



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA EN ELECTRICIDAD

IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS PARA DETERMINAR TIEMPOS DE OPERACIÓN DE INTERRUPTORES MCB (MINIATURE CIRCUIT BREAKER) EN CONDICIONES DE SOBRECARGA.

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN ELECTRICIDAD.

AUTORES:

QUISPE TOAQUIZA EDWIN ORLANDO

SORIA PAZ JOFFRE DAVID

TUTOR:

ING. MG. XAVIER ALFONSO PROAÑO MALDONADO.

LATACUNGA, MARZO 2026

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo Quispe Toaquiza Edwin Orlando y Soria Paz Joffre David declaramos ser los autores del proyecto de titulación **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS PARA DETERMINAR TIEMPOS DE OPERACIÓN DE INTERRUPTORES MCB EN CONDICIONES DE SOBRECARGA”**, siendo el Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado Mgs. Tutor del presente trabajo de titulación; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

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



Quispe Toaquiza Edwin Orlando
CC.0550014682



Soria Paz Joffre David
CC. 1803723244

AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título: “Implementación de un módulo de medición y análisis para determinar tiempos de operación de interruptores MCB en condiciones de sobrecarga”, propuesto por los estudiantes: Quispe Toaquiza Edwin Orlando y Soria Paz Joffre David de la Carrera de ingeniería en electricidad, considero que dicho proyecto de titulación cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científico-técnicos suficientes para ser sometidos al tribunal de lectores.



Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado, Mg.
C.C. 050265642-4
TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DE LECTORES

Cumpliendo con el Reglamento de Titulación de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en calidad de Lectores del Tribunal de Proyecto de Investigación con el Título “Implementación de un módulo de medición y análisis para determinar tiempos de operación de interruptores MCB (Miniature Circuit Breaker) en condiciones de sobrecarga”, propuesto por los estudiantes Quispe Toaquiza Edwin Orlando y Soria Paz Joffre David de la Carrera de Electricidad, me permito indicar que los estudiantes han concluido todas las observaciones y realizado las correcciones señaladas por el Tribunal de Lectores, además de validar el funcionamiento de la propuesta, por lo cual presentamos el Aval de aprobación del Proyecto de Titulación correspondiente a la modalidad Propuesta Tecnológica en virtud de lo cual los postulantes pueden presentarse a la Defensa de su Proyecto de Titulación.

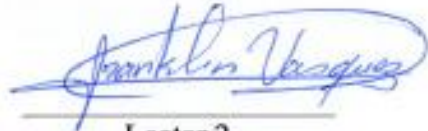
Particular que pongo en su conocimiento para los fines legales pertinentes.

Atentamente,



Lector 1 (Presidente)

Ing. Byron Paul Corrales Bastidas MSc.
CC: 050234776-8



Lector 2

Ing. Franklin Hernán Vásquez Teneda MSc.
CC: 171043449-7



Lector 3

Ing. Mauricio Eduardo Mullo Pallo MSc.
CC: 050375518-3

AVAL DE TRADUCCIÓN

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

La traducción del resumen al idioma Inglés de la propuesta tecnológica cuyo título versa: **“IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS PARA DETERMINAR TIEMPOS DE OPERACIÓN DE INTERRUPTORES MCB (MINIATURE CIRCUIT BREAKER) EN CONDICIONES DE SOBRECARGA.”** presentado por: **Quispe Toaquiza Edwin Orlando** y **Soria Paz Joffre David**, egresados de la Carrera de: **Electricidad**, perteneciente a la **Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas**, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente aval para los fines académicos legales.

Latacunga, marzo del 2026

Atentamente,



Mg. María Fernanda Aguaiza

DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS-UTC
CI:050345849-9



CERTIFICACIÓN DE INFORME DE SIMILITUD




En mi calidad de Tutor de la propuesta Tecnológica con el tema: **Implementación de un módulo de medición y análisis para determinar tiempos de operación de interruptores mcb en condiciones de sobrecarga**, de Quispe Toaquiza Edwin Orlando, Soria Paz Joffre David, de la carrera de Electricidad, remito la captura de pantalla del reporte del sistema de reconocimiento de texto turnitin, con un porcentaje de coincidencias del 6 % y, expreso una vez más, mi conformidad en cuanto a la dirección del trabajo de titulación.

6% Similitud general
El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para el...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Fuentes principales

- 5%  Fuentes de Internet
- 0%  Publicaciones
- 2%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes.

Latacunga, 13 de marzo de 2026



Ing. Xavier Alfonso Proaño Maldonado, MSc.
C.C.: 050265642-4
TUTOR

AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer en primer lugar a dios por los días de vida que hasta el día de hoy me ha otorgado, a mis padres, a mi familia que siempre me brindo el ánimo necesario para los momentos más difíciles.

A mi director de tesis el distinguido Ing. Xavier Alfonso Maldonado Proaño por su guía, sus consejos y por ende su dedicación de compartir conmigo su experiencia y conocimiento, que fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

A los docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi que con sus enseñanzas supieron fortalecer los conocimientos y lo más principal se puede encontrar personas de buen corazón sin dañar a nadie.

Quispe Toaquiza Edwin Orlando

AGRADECIMIENTO

Quisiera agradecer a dios por darme salud, vida la fe y convicción de que los planes de él son perfectos y que tiene el control de mi vida. Mis padres el ejemplo primordial en mi vida mi madre que nunca dejo de creer en mí y mi padre que desde el cielo nos guía, nos cuida y estará muy feliz de vernos avanzar, a mi hermana por estar allí apoyándome en momentos complicados y como no a mi esposa que siempre estuvo con un sí se puede y a mis amadas hijas mi Cami y Sarita mi motor y mi fuerza de seguir luchando en la vida.

A mi director de tesis el distinguido Ing. Xavier Alfonso Maldonado Proaño sus consejos, su conocimiento, siempre ese gran apoyo y guía en que las cosas se realicen correctamente. UN DIOS LE PAGUE.

A los docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi que con sus enseñanzas supieron fortalecer, transmitir ese amor por la carrera con los conocimientos y siempre siendo primero buenas personas, profesionales, éticos en nuestras vidas.

Soria Paz Joffre David

DEDICATORIA.

Dedico este logro con un profundo amor a mis padres FABIAN y ROSA. Por todo el esfuerzo realizado para que mi formación haya dado frutos, como tambien a mi esposa Lorena y mi hijo Gael. Por último y no menos importante a mis hermanas que tambien supieron aconsejarme para poder ser el ejemplo a seguir.

Y para aquellos que confiaron en mí y nunca me desanimaron a concluir una etapa más de mi vida.

Edwin Orlando Quispe Toaquiza

Dedico este logro a mí por nunca desistir en la meta, a mis padres Mery y Joffre que siempre confiaron en mí y estuvieron apoyándome en que con esfuerzo todo se puede, mi esposa Liz gracias por estar siempre a mis amadas hijas Cami y Sarita que son la razón de nunca rendirme y mi Viví gracias por apoyarme en mis peores momentos, sus consejos y ser un motivo por el cual tengo que ser un buen ejemplo a seguir.

Para ustedes familia y amigos que siempre estuvieron con sus buenos deseos y consejos de nunca rendirnos siempre persistir y hacer que una etapa de la vida haya sido inolvidable.

Soria Paz Joffre David

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA EN ELECTRICIDAD

TITULO: IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO DE MEDICIÓN Y ANÁLISIS PARA DETERMINAR TIEMPOS DE OPERACIÓN DE INTERRUPTORES MCB (MINIATURE CIRCUIT BREAKER) EN CONDICIONES DE SOBRECARGA.

Autores:

Quispe Toaquiza Edwin Orlando

Soria Paz Joffre David

RESUMEN

El propósito de esta innovación tecnológica fue evaluar, de manera práctica el tiempo de operación de los interruptores termomagnéticos (MCB) mediante la implementación de un módulo diseñado para la ejecución de mencionadas pruebas. El estudio se desarrolló bajo condiciones controladas de sobrecarga, aplicando distintos niveles de corriente hasta provocar el disparo de los interruptores, de acuerdo con los parámetros establecidos en la investigación.

El procedimiento experimental incluyó la instalación de interruptores de tres marcas comerciales: MAVIJU, SCHNEIDER y ABB, cada una en tres corrientes nominales diferentes: 10 A, 16 A y 20 A. Para las pruebas de sobrecarga, se aplicaron cargas progresivas, incrementando gradualmente la corriente mediante la conexión de cargas adicionales, cada una con un consumo aproximado de 5,8 A.

Los tiempos de operación fueron registrados de forma automática mediante un software desarrollado en LabVIEW, lo que permitió obtener datos. Los resultados evidenciaron que el tiempo de disparo disminuye a medida que la corriente aumenta, confirmando el principio de funcionamiento de los MCB. También, se observaron diferencias en el comportamiento entre marcas.

Palabras clave: Protecciones, MCB'S, Sobrecarga, Operación, LabVIEW.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI
FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES
CARRER IN ELECTRICITY

TITLE: IMPLEMENTATION OF A MEASUREMENT AND ANALYSIS MODULE TO DETERMINE THE OPERATING TIMES OF MCB (MINIATURE CIRCUIT BREAKER) CIRCUIT BREAKERS UNDER OVERLOAD CONDITIONS.

Authors:

Quispe Toaquiza, Edwin Orlando

Soria Paz, Joffre David

ABSTRACT

The purpose of this technological innovation was to evaluate, in a practical manner, the operating time of miniature circuit breakers (MCB) through the implementation of a module designed to perform these tests. The study was carried out under controlled overload conditions, applying different current levels until the circuit breakers tripped, according to the parameters established in the research.

The experimental methodology involved the installation of circuit breakers from three commercially available brands: MAVIJU, SCHNEIDER, and ABB, each with three different rated currents: 10 A, 16 A, and 20 A. For the overload tests, progressive loads were applied by gradually increasing the current through the connection of additional loads, each with an approximate consumption of 5.8 A.

The operating times were automatically recorded using software developed in LabVIEW, which allowed accurate data collection. The results showed that the tripping time decreases as the current increases, confirming the operating principle of MCB circuit breakers. Differences in performance among the brands were also observed.

Keywords: Protection devices, MCBs, Overload, Operation, LabVIEW.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INFORMACIÓN GENERAL	1
2. INTRODUCCIÓN.....	2
2.1. EL PROBLEMA	3
2.1.1 Situación Problémica.....	3
2.1.2 Formulación del Problema.....	4
2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN.....	4
2.2.1 Objeto de estudio.....	4
2.2.2 Campo de acción	4
2.3. BENEFICIARIOS	4
2.3.1 Beneficiarios directos	4
2.3.2 Beneficiarios indirectos	4
2.4. JUSTIFICACIÓN.....	4
2.5. OBJETIVOS.....	5
2.5.1 Objetivo general	5
2.5.2 Objetivos específicos.....	5
2.6. SISTEMA DE TAREAS	6
3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	7
3.1. ANTECEDENTES	7
3.2. ROL DE LOS MCB'S EN LA PROTECCIÓN DE INSTALACIONES RESIDENCIALES	9
3.2.1 Consideraciones para la instalación.....	9
3.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS MCB'S	10
3.3.1 Principio y funcionamiento térmico y magnético	10
3.3.2 Clasificación de curvas de disparo: B, C, D.....	10
3.3.3 Concepto de Icu (capacidad máxima de corte).....	12
3.3.4 Vida útil de los MCB's y factores de envejecimiento.....	12

3.3.5	Corriente nominal I_n	13
3.3.6	Disparo Instantáneo.	13
3.4.	NORMATIVAS TÉCNICAS	13
3.4.1	IEC 60898-1 (Interruptores automáticos para instalaciones domésticas y similares) 13	
3.4.2	Poder de Corte	14
3.4.3	Limitación de la corriente de cortocircuito.....	14
3.4.4	IEC 60947-2 (para interruptores industriales).....	14
3.4.5	Categoría de interruptores	15
3.5.	CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	16
3.5.1	Intensidad nominal (I_n).	16
3.5.2	Capacidad de la regulación en la sobrecarga ajustable (I_r).	16
3.5.3	Intensidad de control de disparo breve con retardos (I_{sd}).....	17
3.6.	COORDINACIÓN ENTRE INTERRUPTORES.	17
3.6.1	La filiación, “cascading” o conservación de acompañamiento.	17
3.6.2	Selectividad.	17
3.7.	ANÁLISIS DE CURVAS TIEMPO-CORRIENTE.....	18
3.7.1	Como interpretar una curva de disparo.....	18
3.7.2	Concepto de zona térmica y zona magnética.....	20
4.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	22
4.1.	CARACTERÍSTICA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.....	24
4.1.1	DISEÑO DE LA INTERFAZ DE LABVIEW	24
4.2.	DIAGRAMA DE FLUJO EN LA ADQUISICIÓN DE DATOS	25
4.3.	DIMENSIONAMIENTO DE LAS CARGAS	26
4.4.	CAJA DE BREAKERS	26
4.5.	Módulo de prácticas prueba de los MCB	28
5.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	33

5.1. Pruebas Sobrecargas	34
5.2. Extrapolación.....	42
5.3. Pruebas Cortocircuito	46
5.3.1 CORTOCIRCUITO (coordinación de protecciones)	48
6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	50
7. PRESUPUESTO REFERENCIAL	51
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	52
8.1 Conclusiones.....	52
8.2 Recomendaciones	52
9. REFERENCIAS	54
10. ANEXOS	56

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Se detallan las actividades que permitirán alcanzar los objetivos de esta tecnología de implementación.	6
Tabla 2. Tipos de curvas y tipos de corte.....	13
Tabla 3. Principales características IEC 60947-2"	15
Tabla 4. Características del breaker schneider.	27
Tabla 5. características del breaker maviju.	27
Tabla 6 Características del Breaker ABB	28
Tabla 7. Datos reales de cargas	30
Tabla 8. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 10A	30
Tabla 9. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 16A	31
Tabla 10. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 20A	31
Tabla 11. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 10A	31
Tabla 12. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 1A	32
Tabla 13. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 20A	32
Tabla 14. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 10A	32
Tabla 15. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 16A	33
Tabla 16. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 20A	33
Tabla 17. Corriente tiempo MCB-Schneider 20A	39
Tabla 18. Comparación de pruebas con las tres marcas en MCB 10A	40
Tabla 19. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 16A en las tres marcas.....	41
Tabla 20. Comparación tiempo promedio MCB-10A por marca.....	42
Tabla 21. Datos obtenidos de corriente del modulo de pruebas.....	43
Tabla 22. Prueba de Cortocircuito ABB 10A-16A	47
Tabla 23. Prueba de Cortocircuito ABB 10-20	47
Tabla 24. Prueba de Cortocircuito ABB 16-20	47
Tabla 25. Prueba de Cortocircuito SCHNEIDER 10-16.....	48
Tabla 26. Prueba de Cortocircuito SCHNEIDER 10-20.....	48
Tabla 27. Prueba de Cortocircuito SCHNEIDER 16-20.....	48
Tabla 28. Prueba de Cortocircuito MAVIJU 10-16	48
Tabla 29. Prueba de Cortocircuito MAVIJU 10-20	48
Tabla 30. Prueba de Cortocircuito MAVIJU 16-20	48
Tabla 31. Cortocircuito coordinacion de protecciones MAVIJU- ABB	49
Tabla 32. Resultados Cortocircuito cordinacion MAVIJU-ABB.....	49
Tabla 33. Resultados cordinacion SCHNEIDER 16A - ABB 10A.....	49
Tabla 34. Resultados cordinacion SCHNEIDER 20A- ABB10A.....	49

