



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO ELECTROMECAÁNICO**

**TEMA: DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO
DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE CURVAS DE OPERACIÓN EN LOS
RELÉS ELECTROMECAÁNICOS DE SOBRECORRIENTE INVERSO E
INSTANTÁNEO (50/51).**

**AUTORES: ANALUISA ANALUISA, PAÚL RENATO
PERALVO PERALVO, HENRRY ALEXANDER**

DIRECTOR: ING. MULLO QUEVEDO, ÁLVARO SANTIAGO

LATACUNGA

2020



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE CURVAS DE OPERACIÓN EN LOS RELÉS ELECTROMECAÁNICOS DE SOBRECORRIENTE INVERSO E INSTANTÁNEO (50/51)**” fue realizado por los señores **Analuisa Analuisa, Paúl Renato y Peralvo Peralvo, Henry Alexander**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 2 de Julio del 2020

Firma:

Ing. Álvaro Santiago Mullo Quevedo

C.C.: 0502768542

DIRECTOR DE PROYECTO



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Analuisa Analuisa, Paúl Renato y Peralvo Peralvo, Henry Alexander**, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE CURVAS DE OPERACIÓN EN LOS RELÉS ELECTROMECAÁNICOS DE SOBRECORRIENTE INVERSO E INSTANTÁNEO (50/51)”**, son de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 2 de Julio del 2020

Analuisa Analuisa, Paúl Renato

C.C.: 180446232-1

Peralvo Peralvo, Henry Alexander

C.C.: 050351276-6



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Analuisa Analuisa, Paúl Renato y Peralvo Peralvo, Henry Alexander**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“DIMENSIONAMIENTO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO PARA EL ANÁLISIS DE CURVAS DE OPERACIÓN EN LOS RELÉS ELECTROMECAÁNICOS DE SOBRECORRIENTE INVERSO E INSTANTÁNEO (50/51)”**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 2 de Julio del 2020



Analuisa Analuisa, Paúl Renato

C.C.: 180446232-1



Peralvo Peralvo, Henry Alexander

C.C.: 050351276-6

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación le dedico primeramente a Dios y a todos mis Santos Devotos por darme siempre la fe y la confianza de seguir adelante.

A mis padres Narciza Peralvo y Enrique Peralvo por ser un ejemplo a seguir y sobre todo por apoyarme día a día en esta etapa de mi vida, y estar a mi lado en los momentos más difíciles de mi carrera.

A mi hermana Daniela Peralvo por ser el motor para yo seguir adelante y apoyarme en ella en los momentos más difíciles y no darme por vencido y terminar esta etapa de mi vida. A mis abuelitos, tíos, primos en fin todos los de la casa por ser siempre una familia unida y apoyarme en todo. Finalmente, a Daysi por darme su apoyo incondicional y no dejarme vencer y estar conmigo en cada momento difícil que fue la vida universitaria.

Henry

El presente trabajo de titulación lo dedico a dios por darme sabiduría y fortaleza para poder alcanzar esta meta importante en mi vida. A mis padres por brindarme la vida y por sus palabras de aliento que han sido mi fortaleza para guiare, por el sendero del bien.

Especialmente a mi madre Llaqueline la cual fue y será un pilar fundamental en mi vida, ya que con su esfuerzo y sacrificio ha permitido que esté cumpliendo esta meta, ya que es mi ejemplo de perseverancia y lucha.

A mis hermanos, que a pesar de las diferencias su amor es incondicional.

Paul

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero expresar mis profundos agradecimientos a mis padres y mi familia que gracias a su esfuerzo y trabajo hicieron posible en toda mi vida no haga falta nada, y me llenaron de muchos consejos para yo poder seguir adelante, también brindo mi profundo agradecimiento al Ing. Álvaro Mullo ya que siendo el director de mi proyecto me brindo de su apoyo, tiempo y conocimientos para poder concluir mi trabajo de titulación. Finalmente, a mis compañeros, amigos de la carrera de Ingeniería Electromecánica especialmente a los Barbáricos por todos los momentos vividos durante la carrera.

Henry

Agradezco infinitamente a Dios por permitir tener a toda mi familia presente en mi vida ya que me han brindado, sabiduría y comprensión para cumplir una meta más.

A mis padres Llaqueline e Iban quienes, con su ejemplo de trabajo, esfuerzo y sus palabras de aliento fueron mi fortaleza para guiarme en el camino de mis estudios.

A mis hermanos Valeria e Iván por su comprensión; a mi hermanito Josué por ser ejemplo de lucha y perseverancia.

A mis Abuelitos, tíos y toda mi familia que ha compartido cada instante de mi vida y me han brindado su apoyo.

A mi tutor de tesis, que estuvo pendiente del desarrollo y culminación de la misma, de igual manera a Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE y a toda la Carrera de Ingeniería Electromecánica, por brindarme la oportunidad para poder formarme como profesional de la mano de grandes docentes.

A mis compañeros de clase, con quienes compartimos buenos y malos momentos, ya que jugaron un papel importante en el transcurso de mi carrera ayudándome a crecer profesional y personalmente.

Gracias a todos.

Paul

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA	i
CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	iii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
RESUMEN	xix
ABSTRACT	xx

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Antecedentes	1
1.2.	Planteamiento del Problema de Investigación	2
1.3.	Justificación e Importancia	3
1.4.	Objetivos	4
1.4.1.	Objetivo General	4
1.4.2.	Objetivos Específicos	4

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1.	Protecciones Eléctricas	6
2.1.1.	Tipos de Protecciones Eléctricas.....	7
a)	Protección contra Cortocircuitos	7
b)	Protección contra Sobrecargas.....	8
2.2.	Relés de Protección	9
2.2.1.	Tipos de relés de protección según su construcción.....	10
a)	Relés electromecánicos.....	10
b)	Relés digitales	11
2.2.2.	Tipos de relés de protección según el tipo de protección.....	12
a)	Protecciones de las sobrecorrientes	13
b)	Característica de operación de las protecciones de sobrecorriente	14
2.3.	Relés de Sobrecorriente	14
2.3.1.	Tipos de relés de acuerdo al sentido de detección de la corriente	15
a)	Relés de sobrecorriente no direccionales	15
b)	Relés de sobrecorriente direccionales	15
2.3.2.	Tipos de relés de sobrecorriente de acuerdo al tiempo de operación.	16
a)	Relés de sobrecorriente instantáneos.....	16
b)	Relés de sobrecorriente temporizados	16
2.3.3.	Tipos de relés de sobrecorriente por la característica de operación	16
a)	Relés de corriente definida	17
b)	Relés de corriente definida y tiempo definido	18
c)	Relés de tiempo inverso	19

2.4.	Parámetros para la configuración de un relé de sobrecorriente	20
2.4.1.	Dial	21
2.4.2.	TAP	22
2.4.3.	Corriente nominal (<i>I_n</i>)	23
2.4.4.	Relación de transformación (<i>RTC</i>)	23
2.5.	Modelo matemático de los relés de sobrecorriente	23
2.6.	Relés electromecánicos de sobrecorriente 51	25
2.6.1.	Tipos de relés de sobrecorriente 51	26
a)	Tipo inverso 51I	26
b)	Tipo muy inverso 51Y	27
c)	Tipo extremadamente inverso 51E	27
d)	Tipo de corto tiempo 51S.....	27
e)	Tipo de tiempo definido 51D	28
f)	Tipo de larga duración 51L, 51YM, 51IM	28
2.7.	Relés electromecánicos de sobrecorriente 50	28
2.7.1.	Tipos de relés de sobrecorriente 50.....	29
a)	Tipo instantáneo 50H.....	30
b)	Tipo de tiempo definido 50D	30
2.8.	Transformadores de corriente.....	30
2.9.	Interruptores termomagnéticos	31
2.10.	Luces Piloto	32
2.11.	Sensores de corriente.....	33
2.12.	Pantalla Nextion	34
2.13.	Arduino Mega	35

2.14.	Hipótesis.....	36
2.15.	Variables de investigación	36
2.15.1.	Variable independiente	36
2.15.2.	Variable dependiente.....	36

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1.	Modalidad de Investigación	38
3.1.1.	Método Bibliográfico Documental	38
3.1.2.	Método Inductivo – Deductivo.....	38
3.1.3.	Método Experimental.....	39
3.2.	Tipo de investigación	39
3.2.1.	Investigación Descriptiva	39
3.2.2.	Investigación Fundamental.....	40
3.3.	Diseño de la Investigación	40
3.4.	Técnicas e Instrumentos de recolección de datos	40
3.4.1.	Fuentes de Información	40
3.4.2.	Instrumentos de la Investigación	41
3.4.3.	Métodos de Recolección de datos	41
3.5.	Instrumentos.....	41
3.6.	Valides y confiabilidad	42
3.7.	Técnicas de comprobación de hipótesis	42

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

4.1.	Análisis de resultados.....	43
4.2.	Equipos utilizados.....	44
4.2.1.	ABB Circuit- Shield Type 51L	44
4.2.2.	ABB Circuit- Shield Type 50D.....	45
4.2.3.	Amperímetro.....	45
4.2.4.	Módulo de resistencias 8311 Lab-Volt.....	46
4.2.5.	Fuente de alimentación 8821 Lab-Volt	47
4.3.	Curva característica de operación Circuit- Shield Type 51L.....	48
4.3.1.	Curva de operación del Datasheet	48
4.3.2.	Valores medidos físicamente de los tiempos de operación del relé 51L	50
4.4.	Curva característica de operación Circuit- Shield Type 50D	64
4.4.1.	Curva de operación del Datasheet	64
4.4.2.	Valores medidos físicamente de los tiempos de operación del relé 50D.....	65
4.5.	Valoración de la construcción del módulo.....	68

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1.	Tema de propuesta	69
5.2.	Datos Informativos.....	69
5.2.1.	Beneficiarios.....	69
5.3.	Objetivos	70

5.3.1.	Objetivo General.....	70
5.3.2.	Objetivos Específicos	70
5.3.	Justificación de la Propuesta	71
5.4.	Fundamentación Propuesta.....	71
5.5.	Diseño de la Propuesta	72
5.6.1.	Resumen.....	72
5.7.	Selección de dispositivos electrónicos y mecánicos	73
5.7.1.	Selección de los transformadores de corriente	73
a)	Características técnicas.....	74
5.7.2.	Selección de los sensores de corriente	74
a)	Características técnicas.....	75
5.7.3.	Selección de los interruptores automáticos magnetotérmicos.....	77
a)	Características principales.....	77
5.7.4.	Selección del controlador	78
a)	Selección de la placa de control principal	79
5.7.5.	Selección del HMI para el módulo	80
5.7.6.	Selección de los relés electrónicos	81
a)	Características del relé electrónico	82
5.7.7.	Selección del lector de tarjeta de memoria	82
a)	Características técnicas.....	83
5.8.	Metodología para la ejecución de la propuesta.....	84
5.8.1.	Diseño mecánico del módulo.....	84
5.8.2.	Esquema de conexión de los componentes electrónicos.....	84
5.8.3.	Comunicación del módulo con el ordenador	85

5.9.	Programación de las placas de control.....	87
5.9.1.	Programación Arduino Mega	87
a)	Esquema inicial	87
b)	Configuración de variables iniciales.....	88
c)	Creación de la base de datos	88
5.10.	Programación de la interfaz grafica	90
5.10.1.	Creación del entorno de la Pantalla Nextion	90
a)	Selección de la pantalla a utilizar.....	90
b)	Ubicación de imágenes	91
c)	Configuración de la pantalla	91
d)	Crear un botón.....	92
e)	Configuración del botón.....	93
f)	Crear una nueva pagina	94
g)	Programación de los botones	95
5.11.	Ventana de simulación.	96
5.12.	Cargar el programa a la pantalla	97
5.12.1.	Abrir el archivo TFT	97
5.12.2.	Como cargar el programa a la pantalla nextion	98
5.12.3.	Comunicación de la Interfaz gráfica con el Arduino Mega	99
5.13.	Pruebas de medición del módulo.....	99
5.14.	Pruebas del cálculo del tiempo de operación.....	101
5.15.	Pruebas de relación del tiempo de operación de los relés con el tiempo calculado por el módulo didáctico.	105

5.16.	Pruebas de relación de la curva de operación real con la curva con los valores calculados por el módulo didáctico.....	106
5.17.	Validación de la hipótesis	108
	CONCLUSIONES	110
	RECOMENDACIONES	112
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
	ANEXOS.....	117

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Constantes de forma para ecuación exponencial según normas IEC	24
Tabla 2.	Operacionalización de la variable independiente.....	37
Tabla 3.	Operacionalización de la variable dependiente	37
Tabla 4.	Datos del Relé 51L con Tap=2,5 A.....	51
Tabla 5.	Datos del Relé 51L con Tap=2,8 A.....	53
Tabla 6.	Datos del Relé 51L con Tap=3,1 A.....	55
Tabla 7.	Datos del Relé 51L con Tap= 3,5 A.....	57
Tabla 8.	Datos del Relé 51L con Tap= 4 A.....	59
Tabla 9.	Datos del Relé 51L con Tap= 4,5 A.....	61
Tabla 10.	Datos del Relé 51L con Tap= 5 A.....	63
Tabla 11.	Datos del Relé 50D con corriente de carga= 10 A.....	67
Tabla 12.	Rangos de corrientes de sensores de efecto Hall	76
Tabla 13.	Características de los controladores	78
Tabla 14.	Datos del relé 51L calculados por el programa.....	100
Tabla 15.	Valores del tiempo de operación del relé 51L calculados por el módulo	104
Tabla 16.	Relación de los valores de t de operación del relé 51L Tap=2.5, Dial=1	105
Tabla 17.	Relación de los valores de t de operación del relé 51L Tap=5, Dial=10	106
Tabla 18.	Valores reales y del módulo del relé 51L.....	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Fundamento de Cortocircuito.....	8
Figura 2.	Interruptor Magneto térmico.....	9
Figura 3.	Relé de sobrecorriente ABB	11
Figura 4.	Relé de sobrecorriente tipo digital.....	12
Figura 5.	Curvas características de operación de las protecciones de sobrecorriente.	14
Figura 6.	Relé de corriente definida	17
Figura 7.	Relé de corriente definida y tiempo definido	18
Figura 8.	Relés de tiempo inverso	19
Figura 9.	Diferentes tipos de relés de tiempo inverso	20
Figura 10.	Botones DIAL Y TAP de configuración de los relés de sobrecorriente	21
Figura 11.	Curvas de operación con diferente DIAL	22
Figura 12.	Curva característica de los relés de tiempo inverso 51	26
Figura 13.	Curva característica de los relés de tiempo instantáneo 50	29
Figura 14.	Curva de actuación de los transformadores de corriente	31
Figura 15.	Interruptor termomagnético de dos polos.....	32
Figura 16.	Luz piloto de 220v.....	33
Figura 17.	Pantalla Nextion de 6 pulgadas.	34
Figura 18.	Estructura del Arduino Mega utilizado en el proyecto	35

Figura 19.	ABB CIRCUIT- SHIELD TYPE 51L.....	44
Figura 20.	ABB CIRCUIT- SHIELD TYPE 50D	45
Figura 21.	Amperímetro.....	46
Figura 22.	Módulo de resistencias 8311 Lab-Volt	47
Figura 23.	Fuente de alimentación 8821 Lab-Volt.....	48
Figura 24.	Curva de operación del relé 51L según el datasheet	49
Figura 25.	Curva de operación del Relé 51L con Tap= 2,5 A.....	52
Figura 26.	Curva de operación del Relé 51L con Tap= 2,8 A.....	54
Figura 27.	Curva de operación del Relé 51L con Tap= 3,1 A.....	56
Figura 28.	Curva de operación del Relé 51L con Tap= 3,5 A.....	58
Figura 29.	Curva de operación del Relé 51L con Tap= 4 A.....	60
Figura 30.	Curva de operación del Relé 51L con Tap= 4,5 A.....	62
Figura 31.	Curva de operación del Relé 51L con Tap= 5 A.....	64
Figura 32.	Curva de operación del Relé 50 D datasheet.....	65
Figura 33.	Curvas de operación del Relé 50 D	67
Figura 34.	Sensor efecto Hall ACS712-20 ^a	75
Figura 35.	Controlador Arduino MEGA	80
Figura 36.	Pantalla Nextion.....	81
Figura 37.	Relé electrónico de 5V DC.....	82
Figura 38.	Conexión del módulo SD CARD con el Arduino MEGA	83
Figura 39.	Diseño del módulo estructura física	84
Figura 40.	Esquema de la conexión de componentes electrónicos.....	85
Figura 41.	Conexión del módulo con el ordenador.....	86
Figura 42.	Esquema del proceso de Programación	87

Figura 43.	Líneas de código de la declaración de variables.....	88
Figura 44.	Variables para la creación de la Base de Datos.....	89
Figura 45.	Pantallas de selección en el programa Nextion	90
Figura 46.	Ventana para personalizar la interfaz de la pantalla.....	91
Figura 47.	Opciones de configuración de la pantalla Nextion.....	92
Figura 48.	Configuración de la pantalla HMI	92
Figura 49.	Ventana de configuración de botones.....	93
Figura 50.	Ventana de configuración de los botones	94
Figura 51.	Ventana para la creación de Paginas	95
Figura 52.	Líneas de código de la programación de botones.....	96
Figura 53.	Interfaz gráfica de nuestro módulo.....	97
Figura 54.	Ventana para guardar la configuración de la HMI	98
Figura 55.	Ventana de Cargado de la configuración en nuestra pantalla Nextion	98
Figura 56.	Comunicación de la interfaz gráfica de la HMI con el Arduino MEGA	99
Figura 57.	Curva de operación del relé 51L con datos del módulo	101
Figura 58.	Curvas de operación del relé 51L con valores calculados por el módulo	104
Figura 59.	Curvas de operación del relé 51L de lo real con los valores del módulo	108

RESUMEN

El proyecto está enfocado al dimensionamiento e implementación de un módulo didáctico para el análisis de curvas de operación en los relés electromecánicos de sobrecorriente inverso e instantáneo (50/51). El presente módulo consiste principalmente de tres relés electromecánicos, dos de tipo 51 de tiempo inverso y un 50 de tiempo instantáneo, a los cuales se aplicará carga de 8 a 2.5 amperios en una escala de 0.5, mediante un módulo de resistencias y para aumentar la carga se conecta 6 TC ubicados en cada una de las tres líneas de las dos barras. Para la visualización de los valores de la carga y de los tiempos de operación se dispone de una HMI la cual recibe las señales a partir de tres sensores controlados por un Arduino mega, que con la programación calcula los valores de t de operación, estos dependen de varios parámetros como el Dial el Tap. El relé 51L el Dial que varía de 1 a 10 en una escala de 1 y el Tap que varía de 2,5 a 5 A, consta de un tiempo mínimo de operación de 6,795 s y un máximo de 125,12 min. El relé 50D el Dial varía de 0,1 a 3 y el Tap varia de 1 a 10 A en escala de 1, el relé es instantáneo y saltará a los 20 ms en corrientes mayores a su configuración. Los datos serán almacenados en un lector de memoria ubicado en el módulo y estos valores mediante la ayuda de un Software se pueden graficar y así verificar las curvas de operación.

PALABRAS CLAVE:

- **RELÉS ELECTROMECAÑICOS**
- **SOBRECORRIENTE**
- **PROTECCIONES ELÉCTRICAS**

ABSTRACT

The project is focused on the dimensioning and implementation of a didactic module for the analysis of operation curves in the reverse and instantaneous overcurrent electromechanical relays (50/51). This module consists mainly of three electromechanical relays, two of type 51 inverse time and 50 of instantaneous time, to which a load of 8 to 2.5 amps will be applied on a scale of 0.5, by means of a resistance module and to increase the load connects 6 CTs located in each of the three lines of the two bars. For the display of the values of the load and the times of operation there is an HMI which receives the signals from three sensors controlled by a mega Arduino, which with the programming calculates the values of t of operation, these depend of various parameters such as the Dial the Tap. The relay 51L the Dial that varies from 1 to 10 on a scale of 1 and the Tap that varies from 2.5 to 5 A, consists of a minimum operating time of 6.795 s and a maximum of 125.12 min. The 50D relay the Dial varies from 0.1 to 3 and the Tap varies from 1 to 10 A on a scale of 1, the relay is instantaneous and will jump to 20 ms in currents greater than its configuration. The data will be stored in a memory reader located in the module and these values can be graphed with the help of a Software and thus verify the operation curves.

KEYWORDS:

- **ELECTROMECHANICAL RELAYS**
- **OVERCURRENT**
- **ELECTRIC PROTECTIONS**

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Antecedentes

Con el objetivo de contribuir a la formación de futuros ingenieros electromecánicos y que se involucren en el sector eléctrico, se realizara este módulo didáctico, el cual permitirá realizar ensayos y prácticas orientadas a las protecciones en un sistema eléctrico de potencia cuyo objetivo será el análisis de curvas de protección entre los relés electromecánicos de tiempo inverso e instantáneo (50/51) ,el cual servirá de apoyo para los docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga para complementar lo teórico con el conocimiento práctico.

A partir que el ser humano descubrió la energía eléctrica dio un paso impacto importante en la evolución de la humanidad. El medio por el cual llega la energía a las personas es mediante líneas de transmisión para que el usuario pueda tener acceso a la energía eléctrica que es uno de los servicios muy importantes para la vida de cada una de las personas.

El sistema eléctrico está temerario día a día durante su operación y en el cumplimiento de sus funciones como es abastecernos de energía eléctrica a cada uno de las personas, las líneas de altas tensiones siempre están expuestas a diferentes tipos de fallas como son: fallas simples línea a tierra, línea - línea, fallas dobles línea a tierra y fallas trifásicas

balanceadas, por lo que se ve necesario implementar equipos de protecciones como son los relés, contactores, fusibles, etc. Estos a la vez ayudaran a combatir estas fallas.

Sabiendo esto se ve necesario dimensionar e implementar un módulo didáctico para el análisis de curvas de operación en los relés electromecánicos de sobrecorriente inverso e instantáneo (50/51), al no contar con módulos que ayuden a comprender como actúan estos equipos de protección como son los relés, cuando exista una presencia de una falla o una sobrecorriente y así poder analizar la curva de operación de los relés y el momento que actúan estos ante la presencia de una falla.

1.2. Planteamiento del Problema de Investigación

En la actualidad los descubrimientos tecnologías avanzan a un ritmo considerable, actualmente la cantidad de información que se puede adquirir sobre los Sistemas de Protección es muy amplia, además sobre este tema puede abarcar varios objetos de estudios como es el análisis de curvas de operación de los diferentes tipos de relés electromecánicos, para el estudio de estos temas en las universidades se recurre a medios pedagógicos prácticos en las diferentes carreras técnicas de ingeniería para que la información teórica sobre estos temas puedan ser comprendidas.

Al no contar con módulos didácticos para este tipo de prácticas, se ve la necesidad la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe Extensión Latacunga de contar con medios prácticos para la materia de Protecciones Eléctricas perteneciente a la carrera de

Ingeniería Electromecánica del Departamento de Eléctrica y Electrónica, que facilite que el conocimiento teórico pueda ser reforzado con mecanismos prácticos.

Al exponer este problema se plantea el dimensionamiento e implementación de un módulo didáctico para el análisis de curvas de operación en los relés electromecánicos de sobrecorriente inverso e instantáneo (50/51).

1.3. Justificación e Importancia

Con el empleo de este proyecto se podrá poner en práctica los conocimientos adquiridos en la materia específicamente Protecciones Eléctricas mediante lo cual se pondrá en desarrollo diferentes prácticas para que los estudiantes refuercen la parte teórica.

Gracias a esto podremos examinar la importancia del dimensionamiento e implementación del módulo didáctico para el laboratorio de Protecciones Eléctricas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga, ya que la universidad en la carrera de Ingeniería Electromecánica dota al estudiante con una percepción clara y practica de los conceptos a fin de aproximar a la realidad del ámbito profesional.

El módulo se utilizará relés electromecánicos de tiempo inverso e instantáneo (50-51), se simulará una falla o una carga para que estos equipos de protección actúen y se realizara el análisis de las curvas de funcionamiento de los relés electromecánicos en tiempo real y también variando algunos parámetros de funcionamiento.

Una vez terminado el módulo se procederá a realizar ejercicios prácticos de análisis de curvas de los relés electromecánicos, con el fin de ser un apoyo para el profesor y los alumnos de la carrera de Ingeniería Electromecánica.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Dimensionar e implementar un módulo didáctico a partir de los relés electromecánicos de sobrecorriente inverso e instantáneo (50/51), para el análisis de curvas de operación.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Investigar de fuentes bibliográficas la información teórica necesaria para el desarrollo del módulo didáctico.
- Identificar los componentes que interfieren en el diseño del módulo didáctico para el análisis de curvas de operación de los relés electromecánicos de tiempo inverso e instantáneo (50/51).
- Dimensionar e implementar un módulo didáctico para el análisis de las curvas de operación de los relés electromecánicos de tiempo inverso e instantáneo (50/51).

- Analizar las curvas de operación de los relés electromecánicos cuando se presenta una falla en la barra, graficarlas mediante un software y compararlas con otras curvas variando otros parámetros de funcionamiento.

CAPÍTULO II

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1. Protecciones Eléctricas

Los aparatos de protecciones eléctricas detectan condiciones anormales de las líneas de transmisión, e inician la acción de correjimiento de fallas para devolver en el menor tiempo posible a su estado normal. La velocidad de estos equipos de protección a la respuesta es un factor esencial de la protección de sistemas eléctricos de potencia y líneas de transmisión. Por tal manera, la intervención humana en el funcionamiento de estos equipos de protección no es posible, esta respuesta debe ser automática, rápida y debe causar una mínima cantidad de desconexión en el sistema de potencia. (Doñez, 2015)

Las protecciones eléctricas tienen por función la localización, detección y desconexión en forma automática de los aparatos o equipos que se encuentran trabajando en las líneas de transmisión con el propósito de minimizar los efectos del funcionamiento en lo menor posible y restablecer de manera inmediata la funcionalidad de estos equipos para que continúe brindando los servicios a los usuarios. Para realizar estas funciones, las protecciones eléctricas deben cumplir las siguientes condiciones fundamentales: selectividad – estabilidad – confiabilidad. (Eléctrica, 2014)

La selectividad es la forma que las protecciones eléctricas solo dejan desconectado a una pequeña parte del sistema, considerando que debe ser la menor parte posible que no está funcionando.

La estabilidad es cuando las protecciones eléctricas aseguran que el sistema no operará para fallas que se encuentran fuera de la línea o no están operando de manera correcta, es decir estas protecciones eléctricas permanecen estables.

La confiabilidad esta determina la seguridad de que cada equipo de protección que se encuentra operando a cada momento que sea necesario de manera de no afectar a la funcionalidad de todo el sistema.

2.1.1. Tipos de Protecciones Eléctricas

Son aquellos elementos que protegen a los circuitos o líneas de transmisión de cualquier tipo de fallas o sobrecargas de tensión o corriente, estos también permiten al usuario evitar accidentes con la energía eléctrica.

a) Protección contra Cortocircuitos

Se denomina cortocircuito a la unión de dos conductores con una discrepancia de tensión entre sí, que no exista ninguna impedancia eléctrica entre ellos como se muestra en la (*Figura 1*). El cortocircuito según la ley de Ohm, la impedancia tiende a cero y esto hace que la intensidad tienda al infinito, con lo cual se expone a daños a los conductores y máquinas debido que la cantidad de calor generado por este fenómeno puede dañarlos.

