartagena de Indias, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0062324.pdf>

[2] C. Fregoso, «Esquema de protección diferencial para transformadores de potencia», Trabajo de Titulación, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO, Ciudad de Mexico, 2019. [En línea]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/17156/Tesis.pdf?sequence=5>

[3] C. Cerna, «Planteamiento de metodologías para la verificación y comprobación del funcionamiento de las protecciones mecánicas y eléctricas ante anomalías que mejoren la confiabilidad de un banco de autotransformadores de 250/250/75 MVA ONAF en una subestación eléctrica de 220/138/22.9 kV en zona de selva peruana», Trabajo de Titulación, Universidad Continental, Arequipa, 2021. [En línea]. Disponible en:

https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8786/4/IV_FIN_109_TI_Cerna_Silva_2021.pdf

- [4] A. Naranjo, M. Feraud, y R. Villacres, «Diseño y construcción de un módulo para protecciones diferencial de transformadores», Trabajo de Titulación, Universidad Politecnica Salesiana SEDE Guayaquil, Guayaquil, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10655/1/UPS-GT001564.pdf>
- [5] M. Heredia y R. Intriago, «“Análisis de sistemas trifásicos de transformadores conexión D – Y”», Trabajo de Titulación, Universidad Politecnica Salesiana SEDE Guayaquil, Guayaquil, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10450/1/UPS-GT001540.pdf>
- [6] J. Rodriguez y G. Solis, «“Análisis matemático y simulación en Matlab de la protección diferencial en transformadores de potenci», Proyecto de titulacion, Universidad Politecnica Salesiana SEDE Guayaquil, Guayaquil, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15736/1/UPS-GT002202.pdf>
- [7] F. Guillen y J. Narvaez, «Desarrollo del algoritmo para la protección diferencial del transformador de potencia aplicado a la subestación Azogue II, utilizando la transformada de Fourier», Trabajo de Titulación, Universidad Politecnica Salesiana SEDE Cuenca, Cuenca, 2015. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5125/1/UPS-CT002710.pdf>
- [8] R. Caiza y M. Ramos, «“Análisis de la pendiente de operación del relé diferencial frente a fallas trifásicas en régimen permanente, aplicado a un banco de transformadores trifásicos (Yd1)”», Trabajo de Titulación, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga, 2019.
- [9] M. Mejía y N. Quinatoa, «“Analizar el comportamiento de las corrientes de falla por cortocircuito frente a diferentes conexiones de un transformador trifásico mediante la utilización de un prototipo”», Trabajo de Titulación, UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI, Latacunga, 2019.
- [10] M. A. R. Pozueta, «Máquinas Eléctricas II. Tema 1. Transformadores», p. 107.
- [11] ENSA, «Criterio de Construcción, Operación y Mantenimiento de Transformadores». ENSA, Agosto 11.
- [12] Danilo Vizúete y Sares José, «Diseño e implementación de un módulo didáctico de protecciones y sistemas eléctricos de potencia aplicado a sistemas de generación», Universidad Politecnica Salesiana SEDE Guayaquil, Guayaquil, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14190/1/UPS-GT001880.pdf>

- [13] «SOBRECORRIENTE, SOBRECARGA Y CORTOCIRCUITO», *SEGURIDAD CON LA ELECTRICIDAD*. <https://seguridadconelectricidad.blogspot.com/2010/04/sobrecorriente-sobrecarga-y.html> (accedido 20 de noviembre de 2021).
- [14] César Valverde, «ROTECCIONES-FALLAS DE ALTA IMPEDANCIA». Universidad Técnica de Manabí, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/494908578/Falla-de-Alta-Impedancia>
- [15] E.-E. E. Portal, «11 Major Causes of Power System Failures», *EEP - Electrical Engineering Portal*, 18 de marzo de 2015. <https://electrical-engineering-portal.com/11-major-causes-of-power-system-failures> (accedido 20 de noviembre de 2021).
- [16] Henry Montano, «TRANSFORMADORES DE CORRIENTE TC». Universidad Don Bosco, 27 de agosto de 2011. [En línea]. Disponible en: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/38551525/trafos_de_corriente-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1637384627&Signature=YK63F2rUK1YQoYjbGtCdiIrbCvjFoO6gjgmMtztOQyXnRP0WcEDcv6wkOwptjW-03AIJ5dYSIUUV48uQe563zV~zufhh3MyZxthejAiOKgwLMb8BFE7pcQbAyu6esG~-0RGVyiUNUwh008cg1r8khJ7rbX-TNgjMF4OopIL6XChBd6V9Yt6DDzceisqF7rfrxmNzxExGhL6q8HUGpY2oLBD5EDT8zB-d9IrtcLNu3WnEAcbIaEImlrLbu89nYtcIoTI0E9ZE3vxjOtuJiz~epoLyNLzF8UFMiEJLmr~HxldRLUa1zc7fOOySkAgyWQKf7huKUNn0Nyuj1s3wF0LP3w__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- [17] J. E. Guerrero, «GUÍA DE SELECCIÓN DE SISTEMA DE PROTECCIÓN EN SUBESTACIONES POR MEDIO DE RELÉS BASADOS EN MICROPROCESADORES APLICADO EN SUBESTACIONES DE TRANSMISIÓN», p. 100.
- [18] L. Dután, «MODELACIÓN Y ANÁLISIS DEL RELÉ DIFERENCIAL PARATRANSFORMADORES DE POTENCIA CON CONEXIÓN YYd USANDO ATP - EMTP», Proyecto de titulación, ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Quito, 2008.
- [19] J. Lopez, «4.0 Protección de transformadores de potencia», Accedido: 23 de febrero de 2022. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/32814562/4_0_Protecci%C3%B3n_de_transformadores_de_potencia
- [20] M. Vazques, «Análisis de la corriente Inrush y Sympathetic Inrush en transformadores», Trabajo de Titulación, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE

- MÉXICO, Ciudad de Mexico, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/17332/2/Tesis.pdf>
- [21] «SW-PSL-SJune2012.pdf». Accedido: 15 de diciembre de 2021. [En línea]. Disponible en: https://www.mtecorp.com/pages_lang/wp-content/uploads/SW-PSL-SJune2012.pdf
- [22] Wilaeba electronica, «Filtro Pasa altos Pasivo de 1er Orden RL». 21 de septiembre de 2010. [En línea]. Disponible en: <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2017/01/filtro-pasa-altos-pasivo-de-1er-orden-rl.html>
- [23] Wilaeba electronica, «Filtro Pasa bajos Pasivo de 2do Orden RLC». 24 de octubre de 2018. [En línea]. Disponible en: <https://wilaebaelectronica.blogspot.com/2017/01/filtro-pasa-bajos-pasivo-de-2do-orden-rlc.html>
- [24] W. O. Hachen, «Implementación de filtros pasa bajos», *Medium*, 26 de junio de 2020. <https://willyexe97.medium.com/implementaci%C3%B3n-de-filtros-pasa-bajos-d50626c972be> (accedido 9 de febrero de 2022).
- [25] «Filtros Senoidales». <http://www.hilkar.com/es/filtrossenoidales.html> (accedido 15 de diciembre de 2021).
- [26] «Videotutorial El filtro FFT - Tratamiento de audio digital esencial | LinkedIn Learning, antes Lynda.com», *LinkedIn*. <https://es.linkedin.com/learning/tratamiento-de-audio-digital-esencial/el-filtro-fft> (accedido 15 de diciembre de 2021).
- [27] Jimmy Corté, Cano Hugo, y Chaves José, «FUNDAMENTOS Y APLICACIÓN DEL MUESTREO EN SEÑALES UBICADAS EN LAS BANDAS ALTAS DEL ESPECTRO», *Red Rev. Científicas América Lat. El Caribe Esp. Port.*, vol. XIV, n.º 39, p. 7, sep. 2008.
- [28] W. Ayala, «PROTOTIPO PARA ADQUISICIÓN DE SEÑALES ELÉCTRICAS EN PROYECTO SMART CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA», *Universidd Técnica de Machala, Machala*, 2020. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/15972/1/TTFIC-2020-IS-DE00013.pdf>
- [29] I. Fallas, «Convertor analógico digital», USACH, 2014. [En línea]. Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/2496389/>
- [30] J. Vizcaíno y J. Pelegrí, *LabView: entorno gráfico de programación*. Marcombo, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=ZFQua3-eeQEC&oi=fnd&pg=PA21&dq=labview&ots=qJZzU5OLkn&sig=jteS8tWLDpPBMrAAs8gZkvwBMZ4#v=onepage&q&f=false>
- [31] Ó. T. Artero, *ARDUINO. Curso práctico de formación*. RC Libros, 2013.
- [32] «tiposarduino.pdf». Accedido: 7 de enero de 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.bolanosdj.com.ar/MOVIL/ARDUINO2/tiposarduino.pdf>

[33] MCI Electronics, «Arduino Nano | Arduino.cl - Compra tu Arduino en Línea», 15 de enero de 2019. <https://arduino.cl/arduino-nano/> (accedido 7 de enero de 2022).

8. ANEXOS

Anexo 1: Presupuesto

Tabla I. Gastos directos

Detalle	Cantidad	Precio	Total
Tomacorrientes 32A	1	\$ 14.15	\$ 14.15
Portafusibles	3	\$ 1.80	\$ 5.40
Fusibles	3	\$ 1.10	\$ 3.30
Transformador monofásico	3	\$ 45.00	\$ 135.00
Arduino Nano	1	\$ 8.00	\$ 8.00
Sensor de Corriente	2	\$ 4.25	\$ 8.50
Sensor de Voltaje	2	\$ 7.25	\$ 14.50
Focos 100W/110V	3	\$ 2.50	\$ 7.50
Focos 50W/110V	3	\$ 6.00	\$ 18.00
Boquillas	9	\$ 1.25	\$ 11.25
Focos 50W/1220V	3	\$ 0.50	\$ 1.50
Interruptor	10	\$ 1.50	\$ 15.00
Amperímetro	3	\$ 8.00	\$ 24.00
Focos piloto	2	\$ 4.00	\$ 8.00
Jacks banana hembra	32	\$ 0.25	\$ 8.00
Jacks banana macho	36	\$ 0.25	\$ 9.00
Cable conductor	32	\$ 0.45	\$ 14.40
Estructura metálica	1	\$ 327.00	\$ 327.00
Cajas metálicas	7	\$ 16.00	\$ 112.00
Diseño de vinil	8	\$ 8.00	\$ 64.00
Tuercas y tornillos	80	\$ 0.04	\$ 3.20
TOTAL			\$ 811.70

Tabla II. Gastos indirectos

Detalle	Cantidad	Precio	Total
Transporte	15	\$ 2.00	\$ 30.00
Varios	1	\$ 50.00	\$ 50.00
TOTAL			\$ 80.00

$$GD + GI = (811.70 + 80) = 891.70$$

Considerando un 15% de imprevistos

$$GT = (GD + GI) * 115\% = (811.70 + 80) = 891.70 * 1.15 = 1025.45$$

Por lo tanto, el costo total de la implementación del prototipo tiene un costo de \$1025.45

**LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD**

ELABORADO POR: Docente	REVISADO POR: Laboratorista	APROBADO POR: Director de carrera
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA EN ELECTRICIDAD		PROTECCIONES ELECTRICAS

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Alto Voltaje	DURACIÓN (HORAS)
1	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	IDENTIFICACIÓN DE PARTES DEL MÓDULO DIDÁCTICO DEL RELÉ DIFERENCIAL	3

1	OBJETIVO
	Identificar y reconocer apropiadamente cada uno de los elemento y equipos que constituyen el módulo didáctico de protección diferencial, a través de una inspección y revisión del funcionamiento de estos para poder manejarlo adecuadamente al monto de realizar prácticas en este.

2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
	<p>2.1. INTRODUCCIÓN</p> <p>2.1.1. Transformadores</p> <p>Los transformadores son maquinas eléctricas empleadas en diferentes etapas de los SEP, su funcionamiento se basa en dos devanados conocidos como primario o secundario, cada uno de estos devanados se encuentra compuesta por distintos números de espiras, de esta forma se puede reducir o aumenta el voltaje o corriente a la salida o entrada de los transformadores, dependiendo el uso que se necesite. Estos equipos pueden ser monofásicos o trifásicos.</p> <p>Los transformadores pueden presentar algunas fallas las cuales dependiendo de la ubicación de estas se tiene distintas protecciones para evitar daños en los equipos</p> <p>2.1.2. Relé diferencial</p> <p>En todos los sistemas eléctricos es muy importante tener protecciones que permitan aislar las zonas o equipos con fallas del resto del sistema evitando daños grandes.</p> <p>El relé diferencial es una protección con pocas limitaciones, esta protección se usa en trasformadores, líneas de transmisión, etc.</p>

La protección diferencial consiste en comparar dos corrientes, en el caso del transformador compara la corriente del primario y secundario, si dicha comparación es diferente de cero la protección diferencial actúa ya que existe una variación de corriente que representa una falla interna del transformador.

2.1.3. Cargas resistivas

Una carga resistiva es aquella que disipa la energía en forma de calor, como focos incandescentes.

2.2. EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Equipos:

- Fuente de alimentación
- Transformador monofásico (MPELAVT001, MPELAVT002)
- Banco de cargas (MPELAVBC001).
- Relé de protección diferencial 87 (MPELAVPD001)
- Pinza Amperimétrica.
- Voltímetro AC.

Materiales:

- Cables de banana

2.3. MEDIDAS DE SEGURIDAD

¡En este experimento de laboratorio se manejan corrientes peligrosas! ¡No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada! ¡Tener cuidado de superficies calientes como los focos del módulo!

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

Utilizar un equipo de protección adecuado para realizar la práctica.

EPP:

- Mandil.
- Guantes
- Zapatos dieléctricos

Instrucciones de seguridad:

- Lea y comprenda la presente guía de laboratorio
- Lea y comprenda el manual de seguridad y operación del módulo didáctico de protección diferencial.
- No corra dentro del laboratorio
- Absténgase de usar el teléfono celular
- Aleje sus manos de las partes móviles del equipo
- Tener cuidado con los equipos que componen el módulo

2.4. TRABAJO PREPARATORIO

-
- Describa el funcionamiento del transformador.
- Calcular la corriente máxima que soporta el devanado primario y secundario para un transformador monofásico de 450W.