Tabla 35. Resultados cordinacion MAVIJU 16A - SCHNEIDER 16A.....	49
Tabla 36. Resultados cordinacion MAVIJU 20A- SCHNEIDER 16A.....	49
Tabla 37. Presupuesto del Módulo de Protecciones.....	51

TABLA DE FIGURAS

Fig. 1 Tipos de curvas 1 sobrecarga; 2 cortocircuito [8].....	11
Fig. 2 Curva de disparo C.....	16
Fig. 3 Selectividad de curvas. [15].....	18
Fig. 4 Curva de disparo y corte.	19
Fig. 5 Rangos de corte en las curvas [15].....	20
Fig. 6 Tipo de curva magnética [15].	21
Fig. 7 Interfaz comunicación y medición de las cargas.	24
Fig. 8 Diagrama de Flujo.....	25
Fig. 9 carga instalada.....	26
Fig. 10 resistencia 1000 W.....	26
Fig. 11 diagrama conexión.	26
Fig. 12 Caja de breakers maviju.....	27
Fig. 13 Caja de breakers ABB.....	28
Fig. 14 Módulo de pruebas MCB.....	29
Fig. 15 Curva de la carga en el tiempo de operación	35
Fig. 16 Tiempos de MCB-ABB con corrientes nominales diferentes.....	36
Fig. 17 Tiempos de MCB-Schneider con corrientes nominales diferentes	36
Fig. 18 Tiempos de MCB-Schneider con corrientes nominales diferentes	37
Fig. 19 Curvas funcionamiento del MCB-10A en las 3 marcas revisadas.....	38
Fig. 20 Curva tiempo-corriente Mcb 16A.....	39
Fig. 21 Datos obtenidos de la comparacion de los MCB-10A en las tres marcas.....	41
fig. 22 Comportamiento de la curva con extrapolacion.	43

1. INFORMACIÓN GENERAL

Título: "Implementación de un módulo de medición y análisis para determinar tiempos de operación de interruptores MCB (Miniature Circuit Breaker) en condiciones de sobrecarga"

Tipo de proyecto: Propuesta Tecnológica.

Carrera: Carrera en Electricidad.

Trabajo de titulación vinculado al proyecto: Estrategias de planeación de sistemas eléctricos en el contexto de la transición energética.

Equipo de trabajo:

Tutor: Ing. Mg. Xavier Alfonso Proaño Maldonado.

Estudiantes: Quispe Toaquiza Edwin Orlando
 Soria Paz Joffre David

Área de conocimiento:

07 ingeniería, Industria y Construcción / 071 Ingeniería y Profesiones Afines / 0713 Electricidad y Energía.

Línea de investigación:

Tecnología de la información y las comunicaciones, robótica, automatización y optimización de sistemas.

Sub líneas de investigación de la carrera:

Automatización, control y protección de sistemas eléctricos en el sector productivo y los servicios.

2. INTRODUCCIÓN

La ingeniería eléctrica, en su estrecha relación con los sistemas de protección frente a fallos, constituye un pilar esencial para garantizar la seguridad de las personas, la continuidad del suministro y la integridad de las infraestructuras[1]. En este contexto, los interruptores termomagnéticos —conocidos internacionalmente como Miniature Circuit Breakers (MCB)— representan uno de los dispositivos más utilizados en instalaciones de baja tensión, tanto en entornos domésticos como industriales[2].

La función primordial de los MCB es interrumpir de manera automática el flujo de corriente en condiciones anómalas, como sobrecargas, evitando daños en conductores, equipos eléctricos y en la red en general. Sin embargo, a pesar de su uso extendido, el desempeño real de estos dispositivos puede diferir de los valores técnicos declarados por los fabricantes[2]. Factores como el entorno de operación, el estado físico del interruptor, la calidad de fabricación, las características de las cargas y las condiciones de instalación influyen significativamente en sus tiempos de respuesta y en la eficacia de la protección.

Ante esta realidad, resulta imprescindible llevar a cabo estudios experimentales que evalúen el comportamiento real de los MCB bajo condiciones controladas. El presente trabajo se centra en analizar los tiempos de respuesta de distintas marcas de interruptores termomagnéticos frente a fallos por sobrecarga. Para ello, se seleccionaron tres dispositivos de diferentes marcas y corrientes nominales (10 A, 16 A y 20 A), con el propósito de establecer una comparación objetiva de su desempeño real[3].

Las pruebas se desarrollarán en un entorno controlado, utilizando el módulo construido y por ende mediante un sistema de adquisición de resultados que nos servirán para un futuro realizar sus deducciones y comparaciones, donde también se emplearán cargas resistivas que simulan condiciones de sobrecarga. Este enfoque experimental adquiere gran relevancia, ya que una selección inadecuada o una instalación incorrecta de los MCB puede comprometer seriamente la seguridad de un sistema eléctrico domiciliario[3].

Desde una perspectiva técnica, económica y social, asegurar el correcto funcionamiento de los dispositivos de protección en baja tensión es indispensable para preservar la confiabilidad de los sistemas eléctricos. En un escenario global marcado por la creciente preocupación por la eficiencia energética, la digitalización de las redes y la aplicación de normativas de seguridad cada vez más estrictas, verificar la operación real de los MCB se convierte en una tarea prioritaria. Conocer sus tiempos de reacción frente a diferentes fallas permite definir criterios

de diseño más precisos, implementar estrategias de mantenimiento adecuadas y reforzar la seguridad eléctrica de los usuarios.

El proceso de investigación contempla varias etapas[4]. En primer lugar, se realiza una revisión exhaustiva de la literatura especializada sobre el funcionamiento, construcción, características técnicas y curvas de activación de los interruptores termomagnéticos. Posteriormente, se diseña y construye un banco de pruebas que incorpora las tres marcas seleccionadas, permitiendo recrear de manera controlada escenarios de sobrecarga bajo condiciones seguras.

La recolección de datos se efectúa mediante un sistema de medición con sensores de corriente conectados en paralelo a través de un divisor de voltaje, garantizando la integridad del sistema durante los ensayos[4]. Los registros se almacenan en formatos estándar, como hojas de cálculo y archivos de texto, lo que facilita su análisis posterior. Finalmente, se comparan los tiempos de actuación obtenidos.

Las conclusiones y recomendaciones derivadas de este estudio buscan establecer las diferencias y la correcta de selección de los MCB, además de aportar consideraciones técnicas relevantes para futuras investigaciones y proyectos en el ámbito de la ingeniería eléctrica.

2.1. EL PROBLEMA

2.1.1 Situación Problemática

En instalaciones eléctricas residenciales, comerciales e industriales pequeñas, los interruptores termomagnéticos (MCB) se usan como primera barrera de protección ante sobrecargas. En la práctica, muchas decisiones de compra o reemplazo se toman por precio, disponibilidad o recomendación, asumiendo que, si dos MCB tienen la misma corriente nominal, su respuesta será equivalente. Mientras que algunos dispositivos muestran disparos precipitados que interrumpen la continuidad del suministro eléctrico, mientras que otros operan con retardo ante escenarios de sobrecarga.

Ante este escenario, surge la oportunidad de desarrollar un módulo de pruebas que se cumpla con la función de utilizarlo en la obtención de dichos resultados de operación. Este sistema debe garantizar la estabilidad del montaje y la seguridad del operador, permitiendo recolectar evidencia técnica como datos de tiempos de operación basados en tiempo real y no presunciones.

Estos dispositivos no solo optimizan una toma de decisiones sobre compra y mantenimiento, sino también cumple el rol de profesionalizar la formación de criterios técnicos que transforman la observación en datos medibles y ya comparables.

2.1.2 Formulación del Problema

¿En las pruebas de sobrecarga actuarán en el mismo tiempo los MCB, siendo de diferentes fabricantes con mismas corrientes y características nominales?

2.2. OBJETO Y CAMPO DE ACCIÓN

2.2.1 Objeto de estudio

Determinar tiempos reales de operación de interruptores MCB en condiciones de sobrecarga.

2.2.2 Campo de acción

3306 ingeniería y Tecnología Eléctricas

3306.04 protecciones Eléctricas

2.3. BENEFICIARIOS

2.3.1 Beneficiarios directos

Miembros de la comunidad universitaria, tanto estudiantes como docentes, que aran el uso adecuado de este módulo para las practicas correspondientes que dictasen dentro del aula de clase.

2.3.2 Beneficiarios indirectos

Los beneficiarios indirectos son estudiantes, profesionales de carreras afines, y actores públicos y privados del sector energético.

2.4. JUSTIFICACIÓN

La confiabilidad de los dispositivos de protección es un pilar de la seguridad eléctrica moderna. Los interruptores termomagnéticos (MCB) cumplen la función de interrumpir el suministro cuando aparecen condiciones anormales como sobrecargas, evitando daños en conductores, equipos y reduciendo riesgos para las personas. De acuerdo con los principios generales de protección eléctrica descritos en normas técnicas del IEEE, todo dispositivo de interrupción debe ser evaluado bajo condiciones controladas que permitan verificar su capacidad de despejar fallas de manera segura y repetible.

Estos interruptores cuentan con un disipador térmico que se activa en presencia de sobrecargas y con un magnético para las corrientes altas, el disipador térmico convencional consiste en una lámina bimetálica que se deforma debido al efecto del calor generado por el paso de la corriente [5].

Es muy importante realizar una prueba exhaustiva, la cual debe abarcar todos los aspectos del esquema de protecciones, así como replicar las condiciones ambientales y operativas lo más cercanas posibles[6]. Las pruebas de los equipos de protección satisfacen muchos requisitos, sin embargo, pueden ser necesario comprobar un esquema a completo de protecciones para evitar condiciones de fallas[6].

Bajo los tiempos de operación cabe mencionar que estos interruptores termomagnéticos son de suma importancia ya que se conectan en cascada y el elemento aguas abajo debe operar antes del elemento aguas arriba, convirtiéndose en una dinámica importante para determinar los tiempos reales de funcionamiento de los breakers determinando que al ser comprobados en esta situación puedan tener su coordinación entre protecciones así verificar si la funcionalidad entre marcas.

2.5. OBJETIVOS

2.5.1 Objetivo general

Implementar un banco de pruebas mediante el diseño de un módulo, que permita adquirir los tiempos de operación en los interruptores MCB ante diferentes corrientes de sobrecarga.

2.5.2 Objetivos específicos

- Realizar una revisión bibliográfica del funcionamiento de los interruptores Miniature circuit breaker y métodos de medición del tiempo de operación.
- Implementar un módulo que permita la adquisición de datos y registre los tiempos de respuesta ante una sobrecarga en los Miniature circuit breaker.
- Comparar los diferentes tiempos de operación de interruptores Miniature circuit breaker de distintas marcas ante diferentes condiciones de sobrecarga resistiva.

2.6. SISTEMA DE TAREAS

Tabla 1. Se detallan las actividades que permitirán alcanzar los objetivos de esta tecnología de implementación.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
<p>Realizar una revisión bibliográfica sobre el funcionamiento de los interruptores termomagnéticos (MCB) y los métodos de medición del tiempo de operación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Búsqueda y revisión de literatura técnica relacionada con interruptores termomagnéticos. • Análisis de normas técnicas aplicables al dimensionamiento y protección de circuitos eléctricos. • Estudio comparativo de los diferentes tipos de interruptores MCB disponibles en el mercado según su curva de disparo y capacidad de interrupción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fundamentación teórica sobre el funcionamiento y clasificación de los MCB. • Base conceptual para el diseño del módulo experimental. • Revisión de las tablas de los fabricantes que posean las características nominales iguales 	<ul style="list-style-type: none"> • Tesis y trabajos académicos. • Normas IEC y NEC. • Documentación técnica de fabricantes.
<p>Implementar un módulo experimental que permita la adquisición de datos y el registro de los tiempos de respuesta del MCB ante condiciones de sobrecarga.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño del módulo de pruebas para generar condiciones controladas de sobrecarga. • Selección e integración de sensores de corriente y dispositivos de adquisición de datos. • Desarrollo de la interfaz de monitoreo y registro de datos en LabVIEW. • Verificación del correcto funcionamiento del sistema mediante pruebas preliminares. 	<ul style="list-style-type: none"> • Módulo experimental implementado y operativo. • Sistema funcional para la adquisición y almacenamiento de datos eléctricos. • Registro confiable de los tiempos de respuesta de los MCB bajo diferentes condiciones de operación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Software LabVIEW, Plataforma Arduino. • Sensor de corriente ACS712. • Alambre de Nicron para módulos de carga. • Comunicación USB.

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, medios e instrumentos
Comparar los tiempos de operación de interruptores MCB de distintas marcas ante diferentes condiciones de sobrecarga.	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción del caso de estudio considerando MCB de igual capacidad nominal y distintas marcas comerciales. • Ejecución de pruebas experimentales bajo condiciones de corrientes similares. • Registro y organización de los datos obtenidos en tablas de medición. • Análisis comparativo de los tiempos de disparo y comportamiento de cada MCB. 	<ul style="list-style-type: none"> • Comparación objetiva del comportamiento de los MCB evaluados. • Identificación de diferencias en los tiempos de operación entre marcas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Tablas de resultados experimentales. • Herramientas de análisis de LabVIEW. • Métodos de análisis comparativo.

3. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

3.1. ANTECEDENTES

Desde los primeros sistemas de distribución eléctrica, la protección contra sobre corrientes ha sido una preocupación central. Al inicio, se utilizaban fusibles como principal medio de protección, pero con el avance de la tecnología surgieron los interruptores automáticos, que permitían no solo interrumpir la corriente ante una falla, sino también restablecer el servicio sin necesidad de reemplazar el dispositivo. Con el tiempo, esta evolución dio origen a los interruptores termomagnéticos (MCB), ampliamente usados hoy en instalaciones residenciales, comerciales y pequeñas industrias.

Las normas del IEEE han acompañado este proceso de desarrollo tecnológico. Documentos como el IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems establecen que todo sistema de protección debe ser selectivo, confiable y coordinado, de manera que el dispositivo más cercano a la falla actúe primero y en

el menor tiempo posible [9]. Este principio no solo aplica a grandes sistemas industriales, sino también a instalaciones de baja tensión donde los MCB cumplen el rol principal de protección.