En la práctica, la intensidad generada al momento de un cortocircuito, siempre queda empañada por la resistencia de los conductores que, aunque es de un valor muy bajo, nunca es cero.

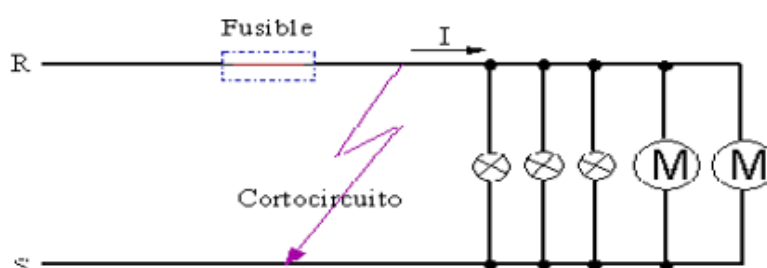


Figura 1. Fundamento de Cortocircuito

Fuente: (Electromecanica, 2011)

Al momento de diseñar o armar un circuito deberá colocarse un dispositivo de protección, de acuerdo con la intensidad total para la que este hecha nuestro circuito. (Electromecanica, 2011)

b) Protección contra Sobrecargas

La sobrecarga dentro de un sistema eléctrico es exceso de intensidad en un circuito eléctrico, debido a un defecto de aislamiento o una cantidad de carga más que la nominal. Las sobrecargas deben tener su equipo de protección, ya que pueden dar lugar a la destrucción total de los aislamientos de una red eléctrica o de una máquina.

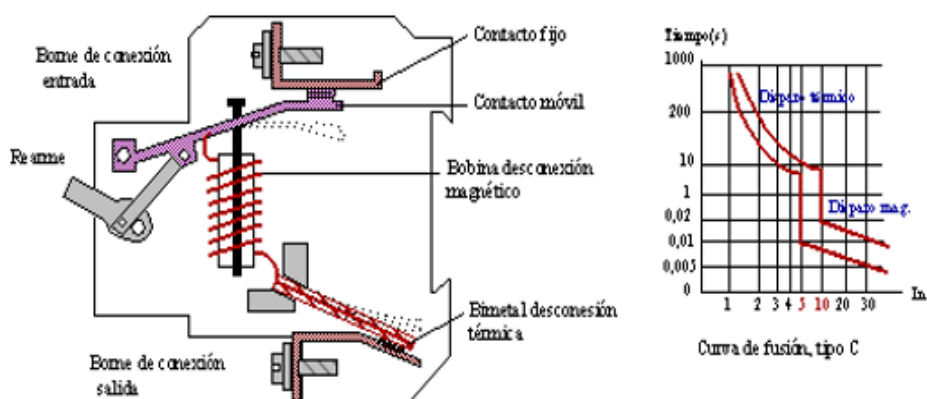


Figura 2. Interruptor Magneto térmico

Fuente: (Rodríguez Penin, 2013)

Según el reglamento electrotecnia nos dice que, si el conductor neutro posee la misma sección que las fases, lo que actuara contra sobrecarga será un dispositivo que proteja únicamente las fases. Caso contrario, si el conductor neutro es inferior que las fases, el equipo de protección habrá de controlar la corriente del neutro. Es importante colocar una protección para cada circuito secundario que se derivan de los circuitos primarios. Los dispositivos más empleados para actuar contra las sobrecargas son: interruptores automáticos magneto térmicos como se muestra en la (Figura 2) y relés térmicos. (IMSE, 2016)

2.2. Relés de Protección

Un relé de protección es un dispositivo que capta los cambios bruscos de señal de voltaje o de corriente. Si la dimensión de este tipo de señal que capta el relé está por fuera de un rango establecido, el relé de protección operará, este abrirá o cerrará los

contactos para evitar cualquier accidente. En pocas palabras, los relés de protección detectan los defectos en líneas y equipos, o condiciones peligrosas o inestables. Su función es detener las operaciones que son erróneas o simplemente mandar una señal de alarma. (Castaño, 2003).

2.2.1. Tipos de relés de protección según su construcción

Los relés de protección se clasifican según su estructura de construcción, los relés electromecánicos y relés digitales, estos por ser de última generación son los más utilizados en la actualidad en todo lo relacionado con equipos de protección para empresas, quedando así los electromecánicos a un margen de la tecnología en la actualidad.

a) Relés electromecánicos

En la (*Figura 3*) se visualiza que los relés electromecánicos poseen un disco que este acoplado sobre un eje que es retenido por un resorte espiral cuya tensión puede variar, accediendo el ajuste de corriente mínima de operación del relé, además este funciona como un interruptor que es controlado por un circuito eléctrico que por medio de una bobina y un electroimán detectan las altas corrientes y abren el circuito para evitar daños. (NOROÑA, 2013)



Figura 3. Relé de sobrecorriente ABB

Fuente: (NOROÑA, 2013)

b) Relés digitales

El relé digital es multifuncional, emplea una conversión analógico-digital directamente sobre los valores de entrada que son enviados a través de los TC (transformadores de corriente) y de potencial, que se colocan en el equipo que se está trabajando, esta conversión y todos los procesos se realizan mediante los microprocesadores que contienen estos relés electromecánicos. Está diseñado para la gestión y protección primaria de alimentadores de distribución, así como también para la gestión y protección de respaldo para barras, transformadores, y líneas de transmisión.

El relé digital de multifunción como de la (*Figura 4*), compone todos los elementos de protección, control y monitoreo, así como los interfaces de monitoreo y control en un mismo equipo por lo cual se denominan relés de multifunción. Además, estos se pueden reconectar automáticamente después de detectar alguna falla, que puede ser causada externamente o desde la protección de sobrecorriente. Los ajustes de las protecciones son configurados en escalas muy pequeñas (por ejemplo, pasos de 0,01), debido al

procesamiento en formato digital de la información, esta función no se puede obtener de los otros tipos de relés electromecánicos. (NOROÑA, 2013)



Figura 4. Relé de sobrecorriente tipo digital

Fuente: (NOROÑA, 2013)

2.2.2. Tipos de relés de protección según el tipo de protección

En la actualidad los relés son muy importantes para proteger los diferentes sistemas estos detectan la señal y actúan inmediatamente a continuación se dará una lista de estos tipos de relés, según (Castaño, 2003)

- Relés de sobrecorriente.
- Relés de sobrecorriente CA (operan de acuerdo a la relación de fase entre cantidades de CA).
- Relés de distancia (operan de acuerdo a la distancia entre el transformador de corriente del relé y la falla. La distancia es medida en términos de Z, X o R).
- Relés diferenciales (operan de acuerdo a la diferencia escalar o vectorial entre dos cantidades de corriente o de voltaje).
- Relés de potencia inversa.

- Relés de tiempo inverso.
- Relés de tiempo definitivo.
- Relés de bajo voltaje.
- Relés de tierra.
- Relés de fase (segregada).
- Relés de comparación de fase.
- Relés de comparación direccional.

En los sistemas de distribución de energía los relés que más actúan son los de sobrecorriente y de reconectado.

a) Protecciones de las sobrecorrientes

En un SEP (Sistema Eléctrico de Potencia) uno de los fenómenos más comunes que se presentan durante las anomalías, son los cortocircuitos, lo que conlleva al aumento elevado de la corriente por sobre los valores que operan normalmente. Para estos fenómenos que alteran al funcionamiento del sistema, se utilizan las protecciones de sobrecorriente que ayuda a disminuir la afección de las fallas en los equipos como en otros circuitos que actúan en el sistema, además de proteger la integridad de las personas que se encuentran trabajando en esta área para ello son muy importantes la colocación de estos relés de sobrecorriente que evita accidentes. (Systems, 2005)

b) Característica de operación de las protecciones de sobrecorriente

Los relés de sobrecorriente según su operación, estos pueden clasificarse en tres grupos: relés de corriente definida, relés de tiempo definido, y relés de tiempo inverso. Las curvas características de operación de estos relés en función de tiempo- corriente, se muestran en la (Figura 5).



Figura 5. Curvas características de operación de las protecciones de sobrecorriente.

Fuente: (Castaño, 2003).

2.3. Relés de Sobrecorriente

Los relés de sobrecorriente de protección son dispositivos utilizados para la detección de fallas dentro de un sistema asignada y operan conjuntamente con los interruptores. Estos tipos de relés se pueden clasificar de acuerdo a varios parámetros que se explicara a continuación.

2.3.1. Tipos de relés de acuerdo al sentido de detección de la corriente

En los relés electromecánicos de sobrecorriente al momento de su operación se toma en cuenta el sentido de la corriente, y estos se pueden clasificar en dos tipos: no direccionales y direccionales.

a) Relés de sobrecorriente no direccionales

Estos relés de sobrecorriente no direccionales usualmente son utilizados en sistemas radiales, estos relés operan para sobrecorrientes que circulan en ambos sentidos de donde es proveniente. Los relés no toman en cuenta el sentido de la corriente y operan normalmente. Dentro de la norma ANSI se designan por los números 50 y 51 a estos tipos de relés de sobrecorriente, que dentro nuestro proyecto de tesis serán el centro fundamental de estudio.

b) Relés de sobrecorriente direccionales

Estos relés de sobrecorriente direccionales son utilizados en sobrecorrientes que circulan en su sentido de ajuste. Estos tipos de relés operan cuando el sentido de corriente en su zona de protección corresponda al que fue asignado. Para el efecto de la direccionalidad de la corriente esta se logra teniendo como referencia el voltaje como una señal. Dentro de la norma ANSI se designan por el número 67 a estos tipos de relés de sobrecorriente.

2.3.2. Tipos de relés de sobrecorriente de acuerdo al tiempo de operación.

En los relés electromecánicos de sobrecorriente al momento de su operación se toma en cuenta el tiempo de operación, estos relés se pueden clasificar en dos tipos: instantáneos y temporizados.

a) Relés de sobrecorriente instantáneos

Son relés de sobrecorriente de tipo instantáneo, se les denomina de esta manera porque actúa en un tiempo menor o igual a 50 ms. Estos tipos de relé cuando la corriente es mayor a la de operación el disparo se da de manera inmediata. Dentro de la norma ANSI se designan por el número 50.

b) Relés de sobrecorriente temporizados

Son relés de sobrecorriente temporizados, se les denomina de esta manera porque estos relés operan en un tiempo después de que la falla fue detectada, cuando la corriente alcanza y supera a la corriente de operación. A la vez estos equipos de acuerdo a su curva de operación tiempo-corriente se clasifican en tiempo inverso y tiempo definido. Dentro de la norma ANSI se designan por el número 51.

2.3.3. Tipos de relés de sobrecorriente por la característica de operación

En los relés electromecánicos de sobrecorriente se debe tener en cuenta las características de operación, los relés de sobrecorriente se pueden clasificar en tres tipos: de corriente definida, relés de corriente, relés de tiempo definido y relés de tiempo inverso.

a) Relés de corriente definida

Los relés de corriente definida operan de manera instantánea cuando la corriente alcanza un valor establecido por el usuario (I_a). Para el ajuste de este tipo de relé se lo realiza de tal forma que la corriente menor se ubique en el extremo más alejado a la fuente y sucesivamente los ajustes van aumentando a medida que se acerca a la fuente. De acuerdo a esto, el relé que operara primero será el de menos ajuste tenga y a la vez este desconecta la carga en el punto que más se aproxime a la falla. La desventaja de este tipo de relés es que no es muy selectiva para los valores altos de cortocircuitos, por lo que tienen problemas al momento de detectar una corriente de falla entre varios puntos, cuando la impedancia entre los mismos es inferior en comparación a la impedancia de la fuente de alimentación como se muestra en la (*Figura 6*).



Figura 6. Relé de corriente definida

Fuente: (Castaño, 2003)

b) Relés de corriente definida y tiempo definido

Estos relés de sobrecorriente permite variar parámetros para los diferentes valores de corriente y así nos presentara diferentes tiempos que actuara nuestro relé. Por lo cual, los ajustes se hacen en forma tal, que el relé salte en un tiempo más corto y después se podrá configurar para diferentes tiempos cada vez mayores como se muestra en la (Figura 7).

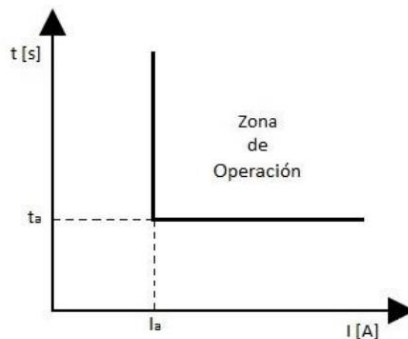


Figura 7. Relé de corriente definida y tiempo definido

Fuente: (Castaño, 2003)

A diferencia con el relé de corriente definida el tiempo de operación se le ajusta de acuerdo a los parámetros requeridos y la protección del sistema es más optima. La desventaja de este tipo de relé con este método son que las corrientes de fallas que son altas en algunos casos no son detectadas en el mayor tiempo posible y puede existir el daño de la fuente de alimentación. El ajuste de este tipo de relés se hace de manera manual modificando el dial que determina el tiempo de operación del relé y con un selector de Tap que es la corriente donde va a comenzar a temporizar.

c) Relés de tiempo inverso

En este tipo de relés electromecánicos la función principal es que operan en un tiempo inversamente proporcional a la corriente de falla en función de las curvas de operación de este tipo de relés. La ventaja de estos relés de tiempo inverso es que cuando se presentan corrientes altas los tiempos de operación son muy cortos y así se protege de mejor manera al sistema como se muestra en la (*Figura 8*). Este tipo de relés de tiempo inverso de acuerdo a la curva característica que determina el tiempo de operación frente a las sobrecorrientes o cargas se clasifican en: inverso, muy inverso, extremadamente inverso tiempo definido véase la (*Figura 9*).

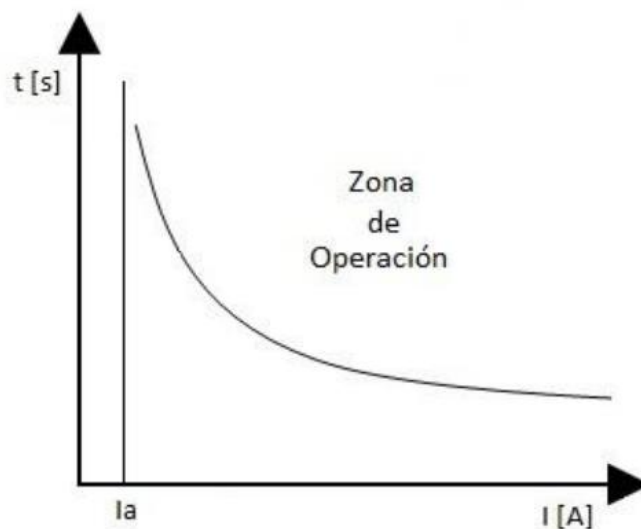


Figura 8. Relés de tiempo inverso

Fuente: (Castaño, 2003)

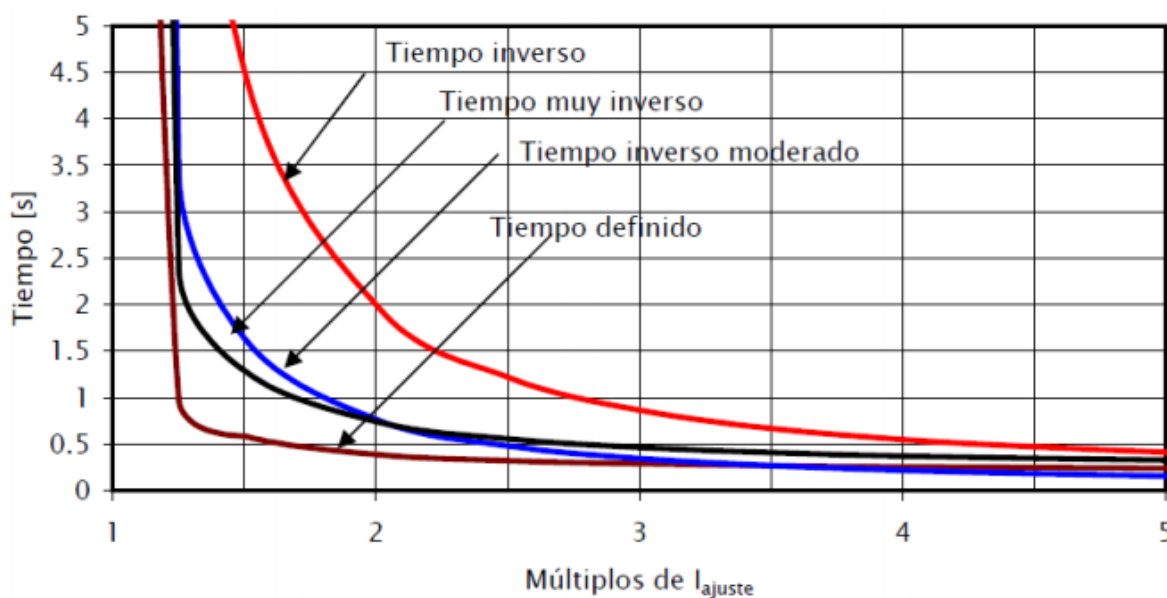


Figura 9. Diferentes tipos de relés de tiempo inverso

Fuente: (Castaño, 2003)

2.4. Parámetros para la configuración de un relé de sobrecorriente

En los relés electromecánicos al momento de su configuración se debe tener en cuenta dos parámetros, los cuales variando su valor se nos presenta diferentes tipos de curvas de operación con diferentes tiempos y corrientes, siendo estos el DIAL y TAP como se muestra en la (Figura 10). Para el cálculo de estos parámetros se debe realizar un estudio de fallas primeramente para conocer el valor de la corriente de cortocircuito en el punto más crítico de la zona que protege el relé, además es muy importante seleccionar los transformadores de corriente (TC) de manera correcta y fijar un valor determinado para la corriente de disparo de la protección. (CORREA, 2018)

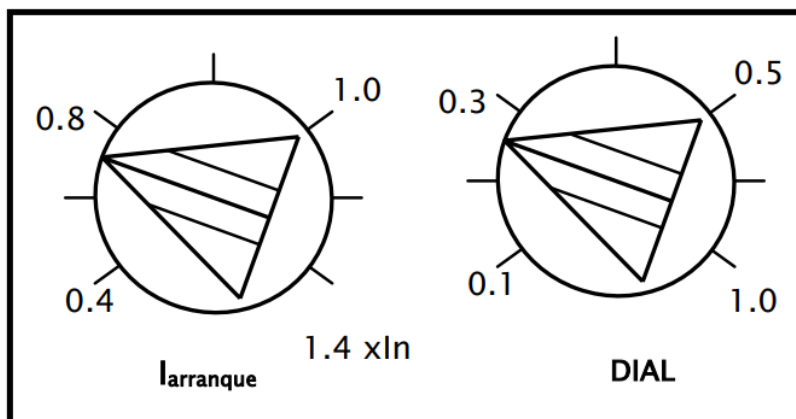


Figura 10. Botones DIAL Y TAP de configuración de los relés de sobrecorriente

Fuente: (MEJÍA, 2010)

2.4.1. Dial

La configuración del Dial accede obtener diferentes tiempos de operación para un mismo tipo de curva y una corriente dada. Ver la (Figura 11). En relés actuales los valores del dial son en escalas muy pequeñas. Por ejemplo, 0.1 a 1 en pasos de 0.05 que equivale a 18 curvas. En relés de antes, a cada curva de operación se les designaba con el nombre de los diales. Seleccionado el tipo de curva de operación del relé y la corriente nominal posteriormente se calcula la Iarranque y dial aplicándolos factores para este tipo de protecciones. (MEJÍA, 2010)

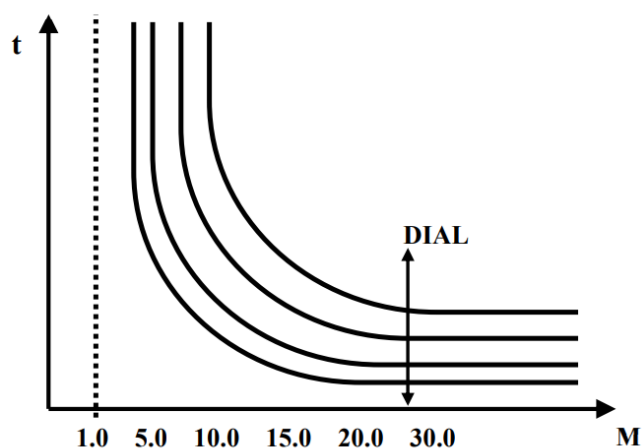


Figura 11. Curvas de operación con diferente DIAL

Fuente: (MEJÍA, 2010)

2.4.2. TAP

El TAP en la configuración de los relés electromecánicos permite variar la sensibilidad del relé, permitiendo que este relé opere con varios valores de corriente, se puede seleccionar el TAP de acuerdo a los rangos de configuración del relé que hemos seleccionado. Los amperios son las unidades con el cual se mide el TAP y representa el valor mínimo de corriente al que operara el relé, es decir la corriente de operación del relé. (Veloso, 2013)

$$TAP = \frac{1.5 \cdot I_n}{RTC} \quad (2.1)$$

2.4.3. Corriente nominal (I_n)

Es el valor de corriente que circula por las líneas de transmisión o por donde se encuentran los relés, este opera bajo condiciones normales. Para un sistema trifásico se utiliza la siguiente ecuación:

$$I_n = \frac{S}{\sqrt{3} * V_{Ln}} \quad (2.2)$$

2.4.4. Relación de transformación (RTC)

La función principal es evitar que corrientes altas circulen por el sistema de potencia efectuando a la operación del relé y presentan valores normalizados de 1A o 5A, se obtiene en función de la corriente nominal que circula por el sistema de potencia. La relación de la corriente primaria y secundaria está dada por:

$$I_{secundario} = \frac{I_{primario}}{RTC} \quad (2.3)$$

2.5. Modelo matemático de los relés de sobrecorriente

El tiempo de operación de los relés es la función más importante del mismo para proteger los diferentes sistemas de potencia, a continuación, se presentará una ecuación que nos permite calcular los tiempos de operación de los relés de sobrecorriente electromecánicos en función de varios parámetros.

$$t = DIAL \left(\frac{a}{\left(\frac{I}{I_s} \right)^n - 1} + C \right) \quad (2.4)$$

Donde:

t = Tiempo de operación del relé de sobrecorriente.

I = Corriente de falla inyectada al relé de sobrecorriente.

I_s = TAP o Corriente de Operación del Relé.

$DIAL$ = Constante de ajuste del Relé

n y a = Parámetro que define la curva característica de operación del Relé.

C = Constante de ajuste del Relé.

El tiempo de operación de los relés de sobrecorriente de tiempo inverso será de acuerdo a los valores de los parámetros de las constantes a y n , los cuales varían de acuerdo al tipo de relé de sobrecorriente. Que se presenta en la (Tabla 1).

Tabla 1

Constantes de forma para ecuación exponencial según normas IEC

Tipo de Curva	IEC 255 Y BS 142		
	n	α	C
Moderadamente inversa_IEEE	0,02	0,0515	0,114
Muy inversa_IEEE	2	19,61	0,491
Extremadamente Inversa_IEEE	2	28,2	0,1217
Extremadamente Inversamente Largo_IEEE	2,43	100	0,5
Inversa_CO8	2	5,95	0,18
Inversa de corto tiempo_CO2	0,02	0,0239	0,0169
Inversa Estándar_IEC	0,02	0,14	0
Muy inversa_IEC	1	13,5	0
Extremadamente Inversa_IEC	2	80	0

Fuente: (MEJÍA, 2010)

2.6. Relés electromecánicos de sobrecorriente 51

Los relés de sobrecorriente tipo 51 de tiempo inverso se utilizan para la fase y protección de sobrecorriente de tierra en la utilidad, en el campo eléctrico, comercial e industrial. Las aplicaciones en los sistemas trifásicos componen de tres Relé de fase para protección contra de cada fase y un relé monofásico para la protección de fallas en una sola fase. Estos relés de sobrecorriente de estado sólido permiten una mejor coordinación de protecciones que los electromagnéticos debido a su rendimiento dinámico: sin sobrecarrera y reinicio rápido d estos relés, la curva de operación se presenta en función de la corriente inyectada al relé versus el tiempo de operación como se muestra en la *(Figura 12)*.

Ocho tipos de relés electromecánicos según las curvas características están disponibles: Inverso - Tipo 51I Muy inverso - Tipo 51Y Extremadamente inverso - Tipo 51E Tiempo definido - Tipo 510 Tiempo corto - Tipo 515 Largo tiempo, extremadamente inverso - Tipo 51L Largo tiempo, muy inverso - Tipo 51YM Largo tiempo, inverso - Tipo 511M. (Company, 1993)

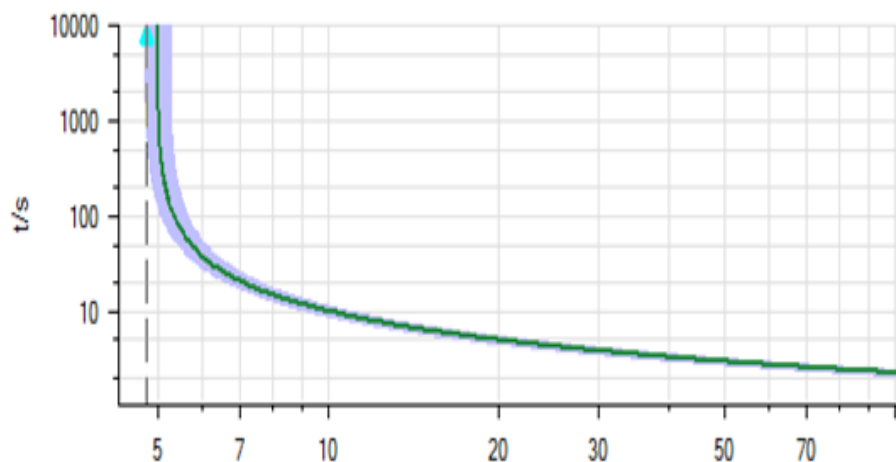


Figura 12. Curva característica de los relés de tiempo inverso 51

Fuente: (Sergiodmg, 2013)

2.6.1. Tipos de relés de sobrecorriente 51

Todas las curvas características de estos relés electromecánicos son en función tiempo-corriente (inversa, muy inversa, de larga duración, etc.) la misma carga es para un TAP establecido el único factor que varía es el Dial. La carga es independiente que se proporciona a cada uno de los relés, a continuación, se detallara los tipos de relés 51 que existen en el mercado.

a) Tipo inverso 51I

Este tipo de relés proporciona protección contra sobrecorriente de cada una de las fases o tierra en sistemas industriales o son utilizados en los servicios básicos. Estos relés se aplican cuando la falla en el sistema depende a la cual esta fue creada es decir a su propia capacidad. La pendiente del relé en la curva característica se tiende hacerse

plana para altas corrientes, lo que da un pequeño cambio en la operación del relé en función del tiempo sobre un amplio cambio en la magnitud de la corriente de falla. (Company, 1993)

b) Tipo muy inverso 51Y

Estos relés protegen contra sobrecorriente de fase o tierra en circuitos industriales y de servicios públicos. Fundamentalmente se aplican en líneas de subtransmisión y distribución, donde la magnitud de la falla es especialmente una función de la ubicación de la falla que se visualiza en el relé. También, tratan de mejorar las coordinaciones con interruptores de baja tensión o una copia de seguridad de otros relés de sobrecorriente. (Company, 1993)

c) Tipo extremadamente inverso 51E

Estos tipos de relés de sobrecorriente se usan en los alimentadores de distribución primaria de la utilidad para coordinar con los fusibles principal y reconectores, otra de las funciones es que se encargan de almacenar carga en sistemas de distribución. (Company, 1993)

d) Tipo de corto tiempo 51S

Estos tipos de relés electromecánicos son diseñados para proporcionar protección contra sobrecorriente donde se necesita rapidez en la operación, como en todos los relés de tierra o donde esté involucrada la estabilidad del sistema eléctrico. Se utiliza también

un generador. Diferentes aplicaciones diferenciales donde no se requieren devanados de restricción. (Company, 1993)

e) Tipo de tiempo definido 51D

Es aquel tiempo de relé que se le programa el tiempo de manera específica, es decir ya se encuentra definido el tiempo de operación el único parámetro que se le varia es el TAP en un rango hasta 10 A, y sirve para aplicaciones de las industrias. (Company, 1993)

f) Tipo de larga duración 51L, 51YM, 51IM

Estos tipos de relés de sobrecorrientes electromecánicos se basan en aplicaciones de circuito de motor, para anular los circuitos de arranque del motor. Se debe seleccionar el tipo de relé de sobrecorriente en función del tiempo de arranque del motor. (Company, 1993)

En nuestro proyecto de titulación se utilizará el relé 51L, que es un relé de sobrecorriente trifásico, cada fase actúa para siete diferentes Taps y diez Dials, que son configurados de manera manual en la parte frontal del relé con unas perillas, para sacar el tiempo de operación del relé en función de su corriente de carga.