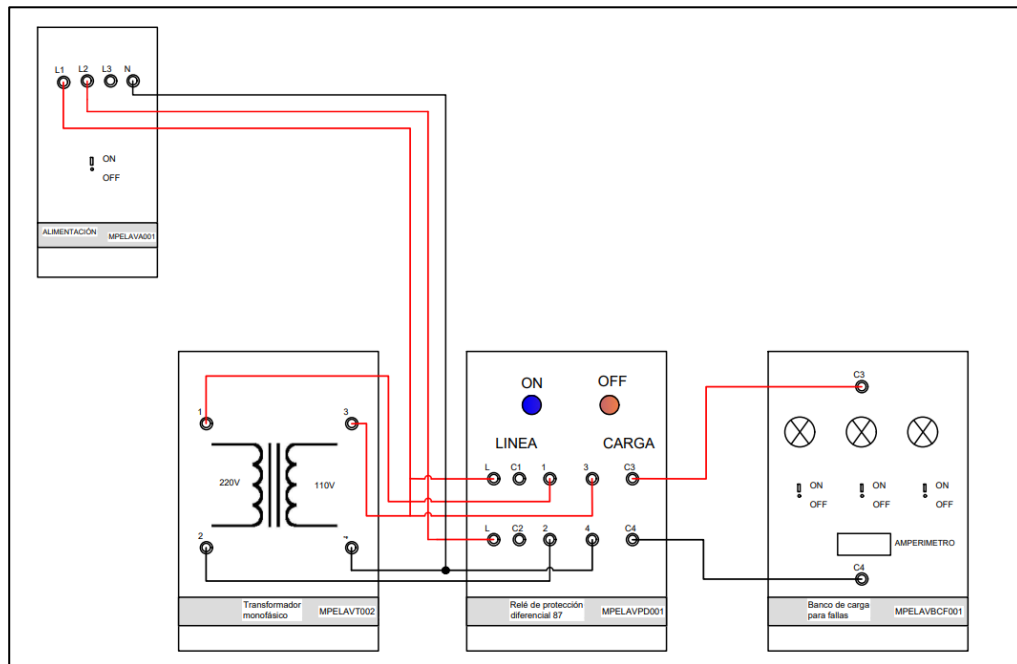
- Investigue sobre el funcionamiento de la protección diferencial 87 T.
- Consulte el comportamiento de la corriente frente a cargas resistivas.

2.5 ACTIVIDADES A DESARROLLAR

1. Realizar un reconocimiento de cada uno de los equipos
2. Ubicación de mayor comodidad y facilidad de los equipos (Cajas de trabajo)
3. Realizar una conexión simple del módulo sin tomar en cuenta los bancos de falla (*MPELAVBCF002*, *MPELAVBCF003*), respetando los valores nominales del módulo.

Valores nominales del modulo	
Voltaje nominal	220V/110V
Potencia nominal	450W
Banco de cargas <i>MPELAVBC001</i>	300W 110V 60Hz
Focos	3 focos de 100w o 2 focos de 150W
TC1 y TC2	100/5 – 1200/5
TAP Nominal	5
TAP TC1 y TAP TC2	1 a 10 en pasos de 1

- a. Conectar desde la caja del relé diferencial bornes (1,2) al lado primario del transformador bornes (1,2).
- b. Conectar desde la caja del relé diferencial bornes (3,4) al lado secundario del transformador bornes (3,4)
- c. Conectar de las salidas bornes (C3, C4) de la caja de relé diferencial, al banco de cargas (*MPELAVBC001*) a los pines (C3, C4)
- d. Conectar la fuente a los bornes (L, L) de la caja del Relé Diferencial
- e. Conectar el cable USB de la caja de protección diferencial al puerto USB de la computadora con el Programa del módulo.
- f. Posteriormente encienda la alimentación general del módulo, y los focos del banco de cargas.
- g. Para obtener las mediciones de voltaje del lado primario o secundario conectar de forma correcta el multímetro según corresponda.
- h. Correr el programa de protección diferencial, observe los valores de voltaje compárelas con los valores que se pueden medir con el voltímetro
- i. Para obtener las medidas de corriente apague la alimentación del módulo.
- j. A continuación, se debe escoger el lado que se medirá sea el lado primario se debe desconectar el cable desde la caja de relé diferencial (1) y el del transformador y en este espacio se debe conectar el amperímetro en los bornes (1) del transformador y la caja del relé diferencial, se repite el mismo proceso para el lado secundario del transformador con el cambio de que se conectará en los pines (3), ose usará una pinza amperimétrica en los cables conectados en los bornes nombrados.



2.5.1 METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Para la simulación del funcionamiento de la protección diferencial deben seguir los siguientes pasos:

1. Ubicar de forma segura las cajas del módulo
2. Realizar de forma correcta las conexiones del transformador, caja del relé diferencial y banco de cargas.
3. Energizar el módulo para que funcionen las conexiones realizadas.
4. Identificar el correcto orden de conexiones en los bancos de cargas.
5. Abrir el programa donde se toman los datos.
6. Tomar las lecturas de los datos de medición de corriente y voltaje
7. Interpretar de forma correcta los datos

2.6 BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

ELABORADO POR: Docente	REVISADO POR: Laboratorista	APROBADO POR: Director de carrera
Fecha:	Fecha:	Fecha:

Firma:	Firma:	Firma:
--------	--------	--------

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA EN ELECTRICIDAD		PROTECCIONES ELECTRICAS

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Alto Voltaje	DURACIÓN (HORAS)
2	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	FUNCIONAMIENTO DEL RELÉ DIFERENCIAL FRENTE A CONDICIONES NORMALES.	3

1	OBJETIVO
	Comprobar el funcionamiento del relé diferencial en condiciones normales mediante el incremento de cargas de manera que no actué la protección diferencial.

2	FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA
	<p>2.1. INTRODUCCIÓN</p> <p>2.1.1. Transformadores</p> <p>Los transformadores son maquinas eléctricas empleadas en diferentes etapas de los SEP, su funcionamiento se basa en dos devanados conocidos como primario o secundario, cada uno de estos devanados se encuentra compuesta por distintos números de espiras, de esta forma se puede reducir o aumenta el voltaje o corriente a la salida o entrada de los transformadores, dependiendo el uso que se necesite. Estos equipos pueden ser monofásicos o trifásicos.</p> <p>Los transformadores pueden presentar algunas fallas las cuales dependiendo de la ubicación de estas se tiene distintas protecciones para evitar daños en los equipos</p> <p>2.1.2. Relé diferencial</p> <p>En todos los sistemas eléctricos es muy importante tener protecciones que permitan aislar las zonas o equipos con fallas del resto del sistema evitando daños grandes.</p> <p>El relé diferencial es una protección con pocas limitaciones, esta protección se usa en trasformadores, líneas de transmisión, etc.</p> <p>La protección diferencial consiste es compara dos corrientes, en el caso del trasformador compara la corriente del primario y secundario, si dicha comparación es diferente de cero la protección diferencial actúa ya que existe una variación de corriente que representa una falla interna del transformador.</p> <p>2.1.3. Cargas resistivas</p> <p>Una carga resistiva es aquella que disipa la energía en forma de calor, como focos incandescentes.</p> <p>2.2. EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS</p> <p>Equipos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fuente de alimentación - Transformador monofásico (MPELAVT001, MPELAVT002) - Banco de cargas (MPELAVBC001). - Relé de protección diferencial 87 (MPELAVPD001)

Materiales:

- Cables de banana

2.3. MEDIDAS DE SEGURIDAD

¡En este experimento de laboratorio se manejan corrientes peligrosas! ¡No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada! ¡Tener cuidado de superficies calientes como los focos del módulo!

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

Utilizar un equipo de protección adecuado para realizar la práctica.

EPP:

- Mandil.
- Guantes
- Zapatos dieléctricos

Instrucciones de seguridad:

- Lea y comprenda la presente guía de laboratorio
- Lea y comprenda el manual de seguridad y operación del módulo didáctico de protección diferencial.
- No corra dentro del laboratorio
- Absténgase de usar el teléfono celular
- Aleje sus manos de las partes móviles del equipo
- Tener cuidado con los equipos que componen el modulo

2.4. TRABAJO PREPARATORIO

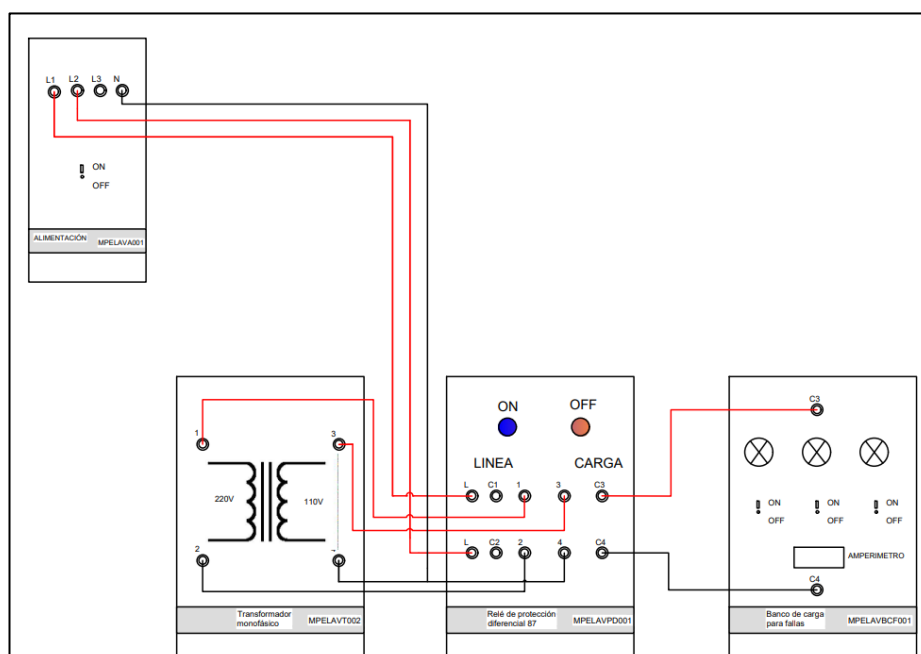
- Consulte el funcionamiento de la protección diferencial
- Consulte el funcionamiento de la protección diferencial porcentual
- Calcular la corriente máxima que soporta el devanado primario y secundario para un transformador de 450W
- Investigue como los parámetros para dibujar la pendiente de operación de la protección diferencial.
- Consulte cuáles son las fallas de alta impedancia

2.5 ACTIVIDADES A DESARROLLAR

1. Realizar un reconocimiento de cada uno de los equipos
2. Ubicación de mayor comodidad y facilidad de los equipos (Cajas de trabajo)
3. Realizar una conexión simple del módulo sin tomar en cuenta los bancos de falla (MPELAVBCF002, MPELAVBCF003), respetando los valores nominales del módulo.

Valores nominales del modulo	
Voltaje nominal	220V/110V
Potencia nominal	450W
Banco de cargas <i>MPELAVBC001</i>	300W 110V 60Hz
Focos	3 focos de 100w o 2 focos de 150W
Pendiente (m)	0-100%
Corriente de arranque (<i>Iarr</i>)	0-5 A
TC1 y TC2	100/5 – 1200/5
TAP Nominal	5
TAP TC1 y TAP TC2	1 a 10 en pasos de 1

- Conectar desde la caja del relé diferencial bornes (1,2) al lado primario del transformador bornes (1,2).
- Conectar desde la caja del relé diferencial bornes (3,4) al lado secundario del transformador bornes (3,4)
- Conectar de las salidas bornes (C3, C4) de la caja de relé diferencial, al banco de cargas (*MPELAVBC001*) a los pines (C3, C4)
- Conectar la fuente a los bornes (L, N) de la caja del Relé Diferencial
- Conectar el cable USB de la caja de protección diferencial al puerto USB de la computadora con el Programa del módulo.
- Posteriormente encienda la alimentación general del módulo, y los focos del banco de cargas.
- Ejecutar el programa, escogiendo el puerto serial correspondiente.



2.5.1. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Para la simulación del funcionamiento de la protección diferencial deben seguir los siguientes pasos:

1. Ubicar de forma segura las cajas del módulo
2. Realizar de forma correcta las conexiones del transformador, caja del relé diferencial y banco de cargas.
3. Energizar el módulo para que funcionen las conexiones realizadas.
4. Identificar el correcto orden de conexiones en los bancos de cargas.
5. Abrir el programa donde se toman los datos.
6. Tomar las lecturas de los datos de medición de corriente y voltaje
7. Interpretar de forma correcta los datos

2.6. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

ELABORADO POR: Docente	REVISADO POR: Laboratorista	APROBADO POR: Director de carrera
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA EN ELECTRICIDAD		PROTECCIONES ELECTRICAS

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Alto Voltaje	DURACIÓN (HORAS)
3	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	ACCIONAMIENTO DEL RELÉ DIFERENCIAL CON FALLA EN EL LADO PRIMARIO DEL TRANSFORMADOR	3

1 OBJETIVO

Comprobar la actuación de la protección diferencial y de la protección diferencial porcentual mediante la simulación de una falla en el lado primario del transformador, para relacionar los valores obtenidos en el módulo relé diferencial y compararlos con los calculados.

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. INTRODUCCIÓN

2.1.1. Transformadores

Los transformadores son máquinas eléctricas empleadas en diferentes etapas de los SEP, su funcionamiento se basa en dos devanados conocidos como primario o secundario, cada uno de estos devanados se encuentra compuesta por distintos números de espiras, de esta forma se puede reducir o aumentar el voltaje o corriente a la salida o entrada de los transformadores, dependiendo del uso que se necesite. Estos equipos pueden ser monofásicos o trifásicos.

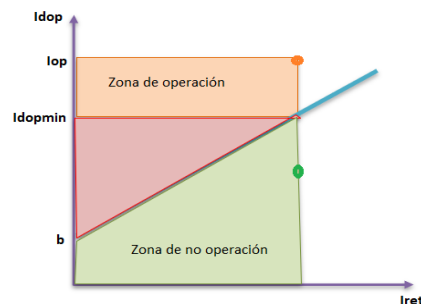
Los transformadores pueden presentar algunas fallas las cuales dependiendo de la ubicación de estas se tiene distintas protecciones para evitar daños en los equipos

2.1.2. Relé diferencial

En todos los sistemas eléctricos es muy importante tener protecciones que permitan aislar las zonas o equipos con fallas del resto del sistema evitando daños grandes.

El relé diferencial es una protección con pocas limitaciones, esta protección se usa en transformadores, líneas de transmisión, etc.

La protección diferencial consiste en comparar dos corrientes, en el caso del transformador compara la corriente del primario y secundario, si dicha comparación es diferente de cero la protección diferencial actúa ya que existe una variación de corriente que representa una falla interna del transformador.



2.1.3. Cargas resistivas

Una carga resistiva es aquella que disipa la energía en forma de calor, como focos incandescentes.

2.2. EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Equipos:

- Fuente de alimentación
- Transformador monofásico (MPELAVT001, MPELAVT002)
- Banco de cargas (MPELAVBC001)
- Banco de cargas para fallas (MPELAVBCF001(220v)).
- Relé de protección diferencial 87 (MPELAVPD001)

Materiales:

- Cables de banana

2.3. MEDIDAS DE SEGURIDAD

¡En este experimento de laboratorio se manejan corrientes peligrosas! ¡No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada! ¡Tener cuidado de superficies calientes como los focos del módulo!

