

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas
Carrera de Electricidad

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN
BAJA TENSIÓN USANDO UN ENTORNO DE MODELAMIENTO GRÁFICO**

Trabajo de grado presentado ante la Universidad Técnica del Norte previo a la
obtención del título de Ingeniero Eléctrico

Autor:

Daniel Alejandro Quinchiguango De la cruz

Director:

Ing. Segundo Hernán Pérez Cruz MSc.

Ibarra -Ecuador

2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1723307516		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Quinchiguango De la cruz Daniel Alejandro		
DIRECCIÓN:	Calle Simón Bolívar 03-25-027 y Cristóbal Hidrobo, Tabacundo		
EMAIL:	daquinchiguangod@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0991397264

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN BAJA TENSIÓN USANDO UN ENTORNO DE MODELAMIENTO GRÁFICO.
AUTOR (ES):	Quinchiguango De la cruz Daniel Alejandro
FECHA: DD/MM/AAAA	10/05/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Eléctrico
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Pérez Cruz Segundo Hernán

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días del mes de mayo de 2023

EL AUTOR:



Quinchiguango De la cruz Daniel Alejandro



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

Ing. Pérez Cruz Segundo Hernán MSc.

CERTIFICA

Que después de haber examinado el presente trabajo de investigación elaborado por el señor estudiante: Quinchiguango De la cruz Daniel Alejandro, certifico que ha cumplido con las normas establecidas en la elaboración del trabajo de investigación titulado **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN BAJA TENSIÓN USANDO UN ENTORNO DE MODELAMIENTO GRÁFICO”** para la obtención del título de Ingeniero Eléctrico.

.....
Ing. Pérez Cruz Segundo Hernán MSc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO

DEDICATORIA

El presente trabajo de grado lo dedico con todo mi amor y cariño a Aldahir y Samira quienes me dieron la fuerza y valentía para conseguir tan anhelado sueño.

A mi esposa, padres y hermanos por su confianza, así como, sus palabras de aliento en los momentos que más necesitaba.

AGRADECIMIENTO

Agradezco de manera especial a mi abuelo Alejandro por acompañarme y brindarme su ayuda incondicional.

A mis queridos padres, por mostrarme el camino de la superación y apoyarme a conseguir las metas que me he propuesto.

A mi esposa, por creer en mí.

A mis hermanos, quienes con sus ocurrencias hicieron los días mejores.

A mis compañeros y amigos, con quienes compartimos buenos momentos en este difícil camino de la superación.

A mi tutor MSc. Hernán Pérez, por su paciencia, comprensión y valiosos consejos durante el desarrollo de este trabajo.

Gracias a todos.

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
TABLA DE CONTENIDO	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XII
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
INTRODUCCIÓN	XV
A1. Contextualización	XV
A2. Planteamiento del problema	XVI
A3. Formulación del problema	XVII
A4. Justificación del trabajo	XVII
A5. Alcance	XVIII
A6. Objetivo general	XVIII
A7. Objetivos específicos	XVIII
Capítulo 1	1
Protecciones eléctricas en bajo voltaje	1
1.1. Principios de protección en instalaciones de bajo voltaje	1
1.1.1. Fusible	1
1.1.2. Unidad térmica	1
1.1.3. Unidad magnética	2
1.1.4. Protección termomagnética	2
1.2. Tipos de protecciones termomagnéticas	3
1.2.1. Tipo B	3
1.2.2. Tipo C	4
1.2.3. Tipo D	4
1.2.4. Tipo G	4
1.2.5. Tipo K	5
1.2.6. Tipo L	5
1.2.7. Tipo U	5
1.2.8. Tipo Z	5
1.2.9. Tipo ICP	6

1.3.	Protección diferencial.....	7
1.4.	Fuentes de alimentación.....	7
1.4.1.	Transformadores monofásicos.....	7
1.4.2.	Transformadores trifásicos.....	9
1.5.	Neutro y tierra.....	9
1.6.	Esquemas de conexión a tierra.....	10
1.6.1.	Esquema TT.....	11
1.6.2.	Esquema TNS.....	11
1.6.3.	Esquema TNC.....	12
1.6.4.	Esquema IT.....	12
1.7.	Sistema de puesta a tierra.....	12
1.8.	Falla eléctrica en bajo voltaje.....	13
1.8.1.	Cortocircuito.....	13
1.8.2.	Sobrecarga.....	14
1.8.3.	Descarga eléctrica y sus efectos en el cuerpo humano.....	14
Capítulo 2	.....	16
Modelamiento gráfico de las protecciones eléctricas	.....	16
2.1.	Metodología.....	16
2.2.	Cálculo de corrientes de falla.....	17
2.2.1.	Cortocircuito monofásico (fase – tierra).....	17
2.2.2.	Corriente de sobrecarga.....	21
2.3.	Software LabVIEW.....	21
2.4.	Lenguaje de programación G.....	22
2.5.	Entorno virtual.....	23
2.6.	Modelamiento de las protecciones eléctricas.....	24
2.6.1.	Cortocircuito.....	25
2.6.2.	Sobrecarga.....	29
Capítulo 3	.....	35
Análisis del modelamiento de las protecciones en bajo voltaje	.....	35
3.1.	Análisis en cortocircuito.....	35
3.1.1.	Esquema TT.....	35
3.1.2.	Esquema TNS.....	37
3.1.3.	Esquema TNC.....	38
3.1.4.	Esquema IT.....	40
3.2.	Análisis en sobrecarga.....	41
CONCLUSIONES	.....	43

RECOMENDACIONES	44
REFERENCIAS	45
ANEXOS.....	50
Anexo A: Algoritmo de entorno virtual desarrollado en LabVIEW.	50
Anexo B: Algoritmo para representación gráfica de curvas características de las protecciones eléctricas.	51
Anexo C: Algoritmo para armado de esquemas de puesta a tierra.	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Funcionamiento bimetal.	1
Fig. 2. Unidad magnética.	2
Fig. 3. Interruptor magnetotérmico.	2
Fig. 4. Curva de disparo.	3
Fig. 5. Curva de disparo B, C y D.	4
Fig. 6. Curva tipo Z, K y MA.	5
Fig. 7. Curva tipo Z.	6
Fig. 8. Curva tipo ICP.	6
Fig. 9. Interruptor diferencial.	7
Fig. 10. Servicio Monofásico 120/240 V – 2 pasamuros de alta.	8
Fig. 11. Servicio Monofásico 240/120V con un pasa muros de alta.	8
Fig. 12. Transformador Trifásico.	9
Fig. 13 Punto y conductor neutro.	10
Fig. 14. Esquema TT.	11
Fig. 15. Esquema TNS.	11
Fig. 16. Esquema TNC.	12
Fig. 17. Esquema IT.	12
Fig. 18. Descarga eléctrica.	13
Fig. 19. Diagrama de cortocircuito con las fuentes.	14
Fig. 20. Diagrama de flujo de metodología aplicada.	16
Fig. 21 Red simplificada.	17
Fig. 22. Entorno de LabVIEW.	21
Fig. 23. Lenguaje de programación G.	22
Fig. 24. Módulo 1 de entorno de modelamiento.	24
Fig. 25. Módulo 2 entorno virtual.	24
Fig. 26. Interruptor termomagnético iC60N 1P 4A curva B.	25
Fig. 27. Esquema TT - curva B.	25
Fig. 28. Curva tipo B - Esquema TT.	26
Fig. 29. Esquema TNS - curva B.	26
Fig. 30. Curva tipo B - Esquema TNS.	27
Fig. 31. Esquema TNC - curva B.	27
Fig. 32. Curva tipo B - Esquema TNC.	28
Fig. 33. Esquema IT - curva B.	28
Fig. 34. Curva tipo B - Esquema IT.	29

Fig. 35. Sobrecarga con protección termomagnética	29
Fig. 36. Curva tipo B en sobrecarga.....	30
Fig. 37. Curva tipo C en sobrecarga.....	30
Fig. 38. Curva tipo D en sobrecarga.....	31
Fig. 39. Curva tipo G en sobrecarga.	31
Fig. 40. Curva tipo K en sobrecarga.....	32
Fig. 41. Curva tipo L en sobrecarga.	32
Fig. 42. Curva tipo U en sobrecarga.....	33
Fig. 43. Curva tipo Z en sobrecarga.	33
Fig. 44. Curva tipo ICP en sobrecarga.	34
Fig. 45. Diagrama de esquema TT.....	35
Fig. 46. Diagrama de esquema TNS.	37
Fig. 47. Diagrama de esquema TNC.....	38
Fig. 48. Diagrama de esquema IT.....	40
Fig. 49. Diagrama de circuito en sobrecarga.....	41

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 Esquemas de conexión a tierra.....	10
TABLA 1.2 Efectos de la corriente sobre el cuerpo humano.	15
TABLA 1.3 Efectos fisiológicos producidos por la corriente eléctrica.....	15
TABLA 2.1 Voltaje de cortocircuito ucc normalizada para transformadores mt/bt de distribución pública.	19
TABLA 2.2 Sección de conductores de proteccion en función de conductores de fase.....	20
TABLA 3.1 Valores de fuente de alimentación y resistencias para el modelamiento de protecciones.	36
TABLA 3.2 Modelamiento de protecciones con corriente de cortocircuito en esquema TT.	36
TABLA 3.3 Modelamiento de interruptor diferencial en esquema TT.....	36
TABLA 3.4 Modelamiento de protecciones con corriente de cortocircuito en esquema TNS.	37
TABLA 3.5 Modelamiento de interruptor diferencial en esquema TNS.....	38
TABLA 3.6 Modelamiento de protecciones con corriente de cortocircuito en esquema TNC.	39
TABLA 3.7 Modelamiento de interruptor diferencial en esquema TNC.....	39
TABLA 3.8 Modelamiento de protecciones con corriente de cortocircuito en esquema IT... ..	40
TABLA 3.9 Modelamiento de interruptor diferencial en esquema IT.....	41
TABLA 3.10 Valores de fuente de alimentación y resistencias para el modelamiento en sobrecarga.....	42
TABLA 3.11 Modelamiento de protecciones con corriente de sobrecarga.....	42

RESUMEN

Las protecciones eléctricas se han constituido en dispositivos de gran valía en una instalación eléctrica, ya que, mediante su correcta selección, disposición y conexión, se salvaguarda la integridad de las personas, cargas conectadas e instalación eléctrica ante corrientes de falla. Actualmente, existen en el mercado innumerables protecciones eléctricas orientadas a instalaciones de bajo voltaje, por lo que su selección conlleva cierto grado de complejidad cuando se desconoce sus características de funcionamiento. La acertada selección de las protecciones eléctricas es fundamental para garantizar el disparo oportuno de los interruptores automáticos cuando se tiene una falla eléctrica logrando aislar la falla dentro la instalación eléctrica. En el presente trabajo se realiza el modelamiento de las protecciones eléctricas en bajo voltaje usando un entorno virtual desarrollado en el software LabVIEW. El modelamiento se desarrolla en los esquemas de conexión a tierra TT, TNS, TNC e IT, así como las protecciones termomagnéticas con curvas tipo B, C, D, G, K, L, U, Z e ICP. Además, de un interruptor diferencial para la protección de personas. Las corrientes de cortocircuito monofásica fase – tierra se calculan mediante el método de impedancias. Finalmente, se realiza el análisis de las curvas características de las protecciones eléctricas, así como los tiempos de disparo ante corrientes de cortocircuito y sobrecarga en los diferentes esquemas de conexión a tierra.

Palabras claves: Protecciones eléctricas, Curvas características, Esquemas de conexión a tierra, Cortocircuito, Sobrecarga.

ABSTRACT

Electrical protections have become devices of great value in an electrical installation, since, through their correct selection, arrangement, and connection, the integrity of people, connected loads, and electrical installation are safeguarded against fault currents. Currently, there are countless electrical protections on the market aimed at low-voltage installations, so its selection involves a certain degree of complexity when its operating characteristics are unknown.

The correct selection of electrical protections is essential to ensure the timely firing of the circuit breakers when there is an electrical fault, isolating the fault within the electrical installation.

In the present work, the modeling of electrical protections in low voltage is carried out using a virtual environment developed in the LabVIEW software. The modeling is developed in the TT, TNS, TNC, and IT grounding schemes, as well as thermomagnetic protections with curves type B, C, D, G, K, L, U, Z, and ICP. Additionally, a differential switch for the protection of people. Single-phase, phase-ground short-circuit currents are calculated using the impedance method.

Finally, the analysis of the characteristic curves of the electrical protections is carried out, as well as the trip times before short-circuit currents and overload in the different ground connection schemes.

Keywords: Electrical protections, Characteristic curves, Grounding schemes, Short circuit, Overload.

INTRODUCCIÓN

A1. Contextualización

En la actualidad existen varias protecciones eléctricas para baja tensión debido a la elevada importancia que estas tienen en una instalación eléctrica de este tipo, las protecciones se han vuelto herramientas fundamentales para salvaguardar la integridad humana, así como equipos eléctricos y electrónicos. Conocer sobre su funcionamiento, tipos y localización en una instalación eléctrica es esencial para conseguir una adecuada selección de protecciones garantizando en la instalación eléctrica seguridad, continuidad del servicio, eficiencia, mantenimiento y optimización de recursos (Gutiérrez Coquendo, 2017).

Para aislar una falla dentro de una instalación eléctrica es indispensable utilizar interruptores automáticos, una corriente superior a un valor determinado produce el disparo de la protección y abre el circuito. Estos equipos son instalados en un cuadro de distribución (Salazar Esquivel, 2020).

El cálculo de la corriente de cortocircuito de una instalación eléctrica permite determinar las protecciones de acuerdo con las características de disparo de los interruptores. Posterior a disponer las características de los interruptores se efectúa la selectividad y verificación de la coordinación de protecciones según con el estudio realizado (Torres, 2019).

Un factor por considerar para la selección del interruptor magnetotérmico son las curvas de disparo, estas gráficas indican el tiempo de disparo en función de la corriente de defecto en una instalación eléctrica (Cantón Torres, 2020).

Las herramientas de simulación son fundamentales para estudiar el accionar de las redes y las protecciones eléctricas, así como también para evitar problemas potenciales en el futuro (Hidalgo García, 2018).

El modelamiento gráfico constituye una herramienta de gran valor para el análisis, convirtiendo de esta manera a la gráfica resultante como una guía de análisis que sirve para interpretar, pronosticar y decidir (Torres Burgos et al., 2019).

Beneficiándose de las características de programación gráfica de LabVIEW y las Tics en simulación se ha desarrollado herramientas didácticas para realizar prácticas de laboratorio en campos como la mecánica y la electricidad, con lo cual, se consigue una mejora en el proceso de aprendizaje (Serrano et al., 2018).

En el entorno de desarrollo LabVIEW se ha venido realizando aplicaciones como se realiza en los lenguajes C y Visual Basic, con la diferencia que en este se realiza con una programación de forma gráfica o también llamado lenguaje G (Icaza Paredes, 2019)

A2. Planteamiento del problema

Las corrientes de falla que se pueden originar en una instalación eléctrica de baja tensión tienen una gran repercusión en la integridad humana de los usuarios, así como en las cargas conectadas a la red.

La amplia gama de marcas, tipos y características de protecciones eléctricas orientadas a instalaciones de baja tensión existentes en la actualidad hace que la selección de estas conlleve un grado de complejidad.

Además, el desconocimiento del comportamiento de los diferentes tipos de protecciones eléctricas ocasiona una errónea selección y disposición de la protección generando incertidumbre de su correcta operación e inseguridad en la instalación.

Una protección inadecuada en la instalación puede ser la causante de discontinuidad en el servicio eléctrico, falta de accesibilidad, inseguridad y pérdidas económicas en muchos de los casos. Por este motivo solucionar un problema debido a una protección inadecuada en la instalación representa para las empresas y personal técnico una pérdida de recursos para socorrer el daño con la finalidad de conseguir el menor impacto negativo en el desarrollo de las actividades diarias.

La selección adecuada de una protección eléctrica en baja tensión conlleva un análisis que debe considerar además del sistema eléctrico y los tipos de protección presentes en el mercado, la posibilidad de visualizar las curvas características de los dispositivos de protección e identificar los tiempos de accionamiento en una determinada falla eléctrica.

Es así como se requiere de un análisis del comportamiento de las protecciones eléctricas en baja tensión, en el cual se estudie las curvas características y determinar si van a operar correctamente ante una corriente de cortocircuito o sobrecarga, lo cual se conseguirá con la selección de una posible instalación monofásica y dispositivos de protección.

A3. Formulación del problema

¿Cómo se comportan las protecciones eléctricas en baja tensión ante corrientes de falla en una instalación monofásica?

A4. Justificación del trabajo

Con el aporte de la tecnología un gran número de personas que necesitan la representación de una idea o ver el comportamiento de un sistema hacen uso de las herramientas informáticas presentes en la actualidad para conseguir un modelamiento, con lo cual, se tiene una noción bastante clara de la estructura y accionar de estos.

Una adecuada selección de protecciones del sistema de protección en baja tensión garantiza a las instalaciones eléctricas confiabilidad y seguridad. Por esta razón, es necesario realizar un análisis de las curvas características de las protecciones eléctricas utilizadas en instalaciones monofásicas, con lo cual, se puede conocer el comportamiento de estas ante corrientes de falla usualmente ocasionadas.

Una correcta interpretación de las curvas características de los dispositivos de protección puede aportar a una disminución de riesgos de continuidad del servicio eléctrico evitando molestias en los usuarios, por lo cual, se requiere adicionalmente de un entorno virtual que pueda realizar simulaciones certeras y confiables, en consecuencia, el estudio puede contribuir como un apoyo en la ejecución y mantenimiento de proyectos de baja tensión, agilitando tiempo y recursos.

Mediante una herramienta de modelamiento gráfico de protecciones se podrá representar gráficamente las curvas características de los dispositivos de protección de sobrecarga, cortocircuito y los cálculos realizados respecto a las corrientes de falla en la instalación eléctrica, así como hacer una comparativa de funcionamiento de las protecciones disponibles en el programa.