2.7. Relés electromecánicos de sobrecorriente 50

Estos relés electromecánicos de sobrecorriente de tiempo instantáneo presentan aplicación en la alarma de carga de protección de respaldo y otros tipos de esquemas en los que el relé de sobrecorriente de tiempo instantáneo que debe reiniciarse por sí mismo

y tener una manera rápida de operar ante corrientes altas de arranque. (Company, Circuit Shield Type 50H, 50D High Dropout Overcurrent Relays, 1991).

La curva de operación se presenta en función de la corriente inyectada al relé versus el tiempo de operación como se muestra en la (*Figura 13*).

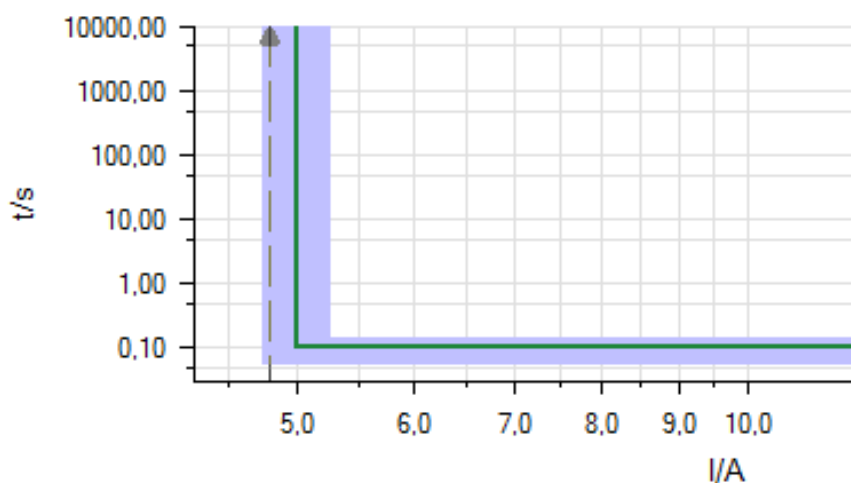


Figura 13. Curva característica de los relés de tiempo instantáneo 50

Fuente: (Sergiodmg, 2013)

2.7.1. Tipos de relés de sobrecorriente 50

Los tipos de relés de sobrecorriente de tipo 50, o de tiempo instantáneo son aquellos que al presentarse una falla o una corriente alta salta inmediatamente en factores de milisegundos por lo que son muy importantes en sistemas de potencia, para que el tiempo de operación del relé sea mínimo y así evitar daños en otras máquinas que operan el sistema.

a) Tipo instantáneo 50H

La característica principal de este tipo de relé de sobrecorriente instantáneo es que son diseñados con circuitos de medición de estado sólido, pero posee una salida electromecánica para operar en diferentes escalas de corriente de carga. (Company, Circuit Shield Type 50H, 50D High Dropout Overcurrent Relays, 1991)

b) Tipo de tiempo definido 50D

La característica principal de este tipo de relé de sobrecorriente instantáneo que a pesar que posee el mismo circuito instantáneo incorporado también incluye un temporizador de estado sólido incorporado que permite establecer un tiempo de operación del relé de 1 a 3 segundos. Este tipo de relé será utilizado en nuestro modulo para el análisis de sus curvas de operación, este factor dependerá de sus Taps que varían de 1 a 10 A que será la corriente base para que opere el relé y además se podrá configurar los Dials en una escala de 0.1 a 3 segundos. (Company, Circuit Shield Type 50H, 50D High Dropout Overcurrent Relays, 1991)

2.8. Transformadores de corriente

Los TC reducen la alta corriente del circuito de potencia a una corriente baja, la cual puede alimentar a los diferentes sistemas de potencia compuesta por aparatos de protección y medida. Por esta razón también se puede conseguir relés y otros aparatos eléctricos a un precio menor.

Los diferentes tipos de Transformadores de corriente son usados para la protección en los sistemas de potencia, son diseñados para soportar altos niveles de corriente, con una escala si es necesaria, estas al circular por una impedancia fija genera grandes tensiones.

El TC usado para medida debe funcionar con corrientes pequeñas y no soporta tensiones altas como se muestra en la (*Figura 14*) , pues estas afectarían los diferentes aparatos de medida ubicados en sus secundarios, los transformadores de corriente se diseñan para que se sature a 1,2 o 1,5 veces la corriente nominal. (Carrillo, 2007)

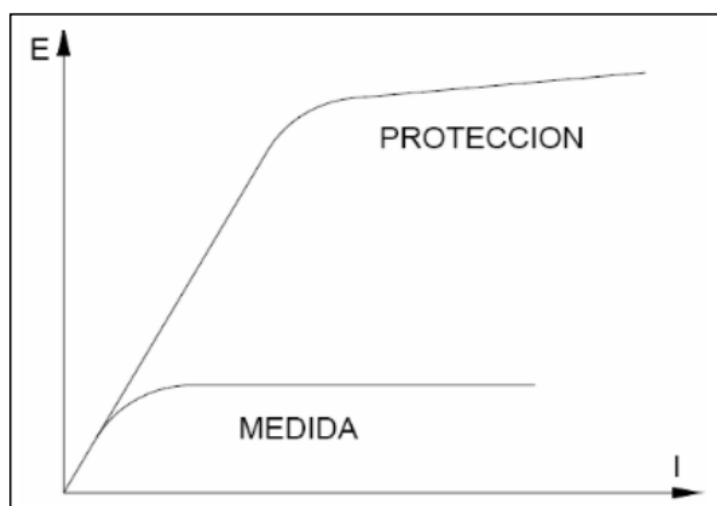


Figura 14. Curva de actuación de los transformadores de corriente

Fuente: (Carrillo, 2007)

2.9. Interruptores termomagnéticos

Un interruptor termomagnético como se muestra en la (*Figura 15*), es un dispositivo que como su nombre indica combina dos efectos, el magnetismo y el calor, que

interrumpe el paso de las corrientes altas que pudieran causar daños en los equipos, es decir este sirve para proteger un circuito eléctrico de sobrecargas y cortocircuitos.

Se le asemeja a la función de un fusible en un circuito eléctrico integrado a la red eléctrica, es decir ante el hecho de superar las corrientes máximas eléctricas, cumple la función de evitar que continúe pasando corriente y proteger a los elementos conectados en el sistema. (Adm, 2017)



Figura 15. Interruptor termomagnético de dos polos

Fuente: (Adm, 2017)

2.10. Luces Piloto

Esta luz piloto su función principal es darnos un aviso visual de que tenemos encendido un equipo electrónico, del funcionamiento de alguna maquina eléctrica. Durante el tiempo que el equipo o la maquina esté funcionando la luz piloto está encendida demostrando que hay consumo de energía.

En nuestro proyecto de investigación se utilizarán estas luces piloto como las de la (Figura 16) para indicar que las tres líneas de transmisión están energizadas, y a la vez también se utilizarán para el momento que se active los relés se prenderán estas luces como muestra que los relés fueron activados. (Unicrom, 2016)



Figura 16. Luz piloto de 220v

Fuente: (ELECTRIC, 2012)

2.11. Sensores de corriente

Los sensores de corriente son elementos electrónicos utilizados para medir el flujo de corriente en un circuito eléctrico. Se les denominan también transformadores detección de corriente o transductores de corriente. Existe una gran variedad de tipos para medir flujos corriente CA y CC, incluido: efecto Hall, bobinas de Rogowski y transformadores. Los sensores de corriente tienen una conexión eléctrica directa a la corriente que está siendo controlada para permitir el aislamiento galvánico al circuito de medida.

Estos dispositivos funcionan en circuitos de lazo abierto o cerrado. Los circuitos de sensores de lazo abierto suelen ser de precio más bajo que los de lazo cerrado, pero

poseen menos precisión. Los sensores de corriente de lazo abierto manejan la tensión de detección para obtener directamente el flujo de corriente del sistema. (Arrow, 2012).

2.12. Pantalla Nextion

En la (Figura 17) se visualiza una pantalla LCD Nextion, que es una pantalla de visualización inteligente ideal para desarrollar interfaces gráficas con Arduino y otros microcontroladores. La diferencia entre una pantalla Nextion y otras pantallas LCD TFT a color, es que en su interior se encuentra un controlador inteligente a bordo que permite acelerar la interfaz gráfica, también su control se realiza solamente con 2 pines del microcontrolador mediante un dispositivo tipo serial (UART). La pantalla Nextion dispone de memoria integrada para almacenar el firmware y las imágenes que forman la interfaz gráfica. Esta pantalla funciona cuando el controlador de la pantalla envía comandos seriales al arduino cuando ocurre alguna función, como el toque de un botón con alguna función; de igual forma el arduino puede enviar comandos para modificar la interfaz del usuario que se presenta en nuestra pantalla Nextion. (GeekFactory, 2013)



Figura 17. Pantalla Nextion de 6 pulgadas.

Fuente: (GeekFactory, 2013)

2.13. Arduino Mega

El Arduino Mega es un microcontrolador con más funciones de la familia Arduino. En su estructura compone de 54 pines digitales que funcionan como entrada/salida; 16 entradas análogas, un cristal oscilador de 16 MHz, una conexión USB, una entrada para la alimentación de la placa y un botón de reset como se muestra en la (Figura 18).

Para la comunicación entre nuestra computadora y Arduino se realiza a través del Puerto Serie. Este posee un convertidor USB-serie, por esta razón solamente se necesita conectar el dispositivo a la computadora utilizando un cable USB como el que utilizan los diferentes tipos de impresoras.

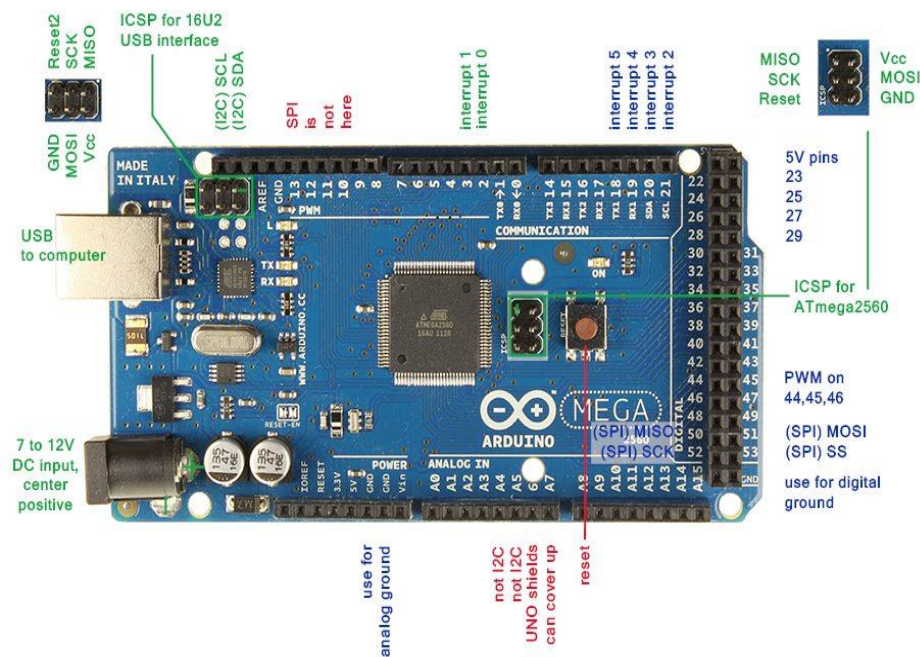


Figura 18. Estructura del Arduino Mega utilizado en el proyecto

Fuente: (González, 2013)

2.14. Hipótesis

Con el dimensionamiento e implementación del módulo didáctico se podrá medir las corrientes de cargas y calcular los tiempos de operación de los relés electromecánicos de sobrecorriente (50/51) con la finalidad de graficar las curvas de operación de los relés y analizar cada una de ellas.

2.15. Variables de investigación

2.15.1. Variable independiente

Dimensionamiento e implementación de un módulo didáctico de análisis de curvas de operación de los relés (50/51).

2.15.2. Variable dependiente

Cálculo de los tiempos de operación de los relés (50/51) al aplicarse una corriente de carga.

En la (Tabla 2) se puede observar operacionalización de la variable independiente

En la (Tabla 3) se puede observar operacionalización de la variable dependiente

Tabla 2*Operacionalización de la variable independiente*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Dimensionamiento e implementación de un módulo didáctico de análisis de curvas de operación de los relés (50/51).	El dimensionamiento e implementación de un módulo didáctico permite el análisis de las curvas de operación de los relés electromecánicos de sobrecorriente inverso e instantáneo (50/51)	Investigar y seleccionar los relés	Relé inverso 51L
		Procesamiento de la señal	Relé inverso 50D
		Programación del controlador	Entorno de instrumentación
			Instrumentos de programación
Aplicación de carga	Módulos de resistencias		

Tabla 3*Operacionalización de la variable dependiente*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Cálculo de los tiempos de operación de los relés (50/51) al aplicarse una corriente de carga.	El cálculo de los tiempos de operación de los relés (50/51) al aplicarse una corriente de carga nos permitirá obtener los valores para graficar las curvas de operación de los relés en el Software.	Tiempo de Operación versus Corriente de carga inyectada a los relés	Tap
			Dial
			Corriente de carga
			Tiempo de operación

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Modalidad de Investigación

3.1.1. Método Bibliográfico Documental

Según el autor (Rodríguez U., 2019) define: Investigación bibliográfica y documental como un conjunto de pasos consecuentes y secuenciales para obtener fuente conceptual metodológica y teórica para una investigación científica mediante la recopilación, elección, categorización, evaluación y análisis del contenido de material físico y virtual, la investigación documental permite revisar en fuentes teóricas, monografías e investigaciones de diferentes autores que nos permita a ampliar el conocimiento para obtener bases teóricas relacionadas a sistemas eléctricos de potencia, coordinación de protecciones, normas eléctricas y hojas de datos de los equipos.

3.1.2. Método Inductivo – Deductivo

Por medio de este método se va a realizar la coordinación de los relés electromecánicos de sobrecorriente inverso y mediante la programación de un arduino y mediante una interfaz gráfica que sea visualizada en una pantalla HMI, esta interfaz debe ser intuitiva y amigable con el usuario identificando cada una de las curvas fácilmente para ser analizadas.

3.1.3. Método Experimental

Según el autor (Igartua & Humanes, 2016) define: La investigación experimental es la técnica de investigación por excelencia para comparar relaciones de causalidad entre variables ya que permite manejar e inspeccionar las variables. El experimento de laboratorio constituye el procedimiento más difundido para medir o diferenciar los efectos mediáticos. En la investigación experimental se manipula sistemáticamente una o más variables independientes que se asume ejercen una tarea relevante para aclarar un fenómeno.

La investigación experimental se la realizará mediante un proceso sistemático de mediciones de las variables para obtener los datos necesarios del módulo didáctico que nos permitirá el análisis de curvas de operación en los relés electromecánicos de sobrecorriente inverso e instantáneo (50/51).

3.2. Tipo de investigación

3.2.1. Investigación Descriptiva

Según el autor (Cauas , 2014) define: La investigación cuantitativa es aquella que utiliza preferentemente información cuantitativa o cuantificable (medible). Algunos ejemplos de investigaciones cuantitativas son: diseños experimentales

Esta investigación se llevará para la medición de los datos obtenidos en la realización de pruebas de adquisición de datos de corriente mediante sensores (Tc) y para poder adquirir las curvas de los relés

3.2.2. Investigación Fundamental

Con la ayuda de Node-RED se desarrollará una interfaz gráfica en la WEB amigable con el usuario, cabe destacar que estos métodos de comunicación poco a poco tienen aceptación en la industria debido a que sus aplicaciones son más accesibles y con costos reducidos para el usuario, reemplazando así a métodos tradicionales con ciertas limitaciones y costos elevados.

3.3. Diseño de la Investigación

El trabajo pretende realizar la medición de corriente de falla, utilizar los sensores (TC) para determinar las curvas de operación en los relés electromecánicos de sobrecorriente inverso e instantáneo (50/51). Para ello se utiliza el enfoque Inductivo-Deductivo, que consta de:

3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Fuentes de Información

En el actual proyecto investigativo se adquirirá información destacada de fuentes primarias y secundarias las cuales contienen información actualizada y nueva, resultado de trabajos intelectuales de parte de otros autores alrededor del mundo; los documentos primarios hacen referencia a libros, artículos científicos, documentos oficiales, informes técnicos.

3.4.2. Instrumentos de la Investigación

Para realizar el trabajo investigativo se utilizará una variedad de técnicas y fuentes que engloben información y datos relacionados a sistemas eléctricos de potencia, coordinación de protecciones, normas eléctricas y hojas de datos de los equipos. Conjuntamente, se utilizará la información que se obtenga de artículos científicos, libros, trabajos de titulación, informes técnicos, al igual que normativas vigentes que apoyaran a plantear conclusiones en referencia a la problemática planteada.

En este proyecto de investigación se incluirán las guías de laboratorio para las respectivas prácticas en las que incluye información de cómo se va a realizar la instalación de cada uno de los elementos de modulo didáctico.

3.4.3. Métodos de Recolección de datos

La obtención y recolección de datos en este proyecto de investigación se utilizará la técnica de observación de tipo experimental, la cual es determinada como una herramienta de investigación para recolectar datos de las variables a ser estudiadas, permitiendo así utilizarlas para el análisis e interpretación de la información obtenida, y así verificar las curvas de operación en los relés electromecánicos.

3.5. Instrumentos

Los instrumentos utilizados para registrar la información durante la ejecución del presente proyecto fueron de tipo estadístico los cuales fueron registrados en bitácoras.

Para el soporte estadístico se utiliza: las mediciones de corriente con los sensores (Tc) y las curvas de operaciones los relés electromecánicos.

3.6. Valides y confiabilidad

El procesamiento de la información seguirá varias etapas en base a criterios establecidos como:

Revisión crítica de la información recogida: mediante la clasificación de la información defectuosa, contradictoria, no permitente, etc.

Manejo de información mediante gráficos y diagramas que asocian a las variables.

Estudio estadístico de los datos para la presentación de resultados.

3.7. Técnicas de comprobación de hipótesis

Para la comprobación de la hipótesis se basa en varias etapas las cuales son las siguientes:

Análisis de los resultados estadísticos, destacados tendencias o relaciones fundamentales de acuerdo con los objetivos e hipótesis.

Interpretación de los resultados, en el aspecto pertinente.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En el presente capítulo exhibe los resultados de la presente investigación obtenidos a partir de las diferentes metodologías aplicadas permitiendo ser analizadas, para subsiguientemente ser usados en el inicio de la elaboración del proyecto. Además, se analizarán los motivos que llevaron a emprender la elaboración de este módulo didáctico y muchos factores que se debe tomar en cuenta para el punto de partida de realización del proyecto.

4.1. Análisis de resultados

En este punto se analizará los datos obtenidos a través de las mediciones realizadas de la operación de los relés electromecánicos de tiempo inverso en instantáneo 50/51 de manera física, a partir de un cronómetro para el tiempo de operación y de un amperímetro para la carga, graficando estos datos nos dará como resultado una curva de operación de cada uno de los relés que compararemos con la curva del datasheet de cada uno de los relés adquiridos para el módulo didáctico. El tiempo y la complejidad empleado en este proceso de medición permitirá demostrar la importancia de la implementación del módulo que ayudará que el análisis de curvas de operación de los relés electromecánicos inverso e instantáneo sean de manera automática, rápida y eficiente.

4.2.2. ABB Circuit- Shield Type 50D

El relé electromecánico ABB Circuit- Shield Type 50D (*Figura 20*), este relé de sobrecorriente es de tiempo instantáneo, además el tipo 50D constituye el mismo circuito de sobrecorriente instantáneo, pero también incluye un temporizador de estado sólido integrado, este permite tener una escala de 1 segundo hasta 3 segundos para la detección de la falla. Este tipo de relé se alimenta con 125 V de corriente continua y funciona a 50 Hz como 60 Hz. (Company, 1993)

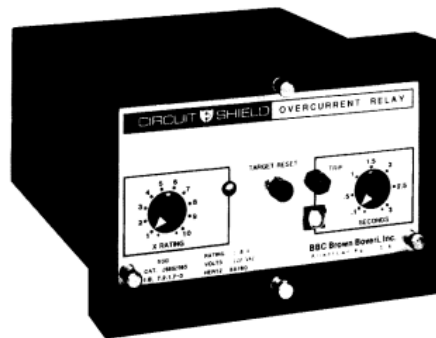


Figura 20. ABB CIRCUIT- SHIELD TYPE 50D
Fuente: (Company, 1993)

4.2.3. Amperímetro

Es un instrumento el cual nos permite medir la intensidad de corriente eléctrica, la unidad de medida de este tipo de aparato son los amperios véase (*Figura 21*), su proceso de funcionamiento se enfoca principalmente en las teorías electromagnéticas que en su teoría presenta que todo tipo de corriente eléctrica pasa por un hilo conductor origina un campo magnético en su entorno o alrededor (semejante al que es producido en un imán), la variedad de fuerza depende de que tan grande sea la intensidad de la corriente que se

encuentre circulando. El amperímetro está compuesto por resistencias estas permiten variar la escala de medida que se desee, este aparato se conecta en serie con el circuito, de forma que la misma corriente del circuito pasara también por el amperímetro. (EcuRed, 2010)



Figura 21. Amperímetro
Fuente: (EcuRed, 2010)

4.2.4. Módulo de resistencias 8311 Lab-Volt

El módulo de resistencias 8311 (*Figura 22*) este módulo está equipado con 9 resistencias de bobina, agrupado en tres grupos de 3 resistencias conectadas en paralelo cada una, el valor de estas resistencias es de 1200 ohmios, 600 ohmios, 300 ohmios. Cada una de las resistencias poseen un valor de corriente: la de 1200 ohmios nos presenta 0,1 amperios, la de 600 ohmios nos presenta 0,2 amperios, la de 300 ohmios nos presenta 0,4 amperios, estas al ser alimentadas con 220 V nos dará como resultado

valores de carga para los relés sumando cada corriente de las resistencias activadas.

(Digital, 2011)

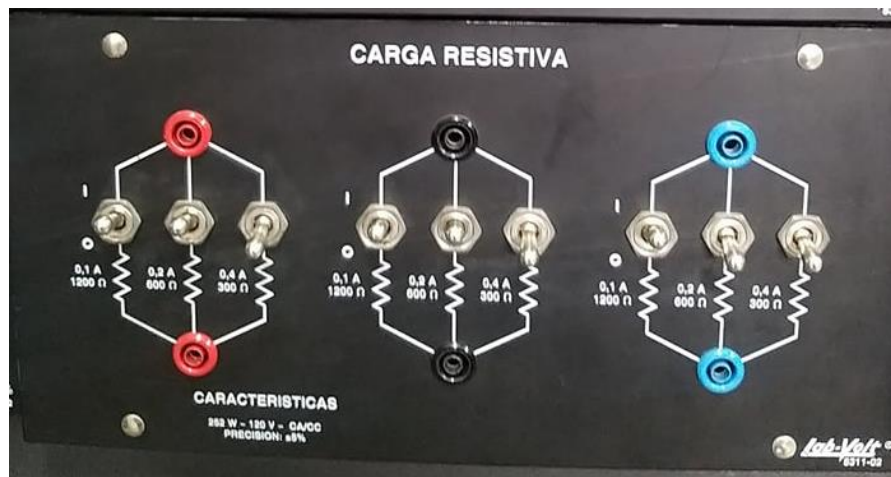


Figura 22. Módulo de resistencias 8311 Lab-Volt

Fuente: (Digital, 2011)

4.2.5. Fuente de alimentación 8821 Lab-Volt

La fuente de alimentación 8821 (*Figura 23*), nos presenta en la entrada una tensión de línea de 120V/220V, corriente de línea de 15 A, como característica de red posee: 20 A, es trifásica, 5 conductores conectados en estrella incluyendo neutro y tierra. En la salida de la fuente presenta: Trifásica fija CA de 120/208 V -15 A, Trifásica variable CA de 0-120/220 V-5 A, Variable cc de 0-120 V- 8 A, Fija CC 120 V – 2 A, Baja potencia de 24 V – 3 A. Esta fuente de alimentación nos permitirá alimentar a los Relés Electromecánicos que son de 125 V CC, además para alimentar con 195 V el módulo de resistencias para la carga que se necesita para los relés. (Lab-Volt, 2019)

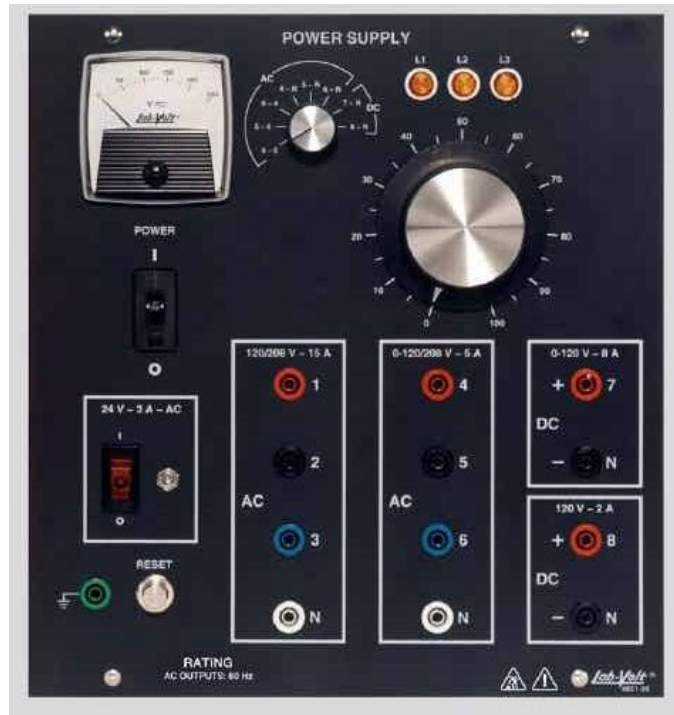


Figura 23. Fuente de alimentación 8821 Lab-Volt
Fuente: (Lab-Volt, 2019)

4.3. Curva característica de operación Circuit- Shield Type 51L

A continuación, se presentará la curva característica del relé de sobrecorriente electromecánico tipo 51L tanto del manual de operación como de los datos obtenidos físicamente y se realizará una comparación entre ambos, esta curva se nos presenta la corriente versus el tiempo en los diferentes tipos de Diales.