- Mantener un plan de emergencia por presentarse cualquier eventualidad.
- Establecer un cronograma de las actividades a desarrollar y responsables de cada una de ellas.
- Evitar distracciones en el momento de desarrollar la práctica.
- Verifique la disponibilidad de los equipos a usar en la práctica y comprobar que todos

los elementos estén en buen estado.

Utilizar un equipo de protección adecuado para realizar la práctica.

EPP:

- Mandil.
- Guantes
- Zapatos dieléctricos

2.4. Instrucciones de seguridad:

- Lea y comprenda la presente guía de laboratorio
- Lea y comprenda el manual de seguridad y operación del módulo didáctico de protección diferencial.
- No corra dentro del laboratorio
- Absténgase de usar el teléfono celular
- Aleje sus manos de las partes móviles del equipo
- Tener cuidado con los equipos que componen el modulo

2.5. TRABAJO PREPARATORIO

- Consulte el funcionamiento de la protección diferencial
- Consulte el funcionamiento de la protección diferencial porcentual
- Calcular la corriente máxima que soporta el devanado primario y secundario para un transformador de 450W
- Investigue como los parámetros para dibujar la pendiente de operación de la protección diferencial.
- Consulte cuáles son las fallas de alta impedancia

2.6. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

1. Realizar un reconocimiento de cada uno de los equipos
2. Ubicación de mayor comodidad y facilidad de los equipos (Cajas de trabajo)
3. Realizar una conexión simple del módulo sin tomar en cuenta el banco de falla (MPELAVBCF002), respetando los valores nominales del módulo.

Valores nominales del modulo	
Voltaje nominal	220V/110V
Potencia nominal	450W
Banco de cargas MPELAVBC001(C3, C4)	300W 110V 60Hz
Focos, caja MPELAVBC001(C3, C4)	3 focos de 100w o 2 focos de 150W
Banco de cargas MPELAVBCF001 (C1, C2)	150W 220V 60Hz
Focos, caja MPELAVBCF001(C1, C2)	3 focos de 50W o 2 focos de 75W

Valores nominales para la parametrización el programa

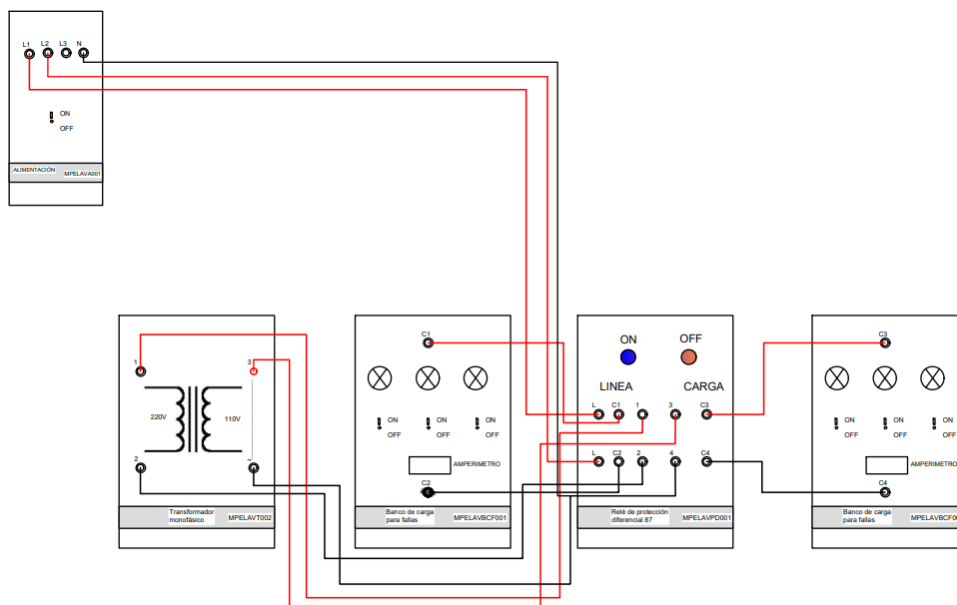
Protección diferencial

Núm. Casos	TAP TC1	TAPTC2	TC1	TC2	Iminop
1	5	5	300/5	300/5	1
2	5	5	250/5	300/5	1

Protección diferencial porcentual

Núm. Casos	Pendiente(m)	Iarr	TAP TC1	TAPTC2	TC1	TC2
1	10	0,1	5	5	250/5	300/5
2	10	0,2	5	5	250/5	300/5

- Conectar desde la caja del relé diferencial bornes (1,2) al lado primario del transformador bornes (1,2).
- Conectar desde la caja del relé diferencial bornes (3,4) al lado secundario del transformador bornes (3,4)
- Conectar de las salidas bornes (C3, C4) de la caja de relé diferencial, al banco de cargas (MPELAVBC001) a los pines (C3, C4)
- Conectar de las salidas bornes (C1, C2) de la caja de relé diferencial, al banco de cargas (MPELAVBCF001) a los pines (C1, C2)
- Conectar la fuente a los bornes (L, L) de la caja del Relé Diferencial.
- Conectar el borne (4) de la caja del transformador a neutro.
- Conectar el cable USB de la caja de protección diferencial al puerto USB de la computadora con el Programa del módulo.
- Posteriormente encienda la alimentación general del módulo, y los focos de los bancos de cargas.
- Ejecutar el programa, escogiendo el puerto serial correspondiente.
- Escoger los valores más adecuados para el caso de estudio a realizar.



2.6.1. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Para la simulación del funcionamiento de la protección diferencial deben seguir los siguientes pasos:

1. Ubicar de forma segura las cajas del módulo
2. Realizar de forma correcta las conexiones del transformador, caja del relé diferencial y banco de cargas.
3. Energizar el módulo para que funcionen las conexiones realizadas.
4. Identificar el correcto orden de conexiones en los bancos de cargas.
5. Abrir el programa donde se toman los datos.
6. Interpretar de forma correcta los datos

2.7. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA

LABORATORIO DE ALTO VOLTAJE CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD

ELABORADO POR: Docente	REVISADO POR: Laboratorista	APROBADO POR: Director de carrera
Fecha:	Fecha:	Fecha:
Firma:	Firma:	Firma:

CARRERA	CÓDIGO DE LA ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
INGENIERIA EN ELECTRICIDAD		PROTECCIONES ELECTRICAS

PRÁCTICA N°	LABORATORIO:	Alto Voltaje	DURACIÓN (HORAS)
4	NOMBRE DE LA PRÁCTICA:	ACCIONAMIENTO DEL RELÉ DIFERENCIAL CON FALLA EN EL LADO SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR	3

1 OBJETIVO

Comprobar la actuación de la protección diferencial y de la protección diferencial porcentual mediante la simulación de una falla en el lado secundario del transformador, para relacionar los valores obtenidos en el módulo relé diferencial y compararlos con los calculados.

2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. INTRODUCCIÓN

2.1.1. Transformadores

Los transformadores son máquinas eléctricas empleadas en diferentes etapas de los SEP, su funcionamiento se basa en dos devanados conocidos como primario o secundario, cada uno de estos devanados se encuentra compuesta por distintos números de espiras, de esta forma se puede reducir o aumentar el voltaje o corriente a la salida o entrada de los transformadores, dependiendo del uso que se necesite. Estos equipos pueden ser monofásicos o trifásicos.

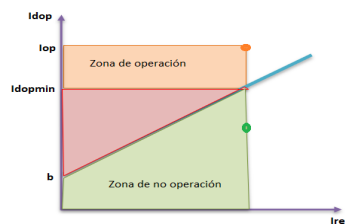
Los transformadores pueden presentar algunas fallas las cuales dependiendo de la ubicación de estas se tiene distintas protecciones para evitar daños en los equipos

2.1.2. Relé diferencial

En todos los sistemas eléctricos es muy importante tener protecciones que permitan aislar las zonas o equipos con fallas del resto del sistema evitando daños grandes.

El relé diferencial es una protección con pocas limitaciones, esta protección se usa en transformadores, líneas de transmisión, etc.

La protección diferencial consiste en comparar dos corrientes, en el caso del transformador compara la corriente del primario y secundario, si dicha comparación es diferente de cero la protección diferencial actúa ya que existe una variación de corriente que representa una falla interna del transformador.



2.1.3. Cargas resistivas

Una carga resistiva es aquella que disipa la energía en forma de calor, como focos incandescentes.

2.2. EQUIPO, INSTRUMENTOS Y MATERIALES NECESARIOS

Equipos:

- Fuente de alimentación
- Transformador monofásico (MPELAVT001, MPELAVT002, MPELAVT003)
- Banco de cargas (MPELAVBC001)
- Banco de cargas para fallas (MPELAVBCF002).
- Relé de protección diferencial 87 (MPELAVPD001)

Materiales:

- Cables de banana

2.3. MEDIDAS DE SEGURIDAD

¡En este experimento de laboratorio se manejan corrientes peligrosas! ¡No haga ninguna conexión cuando la fuente esté conectada! ¡Tener cuidado de superficies calientes como los focos del módulo!

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

Utilizar un equipo de protección adecuado para realizar la práctica.

EPP:

- Mandil.
- Guantes
- Zapatos dieléctricos

2.4. Instrucciones de seguridad:

- Lea y comprenda la presente guía de laboratorio
- Lea y comprenda el manual de seguridad y operación del módulo didáctico de protección diferencial.
- No corra dentro del laboratorio
- Absténgase de usar el teléfono celular
- Aleje sus manos de las partes móviles del equipo
- Tener cuidado con los equipos que componen el modulo

2.5. TRABAJO PREPARATORIO

- Consulte el funcionamiento de la protección diferencial
- Consulte el funcionamiento de la protección diferencial porcentual
- Calcular la corriente máxima que soporta el devanado primario y secundario para un transformador de 450W
- Investigue como los parámetros para dibujar la pendiente de operación de la protección diferencial.
- Consulte cuáles son las fallas de alta impedancia

2.6. ACTIVIDADES A DESARROLLAR

1. Realizar un reconocimiento de cada uno de los equipos
2. Ubicación de mayor comodidad y facilidad de los equipos (Cajas de trabajo)
3. Realizar una conexión simple del módulo sin tomar en cuenta el banco de falla (MPELAVBCF001), respetando los valores nominales del módulo.

Valores nominales del modulo	
Voltaje nominal	220V/110V
Potencia nominal	450W
Banco de cargas MPELAVBC001(C3, C4)	300W 110V 60Hz
Focos, caja MPELAVBC001(C3, C4)	3 focos de 100w o 2 focos de 150W
Banco de cargas MPELAVBCF002 (C3, C4)	150W 110V 60Hz
Focos, caja MPELAVBCF002(C3, C4)	3 focos de 50W

Valores nominales para la parametrización el programa

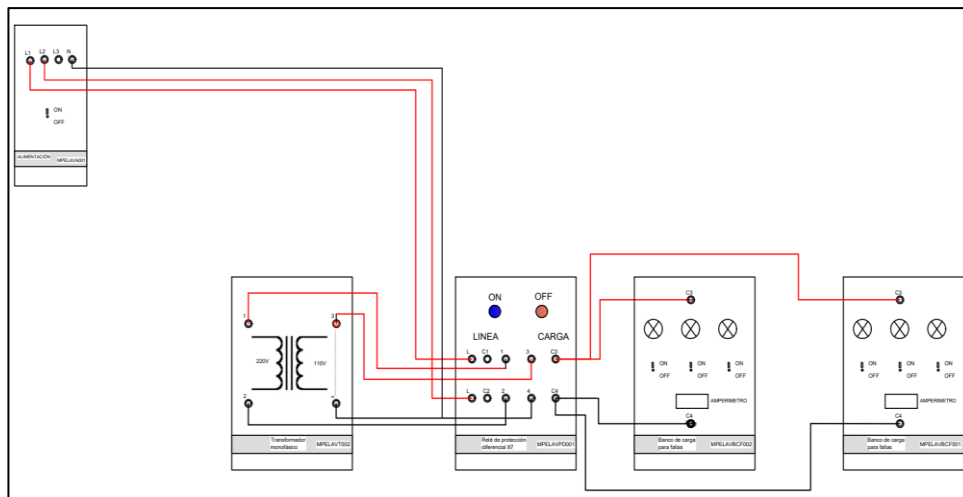
Protección diferencial

Núm. Casos	TAP TC1	TAPTC2	TC1	TC2	I _{minop}
1	5	5	300/5	300/5	1
2	4	5	250/5	400/5	1

Protección diferencial porcentual

Núm. Casos	Pendiente(m)	I _{arr}	TAP TC1	TAPTC2	TC1	TC2
1	30	0,2	5	5	300/5	400/5
2	30	0,60	5	5	300/5	400/5

- Conectar desde la caja del relé diferencial bornes (1,2) al lado primario del transformador bornes (1,2).
- Conectar desde la caja del relé diferencial bornes (3,4) al lado secundario del transformador bornes (3,4)
- Conectar de las salidas bornes (C3, C4) de la caja de relé diferencial, al banco de cargas (MPELAVBC001) a los pines (C3, C4)
- Conectar de las salidas bornes (C3, C4) de la caja de relé diferencial, al banco de cargas (MPELAVBCF002) a los pines (C3, C4)
- Conectar la fuente a los bornes (L, L) de la caja del Relé Diferencial
- Conectar el borne (4) de la caja del transformador a neutro.
- Conectar el cable USB de la caja de protección diferencial al puerto USB de la computadora con el Programa del módulo.
- Posteriormente encienda la alimentación general del módulo, y los focos de los bancos de cargas.
- Ejecutar el programa, escogiendo el puerto serial correspondiente.



2.6.1. METODOLOGÍA Y TÉCNICA EXPERIMENTAL

Para la simulación del funcionamiento de la protección diferencial deben seguir los siguientes pasos:

- Ubicar de forma segura las cajas del módulo
- Realizar de forma correcta las conexiones del transformador, caja del relé diferencial y banco de cargas.
- Energizar el módulo para que funcionen las conexiones realizadas.
- Identificar el correcto orden de conexiones en los bancos de cargas.
- Abrir el programa donde se toman los datos.
- Interpretar de forma correcta los datos

2.7. BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA



Guía de Usuario

Módulo de protección diferencial 87

Docente Tutor:

Ms.C. Xavier Alfonso Proaño Maldonado

Estudiantes:

Edgar Geovanny Barahona Vaca

Gabriela Alejandra Bonilla Ramírez

Contenido

1. Objetivo.....	4
2. Introducción	4
3. Estructura mecánica.....	4
3.1. Estructura general.....	5
3.2. Estructura por etapas.....	6
4. Etapas del módulo	6
4.1. Codificación.....	7
4.2. Alimentación	7
4.3. Elemento protegido	9
4.4. Toma y análisis de datos	10
4.4.1. Arduino	10
4.4.2. LabView	10
4.4.3. Instalación del Software.....	11
4.4.4. Comunicación serial	15
4.4.5. Interfaz.....	17
4.5. Simulación de la falla.....	20
4.6. Banco de cargas.....	22

Indice de Tablas

Tabla 1 Materiales caja MPELAVA001	8
Tabla 2 Materiales caja MPELAVT001	9
Tabla 3 Materiales caja MPELAVPD001.....	10
Tabla 4 Materiales caja MPELAVBCF001-002	20
Tabla 5 Materiales caja MPELAVBC001	22

Indice de Figuras

Figura 1 Estructura del prototipo didáctico	5
Figura 2 Estructura de caja metálica	6
Figura 3 Referencia caja MPELAVA001	8
Figura 4 Referencia caja MPELAVT001.....	9
Figura 5 Referencia caja MPELAVPD001	20
Figura 6 Referencia caja MPELAVBCF001.....	21
Figura 7 Referencia caja MPELAVBCF002.....	21
Figura 8 Referencia caja MPELAVBC001	22

1. Objetivo

Presentar la información más relevante asociada con la construcción del módulo de protección diferencial 87 mediante el uso de herramientas de comunicación técnica con la finalidad de orientar al usuario hacia un uso adecuado del equipo, permitiendo una adecuada vida útil y evitando que se ocasionen daños en los elementos que conforman el módulo.