La representación gráfica de la curva de disparo de las protecciones ante una falla eléctrica en una instalación consigue clarificar la importancia de un sistema de protección. De este modo, el entorno didáctico de modelamiento puede ser utilizado en el proceso de enseñanza - aprendizaje de un sistema de protección eléctrica en baja tensión.

El entorno virtual para el modelamiento se realizará en LabVIEW debido a que el software cuenta con las características idóneas para el propósito.

A5. Alcance

El proyecto tiene como finalidad realizar un análisis de las curvas características de las protecciones ante corrientes de cortocircuito y sobrecarga en instalaciones eléctricas monofásicas en los diferentes sistemas de suministro de energía mediante un modelamiento gráfico.

En ese sentido el modelamiento gráfico de las protecciones eléctricas se desarrollará en un entorno virtual que contará con dos módulos:

- Módulo de selección y cálculos de corriente de falla.

En la ventana se podrá realizar la selección de la protección magnetotérmica y diferencial, así como el tipo de sistema de suministro de energía. También, se mostrará el valor de las corrientes de sobrecarga y cortocircuito del modelamiento, además del tiempo de disparo de las protecciones.

Las protecciones magnetotérmicas presentes serán de tipo B, C, D, G, K, L, U, Z e ICP. Los tipos de sistemas serán TT, TNS, TNC e IT.

- Módulo de representación gráfica de accionamiento de protección.

Estará compuesto por una ventana que muestre las curvas características del dispositivo de protección y el cálculo de la corriente de falla en el momento de la avería.

Por último, se realizará el análisis e interpretación del modelamiento gráfico de las protecciones eléctricas utilizadas en instalaciones monofásicas ante corrientes de cortocircuito y sobrecarga.

A6. Objetivo general

Analizar el comportamiento de las protecciones eléctricas en baja tensión para la interpretación de las curvas características mediante un modelamiento gráfico.

A7. Objetivos específicos

- ❖ Describir los tipos de protecciones eléctricas en instalaciones de baja tensión.
- ❖ Desarrollar el modelamiento gráfico de las protecciones eléctricas en un entorno virtual.
- ❖ Analizar el comportamiento de las protecciones ante corrientes de falla en instalaciones eléctricas monofásicas.

Capítulo 1

Protecciones eléctricas en bajo voltaje

La revisión bibliográfica de especialidad permitió la descripción de las protecciones eléctricas en bajo voltaje. Así como, los suministros eléctricos (monofásico y trifásico), esquemas de puesta a tierra (TT, TNS, TNC e IT) y las fallas eléctricas como: sobrecarga y corto circuito en una instalación.

1.1. Principios de protección en instalaciones de bajo voltaje

Las sobrecargas pueden ser detectadas por relés térmicos y los cortocircuitos por relés electromagnéticos.

1.1.1. Fusible

Es un componente eléctrico que contiene un filamento de estaño o plomo el cual al percibir una corriente de sobre carga en el circuito eléctrico se funde y desconecta la carga de la alimentación (Quishpe Gaibor y López Velásquez, 2018).

El fusible funciona como una válvula de seguridad de un circuito eléctrico, al ser un elemento frágil y estar correctamente dimensionado, con una sobrecorriente se funde y abre el circuito para impedir averías por la circulación de esta corriente (Eaton Corporation, 2017).

1.1.2. Unidad térmica

El disparo térmico de un disyuntor se lleva a cabo por medio de un bimetetal, el cual se compone por dos láminas metálicas de distinto coeficiente de dilatación unidas entre sí. El calor que se genera en el bimetetal debido a una sobrecarga y permanencia de la misma deforma el bimetetal induciendo la activación de la unidad de desconexión del interruptor mediante una palanca (ABB, 2022b).

En la Figura 1 se muestra el momento de deflexión de la lámina bimetetal y como se acciona el contacto móvil.

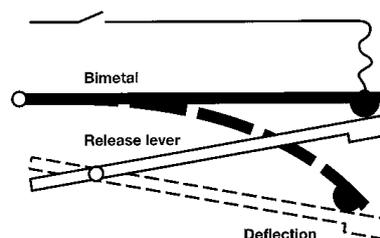


Fig. 1. Funcionamiento bimetetal.

Fuente: (ABB, 2022b)

1.1.3. Unidad magnética

Como se muestra en la Figura 2 se encuentra constituido por una bobina de cobre y en el interior de esta un cilindro de acero, al circular una intensidad elevada por las espiras se produce un campo magnético que provoca el desplazamiento del cilindro hacia el exterior para golpear el contacto móvil y desconectar el circuito (Rocío Ortega Mateos, 2015).

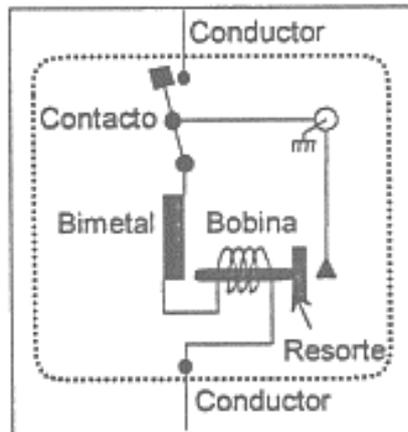


Fig. 2. Unidad magnética.
Fuente:(UCO, 2020)

1.1.4. Protección termomagnética

La protección termomagnética está compuesta por dos partes: una parte térmica que actúa cuando aparece una sobrecarga por un tiempo amplio, y la parte magnética actúa cuando se presenta una sobrecorriente de manera abrupta (Nuevo García, 2020).

En la Figura 3 se observa las partes que conforman un interruptor termomagnético, así como, los mecanismos térmico y magnético del mismo.

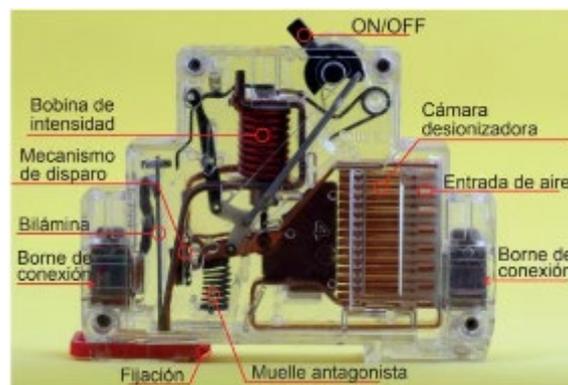


Fig. 3. Interruptor magnetotérmico.
Fuente: (Nuevo García, 2020)

En la Figura 4 se muestra la curva característica de funcionamiento de un interruptor termomagnético, en la cual se presenta las zonas de operación lenta y rápida de acuerdo con las zonas de accionamiento térmico y magnético.

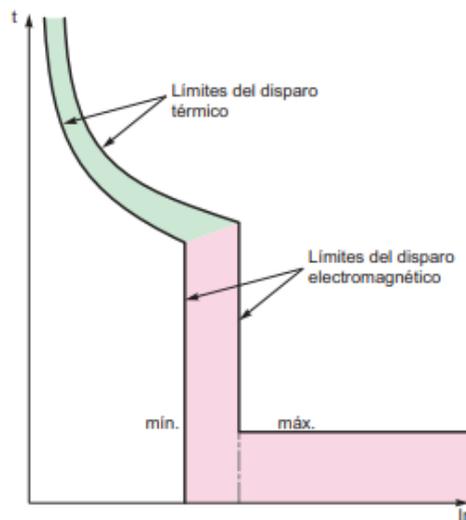


Fig. 4. Curva de disparo.

Fuente:(Schneider Electric, 2022)

1.2. Tipos de protecciones termomagnéticas

Las protecciones termomagnéticas se dividen en: tipo B, C, D, G, K, L, U, Z e ICP; cada una de estas tiene una curva característica.

En las curvas características se presenta el tiempo de disparo de la protección en relación con la intensidad de falla. La curva de disparo de las protecciones termomagnéticas constan de dos secciones: disparo por sobrecarga y disparo por cortocircuito (Schneider Electric, 2022).

1.2.1. Tipo B

La protección con este tipo de curva son empleadas para proteger receptores sin sobrecarga. Además, para la protección de líneas de gran longitud, generadores y personas. Tiene un disparo inmediato para corrientes de tres a cinco veces la corriente nominal (UCO, 2020).

La protección con curva tipo B es semejante a la antigua protección tipo L. Este tipo de protección dispone de una protección de sobrecarga tipo estándar y es utilizada en los esquemas de conexión a tierra TN e IT (Schneider Electric, 2022).

En la Figura 5 se muestra las curvas características de las protecciones tipo B, C y D correspondientes a las variantes del interruptor iC60N.

Curvas B, C, D calibres de 6 a 63 A.

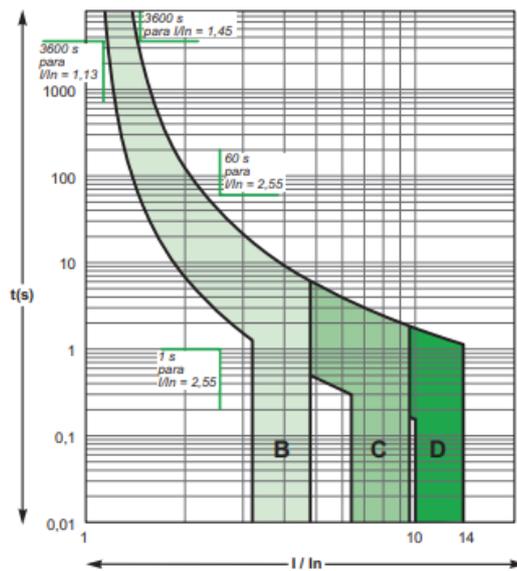


Fig. 5. Curva de disparo B, C y D.
Fuente:(Schneider Electric, 2022)

1.2.2. Tipo C

La protección con la curva de disparo tipo C es empleada para proteger instalaciones residenciales como circuitos de tomacorrientes e iluminación donde existe inserción de corrientes elevadas, la intensidad de disparo es entre cinco y diez veces la corriente nominal (Siemens, 2019).

La protección con curva tipo C es semejante a la curva tipo U, esta es aplicada en la protección de conductores que alimentan cargas tradicionales. También, cuenta con una protección de sobrecarga estándar (Schneider Electric, 2022).

1.2.3. Tipo D

Este tipo de protección está destinado a la protección de receptoras con fuertes pulsos de corriente elevados como es el funcionamiento de motores, transformadores, etc. La intensidad de disparo esta entre diez y catorce veces la corriente nominal (UCO, 2020).

La curva característica tipo D evita disparos inoportunos cuando se tiene corrientes de entrada elevadas, especialmente en el arranque de motores (LEGRAND, 2013).

1.2.4. Tipo G

Este tipo de protecciones son de uso general, se utiliza cuando las sobreintensidades son pequeñas. Además, estas aíslan más rápido que la curva tipo D. La corriente de disparo es entre cinco y ocho veces la corriente nominal (UCO, 2020).

1.2.5. Tipo K

Esta protección es similar a la de tipo D, con la diferencia de que detecta sobrecarga por efecto térmico de menor magnitud. Protección de semiconductores con una corriente de disparo esta entre diez y catorce veces la corriente nominal (UCO, 2020).

En la Figura 6 se muestran las curvas características de las protecciones tipo K, Z y MA.

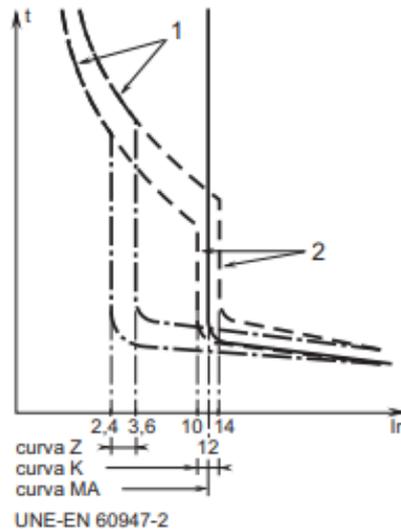


Fig. 6. Curva tipo Z, K y MA.

Fuente: (Schneider Electric, 2022)

1.2.6. Tipo L

La corriente de disparo de este tipo de protección es de 2,6 y 3,85 la corriente nominal (Schneider Electric, 2022).

1.2.7. Tipo U

La corriente de disparo de este tipo de protección es de 3,85 y 8,8 veces la corriente nominal (Schneider Electric, 2022).

1.2.8. Tipo Z

Este tipo de protección está destinada a la protección de circuitos electrónicos. La corriente de disparo es entre 2,4 y 3,6 la corriente nominal, estas protecciones son apropiadas para utilizarse en instalaciones con cargas de tipo electrónico (UCO, 2020).

La protección tipo Z es de alta sensibilidad y está orientada a la protección de semiconductores y cableado de alta impedancia (EATON, 2018).

En la Figura 7 se muestra la curva característica de una protección tipo Z.

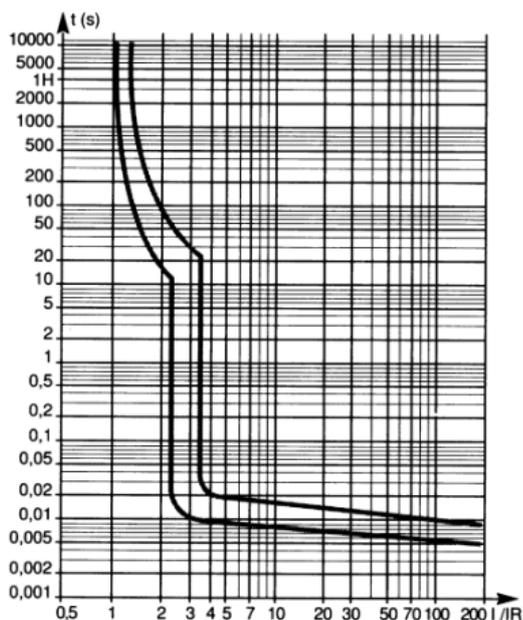


Fig. 7. Curva tipo Z.
Fuente:(UCO, 2020)

1.2.9. Tipo ICP

Este dispositivo es un interruptor de control de potencia, la corriente de disparo es entre cinco y ocho veces la corriente nominal. Este tipo protección es empleada para limitar la potencia consumida por el usuario respecto a la potencia que se contrata. (Rodríguez, 2009).

La curva característica de la protección tipo ICP se muestra en la Figura 8.

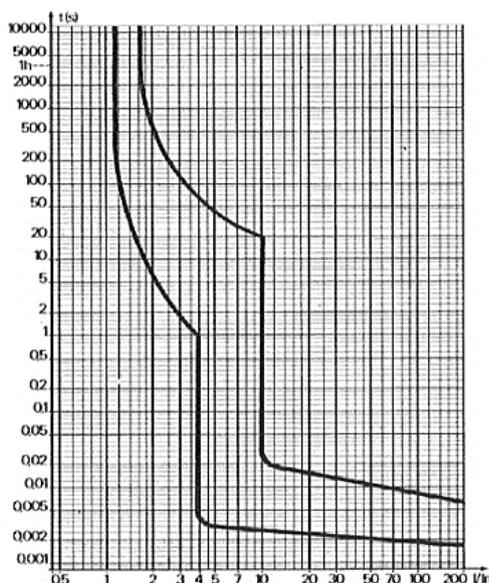


Fig. 8. Curva tipo ICP.
Fuente:(UCO, 2020)

1.3. Protección diferencial

Un interruptor diferencial es un dispositivo electromecánico que compara la corriente presente en el conductor de fase y conductor de neutro. Cuando existe una fuga en el circuito estas corrientes son distintas, por lo que este dispositivo desconecta el circuito para evitar contactos de las personas con superficies energizadas (EPEC, 2016).

Al circular las corrientes de entrada y llegada del circuito por dos bobinas respectivamente se genera un campo magnético que es comparado. En un circuito sin anomalías las corrientes son las mismas, por consiguiente, los campos magnéticos son equivalentes con dirección contraria, así que se anulan (Haverland, 2020).

En la Figura 9, se presenta el interruptor la estructura de un interruptor diferencial.

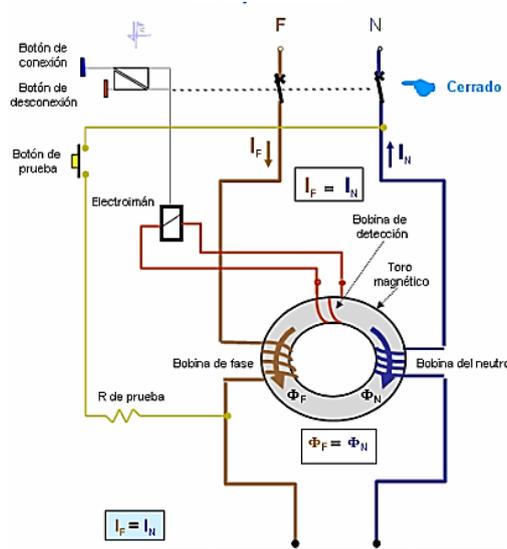


Fig. 9. Interruptor diferencial.
Fuente:(Hernández, 2020)

1.4. Fuentes de alimentación

Los sistemas eléctricos se clasifican según el número de conductores. Normalmente en corriente alterna se tiene sistemas monofásicos y trifásicos en las instalaciones.

Para contar con un suministro de energía monofásico o trifásico se emplean los sistemas de distribución transformadores de tipo monofásico y trifásico respectivamente.

1.4.1. Transformadores monofásicos

Un transformador monofásico de distribución dispone de una o dos líneas de medio voltaje, estos transformadores son montados en postes. Existen dos tipos de transformadores monofásicos, estos son: autoprotegidos y convencionales (ECUANTRANS, 2017).