4.3.1. Curva de operación del Datasheet

Según nos presenta (Company, 1993), en su catálogo del relé 51L se puede visualizar la curva de operación de este relé según su tiempo en el eje y, y de su corriente de carga en el eje x como se muestra en la (Figura 24), para podernos presentar una curva del relé

en sus diferentes 10 Diales, es decir se nos muestra diez curvas diferentes donde se nota que mientras la corriente es mayor menor es el tiempo de operación del relé 51L. Revisar (Anexo D).

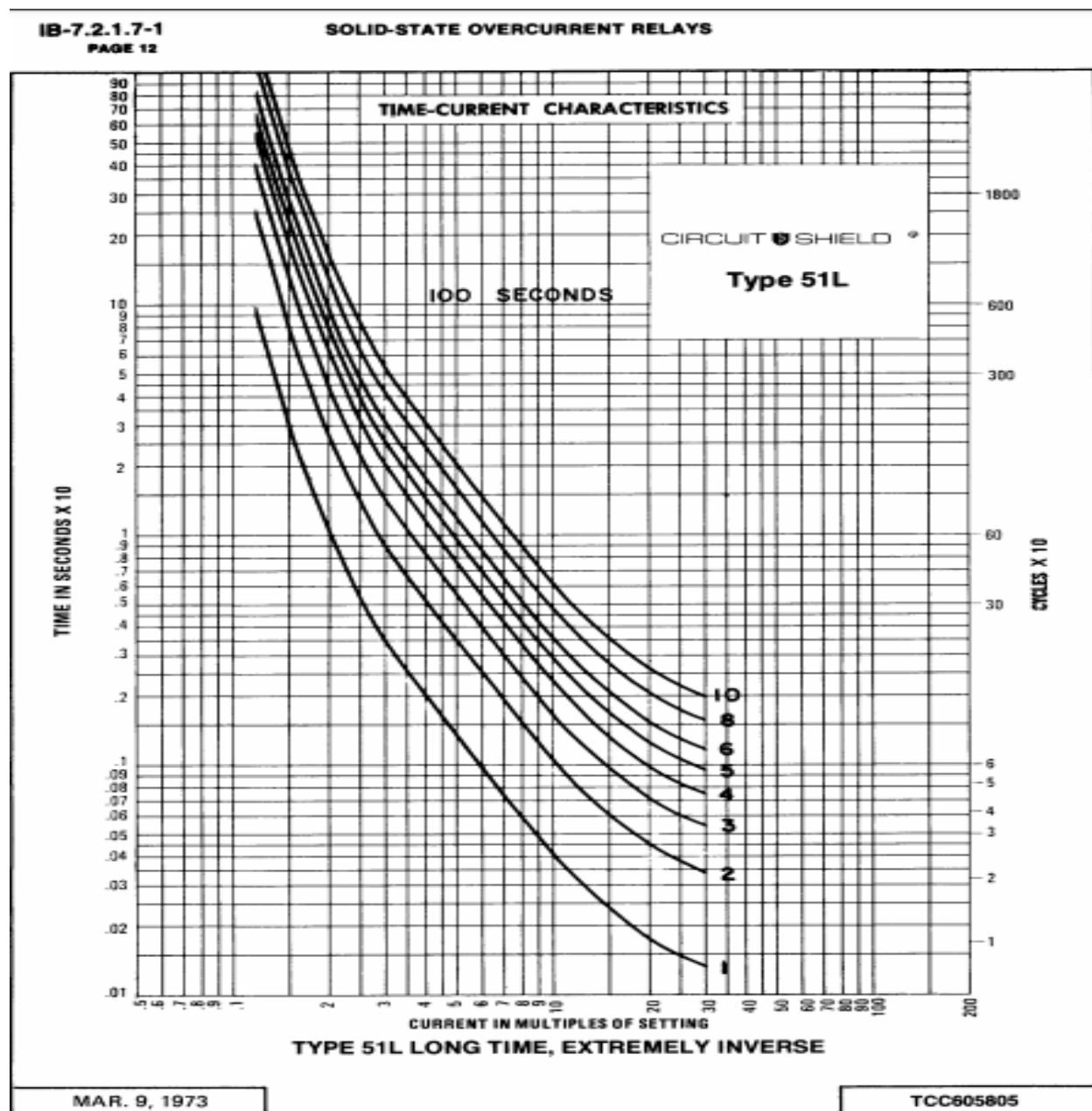


Figura 24. Curva de operación del relé 51L según el datasheet

Fuente: (Company, 1993)

4.3.2. Valores medidos físicamente de los tiempos de operación del relé 51L

El relé electromecánico de sobrecorriente 51L, en su funcionamiento dispone de 10 Dials esto nos presentara 10 curvas de operación del relé, y de 7 Taps de valores: 2,5 - 2,8 - 3,1 - 3,5 - 4 - 4,5 - 5 Amperios de carga ese es valor mínimo de corriente de operación del relé. Estos parámetros aparte de la carga se pueden ir modificando para la adquisición de datos para la gráfica de operación del relé.

A continuación, se presentará unas tablas de los valores medidos físicamente de la operación del relé 51L donde se modificará tres parámetros de manera manual en la parte frontal del relé como es su Carga, el Dial y el Tap, posteriormente se mandará operar el relé según estos parámetros y se tomará el dato del tiempo de operación del relé 51L mediante un cronómetro que nos permitirá obtener el tiempo para posteriormente graficar la curva de operación del relé.

En la (Tabla 4) se muestra los valores de tiempo de operación del relé 51L cuando se encuentra configurado con un Tap fijo de 2.5 amperios, las constantes que varían son el Dial de 1 a 10 y la corriente de carga varia de 8 amperios hasta el valor superior al Tap que seria 3 amperios este se varia en una escala de 0.5 Amperios, presentándonos un tiempo mínimo de 7 segundos con Dial 1 y una corriente de carga de 8 amperios y un tiempo máximo de 48,44 minutos con Dial 10 y una corriente de carga de 3 amperios.

La (Figura 25) nos presenta las curvas de operación del relé 51L cuando la configuración del Tap de operación es de 2.5 amperios, como se visualiza en la gráfica existen 10 curvas de operación que son los 10 Dials a las que opera el relé. Cuando el

Dial es mayor aumenta el tiempo de operación como ejemplo se puede visualizar en la gráfica en el Dial 1 cuando se tiene una corriente de operación de 6 A el $t=14$ segundos y en el Dial 8 en la misma corriente de 6 A ahora se tiene un $t=3,03$ minutos. La corriente de carga nos presenta un mínimo de 3 A y máximo de 8 A variando en cada Dial en una escala de 0.5 A, cuando se tiene corrientes altas el tiempo de operación del relé es menor que cuando se tiene corrientes bajas como ejemplo se puede visualizar en el Dial 4 cuando la corriente de carga es 7 A el $t=0,51$ segundos y cuando se tiene 3.5 A el $t=7,19$ minutos.

Tabla 4

Datos del Relé 51L con Tap=2,5 A

DATOS DEL RELÉ 51L (TIEMPO INVERSO) TAP= 2,5 A									
DIAL 1		DIAL 2		DIAL 3		DIAL 4		DIAL 5	
Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)
3	2,57	3	8,01	3	11,45	3	16,38	3	21,26
3,5	1,3	3,5	3,55	3,5	5,18	3,5	7,19	3,5	9,27
4	0,48	4	2,11	4	3,1	4	4,22	4	5,35
4,5	0,32	4,5	1,39	4,5	2,08	4,5	2,57	4,5	3,48
5	0,24	5	1,02	5	1,49	5	2,07	5	2,44
5,5	0,18	5,5	0,46	5,5	1,07	5,5	1,37	5,5	2,06
6	0,14	6	0,38	6	0,53	6	1,25	6	1,39
6,5	0,11	6,5	0,31	6,5	0,45	6,5	1,02	6,5	1,2
7	0,1	7	0,25	7	0,37	7	0,51	7	1,06
7,5	0,08	7,5	0,22	7,5	0,32	7,5	0,42	7,5	0,55
8	0,07	8	0,18	8	0,25	8	0,38	8	0,47
DIAL 6		DIAL 7		DIAL 8		DIAL 9		DIAL 10	
Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)
3	26,29	3	30,38	3	39,01	3	43,65	3	46,44
3,5	11,35	3,5	13,5	3,5	17,25	3,5	19,3	3,5	20,45
4	6,53	4	8,05	4	10,09	4	11,25	4	12,11
4,5	4,39	4,5	6,23	4,5	6,54	4,5	8,42	4,5	8,15
5	3,21	5	3,55	5	5,06	5	6,34	5	5,58
5,5	2,33	5,5	3,02	5,5	3,49	5,5	4,15	5,5	4,31
6	2,02	6	2,22	6	3,03	6	3,21	6	3,48
6,5	1,4	6,5	1,54	6,5	2,27	6,5	2,43	6,5	2,52
7	1,21	7	1,35	7	2,04	7	2,15	7	2,23
7,5	1,09	7,5	1,19	7,5	1,42	7,5	1,55	7,5	2,01
8	0,58	8	1,08	8	1,27	8	1,38	8	1,46

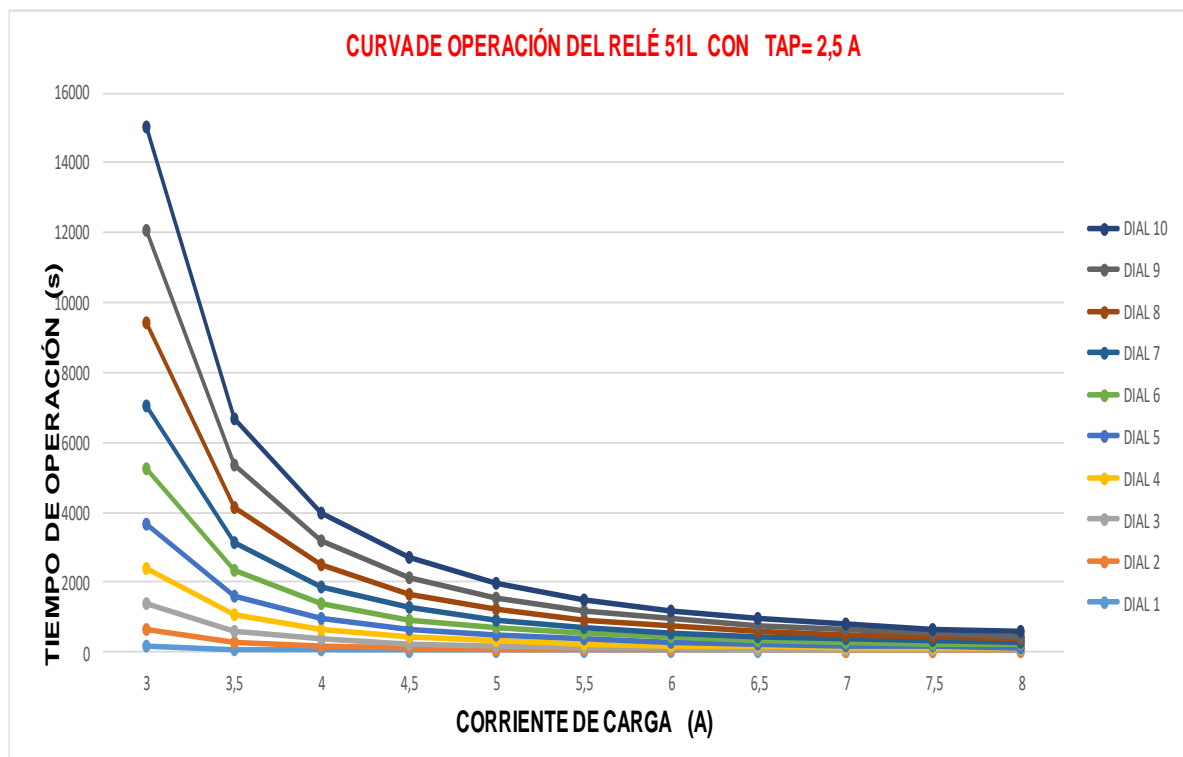


Figura 25. Curva de operación del Relé 51L con Tap= 2,5 A

En la (Tabla 5) se muestra los valores de tiempo de operación del relé 51L cuando se encuentra configurado con un Tap fijo de 2.8 amperios, las constantes que varían son el Dial de 1 a 10 y la corriente de carga varía de 8 amperios hasta el valor superior al Tap que sería 3 amperios este se varía en una escala de 0.5 Amperios, presentándonos un tiempo mínimo de 8 segundos con Dial 1 y una corriente de carga de 8 amperios y un tiempo máximo de 125,12 minutos con Dial 10 y una corriente de carga de 3 amperios.

La (Figura 26) nos presenta las curvas de operación del relé 51L cuando la configuración del Tap de operación es de 2.8 amperios, como se visualiza en la gráfica existen 10 curvas de operación que son los 10 Dials a las que opera el relé que superan

en tiempo de operación al del Tap 2.5 A. Cuando el Dial es mayor aumenta el tiempo de operación como ejemplo se puede visualizar en la gráfica en el Dial 3 cuando se tiene una corriente de operación de 4 A el $t=4,46$ minutos y en el Dial 5 en la misma corriente de 4 A ahora se tiene un $t=7,54$ minutos. La corriente de carga nos presenta un mínimo de 3 A y máximo de 8 A variando en cada Dial en una escala de 0.5 A, cuando se tiene corrientes altas el tiempo de operación del relé es menor que cuando se tiene corrientes bajas como ejemplo se puede visualizar en el Dial 9 cuando la corriente de carga es 5 A el $t=6,39$ minutos y cuando se tiene 4 A el $t=14,47$ minutos.

Tabla 5

Datos del Relé 51L con Tap=2,8 A

DATOS DEL RELÉ 51L (TIEMPO INVERSO) TAP= 2,8 A									
DIAL 1		DIAL 2		DIAL 3		DIAL 4		DIAL 5	
Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)
3	9,08	3	20,06	3	35,55	3	50,48	3	59,24
3,5	2,19	3,5	5,06	3,5	9,07	3,5	12,55	3,5	15,06
4	1,13	4	2,4	4	4,46	4	6,45	4	7,54
4,5	0,46	4,5	1,42	4,5	3,03	4,5	4,19	4,5	5,03
5	0,32	5	1,12	5	2,09	5	3,02	5	3,33
5,5	0,24	5,5	0,54	5,5	1,36	5,5	2,16	5,5	2,39
6	0,19	6	0,42	6	1,15	6	1,46	6	2,04
6,5	0,15	6,5	0,33	6,5	1	6,5	1,25	6,5	1,39
7	0,12	7	0,27	7	0,49	7	1,1	7	1,21
7,5	0,1	7,5	0,23	7,5	0,41	7,5	0,58	7,5	1,08
8	0,08	8	0,19	8	0,35	8	0,49	8	0,58
DIAL 6		DIAL 7		DIAL 8		DIAL 9		DIAL 10	
Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)
3	71,17	3	83,1	3	98,42	3	111,02	3	125,12
3,5	18,07	3,5	21,08	3,5	25,05	3,5	28,13	3,5	31,5
4	9,29	4	11,04	4	13,08	4	14,47	4	16,4
4,5	6,02	4,5	7,04	4,5	8,23	4,5	9,26	4,5	10,38
5	4,16	5	4,58	5	5,54	5	6,39	5	7,29
5,5	3,11	5,5	3,43	5,5	4,25	5,5	4,58	5,5	5,36
6	2,29	6	2,53	6	3,26	6	3,52	6	4,21
6,5	1,59	6,5	2,19	6,5	2,45	6,5	3,06	6,5	3,3
7	1,38	7	1,54	7	2,16	7	2,33	7	2,52
7,5	1,22	7,5	1,35	7,5	1,53	7,5	2,08	7,5	2,24
8	1,09	8	1,21	8	1,36	8	1,48	8	2,02

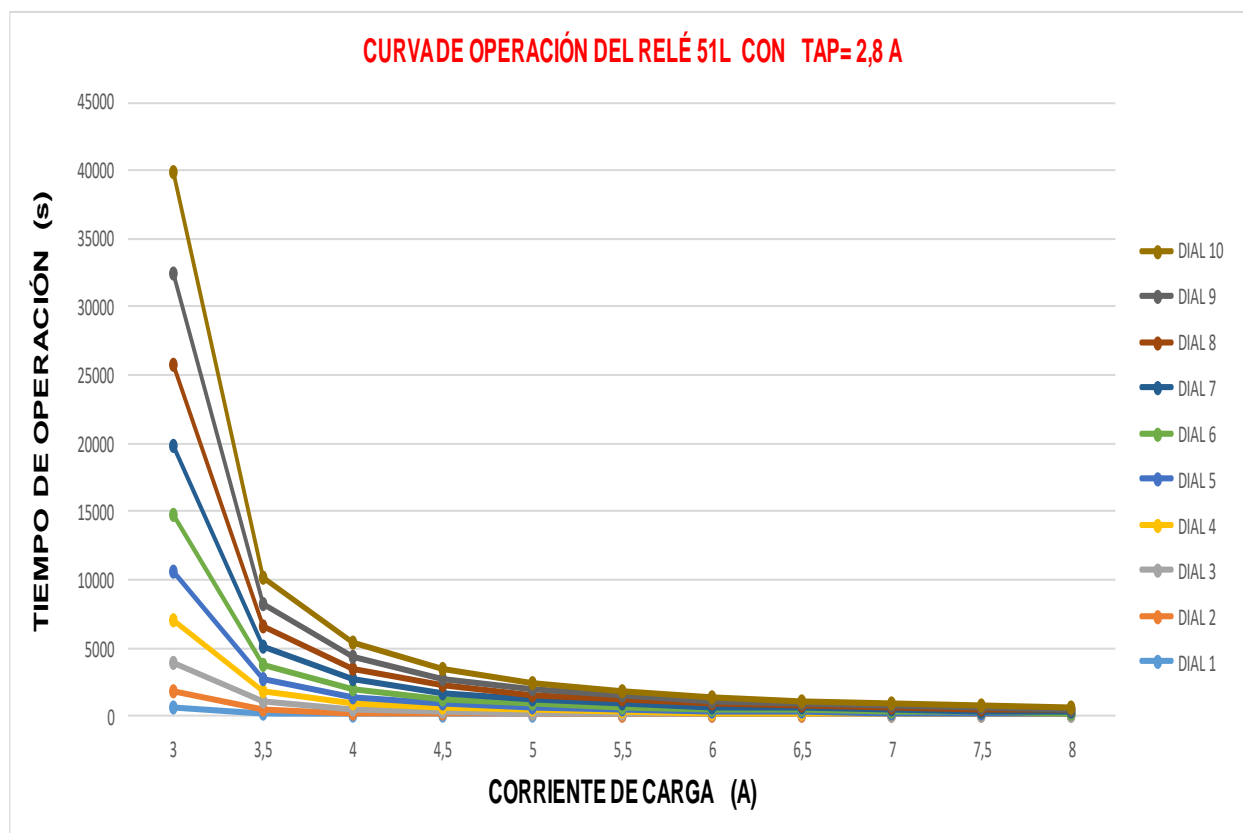


Figura 26. Curva de operación del Relé 51L con Tap= 2,8 A

En la (Tabla 6) se muestra los valores de tiempo de operación del relé 51L cuando se encuentra configurado con un Tap fijo de 3.1 amperios, las constantes que varían son el Dial de 1 a 10 y la corriente de carga varia de 8 amperios hasta el valor superior al Tap que seria 3.5 amperios este se varia en una escala de 0.5 Amperios, presentándonos un tiempo mínimo de 11 segundos con Dial 1 y una corriente de carga de 8 amperios y un tiempo máximo de 62,47 minutos con Dial 10 y una corriente de carga de 3.5 amperios.

La (Figura 27) nos presenta las curvas de operación del relé 51L cuando la configuración del Tap de operación es de 3.1 amperios, como se visualiza en la gráfica

existen 10 curvas de operación que son los 10 Dials a las que opera el relé que superan en tiempo de operación al del Tap 2.8 A. Cuando el Dial es mayor aumenta el tiempo de operación como ejemplo se puede visualizar en la gráfica en el Dial 2 cuando se tiene una corriente de operación de 7 A el $t=36$ segundos y en el Dial 7 en la misma corriente de 7 A ahora se tiene un $t=2,22$ minutos. La corriente de carga nos presenta un mínimo de 3.5 A y máximo de 8 A variando en cada Dial en una escala de 0.5 A, cuando se tiene corrientes altas el tiempo de operación del relé es menor que cuando se tiene corrientes bajas como ejemplo se puede visualizar en el Dial 5 cuando la corriente de carga es 4 A el $t=11,42$ minutos y cuando se tiene 3.5 A el $t=29,12$ minutos.

Tabla 6

Datos del Relé 51L con Tap=3,1 A

DATOS DEL RELÉ 51 (TIEMPO INVERSO) TAP= 3,1 A									
DIAL 1		DIAL 2		DIAL 3		DIAL 4		DIAL 5	
Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)
3,5	4,52	3,5	13,21	3,5	16,47	3,5	23,21	3,5	29,12
4	1,57	4	5,31	4	6,43	4	9,22	4	11,42
4,5	1,08	4,5	3,19	4,5	3,55	4,5	5,28	4,5	6,50
5	0,46	5	2,18	5	2,38	5	3,41	5	4,36
5,5	0,33	5,5	1,43	5,5	1,55	5,5	2,41	5,5	3,21
6	0,25	6	1,21	6	1,28	6	2,03	6	2,34
6,5	0,2	6,5	1,05	6,5	1,11	6,5	1,38	6,5	2,02
7	0,16	7	0,36	7	0,58	7	1,19	7	1,39
7,5	0,13	7,5	0,46	7,5	0,49	7,5	1,06	7,5	1,22
8	0,11	8	0,39	8	0,41	8	0,56	8	1,10
DIAL 6		DIAL 7		DIAL 8		DIAL 9		DIAL 10	
Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)
3,5	35,03	3,5	41,54	3,5	49,04	3,5	55,12	3,5	62,47
4	14,03	4	16,48	4	19,40	4	22,08	4	25,10
4,5	8,12	4,5	9,49	4,5	11,29	4,5	12,55	4,5	14,42
5	5,32	5	6,37	5	7,44	5	8,42	5	9,54
5,5	4,01	5,5	4,49	5,5	5,38	5,5	6,20	5,5	7,12
6	3,05	6	3,41	6	4,19	6	4,51	6	5,31
6,5	2,26	6,5	2,55	6,5	3,25	6,5	3,50	6,5	4,22
7	1,59	7	2,22	7	2,47	7	3,07	7	3,33
7,5	1,39	7,5	1,58	7,5	2,18	7,5	2,36	7,5	2,57
8	1,23	8	1,40	8	1,57	8	2,12	8	2,30

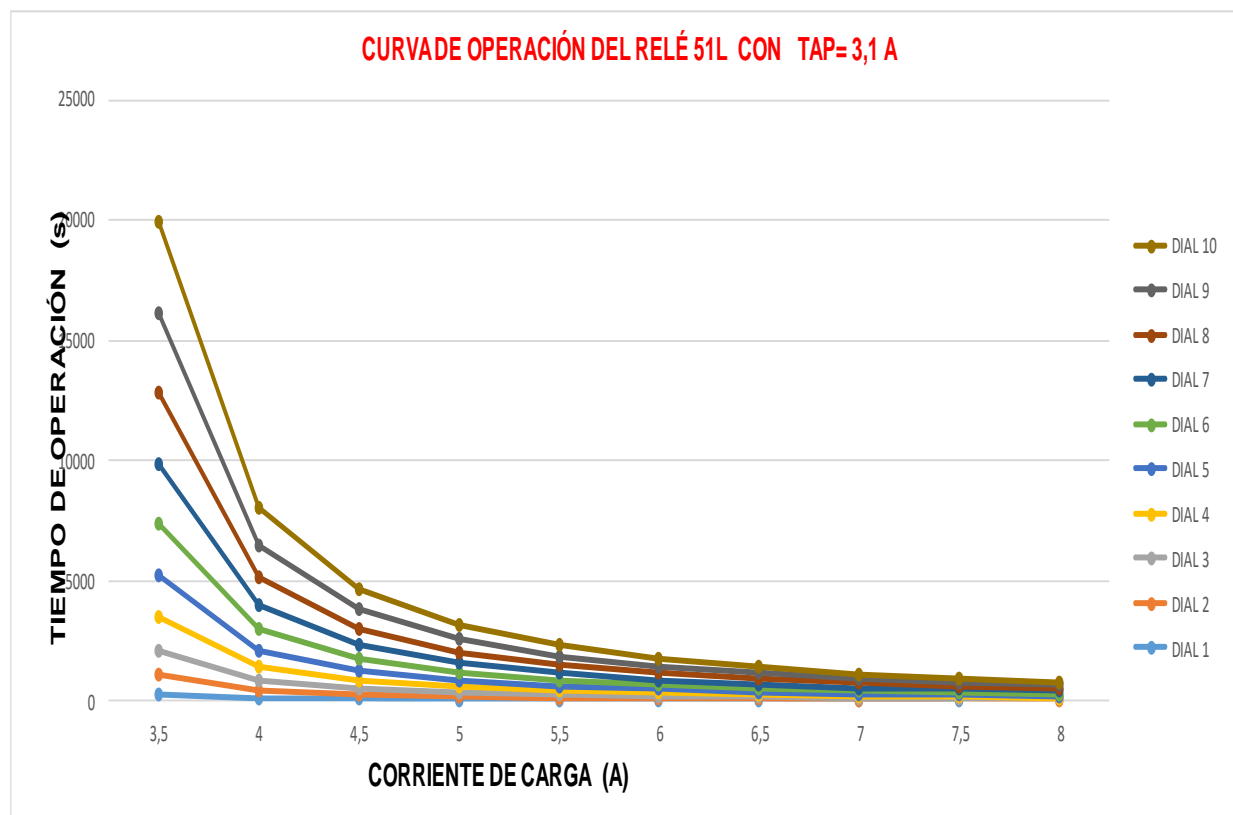


Figura 27. Curva de operación del Relé 51L con Tap= 3,1 A

En la (Tabla 7) se muestra los valores de tiempo de operación del relé 51L cuando se encuentra configurado con un Tap fijo de 3.5 amperios, las constantes que varían son el Dial de 1 a 10 y la corriente de carga varia de 8 amperios hasta el valor superior al Tap que seria 4 amperios este se varia en una escala de 0.5 Amperios, presentándonos un tiempo mínimo de 12 segundos con Dial 1 y una corriente de carga de 8 amperios y un tiempo máximo de 37.54 minutos con Dial 10 y una corriente de carga de 4 amperios.