2. Introducción

La propuesta tecnológica presentada previo a la obtención del título de Ingeniero en Electricidad, plantea evaluar el funcionamiento de la protección diferencial 87 en un transformador monofásico ante la presencia de fallas mediante un prototipo didáctico.

Por lo tanto, para conseguir lo inicialmente planteado es necesario considerar varios aspectos que permiten emular el funcionamiento de la protección diferencial 87, siendo esta una herramienta que permite desenergizar una cierta sección de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), ante la presencia de una falla, considerando generalmente las fallas producidas dentro de los transformadores.

Es así como el módulo didáctico, resultado de la propuesta tecnológica, se constituye por diferentes etapas que posibilitan su funcionamiento, por lo tanto, es necesario mostrar la información necesaria para que el uso de dicho equipo sea el adecuado, y así asegurar la integridad del usuario como del módulo.

A continuación, se muestra el funcionamiento de cada una de las etapas del módulo, los materiales por los que se encuentra compuesto e información que se debe considerar de cada etapa del módulo.

3. Estructura mecánica

El módulo se ha diseñado en base a los módulos de entrenamiento producidos por la empresa alemana Lucas Nülle, las cuales se encuentran diseñadas de forma en la que cada elemento que compone un módulo se encuentra de forma individual, brindando mayores posibilidades de interconexión y uso del mismo.

Para lograr brindar facilidades similares la estructura mecánica se encuentra dividida en dos partes, las cuales son:

3.1. Estructura general

Esta se encuentra constituida por tubos cuadrados los cuales tienen una dimensión interna de una pulgada, estos se encuentran contruidos de tal forma que brindan el espacio necesario para integrar cada una de las etapas del módulo, así como también con una mesa de trabajo que brinda las condiciones adecuadas para llevar a cabo los casos prácticos planteados, así mismo, cuenta con un espacio destinado a albergar las etapas que se encuentren fuera de servicio.

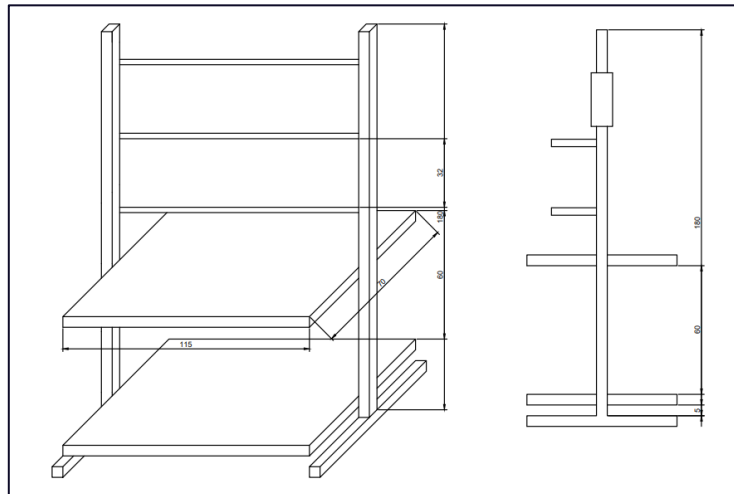


Figura 1 Estructura del prototipo didáctico

De esta forma se busca que la estructura pueda brindar al usuario las facilidades necesarias para llevar a cabo los casos prácticos necesarios.

3.2. Estructura por etapas

El módulo basa su funcionamiento en etapas, por ende es necesario integrar elementos que permitan albergar de forma adecuada a cada uno de los materiales que constituye cada etapa, estos son cajas metálicas que cuentan con las mismas dimensiones, de esta forma se asegura una adecuada distribución dentro del espacio disponible en la estructura.

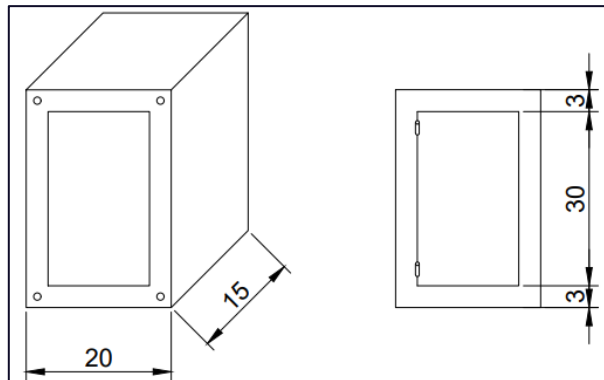


Figura 2 Estructura de caja metálica

4. Etapas del módulo

Una vez que se cuente con los espacios necesarios para poder albergar cada uno de los materiales que constituyen las etapas del módulo, es necesario especificar la finalidad de cada una de las mismas, así como también, los materiales que componen a cada una de las mismas.

4.1. Codificación

La codificación es un aspecto importante dentro del funcionamiento del módulo, puesto que al permitir la opción de colocar y reemplazar a voluntad cada una de las etapas que componen el módulo es necesario identificar cada una de las etapas, permitiendo llevar una mejor organización en los elementos.

De esta forma se considera agregar la siguiente clasificación para distinguir cada una de las etapas:

Codificación general:

MPELAV

Donde:

MPE significa Módulo de Protecciones Electricas

LAV significa Laboratorio de Alto Voltaje

Codificación por etapas:

Alimentación:

A significa alimentación

Elemento Protegido:

T significa transformador

Toma y analisis de datos:

PD significa Protección Diferencial

Simulación de Falla:

BCF significa Banco de Cargas para simulación de fallas

Banco de carga:

BC significa Banco de Cargas




Ademas se puede agregar un número que indicaria el orden de cada etapa dentro de la misma clasificación

4.2. Alimentación

Esta se encuentra conformada por, un tomacorriente trifásico, un porta fusibles y los fusibles correspondientes, para esta etapa se prevee que brinde las facilidades correspondientes para realizar las conexiones respectivas, por lo tanto, se considera que esta etapa sea la única que permanezca fija dentro del módulo, similar a la referencia de construcción.

Materiales:

Tabla 1 Materiales caja MPELAVA001

Material	Imagen	Características
Tomacorrientes		<ul style="list-style-type: none"> - Enchufe Pin & Sleeve - IP67 6H Rojo - 32 A 3P+T 380-415 V AC
Portafusibles		<ul style="list-style-type: none"> - Corriente nominal 32A - Curva de fusible AM GG - Tensión nominal 500 V AC - Tensión nominal del aislamiento 500 V AC 50/60 Hz - 3 polos
Fusibles		<ul style="list-style-type: none"> - Corriente que soporta 5 A

Codigo: MPELAVA001

Referencia:




Figura 3 Referencia caja MPELAVA001

4.3. Elemento protegido

En esta etapa se encuentra conformada por un transformador de 500 W, el cual se trabajara con 450 W como valor de protección, de igual forma este transformador es de 220-110 V correspondiendo una relación de 2/1 del transformador.

Materiales:

Tabla 2 Materiales caja MPELAVT001

Material	Imagen	Características
Transformador monofásico		<ul style="list-style-type: none"> -Potencia: 500 W -Vin: 220 V AC -Vout: 110 V AC - Relación de transformación: 2/1

Código: MPELAVT001

MPELAVT002

MPELAVT003

Referencia:

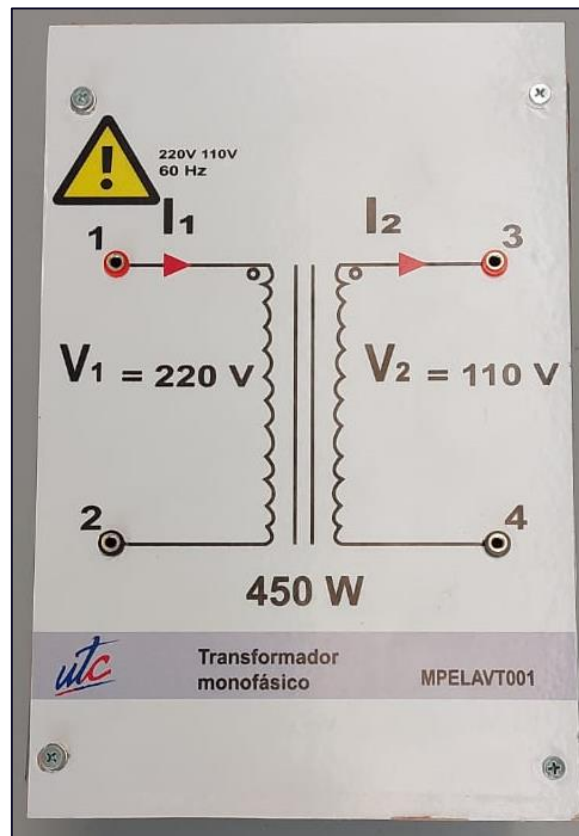





Figura 4 Referencia caja MPELAVT001

4.4. Toma y análisis de datos

Esta etapa se encuentra compuesta por dos secciones importantes, la toma de datos y el análisis de los mismos, por lo cual, cada uno de los componentes seleccionados permitirán obtener un resultado satisfactorio.

Materiales:

Tabla 3 Materiales caja MPELAVPD001

Material	Imagen	Características
Sensor de Corriente ASC712-20A		<ul style="list-style-type: none"> - Error de salida: 1.5% - Bajo ruido de señal análoga - Ancho de banda de 80 kHz - Capacidad hasta de 30 A -Sensibilidad de salida de 66 - 180 mV/A
Sensor de Voltaje AC ZMPT101B		<ul style="list-style-type: none"> -Alimentación 5VDC -Señal de salida análoga - Corriente nominal de entrada y salida: 2 mA
Arduino Nano		<ul style="list-style-type: none"> - 14 pines de entrada/salida digital - 6 entradas analógicas - Terminal de conexión Mini-USB

4.4.1. Arduino

Para la toma de datos se empleará el microprocesador Arduino Nano, puesto que este brinda la posibilidad de tomar los valores de corriente de forma efectiva mediante el uso de sensores de corriente, así mismo, se puede conocer el voltaje en los terminales correspondiente al bobinado primario y secundario del transformador mediante sensores de voltaje, para ello se hará uso de las entradas analógicas del microprocesador.

4.4.2. LabView

Los datos tomados en Arduino puedan ser analizados en el software LabVIEW, de esta forma se clasifican los datos de voltajes y corrientes primarias y secundarias, donde se lleva a cabo un muestreo de señal de los datos correspondientes a las corrientes

I'_1 y I'_2 correspondientes al lado primario y secundario. Después se procede a la etapa del análisis de datos, procediendo con tres etapas:

- Desfase de señales
- Parametrización
- Zona de operación

4.4.3. Instalación del Software

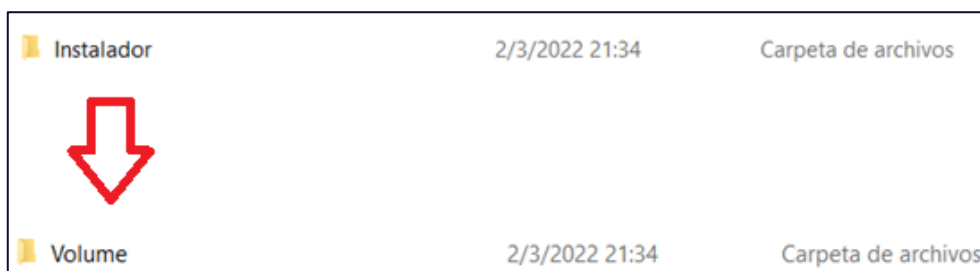
Requisitos mínimos

Para poder instalar el software correspondiente a la interfaz del módulo de la protección es necesario tomar en cuenta los siguientes requerimientos mínimos:

- Procesador Pentium III/Celeron 866 Hz, Pentium 4/M o equivalente mínimo.
- RAM 256 MB mínimo o 1 GB recomendado.
- Resolución de Pantalla 1024 x 768 píxeles mínimo, 1024 x 768 píxeles recomendado.
- Sistema Operativo Windows 10.
- Espacio en Disco 500 MB o 1GB recomendado.

Procedimiento de instalación:

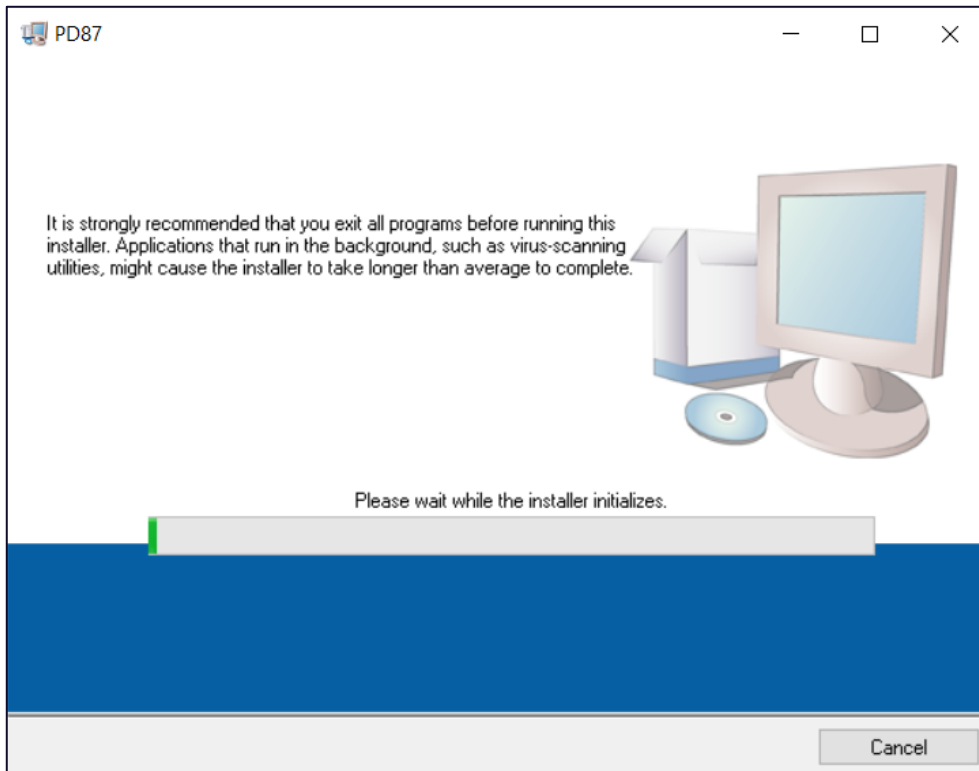
1. Para poder acceder al instalador del software que permite emular la parametrización de la función de protección diferencial 87, es necesario descargar el instalador el cual se encuentra en el siguiente enlace: [Software Protección Diferencial 87](#)
2. Una vez descargado el instalador, se debe ingresar a la carpeta con el nombre “Instalador”, posteriormente se deberá ingresar a la carpeta “Volume”



3. Dentro de la carpeta “Volume” se encuentran diferentes tipos de archivos, sin embargo, el documento de interés lleva el nombre de “PD87-Instalador.exe” sobre este se deberá hacer doble click.