Los transformadores convencionales tipo poste pueden estar conectados de las siguientes formas:

En la Figura 10, se presenta el conexionado de un transformador monofásico de tipo convencional con dos bornas de media, el mismo que es empleado para suministrar energía a voltajes de 240 V y 120 V. Gran parte de los circuitos de distribución urbana usan la conexión mostrada (ENSA, 2011).

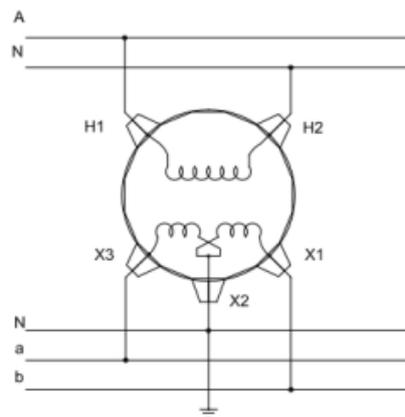


Fig. 10. Servicio Monofásico 120/240 V – 2 pasamuros de alta.
Fuente:(ENSA, 2011)

En la Figura 11, un transformador monofásico de tipo convencional con una borna de media, su conexión y sus respectivas puestas a tierra, el mismo que se utiliza para suministrar energía a voltajes de 220 V y 127 V de sistemas trifásicos de 13.2 GrY/7.62 kV. Para los circuitos de distribución urbana se emplea este tipo de conexionado (ENSA, 2011).

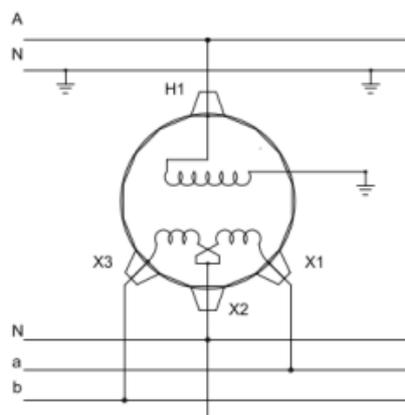


Fig. 11. Servicio Monofásico 240/120V con un pasa muros de alta.
Fuente:(ENSA, 2011)

1.4.2. Transformadores trifásicos

Un transformador trifásico de distribución es diseñado y construido para proporcionar energía, cuenta con tres líneas de entrada en medio voltaje y tres o cuatro líneas en baja voltaje. Estos pueden ser montados en postes o en una cabina, ya que su uso es industrial y comercial (ECUANTRANS, 2017).

En la Figura 12 se muestra las configuraciones que puede tener los bobinados de un transformador trifásico, las cuales son estrella y delta.

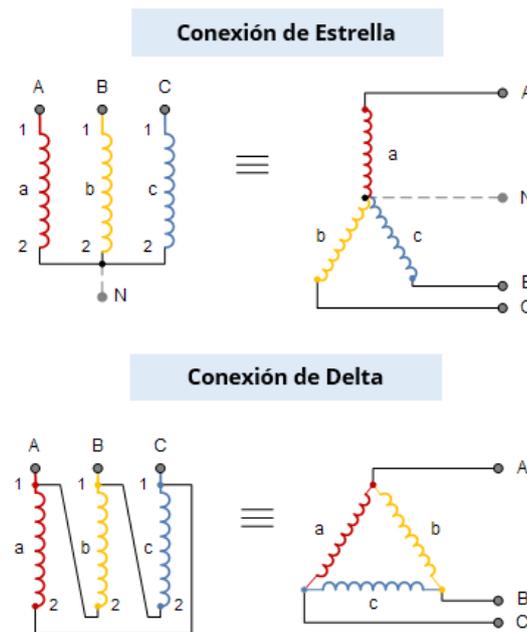


Fig. 12. Transformador Trifásico.

Fuente:(Ingtelecto, 2019)

1.5. Neutro y tierra

Los conductores de neutro y tierra son dos de los conductores presentes en una instalación eléctrica.

- **Conductor de neutro**

La función del neutro es crear una diferencia de potencial eléctrico de tal modo que se produzca una corriente por la fase, este conductor tiene un potencial igual a cero (Galobart, 2022).

- **Conductor de tierra**

El conductor de tierra proporciona una ruta de conducción hacia tierra, la funcionalidad de este conductor es netamente de protección. Además, el conductor de tierra no toma parte en el camino de conducción del suministro eléctrico (Galobart, 2022).

La diferencia entre conductor de neutro y conductor de tierra es que el neutro es parte del circuito eléctrico y sirve para transportar la corriente de retorno del circuito. Por otro lado, el conductor de tierra no forma parte del circuito eléctrico y sirve para conducir únicamente corrientes en condiciones de falla o descargas atmosféricas hacia tierra (De la Cruz Reyes, 2018).

En la Figura 13 se muestra el punto y conductores neutros de una conexión eléctrica.

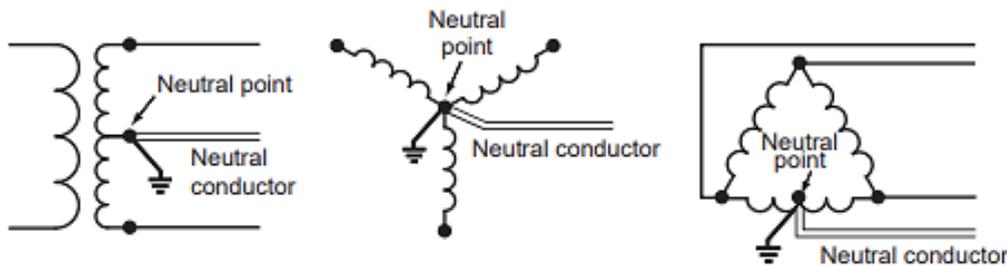


Fig. 13 Punto y conductor neutro.
Fuente:(Mullin y Simmons, 2011)

1.6. Esquemas de conexión a tierra

La norma IEC 60364, establece las formas de conexión a tierra del secundario del transformador en bajo voltaje, así como, para poner a tierra las masas de las cargas conectadas al sistema con la finalidad de evitar electrificación o electrocución accidental (Ruiz Ortega, 2017).

En la TABLA 1.1 se muestra el significado de las letras de identificación de los esquemas.

TABLA 1.1
ESQUEMAS DE CONEXIÓN A TIERRA.

Letra	Descripción
Primera letra	Punto neutro del transformador o fuente
I	Aterrizado con una impedancia
T	Aterrizado directamente
Segunda Letra	Conexión de las masas de las cargas
T	Aterrizado
N	Conectado al conductor de neutro
Tercera letra (opcional)	Conductor de tierra de protección y neutro
S	Conductores distintos, neutro N y tierra de protección CP
C	Conductores compuestos, neutro y tierra de protección (CPN)

Fuente: (Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 2022)

1.6.1. Esquema TT

En este sistema el neutro del transformador se encuentra conectado a una tierra y las masas de los receptores están conectadas a tierra mediante un electrodo separado al del transformador como se muestra en la Figura 14 (De la Cruz Gómez, 2015).

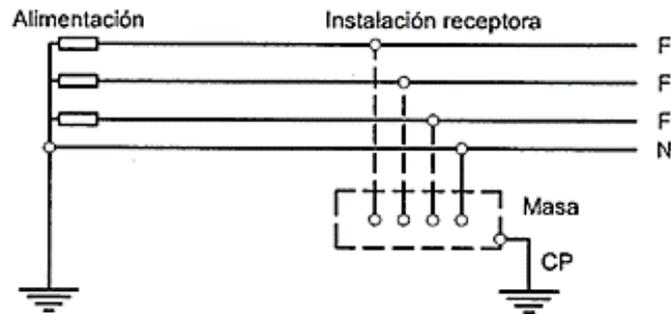


Fig. 14. Esquema TT.

Fuente: (Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 2022)

La magnitud de la corriente de falla a tierra en un esquema TT es muy baja para causar el disparo de los interruptores automáticos o fusibles, por lo cual es necesario la instalación de un interruptor diferencial (ABB, 2022a).

1.6.2. Esquema TNS

En este sistema existe dos conductores: uno para neutro y el otro para protección, y los dos se conectan al conductor de neutro del transformador. Además, es necesario que todas las superficies conductoras se conecten al conductor de tierra, como se muestra en la Figura 15 (De la Cruz Gómez, 2015).

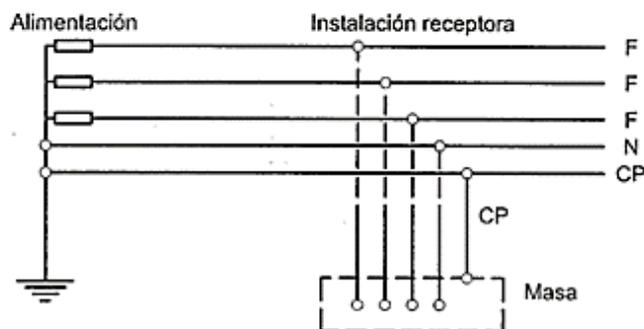


Fig. 15. Esquema TNS.

Fuente: (Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 2022)

1.6.3. Esquema TNC

En este sistema existe un solo conductor que hace la función de neutro y protección. Todas las partes conductoras deben ir conectadas a este conductor como se muestra en la Figura 16 (De la Cruz Gómez, 2015).

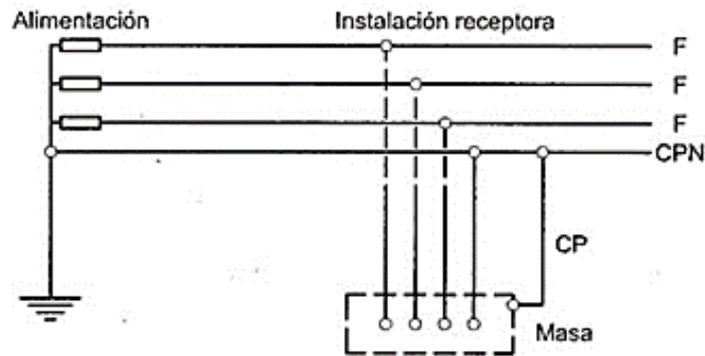


Fig. 16. Esquema TNC.

Fuente: (Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 2022)

1.6.4. Esquema IT

En este sistema el transformador no se conecta al conductor de protección, pero la masa de los receptores sí. El sistema IT no presenta seguridad pero es relativamente confiable, como se muestra en la Figura 17 (De la Cruz Gómez, 2015).

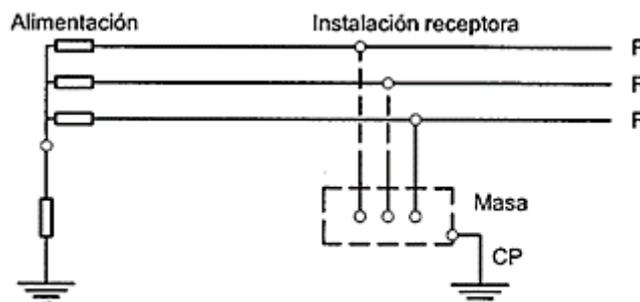


Fig. 17. Esquema IT.

Fuente: (Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 2022)

1.7. Sistema de puesta a tierra

Una puesta a tierra es la conexión de los elementos pasivos de una instalación eléctrica con una varilla enterrada a una cierta profundidad en un terreno, con la finalidad de igualar el potencial eléctrico entre estos. Cuando ocurre una fuga de corriente debido a una

falla de aislamiento el terreno se convierte en el lugar donde se transmite esta intensidad (De la Cruz Gómez, 2015).

Un sistema de puesta a tierra tiene como función primordial brindar un camino a las corrientes dañinas para su descarga a tierra y de esta forma evitar incidentes en la integridad de las personas y equipos conectados a la red. La resistencia de una puesta a tierra debe ser inferior a 25 ohmios, en instalaciones con equipos sensibles la resistencia debe ser igual o inferior a 5 ohmios (Carrión, 2020).

En la Figura 18 se muestra como una persona hace contacto con una superficie energizada y provoca la circulación de una corriente por su cuerpo. También, se presenta el funcionamiento de la puesta a tierra cuando existe una fuga de corriente en un artefacto eléctrico.

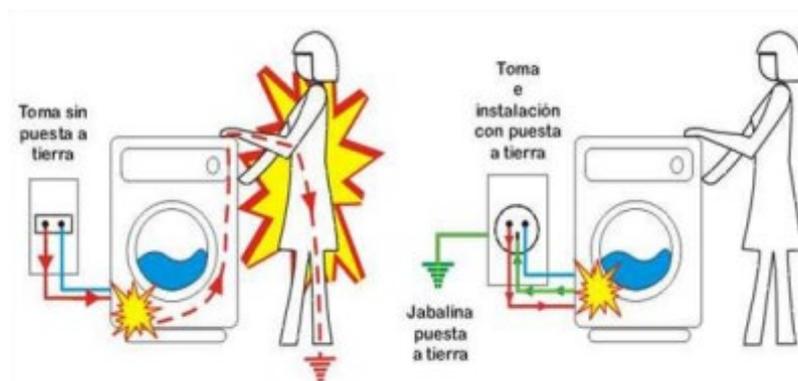


Fig. 18. Descarga eléctrica.
Fuente:(Carrión, 2020)

1.8. Falla eléctrica en bajo voltaje

Las fallas eléctricas que se pueden presentar en una instalación eléctrica pueden ser de dos tipos: cortocircuito y sobrecarga.

1.8.1. Cortocircuito

El cortocircuito es una conexión de baja impedancia que se produce por la unión de dos o más puntos de diferente potencial, dando lugar a una elevada corriente. Las principales causas de un cortocircuito son por fallas en el aislamiento de los circuitos o por la conexión incorrecta de los receptores (Aguas Ramos y Buelvas, 2011).

Los fallos por cortocircuito dan origen a la circulación de elevadas corrientes por los elementos que constituyen la instalación, de este modo se provocan daños en los aislantes, se tienen esfuerzos electrodinámicos y térmicos, se pueden generar incendios y peor aún causar daños en las personas (Ródenas Gonzáles, 2018).

En la Figura 19 se muestra como la corriente de cortocircuito es senoidal con un periodo que depende de la frecuencia de la fuente de alimentación. También, la corriente de cortocircuito se va amortiguando en el transcurso del tiempo de acuerdo con la fuente de alimentación.

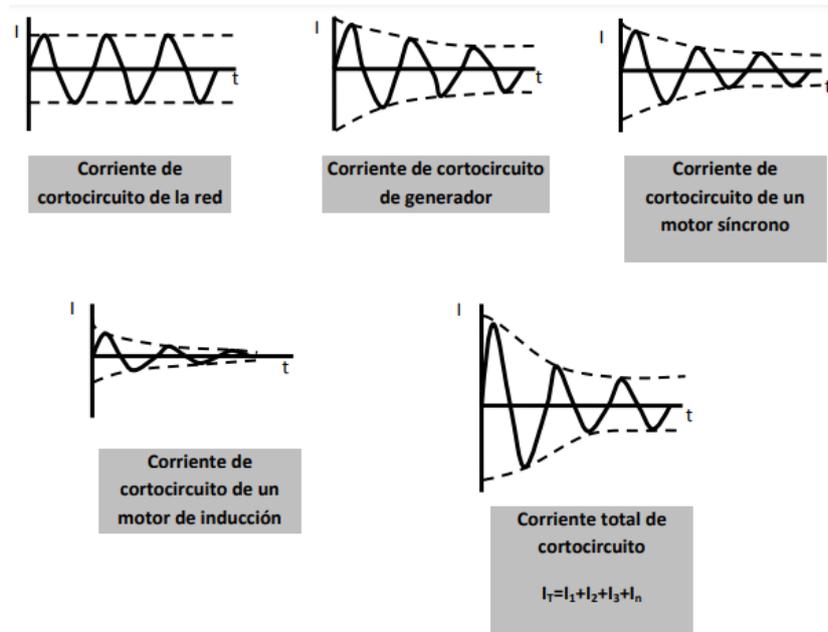


Fig. 19. Diagrama de cortocircuito con las fuentes.

Fuente: (González y Luna, 2010)

1.8.2. Sobrecarga

Una sobrecarga se produce cuando se conectan varios dispositivos eléctricos en un mismo circuito lo cual da lugar a la circulación de una corriente superior a la nominal por los conductores, siendo de este modo perjudicial para la instalación (UNMDP, 2021).

1.8.3. Descarga eléctrica y sus efectos en el cuerpo humano

Los efectos de la corriente eléctrica en el cuerpo humano pueden ser varios, los cuales pueden ser desde un simple cosquilleo hasta lesiones graves que pueden ser mortales. Cuando una parte del cuerpo hace contacto con una superficie con voltaje, la diferencia de potencial resultante entre una parte del cuerpo y otra con contacto a tierra provoca la circulación de una corriente que depende de la resistencia del cuerpo y trayectoria de la intensidad (Montero, 2016).

La intensidad que circula por el organismo depende de varios factores como: tiempo de contacto, voltaje, resistencia del cuerpo, trayectoria de la corriente, frecuencia de la intensidad y condiciones fisiológicas del ser humano en el instante de descarga (Calvo Sáez, 2016).

Los efectos que puede provocar la corriente sobre el cuerpo humano se clasifican en dos grupos: efectos directos y efectos indirectos como se muestra en la Tabla 1.2.

TABLA 1.2
EFECTOS DE LA CORRIENTE SOBRE EL CUERPO HUMANO.

Directos	Efectos inmediatos	Efectos térmicos	Quemaduras por arco Quemaduras por contacto
		Efectos musculares y nerviosos	Calambres Contracciones musculares Tetanización de músculos respiratorios Fibrilación ventricular Inhibición de centros nerviosos
	Efectos secundarios	Precoces	Cerebral Motor Circulatorios (gangrenas) Problemas renales
		Tardíos	Neuróticos Transtornos mentales
Indirectos	Caídas Golpes contra objetos Cortes Quemaduras al golpear o tocar elementos no protegidos		

Fuente:(Montero, 2016)

En la Tabla 1.3 se muestra los efectos fisiológicos que tiene el cuerpo humano ante distintos valores de corriente.