La (Figura 28) nos presenta las curvas de operación del relé 51L cuando la configuración del Tap de operación es de 3.5 amperios, como se visualiza en la gráfica existen 10 curvas de operación que son los 10 Dials a las que opera el relé que superan

en tiempo de operación al del Tap 3.1 A. Cuando el Dial es mayor aumenta el tiempo de operación como ejemplo se puede visualizar en la gráfica en el Dial 8 cuando se tiene una corriente de operación de 8 A el $t=1,49$ minutos y en el Dial 10 en la misma corriente de 8 A ahora se tiene un $t=2,19$ minutos. La corriente de carga nos presenta un mínimo de 4 A y máximo de 8 A variando en cada Dial en una escala de 0.5 A, cuando se tiene corrientes altas el tiempo de operación del relé es menor que cuando se tiene corrientes bajas como ejemplo se puede visualizar en el Dial 6 cuando la corriente de carga es 5 A el $t=6,17$ minutos y cuando se tiene 4 A el $t=22,29$ minutos.

Tabla 7

Datos del Relé 51L con Tap= 3,5 A

DATOS DEL RELÉ 51 (TIEMPO INVERSO) TAP= 3,5 A									
DIAL 1		DIAL 2		DIAL 3		DIAL 4		DIAL 5	
Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)
4	2,50	4	6,53	4	10,19	4	14,17	4	18,05
4,5	1,18	4,5	3,09	4,5	4,43	4,5	6,31	4,5	8,15
5	0,47	5	1,55	5	2,53	5	3,59	5	5,03
5,5	0,33	5,5	1,20	5,5	1,60	5,5	2,46	5,5	3,30
6	0,24	6	0,59	6	1,29	6	2,03	6	2,35
6,5	0,19	6,5	0,46	6,5	1,09	6,5	1,35	6,5	2,01
7	0,15	7	0,37	7	0,55	7	1,16	7	1,37
7,5	0,12	7,5	0,30	7,5	0,45	7,5	1,03	7,5	1,19
8	0,10	8	0,25	8	0,38	8	0,52	8	1,06
DIAL 6		DIAL 7		DIAL 8		DIAL 9		DIAL 10	
Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)
4	22,29	4	26,32	4	29,37	4	33,43	4	37,54
4,5	10,16	4,5	12,07	4,5	13,31	4,5	15,23	4,5	17,18
5	6,17	5	7,25	5	8,16	5	9,25	5	10,35
5,5	4,21	5,5	5,08	5,5	5,44	5,5	6,31	5,5	7,20
6	3,13	6	3,48	6	4,15	6	4,50	6	5,26
6,5	2,30	6,5	2,57	6,5	3,18	6,5	3,45	6,5	4,13
7	2,00	7	2,22	7	2,38	7	3,00	7	3,23
7,5	1,39	7,5	1,56	7,5	2,10	7,5	2,28	7,5	2,46
8	1,23	8	1,37	8	1,49	8	2,04	8	2,19

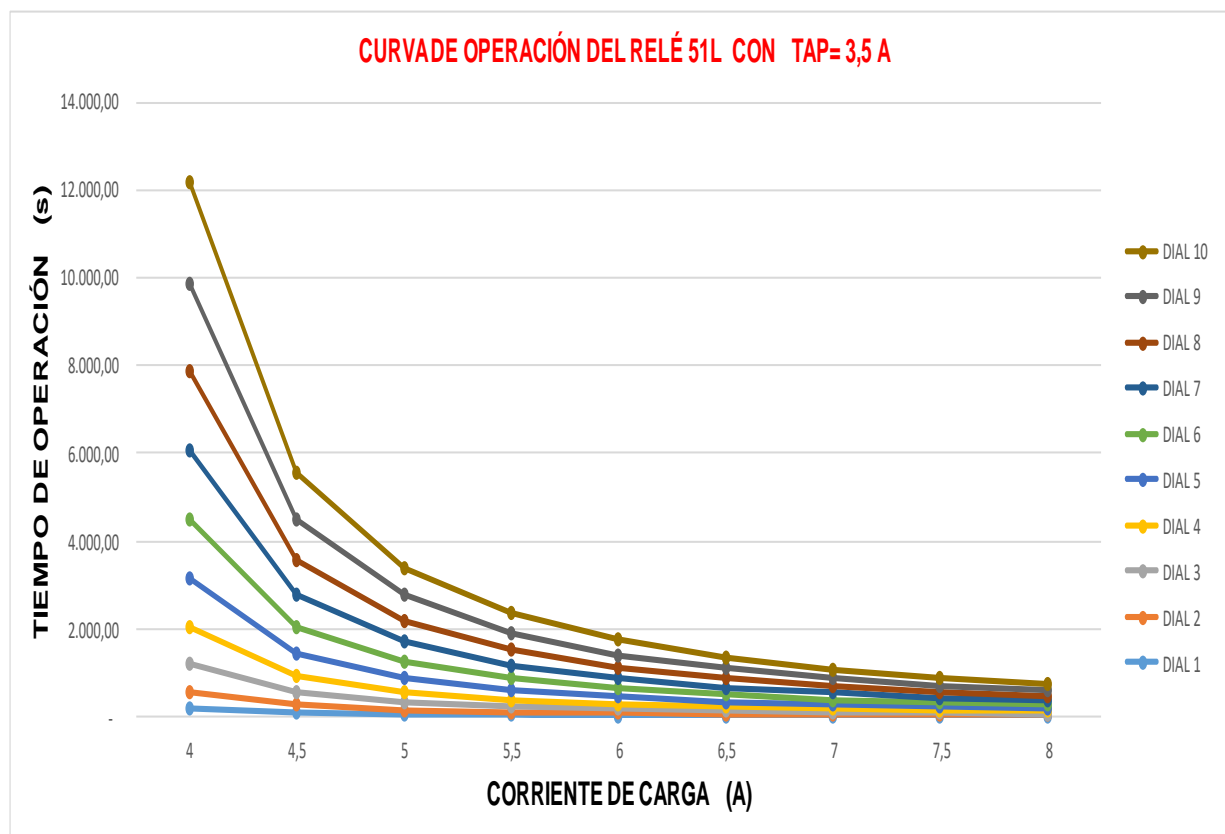


Figura 28. Curva de operación del Relé 51L con Tap= 3,5 A

En la (Tabla 8) se muestra los valores de tiempo de operación del relé 51L cuando se encuentra configurado con un Tap fijo de 4 amperios, las constantes que varían son el Dial de 1 a 10 y la corriente de carga varia de 8 amperios hasta el valor superior al Tap que seria 4.5 amperios este se varia en una escala de 0.5 Amperios, presentándonos un tiempo mínimo de 14 segundos con Dial 1 y una corriente de carga de 8 amperios y un tiempo máximo de 40,03 minutos con Dial 10 y una corriente de carga de 4.5 amperios.

La (Figura 29) nos presenta las curvas de operación del relé 51L cuando la configuración del Tap de operación es de 4 amperios, como se visualiza en la gráfica existen 10 curvas de operación que son los 10 Dials a las que opera el relé que superan

en tiempo de operación al del Tap 3.5 A. Cuando el Dial es mayor aumenta el tiempo de operación como ejemplo se puede visualizar en la gráfica en el Dial 2 cuando se tiene una corriente de operación de 6 A el $t=1,23$ minutos y en el Dial 5 en la misma corriente de 6 A ahora se tiene un $t=3,42$ minutos. La corriente de carga nos presenta un mínimo de 4.5 A y máximo de 8 A variando en cada Dial en una escala de 0.5 A, cuando se tiene corrientes altas el tiempo de operación del relé es menor que cuando se tiene corrientes bajas como ejemplo se puede visualizar en el Dial 3 cuando la corriente de carga es 6.5 A el $t=1,37$ minutos y cuando se tiene 4.5 A el $t=10,53$ minutos.

Tabla 8

Datos del Relé 51L con Tap= 4 A

DATOS DEL RELÉ 51 (TIEMPO INVERSO) TAP= 4 A									
DIAL 1		DIAL 2		DIAL 3		DIAL 4		DIAL 5	
Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)
4,5	3,04	4,5	6,57	4,5	10,53	4,5	14,43	4,5	18,38
5	1,25	5	3,12	5	5,01	5	6,47	5	8,36
5,5	0,53	5,5	1,59	5,5	3,06	5,5	4,11	5,5	5,19
6	0,37	6	1,23	6	2,10	6	2,55	6	3,42
6,5	0,27	6,5	1,02	6,5	1,37	6,5	2,11	6,5	2,46
7	0,21	7	0,48	7	1,16	7	1,42	7	2,10
7,5	0,17	7,5	0,39	7,5	1,01	7,5	1,22	7,5	1,44
8	0,14	8	0,32	8	0,50	8	1,08	8	1,26
DIAL 6		DIAL 7		DIAL 8		DIAL 9		DIAL 10	
Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)
4,5	22,57	4,5	27,03	4,5	30,57	4,5	35,42	4,5	40,03
5	10,35	5	12,29	5	14,17	5	16,28	5	18,28
5,5	6,32	5,5	7,42	5,5	8,49	5,5	10,10	5,5	11,25
6	4,34	6	5,23	6	6,09	6	7,06	6	7,58
6,5	3,24	6,5	4,01	6,5	4,36	6,5	5,18	6,5	5,57
7	2,40	7	3,08	7	3,35	7	4,08	7	4,39
7,5	2,09	7,5	2,32	7,5	2,53	7,5	3,20	7,5	3,44
8	1,46	8	2,05	8	2,23	8	2,45	8	3,05

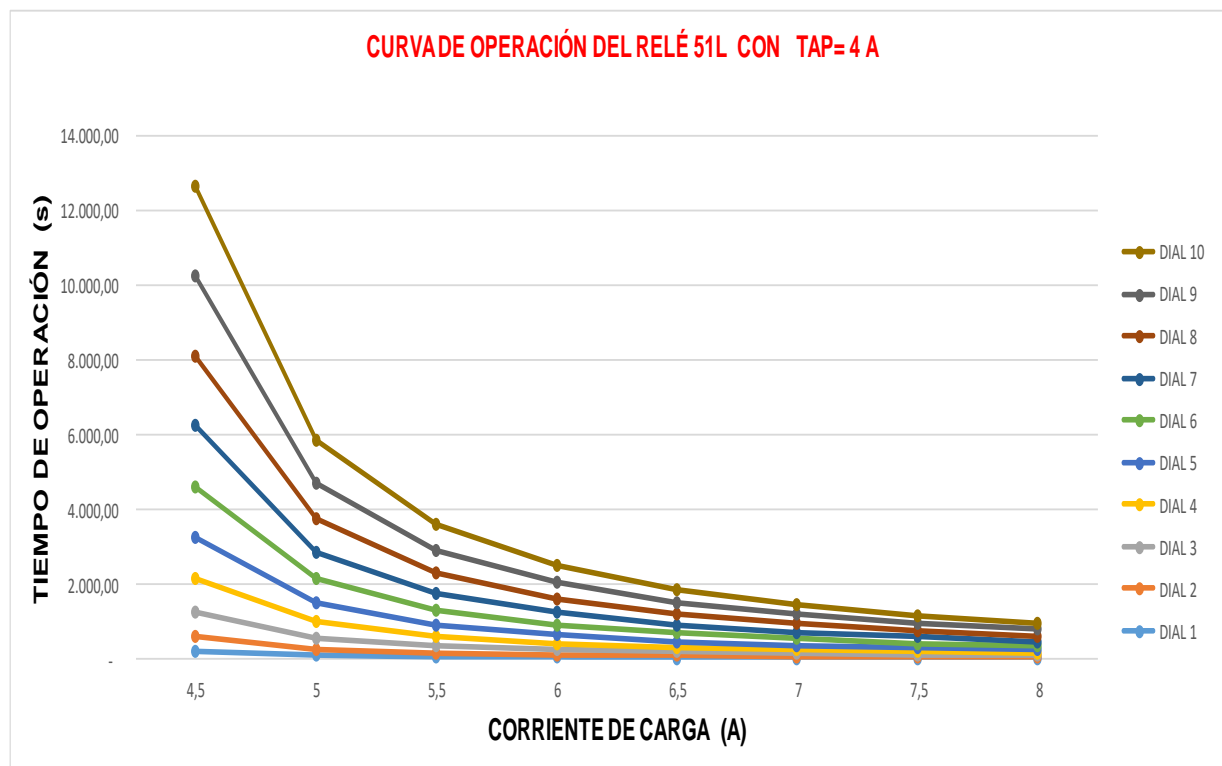


Figura 29. Curva de operación del Relé 51L con Tap= 4 A

En la (Tabla 9) se muestra los valores de tiempo de operación del relé 51L cuando se encuentra configurado con un Tap fijo de 4.5 amperios, las constantes que varían son el Dial de 1 a 10 y la corriente de carga varía de 8 amperios hasta el valor superior al Tap que sería 5 amperios este se varía en una escala de 0.5 Amperios, presentándonos un tiempo mínimo de 18 segundos con Dial 1 y una corriente de carga de 8 amperios y un tiempo máximo de 43,35 minutos con Dial 10 y una corriente de carga de 5 amperios.

La (Figura 30) nos presenta las curvas de operación del relé 51L cuando la configuración del Tap de operación es de 4.5 amperios, como se visualiza en la gráfica existen 10 curvas de operación que son los 10 Dials a las que opera el relé que superan en tiempo de operación al del Tap 4 A. Cuando el Dial es mayor aumenta el tiempo de

operación como ejemplo se puede visualizar en la gráfica en el Dial 4 cuando se tiene una corriente de operación de 5 A el $t=15,28$ minutos y en el Dial 8 en la misma corriente de 5 A ahora se tiene un $t=33,11$ minutos. La corriente de carga nos presenta un mínimo de 5 A y máximo de 8 A variando en cada Dial en una escala de 0.5 A, cuando se tiene corrientes altas el tiempo de operación del relé es menor que cuando se tiene corrientes bajas como ejemplo se puede visualizar en el Dial 9 cuando la corriente de carga es 7 A el $t=5,53$ minutos y cuando se tiene 6 A el $t=11,09$ minutos.

Tabla 9

Datos del Relé 51L con Tap= 4,5 A

DATOS DEL RELÉ 51 (TIEMPO INVERSO) TAP= 4,5 A									
DIAL 1		DIAL 2		DIAL 3		DIAL 4		DIAL 5	
Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)
5	3,06	5	6,53	5	11,10	5	15,28	5	19,46
5,5	1,26	5,5	3,12	5,5	5,12	5,5	7,12	5,5	9,11
6	0,54	6	1,59	6	3,14	6	4,29	6	5,43
6,5	0,38	6,5	1,24	6,5	2,16	6,5	3,09	6,5	4,01
7	0,28	7	1,03	7	1,42	7	2,22	7	3,01
7,5	0,22	7,5	0,49	7,5	1,20	7,5	1,51	7,5	2,22
8	0,18	8	0,40	8	1,05	8	1,30	8	1,55
DIAL 6		DIAL 7		DIAL 8		DIAL 9		DIAL 10	
Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)
5	24,14	5	28,41	5	33,11	5	38,31	5	43,35
5,5	11,16	5,5	13,21	5,5	15,26	5,5	17,55	5,5	20,16
6	7,01	6	8,18	6	9,36	6	11,09	6	12,37
6,5	4,56	6,5	5,50	6,5	6,45	6,5	7,50	6,5	8,52
7	3,42	7	4,23	7	5,04	7	5,53	7	6,39
7,5	2,54	7,5	3,26	7,5	3,59	7,5	4,37	7,5	5,14
8	2,21	8	2,47	8	3,13	8	3,44	8	4,14

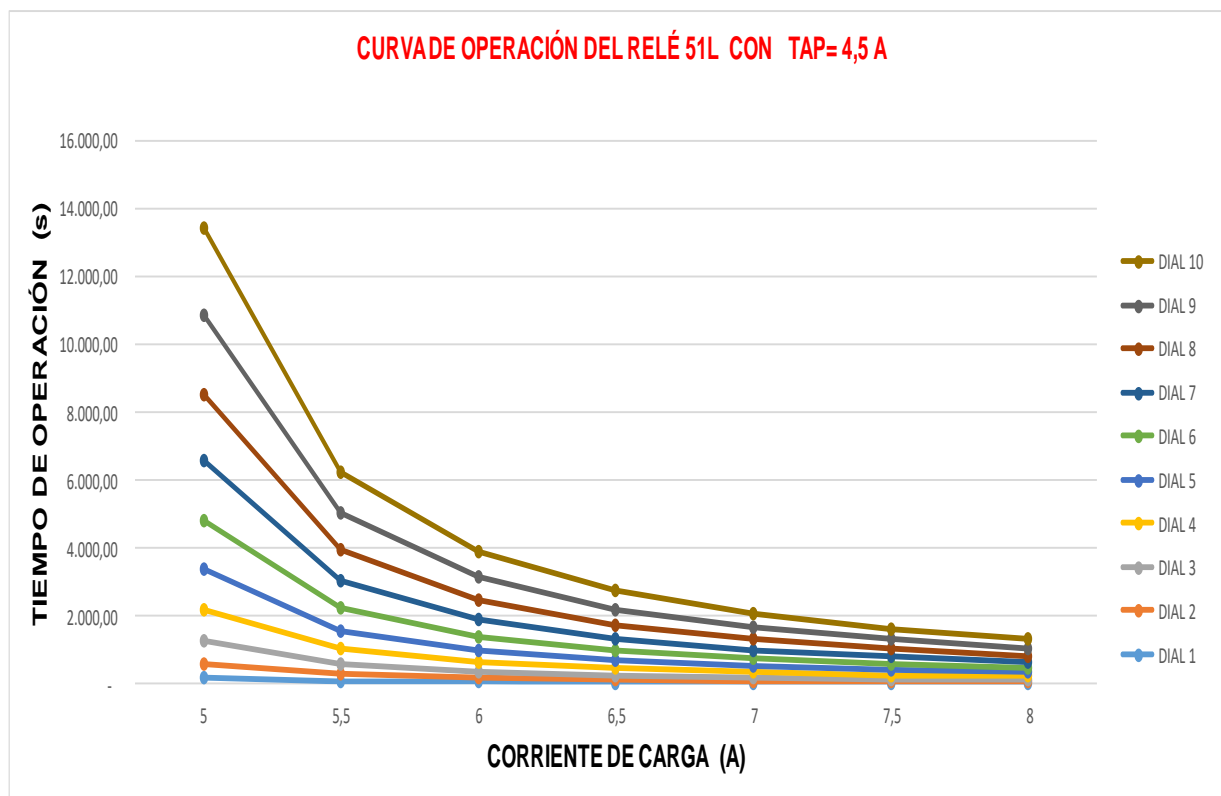


Figura 30. Curva de operación del Relé 51L con Tap= 4,5 A

En la (Tabla 10) se muestra los valores de tiempo de operación del relé 51L cuando se encuentra configurado con un Tap fijo de 5 amperios, las constantes que varían son el Dial de 1 a 10 y la corriente de carga varía de 8 amperios hasta el valor superior al Tap que sería 5.5 amperios este se varía en una escala de 0.5 Amperios, presentándonos un tiempo mínimo de 25 segundos con Dial 1 y una corriente de carga de 8 amperios y un tiempo máximo de 50 minutos con Dial 10 y una corriente de carga de 5.5 amperios.

La (Figura 31) nos presenta las curvas de operación del relé 51L cuando la configuración del Tap de operación es de 5 amperios, como se visualiza en la gráfica existen 10 curvas de operación que son los 10 Dials a las que opera el relé que superan

en tiempo de operación al del Tap 4.5 A. Cuando el Dial es mayor aumenta el tiempo de operación como ejemplo se puede visualizar en la gráfica en el Dial 1 cuando se tiene una corriente de operación de 6 A el $t=1,32$ minutos y en el Dial 10 en la misma corriente de 6 A ahora se tiene un $t=23,25$ minutos. La corriente de carga nos presenta un mínimo de 5.5 A y máximo de 8 A variando en cada Dial en una escala de 0.5 A, cuando se tiene corrientes altas el tiempo de operación del relé es menor que cuando se tiene corrientes bajas como ejemplo se puede visualizar en el Dial 4 cuando la corriente de carga es 8 A el $t=2,11$ minutos y cuando se tiene 5.5 A el $t=17,54$ minutos.

Tabla 10

Datos del Relé 51L con Tap= 5 A

DATOS DEL RELÉ 51 (TIEMPO INVERSO) TAP= 5 A									
DIAL 1		DIAL 2		DIAL 3		DIAL 4		DIAL 5	
Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)
5,5	3,21	5,5	8,12	5,5	12,55	5,5	17,54	5,5	23,13
6	1,32	6	3,49	6	6,02	6	8,22	6	10,58
6,5	0,58	6,5	2,23	6,5	3,45	6,5	5,12	6,5	6,51
7	0,4	7	1,41	7	2,39	7	3,41	7	4,47
7,5	0,32	7,5	1,15	7,5	2,03	7,5	2,47	7,5	3,35
8	0,25	8	0,58	8	1,34	8	2,11	8	2,51
DIAL 6		DIAL 7		DIAL 8		DIAL 9		DIAL 10	
Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)	Corriente (A)	Tiempo (min)
5,5	29,13	5,5	33,54	5,5	39,19	5,5	44,34	5,5	50
6	13,52	6	15,48	6	18,23	6	20,52	6	23,25
6,5	8,29	6,5	9,55	6,5	11,32	6,5	13,05	6,5	14,38
7	6,05	7	7,05	7	8,04	7	9,12	7	10,19
7,5	4,36	7,5	5,17	7,5	6,11	7,5	6,57	7,5	7,48
8	3,34	8	4,09	8	4,49	8	5,28	8	6,11

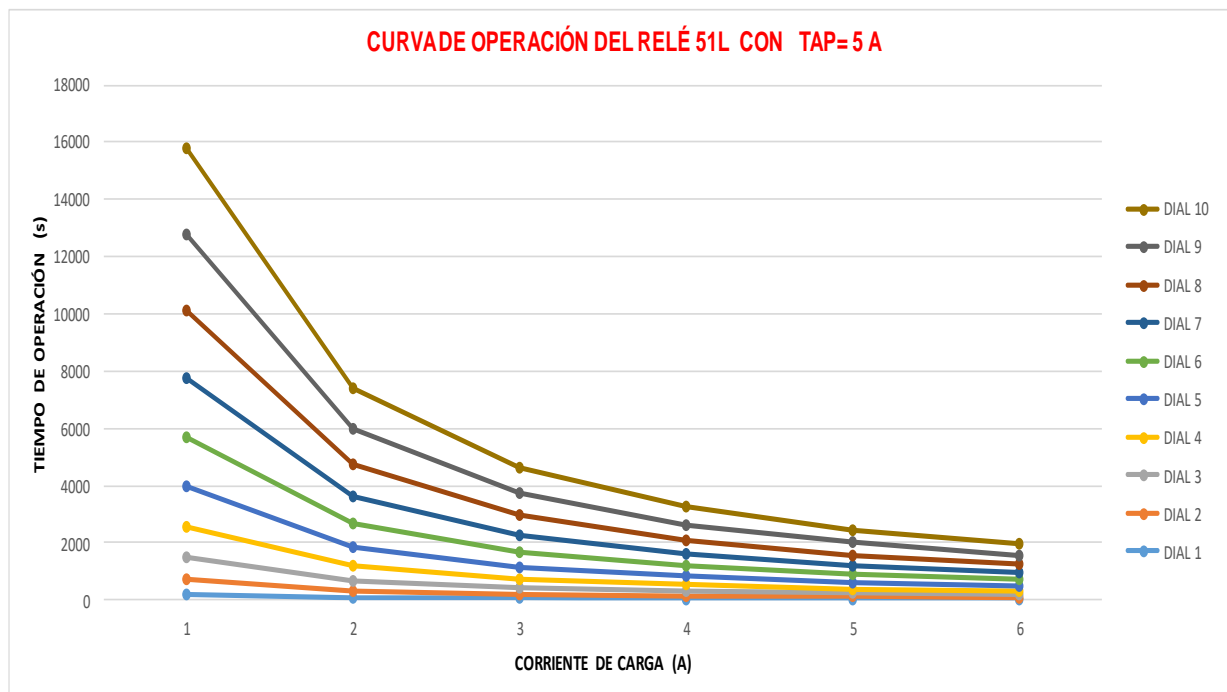


Figura 31. Curva de operación del Relé 51L con Tap= 5 A

4.4. Curva característica de operación Circuit- Shield Type 50D

A continuación, se presentará la curva característica del relé de sobrecorriente electromecánico tipo 51D tanto del manual de operación como de los datos obtenidos físicamente y se realizará una comparación entre ambos, esta curva se nos presenta la corriente versus el tiempo.

4.4.1. Curva de operación del Datasheet

Según nos presenta (Company, 1993), en su catálogo del relé 50D se puede visualizar la curva de operación de este relé según su tiempo en el eje y, y de su corriente de carga en el eje x, como se muestra en la (Figura 32), es un tipo de relé instantáneo es decir que

cuando llega a su valor de corriente nominal este saltara inmediatamente. Revisar (Anexo E)

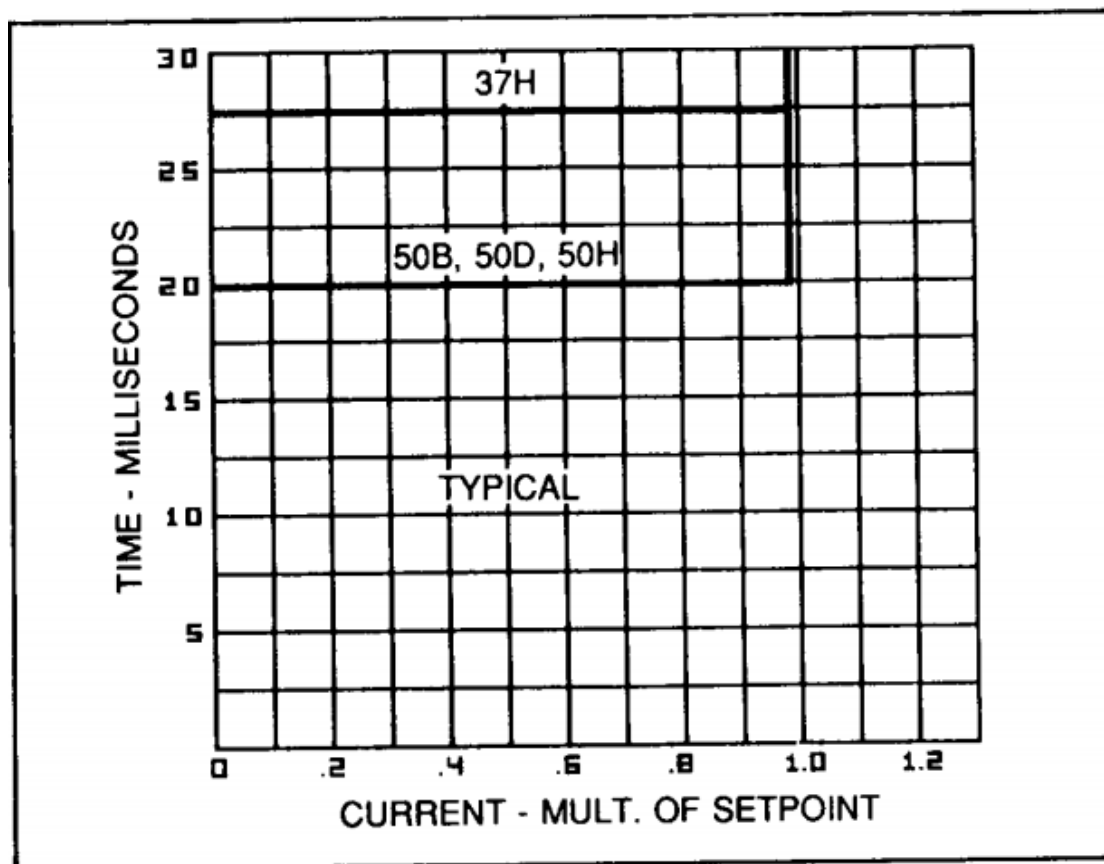


Figura 32. Curva de operación del Relé 50 D datasheet

Fuente: (Company, ABB Circuit Shield, 1993)

4.4.2. Valores medidos físicamente de los tiempos de operación del relé 50D

El relé electromecánico de sobrecorriente 50D, en su funcionamiento dispone de 8 Dials: 0- 0,1 - 0,5 – 1 - 1,5 – 2 - 2,5 - 3 esto nos presentara 8 curvas de operación del relé, y de 10 Taps de valores: 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10 Amperios de carga ese es valor

mínimo de corriente de operación del relé. Estos parámetros aparte de la carga se pueden ir modificando para la adquisición de datos para la gráfica de operación del relé.