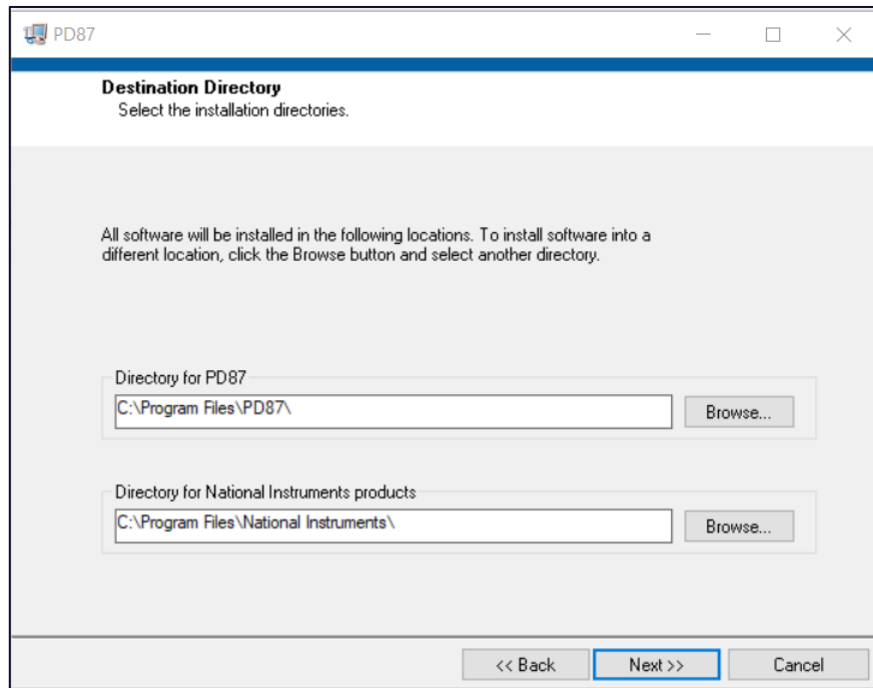
bin	2/3/2022 21:33	Carpeta de archivos	
license	2/3/2022 21:33	Carpeta de archivos	
supportfiles	2/3/2022 21:34	Carpeta de archivos	
nidist.id	2/3/2022 21:34	Archivo ID	1 KB
PD87-Instalador.exe	28/2/2019 16:30	Aplicación	5,327 KB
PD87-Instalador.ini	2/3/2022 21:34	Opciones de confi...	25 KB

4. Inmediatamente se desplegará una ventana con el indicador del proceso de instalación

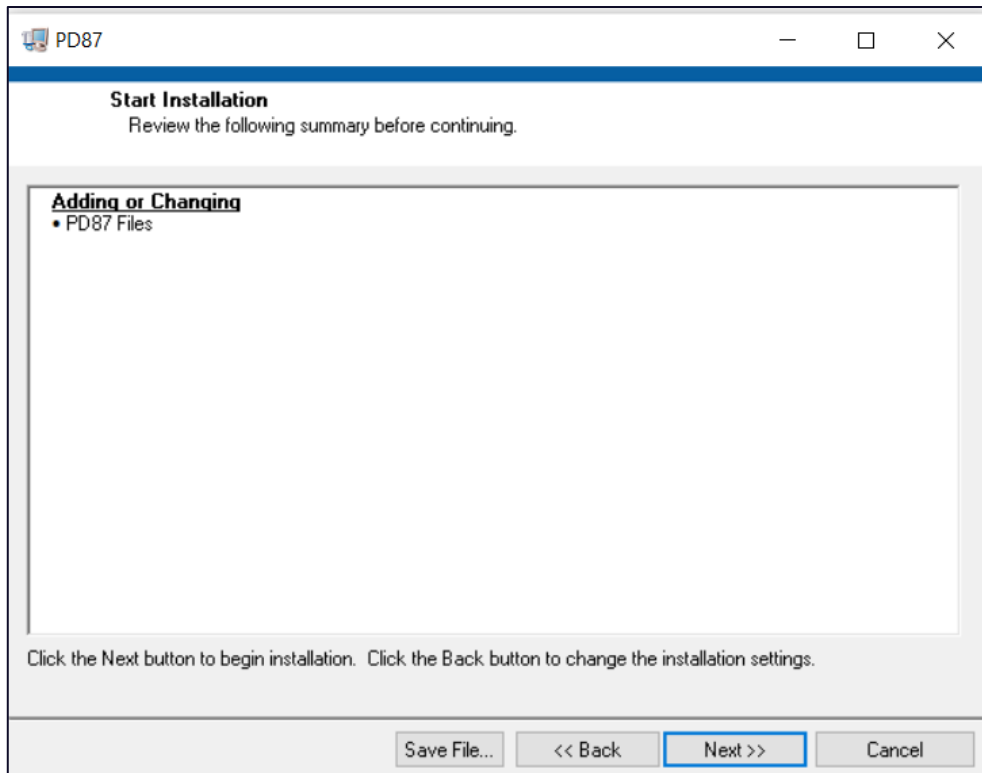


5. Por defecto, el instalador seguirá la ruta establecida para instalar la aplicación, sin embargo esta puede ser modificada por el usuario. Se deberá dar click en “Next” para continuar con la instalación.

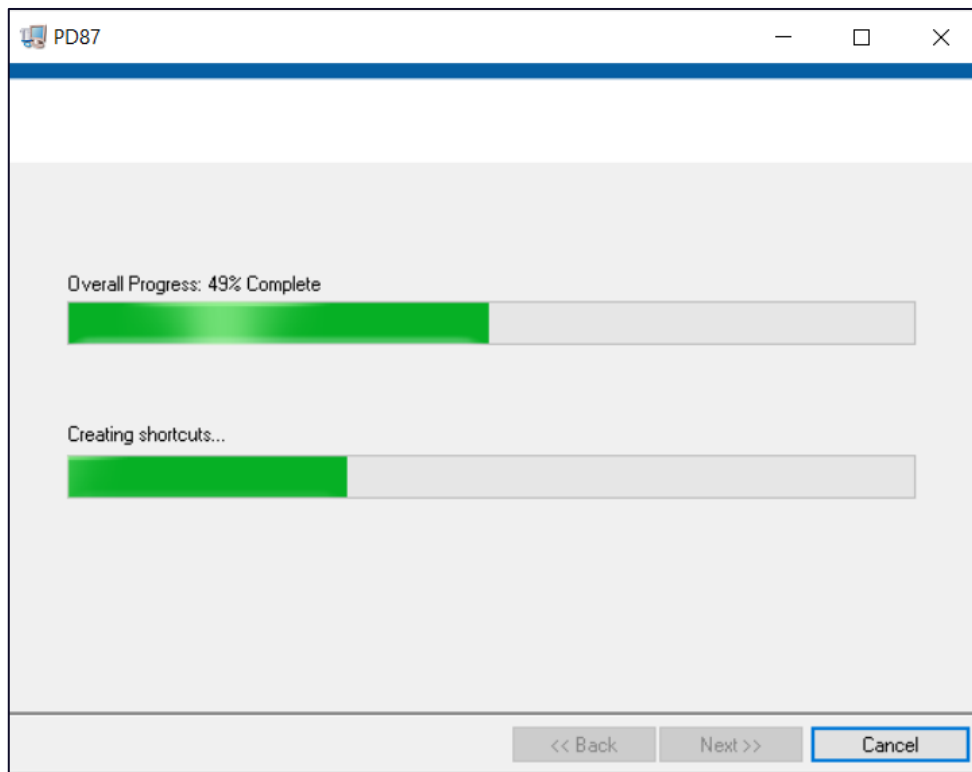
Nota: Se recomienda seguir el proceso como se presenta a continuación:



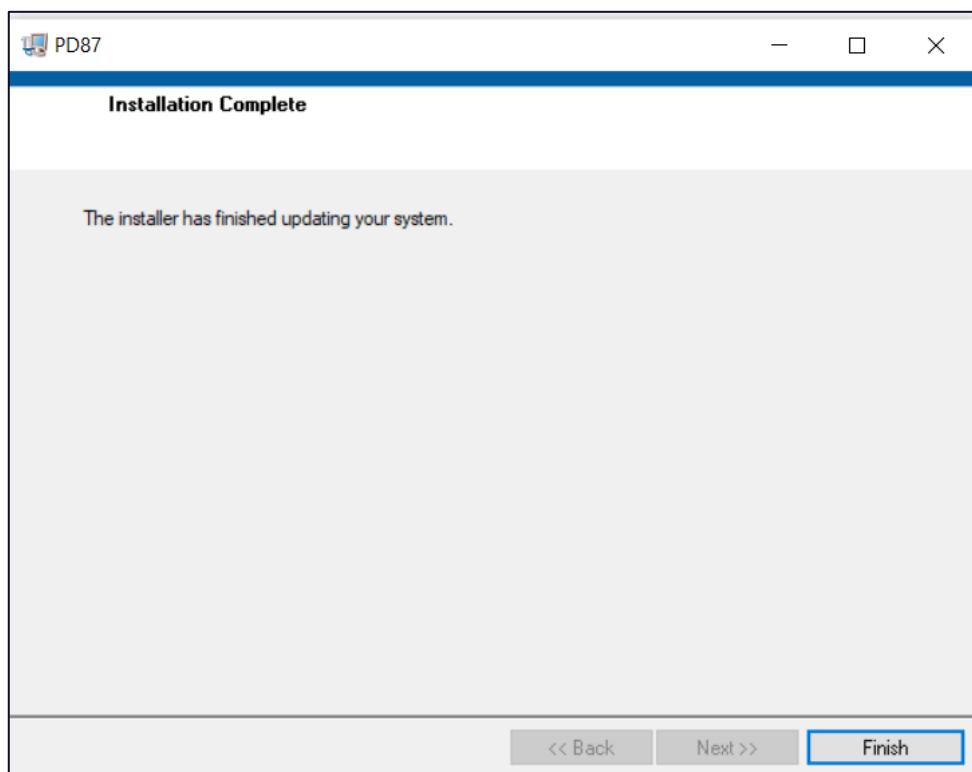
6. Ya que se ha definido el lugar de instalación se mostrará un resumen del contenido de la instalación. Para continuar con el proceso de instalación se deberá dar click en "Next".



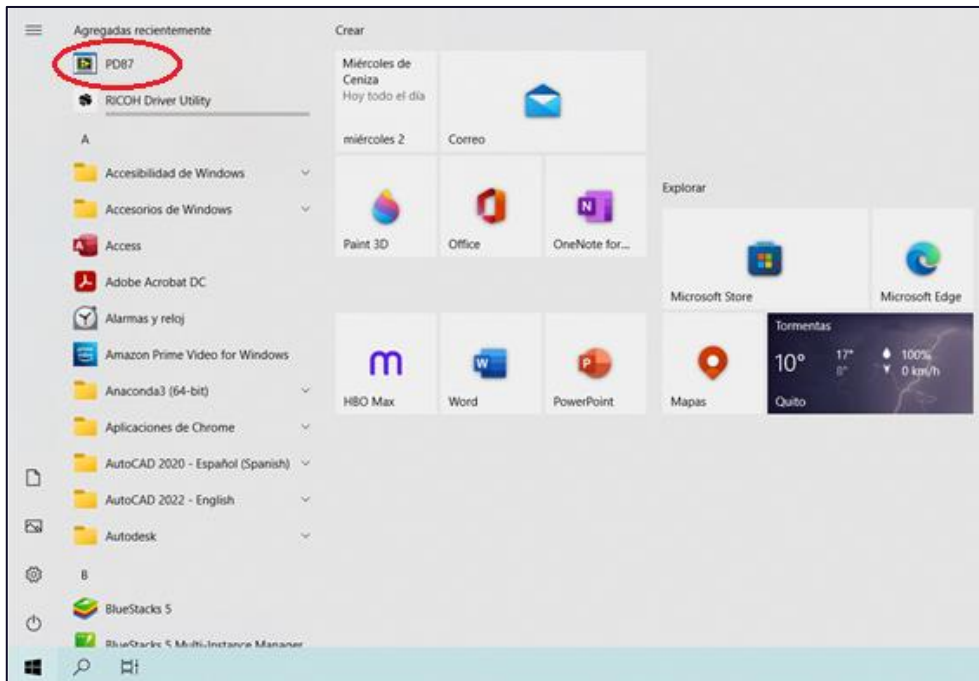
7. A continuación, aparecerá los indicadores del proceso de instalación, mostrando el avance del proceso en porcentaje.



8. Una vez que el proceso se complete al 100%, se habra terminado el proceso de instalación, mostrando el siguiente mensaje.