TABLA 1.3
EFECTOS FISIOLÓGICOS PRODUCIDOS POR LA CORRIENTE ELÉCTRICA.

Corriente	Efectos fisiológicos
0 a 10 mA	Reflejos musculares, se produce calambres.
10 a 25 mA	Contracción de los músculos y tetanización.
25 a 30 mA	Quemaduras, tetanización y respiración irregular.
40 mA a 10 A	Problemas con la frecuencia cardiaca.
Superior a 10A	Deja de funcionar el corazón.

Fuente:(Calvo Sáez, 2016)

Como se muestra en la Tabla 1.3 los efectos de la corriente sobre el cuerpo humano dependen de la magnitud de la corriente, la gravedad de estos efectos aumenta en relación vaya aumentando la misma.

Capítulo 2

Modelamiento gráfico de las protecciones eléctricas

En el siguiente capítulo se realizó el modelamiento gráfico de las protecciones eléctricas en bajo voltaje mediante un entorno virtual, el mismo que fue desarrollado en el software LabVIEW.

2.1. Metodología

Para el modelamiento de las protecciones eléctricas en bajo voltaje se implementó la metodología que se muestra en la Figura 20.

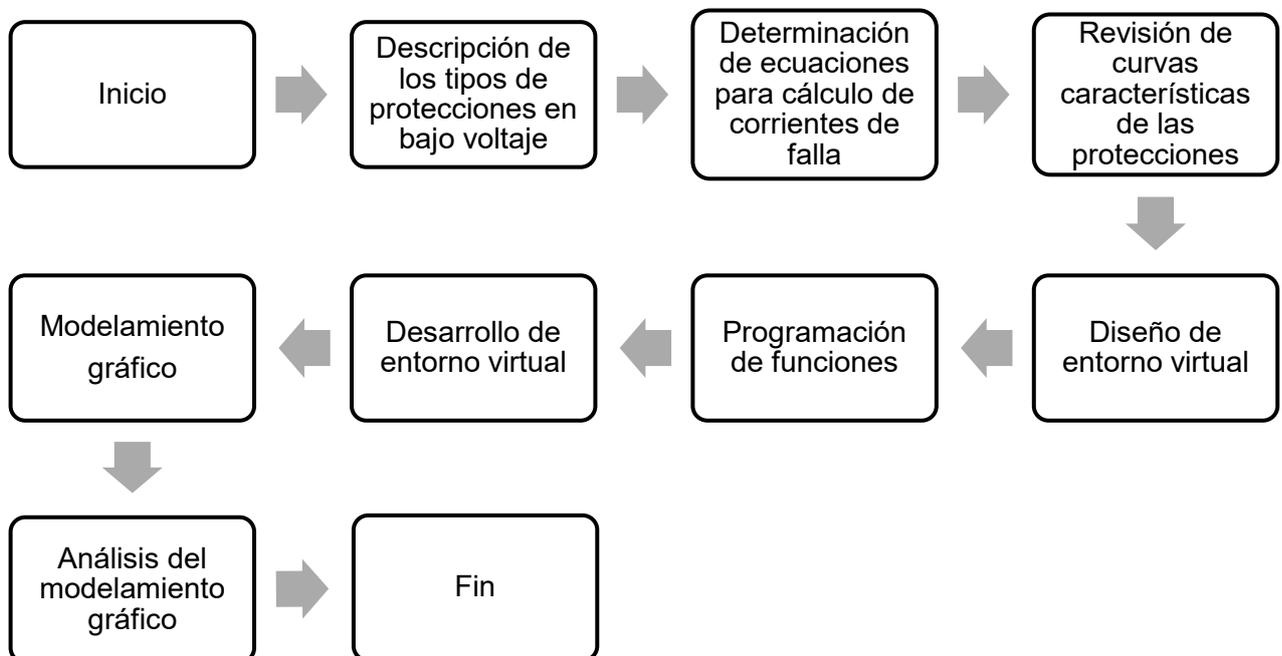


Fig. 20. Diagrama de flujo de metodología aplicada.

1. Realizar la descripción de los tipos de protecciones eléctricas utilizadas en bajo voltaje, así como los tipos de curvas características.
2. Determinar las ecuaciones pertinentes para el cálculo de las corrientes de falla.
3. Revisar las curvas características de las protecciones eléctricas para la implementación en el entorno virtual.

4. Elaborar el diseño del entorno virtual para el modelamiento de las protecciones eléctricas.
5. Realizar la programación de funciones del entorno virtual en lenguaje G.
6. Desarrollar la estructuración del entorno virtual, haciendo uso de las funciones anteriores.
7. Obtener las curvas características de las protecciones eléctricas ante corrientes de falla.
8. Analizar el comportamiento de las protecciones eléctricas en bajo voltaje ante corrientes de falla en función de sus curvas características.

2.2. Cálculo de corrientes de falla

Las corrientes de falla que se pueden presentar en una instalación eléctrica monofásica son cortocircuito y sobrecarga.

2.2.1. Cortocircuito monofásico (fase – tierra)

Mediante una fuente de voltaje, un interruptor, una impedancia Z_{cc} (resistencias y reactancias antes del interruptor) y una impedancia Z_s que indica la carga conectada se puede representar una red eléctrica, como se muestra en la Figura 21 (Schneider Electric, 2007).

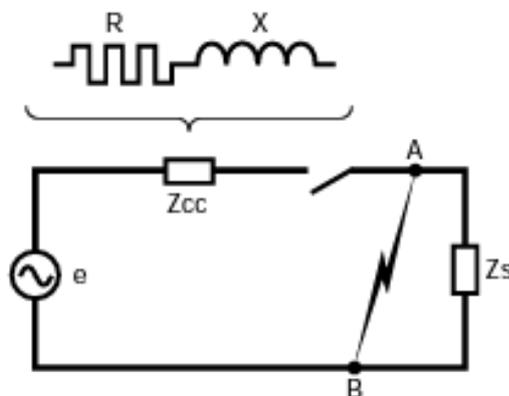


Fig. 21 Red simplificada
Fuente: (Schneider Electric, 2007)

El cálculo de la corriente de cortocircuito se puede determinar mediante el método de las impedancias. El método consiste en calcular la impedancia resultante del circuito de defecto, este método tiene una buena precisión (SOCOMECC, 2016).

Para el cálculo de la corriente de cortocircuito como ley general se calcula mediante la siguiente expresión obtenida de Vallejo Jiménez (2012).

$$I_{cc} = \frac{U_s/\sqrt{3}}{Z_t} \quad (\text{Ec.1})$$

Donde:

I_{cc} = Intensidad de corriente eficaz.

U_s = Voltaje entre fases en el secundario del transformador en vacío.

Z_t = Impedancia total aguas arriba del defecto.

La intensidad de corriente de cortocircuito de fase – tierra puede ser calculado mediante la siguiente ecuación obtenida de Schneider Electric (2007):

$$I_{cc_o} = \frac{U/\sqrt{3}}{Z_{cc} + Z_o} \quad (\text{Ec.2})$$

Donde:

I_{cc_o} = Intensidad de cortocircuito fase – tierra.

U = Voltaje compuesto entre fases, la cual corresponde al voltaje en vacío del transformador.

Z_{cc} = Impedancias de la fuente y las líneas.

Z_o = Impedancia homopolar.

La impedancia Z_{cc} se calcula según la expresión obtenida de Schneider Electric (2007): .

$$Z_{cc} = \sqrt{(\sum R)^2 + (\sum X)^2} \quad (\text{Ec.3})$$

- **Impedancia interna del transformador**

La impedancia del transformador particular o de distribución se calcula a partir de la siguiente ecuación.

$$Z_T = \frac{Z\% U_L^2}{100 S_n} \quad (\text{Ec.4})$$

Donde:

Z_T = Impedancia del transformador ($m\Omega$).

U_L = Voltaje de línea en el secundario del transformador (V).

S_n = Potencia aparente del transformador (KVA).

$Z\%$ = Impedancia de cortocircuito del transformador porcentual (%).

Los valores de impedancia porcentual típicos se presentan en la Tabla 2.1.

TABLA 2.1
VOLTAJE DE CORTOCIRCUITO UCC NORMALIZADA PARA TRANSFORMADORES MT/BT DE DISTRIBUCIÓN PÚBLICA.

Potencia del transformador (en kVA)	≤ 630	800	1000	1250	1600	2000
Voltaje de cortocircuito Ucc (en %)	4	4,5	5	5,5	6	7

Fuente: (Schneider Electric, 2007)

La impedancia porcentual del transformador es un dato que es proporcionado exclusivamente por el fabricante, esta información está presente en la placa y ficha técnica del transformador.

- **Impedancia de las líneas de bajo voltaje**

Una de las partes por las cuales circula la corriente de cortocircuito son los conductores, por lo que es necesario determinar el valor de resistencia eléctrica del elemento, este valor se puede calcular mediante la expresión obtenida de Gonzáles Cruz (2001):

$$R_c = \frac{\rho * L_c}{S_c} \quad (\text{Ec.5})$$

Donde:

R_c = Resistencia del conductor ($m\Omega$).

ρ = resistividad del conductor, tomando en cuenta la temperatura de cortocircuito ($m\Omega \cdot mm^2 / m$).

L_c = Longitud del conductor (m).

S_c = Sección del conductor (mm^2).

Los valores de resistividad de los conductores a 20 °C son: para el cobre de 0,018 $\Omega mm^2/m$ y para el aluminio 0,029 $\Omega mm^2/m$ (Schneider Electric, 2007).

Los conductores para el sistema de protección son del mismo material que el conductor de fase se dispone que estos estén en función a la sección su conductor como se muestra en la Tabla 2.2, de este modo, los conductores de protección que no sean del mismo material al conductor de fase se debe conseguir una equivalencia en función de la tabla mostrada (Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 2022).

TABLA 2.2
SECCIÓN DE CONDUCTORES DE PROTECCION EN FUNCIÓN DE CONDUCTORES DE FASE.

Sección de los conductores de fase (mm^2)	Secciones mínimas de los conductores de protección (mm^2)
$S \leq 16$	S
$16 \leq S \leq 35$	16
$S > 35$	$S / 2$

Nota: S: Sección transversal de los conductores.

Fuente: (Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado, 2022)

- **Tierra de servicio**

Es la malla de tierra en la cual se conecta el punto neutro del secundario de un transformador, además de servir como punto de referencia de este. El valor de resistencia eléctrica de esta tierra va a afectar de manera directa la magnitud de la corriente de cortocircuito en una instalación monofásica (Mora Villagómez et al., 2010).

- **Tierra de protección**

Es la malla de tierra en la cual se conectan las partes de metal de las cargas conectadas a la instalación, que no están energizados normalmente, pero podrían estarlo en consecuencia de una avería. Los valores de esta resistencia están en función del tipo de

carga conectada y de los usuarios que interactúan con el sistema (Mora Villagómez et al., 2010).

2.2.2. Corriente de sobrecarga

El dimensionamiento de la protección automática para corrientes de sobrecargas está en función de la capacidad de los circuitos a proteger y las curvas características de las protecciones. Se establece que el dispositivo de protección de sobre intensidad se ajuste a no más de 125% de la corriente nominal a plena carga para el transformador cuando se tiene hasta 1000 V en el lado secundario (Código Eléctrico Nacional, 2017).

La sobreintensidad de ajuste se puede obtener mediante las siguiente expresión obtenida de Código Eléctrico Nacional (2017).

$$I_s = I_n * 125\% \quad (\text{Ec.6})$$

2.3. Software LabVIEW

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) es un entorno de programación de tipo gráfica para el desarrollo de aplicaciones de ingeniería para realizar mediciones, pruebas y control con una integración breve a hardware, capaz de adquirir información de cualquier proveedor (National Instruments Corp, 2022).

El software LabVIEW cuenta con una amplia gama de características y herramientas potentes e intuitivas que van desde asistencias interactivas a interfaces parametrizables y determinadas por los usuarios; se diferencia por su lenguaje de programación gráfico denominado lenguaje G como se muestra es la Figura 22 (National Instruments Corp, 2022).

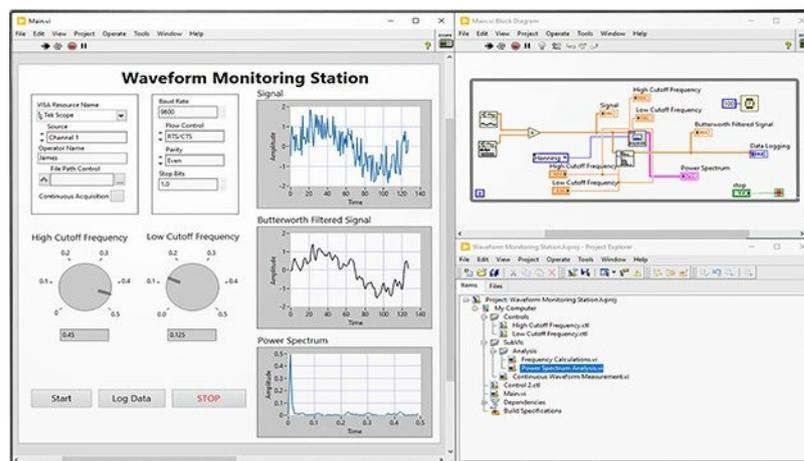


Fig. 22. Entorno de LabVIEW.
Fuente:(National Instruments Corp, 2022)

Puesto que la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas de la Universidad Técnica del Norte cuenta con licencias académicas para hacer uso del software LabVIEW, el desarrollo del entorno de modelamiento se lo realiza dicho software.

2.4. Lenguaje de programación G

El lenguaje de programación gráfico G utilizado en LabVIEW se considera un lenguaje artificial de flujo de datos en donde se conecta los nodos de funciones mediante cables, por los cuales se propagan las variables del programa. La ejecución de los nodos del programa se realiza paralelamente, en donde se multiplexa varios subprocesos del sistema operativo en los nodos a ejecutar (Pallo Jiménez, 2021).

El lenguaje G se apoya en el uso de símbolos gráficos para la programación de aplicaciones, con lo cual se tiene una programación intuitiva a diferencia de un lenguaje de tipo escrito. En este lenguaje las funciones, estructuras, operadores y librerías son análogas a los lenguajes de programación tradicionales (González Sánchez, 2018).

La programación gráfica reside en bloques que reciben variables de entrada y se obtiene un resultado en la salida, además los bloques pueden conectarse entre sí. Cuando un nodo de un diagrama de bloques se ejecuta se obtiene una salida que pasa al siguiente nodo de acuerdo el recorrido del flujo de datos (Álvarez Marbán, 2017).

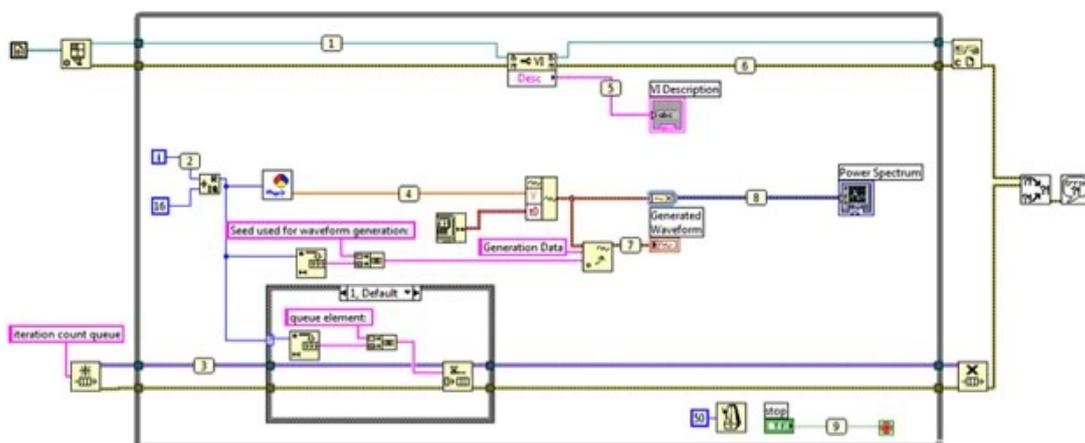


Fig. 23. Lenguaje de programación G.
Fuente:(National Instruments Corp, 2022)

La programación en el software LabVIEW es de forma intuitiva, el entorno dispone de variables, matrices, funciones, etc. representadas gráficamente que pueden ser interconectadas entre sí para el desarrollo de algoritmos como se muestra en la Figura 23.

2.5. Entorno virtual

El entorno virtual desarrollado en LabVIEW es capaz de simular fallas eléctricas de tipo cortocircuito y sobrecarga monofásica. El entorno resultante es el que se muestra en las Figuras 24 y 25.

El entorno de modelamiento cuenta con dos módulos: el primer módulo está destinado para la selección y configuración de los elementos constituyentes del sistema. Así como, la selección del tipo de falla eléctrica requerida; el segundo módulo está destinado a la representación gráfica de las curvas características e indicación de tiempo de disparo de la protección termomagnética. El entorno cuenta con una protección termomagnética y una protección diferencial de valor configurable.

En el entorno virtual se considera un transformador de características ideales. Además, las magnitudes de la fuente de alimentación y resistencias presentes en el entorno virtual pueden ser configurados como se requiera.

- **Primer módulo**

En el primer módulo se dispone de controladores numéricos para configurar los valores de voltaje simple, resistencia de línea RL, resistencia de tierra de servicio RB, resistencia de tierra de protección RS, resistencia del conductor de protección y neutro RCPN, resistencia de emplazamiento RST, resistencia de defecto RD, resistencia de una persona RK, parte real de una impedancia RI y una carga.

Además, se dispone de indicadores numéricos en los cuales se refleja las magnitudes de corriente y voltaje de acuerdo con la ubicación establecida de los elementos de medición como se muestra en la Figura 24.

También se tiene disponible un pulsador para realizar la simulación de cortocircuito monofásico entre fase - tierra, y otro pulsador que permite habilitar la inserción de una carga entre fase y neutro con la finalidad de simular una sobrecarga.