A continuación, en la (Tabla 11) se presentará de los valores medidos físicamente de la operación del relé 51D donde se modificará tres parámetros de manera manual en la parte frontal del relé como es su Carga, el Dial y el Tap, posteriormente se mandará operar el relé según estos parámetros y se tomará el dato del tiempo de operación del relé 51D mediante un cronómetro que nos permitirá obtener el tiempo para posteriormente graficar la curva de operación del relé.

Es muy importante tomar en cuenta en este tipo de relé de tiempo instantáneo que cuando la corriente supere el Tap escogido este inmediatamente saltará en 20 milisegundos, por consecuente si variamos la corriente este relé operará de igual manera dándonos como resultado una línea por lo que el relé seguirá saltando de manera instantánea.

El parámetro del Dial en este tipo de relé 50D, es muy importante ya que son los segundos que nosotros señalaremos, y son los que tardara en saltar el relé en una escala de 0,1 a 3 segundos que podemos manipular para la operación del relé como se muestra en la (*Figura 33*).

Tabla 11

Datos del Relé 50D con corriente de carga= 10 A

DATOS DEL RELÉ 51L (TIEMPO INVERSO) CORRIENTE = 10 A									
DIAL 0		DIAL 0,1		DIAL 0,5		DIAL 1		DIAL 1,5	
Corriente (A)	Tiempo (s)	Corriente (A)	Tiempo (s)	Corriente (A)	Tiempo (s)	Corriente (A)	Tiempo (s)	Corriente (A)	Tiempo (s)
1	0,02	1	0,1	1	0,5	1	1	1	1,5
2	0,02	2	0,1	2	0,5	2	1	2	1,5
3	0,02	3	0,1	3	0,5	3	1	3	1,5
4	0,02	4	0,1	4	0,5	4	1	4	1,5
5	0,02	5	0,1	5	0,5	5	1	5	1,5
6	0,02	6	0,1	6	0,5	6	1	6	1,5
7	0,02	7	0,1	7	0,5	7	1	7	1,5
8	0,02	8	0,1	8	0,5	8	1	8	1,5
9	0,02	9	0,1	9	0,5	9	1	9	1,5
10	0,02	10	0,1	10	0,5	10	1	10	1,5
DIAL 2		DIAL 2,5		DIAL 3					
Corriente (A)	Tiempo (s)	Corriente (A)	Tiempo (s)	Corriente (A)	Tiempo (s)				
1	2	1	2,5	1	3				
2	2	2	2,5	2	3				
3	2	3	2,5	3	3				
4	2	4	2,5	4	3				
5	2	5	2,5	5	3				
6	2	6	2,5	6	3				
7	2	7	2,5	7	3				
8	2	8	2,5	8	3				
9	2	9	2,5	9	3				
10	2	10	2,5	10	3				

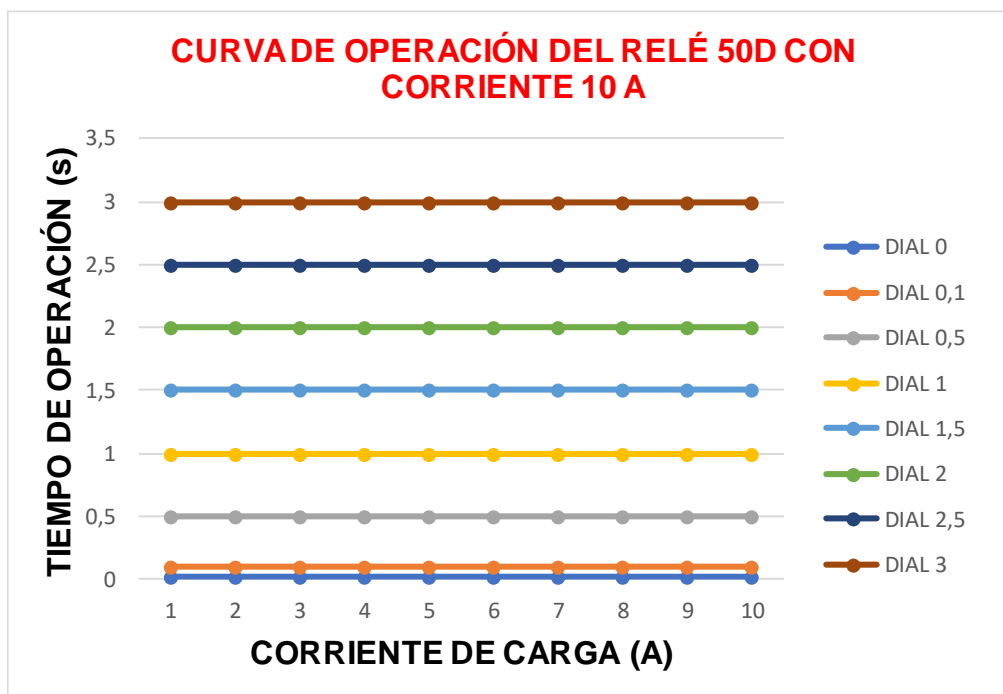


Figura 33. Curvas de operación del Relé 50 D

4.5. Valoración de la construcción del módulo

Como se presentaron en la recolección de datos de cada uno de los relés electromecánicos indicado en las tablas anteriores, se puede observar la variación de los tiempos de operación, específicamente en el relé de sobrecorriente 51L que superaba los 125,12 minutos de operación, en el DIAL=10 TAP= 2.8 A corriente de carga 3 A, nos robaría mucho tiempo de espera para poder graficar la curva de operación, por lo que se ve necesario la construcción de un módulo en donde estos tiempos nos calcule de manera automática y poder agilizar el trabajo de calcular los tiempos de operación de los relés.

Además, se ve en la necesidad de contar con una interfaz gráfica que nos permita ingresar datos y almacenar para poder trabajar con ellos, y contar con un módulo donde se simule líneas de transmisión con estos equipos de protección, y así verificar su funcionamiento.

Este módulo de operación de los relés es muy necesario, se comenzará su construcción con la identificación de los diferentes parámetros de construcción y los requerimientos del ingeniero de manera técnica para satisfacer al usuario.

CAPÍTULO V

PROPUESTA

5.1. Tema de propuesta

Dimensionamiento e implementación de un módulo didáctico para el análisis de curvas de operación en los relés electromecánicos de sobrecorriente inverso e instantáneo (50/51).

5.2. Datos Informativos

Nombre de la Institución: Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE Extensión Latacunga.

Dirección: Provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, Calle Quijano y Ordoñez y Hermanas Páez

Tipo de empresa: Educación

Tamaño de la Institución: Grande

5.2.1. Beneficiarios

Estudiantes de la carrera de Ingeniería Electromecánica, en el campo de Protecciones Eléctricas.

5.3. Objetivos

5.3.1. Objetivo General

Dimensionar e implementar un módulo didáctico a partir de los relés electromecánicos de sobrecorriente inverso e instantáneo (50/51), para el análisis de curvas de operación.

5.3.2. Objetivos Específicos

Identificar y adquirir los equipos para la construcción del módulo didáctico que servirá para el análisis de curvas de operación de los relés electromecánicos de sobrecorriente inverso e instantáneo (50/51)

Construir el módulo de acuerdo a las medidas de los equipos y estándares de construcción.

Implementar una interfaz gráfica para el análisis de las curvas de operación de los relés.

Identificar la ecuación matemática que nos permita calcular los tiempos de operación de los relés empleados en el módulo didáctico.

Realizar pruebas de funcionamiento de los relés y analizar las curvas de operación de los relés electromecánicos cuando se presenta una falla en la barra, y mediante un software compararla con otras curvas variando otros parámetros de funcionamiento.

5.4. Justificación de la Propuesta

Con el empleo de este proyecto se podrá poner en práctica los conocimientos adquiridos en la materia específicamente Protecciones Eléctricas mediante lo cual se pondrá en desarrollo diferentes prácticas para que los estudiantes refuercen la parte teórica.

Gracias a esto podremos examinar la importancia del dimensionamiento e implementación del módulo didáctico para el laboratorio de Protecciones Eléctricas de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE Latacunga, ya que la universidad en la carrera de Ingeniería Electromecánica dota al estudiante con una percepción clara y practica de los conceptos a fin de aproximar a la realidad del ámbito profesional.

5.5. Fundamentación Propuesta

La propuesta que se detalla en el presente capítulo se relaciona fundamentalmente con el dimensionamiento e implementación del módulo didáctico se podrá analizar las curvas de operación en los relés electromecánicos de sobrecorriente inverso e instantáneo (50/51).

El módulo se utilizará relés electromecánicos de tiempo inverso e instantáneo (50-51), se simulará una falla o una carga para que estos equipos de protección actúen y se realizara el análisis de las curvas de funcionamiento de los relés electromecánicos en tiempo real y también variando algunos parámetros de funcionamiento.

Una vez terminado el módulo se procederá a realizar ejercicios prácticos de análisis de curvas de los relés electromecánicos, con el fin de ser un apoyo para el profesor y los alumnos de la carrera de Ingeniería Electromecánica.

5.6. Diseño de la Propuesta

5.6.1. Resumen

De acuerdo a la propuesta planteada a continuación, se explicará de forma breve el formato con el cual se desarrollará la propuesta de diseño

Selección de sensores y equipos: Para comenzar con la elaboración del proyecto es fundamental seleccionar los sensores y equipos para lo cual se consideran los rangos de medida en este caso de la corriente a los que estará sometida el módulo, tomando en cuenta las características técnicas de los equipos para su correcto funcionamiento.

Procesamiento de datos: Los datos se obtendrán mediante muestras tomadas en ensayos de los relés electromecánicos con los diferentes tipos de carga obtenidos en el laboratorio, para a partir de ahí tener una referencia y realizar la calibración de sensores de corriente.

Obtención de medidas: Mediante una correcta configuración de cada uno de los Equipos, se obtiene los datos de cada uno de los sensores de corriente al igual como el tiempo de operación de cada uno de los relés electromecánicos físicos y el modelo matemático del relé de tiempo inverso e instantáneo.

Diseño mecánico: Se debe considerar el nivel de carga que se puede obtener en el laboratorio de máquinas eléctricas de UFA ESPE sede Latacunga, los valores de corriente necesarios para que los relés electromecánicos sean accionados y para óptimo funcionamiento de estos.

Resultado final: Determinación de las curvas de operación de los relés electromecánicos y determinar la fiabilidad del modelo matemático propio del relé electromecánico.

5.7. Selección de dispositivos electrónicos y mecánicos

Los dispositivos necesarios para el desarrollo del módulo didáctico son selectos a través de un proceso de comparación en el cual se analiza sus características funcionales, mecánicas, compatibilidad entre los diferentes componentes que tendrán el módulo, en este proceso de selección de todos los componentes permite realizar el diseño del módulo didáctico de forma adecuada.

5.7.1. Selección de los transformadores de corriente

Para la determinación de los transformadores de corriente se tomó mucho en cuenta la razón que fue de 30/5A para posteriormente realizar el cálculo de las vueltas de alambre que debemos dar para obtener una corriente mayor, los transformadores de corriente empleados para la construcción del módulo será CFS Transformador de corriente de Multi-montaje CAMSCO.

El transformador de Corriente (TC), Serpentín de corriente de Multi-montaje este es un diseño especial que puede utilizarse con facilidad para conectar con la barra colectora y el cable con soportes de montaje que puede reducirse en su estructura.

a) Características técnicas

CFS-20

Capacidad de Carga: 2.5VA. 5VA. 15VA

Tensión Máxima: 600V

Frecuencia: 50/60Hz

Razón: 30/5A

Conductor through: 1T, 2T, 4T

Burden VA: 1.5VA, 2.5VA

Clase: 1.0

5.7.2. Selección de los sensores de corriente

El dispositivo utilizado en nuestro módulo es Sensor de corriente de efecto Hall (ACS712) consta de un circuito preciso, bajo offset, sensor Hall lineal con una pista de cobre conductor ubicado cerca de la superficie de la matriz. La corriente aplicada que fluye a través de esta pista de conducción de cobre genera un campo magnético que es detectado por el IC integrado Hall y convertida en una tensión proporcional. La exactitud de los dispositivos se optimiza a través de la proximidad de la señal magnética al transductor Hall. Una tensión precisa, proporcional es proporcionada por el bajo offset,

chopper-estabilizado IC BiCMOS Hall, que está programado para la exactitud después del encapsulado, este sensor se muestra en la (*Figura 34*).

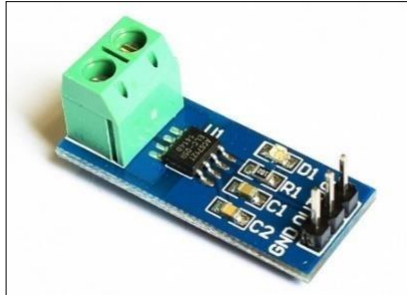


Figura 34. Sensor efecto Hall ACS712-20^a

Fuente: (Digital, 2011)

a) Características técnicas

Voltaje de salida: Analog output 66mV / A

Voltaje de operación: 4.5V ~ 5.5V

Salida de voltaje sin corriente: VCC / 2

Dimensiones PCB: 31 (mm) x14 (mm)

5 μ s output rise time in response to step input current

Ancho de banda 80 kHz

Error Total Salida: 1.5% at TA = 25°C

Resistencia interna: 1.2 m Ω

Mínimo voltaje de aislamiento entre pines 1-4 a pines 5-8: 2.1 kVRMS

Sensibilidad de salida: 66 to 185 mV/A

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

$$V = mI + 2.5 \quad (5.1)$$

Donde:

m es la pendiente y equivale a la Sensibilidad.

Despejando tendremos la ecuación para hallar la corriente a partir de la lectura del sensor:

$$I = \frac{V-2.5}{Sensibilidad(m)} \quad (5.2)$$

La (Tabla 12) muestra el rango de corrientes, sensibilidad de los sensores de efecto Hall.

Tabla 12

Rangos de corrientes de sensores de efecto Hall

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

Fuente: (Miguel, 2015)

5.7.3. Selección de los interruptores automáticos magnetotérmicos

Los interruptores automáticos protegen las instalaciones contra sobrecargas y cortocircuitos, por lo que garantizan la fiabilidad y la seguridad de las maniobras. La serie System pro M compact S200 está formada por dispositivos magnetotérmicos de corriente que protegen contra sobreintensidades. Disponen de dos mecanismos de disparo diferentes: el mecanismo de disparo térmico para la protección contra sobrecargas y el mecanismo de disparo electromagnético para la protección contra cortocircuitos.

a) Características principales

La gama de interruptores automáticos modulares ofrece la posibilidad de escoger entre varias curvas de disparo (B, C, D, K y Z), configuraciones de polos disponibles en 1P, 1P+N, 2P, 3P, 3P+N y 4P, poderes de corte hasta 25 kA e intensidades nominales hasta 100 A.

Cumple las normas de producto de todo el mundo y se puede utilizar para aplicaciones residenciales, del sector terciario e industrial.

IEC/EN 60898-1

IEC/EN 60947-2

UL 1077

UL 489

CSA 22.2 No. 235

CSA 22.2 No. 5

Terminal doble de arrastre bidireccional de 35 mm² y 10 mm² para usos industriales de elevada exigencia. Permite alimentación mediante bloques de barras o cables. Basta con insertar los bloques de barras en la parte trasera del terminal y los cables en la parte delantera.

Indicación de la posición real del contacto, gracias a la conexión directa al contacto móvil, aportando mayor seguridad y fiabilidad.

5.7.4. Selección del controlador

Para el análisis de los datos obtenidos del sensor, comunicación con la interfaz gráfica y el ordenador de nuestro módulo es necesario realizar un análisis de selección de las placas de control con el objetivo de interpretar y procesar las señales enviadas desde el módulo a través de los datos ingresados. A continuación, en la (Tabla 13) se presenta las características de las placas de control que se pueden utilizar para este tipo de operaciones. Continúa

Tabla 13

Características de los controladores

SERIE ARDUINO	MEGA	UNO
Almacenamiento	ATMega 2560	ATMega 328
Energización	+ 5 [V]	+ 5 [V]
Tipo de puerto	USB	USB

CONTINÚA



Velocidad de transferencia	16 MHz	16 MHz
Procesador	8 [KB]	2 [KB]
N° de Entradas y Salidas Analógicas	16	6
N° de Entradas y Salidas Digitales	54	14

Fuente: (Miguel, 2015)

a) Selección de la placa de control principal

El controlador seleccionado para operar todo del sistema electrónico del será el Arduino MEGA (*Figura 35*), este controlador posee una gran capacidad de memoria para el procesamiento de datos, se encarga de la lectura y procesamiento de la señal de los relés y además de la comunicación con la interfaz gráfica y el ordenador.

Las diferentes mediciones de las corrientes, ingreso de constantes, cálculo de los tiempos de operación de los relés estarán a cargo de este controlador Mega, la cual está encargada del procesamiento de las señales, comunicación y visualización de los datos obtenidos.



Figura 35. Controlador Arduino MEGA

Fuente: (González, 2013)

5.7.5. Selección del HMI para el módulo

En nuestro modulo para la visualización de las medidas de las diferentes constantes, además de los tiempos de operación de los relés se empleará una pantalla HMI que sea táctil y a la vez con una buena interfaz gráfica.

La pantalla que hemos seleccionado para nuestro modulo es la HMI Nextion esta permite realizar una comunicación a través de un solo puerto serial, siendo este dispositivo compatible con Arduino Mega a través de la instalación de la librería ITEADLIB_Arduino_Nextion. La pantalla Nextion posee un software propio denominado Nextion Editor de fácil programación, así como también un lenguaje de programación amigable con el usuario permitiendo diseñar una interfaz gráfica acorde a las necesidades de nuestro módulo.



Figura 36. Pantalla Nextion

Fuente: (GeekFactory, 2013)

5.7.6. Selección de los relés electrónicos

En la parte electrónica empleada en nuestro modulo, se requiere tener un elemento electrónico que indique el momento que el tiempo de operación calculado por la ecuación matemática coincida con el tiempo de operación de los relés electromecánicos de nuestro modulo.

Los relés utilizados y que cumplen con las características de nuestro modulo son los Relés Electrónicos 5VDC 10A SPDT como se muestran en la (*Figura 37*), la función de estos dispositivos es que al momento de la señal emitida por el arduino mega de sobrecorriente estos actúen de manera inmediata y estos deben saltar al mismo tiempo que los relés electromecánicos 50/51 de nuestro módulo.

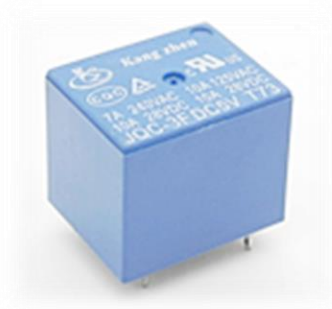


Figura 37. Relé electrónico de 5V DC

Fuente: (Electronicos, s.f.)

a) Características del relé electrónico

Voltaje Nominal Bobina: 5VDC

Numero de pines: 5

1 polo - 2 Contactos (SPDT)

Corriente Soportada: 10A 125VAC - 7A 250VAC

Medidas: 19.0x15.5x15.0 mm

5.7.7. Selección del lector de tarjeta de memoria

En nuestro modulo para el almacenamiento de los datos de operación del relé se nos grabaran en una tarjeta de memoria mediante esta tarjeta de interfaz está diseñada para acceder a la memoria micro SD en modo SPI, por lo que las señales de control se etiquetan claramente con los nombres de las señales en dicho bus de comunicaciones, soporta tarjetas micro SD y micro SDHC. Se puede utilizar con Arduino Mega mediante una conexión que se presenta en la (*Figura 38*), posee un circuito de conversión de voltaje

para comunicarse a 3.3V o 5V. Puede ser alimentado hasta con 5V gracias a su regulador de voltaje incluido dentro del elemento.

a) Características técnicas

Voltaje de Operación: 3.3V-5V

Interfaz: SPI

Cuenta con todos los pines SPI de la tarjeta SD: MOSI, MISO, SCK, CS

Almacena grandes cantidades de datos en memorias SD utilizando Arduino o PIC

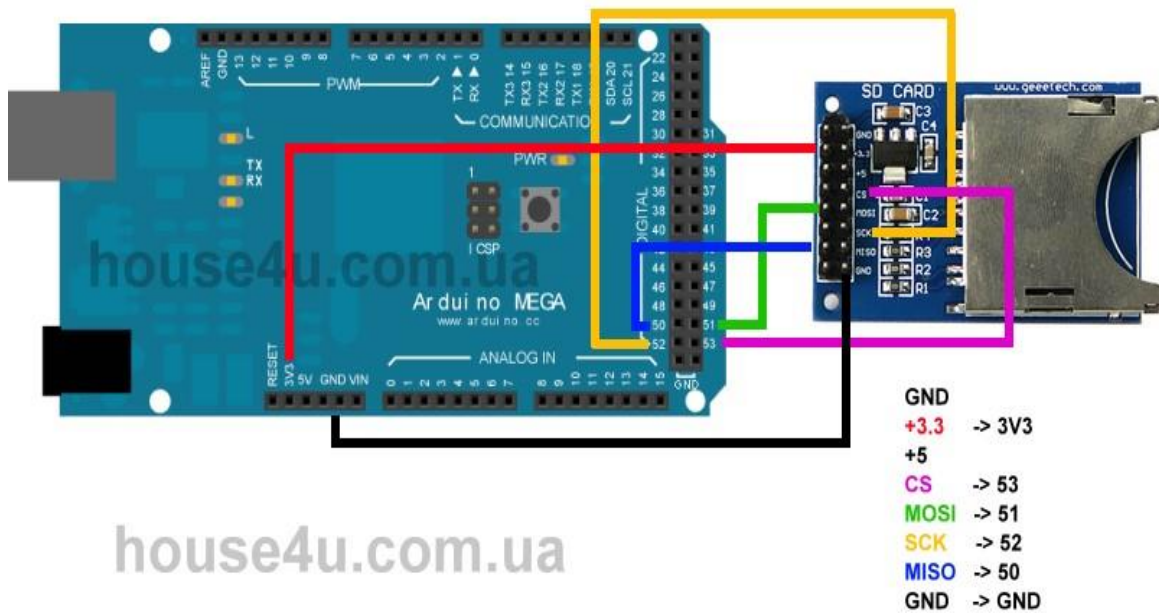


Figura 38. Conexión del módulo SD CARD con el Arduino MEGA

5.8. Metodología para la ejecución de la propuesta

5.8.1. Diseño mecánico del módulo

Tomando en cuenta que el módulo didáctico va a alojar elementos que necesitan ser asegurados con la estructura del módulo se la realizará en MDF de 2cm de grosor con perforaciones para los elementos de acuerdo al esquema de diseño empleado en la elaboración del módulo, el diseño del módulo se presenta en la (*Figura 39*).

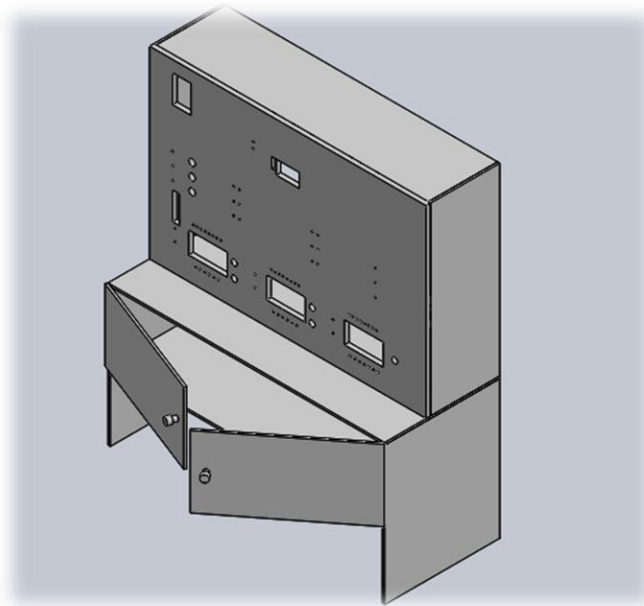


Figura 39. Diseño del módulo estructura física

5.8.2. Esquema de conexión de los componentes electrónicos.

En el esquema presentado en la *Figura 40*, se encuentra la conexión de la parte electrónica de nuestro modulo didáctico con todos los elementos, esto nos permitirá la

obtención de datos que posteriormente nos ayudará a realizar la gráfica de las curvas de operación de los relés electromecánicos estudiados.

EL diagrama principal de conexión de los componentes electrónicos nos presentará más a detalle en el (Anexo G), donde se verificará los elementos con la función de cada uno de sus pines y la función que cumplen cada uno de ellos.