Conforme los MCB se popularizaron, comenzaron a surgir múltiples fabricantes que ofrecían dispositivos con la misma corriente nominal y curvas de disparo similares. Sin embargo, estudios técnicos y experiencias de campo mostraron que dos interruptores con las mismas especificaciones en la etiqueta podían comportarse de forma distinta frente a una sobrecarga. El IEEE, en sus guías sobre equipos de conmutación y protección, señala que las características dinámicas de los dispositivos —como el tiempo real de interrupción y su repetibilidad— son tan importantes como los valores nominales impresos por el fabricante [10].

En un entorno donde la electricidad es realmente fundamental para el sustento de una sociedad, estas protecciones eléctricas juegan un papel único para la protección de hogares, industrias y por ende al mismo sistema eléctrico. Esto significa que un circuito con varios dispositivos conectados debe existir una protección que garantice la conexión y desconexión automática en la zona afectada[7].

La rapidez como propiedad de protección es fundamental, ya que, una respuesta instantánea y efectiva ante un fallo de sobrecarga, evita daños e intermitencias en el sistema eléctrico y causen la reducción de vida útil a los equipos expuestos[7].

En los últimos años, el enfoque hacia la seguridad eléctrica ha aumentado debido a accidentes relacionados con fallas de protección. Informes técnicos citados por el IEEE resaltan que una actuación tardía de un dispositivo de protección puede generar sobrecalentamiento de conductores, daño a equipos sensibles e incluso incendios [9]. Esto refuerza la necesidad de no confiar únicamente en datos nominales, sino de verificar experimentalmente el comportamiento real de los dispositivos.

Ante este contexto, surge la idea de crear un módulo de prueba específico para interruptores MCB de baja tensión, que permitan aplicar condiciones reales de sobrecarga, medir el tiempo de disparo y comparar distintas marcas bajo las mismas condiciones. Esta iniciativa se alinea con los principios promovidos por el IEEE sobre verificación experimental, coordinación de protecciones y mejora continua en la seguridad de los sistemas eléctricos [9]–[11].

3.2. ROL DE LOS MCB'S EN LA PROTECCIÓN DE INSTALACIONES RESIDENCIALES

La normativa NEC establece estándares para la instalación y mantenimiento de sistemas eléctricos, asegurando seguridad, eficiencia y confiabilidad. Las protecciones eléctricas incluidas en la NEC son esenciales para proteger tanto a los seres capaces de manipular ciertos materiales como a los grupos de herramientas y equipos de riesgos eléctricos [8]. Los interruptores automáticos y fusibles deben cumplir con las especificaciones de capacidad y tipo de circuito.

Las protecciones en estos entornos son más estrictas debido a las mayores cargas y la complejidad de los sistemas. Se utilizan interruptores automáticos de alta capacidad y sistemas de protección redundantes [8]. La NEC tiene requisitos adicionales para áreas con riesgos específicos, como instalaciones médicas, entornos húmedos o mojados, y áreas peligrosas por la presencia de materiales inflamables o explosivos.

Este dispositivo está ubicado en la entrega a cada uno de los circuitos que comienza a partir del panel de distribución que tiene una función al interrumpir de inmediato la corriente en caso de cortocircuito o sobrecarga. De este modo, se previene el sobrecalentamiento y el riesgo de incendio. Una vez solucionada la falla, el sistema puede restablecerse manualmente mediante un interruptor [8].

3.2.1 Consideraciones para la instalación

- Deben elegirse según las características del circuito y la carga, considerando la capacidad de corriente y la tensión.
- Deben cumplir con las especificaciones de la NEC para garantizar acceso adecuado para inspección y mantenimiento.
- Todos los dispositivos deben estar claramente etiquetados con su capacidad nominal y tipo de protección. La documentación es crucial para el mantenimiento y resolución de problemas.
- Es obligatorio realizar pruebas periódicas y mantenimiento regular para asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas de protección [8].

3.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS MCB'S

3.3.1 Principio y funcionamiento térmico y magnético

En el pasado, se empleaban fusibles para resguardar los dispositivos y redes eléctricas. Con los progresos en la tecnología, surgieron los MCB, que sustituyeron a los fusibles, al menos en usos domésticos. Y, por qué no, estos interruptores mecánicos de accionamiento, que también actúan como mecanismos de protección de circuitos, son ideales para interrumpir el abastecimiento eléctrico en circuitos durante sobrecargas y cortocircuitos, salvaguardando la seguridad del usuario. Además, en contraposición a los fusibles, pueden ser reutilizados incluso tras un corte del circuito [9].

Un interruptor es un aparato creado para abrir o cerrar un circuito eléctrico donde una corriente está fluyendo. Es útil para desconectar o conectar y, si cuenta con los accesorios requeridos, se logra desempeñar una operación de prevención en caso de sobrecargas.

Térmico: Este tipo de ignición del MCB se fundamenta en el incremento de la temperatura provocado por la corriente que circula por el circuito. Los MCB térmicos poseen una lámina bimetalica que se dobla y activa el interruptor al exceder un límite establecido de temperatura[9].

Magnético: Este tipo de cortocircuito de MCB se fundamenta en la fuerza magnética producida por la corriente que circula por el circuito. Los MCB magnéticos poseen un solenoide que inicia el proceso de disparo y activa el interruptor cuando la fuerza magnética excede un límite establecido.

3.3.2 Clasificación de curvas de disparo: B, C, D

Dentro del marco de los interruptores automáticos miniatura (MCB), los conceptos de Tipo B, Tipo C y Tipo D, hacen referencia a distintos grados de protección que ofrece el instrumento eléctrico[9].

Categoría B: Los interruptores automáticos de tipo B se han diseñado para resguardarse de sobrecargas de corriente y cortocircuitos. Son apropiados para circuitos de carga fluctuante, como los de motores.

Curva B (con similitud a la anterior curva L: con un disparo puesto en 2,6 y 3,85 In).

- Protección para los generadores, de seres humanos y de largas distancias de conductor (bajo la constancia de TN e IT).
- Carga elevada: térmica normal [10].

- Avería: campos magnéticos establecidos por una curva tipo B
- (In desde 3 y 5. también In 3,2 a 4,8. La In para los equipos, dice la UNE-EN 60898 y también la norma UNE-EN 60947-2 cada una de estas normas establecidas) [11].

Curva C (significativamente a la anterior en aspecto de curva U: su acción comprende entre 3,85 a 8,8 In).

- Cuidado del conductor que es alimentado a través de receptores únicos.
- Carga elevada: térmico normal.
- Avería: campos magnéticos establecidos por la curva C (In estaría en 5 hasta 10 In. también existe valores desde 7 y 10 según los equipos eléctricos. Como lo dice la norma UNE-EN 60898 y por consiguiente la norma UNE-EN 60947-2) [10].

Curva D

- Mantenimiento de conductores eléctricos alimentados por receptor con solidas puntas de arrancador.
- Carga elevada: térmico normal.
- Derivación: topes magnéticos establecidos por la curva D (In entre los 10 hasta 14 In que menciona la UNE-EN 60898 y por ende la UNE-EN 60947-2) [10].

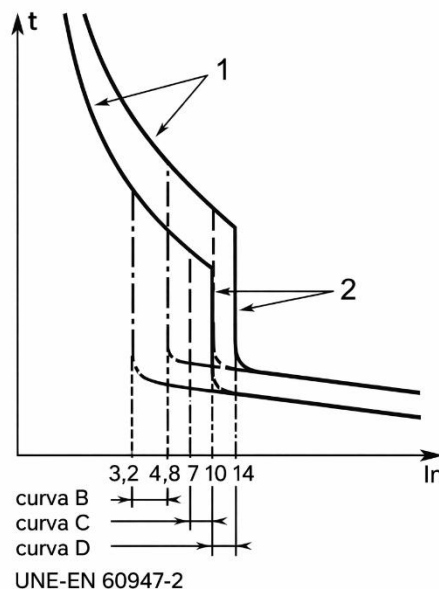


Fig. 1 Tipos de curvas 1 sobrecarga; 2 cortocircuito [8].

3.3.3 Concepto de Icu (capacidad máxima de corte)

Para la correcta elección de un interruptor se deben tener en cuenta las corrientes de corte. La Icu suministrada por la norma IEC60947-2. De acuerdo con las normas y reglas de instalación, la corriente de corte Icu (Intensidad de cortocircuito última efectuada bajo el ensayo: Apertura - Cierre - Apertura) en el lugar de la instalación relevante debe ser equivalente o mayor a la corriente de cortocircuito Icc. La Ics (Intensidad de cortocircuito en servicio) se establece el valor aproximado en la Icu (25, 50, 75 o 100%) y se distingue de la Icu en que bajo dicha corriente se asegura que el equipo pueda ejecutar las siguientes acciones en caso de cortocircuito: y que este proceso ha sido verificado durante los ensayos de producción [12].

Como también [8]. El concepto de capacidad de corte máxima (Icu) se refiere a la corriente máxima de corte que un interruptor automático puede interrumpir sin causar perjuicios. Es conocido como el límite máximo de la corriente de cortocircuito que se puede gestionar de manera segura. Se representa en Ics y en kiloamperios.

3.3.4 Vida útil de los MCB's y factores de envejecimiento

La vida útil de un MCB depende de varios factores, como la frecuencia y la gravedad de las interrupciones, las condiciones ambientales y la calidad del dispositivo. Generalmente, los MCB tienen una vida útil de varias décadas con un mantenimiento y uso adecuados [9].

Se tiene en cuenta que el MCB, al ser susceptible a la sobre corriente, interrumpe automáticamente el abastecimiento de electricidad durante sobrecargas y averías. En contraste con los MCB, un fusible no es tan susceptible a las averías [12].

Cuando el MCB cuenta con protección contra cortocircuitos, se creará un arco en su interior y este arco incendiará el aire para generar una temperatura superior. Algunos arcos no pueden ser completamente extinguidos con la rejilla de extinción de arcos, por lo que el arco sobrante puede provocar impactos en la cubierta del interruptor automático, como quemaduras a elevada temperatura que se oscurezcan y deformen la cubierta exterior, entre otros [13].

Carga Eléctrica Excesiva

El principal motivo por el cual el interruptor automático de circuito (MCB) de su vivienda suele fallar es una sobrecarga eléctrica. Esta intensa carga eléctrica puede ser resultado del uso desmedido de instrumentos eléctricos [14].

El tamaño del cable de alimentación que estás utilizando es demasiado pequeño

Además de un exceso de carga eléctrica, un cable de alimentación demasiado reducido e insuficiente para la capacidad de carga también puede causar que el interruptor automático de circuito (MCB) de su vivienda se deteriore con regularidad. Un cable excesivamente reducido puede tener una resistencia elevada y causar un sobrecalentamiento de este [15].

3.3.5 Corriente nominal I_n

La normativa vigente menciona que la corriente principal como la cantidad de corriente que atraviesa por este interruptor capaz de resistir el régimen de funcionamiento consecutivo (cabe comprender a que se refiere, sin activarse) a una temperatura de referencia establecida de 30 °C. Como también, proporciona los siguientes valores optados de I_n : 6, 10, 16, 20 A entre otros que existen en el mercado [3].

3.3.6 Disparo Instantáneo.

En relación al tema anteriormente tratado se presentarán los ítems que hacen del comportamiento de la gráfica extraída denominamos que el tiempo es inverso y por supuesto también aparecen los valores de la corriente magnética.

Suponiendo que la curva (B, C, D) realizada por un interruptor de riel, normativa determina que los niveles altos permitidos y niveles bajos de la corriente magnética sean según Tabla 2 siguiente:

Tabla 2. Tipos de curvas y tipos de corte

Curva	I_n
B	de 3 I_n a 5 I_n
C	De 5 I_n a 10 I_n
D	De 10 I_n a 20 I_n

3.4. NORMATIVAS TÉCNICAS

3.4.1 IEC 60898-1 (Interruptores automáticos para instalaciones domésticas y similares)

Estos dispositivos de conmutación poseen un propósito térmico que puede activarse frente la existencia de sobrecargas inferiores y un sistema magnético para las corrientes elevadas, y

como también referirse a los cortocircuitos. Es la razón que se denomina interruptores termomagnéticos automáticos.

La grafica de un disyuntor térmico se la caracteriza de tiempo inverso, lo cual se la representa a la duración sobre la acción (o comúnmente sobre el periodo del circuito protegido se produce una abertura del dispositivo) esto define la disminución de la corriente que circula por el dispositivo [3].

3.4.2 Poder de Corte

La generación de un cortocircuito que ocasiona una elevada temperatura y por ende una sobrecarga dinámica dentro de los disyuntores.

3.4.3 Limitación de la corriente de cortocircuito

Con la aparición de nuevas industrias que se dedican a la fabricación de interruptores automáticos con curvas de tipo B y C se establece un límite de corriente de ruptura. De acuerdo a la norma ya existente en la industria, estos disyuntores se clasifican en clase 1, clase 2, clase 3. Siendo estas la clase 1 que no dispone de restricciones [3].

3.4.4 IEC 60947-2 (para interruptores industriales)

Dice que.[4] El progreso de las estrategias de seguridad y tecnológicas ha propiciado un aumento considerable en unas demandas sobre los disyuntores industriales. Sobre un acatamiento a la reforma de la IEC 947-2, posteriormente ya llamada IEC 60947-2 por los años 1997, se proporciona para ser visto por una total garantía en la utilización de los disyuntores. Esta reglamentación recibe una aprobación en diferentes países.

La regulación interviene a las cualidades principales de los interruptores para su único uso industrial:

- La distribución: modo de operación, capacidad del seccionamiento.
- Sobre las especificaciones eléctricas de normativa.
- Lectura sobre el modo de empleo.
- Estructura de un solo diseño.
- Comparación entre diferentes protecciones industriales.

La Tabla 3 especifica todos estos modelos de disyuntores y sus características.

Tabla 3. Principales características IEC 60947-2"

Características De La Tension	Ue Ui Uimp	Tension Asignada De Empleo Tension Asignada De Asilamiento Tension Asignada De Resistencia A Los Choques
Características De La Intensidad	In Ith Ithe Icu	Intensidad Nominal Intensidad Térmica Convencional Al Aire Libre Intensidad Térmica Convencional En Envolverte Intensidad Nominal Interrumpida
Características De Cortocircuito	Icm Icu Ics Icw	Poder De Cierre Poder De Corte Ultimo Poder De Corte De Servicio Intensidad Asignada De Corta Duración Admisible
Características De La Unidad De Control	Ir 1,30 X Ir 1,05 X Ir Ii Isd	Intensidad De Regulación De Sobrecarga Ajustable Intensidad Convencional De No Disparo Intensidad Convencional De Disparo Intensidad De Regulación De Disparo Instantáneo Intensidad De Disparo De Corto Retardo

3.4.5 Categoría de interruptores

Con la propuesta de [4] esta norma IEC 60947-2 clasifica los interruptores en dos tipos:

- Tipo A, en el que no se anticipa un retraso en la activación. Comúnmente son interruptores de tipo encajado que permiten realizar una selectividad basada en la corriente.
- Tipo B, donde se puede implementar una selección basada en el tiempo, y se puede retrasar la activación (hasta en 1 segundo), para cortocircuitos que sean menores que la corriente Icw.