Adicionalmente, se cuenta con ventanas desplegadas para la selección del tipo de esquema de conexión de tierra, la selección del tipo de curva de la protección termomagnética y selección del valor de corriente del interruptor diferencial.

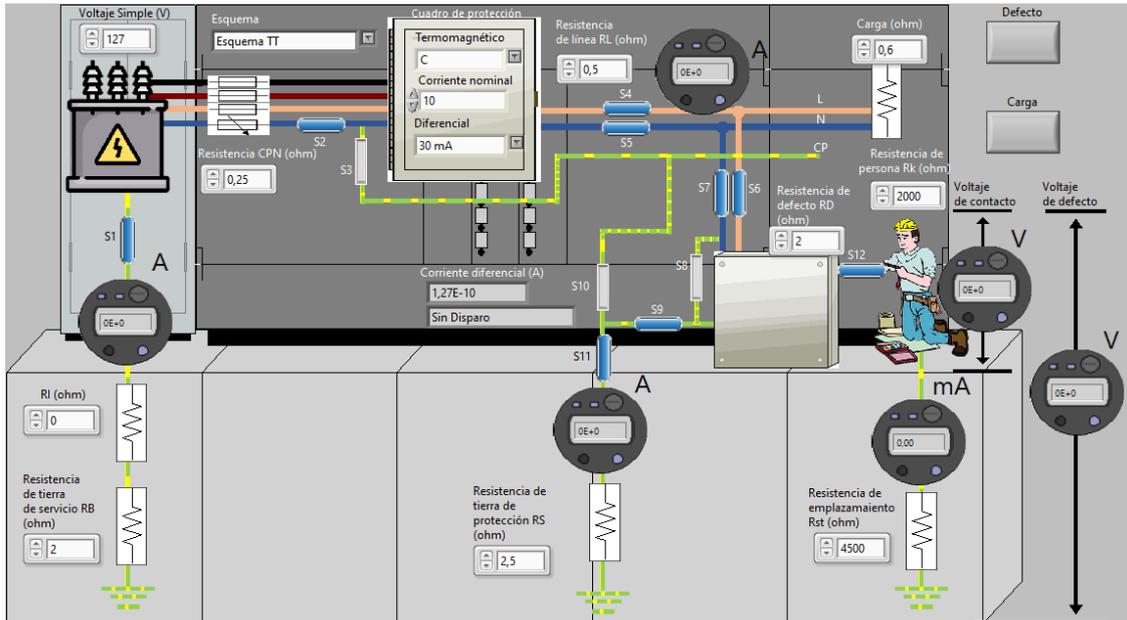


Fig. 24. Módulo 1 de entorno de modelamiento.

- **Segundo módulo**

En el segundo modulo se dispone de dos indicadores de tiempo de disparo de la protección termomagnética: 1) Tiempo mínimo (s) y 2) Tiempo máximo (s), como se muestra en la Figura 25.

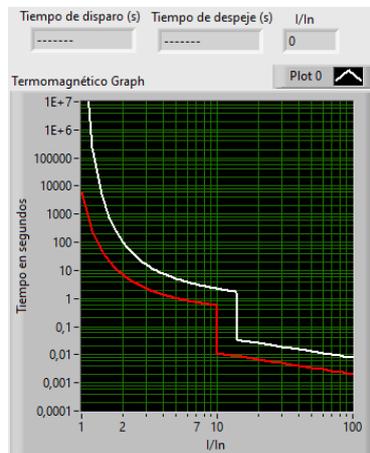


Fig. 25. Módulo 2 entorno virtual.

Además, el módulo tiene un plano de coordenadas en el cual se muestra el tipo de curva de la protección termomagnética y su intersección con la relación corriente de línea / corriente nominal de la protección termomagnética.

2.6. Modelamiento de las protecciones eléctricas

Se realiza el modelamiento de las protecciones eléctricas en bajo voltaje ante corrientes de cortocircuito y sobre carga.

2.6.1. Cortocircuito

Modelamiento de cortocircuito en los esquemas de conexión a tierra: TT, TNS, TNC e IT.

A) Esquema TT

En la Figura 26, se muestra una representación de un interruptor termomagnético unipolar de curva tipo B.



Fig. 26. Interruptor termomagnético iC60N 1P 4A curva B
Fuente: (Schneider Electric, 2023)

A continuación, se presenta el modelamiento de la protección termomagnética tipo B ante una corriente de cortocircuito en un esquema TT, como se muestra en la Figura 27.

- **Curva B**

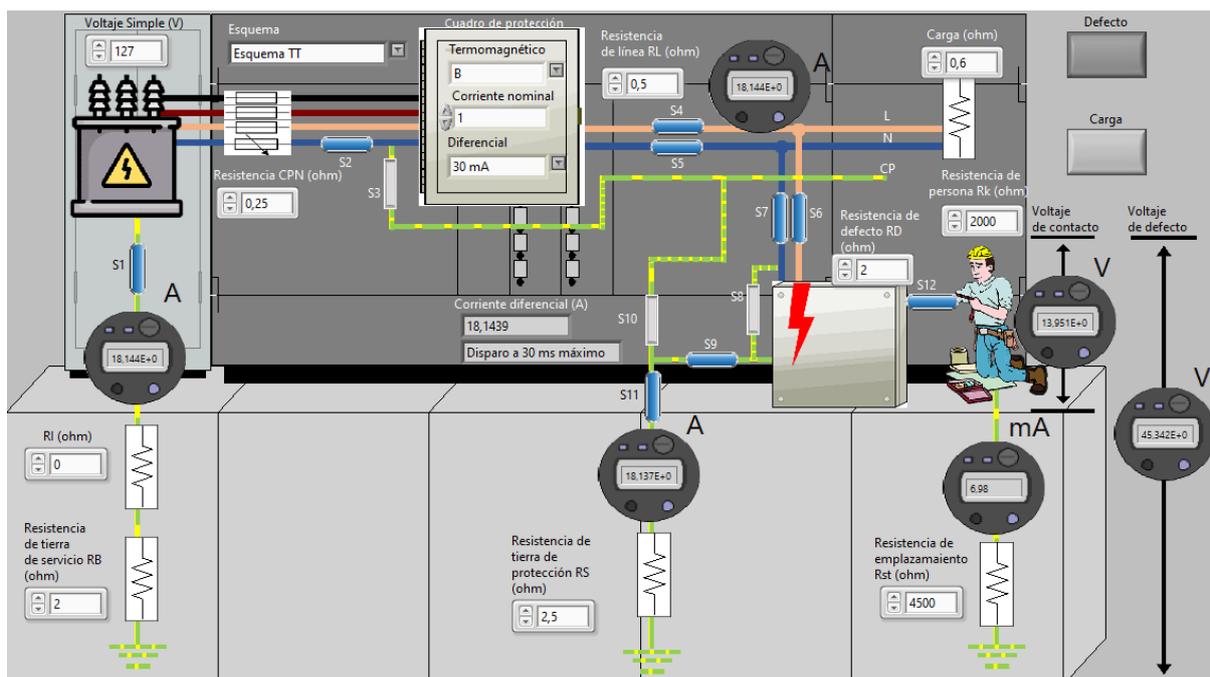


Fig. 27. Esquema TT - curva B

En la Figura 28, se presenta la curva característica de la protección termomagnética tipo B, así como, el tiempo de disparo de acuerdo con la intersección de la relación I / I_n y la curva.

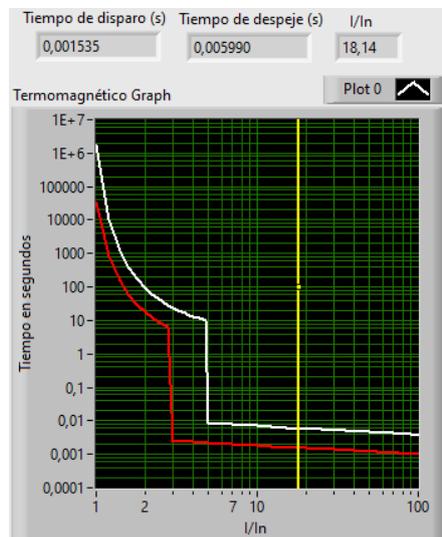


Fig. 28. Curva tipo B - Esquema TT

B) Esquema TNS

A continuación, se presenta el modelamiento de la protección termomagnética tipo B en el esquema TNS, como se muestra en la Figura 29.

• Curva B

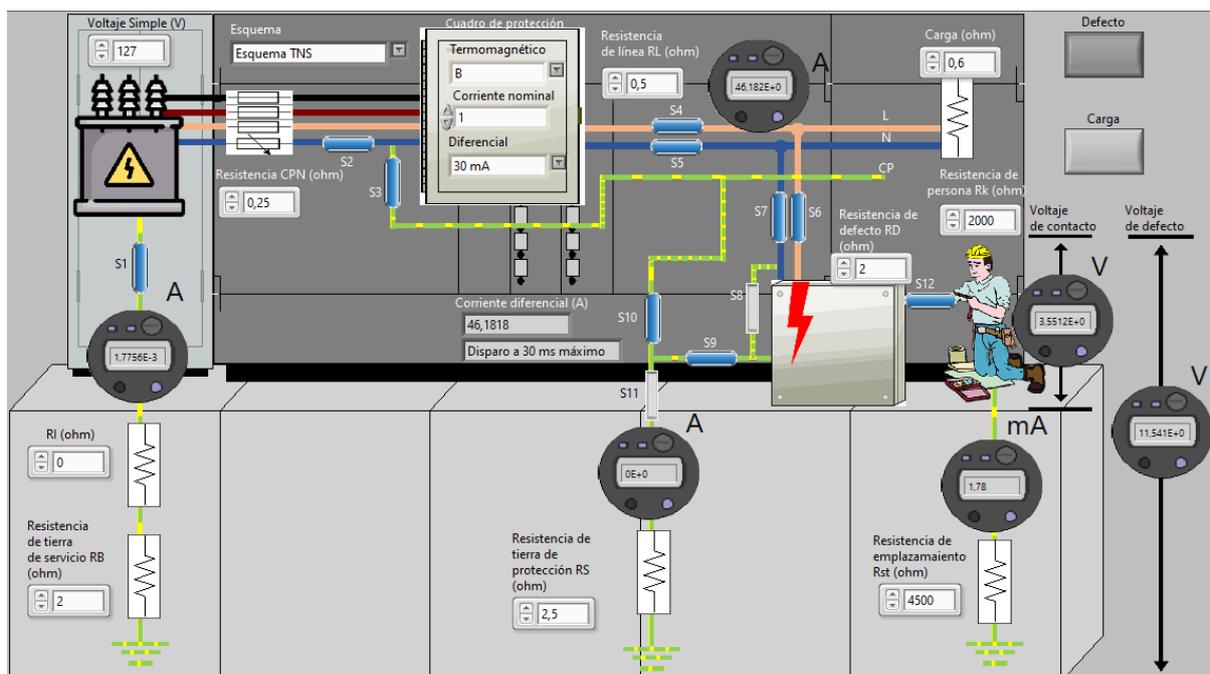


Fig. 29. Esquema TNS - curva B

En la Figura 30, se presenta la curva característica de la protección termomagnética tipo B, así como, el tiempo de disparo de acuerdo con la intersección de la relación I / I_n y la curva.

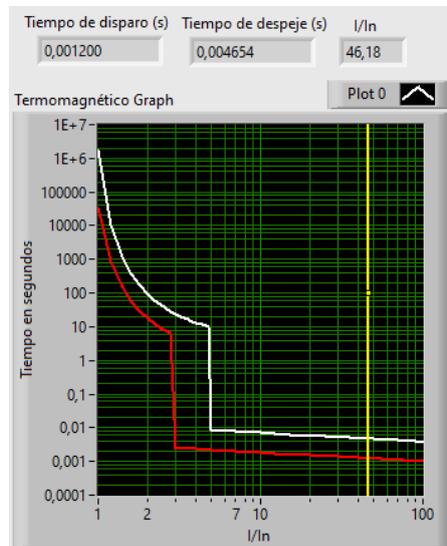


Fig. 30. Curva tipo B - Esquema TNS

C) Esquema TNC

A continuación, se presenta el modelamiento de la protección termomagnética tipo B en el esquema TNC, como se muestra en la Figura 31.

- **Curva B**

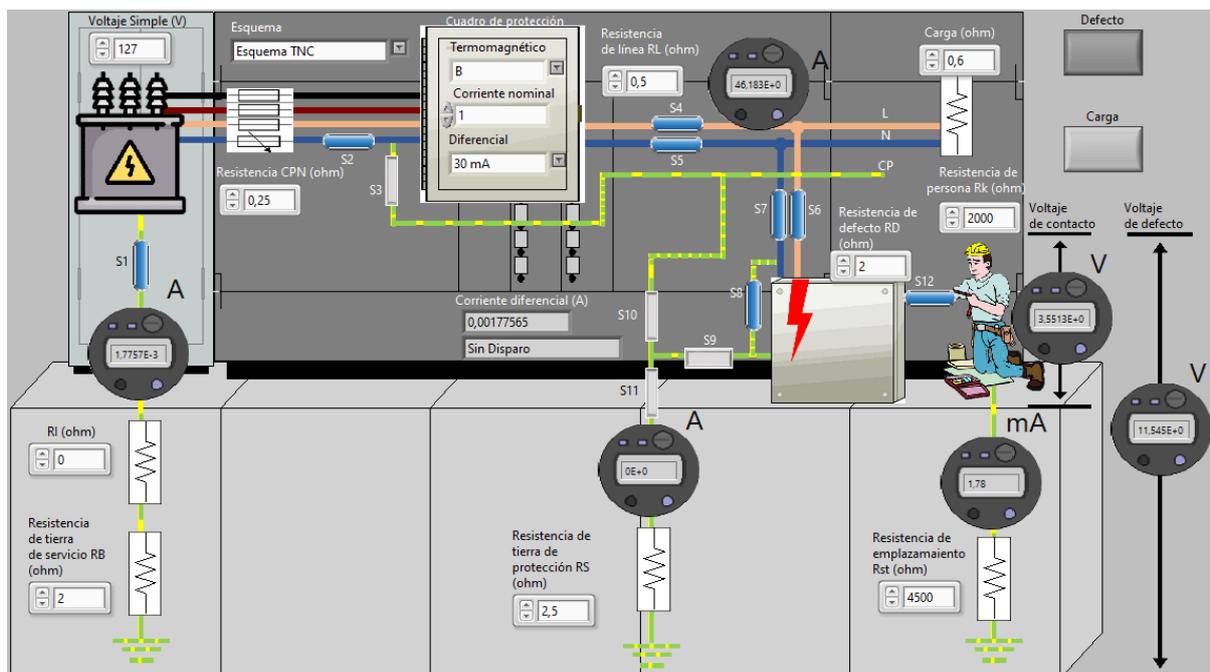


Fig. 31. Esquema TNC - curva B

En la Figura 32, se presenta la curva característica de la protección termomagnética tipo B, así como, el tiempo de disparo de acuerdo con la intersección de la relación I / I_n y la curva.

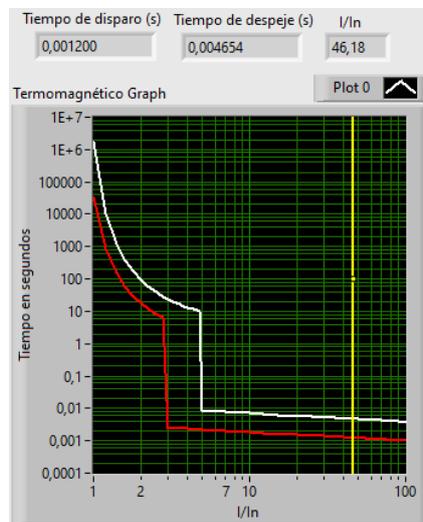


Fig. 32. Curva tipo B - Esquema TNC

D) Esquema IT

A continuación, se presenta el modelamiento de la protección termomagnética tipo B en el esquema IT, como se muestra en la Figura 33. En este esquema de conexión a tierra se conecta una resistencia de valor elevado R_I en serie a la resistencia R_B , para cumplir con las características del esquema.

- Curva B

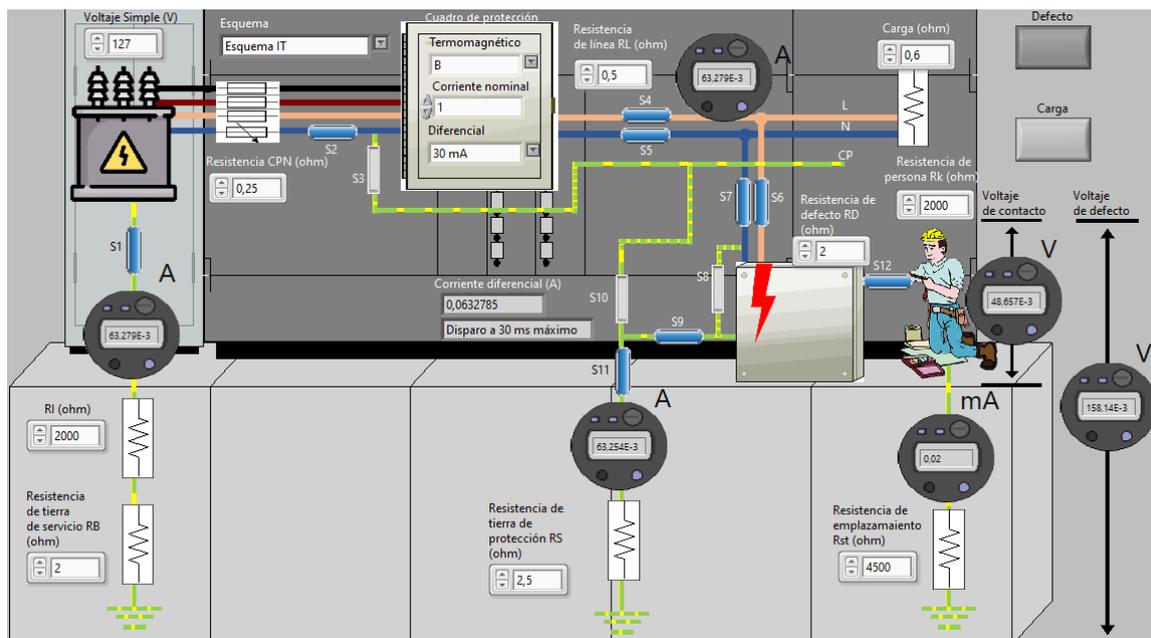


Fig. 33. Esquema IT - curva B

En la Figura 34, se presenta la curva característica de la protección termomagnética tipo B y la relación I / I_n .