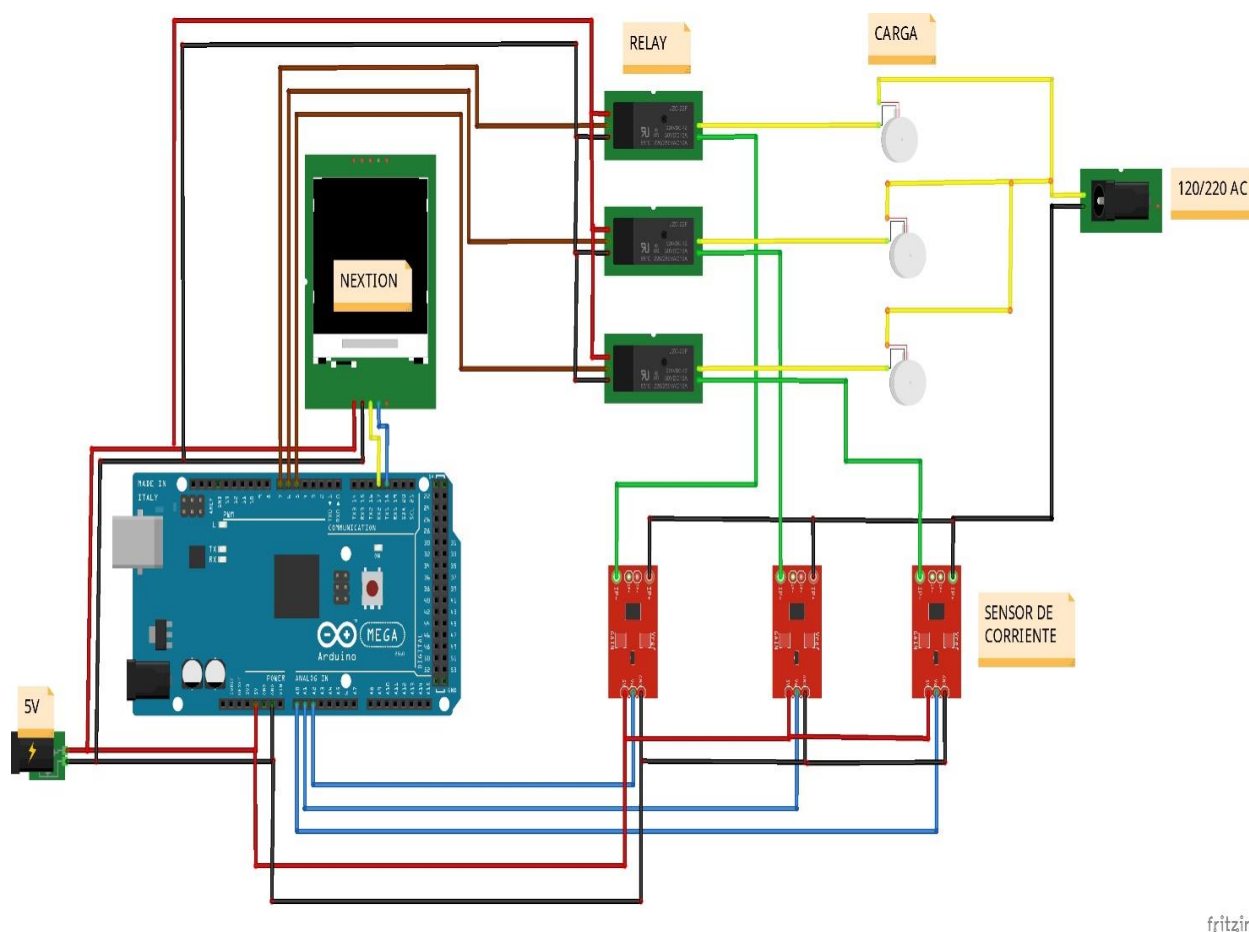


Figura 40. Esquema de la conexión de componentes electrónicos

5.8.3. Comunicación del módulo con el ordenador

En la *Figura 41* se puede visualizar el diagrama de la conexión entre el ordenador y el módulo didáctico. A través de la implementación de una aplicación ejecutable diseñada y programada en el software Arduino, esta aplicación es generada en este software en la cual se registra los datos de la medición de constantes de la operación de los relés electromecánicos.

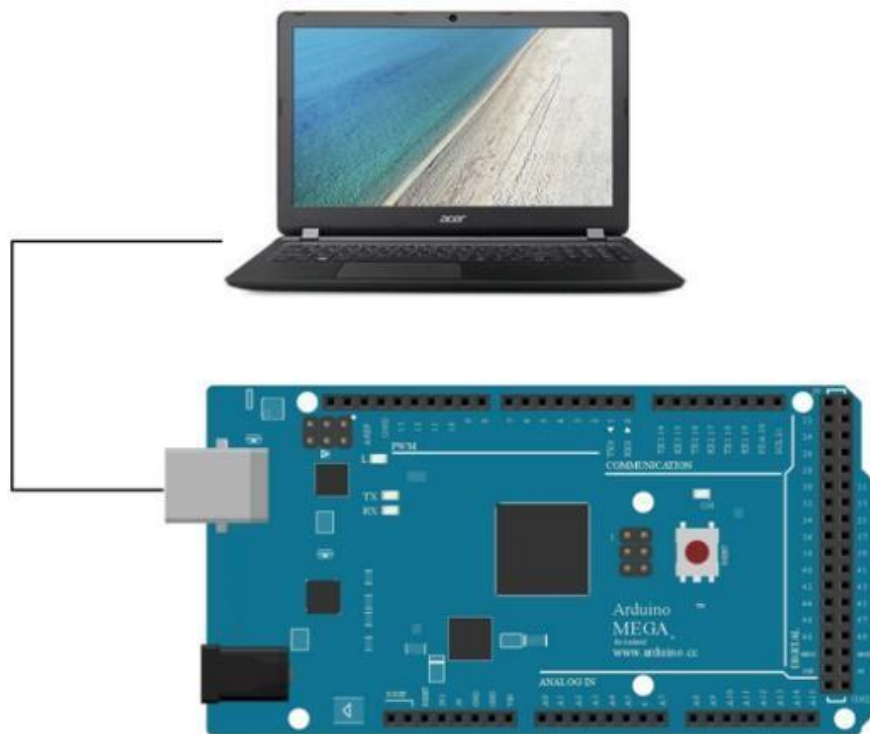


Figura 41. Conexión del módulo con el ordenador

5.9. Programación de las placas de control

5.9.1. Programación Arduino Mega

a) Esquema inicial

Para efectuar la programación en la tarjeta de control Arduino se realiza un diagrama de flujo el cual describe el esquema inicial del proceso como se muestra en la (Figura 42) que se tomara en cuenta para la programación de nuestro controlador como es el Arduino Mega, para realizar todas las funciones de nuestro modulo didáctico.

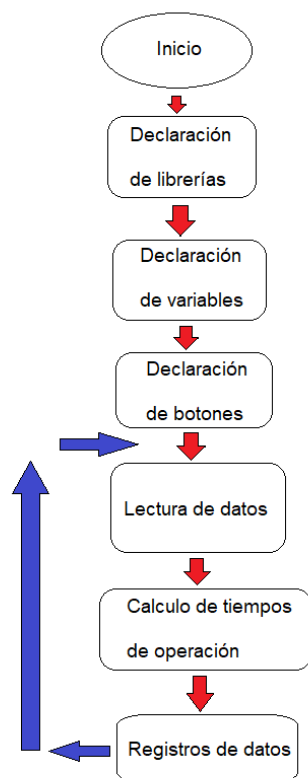


Figura 42. Esquema del proceso de Programación

La tarjeta arduino estará encargada de procesar la señal de corriente procedente del circuito de fuerza y transmitirlo mediante puerto serial a la pantalla nextion HMI.

b) Configuración de variables iniciales

Se realizará la programación de la placa Arduino Mega se declaran las variables que se utilizara en la lectura y visualización de magnitudes a medir como se muestra en la figura (*Figura 43*), para más profundidad revisar Anexo B

```
int chipSelect =53;
#include "Nextion.h"
float Sensibilidad=0.1; //sensibilidad en Voltios/Amperio para sensor de 20A
#define SAMPLES 50 //Must be a power of 2
#define SAMPLING_FREQUENCY 3000 //Hz, must be less than 10000 due to ADC
double muestrasA[SAMPLES]; //se guardan los datos muestreados 200
double rms=0;
double RMS=0;
float RMSA=0.00;
float RMSB=0.00;
float RMSC=0.00;
float Tap_calA=0.00;
float Tap_calB=0.00;
float Tap_calC=0.00;
float REF_A=0;
float REF_B=0;
float REF_C=0;
char result1[8];
char result[8];
char Tap_calNext[8];
char t_op_ard[8];
char t_op_ard1[8];
```

Figura 43. Líneas de código de la declaración de variables

c) Creación de la base de datos

Mediante el módulo Arduino microSD permite la conexión con la placa de control Arduino Mega para a través de esta recibir la información de las variables medidas, la

monitorización y la descarga de datos, la descarga se realizará mediante la tarjeta SD y un ordenador. La base de datos registra el valor de la corriente de falla mediante esta guardara el tiempo de operación. La extensión del archivo de la base de datos es .xls la cual es almacenada en una tarjeta MicroSD. En la (Figura 44) se observa la programación en la placa Arduino Mega, para más profundidad revisar (Anexo B).

```

void registro_datos_SD()
{
  DATOS = SD.open("VALORES.txt", FILE_WRITE); //abrir "datos.txt" para escribir datos
  if (DATOS) {
    // escribe en SD
    if(((Tap_calA>Tap1)&&(timA>50))||((Tap_calB>Tap1)&&(timB>0))||((Tap_calC>Tap1)&&(timC>0)))
    {
      DATOS.print("Tap_calA=");
      DATOS.print(Tap_calA);
      DATOS.print("=");
      DATOS.print("timA=");
      DATOS.print(timA);
      DATOS.print("=");
      DATOS.print("Tap_calB=");
      DATOS.print(Tap_calB);
      DATOS.print("=");
      DATOS.print("timB=");
      DATOS.print(timB);
      DATOS.print("=");
      DATOS.print("Tap_calC=");
      DATOS.print(Tap_calC);
      DATOS.print("=");
      DATOS.print("timC=");
      DATOS.println(timC);
      DATOS.close(); // close file
    }
  } else {
    Serial.println("No se pudo abrir el archivo (escritura).");
  }
}

```

Figura 44. Variables para la creación de la Base de Datos

5.10. Programación de la interfaz grafica

5.10.1. Creación del entorno de la Pantalla Nextion

Se crea la interfaz gráfica de la pantalla Nextion mediante el software Nextion Editor el cual creamos cuatro pantallas establecidas que permiten la interactuar con el usuario, se describirá el proceso utilizado para la creación de la interfaz gráfica.

a) Selección de la pantalla a utilizar

Mediante el tipo de pantalla Nextion HMI que se tiene se procede a seleccionar en el Software como lo muestra en la (Figura 45)

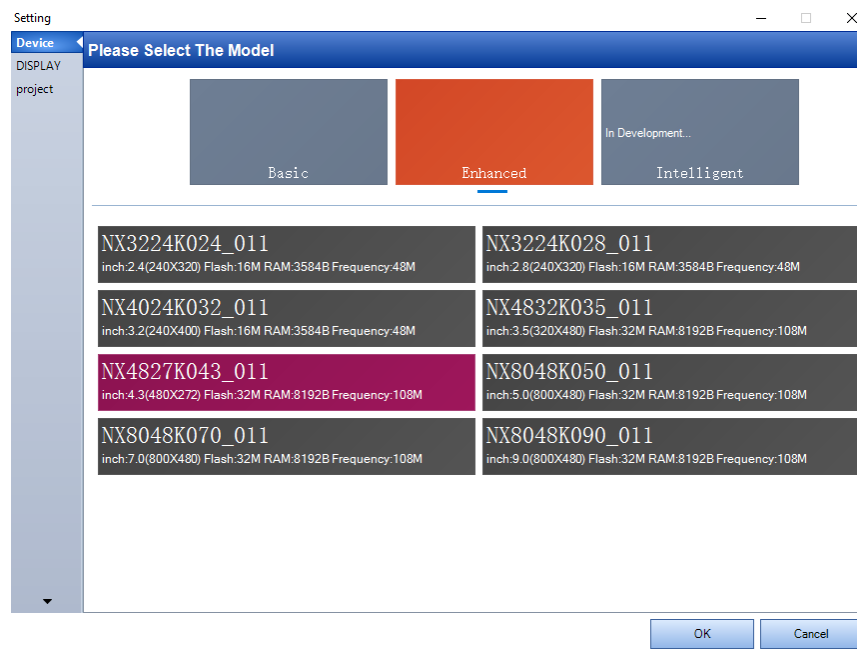


Figura 45. Pantallas de selección en el programa Nextion

b) Ubicación de imágenes

En este espacio cargaremos todas las imágenes que se utilizarán en el programa, del lado izquierdo de la pantalla se encuentra el apartado “picture” junto con una serie de botones para agregar o eliminar imágenes, pulsamos el botón de “Add” arrojará una ventana nueva y se selecciona todas las imágenes que sean necesarias como se muestra en la (Figura 46).



Figura 46. Ventana para personalizar la interfaz de la pantalla

c) Configuración de la pantalla

Al hacer un click sobre la el recuadro aparecerá una tabla del lado derecho del programa, esta nos indica las configuraciones que están disponibles, nombre del objeto, tipo de variable, fondo y color como se muestra en la (Figura 47).

ID:0 Page	
objname	page0
vscope	local
sta	solid color
bco	65535

Figura 47. Opciones de configuración de la pantalla Nextion

En el apartado “sta” que es para la configuración de fondo seleccionamos “image” y en “pic” se elige la imagen que se quiera que aparezca primero, en este caso será para el botón de apagado como se muestra en la (*Figura 48*).

ID:0 Page	
objname	page0
vscope	local
sta	Image
pic	

Figura 48. Configuración de la pantalla HMI

d) Crear un botón

En la pestaña “Add component” seleccionar la opción “botón” y aparecerá un recuadro que es el área donde se accionará el botón la cual es ajustable como se muestra en la

(Figura 49) lo recomendado es hacerla del tamaño de la imagen del botón para que se active en cualquier área donde se presione.



Figura 49. Ventana de configuración de botones

e) Configuración del botón

Al seleccionar el botón aparecerá una tabla del lado derecho estas son las configuraciones del botón. Ingresar los valores que se muestran en la siguiente imagen. En "picc" es la imagen que aparecerá como botón, seleccionamos la misma imagen que se insertó al inicio esto para que quede oculto el botón. En "picc2" seleccionamos la imagen que aparecerá cuando se presione el botón que en este caso será el botón de encendido, todo esto se muestra en la (Figura 50).

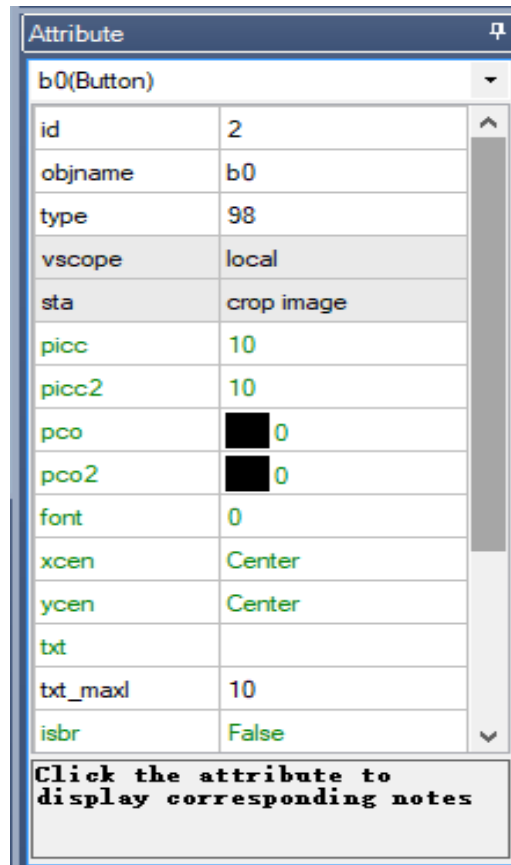


Figura 50. Ventana de configuración de los botones

f) Crear una nueva pagina

Como se muestra en la (Figura 51) del lado derecho del programa se encuentra un apartado llamado “page” presionamos el botón de “Add” y se generara una nueva página.

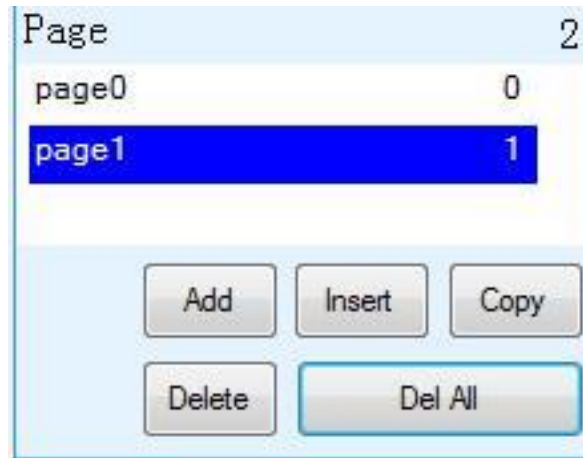


Figura 51. Ventana para la creación de Páginas

En esta página hacemos nuevamente los pasos c, d y f solo que en este caso pondremos las imágenes contrarias y diferente configuración.

g) Programación de los botones

En la parte inferior se encuentra una pestaña llamada “Touch Release Event” en “User Code” le indicaremos que función debe realizar al presionar el botón.

Seleccionar el botón de la primera página y escribir “page 1”, después seleccionar el botón de la otra página y escribir “page 0” y en ambos activar “Send Component ID” como se muestra en la (*Figura 52*) esto para que el Arduino reciba el dato por el puerto serial.

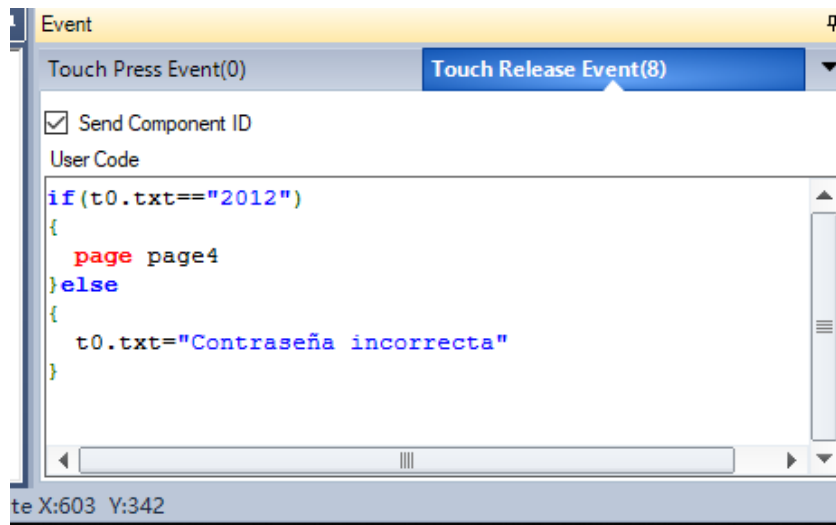


Figura 52. Líneas de código de la programación de botones

En mismo software de Nextion tiene un simulador de cómo se vería en la pantalla y con los datos que mandaría por el puerto serial.

En la parte superior se encuentra los botones “Compile” que te indicará si hay algún error en las configuraciones y “Debug” que dará inicio a la simulación

5.11. Ventana de simulación.

Siguiendo paso a paso todas estas especificaciones ya queda la configuración de la pantalla Nextion, posteriormente se procederá a programar el Arduino, en la (Figura 53) se nos presenta lista la configuración de nuestra pantalla con las diferentes opciones que presenta nuestro módulo didáctico.

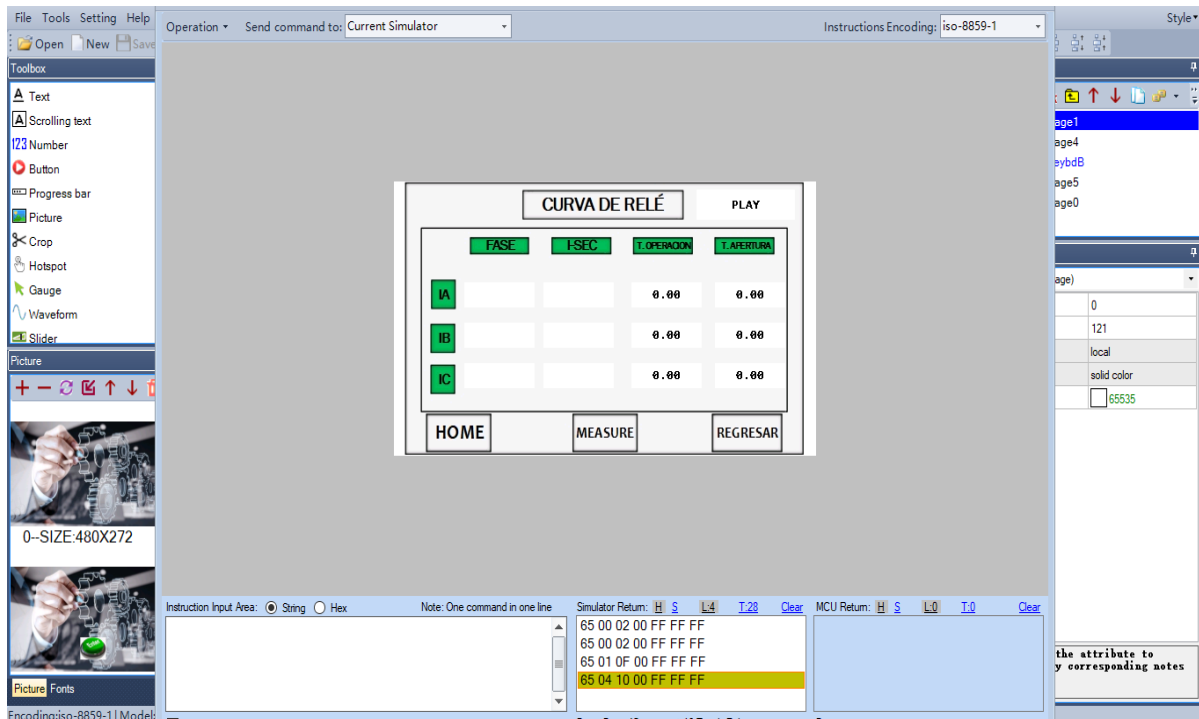


Figura 53. Interfaz gráfica de nuestro módulo.

5.12. Cargar el programa a la pantalla

5.12.1. Abrir el archivo TFT

Insertamos la tarjeta microSD en la computadora. Seleccionamos “File>Open build folder”. Se abrirá una ventana con archivos tft. Copiar y pegar el archivo a la tarjeta microSD y retirarla como se muestra en la (*Figura 54*).

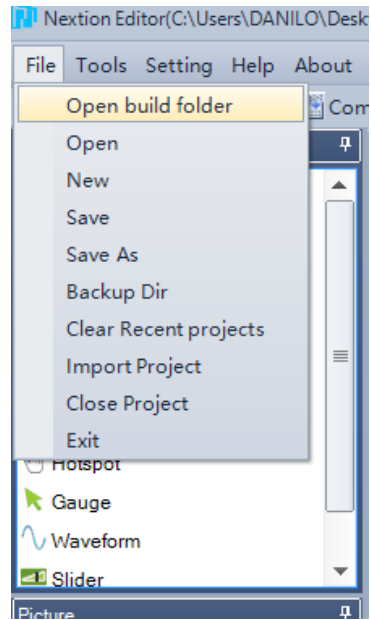


Figura 54. Ventana para guardar la configuración de la HMI

5.12.2. Como cargar el programa a la pantalla nextion

Una vez finalizada la carga mandara un mensaje de “Update Sucessed” en seguida se desconecta la pantalla y se retira la tarjeta microSD.

Se alimenta nuevamente la pantalla y ejecutara el programa que se ha creado. Como se muestra en la (Figura 55).

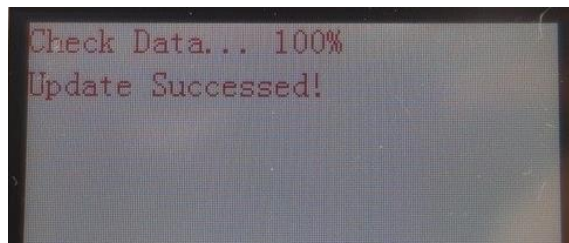


Figura 55. Ventana de Cargado de la configuración en nuestra pantalla Nextion

5.12.3. Comunicación de la Interfaz gráfica con el Arduino Mega

Mediante la librería ITEADLIB_Arduino_Nextion la cual permite la comunicación entre la pantalla Nextion y la placa de control Arduino Mega. Las declaraciones de las variables tanto en la programación del Arduino Mega y el software Nextion se realiza con la misma designación como se muestra en la (Figura 56).

```

////(numero de pagina, id del elemento, nombre del elemento) en la interfaz de nextion
////pagina 0
NexText ia = NexText(0, 2, "ia");
NexText ib = NexText(0, 3, "ib");
NexText ic = NexText(0, 4, "ic");
NexText TAPA = NexText(0, 5, "TAPA");
NexText TAPB = NexText(0, 6, "TAPB");
NexText TAPC = NexText(0, 7, "TAPC");
NexText t_opA = NexText(0, 8, "t_opA");
NexText t_opB = NexText(0, 9, "t_opB");
NexText t_opC = NexText(0, 10, "t_opC");
NexText t_apA = NexText(0, 11, "t_apA");
NexText t_apB = NexText(0, 12, "t_apB");
NexText t_apC = NexText(0, 13, "t_apC");
NexText RUN = NexText(0, 17, "RUN");
////pagina 4
NexText constante = NexText(4, 7, "constante");
NexText expo = NexText(4, 6, "expo");
NexText sum = NexText(4, 11, "sum");
NexNumber dial = NexNumber(4, 12, "dial");
NexText tap_tem = NexText(4, 3, "tap_tem");
NexText rele = NexText(4, 16, "rele");

```

Figura 56. Comunicación de la interfaz gráfica de la HMI con el Arduino MEGA

5.13. Pruebas de medición del módulo.

Se procede a realizar la medición de la corriente del circuito eléctrico y los tiempos de operación de los relés electromecánicos de sobrecorriente inverso 51L y el instantáneo 50D al aplicar carga al sistema. Estas magnitudes se obtienen aplicando carga de 2.5 a

8 A en pasos de 0.5 A en un Dial 1 y un Tap de 2.5 A, en la (Tabla 14), se muestra los datos obtenidos en el módulo mediante la ecuación matemática con la cual fue programada para la obtención de los diferentes tiempos de operación del relé 51L cuando se tiene diferentes corrientes de carga.

Estos datos son almacenado en una tarjeta SD que se encuentra en el módulo y se almacena en formato .txt por medio de tablas con las tres líneas que se encuentran operando, los datos solo se obtendrán en las líneas donde se encuentre aplicando carga como se puede observar en la (Tabla 14), estos datos son exportados a Excel donde posteriormente se graficara el tiempo de operación versus la corriente de carga para verificar la curva de operación del relé electromecánico de sobrecorriente 51L de tiempo inverso como se muestra en la (*Figura 57*).

Tabla 14

Datos del relé 51L calculados por el programa

Tap_calA	0	timA	0	Tap_calB	8,21	timB	6393	Tap_calC	8,23	timC	6357
Tap_calA	0	timA	0	Tap_calB	7,5	timB	7947	Tap_calC	7,55	timC	7813
Tap_calA	0	timA	0	Tap_calB	7,14	timB	8956	Tap_calC	7,15	timC	8932
Tap_calA	0	timA	0	Tap_calB	6,64	timB	10778	Tap_calC	6,64	timC	10781
Tap_calA	0	timA	0	Tap_calB	6,08	timB	13521	Tap_calC	6,16	timC	13102
Tap_calA	0	timA	0	Tap_calB	4,37	timB	35127	Tap_calC	5,66	timC	16449
Tap_calA	0	timA	0	Tap_calB	4,89	timB	24822	Tap_calC	4,9	timC	24653
Tap_calA	0	timA	0	Tap_calB	3,67	timB	65357	Tap_calC	3,71	timC	62858
Tap_calA	3,69	timA	63687	Tap_calB	3,68	timB	64986	Tap_calC	3,69	timC	63687
Tap_calA	3,21	timA	119229	Tap_calB	3,22	timB	118503	Tap_calC	3,21	timC	65205



Figura 57. Curva de operación del relé 51L con datos del módulo

5.14. Pruebas del cálculo del tiempo de operación

A partir de los valores de corriente de arranque y la del secundario que es la corriente falla reflejada por el TC, el dial y los valores de las constantes típicas del relé se procede a calcular el tiempo de operación del relé mediante la ecuación 2.4, en la (Tabla 15) se muestra los valores obtenidos del cálculo del tiempo de operación mediante la ecuación, se mostrara a continuación el cálculo de dos valores de prueba aplicando la ecuación para verificar los valores de tiempo de la tabla sean los correctos.

$$t = DIAL \left(\frac{a}{\left(\frac{I}{I_S}\right)^n - 1} + C \right) \quad (2.4)$$

De la (Tabla 1) seleccionamos los valores de las constantes del Extremadamente Inversamente Largo_IEEE.