Categoría de interruptores.

Con la teoría establecida de [4]. Se dice que en la normativa vigente de la IEC 60947-2 se menciona de dos tipos de interruptores:

Categoría A, para esta categoría no se puede predecir algún tipo de retraso en sus disparos. Comúnmente estos son los disyuntores de aplicación a caja moldeada, que disponen de la capacidad de transmitir una selectividad basada en la corriente circulante.

Categoría B, este tipo puede llevar a cabo una selección temporal, siendo la más recomendable al atrasar su disparo en un tiempo de 1 segundo en cualquier cortocircuito que se denomine en un nivel inferior que determine la corriente Icw.

Al mismo tiempo se dice que al ser una situación de interruptores eléctricos de caja moldeada de un tamaño más allá de lo normal [3]. Para los disyuntores seleccionados en los CGBT, es recomendable poseer una I_{cw} semejante a la I_{cu} para poder garantizar de una manera inigualable la selectividad en la capacidad máxima de interrupción de la I_{cu} .

3.5. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS

Una de las cualidades de configuración se determina mediante las curvas de activación del disyuntor. Estas curvas poseen infinitas áreas de marcación por las siguientes intensidades que podemos encontrar en la norma IEC 60947-2 Fig 2.

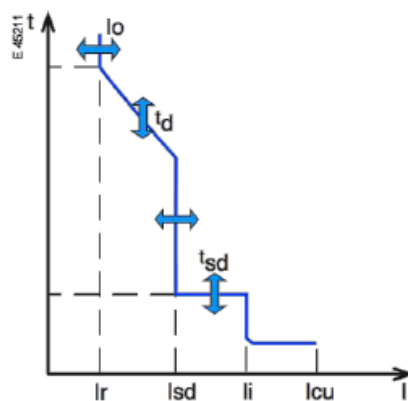


Fig. 2 Curva de disparo C.

Sobreentendiendo que las características que conforman esta curva representan magnitudes y definiciones que se describen en el siguiente listado.

3.5.1 Intensidad nominal (I_n).

La I_n (en A eff.) = máxima corriente ininterrumpida se la puede mantener a temperatura ambiente sí que llegue a ocurrir un sobrecalentamiento inusual como por ejemplo 125 Amperios a 40°C .

3.5.2 Capacidad de la regulación en la sobrecarga ajustable (I_r).

I_r (en A eff.) dependen de I_n . I_n describe la protección frente a las sobrecargas. En situaciones de sobrecarga, una de las corrientes estándar de no disparo Inductivamente y de disparo I_d son:

$$I_{nd} = 1,05 I_r$$

$$I_d = 1,30 I_r$$

Id se denomina por el cruce de un tiempo determinado de activación. En cuanto a la intensidad esta supera el Id. El disparo por defecto térmico ya que se llevará a cabo el acuerdo a la curva de tiempo inverso. La denominación es por la protección largo retardo (PLR).

3.5.3 Intensidad de control de disparo breve con retardos (Isd).

Isd (en kA eff.) depende de Ir. Isd identifica la seguridad que existe en frente a los cortocircuitos. Este interruptor se abre según a la curva de disparo por corto tiempo en retardo:

- Sobre la temporización tsd,
- El momento de I_2t sera la constante,
- Rápidamente (analiza una a una las protecciones instantáneas).

Isd se lo denomina la Protección Corto Retardo o (PCR) [3].

3.6. COORDINACIÓN ENTRE INTERRUPTORES.

Se dice en este concepto que la coordinación se refiere a la actuación de dos o más dispositivos entrelazados en serie conjuntamente de una red eléctrica.

3.6.1 La filiación, “cascading” o conservación de acompañamiento.

Se define de poner un interruptor D1 antes del otro interruptor D2 para dejar que el ultimo pueda interrumpir las corrientes de cortocircuito a veces superan la capacidad máxima la interrupción I_{cuD2} . Siendo este el dato que se indica como $I_{cu D2+D1}$.

La norma IEC 60947-2 acepta la conexión entre los interruptores. En los casos más impórtate, donde las curvas de disparo llegan a curarse y es necesario establecer la conexión a graves de pruebas realizadas. la filiación entre dos interruptores. Para los puntos críticos, donde las curvas de disparo se sobreponen, la filiación debe ser verificada mediante ensayos.

3.6.2 Selectividad.

Se trata de garantizar una coordinación con las demás propiedades operativas que se pueden apreciar en la Fig. 3, una conexión serie de manera útil desplegara un defecto aguas abajo, únicamente cuando el interruptor se haya situado justamente encima del defecto para llegarse abrir.

La IEC 60947-2 garantiza un valor de intensidad, que se denomina límite de selectividad (I_s), como se denomina a continuación.:

- Con la intensidad en defecto sea menor a dicho valor I_s , solamente el interruptor D2 abrirá.
- En cambio, con la intensidad de defecto llegare a superar a este valor de I_s , los interruptores D1 y D2 sufrirán su apertura.

Al igual que para la filiación, debemos comprobar la selectividad a través de pruebas en los puntos críticos que este demuestra.

El fabricante que agrupe sus pruebas en tablas será el único que demuestre y garantice la selectividad de una buena filiación[3][16].

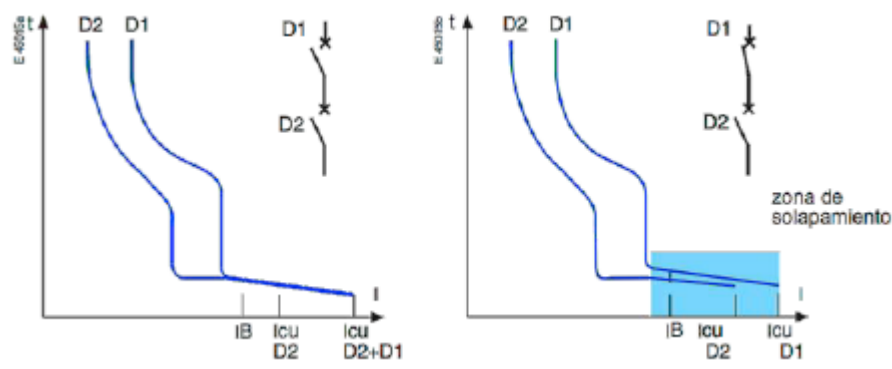


Fig. 3 Selectividad de curvas. [15]

3.7. ANÁLISIS DE CURVAS TIEMPO-CORRIENTE

3.7.1 Como interpretar una curva de disparo

Corriente nominal

El interruptor automático más apropiado para cada necesidad se define de acuerdo a un cuestionamiento de suma importancia, será el primero esta corriente nominal (I_n). para este valor que se encuentre por la parte delantera de cada interruptor automático.

Numerosas son las ocasiones, que se considera que este valor de corriente es del disparo. y que en realidad muchas de las veces no son las correctas con la norma IEC 60898 [3]. Define la corriente nominal encargada con la que el interruptor capaz de soportar las temperaturas de referencia que determina en 30 °C, establecidos sobre el régimen ininterrumpido y sin dispararse.

Para un MCB automático marcado como C16 dejara pasar una corriente de 16 A (amperios) sin operar, este corte se dará únicamente cuando la corriente supere ese valor. La misma norma

establece que algunos valores predefinidos de I_n serán los siguientes 6, 10, 16, 20, 32, 40, 50 y 63 amperios.

Curva de disparo o curva de corte

Debido a que los interruptores automáticos poseen dos mecanismos de disparo internamente colocados siendo magnéticos y térmicos, las curvas se dividirán según las dos partes:

La curva térmica que indica en qué momento se activara la sección del bimetálico.

Dicha curva de característica magnética, de la que se subdivide en 3 diferentes maneras y demuestra el momento en el que interviene al sistema sobre el mecanismo magnético.

No obstante, el eje vertical que se encuentra determinado por segundos ante las curvas que se muestran en dichas combinaciones de características en corriente/tiempo que se dirigen hacia el interruptor.

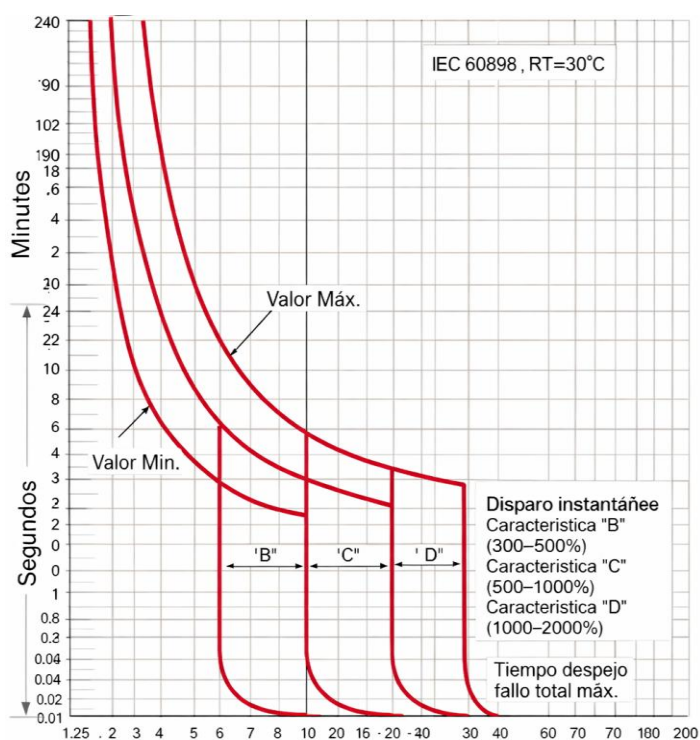


Fig. 4 Curva de disparo y corte.

Se pueden obtener estas curvas al comprobar el disyuntor con los diferentes niveles de corriente, así como también registrando el tiempo en el que llega a su punto crítico y por ende al de ruptura[10]. Entre las causas de las diferencias que se producen durante el proceso de realización, y al trazar todas las curvas juntas se identificarían varias bandas visibles dentro del

borde interior, con ciertos interruptores ubicados sobre el punto mínimo y como también sobre el punto máximo[11].

Zona de disparo

Estos disyuntores están designados a operar mediante dos sistemas que se denominan térmico y magnético. Por esta razón, dichas curvas de activación en una sobrecarga muestran dos áreas claramente definidas, desde la parte de funcionamiento térmico y la activación magnética.

3.7.2 Concepto de zona térmica y zona magnética

Curva térmica

Podemos demostrar que para la corriente igual a I_n (corriente nominal) este disyuntor nunca se activa porque el valor de corriente no es admisible en la curva en ningún punto sobre el tiempo[17].

Justo en el momento que la corriente se eleve al 1,13 veces en relación al valor nominal de la misma Fig. 5, ciertos interruptores se activarán durante un periodo entre 1 y 2 horas que también se puede diferenciar como (3600 y 7200 segundos) [8].

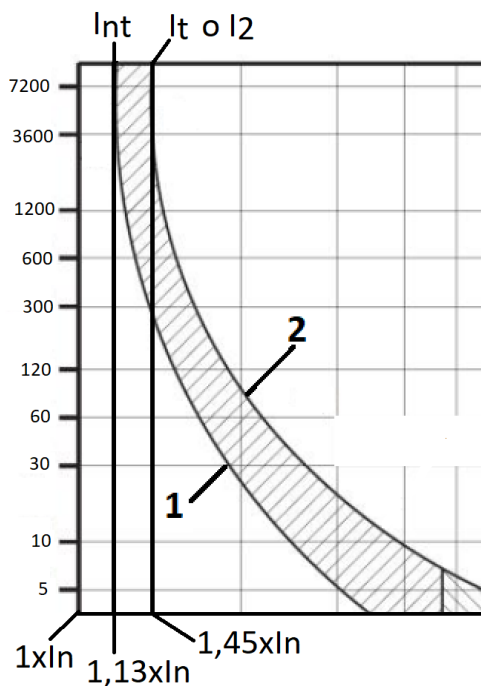


Fig. 5 Rangos de corte en las curvas [15].

Esta corriente se conoce como I_{nt} , o corriente estándar de no activación, se describe como la corriente máxima que no provocaría la activación del interruptor o como también el nivel de activación.

La corriente estándar de activación, también es conocida como corriente de activación segura, se define como la cantidad mínima de corriente que activara el interruptor con certeza en una hora (para que la I_n sea menor o igual a 63A) o en dos horas (I_n sea mayor que 63A)[18].

Con unas distintas modificaciones en el proceso de fabricación se garantiza que ningún interruptor se activara con un flujo inferior a la I_n y que todos se activaran con un flujo de al menos I_t .

Curva magnética

Retomando las áreas de la curva de disparo, en la Fig. 6 que se observa a continuación podemos visualizar a más detalle la sección baja, la cual refleja el momento que activa el disparo del sistema magnético[4]. Este disparo magnético que se genera en niveles de corrientes altas, ya que en función a este proceso se determinan las funciones en situaciones de corto circuito como lo referencia la Fig. 6.

No se determinan curvas de disparo. Aunque se pueden diferenciar 3 tipos de curvas, áreas, diferencias o denominaciones entre B, C, D

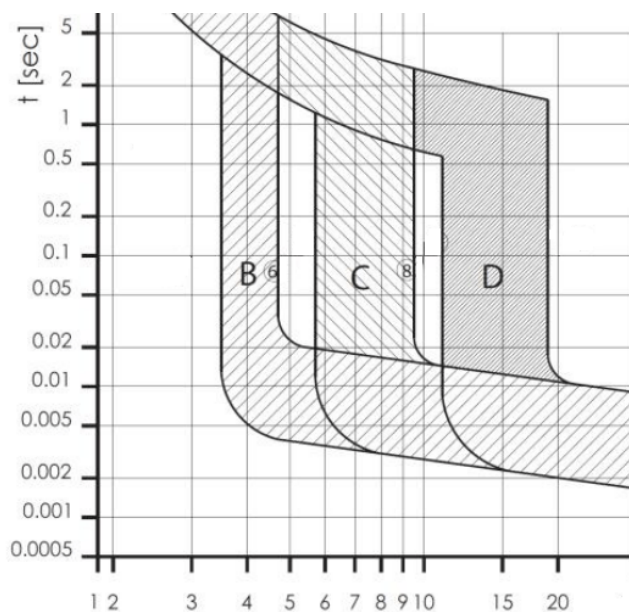


Fig. 6 Tipo de curva magnética [15].

Estas representaciones graficas están determinadas por la norma IEC 60898, en la que se indica que los tres niveles de sensibilidad, desde el más bajo rango hacia el rango más alto de capacidades y representaciones.

4. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

Para el desarrollo del presente proyecto se adoptó una metodología que integra distintos métodos de investigación, los cuales permitieron abordar de manera ordenada y técnica el diseño, implementación y evaluación del módulo de pruebas para interruptores termomagnéticos (MCB). La combinación de enfoques bibliográficos, experimentales y analíticos facilitó la obtención de resultados confiables, así como una adecuada interpretación de los parámetros eléctricos visualizados mediante un sistema de instrumentación virtual implementado en LabVIEW.

En una primera etapa se aplicó el método bibliográfico, el cual permitió recopilar información técnica relevante relacionada con la protección eléctrica, el funcionamiento de los interruptores termomagnéticos, los sistemas de adquisición de datos y el uso de plataformas de monitoreo virtual. La consulta de libros especializados, artículos científicos, normas técnicas y trabajos de investigación previos proporcionó una base teórica sólida para la selección de los componentes del sistema, así como para la definición de los criterios de prueba empleados en el módulo desarrollado. Este análisis previo resultó fundamental para comprender el comportamiento esperado de los MCB y establecer un marco de referencia frente a los resultados obtenidos experimentalmente.

Posteriormente, se empleó el método experimental como eje central del proyecto, ya que permitió realizar pruebas controladas sobre los interruptores termomagnéticos bajo diferentes condiciones de operación. Para ello, se diseñó un módulo de pruebas capaz de generar escenarios de sobrecarga de manera segura, con el fin de observar el comportamiento del MCB durante su operación y su desconexión. La integración de este módulo con el software LabVIEW permitió visualizar en tiempo real las variables eléctricas involucradas, garantizando una adquisición continua de datos durante cada ensayo realizado.

De forma complementaria, el método analítico fue utilizado para evaluar los resultados obtenidos a partir de las pruebas experimentales. Este método permitió descomponer la información registrada en variables específicas, facilitando el análisis del comportamiento del MCB frente a distintos niveles de corriente y tiempos de operación. A través de este enfoque se identificaron patrones de funcionamiento y se establecieron relaciones entre las condiciones de carga y la respuesta del interruptor, lo que contribuyó a una mejor comprensión del desempeño del sistema implementado.

La recolección de información se llevó a cabo mediante técnicas de monitoreo y adquisición de datos en tiempo real, utilizando LabVIEW como plataforma principal. Este entorno permitió establecer una comunicación directa con los sensores de corriente y con el sistema de control, lo que facilitó el seguimiento continuo de los valores de corriente y tiempo durante las pruebas. La visualización inmediata de estos parámetros permitió identificar con precisión los instantes de operación y disparo de los interruptores termomagnéticos.

El registro de datos se realizó mediante comunicación Universal Serial Bus (USB), tecnología que permitió la transferencia estable y confiable de la información generada durante los ensayos hacia el sistema de procesamiento. Los datos obtenidos fueron almacenados para su posterior análisis, lo que permitió evaluar el comportamiento de los MCB tanto en condiciones normales de operación como en situaciones de sobrecarga.

Para la medición de corriente se utilizaron sensores tipo ACS712, los cuales fueron seleccionados por su adecuada respuesta en aplicaciones de baja tensión. Estos sensores se integraron a una plataforma Arduino, que actuó como interfaz entre el sistema físico y el software LabVIEW dichos códigos utilizados se adjunta en los ANEXOS. Mediante comunicación serial se logró la transmisión bidireccional de los datos, permitiendo convertir la información proveniente del hardware en señales procesables dentro del entorno de instrumentación virtual.

La toma de datos se efectuó bajo condiciones de operación controladas, variando progresivamente la carga aplicada a los interruptores termomagnéticos. Este procedimiento permitió obtener información suficiente para la generación de curvas de funcionamiento en tiempo real, las cuales representan la relación entre la corriente y el tiempo de disparo del MCB. Estas curvas resultan esenciales para analizar el comportamiento del interruptor y verificar sus características de protección.

Finalmente, el análisis de los datos se realizó utilizando las herramientas de procesamiento y visualización. Estas herramientas permitieron organizar la información obtenida, extraer parámetros relevantes y generar representaciones gráficas que facilitan la interpretación del comportamiento de los MCB. La combinación de los métodos y técnicas aplicados permitió construir una base de datos confiable, útil para el análisis del límite de carga admisible y para mejorar la eficiencia y confiabilidad en la selección y operación de interruptores termomagnéticos en sistemas eléctricos de protección.

4.1. CARACTERÍSTICA DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

4.1.1 DISEÑO DE LA INTERFAZ DE LABVIEW

El método para observar los datos provenientes del Arduino, se incorpora un software que se pueda integrar con el hardware que permite al estudiante dar una idea más clara del proceso que se está llevando en la práctica. Esto determina que el lenguaje de programación en LabVIEW es el correcto. Siempre enfocándose en los procesos de la industria este software se fundamenta en la programación grafica con un aspecto excelente para la construcción de la interfaz.

Con referencia a la programación que se generó el LabVIEW se realizó a medida que se insertaban los módulos indicadores y de lectura para la interfaz gráfica. Cabe mencionar que mientras se insertan los indicadores también se van enlazando y configurando en un diagrama de bloques. Esta programación indica señales analógicas que entran desde el puerto de comunicación de Arduino proveniente de los sensores ASC 712 (30 A), los mismo que interpretan un control numérico para controlar el paso de corriente y ausencia de la misma. Como se muestra en la Fig.7. Donde está la interfaz del programa que comunica

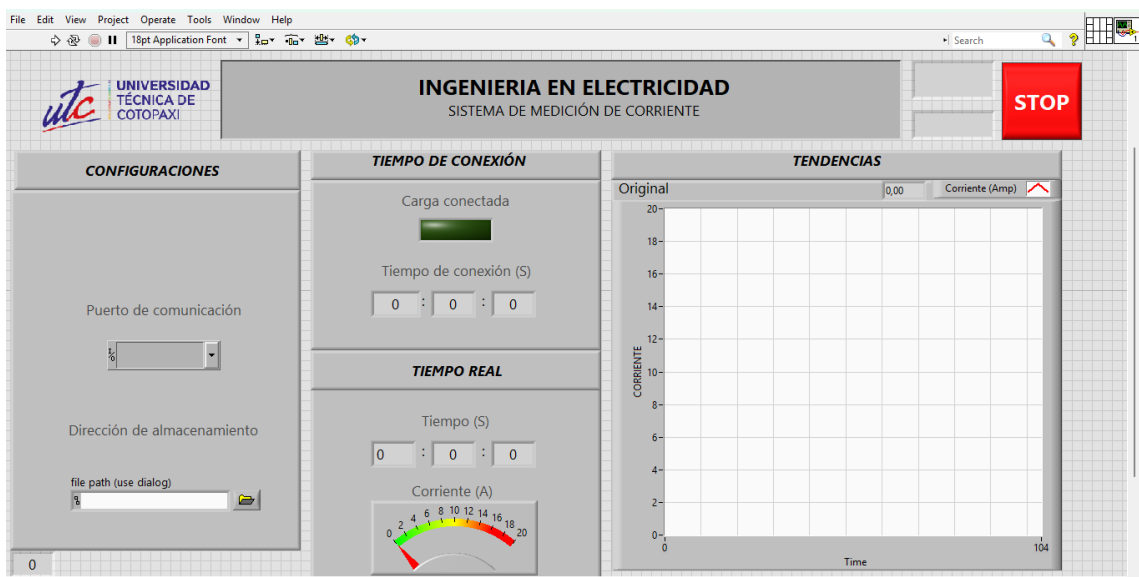


Fig. 7 Interfaz comunicación y medición de las cargas.

4.2. DIAGRAMA DE FLUJO EN LA ADQUISICIÓN DE DATOS

Se ha elaborado el siguiente diagrama de acuerdo con el proceso de recolección de datos.

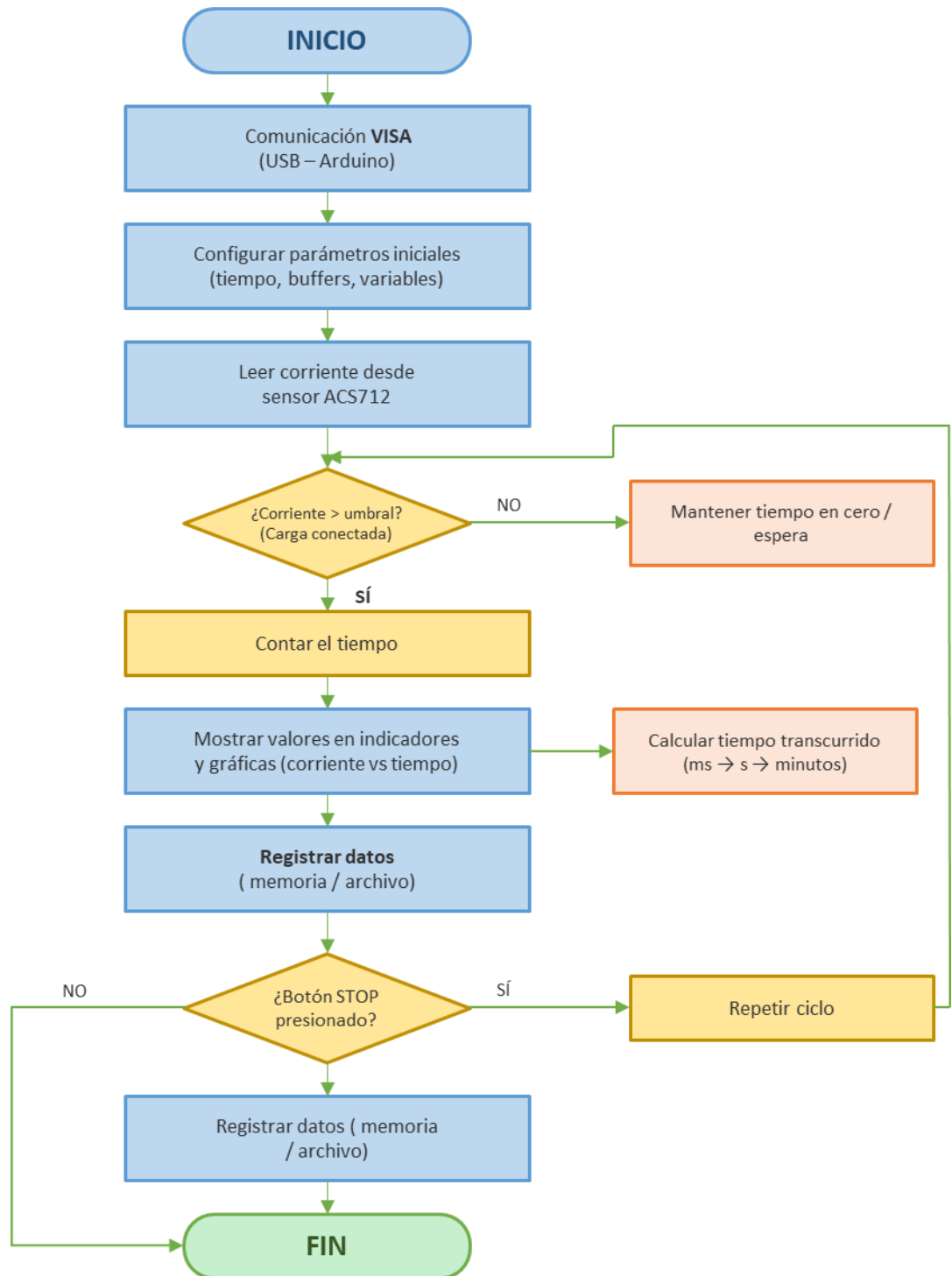


Fig. 8 Diagrama de Flujo

En conjunto, como se ve en la Fig. 8, el diagrama de flujo permite visualizar de forma clara la lógica de funcionamiento del módulo experimental, evidenciando la integración entre el hardware de medición, el sistema de control y la plataforma de instrumentación virtual, así como la secuencia de procesos necesarios para la evaluación del comportamiento de los interruptores termomagnéticos en condiciones reales de operación.

4.3. DIMENSIONAMIENTO DE LAS CARGAS

En este dimensionamiento de cargas se creó una caja que se comprende de un material disipador de calor, una resistencia de 1000 W. y una caja térmica de medidas 20 cm x 20 cm y 10 cm.

Este ensamblaje se ejecutó introduciendo la resistencia dentro del material disipador de calor y a su vez adecuándola en la caja térmica para luego que sus extremos se conecten unas borneras de alimentación una línea y un neutro, cabe mencionar que de este tipo de cargas se crearon 8 unidades. Además, se muestra su diagrama de conexión Fig. 9, Fig. 10 y Fig. 11.

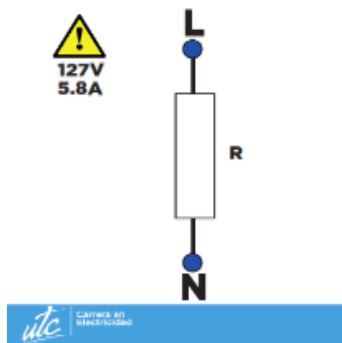


Fig. 9 carga instalada.



Fig. 10 resistencia 1000 W



Fig. 11 diagrama conexión.

4.4. CAJA DE BREAKERS

Estas distintas cajas de breakers que se distribuyen en 3 marcas (SCHNEIDER, MAVIJU, ABB), con corrientes nominales de 10 A, 16 A, 20 A, están situadas en cajas moldeadas de 25cm x 25cm x 15cm. Las características de estos breakers se muestran por marcas a continuación.

Tabla 4. Características del breaker schneider.



Tipo	Curva	In (A)	Tensión de aislamiento (Ui)	Tensión de operación (Ue)	Poder de corte (kA)
1p	C	10	500 V AC 50/60 Hz	240/480 V AC 50/60 Hz	6 kA 100 %
1p	C	16	500 V AC 50/60 Hz	240/480 V AC 50/60 Hz	6 kA 100 %
1p	C	20	500 V AC 50/60 Hz	240/480 V AC 50/60 Hz	6 kA 100 %

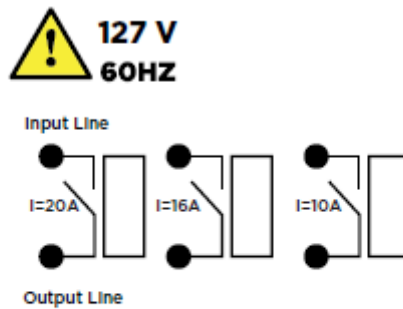


Fig. 12 Caja de breakers maviju.

Tabla 5. características del breaker maviju.