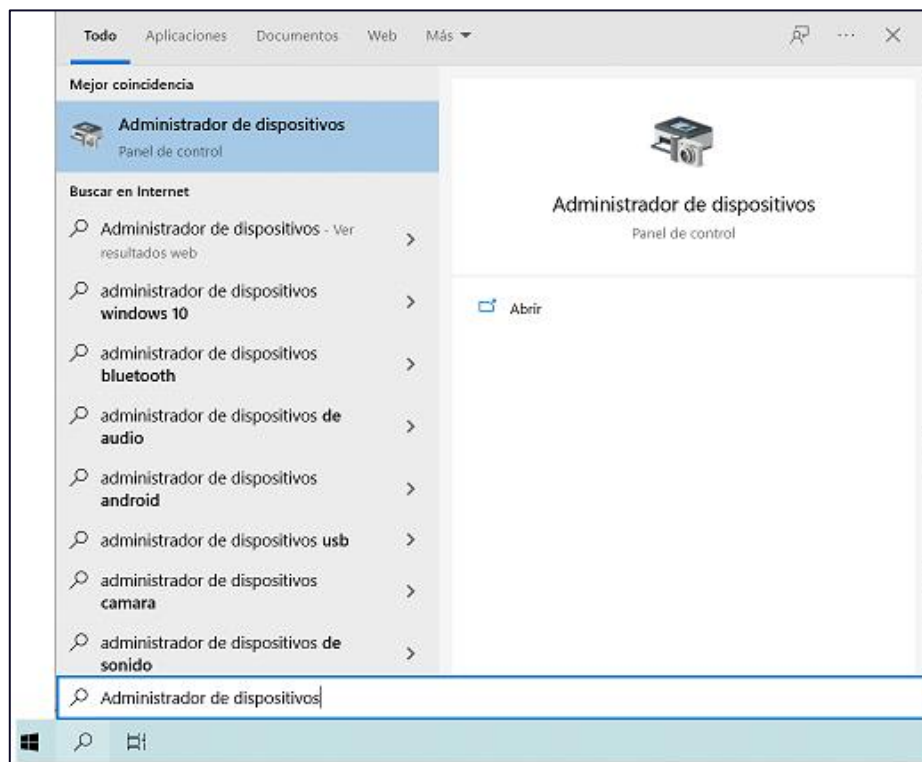
9. Para encontrar la aplicación en el ordenador se puede recurrir al apartado de "Agregadas recientemente"



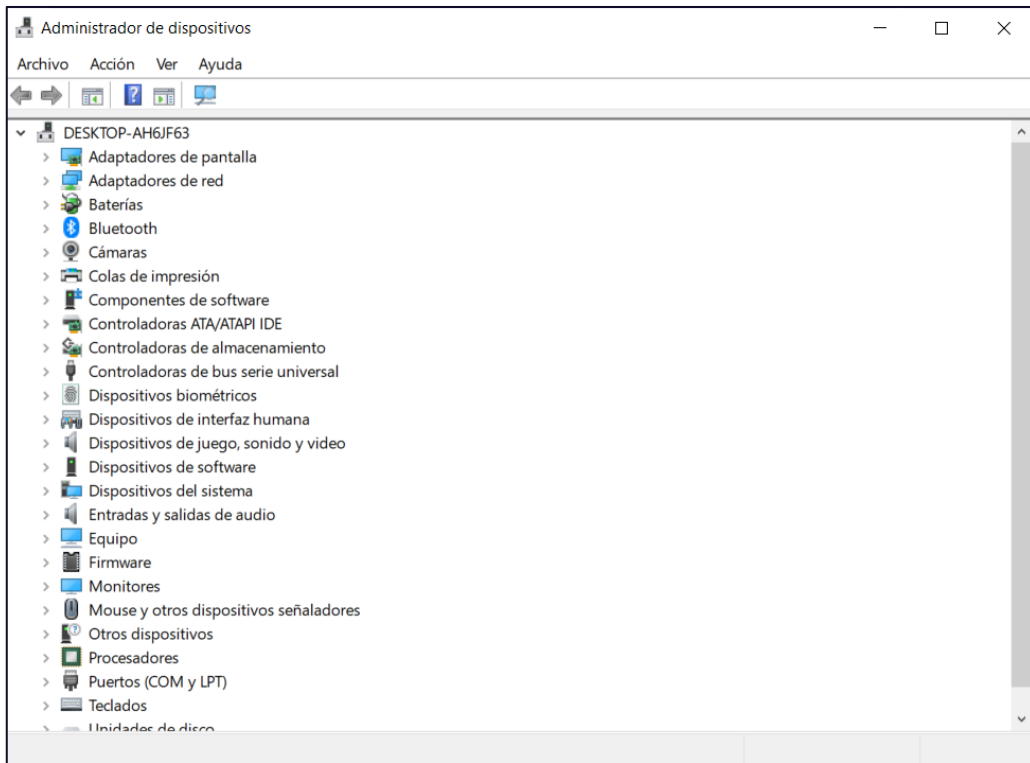
4.4.4. Comunicación serial

Para que se pueda establecer una adecuada comunicación entre Arduino y LABView es necesario seguir el siguiente procedimiento, que permite identificar el puerto de comunicación serial:

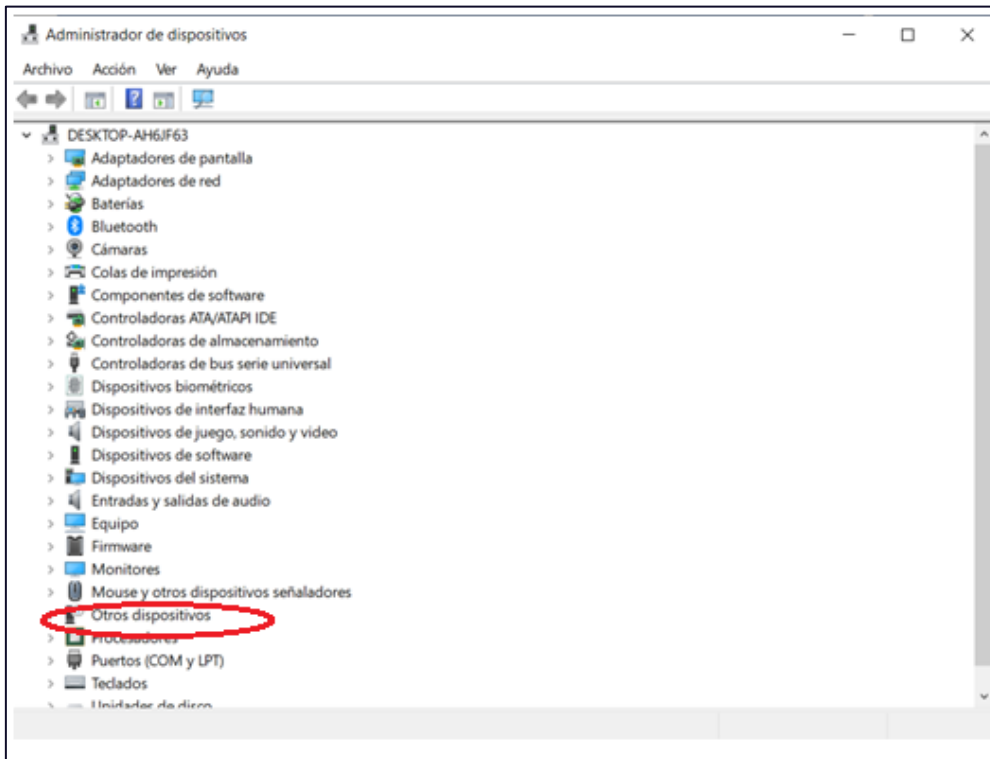
1. Escribir en el buscador de Windows “Administrador de dispositivos”



2. Abrir “Administrador de dispositivos”



3. Identificar “Otros dispositivos”



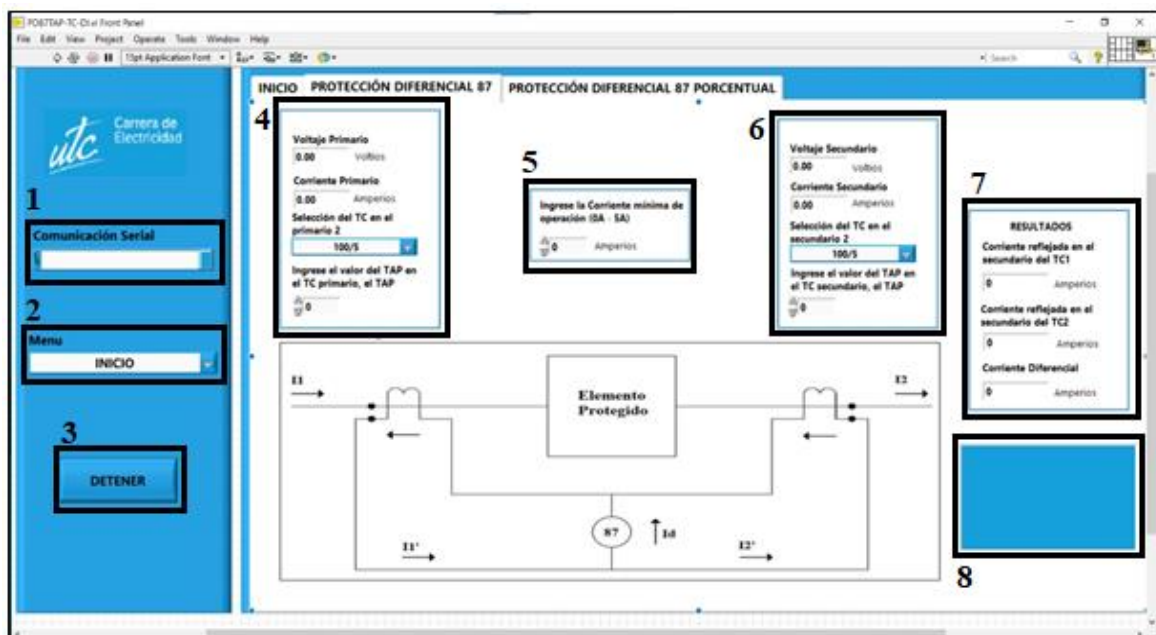
4. Una vez se ahí, se debe identificar el puerto al cual se tiene acceso, este estará compuesto por “COM” y acompañado de un número, por ejemplo, COM3
5. Seleccionar dicho puerto dentro de la interfaz, en el apartado “Comunicación Serial”



4.4.5. Interfaz

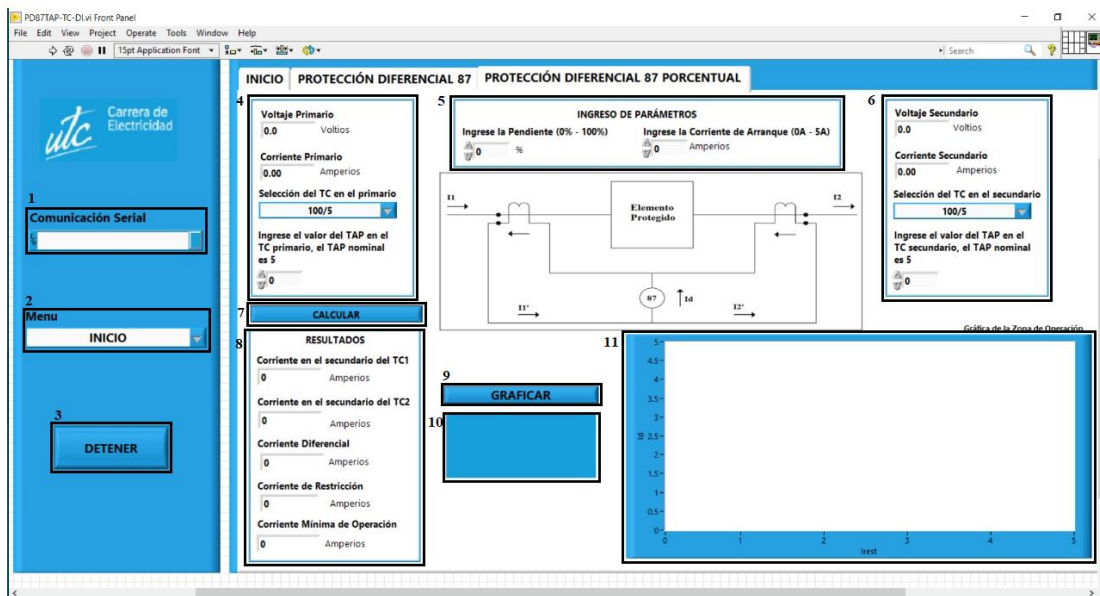
Para poder establecer una comunicación eficiente entre el usuario y la computadora, siendo esta última la encargada de establecer la comunicación serial entre Arduino y LabVIEW, se debe diseñar una interfaz que posibilite ingresar los valores correspondientes a cada parámetro posible, así como también, visualizar el funcionamiento de la protección diferencial 87.

- Protección diferencial 87



1. **Comunicación serial:** Permite seleccionar el puerto al cual se encuentra conectado el microprocesador para poder establecer la comunicación necesaria.
2. **Menú:** Permite seleccionar la función que desee emplear el usuario.
3. **Boton “Detener”:** Permite detener el funcionamiento de la etapa de análisis y toma de datos, se recomienda detener el funcionamiento antes de desconectar por completo el módulo.
4. **Datos del lado primario:** Muestra los datos obtenidos, así como también, permite el ingreso de parámetros asociados al lado primario.
5. **Ingreso de parámetros:** Permite ingresar la corriente mínima de operación.
6. **Datos del lado secundario:** Muestra los datos obtenidos, así como también, permite el ingreso de parámetros asociados al lado secundario.
7. **Indicador:** Dentro del espacio se muestra si la protección diferencial 87 actuaría o no.

- Protección Diferencial 87 porcentual



1. **Comunicación serial:** Permite seleccionar el puerto al cual se encuentra conectado el microprocesador para poder establecer la comunicación necesaria.
2. **Menú:** Permite seleccionar la función que desee emplear el usuario.

3. **Boton “Detener”:** Permite detener el funcionamiento de la etapa de análisis y toma de datos, se recomienda detener el funcionamiento antes de desconectar por completo el módulo.
4. **Datos del lado primario:** Muestra los datos obtenidos, así como también, permite el ingreso de parámetros asociados al lado primario.
5. **Ingreso de parametros:** Dentro de este apartado se puede parametrizar las variables asociadas a la protección diferencial, como la pendiente y la corriente de arranque, además se muestran los rangos que pueden tomar cada parámetro.
6. **Datos del lado secundario:** Muestra los datos obtenidos, así como también, permite el ingreso de parámetros asociados al lado secundario.
7. **Boton “Calcular”:** Permite calcular los valores deseados en función de los cambios de corriente medida, permitiendo así realizar los cambios deseados en la estructura
8. **Resultados:** Muestra los valores obtenidos correspondientes a la corriente diferencial, corriente de restricción y la corriente mínima de operación.
9. **Boton “Graficar”:** Permite graficar la zona de operación de la protección diferencial 87, en base a los parámetros ingresados y los valores calculados.
10. **Indicador:** Dentro del espacio se muestra si la protección diferencial 87 actuaría o no.
11. **Area gráfica:** Muestra el grafico de la zona de operación.

Código: MPELAVPD001

Referencia:






Figura 5 Referencia caja MPELAVPD001

4.5. Simulación de la falla

Para poder simular la falla se implementará 3 focos de 50 W cada uno, con interruptores, estos permitirán encenderlos uno por uno, así como también, se tendera un amperímetro que permita mediar la corriente entrante a los focos.

Materiales:

Tabla 4 Materiales caja MPELAVBCF001-002

Material	Imagen	Características
Focos Incandescentes		- Potencia: 50 W - Voltaje: 110/220 V
Interruptor		- Voltaje: 110/220 V
Amperímetro		- Corriente máxima: 10 A - Voltaje de alimentación: 3-12 V DC

Código: MPELABCF001

MPELABCF002

Referencia:



Figura 6 Referencia caja MPELABCF001






Figura 7 Referencia caja MPELABCF002

4.6. Banco de cargas

Para la elaboración del banco de cargas, estos se ubicarán de forma muy similar a los bancos de cargas para la simulación de fallas con la excepción que los tres focos que se ubicarán serán de 100W cada uno.