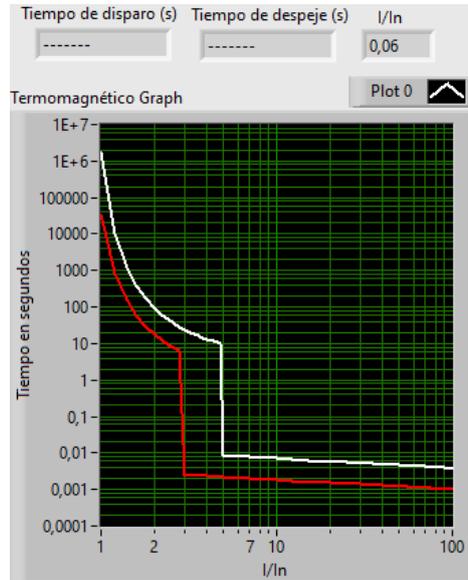


Fig. 34. Curva tipo B - Esquema IT

2.6.2. Sobrecarga

A continuación, se realiza el modelamiento de las curvas de protección tipo B, C, D, G, K, L, U, Z e ICP en régimen de sobrecarga, como se muestra en las siguientes figuras. En la Figura 35, se muestra seleccionado la operación del entorno con la carga.

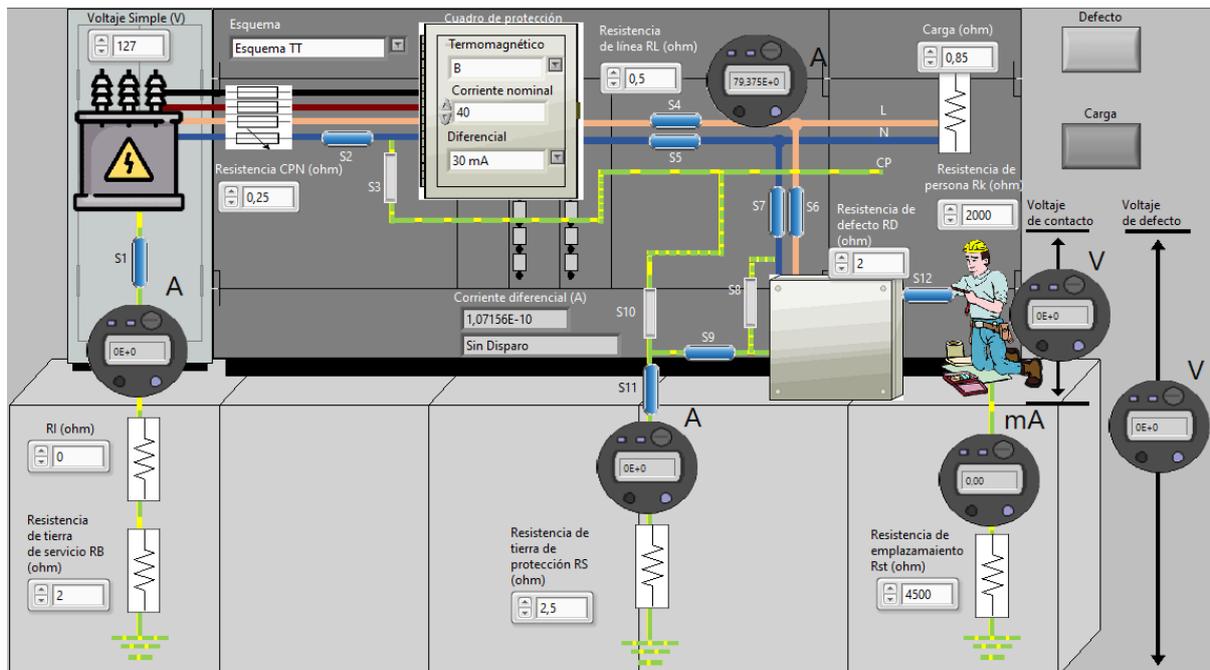


Fig. 35. Sobrecarga con protección termomagnética

- **Curva tipo B**

En la Figura 36, se presenta la curva característica de la protección termomagnética tipo B, así como, el tiempo de disparo de acuerdo con la intersección de la relación I / I_n y la curva.

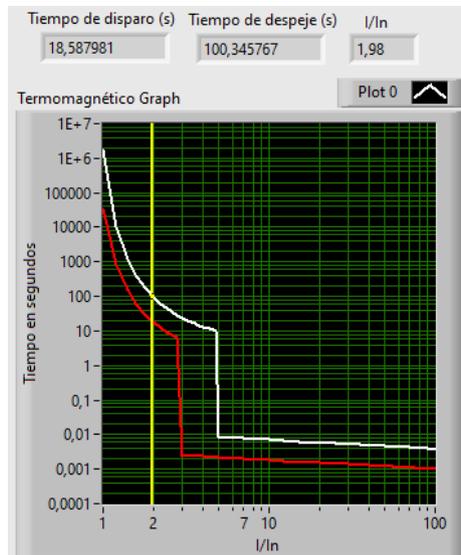


Fig. 36. Curva tipo B en sobrecarga.

- **Curva tipo C**

En la Figura 37, se presenta la curva característica de la protección termomagnética tipo C, así como, el tiempo de disparo de acuerdo con la intersección de la relación I / I_n y la curva.

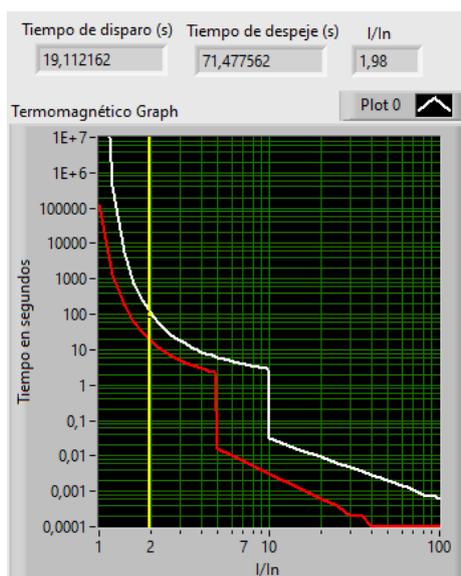


Fig. 37. Curva tipo C en sobrecarga.

- **Curva tipo D**

En la Figura 38, se presenta la curva característica de la protección termomagnética tipo D, así como, el tiempo de disparo de acuerdo con la intersección de la relación I / I_n y la curva.

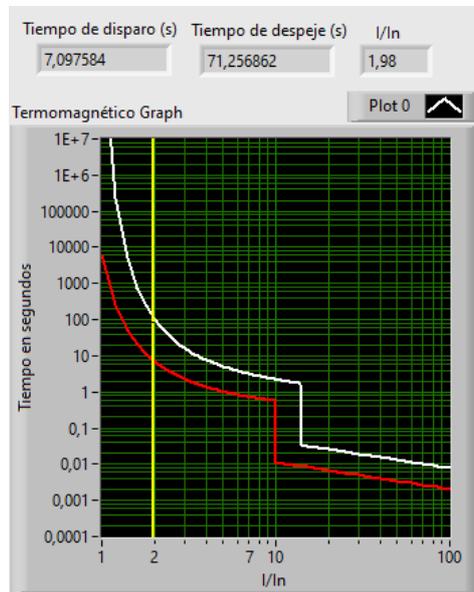


Fig. 38. Curva tipo D en sobrecarga.

- **Curva tipo G**

En la Figura 39, se presenta la curva característica de la protección termomagnética tipo G, así como, el tiempo de disparo de acuerdo con la intersección de la relación I / I_n y la curva.

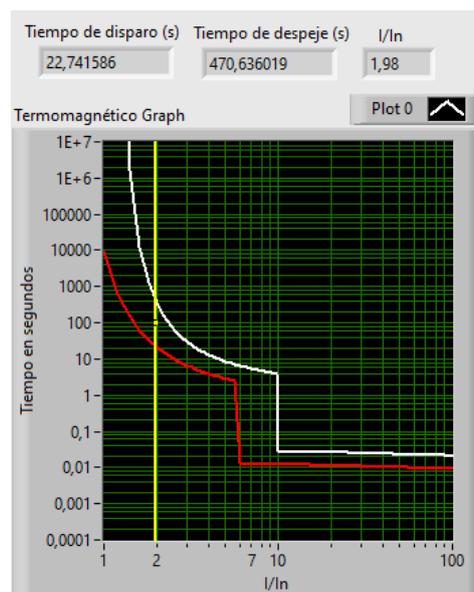


Fig. 39. Curva tipo G en sobrecarga.

- **Curva tipo K**

En la Figura 40, se presenta la curva característica de la protección termomagnética tipo G, así como, el tiempo de disparo de acuerdo con la intersección de la relación I / I_n y la curva.

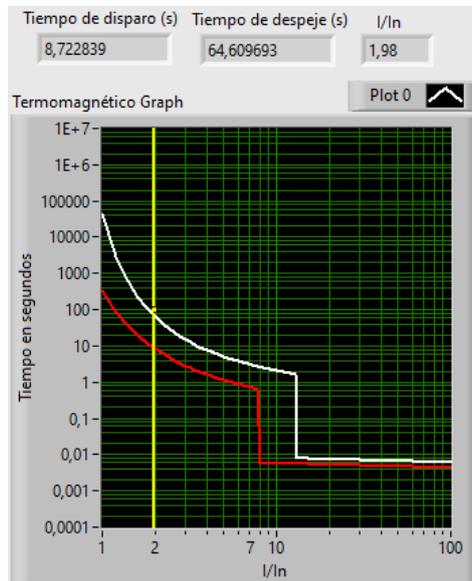


Fig. 40. Curva tipo K en sobrecarga.

- **Curva tipo L**

En la Figura 41, se presenta la curva característica de la protección termomagnética tipo L, así como, el tiempo de disparo de acuerdo con la intersección de la relación I / I_n y la curva.

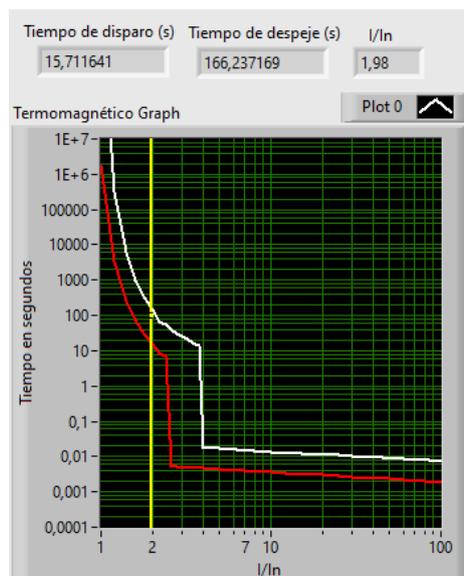


Fig. 41. Curva tipo L en sobrecarga.

- **Curva tipo U**

En la Figura 42, se presenta la curva característica de la protección termomagnética tipo U, así como, el tiempo de disparo de acuerdo con la intersección de la relación I / I_n y la curva.

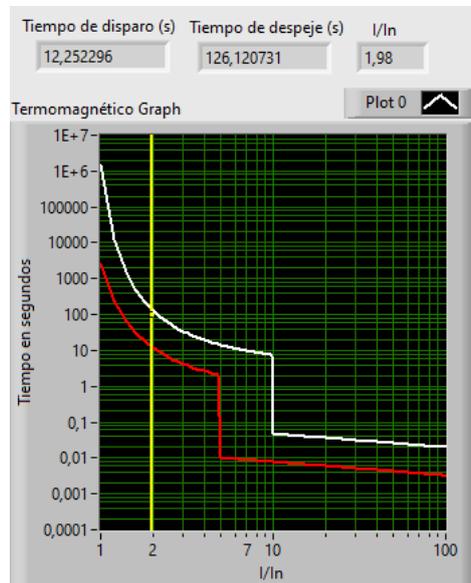


Fig. 42. Curva tipo U en sobrecarga.

- **Curva tipo Z**

En la Figura 43, se presenta la curva característica de la protección termomagnética tipo Z, así como, el tiempo de disparo de acuerdo con la intersección de la relación I / I_n y la curva.

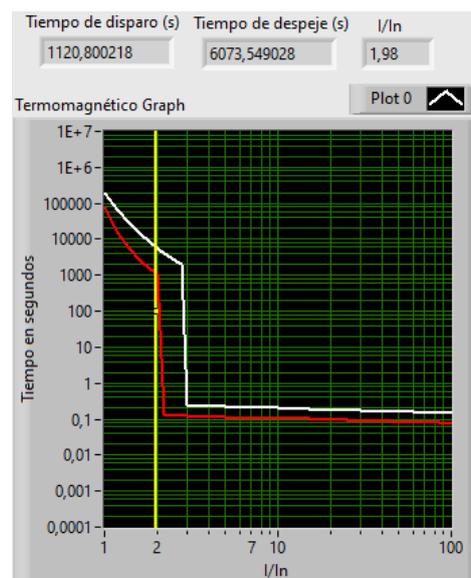


Fig. 43. Curva tipo Z en sobrecarga.

- **Curva tipo ICP**

En la Figura 44, se presenta la curva característica de la protección termomagnética tipo ICP, así como, el tiempo de disparo de acuerdo con la intersección de la relación I / I_n y la curva.

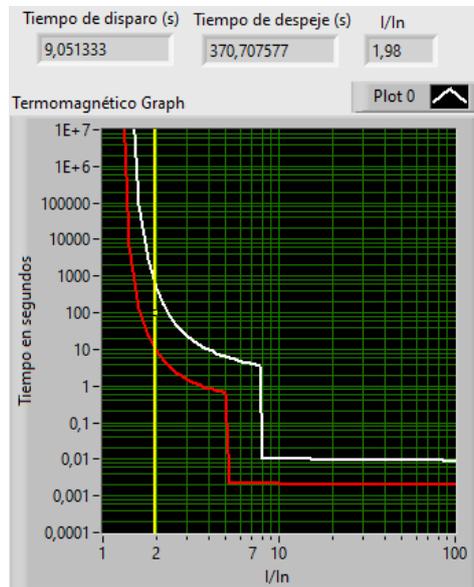


Fig. 44. Curva tipo ICP en sobrecarga.

Capítulo 3

Análisis del modelamiento de las protecciones en bajo voltaje

En el siguiente capítulo se realizó el análisis del modelamiento gráfico de las protecciones termomagnéticas B, C, D, G, L, U, Z e ICP ante corrientes de cortocircuito monofásico y sobrecarga.

3.1. Análisis en cortocircuito

El modelamiento de las protecciones eléctricas se realizó en los siguientes esquemas de conexión a tierra: TT, TNS, TNC e IT.

3.1.1. Esquema TT

En la Figura 45, se presenta el diagrama del esquema TT realizado en el entorno virtual, en el cual se muestra la configuración de los elementos requeridos.

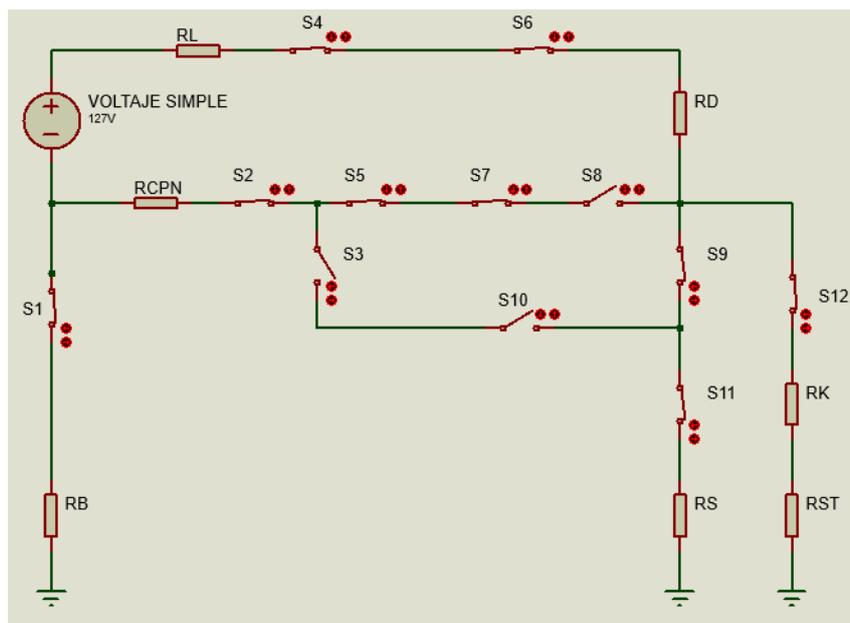


Fig. 45. Diagrama de esquema TT.

En la Tabla 3.1, se presenta los valores de la fuente de alimentación y resistencias utilizadas en este caso de modelamiento gráfico de protecciones en bajo voltaje, todos estos valores pueden ser modificados en el entorno virtual como sea necesario para otro caso de estudio.

TABLA 3.1
VALORES DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN Y RESISTENCIAS PARA EL MODELAMIENTO DE PROTECCIONES.