Tipo	Curva	In (A)	Tensión de aislamiento (Ui)	Tensión de operación (Ue)	Poder de corte (kA)
1p	C	10	500 V AC 50/60 Hz	230-400V	10 kA
1p	C	16	500 V AC 50/60 Hz	230-400V	10 kA
1p	C	20	500 V AC 50/60 Hz	230-400V	10 kA

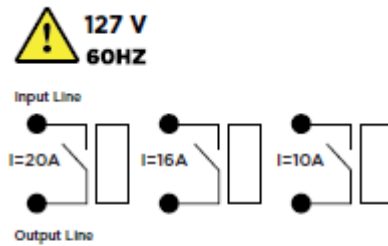


Fig. 13 Caja de breakers ABB

Tabla 6 Características del Breaker ABB



Tipo	Curva	In (A)	Tensión de aislamiento (Ui)	Tensión de operación (Ue)	Poder de corte (kA)
1p	C	10	según IEC/EN 60664-1 440 V	230-400V	6 kA
1p	C	16	según IEC/EN 60664-1 440 V	230-400V	6 kA
1p	C	20	según IEC/EN 60664-1 440 V	230-400V	6 kA

4.5. Módulo de prácticas prueba de los MCB

Las bases utilizadas en el sistema cuentan con secciones fijas y móviles que permiten ubicar de manera ordenada los módulos de carga, los interruptores MCB y el módulo de comunicación del sensor. Una vez ensamblados, el conjunto queda dispuesto para iniciar las pruebas correspondientes. Es importante considerar que las cargas se encuentran instaladas en la parte superior e inferior de las rejillas y el módulo de comunicación, mientras que en la zona central se ubican los MCB, lo que facilita el acceso y la visualización durante las prácticas. El módulo tiene unas dimensiones de 1.20 m de alto y 2.70 m de ancho, para cada módulo de carga las dimensiones son de 20 x 20 cm y para los MCB son de 25x25 cm. Como se puede observar en la Fig. 14. Los resultados obtenidos durante el desarrollo del módulo experimental permitieron evaluar de manera práctica el comportamiento de los interruptores termomagnéticos.



Fig. 14 Módulo de pruebas MCB

Durante la ejecución de las pruebas experimentales, el sistema permitió registrar de forma continua los valores de corriente que circulan a través del conductor de Nicrom, alcanzando valores aproximados de 5,8 A, los cuales se mantuvieron estables durante los intervalos de medición. Estos valores fueron almacenados y organizados en tablas de medición, las cuales permiten analizar el comportamiento del sistema bajo condiciones similares de carga.

En la Tabla 4. se presentan los datos generales de corriente y tiempo obtenidos durante las pruebas realizadas al módulo experimental, los cuales sirvieron como base para el análisis posterior.

Tabla 7. Datos reales de cargas

Resistencia	15,8 Ω
Voltaje	121,1V
Corriente	5,8A
Potencia activa	531,512W
I carga 1	5,8A
I carga 2	11,5A
I carga 3	17,5A
I carga 4	22,5A
I carga 5	27,2A
I carga 6	32,5A

La lectura de corriente obtenida mediante el sensor ACS712 mostró una respuesta coherente frente a las variaciones de carga aplicadas, lo que permitió validar la confiabilidad del sistema de medición. A partir de estos registros se elaboraron tablas específicas para cada interruptor termomagnético evaluado, considerando tanto el tiempo de operación como la corriente registrada previo al disparo. Estas mediciones permitieron comparar el comportamiento de los MCB bajo condiciones equivalentes.

En el caso del interruptor termomagnético de la marca ABB, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 8, Tabla 9 y Tabla 10, donde se detallan los valores de corriente aplicada, el tiempo de operación y el estado del interruptor durante cada prueba. Los datos registrados evidencian un comportamiento acorde a las características nominales del dispositivo, mostrando una respuesta estable durante la operación normal y un disparo adecuado cuando se superaron los límites establecidos.

Tabla 8. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 10A

Marca	ABB	
Corriente Nominal	10A	
Capacidad ruptura	6 kA	
Corriente de carga	Tiempo de operación (mseg)	Ciclos
21	11020	661,2
26	4086	245,16
31	3100	186
36	2056	123,36
39	2027	121,62

Tabla 9. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 16A

Marca		ABB	
Corriente Nominal		16A	
Capacidad ruptura		6 kA	
Corriente de carga	Tiempo de operación (mseg)	Ciclos	
31	15052	903,12	
36	11020	661,2	
39	8003	480,18	

Tabla 10. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 20A

Marca		ABB	
Corriente Nominal		20A	
Capacidad ruptura		6 kA	
Corriente de carga	Tiempo de operación (mseg)	Ciclos	
39	10062	63,72	

De manera similar, las pruebas realizadas al interruptor termomagnético de la marca Schneider permitieron obtener una serie de datos que se muestran en la Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13, en la cual se incluyen los valores de corriente, tiempo de disparo y condiciones de operación. Estos resultados permitieron analizar la respuesta del dispositivo frente a la carga aplicada, observándose un comportamiento consistente con la curva de disparo tipo C declarada por el fabricante.

Tabla 11. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 10A

Marca		Schneider electric	
Corriente Nominal		10A	
Capacidad ruptura		6 kA	
Corriente de carga	Tiempo de operación (mseg)	Ciclos	
21	10091	605,46	
26	6088	365,28	
31	4086	245,16	
36	3042	182,52	
39	2084	125,04	

Tabla 12. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 1A

Marca		Schneider electric	
Corriente Nominal	16A		
Capacidad ruptura	6 kA		
Corriente de carga	Tiempo de operación (mseg)	Ciclos	
31	41072	2464,32	
36	15023	901,38	
39	11077	664,62	

Tabla 13. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 20A

Marca		Schneider electric	
Corriente Nominal	20A		
Capacidad ruptura	6 kA		
Corriente de carga	Tiempo de operación (mseg)	Ciclos	
39	34052	2043,12	

Para el interruptor termomagnético de la marca Maviju, los resultados experimentales se organizaron en la Tabla 14, Tabla 15 y Tabla 16, donde se presentan los datos correspondientes a las pruebas realizadas bajo condiciones similares de carga. El análisis de estos valores permitió evaluar la capacidad de interrupción del dispositivo y su respuesta ante situaciones de sobrecarga, mostrando un desempeño adecuado dentro del rango de operación establecido para el módulo de pruebas.

Tabla 14. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 10A

Marca		MAVIJU	
Corriente Nominal	10A		
Capacidad ruptura	6 kA		
Corriente de carga	Tiempo de operación (mseg)	Ciclos	
21	10033	601,98	
26	6030	361,8	
31	3042	182,52	
36	2084	125,04	
39	2027	121,62	

Tabla 15. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 16A

Marca	MAVIJU	
Corriente Nominal	16A	
Capacidad ruptura	6 kA	
Corriente de carga	Tiempo de operación (mseg)	Ciclos
31	22072	1324,32
36	9047	542,82
39	8060	483,6

Tabla 16. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 20A

Marca	MAVIJU	
Corriente Nominal	20A	
Capacidad ruptura	6 kA	
Corriente de carga	Tiempo de operación (mseg)	Ciclos
39	16067	964,02

El uso del sistema de instrumentación virtual desarrollado en LabVIEW facilitó la visualización en tiempo real de los datos registrados, permitiendo correlacionar los valores mostrados en las tablas con las curvas tiempo–corrientes generadas durante las pruebas. Esta relación entre los datos tabulados y las representaciones gráficas permitió un análisis más claro del comportamiento de cada MCB evaluado.

Finalmente, el conjunto de tablas obtenidas a partir de las mediciones experimentales constituye una base de datos confiable para la comparación del desempeño de los interruptores termomagnéticos de diferentes marcas. Estos resultados permiten evaluar de manera objetiva el tiempo de respuesta y la corriente de operación de cada dispositivo, aportando información relevante para el análisis del sistema de protección eléctrica implementado.

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Este proceso es fundamental para poder destacar la utilidad y aporte que realizara nuestro estudio realizado el cual con una satisfactoria obtención de datos incluida la parte de desarrollo del material base de nuestra propuesta tecnológica planteada. A través de la culminación de cada etapa se obtuvo los datos esperados y en tiempo real de operación en los cuales forman parte de un sistema de estudio complejo y acertado.

Específicamente se ha trabajado con los parámetros cruciales como son: voltaje, tiempo, y por supuesto la corriente aplicada en cada sección.

5.1. Pruebas Sobrecargas

Para iniciar el análisis de los resultados obtenidos a partir de las pruebas experimentales realizadas sobre los interruptores termomagnéticos (MCB), se presenta una visión general del entorno de operación en el cual se desarrollaron los ensayos. Este análisis se centra en la evaluación del comportamiento de los dispositivos de protección frente a condiciones de sobrecarga, considerando parámetros eléctricos reales obtenidos durante la operación del módulo experimental implementado.

El análisis desarrollado se fundamenta en los parámetros eléctricos obtenidos durante los ensayos, los cuales permiten verificar el cumplimiento de los objetivos planteados al inicio de esta investigación y de la propuesta tecnológica desarrollada. A partir del estudio del estado del arte y de los conocimientos adquiridos, fue posible diseñar y construir módulos de comprobación que simulan condiciones reales de carga en sistemas eléctricos de baja tensión.

Los resultados experimentales evidencian que, a medida que la corriente de carga aumenta, el tiempo de operación del interruptor termomagnético disminuye de forma significativa. Este comportamiento confirma el principio de funcionamiento de los MCB, en el cual corrientes más elevadas generan una respuesta más rápida del mecanismo de disparo lo cual se puede evidenciar con la data de los MCB. De esta manera, se valida el correcto desempeño de los dispositivos, cumpliendo con los parámetros de seguridad establecidos tanto para corrientes moderadas como para condiciones de sobrecarga.

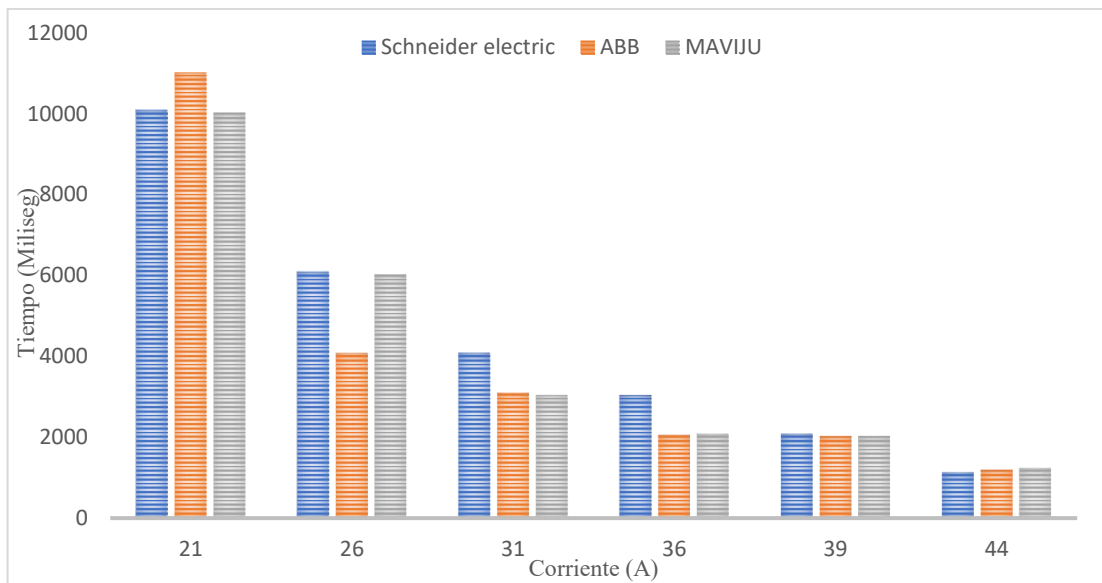


Fig. 15 Curva de la carga en el tiempo de operación

Los datos obtenidos se organizaron en tablas de medición correspondientes a interruptores termomagnéticos de igual capacidad nominal, pero de diferentes marcas comerciales, lo que permitió realizar un análisis comparativo de los tiempos reales de accionamiento. En el caso de los MCB de la marca ABB, los resultados de las pruebas para capacidades nominales de 10 A, 16 A y 20 A se presentan en la Fig. 15, respectivamente. En estas tablas se observa claramente la reducción progresiva del tiempo de operación conforme aumenta la corriente aplicada se evidencia en la Fig.16, manteniendo un comportamiento coherente con las características técnicas del fabricante.

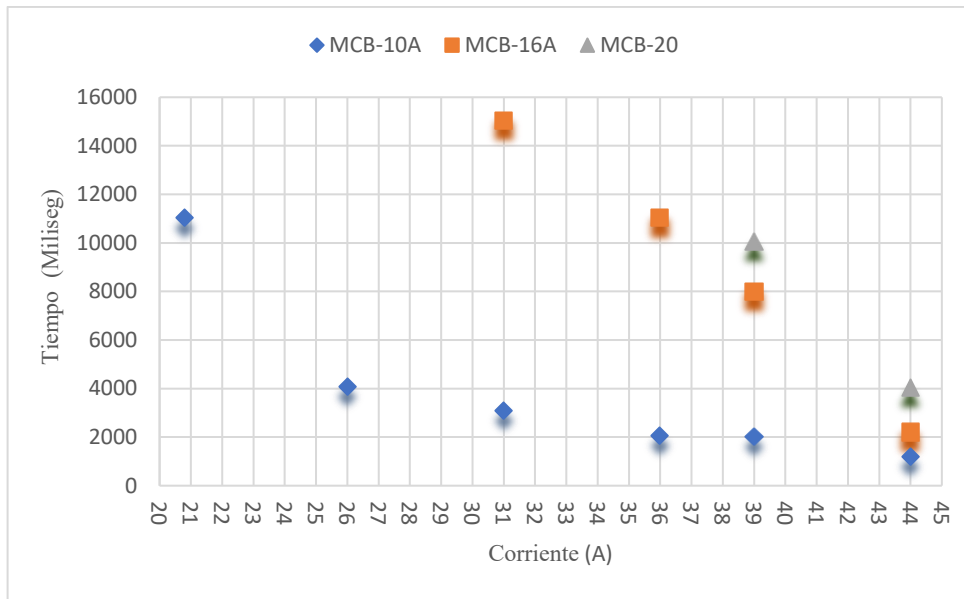


Fig. 16 Tiempos de MCB-ABB con corrientes nominales diferentes

De manera similar, los resultados obtenidos para los interruptores termomagnéticos de la marca Schneider Electric se muestran en la 20 A. En estos ensayos se evidenció un comportamiento consistente con la curva de disparo tipo C, destacándose tiempos de operación mayores en comparación con otros dispositivos bajo corrientes equivalentes como se muestra en la Fig. 17, lo que sugiere una construcción más robusta orientada a una mayor vida útil del equipo.