Materiales:

Tabla 5 Materiales caja MPELAVBC001

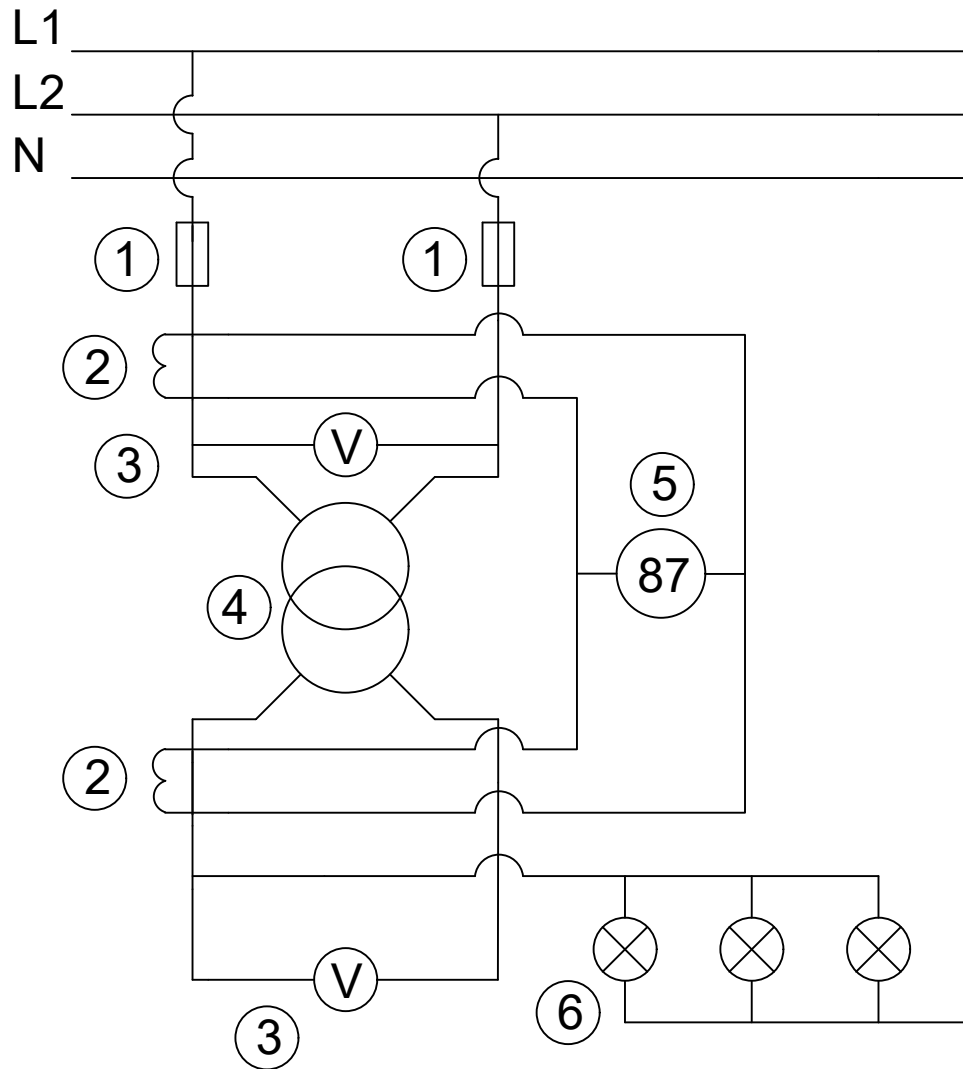
Material	Imagen	Características
Focos Incandescentes		- Potencia: 100 W - Voltaje: 110V
Interruptor		- Voltaje: 110/220 V
Amperímetro		- Corriente máxima: 10 A - Voltaje de alimentación: 3-12 V DC

Código: MPELAVBC001

Referencia:



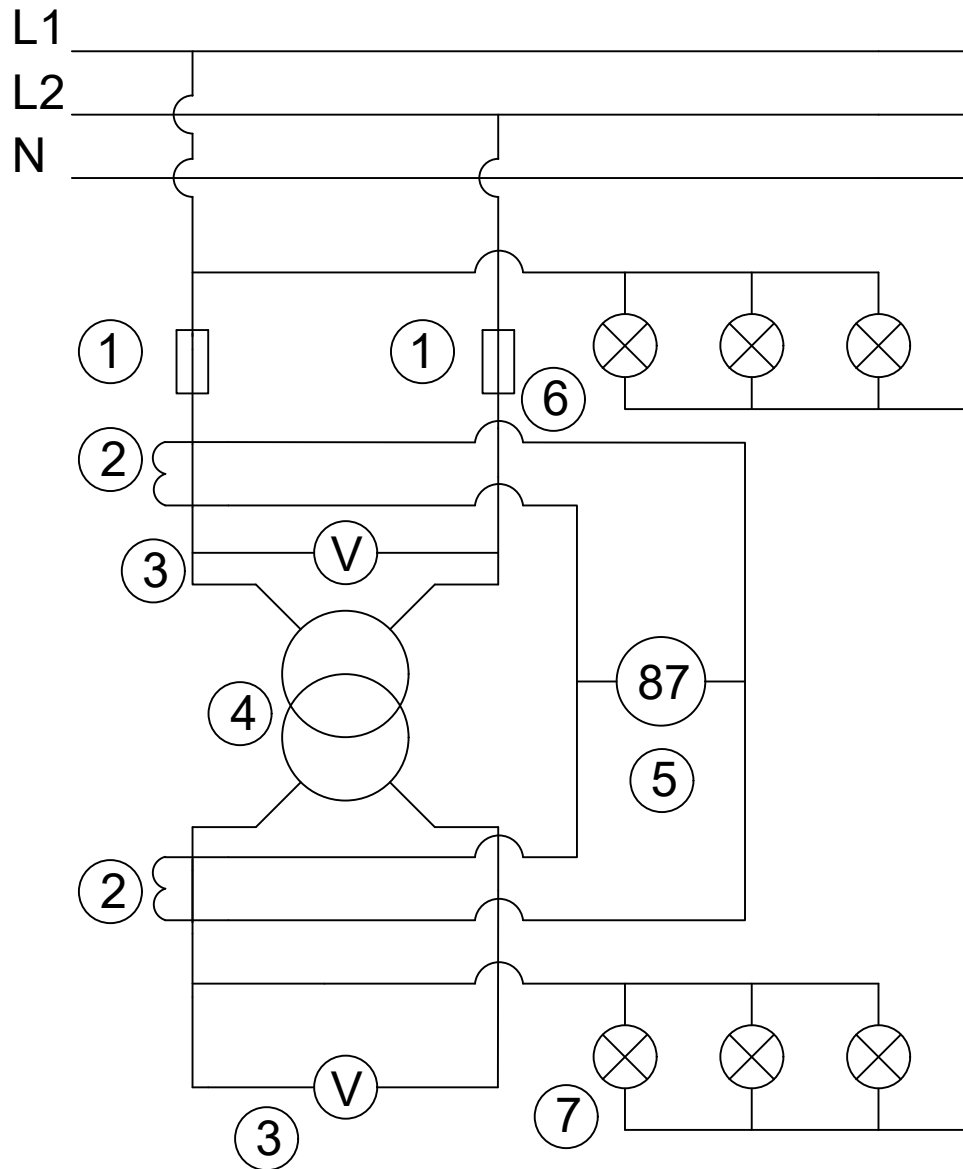
Figura 8 Referencia caja MPELAVBC001



Simbología

1		Fusible (5A)
2		Transformador de Corriente
3		Voltímetro
4		Transformador
5		Protección Diferencial 87
6		Foco (100W/120V)

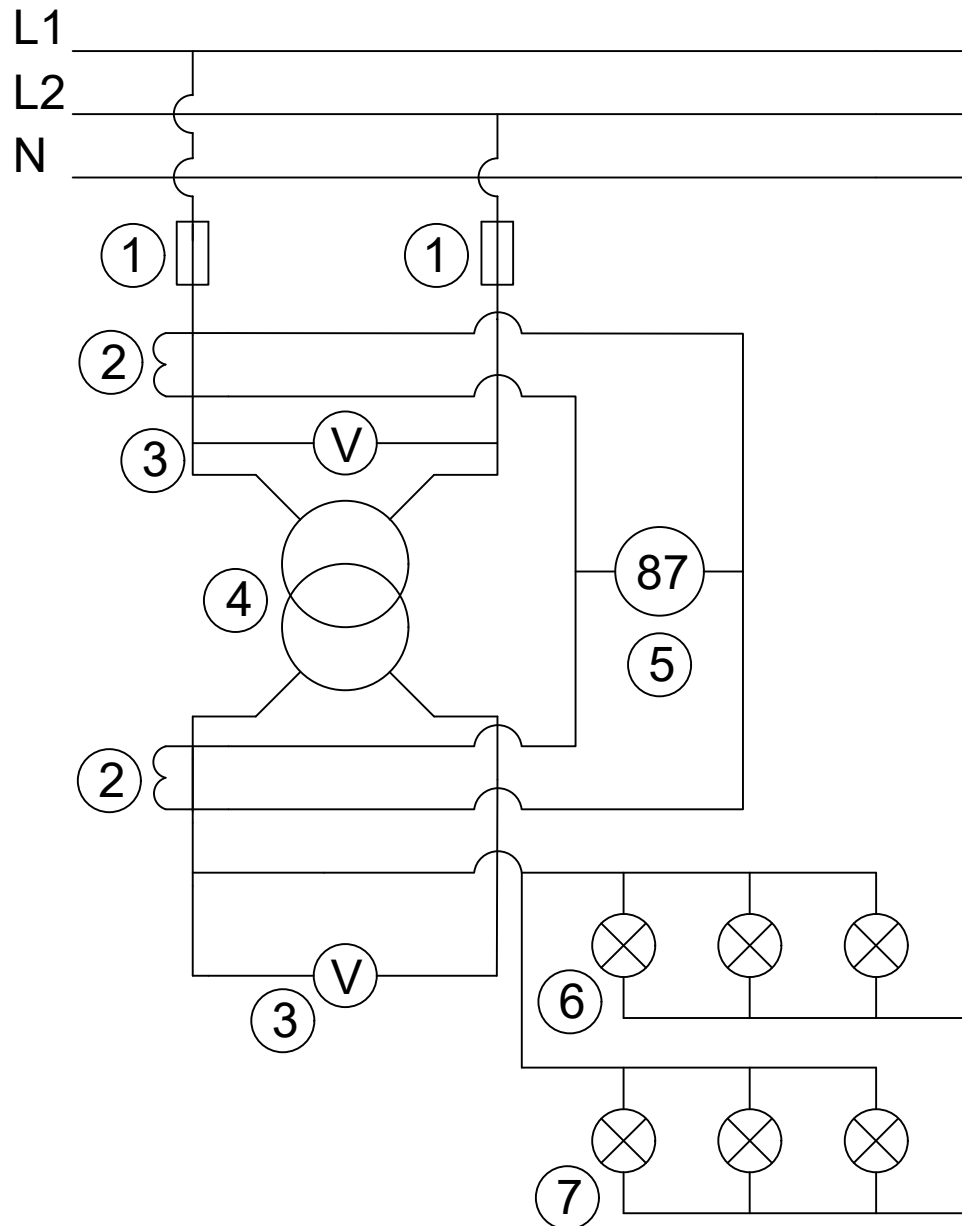
Realizado por: Geovanny Barahona Gabriela Bonilla	Univesidad Técnica de Cotopaxi Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas Carrera de Ingeniería en Electricidad Latacunga - Ecuador		
Proyecto: Propuesta tecnológica	Diagrama trifilar del caso práctico N° 1		
Revisado por: Ms.C. Xavier Proaño			
Recomendó:			
Aprobó:	Escala: 1:10	Coordenadas:	Hoja: 1
Fecha: Febrero 2022	Oficina:	Factibilidad N°:	De: 1



Simbología

1		Fusible (5A)
2		Transformador de Corriente
3		Voltímetro
4		Transformador
5		Protección Diferencial 87
6		Foco (50W/220V)
7		Foco (100W/120V)

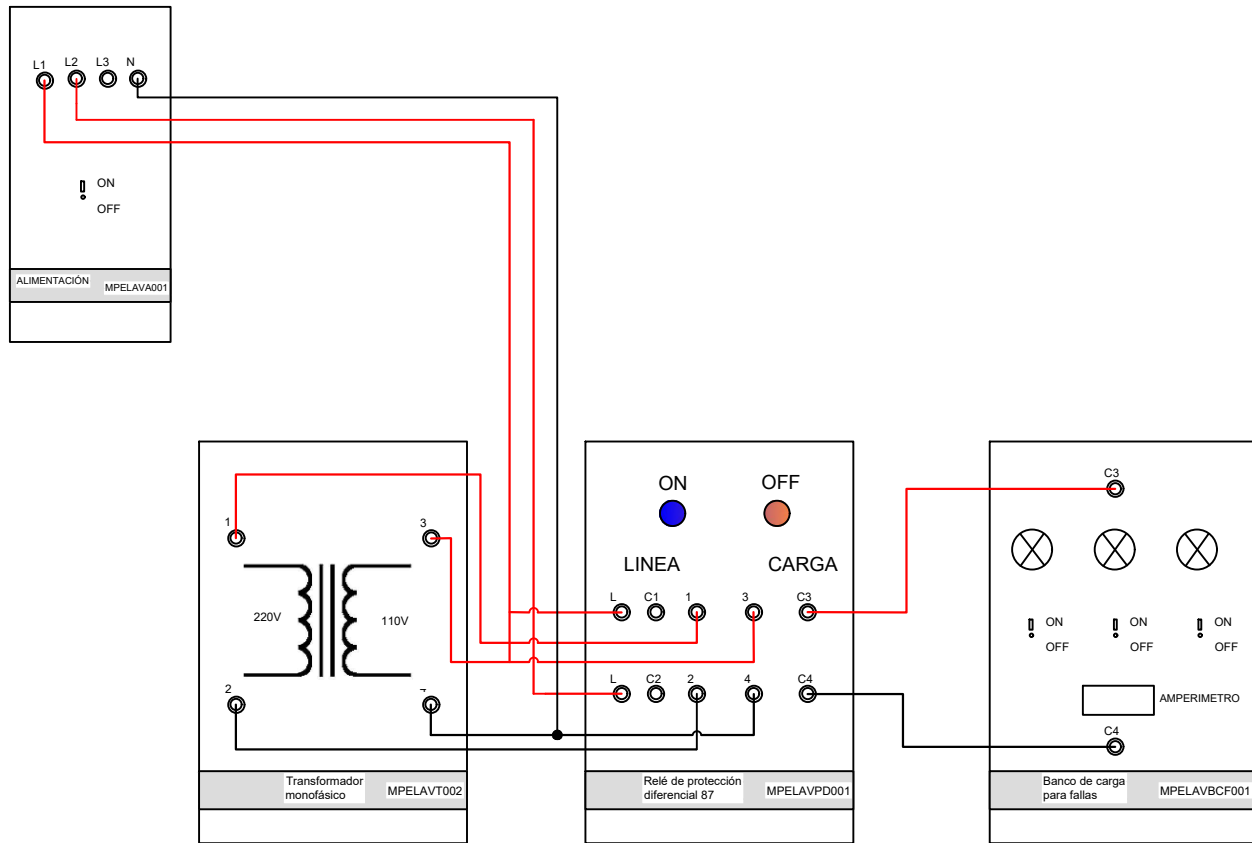
Realizado por: Geovanny Barahona Gabriela Bonilla	Univesidad Técnica de Cotopaxi Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas Carrera de Ingeniería en Electricidad Latacunga - Ecuador		
Proyecto: Propuesta tecnológica	Diagrama trifilar del caso práctico N°2		
Revisado por: Ms.C. Xavier Proaño			
Recomendó:			
Aprobó:	Escala: 1:10	Coordenadas:	Hoja: 1
Fecha: Febrero 2022	Oficina:	Factibilidad N°:	De: 1