Voltaje simple (V)	RL (Ω)	RD (Ω)	RCPN (Ω)	RB (Ω)	RS (Ω)	RK (Ω)	RST (Ω)	RI (Ω)
127	0,5	2	0,25	2	2,5	2000	4500	2000

En la Tabla 3.2, se presenta los tiempos de disparo de la protección termomagnética según las diferentes curvas características en un esquema TT.

TABLA 3.2
MODELAMIENTO DE PROTECCIONES CON CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN ESQUEMA TT.

Esquema TT				
Curva	In Termomagnético (A)	I Línea / In Termomagnético	Tiempo de disparo (ms)	Tiempo de despeje (ms)
B	1	18,1467	1,535	5,989
C	1	18,1467	0,847	11,040
D	1	18,1467	7,317	27,713
G	1	18,1467	11,525	26,550
K	1	18,1467	5,336	7,637
L	1	18,1467	3,046	11,814
U	1	18,1467	6,195	37,591
Z	1	18,1467	97,886	185,155
ICP	1	18,1467	2,100	9,775

Nota: I: Corriente, In: Corriente nominal.

De acuerdo con la Tabla 3.2, se determina que la protección termomagnética que actúa en un menor tiempo ante una corriente de cortocircuito es del tipo C, por el contrario, la protección que más se tarda en disparar es del tipo Z.

En la Tabla 3.3, se presenta el valor de la corriente nominal del interruptor diferencial, la corriente diferencial existente en el interruptor y el tiempo de disparo de la protección.

TABLA 3.3
MODELAMIENTO DE INTERRUPTOR DIFERENCIAL EN ESQUEMA TT.

In Diferencial (mA)	Corriente diferencial (A)	Tiempo de disparo inferior a (ms)
30	18,1467	30

El interruptor diferencial seleccionado va a disparar en un tiempo inferior a 30ms de acuerdo con la corriente diferencial existente como se muestra en la Tabla 3.3.

3.1.2. Esquema TNS

En la Figura 46, se presenta el diagrama del esquema TNS realizado en el entorno virtual, en el cual se muestra la configuración de los elementos requeridos.

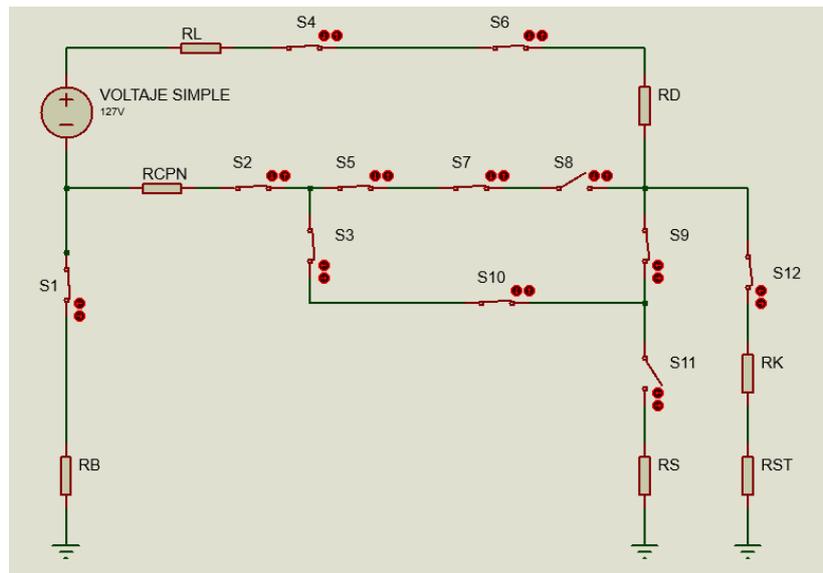


Fig. 46. Diagrama de esquema TNS.

En la Tabla 3.4, se presenta los tiempos de disparo de la protección termomagnética según las diferentes curvas características en un esquema TNS.

TABLA 3.4
MODELAMIENTO DE PROTECCIONES CON CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN ESQUEMA TNS.

Esquema TNS				
Curva	In Termomagnético (A)	I Línea / In Termomagnético	Tiempo de disparo (ms)	Tiempo de despeje (ms)
B	1	46,1812	1,200	4,654
C	1	46,1812	0,110	2,219
D	1	46,1812	3,622	13,743
G	1	46,1812	10,208	23,514
K	1	46,1812	4,721	6,770
L	1	46,1812	2,330	9,096
U	1	46,1812	4,332	26,361
Z	1	46,1812	85,091	160,953
ICP	1	46,1812	2,100	9,329

Nota: I: Corriente, In: Corriente nominal.

La corriente de cortocircuito monofásica que se genera en un esquema TNS es mayor en comparación con la existente en un esquema TT.

Según la Tabla 3.4, la protección termomagnética que actúa ante una corriente de cortocircuito en un menor tiempo es del tipo C, por el contrario, la protección que más se tarda en disparar es del tipo Z.

En la Tabla 3.5, se presenta el valor de la corriente nominal del interruptor diferencial, la corriente diferencial existente en el interruptor y el tiempo de disparo de la protección.

TABLA 3.5
MODELAMIENTO DE INTERRUPTOR DIFERENCIAL EN ESQUEMA TNS.

In Diferencial (mA)	Corriente diferencial (A)	Tiempo de disparo inferior a (ms)
30	46,1812	30

La protección diferencial seleccionada en el modelamiento de protecciones dispara en un tiempo máximo de 30ms, la corriente diferencial es mayor a la corriente nominal del interruptor diferencial como se muestra en la Tabla 3.5

3.1.3. Esquema TNC

En la Figura 47, se presenta el diagrama del esquema TNC realizado en el entorno virtual, en el cual se muestra la configuración de los elementos requeridos.

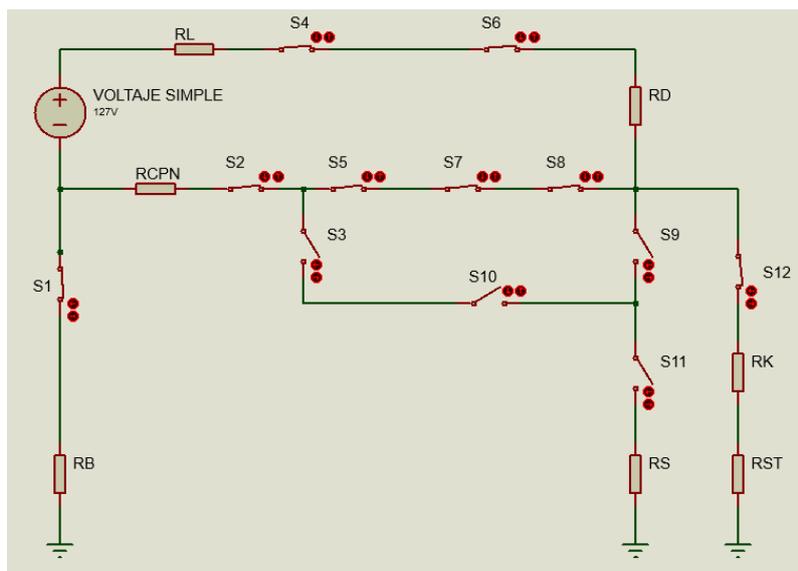


Fig. 47. Diagrama de esquema TNC.

En la Tabla 3.6, se presenta los tiempos de disparo de la protección termomagnética según las diferentes curvas características en un esquema TNC.

TABLA 3.6
MODELAMIENTO DE PROTECCIONES CON CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN ESQUEMA TNC.

Esquema TNC				
Curva	In Termomagnético (A)	I Línea / In Termomagnético	Tiempo de disparo (ms)	Tiempo de despeje (ms)
B	1	46,1812	1,200	4,654
C	1	46,1812	0,110	2,219
D	1	46,1812	3,622	13,743
G	1	46,1812	10,208	23,514
K	1	46,1812	4,721	6,770
L	1	46,1812	2,330	9,096
U	1	46,1812	4,332	26,361
Z	1	46,1812	85,091	160,953
ICP	1	46,1812	2,100	9,329

Nota: I: Corriente, In: Corriente nominal.

De acuerdo con la Tabla 3.6, la corriente de cortocircuito presente en la línea en un esquema TNC tiene la misma magnitud que en el esquema TNS. La protección termomagnética que más rápido dispara ante una falla de cortocircuito es la protección con curva tipo C, seguido de la del tipo B.

En la Tabla 3.7, se muestra el valor de la corriente nominal del interruptor diferencial, la corriente diferencial existente en el interruptor y el tiempo de disparo de la protección.

TABLA 3.7
MODELAMIENTO DE INTERRUPTOR DIFERENCIAL EN ESQUEMA TNC.

In Diferencial (mA)	Corriente diferencial (A)	Tiempo de disparo inferior a (ms)
30	0,0017756	---

Debido a que la corriente diferencial existente es menor a la corriente nominal del interruptor seleccionado, la protección no dispara. La corriente diferencial existente en un esquema TNC como se muestra en la Tabla 3.7 es inferior en comparación con la existe en los esquemas TT, TNS e IT.

3.1.4. Esquema IT

En la Figura 48, se presenta el diagrama del esquema IT realizado en el entorno virtual, en el cual se muestra la configuración de los elementos requeridos.

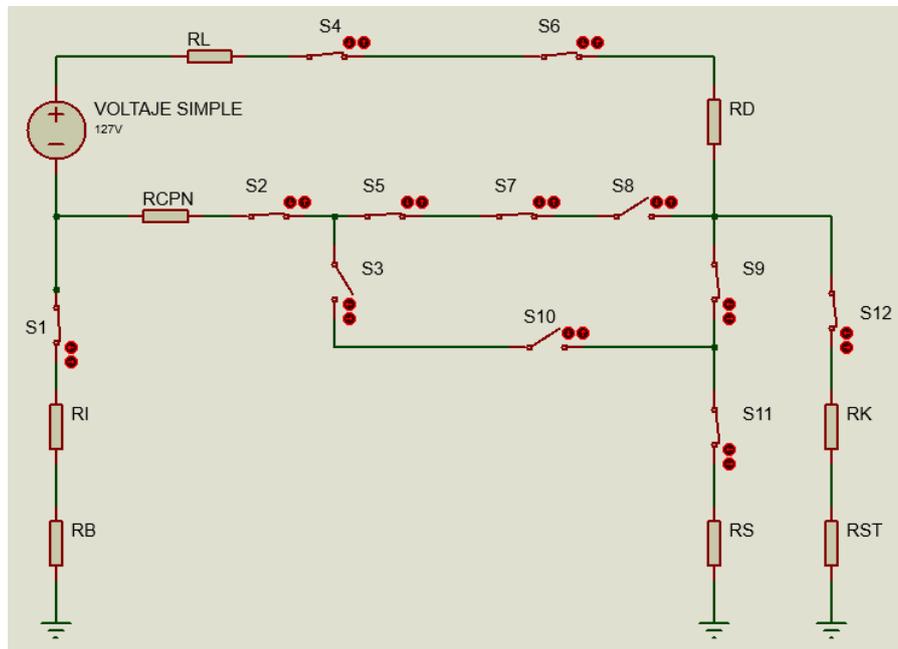


Fig. 48. Diagrama de esquema IT.

En la Tabla 3.8, se presenta la corriente nominal de la protección termomagnética, tipos de curvas características y la relación de corriente de línea con la corriente nominal del termomagnético.

TABLA 3.8
MODELAMIENTO DE PROTECCIONES CON CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN ESQUEMA IT.

Esquema IT				
Curva	In Termomagnético (A)	I Línea / In Termomagnético	Tiempo de disparo (ms)	Tiempo de despeje (ms)
B	1	0,06	---	---
C	1	0,06	---	---
D	1	0,06	---	---
G	1	0,06	---	---
K	1	0,06	---	---
L	1	0,06	---	---
U	1	0,06	---	---
Z	1	0,06	---	---
ICP	1	0,06	---	---

Nota: I: Corriente, In: Corriente nominal.

En la Tabla 3.8, se muestra como la relación $I_{\text{Línea}} / I_n$ Termomagnético es inferior a la corriente nominal de la protección termomagnética, por lo que la protección no dispara.

En la Tabla 3.9, se muestra el valor de la corriente nominal del interruptor diferencial, la corriente diferencial existente en el interruptor y el tiempo de disparo de la protección.

TABLA 3.9
MODELAMIENTO DE INTERRUPTOR DIFERENCIAL EN ESQUEMA IT.

In Diferencial (mA)	Corriente diferencial (A)	Tiempo de disparo inferior a (ms)
30	0,0632786	30

Debido a que la corriente diferencial existente es mayor a la corriente nominal de la protección diferencial, este interruptor dispara en un tiempo inferior a 30 ms como se indica en la Tabla 3.9.

3.2. Análisis en sobrecarga

A continuación, se presenta en la Figura 49 el diagrama del circuito realizado en el entorno virtual para el modelamiento de las protecciones termomagnéticas ante una corriente de sobrecarga.

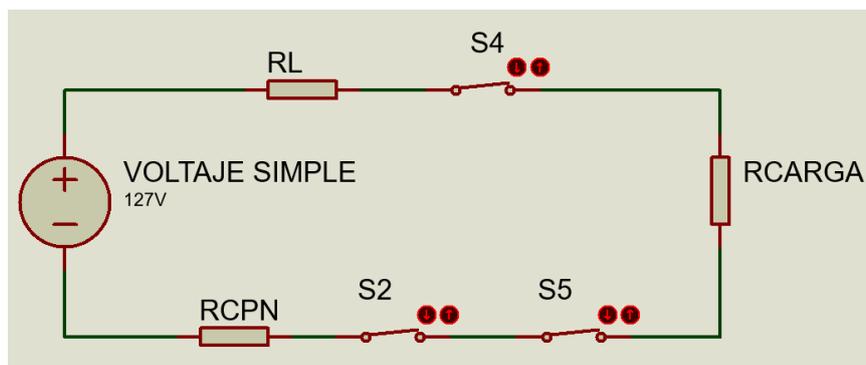


Fig. 49. Diagrama de circuito en sobrecarga

Los valores de la fuente de alimentación, resistencia R_L , resistencia R_{CPN} y R_{carga} utilizados para el presente modelamiento de protecciones eléctricas en bajo voltaje se muestran en la Tabla 3.10.

TABLA 3.10
VALORES DE FUENTE DE ALIMENTACIÓN Y RESISTENCIAS PARA EL MODELAMIENTO EN SOBRECARGA.

Voltaje simple (V)	RL (Ω)	RCPN (Ω)	R carga (Ω)
127	0,5	0,25	0,85

Nota: RL: Resistencia de línea, RCPN: Resistencia del conductor de protección y neutro, R carga: Resistencia de la carga.

Los valores de las resistencias presentadas en la Tabla 3.10, son utilizadas exclusivamente para este modelamiento, los valores de todas las resistencias presentes en el entorno virtual pueden ser modificadas.

En la Tabla 3.11, se muestra los tiempos de disparo y despeje de la protección termomagnética según las distintas curvas características.

TABLA 3.11
MODELAMIENTO DE PROTECCIONES CON CORRIENTE DE SOBRECARGA.

Curva	Carga (Ω)	In Termomagnético (A)	I Línea (A)	I Línea / In Termomagnético (A)	Tiempo de disparo (s)	Tiempo de despeje (s)
B	0,85	40	79,375	1,98	18,588	100,346
C	0,85	40	79,375	1,98	19,112	71,478
D	0,85	40	79,375	1,98	7,098	71,257
G	0,85	40	79,375	1,98	22,742	470,636
K	0,85	40	79,375	1,98	8,723	64,610
L	0,85	40	79,375	1,98	15,712	166,237
U	0,85	40	79,375	1,98	12,252	126,121
Z	0,85	40	79,375	1,98	1120,800	6073,549
ICP	0,85	40	79,375	1,98	9,051	370,708

Nota: I: Corriente, In: Corriente nominal.

De acuerdo con la Tabla 3.11, ante una corriente de sobrecarga la protección que dispara en un menor tiempo es del tipo D y seguido del tipo K. La protección que más tiempo tarda en disparar frente a una corriente de sobre carga es del tipo Z.

CONCLUSIONES

Este trabajo proporciona un entorno visual de la operación de los diferentes tipos de protecciones eléctricas actualmente utilizadas en instalaciones de bajo voltaje y cálculo de corrientes de falla, en el que se evidencia que las protecciones seleccionadas son adecuadas según la configuración de la instalación eléctrica en la que se considera el esquema de conexión a tierra y las resistencias eléctricas involucradas del circuito.

La modelación de las protecciones permite además obtener las curvas características de cada protección eléctrica en donde dependiendo de la corriente de falla se puede establecer el tiempo de actuación y despeje de las protecciones eléctricas.

El modelamiento gráfico muestra la importancia de una adecuada selección de la protección termomagnética, puesto que, se garantiza el disparo oportuno del mismo, según la curva característica y zona de operación, que puede estar en sobre carga o cortocircuito.

RECOMENDACIONES

El análisis del comportamiento de las protecciones eléctricas presentado esta realizado para corrientes de falla en un sistema monofásico de bajo voltaje. Por lo que, se recomienda tomar este trabajo como base para el modelamiento de protecciones y análisis de corrientes de falla en sistemas trifásicos.

Debido a la gran variedad de marcas y variantes de protecciones eléctricas que surgen continuamente, se recomienda incorporar en el entorno virtual de modelamiento desarrollado los dispositivos de protección que aparecen en el mercado.

Sabiendo que las corrientes de arranque de equipos eléctricos son magnitudes que se debe considerar para la selección de las protecciones eléctricas, se recomienda adicionar esta característica en el entorno virtual para conseguir una selección que permita que las protecciones no operen en regímenes normales.

REFERENCIAS

ABB. (2022a). *Protección diferencial*. 1-69.

ABB. (2022b). *Protección Termo magnética* (pp. 1-32).

Agencia Estatal Boletín Oficial del Estado. (2022). *Reglamento electrotécnico para baja tensión e ITC*. (BOE).

https://www.boe.es/biblioteca_juridica/codigos/abrir_pdf.php?fich=326_Reglamento_electrotecnico_para_baja_tension_e_ITC.pdf

Aguas Ramos, R. de J., y Buelvas, A. (2011). *Metodología para el cálculo de corrientes de cortocircuito* [Universidad Tecnológica de Bolívar].