En nuestro primer cálculo aplicaremos los valores del Dial=1, Tap= 2.5 A, Corriente de carga de 8 A que son valores de constantes que se varía de acuerdo a la configuración del relé 51L.

Datos:

$$DIAL = 1$$

$$TAP (I_s) = 2.5 A$$

$$I = 8 A$$

$$\alpha = 100$$

$$n = 2,43$$

$$C = 0,5$$

Reemplazamos los valores en la Ecuación 2.4

$$t = 1 \left(\frac{100}{\left(\frac{8}{2,5} \right)^{2,43} - 1} + 0,5 \right)$$

$$t = 1 \left(\frac{100}{15,9} + 0,5 \right)$$

$$t = 1(6,8)$$

$$t = 6,8 s$$

En nuestro segundo cálculo aplicaremos los valores del Dial=7, Tap= 2.5 A, Corriente de carga de 8 A que son valores de constantes que se varía de acuerdo a la configuración del relé 51L.

Datos:

$$DIAL = 7$$

$$TAP (I_s) = 2.5 A$$

$$I = 8 A$$

$$\alpha = 100$$

$$n = 2,43$$

$$C = 0,5$$

Reemplazamos los valores en la Ecuación 2.4

$$t = 7 \left(\frac{100}{\left(\frac{8}{2,5} \right)^{2,43} - 1} + 0,5 \right)$$

$$t = 7 \left(\frac{100}{11,2} + 0,5 \right)$$

$$t = 7(9.4)$$

$$\mathbf{t = 66 s}$$

A continuación, en la (Tabla 15) verificaremos que los valores de tiempo calculados son los mismos que se encuentran en la tabla verificando que son valores reales calculados de la ecuación de nuestro relé 51L de tiempo inversamente largo, y en la (Figura 58) se encuentran las curvas de operación del relé 51L con los tiempos calculados por la ecuación matemática.

Tabla 15

Valores del tiempo de operación del relé 51L calculados por el módulo

secundario	K	α	constante	Dial 1	Dial2	Dial3	Dial4	Dial5	Dial6	Dial7	Dial8	Dial9	Dial 10
2,5	120	2,43	0,5	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	100	2,43	0,5	179,893	482,112	706,978	1000,203	1286,232	1575,859	1825,909	2345,799	2622,833	2788,334
3,5	100	2,43	0,5	79,544	213,178	312,608	442,264	568,739	696,805	807,371	1037,253	1159,75	1232,931
4	100	2,43	0,5	47,374	126,963	186,181	263,401	338,726	414,998	480,848	617,76	690,716	734,3
4,5	100	2,43	0,5	32,029	85,837	125,874	178,081	229,007	280,573	325,094	417,657	466,982	496,448
5	100	2,43	0,5	23,285	62,403	91,508	129,462	166,485	203,973	236,338	303,631	339,489	360,911
5,5	100	2,43	0,5	17,761	47,6	69,801	98,751	126,991	155,587	180,274	231,604	258,956	275,296
6	100	2,43	0,5	14,026	37,591	55,124	77,987	100,289	122,872	142,368	182,905	204,506	231,436
6,5	100	2,43	0,5	11,376	30,486	44,706	63,248	81,335	99,65	115,462	148,337	165,855	176,321
7	100	2,43	0,5	9,423	25,255	37,034	52,394	67,377	82,548	95,647	122,88	137,392	146,062
7,5	100	2,43	0,5	7,943	21,288	31,218	44,166	56,796	69,585	80,626	103,583	115,816	123,124
8	100	2,43	0,5	6,795	18,211	26,705	37,78	48,585	59,525	68,97	88,607	99,072	107,33
8,5	100	2,43	0,5	5,886	15,775	23,133	32,728	42,087	51,564	59,746	76,757	85,822	91,238
9	100	2,43	0,5	5,155	13,816	20,26	28,663	36,86	45,16	52,326	67,225	75,164	79,907

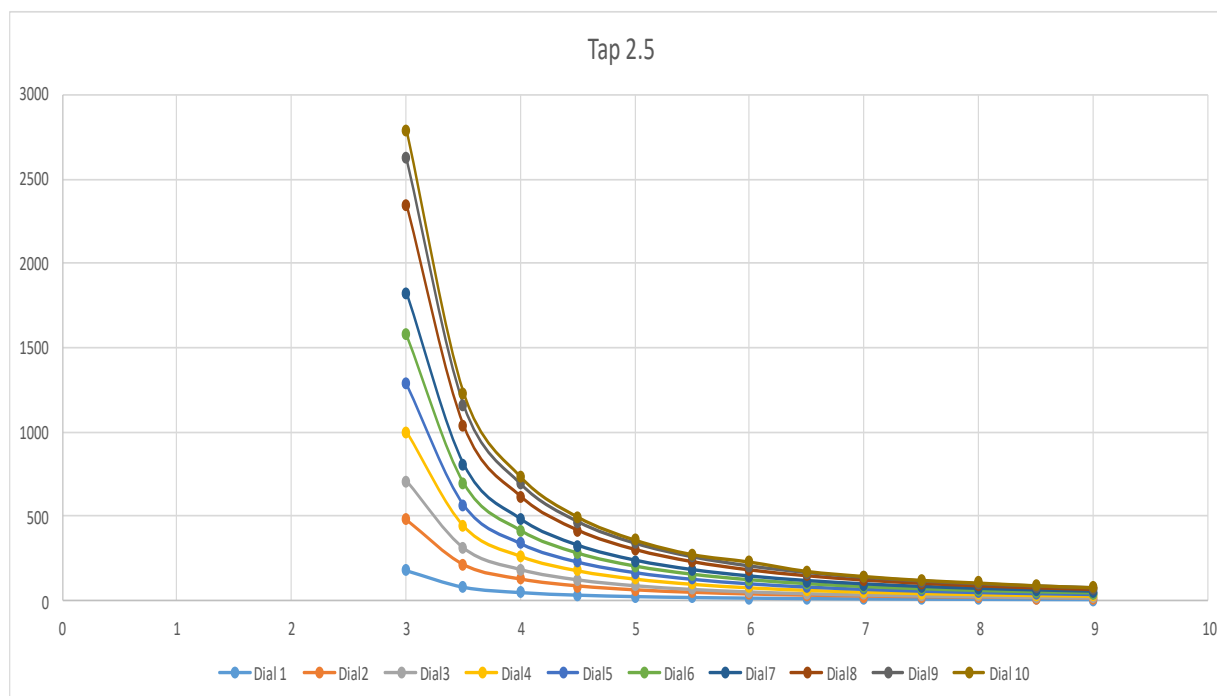


Figura 58. Curvas de operación del relé 51L con valores calculados por el módulo

5.15. Pruebas de relación del tiempo de operación de los relés con el tiempo calculado por el módulo didáctico.

En esta sección se realizará el análisis de los valores de tiempo calculado del módulo por la ecuación matemática con el valor real de operación del relé electromecánico de sobrecorriente inverso 51L.

Para el análisis se realizará dos relaciones de valores de tiempo variando las constantes de configuración del relé como el Dial y el Tap, en la (Tabla 16) se presenta valores de tiempo de operación del relé 51L con un Tap= 2.5 A y Dial=1 que se le tomara como el punto inferior para el análisis de los tiempos en general del relé y en (Tabla 17) Tap= 5 A y Dial=10 que se le tomara como el punto superior para el análisis de los tiempos en general del relé.

Tabla 16

Relación de los valores de t de operación del relé 51L Tap=2.5 A Dial=1

Relación de los valores de tiempo del Relé 51L			
TAP= 2,5 A			
DIAL 1			
Corriente (A)	Tiempo real (min)	Tiempo del módulo (min)	Error(%)
3	2,57	2,59893	-1,125681
3,5	1,21	1,19544	1,203306
4	0,48	0,47374	1,304167
4,5	0,32	0,32029	-0,090625
5	0,24	0,23285	2,979167
5,5	0,18	0,17761	1,327778
6	0,14	0,14026	-0,185714
6,5	0,11	0,11376	-3,418182
7	0,1	0,09423	5,77
7,5	0,08	0,07943	0,7125
8	0,07	0,06795	2,928571
PROMEDIO DE ERROR (%)			1,036844

Tabla 17

Relación de los valores de t de operación del relé 51L Tap=5 A Dial=10

Relación de los valores de tiempo del Relé 51L			
TAP= 5 A			
DIAL 10			
Corriente (A)	Tiempo real (min)	Tiempo del módulo (min)	Error (%)
5,5	50	50,01646667	-0,032933
6	23,25	23,41901667	-0,726953
6,5	14,38	14,6624	-1,963839
7	10,19	10,3553	-1,622179
7,5	7,48	7,820733333	-4,555258
8	6,11	6,167333333	-0,938352
PROMEDIO DE ERROR (%)			1,639919

5.16. Pruebas de relación de la curva de operación real con la curva con los valores calculados por el módulo didáctico.

En esta parte realizaremos la comparación de lo real con los valores emitidos por el módulo que son grabados en la tarjeta de memoria para la gráfica de la curva de operación del relé en el Software deseado en este caso será Excel, se tomará Dial=1, Tap=2.5 A como valores de configuración de prueba del relé 51L.

En la (Tabla 18) se verifica que los valores de corriente de carga y de tiempo de operación son diferentes de lo real con lo emitido por el módulo, esto es debido a que los sensores de corriente no captan la misma corriente de carga que capta el relé por el margen de error que existe en estos componentes electrónicos, por lo que existe

variación en los valores de corriente y el tiempo de operación calculado por el módulo varía, además se calculara el margen de error que existe entre estos datos.

Tabla 18

Valores reales y del módulo del relé 51L

VALORES REALES Y DEL MÓDULO CON UN TAP=2,5					
DIAL 1					
Corriente del módulo (A)	Tiempo del módulo (s)	Corriente real (A)	Tiempo real (s)	Error corriente	Error de tiempo
3,21	119229	3	179893	-7,00	33,72
3,69	63687	3,5	79544	-5,43	19,93
3,71	62858	4	47374	7,25	-32,68
4,37	35127	4,5	32029	2,89	-9,67
4,9	24653	5	23285	2,00	-5,88
5,66	16449	5,5	17761	-2,91	7,39
6,16	13102	6	14026	-2,67	6,59
6,64	10781	6,5	11376	-2,15	5,23
7,15	8932	7	9423	-2,14	5,21
7,55	7813	7,5	7943	-0,67	1,64
8,23	6357	8	6795	-2,88	6,45
		PROMEDIO ERROR		13,70	3,45

En la (Figura 59) se indica las curvas de operación del relé 51L, como se observa las curvas se encuentran relacionadas entre sí y la forma no se altera y se tiene la curva característica de estos relés de tipo inverso 51 , los valores que varían son mínimos.

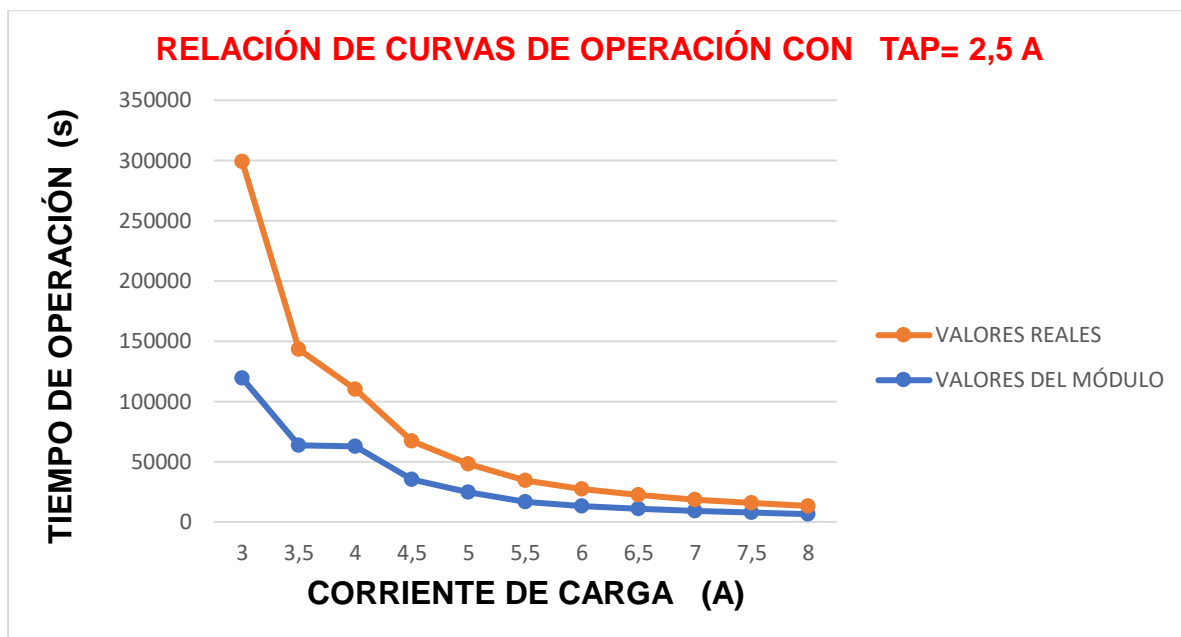


Figura 59. Curvas de operación del relé 51L de lo real con los valores del módulo

5.17. Validación de la hipótesis

“Con el dimensionamiento e implementación del módulo didáctico se podrá medir las corrientes de cargas y calcular los tiempos de operación de los relés electromecánicos de sobrecorriente (50/51) con la finalidad de graficar las curvas de operación de los relés y analizar cada una de ellas”

La implementación del módulo didáctico para el análisis de curvas de operación en los relés electromecánicos de sobrecorriente inverso e instantáneo (50/51), comprende en tres tipos de relés electromecánicos, dos de tipo 51 de tiempo inverso y un relé de tipo 50 de tiempo instantáneo, a los cuales se inyectan carga de 8 a 2.5 amperios en una escala de 0.5, mediante un módulo de resistencias y para aumentar esta carga se le

conecta a unos transformadores de corriente ubicados en cada una de las tres líneas de las dos barras de una línea de transmisión trifásica.

Comprende también una pantalla HMI táctil en donde se puede observar todos los datos de las constantes del relé al igual que se ingresa externamente el valor del Dial y Tap, esta pantalla recibe las señales a partir de tres sensores de corrientes que son controlados a partir de un Arduino mega que mediante su programación calcula los valores de tiempo de apertura de los relés y los valores de carga, estos valores dependen de varios parámetros, pero los dos importantes son el Dial el Tap. En el relé 51L el Dial que varía de 1 a 10 en una escala de 1 y el Tap que varía de 2,5 a 5 amperios, presentándonos un tiempo mínimo de operación de 6,795 segundos cuando se tiene un Dial de 1, Tap 2.5, carga de 8 A, y un tiempo máximo de 125,12 minutos con un Dial de 10, Tap 2.8, carga de 3 A. En el relé 50D el Dial varia de 0,1 a 3 y el Tap varia de 1 a 10 amperios en escala de 1, este relé es instantáneo y saltará a los 20 milisegundos cuando ya se presente corrientes mayores al valor de configuración del Tap, y el Dial nos permitirá darle un tiempo de operación al relé hasta máximo los 3 segundos.

Con la presencia de tiempos altos que superan la hora de operación del relé de tiempo inverso 51L y con el cálculo automático de los mismos en nuestra pantalla, además de grabar los tiempos cada vez que nuestro relé salta se nos facilita graficar las curvas de operación y se establece que la hipótesis fue validada con los resultados obtenidos.

CONCLUSIONES

En función de las características principales de los relés electromecánicos de sobrecorriente inverso 51L e instantáneo 50D se seleccionó los componentes del módulo como el banco de resistencias Lab-Volt, fuente de alimentación Lab-Volt, estructura del módulo, transformadores de corriente, placas de control, equipos de protección, dispositivos de visualización, registro y descarga de datos necesarios para graficar las curvas de operación de los relés.

Se determino la relación de transformación de los TC para la corriente de carga como 3 a 1, y con 20 vueltas, dándonos una corriente 3 veces mayor a la corriente de fase y así permitiéndonos tener corrientes elevadas sin alterar el funcionamiento de nuestra carga.

Una vez identificados los componentes eléctricos y electrónicos se procedió al diseño del módulo didáctico para el análisis de curvas de operación de los relés de sobrecorriente inverso e instantáneo (50/51) realizando un análisis a la estructura y a los ensambles de los elementos obteniendo factores de operabilidad que garantizan un funcionamiento adecuado del módulo, mientras que para los componentes electrónicos se verifico la compatibilidad y comunicación entre dispositivos.

Se desarrolló un programa en Arduino que permitió la lectura de las variables de tiempo de operación, Dial, Tap, Corriente de carga, Corriente de fase permitiendo el procesamiento de las señales provenientes de los sensores de corriente con la finalidad

de calcular el tiempo de operación de los relés 51L Y 50D a partir de su ecuación matemática y posteriormente visualizar a través de una interfaz gráfica el funcionamiento y grabar datos en un Tarjeta SD que permita graficar en un Software las curvas de operación de los relés y analizarlas.

Los porcentajes de cálculo de error en la relación de tiempo de operación de los relés con el tiempo calculado por la ecuación matemática nos da un valor de 1.03% con Dial 1 Tap= 2.5 A y un error del 1.63% con Dial 10 Tap= 5 A, además el porcentaje de error de los valores reales con valores emitidos por el módulo es 3,45% en los tiempos de operación, siendo estos valores de error aceptables en los sistemas de medición.

Los valores mínimos de tiempo de operación del relé 51L es 6,795 segundos cuando se tiene un Dial de 1, Tap 2.5, carga de 8 A, y un tiempo máximo de 125,12 minutos con un Dial de 10, Tap 2.8, carga de 3 A, en el relé 50D el Dial varia de 0,1 a 3 y el Tap varia de 1 a 10 amperios en escala de 1, este relé es instantáneo y saltará a los 20 milisegundos en corrientes mayores a la su Tap.

RECOMENDACIONES

El módulo implementado posee tres tipos de alimentación: para su placa de control se alimenta con 110v AC, para las líneas 220v AC y los relés con 120 DC, por motivos se recomienda tomar en cuenta para alimentar desde la fuente de alimentación para evitar accidentes o daños en los equipos.

La tarjeta de memoria debe estar ubicado en el módulo al momento de empezar a realizar las practicas, además de tener a la mano un lector de tarjeta de memoria para trasladar los datos a un Software para el grafico de las curvas de operación.

Cada vez que se realiza una medición de tiempo y salta los relés se debe resetear el módulo a través del botón reset rojo ubicado junto a la pantalla, de igual manera es recomendable desconectar la carga para iniciar una nueva medición.

Se recomienda realizar las practicas con todos los elementos de medición del laboratorio para verificar que los datos emitidos por el módulo coincidan con los valores reales, tanto de corrientes como un cronometro para el tiempo de operación.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas se recomienda la realización de otros proyectos relacionados con los equipos de protección como son los relés, ya que esta es un área muy importante para nuestra carrera en el ámbito laboral.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Rodríguez U., M. L. (14 de Mayo de 2019). *Investigación bibliográfica y documental*.

Recuperado: 11 de Noviembre del 2019 de:

<https://guiadetesis.wordpress.com/tag/investigacion-bibliografica-y-documental/>

Adm. (10 de diciembre de 2017). *Como funciona*. Recuperado: 12 de Noviembre del 2019

de <https://como-funciona.co/un-interruptor-termomagnetico/>

Arrow. (2012). *Arrow*. Recuperado: 12 de Noviembre del 2019 de

<https://www.arrow.com/es-mx/categories/sensors/current-sensors>

Carrillo. (2007). *Protecciones Electricas, Notas*. Recuperado: 12 de Noviembre del 2019

de En Carrillo, *Protecciones Electricas*. Bucaramangara: Universidad Industrial de Santander.

Castaño, S. (2003). *Protección de Sistemas Electricos*. Recuperado: 12 de Noviembre

del 2019 de Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Cauas , D. (2014). *Definición de las variables, enfoque y tipo*. Recuperado: 19 de

Noviembre del 2019

Company, A. P. (1991). *Circuit Shield Type 50H, 50D High Dropout Overcurrent Relays*.

Pensilvania. Recuperado: 19 de Noviembre del 2019

Company, A. P. (Octubre de 1993). *ABB Circuit Shield*. Recuperado: 19 de Noviembre

del 2019 de

<https://library.e.abb.com/public/15d85ceb59393a1485256eac00497bf1/DB41->

[113s%20%20%20%2051.pdf](https://library.e.abb.com/public/15d85ceb59393a1485256eac00497bf1/DB41-113s%20%20%20%2051.pdf)

CORREA, S. A. (2018). *COORDINACIÓN AUTOMÁTICA DE PROTECCIONES DE SOBRECORRIENTE PARA UN SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ANTE DESASTRES NATURALES*. Quito. Recuperado: 19 de Noviembre del 2019

Digital, E. y. (2011). *Electricidad y Electrónica Digital*. Recuperado: 18 de Diciembre del 2019 de

<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:emwOQutiW70J:files.electyelectindustrial.webnode.es/200000045->

[6537a66319/PRACTICA%2520No.%25202%2520USO%2520DE%2520EQUIPO%2520LAB-](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:emwOQutiW70J:files.electyelectindustrial.webnode.es/200000045-6537a66319/PRACTICA%2520No.%25202%2520USO%2520DE%2520EQUIPO%2520LAB-)

[VOLT%2520Y%2520MULTIMETRO.docx+&cd=25&hl=es&ct=clnk&gl=ec](http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:emwOQutiW70J:files.electyelectindustrial.webnode.es/200000045-6537a66319/PRACTICA%2520No.%25202%2520USO%2520DE%2520EQUIPO%2520LAB-VOLT%2520Y%2520MULTIMETRO.docx+&cd=25&hl=es&ct=clnk&gl=ec)

Doñez, C. (2015). *Selección y análisis de equipo de protección en los sistemas de distribución*. Mexico: Universidad Autonoma de Mexico. Recuperado: 18 de Diciembre del 2019

EcuRed. (2010). *EcuRed*. Recuperado: 18 de Diciembre del 2019 de <https://www.ecured.cu/Amper%C3%ADmetro>

ELECTRIC, L. (2012). *LEXO ELECTRIC*. Recuperado: 18 de Diciembre del 2019

de LEXO ELECTRIC: <http://www.lexo.cl/producto/luz-piloto-led-roja-ad22-22ds-22mm/121>

Eléctrica, U. F.–D. (2014). *Protecciones de redes eléctricas*. Rosario: Facultad Regional Rosario. Obtenido de Protecciones de redes eléctricas. Recuperado: 18 de Diciembre del 2019

Electromecanica. (2011). *Electromecanica*. Recuperado: 26 de Diciembre del 2019 de

https://profesormolina2.webcindario.com/electromec/prot_circ_elect.htm

Electronicos, A. P. (s.f.). *ABC Proyectos Electronicos*. Recuperado: 26 de Diciembre del

2019 de ABC Proyectos Electronicos:

<https://www.abcelectronica.net/productos/reles/5vdc/>

GeekFactory. (2013). *GeekFactory*. Recuperado: 26 de Diciembre del 2019 de

<https://www.geekfactory.mx/tienda/pantallas-lcd/lcd-nextion-4-3-pulgadas/>

González, A. G. (23 de 01 de 2013). *Panamaitek*. Recuperado: 26 de Diciembre del 2019

de Panamaitek: <http://panamahitek.com/arduino-mega-caracteristicas-capacidades-y-donde-conseguirlo-en-panama/>

IMSE. (18 de noviembre de 2016). *Ingenieria de maquinas y sitemas electricos*.

Recuperado: 02 de Enero del 2020 de

<http://imseingenieria.blogspot.com/2016/11/proteccion-contrasobrecargas-y.html>

Lab-Volt. (13 de Marzo de 2019). *KPDF*. Recuperado: 02 de Enero del 2020 de

https://kupdf.net/download/lab-voltpdf_5c89bccee2b6f5745a92c225_pdf

MEJÍA, G. E. (2010). *COORDINACIÓN DE RELÉS DE SOBRECORRIENTE EN*

SISTEMAS RADIALES. Pereira: Universidad Tecnologica de Pereira.

Recuperado: 02 de Enero del 2020

Miguel, P. L. (2015). *DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PROTECCIONES*

DE SOBRECORRIENTE PARA ALIMENTADORES DE MEDIA TENSIÓN.

Guayaquil: Escuela Politécnica Salesiana. Recuperado: 02 de Enero del 2020

- NOROÑA, M. I. (2013). *Planificación de expansión, estudio de coordinación y ajuste de protecciones del sistema occidental de ELEPCO S.A. (tesis de pregrado)*. Latacunga- Ecuador: Universidad Tecnica de Cotopaxi. Recuperado: 10 de Enero del 2020
- Rodríguez Penin, A. (2013). *Sistemas SCADA* (Vol. Tercera). México D.F.: Alfaomega-Marcombo. Recuperado el 12 de Agosto de 2018, de <https://goo.gl/44paZ3>
Recuperado: 10 de Enero del 2020
- Sergiodmg. (septiembre de 2013). *Protecciones Electricas*. Recuperado: 10 de Enero del 2020 de Protecciones Electricas:
<http://proteccioneselectricas101.blogspot.com/2013/09/proteccion-5051-tambien-conocida-como.html>
- Systems, C. P. (2005). *Electrical Distribution System Protection*. Desconocida.
Recuperado: 10 de Enero del 2020
- Unicrom, E. (2016). *Electronica para el aficionado y el experto*. Recuperado: 10 de Enero del 2020 de <https://unicrom.com/luz-piloto-de-baja-potencia/>
- Veloso, H. (2013). *SCRIBD*. Recuperado: 10 de Enero del 2020 de SCRIBD:
<https://es.scribd.com/document/233316270/Cap-3-Rele-Sobrecorriente-Protecciones>

ANEXOS



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Se certifica que el presente trabajo fue desarrollado por los señores: **PAUL RENATO ANALUISA ANALUISA Y HENRRY ALEXANDER PERALVO PERALVO.**

En la ciudad de Latacunga, a los 9 días del mes de julio del 2020.

Firma:

Ing. Álvaro Santiago Mulo Quevedo

DIRECTOR DEL PROYECTO

Aprobado por:



**Ing. Freddy Salazar
DIRECTOR DE CARRERA**



**Dr. Freddy Jaramillo
SECRETARIO ACADEMICO**