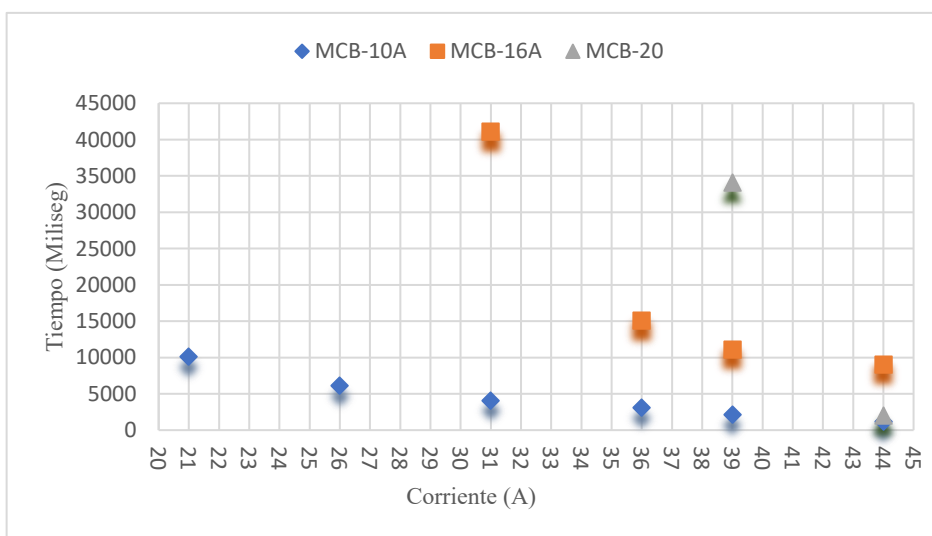


Fig. 17 Tiempos de MCB-Schneider con corrientes nominales diferentes

Para los interruptores termomagnéticos de la marca Maviju, los resultados experimentales fueron organizados en la Fig. 17, Fig. 18 y Fig. 19, correspondientes a capacidades nominales de 10 A, 16 A y 20 A. El análisis de estos datos permitió observar un comportamiento intermedio entre las otras marcas evaluadas, mostrando tiempos de operación adecuados dentro del rango esperado y una respuesta confiable frente a condiciones de sobrecarga como se puede ver en la Fig.18 cumpliendo características similares de la corriente de carga con el tiempo de operación.

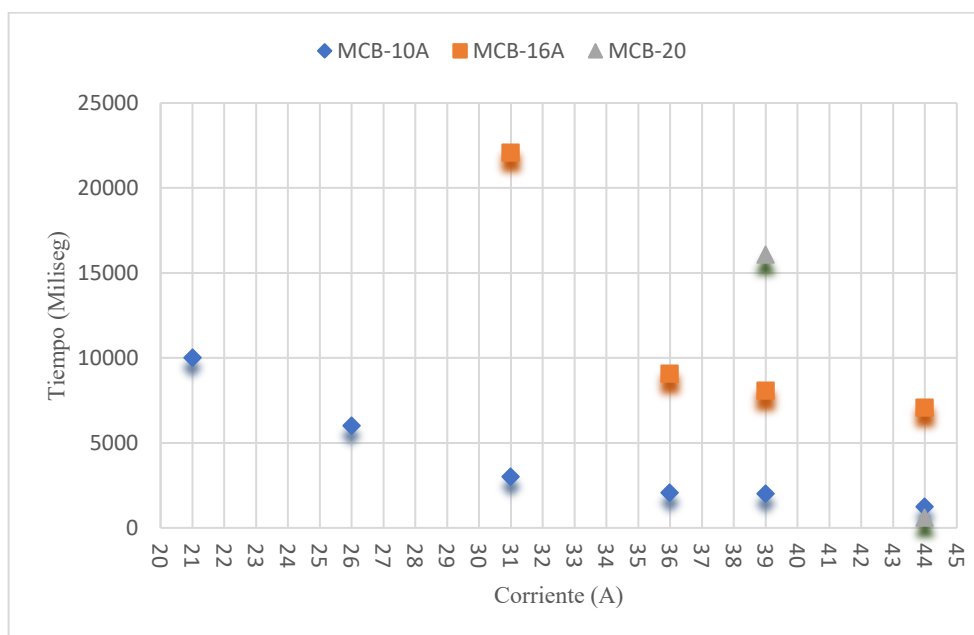


Fig. 18 Tiempos de MCB-Schneider con corrientes nominales diferentes

Es importante destacar que, aunque los MCB evaluados presentan capacidades nominales iguales y fueron sometidos a condiciones de carga similares, los tiempos de operación registrados presentan variaciones del orden de milisegundos como se puede ver en la Fig.19 las curvas de las tres arcos de MCB de una misma corriente nominal refleja el comportamiento similar de funcionamiento. Si bien estas diferencias pueden parecer pequeñas, en escenarios reales de operación pueden influir de manera significativa en la severidad de una falla, la cual define los criterios de capacidad de interrupción y protección de los circuitos eléctricos mediante el aislamiento oportuno del sistema ante condiciones anómalas.

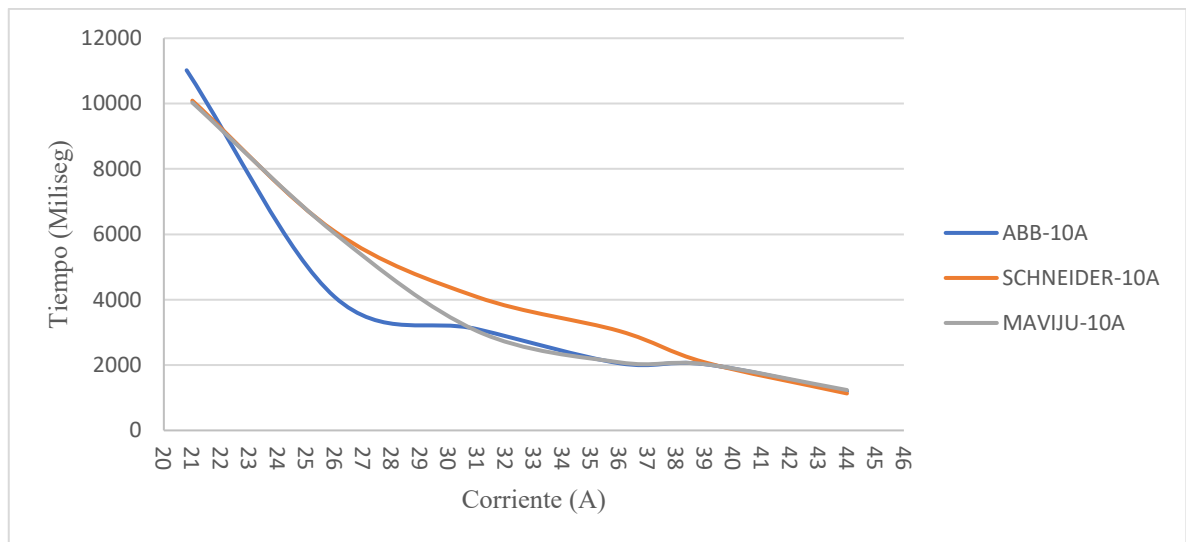


Fig. 19 Curvas funcionamiento del MCB-10A en las 3 marcas revisadas.

Durante las pruebas se consideraron escenarios representativos de circuitos instalados en tableros eléctricos, donde una incorrecta coordinación de protecciones aguas arriba, combinada con cargas no convencionales, puede generar disparos indeseados o un deterioro progresivo de los conductores. En estos casos, los picos de corriente pueden provocar la actuación de protecciones principales, mientras que los breakers del circuito continúan operando bajo condiciones que aceleran el desgaste térmico de los conductores.

Los resultados obtenidos refuerzan la importancia del correcto dimensionamiento de los interruptores termomagnéticos y de los conductores asociados. Según las características de los MCB tipo C, estos pueden soportar corrientes de hasta diez veces su corriente nominal durante cortos intervalos de tiempo. Sin embargo, una selección inadecuada del calibre del conductor o una mala coordinación de protecciones puede generar condiciones de riesgo. De acuerdo con la norma NEC, los conductores deben dimensionarse para soportar al menos el 125 % de la corriente nominal del circuito, estableciendo un límite típico de 20 A por circuito, salvo en el caso de cargas especiales.

El accionamiento de los interruptores termomagnéticos evaluados se basa en dos mecanismos principales: la protección contra sobrecarga, mediante un elemento térmico bimetálico, y la protección contra cortocircuito, mediante un disparo electromagnético de acción prácticamente instantánea. Los resultados experimentales permiten evidenciar claramente esta diferencia, observándose tiempos de respuesta mucho menores en condiciones de corriente elevada.

Finalmente, al considerar lo establecido en las normas de operación para interruptores tipo C utilizados en aplicaciones residenciales, los resultados obtenidos ponen de manifiesto la relevancia de realizar un estudio de carga adecuado y un correcto dimensionamiento de las protecciones. Los tiempos de accionamiento registrados demuestran que una falla mal gestionada puede incrementar la severidad del daño, provocando sobrecalentamiento de conductores, deterioro del aislamiento e incluso fallas catastróficas en los equipos como se puede ver en la Tabla 17, donde la corriente va variando de manera similar en las diferentes marcas

Tabla 17. Corriente tiempo Mcb-Schneider 20A

Corriente de carga	ABB-t operación (mseg)	SCHNEIDER-t operación (mseg)	MAVIJU-t operación (mseg)
39	16067	34052	16067
44	600	850	600

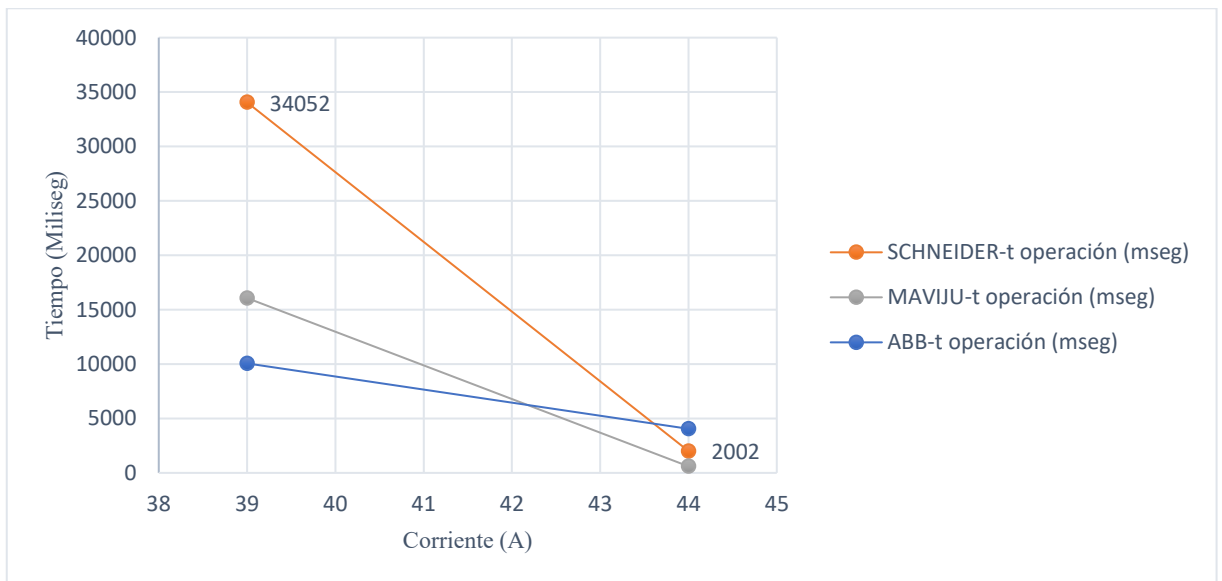


Fig. 20 Curva tiempo-corriente Mcb 16A

Con el fin de complementar el análisis de resultados obtenidos en las pruebas experimentales, se realizó una comparación directa entre los interruptores termomagnéticos de las marcas ABB, Schneider Electric y Maviju, considerando dispositivos de igual capacidad nominal y sometidos a condiciones de carga similares. Este análisis permitió evaluar de manera objetiva las diferencias en los tiempos de operación y el comportamiento general de cada MCB frente a escenarios de sobrecarga.

A partir de los datos presentados en la Tablas, se observa que, para una misma corriente de carga, los tiempos de disparo varían entre marcas, aun cuando los dispositivos comparten características nominales similares, como corriente asignada y capacidad de ruptura. Estas variaciones, aunque se presentan en el orden de los milisegundos, resultan relevantes desde el punto de vista de la protección eléctrica, ya que influyen directamente en la rapidez con la que se aísla una falla del sistema.

Tabla 18. Comparación de pruebas con las tres marcas en MCB 10A

MCB-10A			
Corriente de carga	ABB-t operación (mseg)	SCHNEIDER-t operación (mseg)	MAVIJU-t operación (mseg)
21	11020	10091	10033
26	4086	6088	6030
31	3100	4086	3042
36	2056	3042	2084
39	2027	2084	2027

En los MCB de 10 A, los dispositivos de las tres marcas mostraron una tendencia similar: al incrementarse la corriente de carga desde 21 A hasta 39 A, el tiempo de operación disminuye progresivamente como se puede ver en la Fig. 20. Sin embargo, se evidenció que los interruptores de la marca Schneider presentan, en promedio, tiempos de disparo ligeramente mayores en comparación con ABB y Maviju, lo que sugiere una mayor tolerancia térmica antes de la actuación del mecanismo de protección. Este comportamiento puede asociarse a un diseño orientado a reducir disparos intempestivos bajo condiciones transitorias.

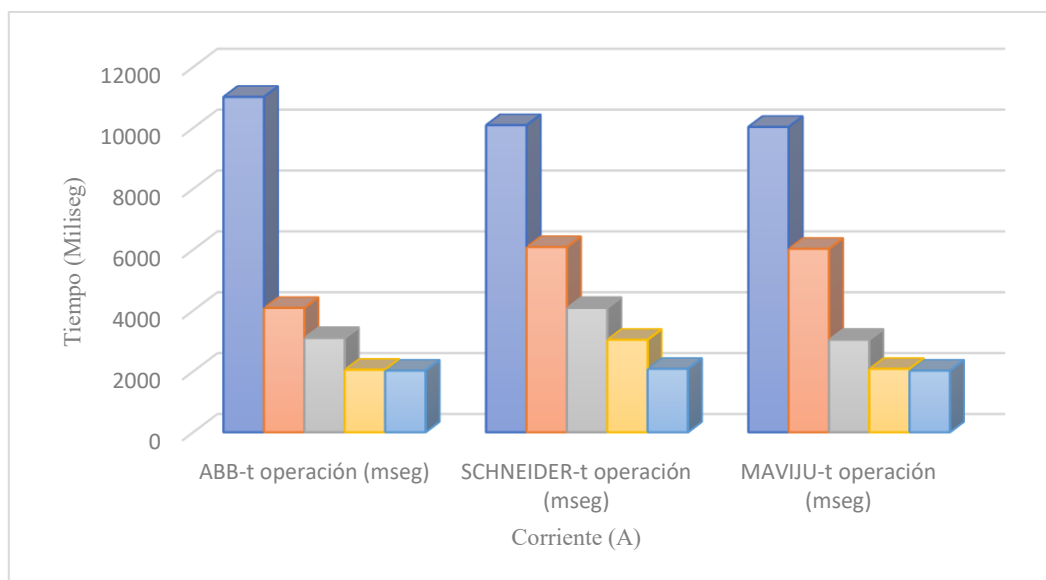


Fig. 21 Datos obtenidos de la comparación de los MCB-10A en las tres marcas

Para los MCB de 16 A, la diferencia entre marcas se vuelve más evidente. Los resultados muestran que los dispositivos Schneider mantienen tiempos de operación considerablemente superiores frente a corrientes equivalentes, mientras que ABB y Maviju presentan respuestas más rápidas. Esta característica puede interpretarse como una mayor robustez mecánica y térmica en los dispositivos Schneider, aunque también implica la necesidad de una correcta coordinación con los conductores para evitar sobrecalentamientos prolongados.