<https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0062324.pdf>

Álvarez Marbán, M. (2017). *Desarrollo de aplicaciones en LabVIEW y Android para sensores inalámbricos con giróscopo y comunicación con un simulador de conducción basado en Unity*. [Universidad de Valladolid].

https://uvadoc.uva.es/bitstream/10324/27568/1/TFG-G_2866.pdf

Calvo Sáez, J. A. (2016). *Manual básico de seguridad en las instalaciones eléctricas en baja tensión*.

https://www.diba.cat/documents/467843/102692054/MANUAL_INSTALACIONES_ELECTRICAS_WEB.pdf/1e9394dc-b0f0-429b-9178-4dab4110d952

Cantón Torres, J. (2020). *Proyecto de instalación eléctrica de baja tensión y centro de transformación para centro sanitario*. [Universidad de Jaén].

<https://hdl.handle.net/10953.1/13414>

Carrión, D. (2020). *Importancia del sistema de puesta a tierra*.

http://www.citeenergia.com.pe/wp-content/uploads/2020/08/David-Paulino-Carrion_compressed-1.pdf

Código Eléctrico Nacional. (2017). Nfpa 70. En *National Fire Protection Association*®.

De la Cruz Gómez, J. M. (2015). *Instalaciones de puesta a tierra y protección de sistemas eléctricos* (Ediciones). <https://elibro.net/es/lc/utnorte/titulos/41984>

De la Cruz Reyes, L. (2018, noviembre 19). *Diferencias entre el cable tierra y el cable neutro*. Conceptos básicos. <https://ingenieriaelectronica.org/diferencias-entre-el-cable-tierra-y-el-cable-neutro/>

- EATON. (2018). *Guía de selección distribución de energía 2018*.
<https://www.eaton.com/content/dam/eaton/products/electrical-circuit-protection/circuit-breakers/arc-fault-detection-device/documentation/es/eaton-user-guide-pd-catalog-es-es.pdf>
- Eaton Corporation. (2017). *Fundamentos acerca de la protección contra sobrecorriente*.
<https://euroelectrica.com.mx/wp-content/uploads/2019/04/Fuseología-Fundamentos-de-la-protección-contra-sobrecorriente.pdf>
- ECUANTRANS. (2017). *Transformadores de distribución Monofásicos - Trifásicos*. 16.
https://www.ecuatran.com/wp-content/uploads/2017/02/brochure_distribucion-EN.pdf
- ENSA. (2011). *Transformadores*.
https://www.ensa.com.pa/sites/default/files/no.ccom_.08.01_transformadores_ver_01.docx.pdf
- EPEC. (2016). *La seguridad eléctrica en el hogar*.
<https://web.epec.com.ar/docs/educativo/institucional/seguridad.pdf>
- Galobart, N. (2022, febrero 8). *Toma tierra, neutro y fase: Funciones y características*.
<https://www.fontgas.com/blog/toma-tierra-neutro-y-fase-funciones-y-caracteristicas/>
- González Cruz, C. (2001). Cálculo de Corrientes de Cortocircuito en Baja Tensión. *INACAP*, 2, 1-20.
- González, G., y Luna, E. (2010). *Análisis de cortocircuito a sistemas eléctricos*. [Instituto Politécnico Nacional].
<https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/6471/1/ANALISISCORTO.pdf>
- González Sánchez, S. (2018). *Comunicación con osciloscopio desde Labview*. [Universidad de Valladolid]. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/32481/TFM-I-974.pdf>
- Gutiérrez Coquendo, G. G. (2017). *Sistema de protección contra corto circuitos y sobre corrientes en baja tensión*. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/16261>
- Haverland. (2020). *Qué es un interruptor diferencial y cómo funciona?*
<https://haverland.com/2020/02/21/que-es-un-interruptor-diferencial-y-como-funciona/#>
- Hernández, J. L. (2020). *Interruptor Diferencial*.
<https://www.tuveras.com/aparamenta/diferencial.htm>
- Hidalgo García, N. (2018). *Análisis y simulación de protecciones eléctricas en redes aéreas de media tensión*. [Universidad de Sevilla]. <https://hdl.handle.net/11441/85913>

- Icaza Paredes, W. (2019). *Desarrollo de sistema de visión artificial con labview, que permita detectar imperfecciones en las latas de atún*. [Universidad Estatal de Milagro].
<http://repositorio.unemi.edu.ec/handle/123456789/4921>
- Ingtelecto. (2019). *Transformadores Trifásicos*. <https://ingtelecto.com/transformadores-trifasicos/>
- LEGRAND. (2013). *Dispositivos de corte y protección. Guía de po*, 150.
- Montero, E. (2016). *Efectos de la corriente sobre el cuerpo humano*.
https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2016-03-04_07-17-37132859.pdf
- Mora Villagómez, E. G., Muñoz Valencia, C. E., y Caceres Galan, C. (2010). *Análisis del sistema de puesta a tierra de la Casa de la Cultura Núcleo del Guayas*. 114.
<https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/2198>
- Mullin, R., y Simmons, P. (2011). *Electrical Wiring Commercial* (C. L. DELMAR (ed.); Edición 14).
- National Instruments Corp. (2022). *LabVIEW - NI*. LabVIEW. <https://www.ni.com/es-cr/support/downloads/software-products/download.labview.html#460283>
- Nuevo García, A. (2020). *Montaje y mantenimiento eléctrico-electrónico*. Ediciones Paraninfo.
<https://books.google.com.ec/books?id=88znDwAAQBAJ&pg=PA135&dq=mecanismo+termico+bimetal&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiL-42miYn5AhX5fTABHRdkACsQ6AF6BAgKEAI#v=onepage&q=mecanismo+termico+bimetal&f=false>
- Pallo Jiménez, Y. J. (2021). *Desarrollo de aplicaciones prácticas en la adquisición y procesamiento de imágenes en MatLab y LabVIEW* [Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/16250>
- Quishpe Gaibor, J. S., y López Velásquez, D. B. (2018). *Ética profesional en el campo de las instalaciones eléctricas residenciales*. 1-8.
<https://www.eumed.net/rev/oel/2018/10/etica-instalaciones-electricas.html>
- Rocío Ortega Mateos, R. (2015). *MF0640_3 - Instalaciones de edificios*. Editorial Elearning.
<https://books.google.com.ec/books?id=ibVWDwAAQBAJ&pg=PA205&dq=mecanismo+termico+bimetal&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwiL-42miYn5AhX5fTABHRdkACsQ6AF6BAgJEAI#v=onepage&q=mecanismo+termico+bimetal&f=false>

- Ródenas Gonzáles, Á. (2018). *Diseño de una subestación de distribución de 110/25 kv anexo b. cálculos puesta a tierra*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Rodríguez, M. (2009). *Instalaciones eléctricas en edificios*.
[https://personales.unican.es/rodrigma/pdfs/instalac caminos.pdf](https://personales.unican.es/rodrigma/pdfs/instalac%20caminos.pdf)
- Ruiz Ortega, J. S. (2017). *Estudio del sistema de puesta a tierra de la Universidad Técnica del Norte e implementación de un telurómetro de cuatro electrodo*.
<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6059>
- Salazar Esquivel, E. J. (2020). *Implementación y Optimización de la Selectividad de una Instalación Eléctrica de Baja Tensión en Hotel de 4 Estrellas*. [Universidad Tecnológica del Perú]. <https://hdl.handle.net/20.500.12867/3553>
- Schneider Electric. (2007). Cálculo de Corrientes de Cortocircuito. En *Cuaderno técnico N° 158* (pp. 1-26).
- Schneider Electric. (2022). *Curvas de disparo*.
[https://www.se.com/ww/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/290000/FA290198/es_ES/Curvas disparo aparamenta modular Acti9.pdf](https://www.se.com/ww/resources/sites/SCHNEIDER_ELECTRIC/content/live/FAQS/290000/FA290198/es_ES/Curvas%20disparo%20aparamenta%20modular%20Acti9.pdf)
- Schneider Electric. (2023). *Interruptor termomagnético iC60N 1P 4A curva B*. Dispositivos modulares a riel DIN. <https://www.se.com/cl/es/product/A9F73104/interruptor-termomagnetico-ic60n-1p-4a-curva-b/>
- Serrano, J., Mora, C., y Piero, R. (2018). Diseño de una aplicación en LABVIEW como parte de una estrategia didáctica para mejorar el proceso de enseñanza aprendizaje del tema circuitos serie y paralelo - Dialnet. *Latin-American Journal of Physics Education*, 12, 1-5. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6957414>
- Siemens. (2019). Catálogo General- Productos y soluciones. *Industry Mall*, 124.
- SOCOME. (2016). Soluciones en Control , Seguridad y Eficiencia Energética. *Cuaderno Técnico*.
https://www.socomec.com/files/live/sites/systemsite/files/DOCUMENTATION/SCP_hors_cata/dcg_112055.pdf
- Torres Burgos, L., Aparicio Landa, E., y Sosa Moguel, L. (2019). *Pensamiento estocástico en la modelación gráfica. Un estudio de caso en la ingeniería química*.
<http://funes.uniandes.edu.co/15958/1/Torres2019Pensamiento.pdf>
- Torres, Y. (2019). *Coordinación De Protecciones En Baja Tensión Por Selectividad Asistida*.
<http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/3917>

UCO. (2020). *Protección de las instalaciones en baja tensión*.

<https://www.uco.es/~el1bumad/docencia/minas/ie06t4.pdf>

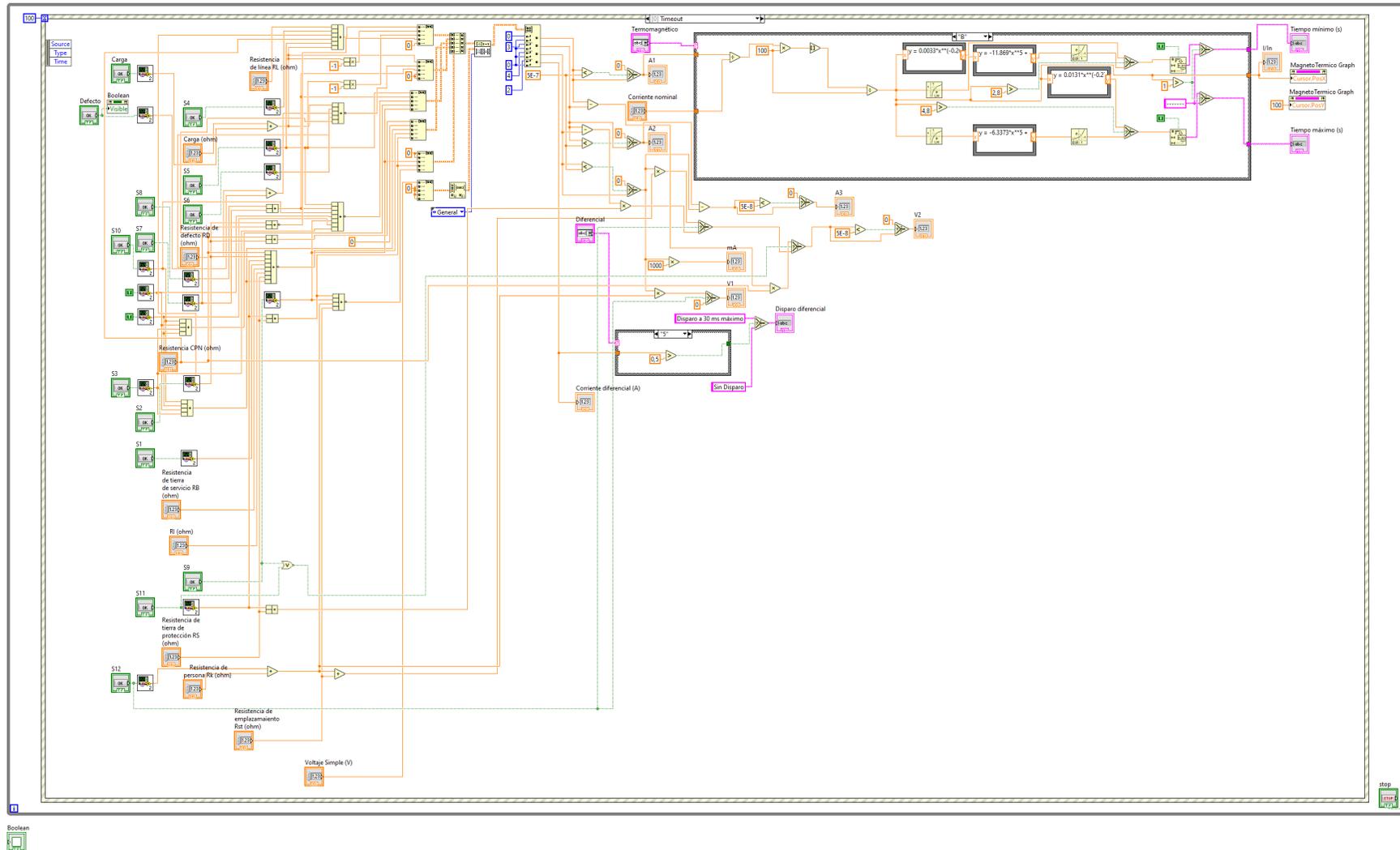
UNMDP. (2021). *Riesgo Eléctrico y Seguridad*.

<http://www3.fi.mdp.edu.ar/dtoelectrica/electroconciencia/electroconciencia-hojita-n7-protecciones-electricas-domiciliarias.pdf?V=1.0>

Vallejo Jiménez, X. (2012). *Instalación eléctrica en baja tensión con centro de transformación de una nave industrial de fabricación de mazapán*. Universidad Pública de Navarra.

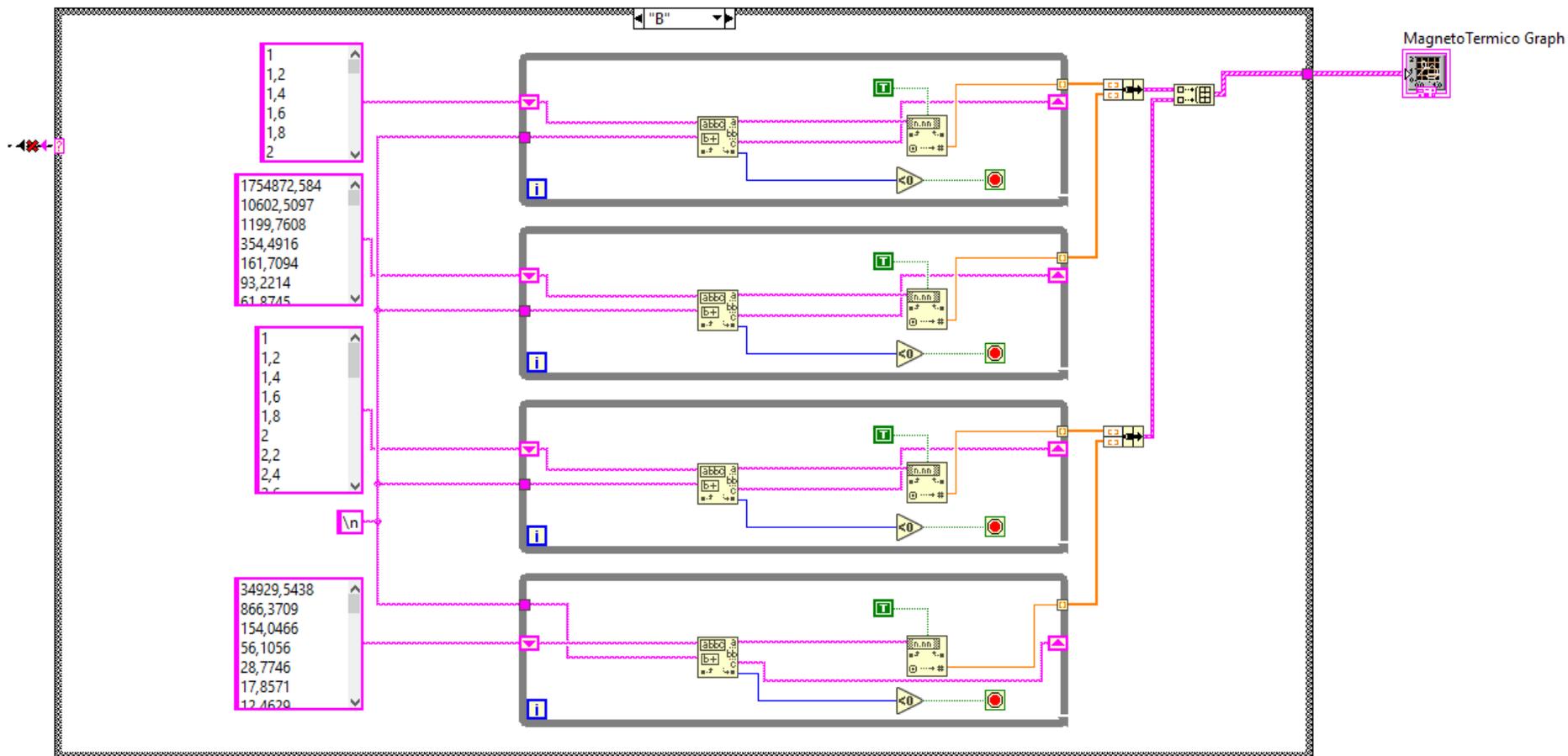
ANEXOS

Anexo A: Algoritmo de entorno virtual desarrollado en LabVIEW.



Anexo B: Algoritmo para representación gráfica de curvas características de las protecciones eléctricas.

En la siguiente figura se muestra el algoritmo para la representación de la curva tipo B.



Anexo C: Algoritmo para armado de esquemas de puesta a tierra.

En la siguiente figura se muestra los interruptores para constituir el esquema TT.