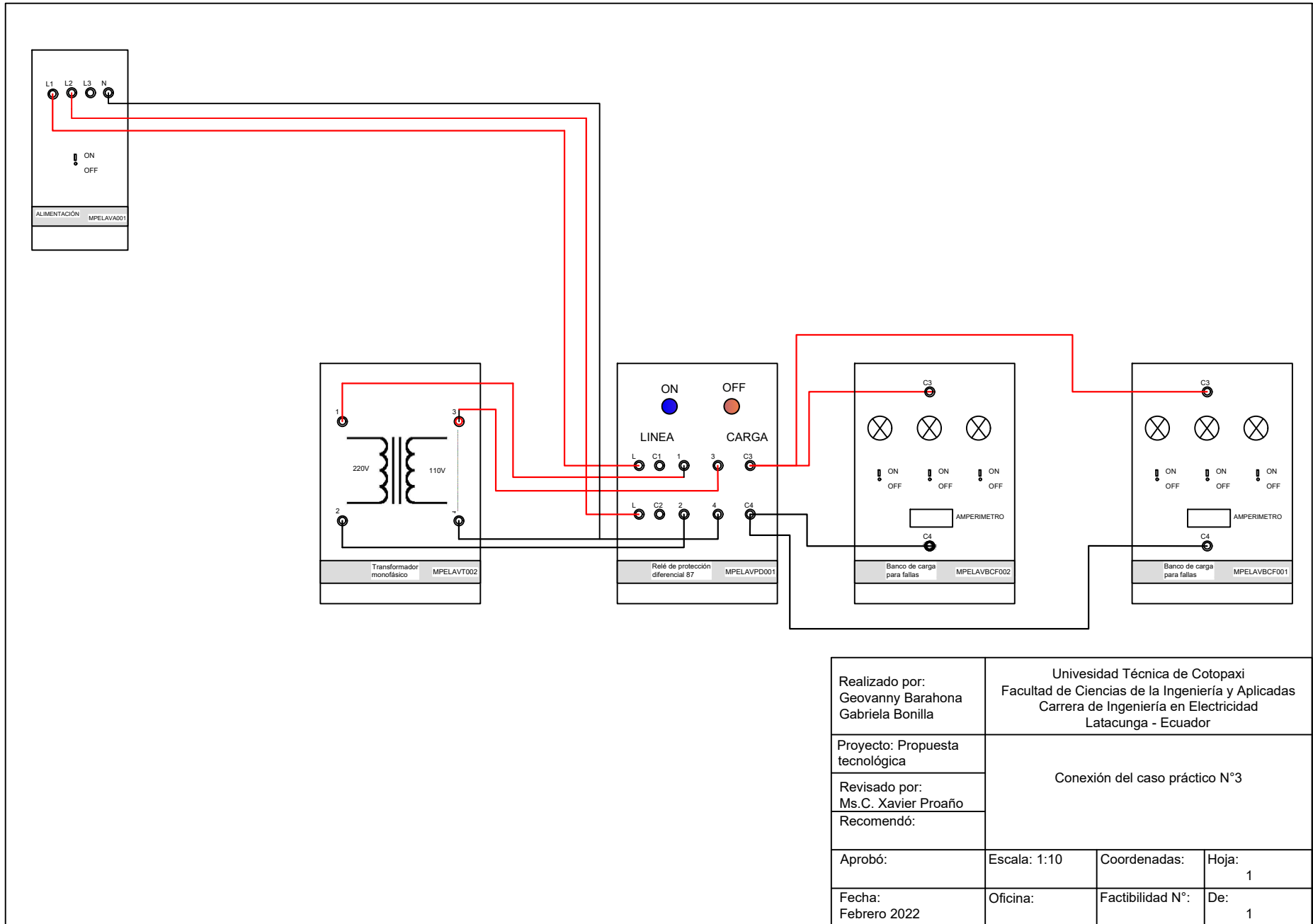
Simbología

1		Fusible (5A)
2		Transformador de Corriente
3		Voltímetro
4		Transformador
5		Protección Diferencial 87
6		Foco (50W/120V)
7		Foco (100W/120V)

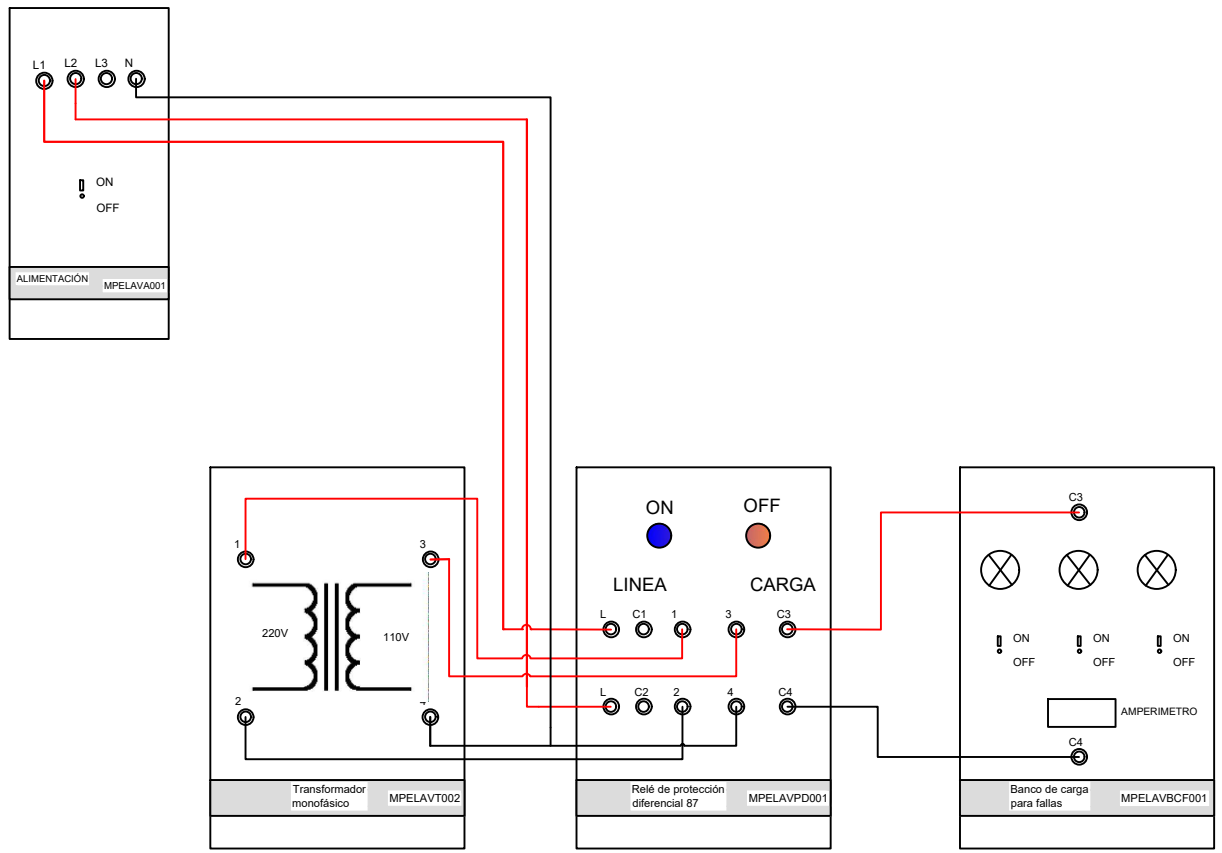
Realizado por: Geovanny Barahona Gabriela Bonilla	Univesidad Técnica de Cotopaxi Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas Carrera de Ingeniería en Electricidad Latacunga - Ecuador		
Proyecto: Propuesta tecnológica	Diagrama trifilar del caso práctico N°3		
Revisado por: Ms.C. Xavier Proaño			
Recomendó:			
Aprobó:	Escala: 1:10	Coordenadas:	Hoja: 1
Fecha: Febrero 2022	Oficina:	Factibilidad N°:	De: 1



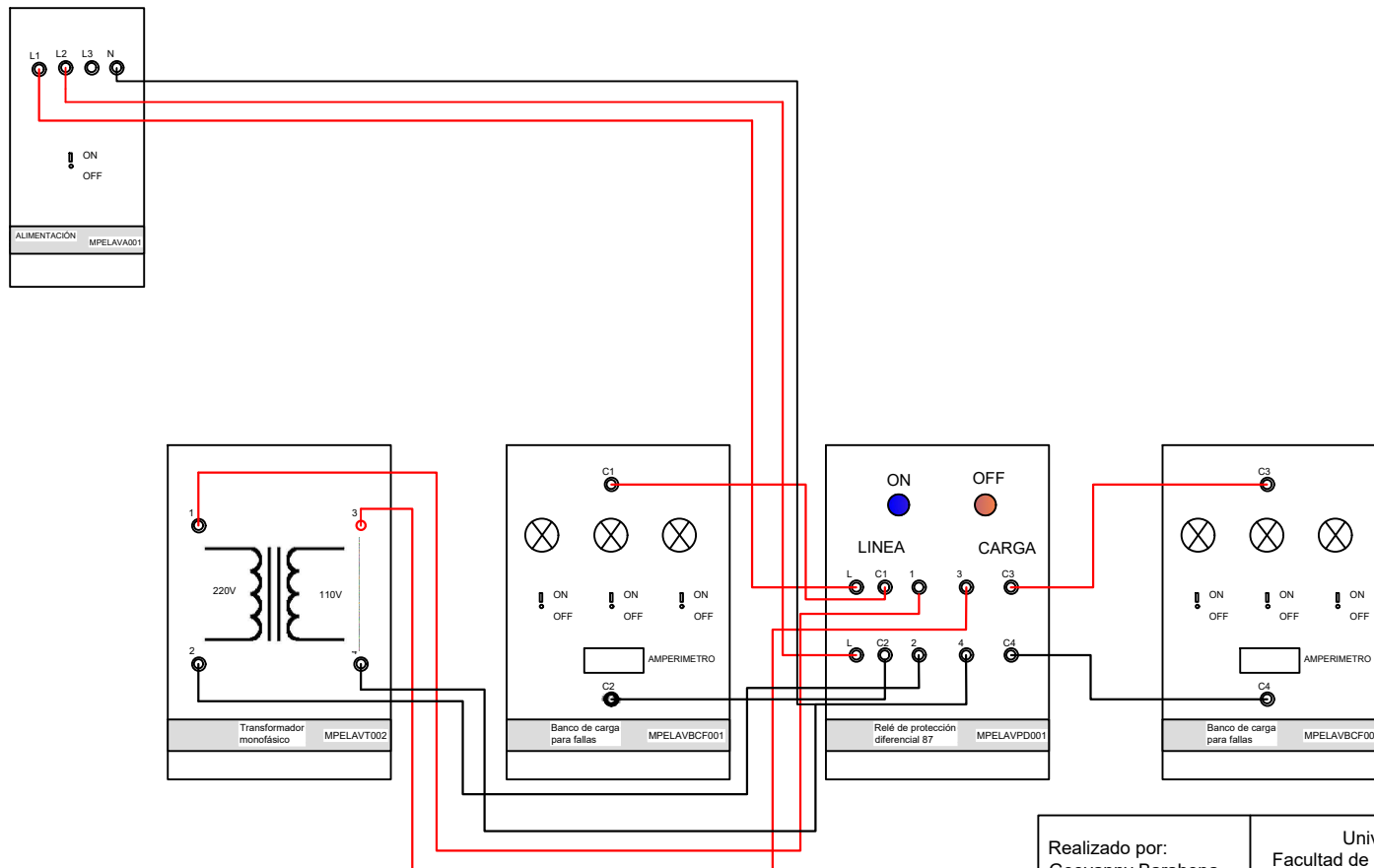
Realizado por: Geovanny Barahona Gabriela Bonilla	Univesidad Técnica de Cotopaxi Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas Carrera de Ingeniería en Electricidad Latacunga - Ecuador		
Proyecto: Propuesta tecnológica	Conexión del caso práctico N°1		
Revisado por: Ms.C. Xavier Proaño			
Recomendó:			
Aprobó:	Escala: 1:10	Coordenadas:	Hoja: 1
Fecha: Febrero 2022	Oficina:	Factibilidad N°:	De: 1



Realizado por: Geovanny Barahona Gabriela Bonilla	Univesidad Técnica de Cotopaxi Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas Carrera de Ingeniería en Electricidad Latacunga - Ecuador		
Proyecto: Propuesta tecnológica	Conexión del caso práctico N°3		
Revisado por: Ms.C. Xavier Proaño			
Recomendó:			
Aprobó:	Escala: 1:10	Coordenadas:	Hoja: 1
Fecha: Febrero 2022	Oficina:	Factibilidad N°:	De: 1



Realizado por: Geovanny Barahona Gabriela Bonilla	Univesidad Técnica de Cotopaxi Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas Carrera de Ingeniería en Electricidad Latacunga - Ecuador		
Proyecto: Propuesta tecnológica	Conexión del caso práctico N°1		
Revisado por: Ms.C. Xavier Proaño Recomendó:			
Aprobó:	Escala: 1:10	Coordenadas:	Hoja: 1
Fecha: Febrero 2022	Oficina:	Factibilidad N°:	De: 1



Realizado por: Geovanny Barahona Gabriela Bonilla	Univesidad Técnica de Cotopaxi Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas Carrera de Ingeniería en Electricidad Latacunga - Ecuador		
Proyecto: Propuesta tecnológica	Conexión del caso práctico N°2		
Revisado por: Ms.C. Xavier Proaño			
Recomendó:			
Aprobó:	Escala: 1:10	Coordenadas:	Hoja: 1
Fecha: Febrero 2022	Oficina:	Factibilidad N°:	De: 1