Tabla 19. Datos obtenidos de la prueba del MCB de 16A en las tres marcas

MCB-16A			
Corriente de carga	ABB-t operación (mseg)	SCHNEIDER-t operación (mseg)	MAVIJU-t operación (mseg)
31	15052	41072	22072
36	11020	15023	9047
39	8003	11077	8060

En el caso de los MCB de 20 A, las pruebas evidencian una diferencia significativa entre marcas. Mientras que el interruptor ABB presenta un tiempo de operación reducido ante una corriente de carga de 39 A, los dispositivos Schneider y Maviju muestran tiempos notablemente mayores. Este comportamiento refuerza la importancia de considerar no solo la corriente nominal del interruptor, sino también su respuesta temporal frente a sobrecargas, especialmente en aplicaciones donde la rapidez de desconexión resulta crítica.

En términos generales, los resultados comparativos permiten concluir que los interruptores ABB tienden a presentar tiempos de operación más cortos, lo que favorece una respuesta más rápida ante condiciones de sobrecarga. Por su parte, los MCB Schneider destacan por una respuesta más lenta y estable, lo que puede traducirse en una mayor vida útil del dispositivo bajo condiciones normales de operación. Los dispositivos Maviju presentan un comportamiento intermedio, ofreciendo un balance entre rapidez de disparo y tolerancia térmica.

Tabla 20. Comparación tiempo promedio MCB-10A por marca

MARCA	Rango Corriente Operación	Tiempo Promedio
ABB	21-39A	4457,8
SCHNEIDER	21-39A	5078,2
MAVIJU	21-39A	4643,2

El análisis comparativo directo entre marcas pone en evidencia que, aun cumpliendo con las mismas normas técnicas y capacidades nominales, los interruptores termomagnéticos pueden presentar comportamientos distintos frente a una misma condición de carga. Estas diferencias resaltan la importancia de seleccionar el MCB adecuado en función del tipo de instalación, el perfil de carga y el nivel de protección requerido, así como de realizar una correcta coordinación entre interruptores y conductores para garantizar la seguridad y confiabilidad del sistema eléctrico.

5.1.1 Extrapolación.

Se realiza la extrapolación de los valores de corriente obtenidos a través del módulo de pruebas.

Con estos datos se podrá predecir el comportamiento de los MCB en corrientes muy altas donde no siempre se obtienen datos experimentales. A mas de prolongar la tendencia de la curva en este caso de tipo logarítmica el disparo térmico se vuelve prácticamente inmediato a corrientes muy elevadas.

En caso contrario el disparo magnético actúa en milisegundos, por lo que se produce una extrapolación en los resultados.

Tabla 21. Datos obtenidos de corriente del modulo de pruebas.

CORRIENTE	IMPEDANCIA
5	23,20
10	11,60
15	7,73
20,8	5,58
26	4,46
31	3,74
36	3,22
39	2,97
44	2,64
49	2,30
54	1,96
59	1,62
64	1,28
67	1,08
70	0,88
73	0,68
76	0,47
79	0,27
80	0,20
81	0,14
82	0,07
82,5	0,03

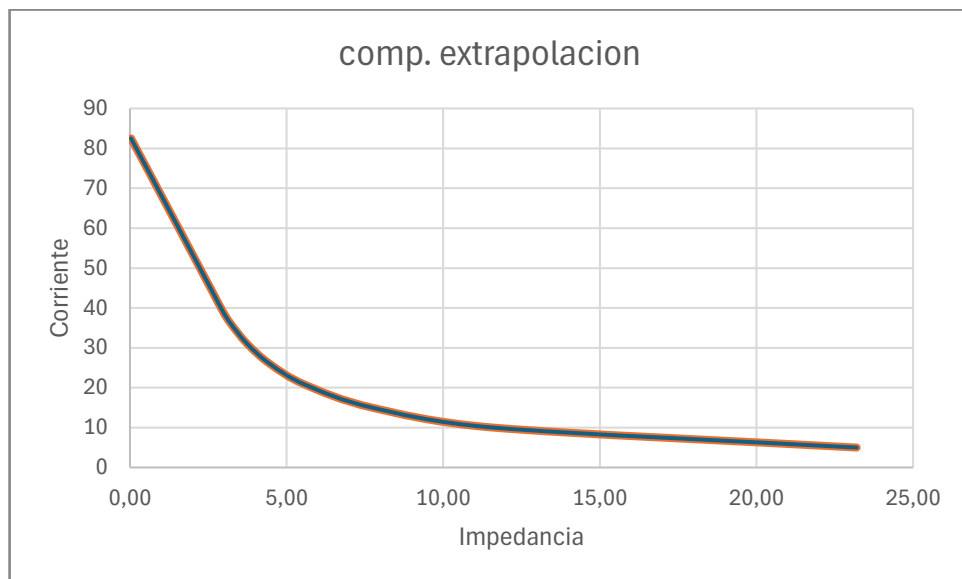


fig. 22 comportamiento de la curva con extrapolacion.

5.1.2 Extrapolación curva ABB

En el punto 2.08,11.02 indica que a 2.08 veces la corriente nominal el tiempo de disparo fue de 11.02 segundos.

Se observa que su tiempo reduce drásticamente conforme aumenta la sobrecorriente, pasando en la zona de sobrecarga moderada a diferentes tiempos casi instantáneos en la zona de cortocircuito. Está extrapolación de la curva es útil para estudios de coordinación y selectividad.

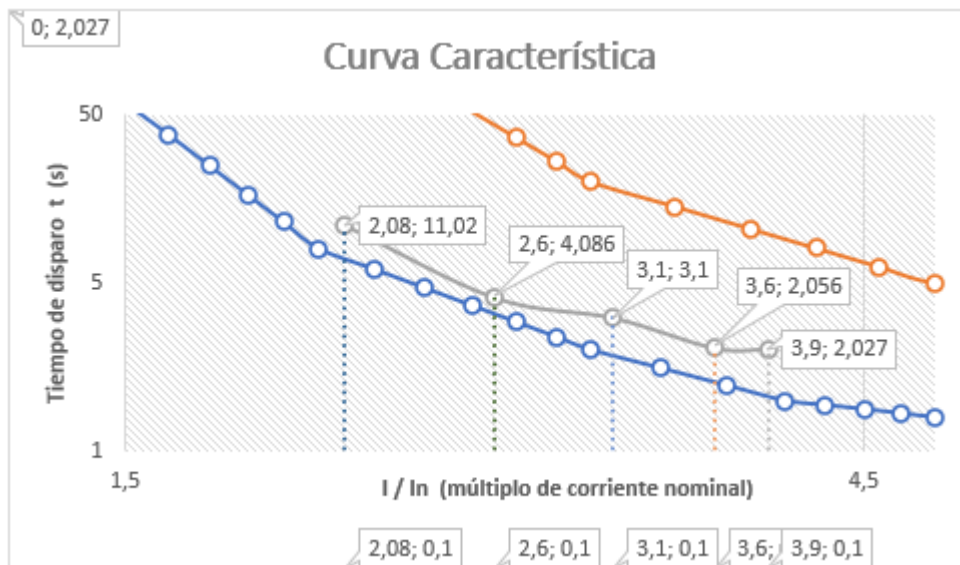


Fig. 23 Curva extrapolada marca ABB.

5.1.3 Extrapolación curva MAVIJU

Esta parte de la curva evidencia el equilibrio entre seguridad y continuidad del servicio que aún permite soportar sobrecargas moderadas por unos segundos, pero asegura la desconexión rápida cuando la corriente se acerca al triple valor de la corriente nominal.

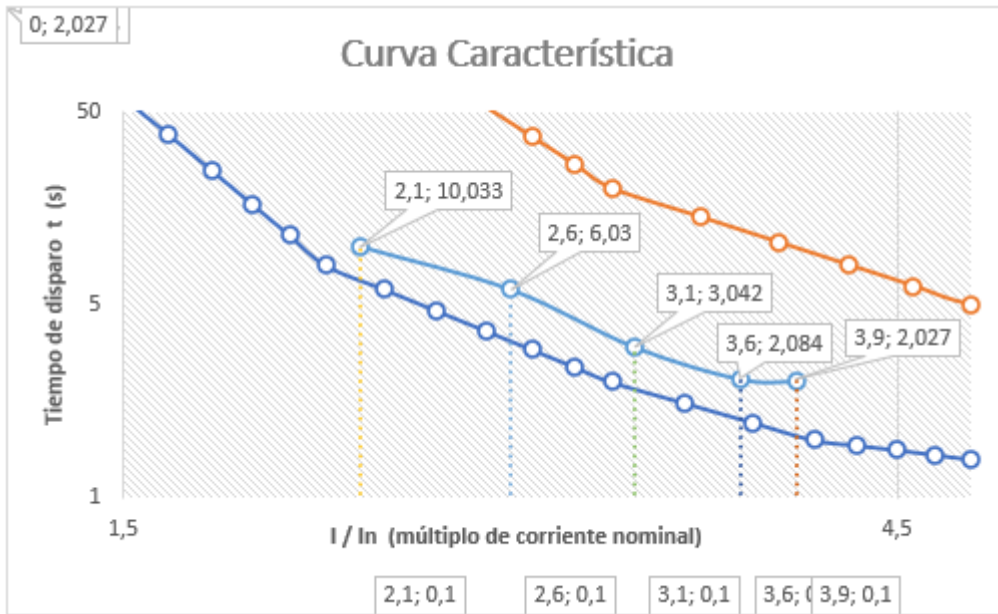


Fig. 24 Curva extrapolada marca MAVIJU.

5.1.4 Extrapolación curva SCHNEIDER

La curva de la mitad confirma que el interruptor actúa de manera gradual pero firme, garantizando que las sobrecargas no sostenidas sean interrumpidas en tiempos cada vez más cortos, lo cual es menos esencial para la protección térmica en sistemas eléctricos.

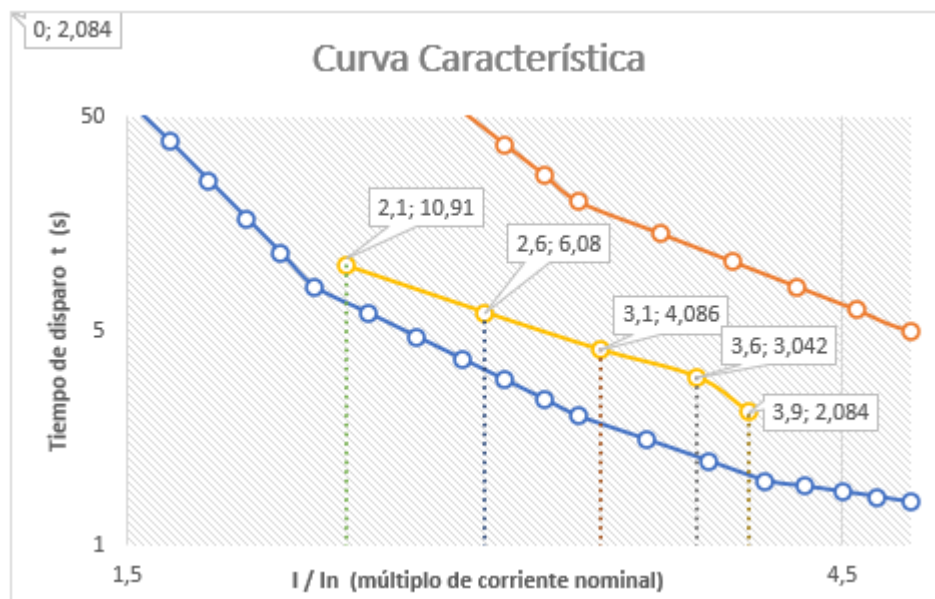


Fig. 25 Curva extrapolada marca SCHNEIDER

5.2. Pruebas Cortocircuito

Las pruebas de cortocircuito realizadas sobre los interruptores termomagnéticos permitieron analizar el comportamiento de los dispositivos de protección ante condiciones de corriente elevada, donde el mecanismo de disparo electromagnético actúa de forma prácticamente instantánea. A diferencia de las pruebas de sobrecarga, en las cuales el tiempo de operación depende del calentamiento progresivo del elemento térmico, en los eventos de cortocircuito la respuesta del MCB está dominada por la acción del electroimán interno, el cual genera una apertura inmediata de los contactos al detectarse un incremento abrupto de corriente.

Durante los ensayos efectuados, se registraron tiempos de reacción del orden de las décimas de milisegundo, lo que confirma el correcto funcionamiento del sistema de protección ante fallas severas. Estos tiempos reducidos son fundamentales para limitar la energía liberada durante el cortocircuito, protegiendo tanto a los conductores como a los equipos conectados al circuito.

En el caso de los interruptores termomagnéticos por cada marca como se muestra en la tabla vamos evidenciando que si tiene una variación en tiempos en accionamiento de la corriente de cortocircuito es por milisegundos, pero se evidencia que, aunque se tenga las mismas características nominales, no van a ser exacto los valores de operación

Bajo estas condiciones, el dispositivo accionó de manera efectiva para las capacidades nominales de 10 A y 20 A, evidenciando una actuación rápida y consistente ante el evento de cortocircuito. Este comportamiento refleja una adecuada sensibilidad del mecanismo electromagnético, permitiendo la interrupción casi inmediata del circuito.

Para los interruptores de la marca Schneider Electric, el tiempo de reacción registrado fue del orden de 0,35 ms. Aunque este valor es ligeramente superior al observado en otros dispositivos, sigue considerándose una respuesta rápida dentro de los márgenes aceptables para protecciones de baja tensión. En estas pruebas, el accionamiento se evidenció principalmente en el interruptor de 10 A, lo que sugiere una respuesta más selectiva del mecanismo de disparo electromagnético, posiblemente asociada a un diseño orientado a evitar disparos innecesarios ante transitorios de corta duración.

En el caso de los interruptores termomagnéticos de la marca Maviju, se registró un tiempo de respuesta aproximado de 0,24 ms, siendo el menor valor observado entre los dispositivos evaluados. Bajo estas condiciones, los MCB de 10 A y 16 A actuaron de manera efectiva, confirmando una respuesta rápida y adecuada frente a la condición de cortocircuito. Este

comportamiento evidencia una alta sensibilidad del sistema electromagnético, permitiendo una interrupción casi instantánea del flujo de corriente.

Los resultados obtenidos permiten evidenciar que, aunque todos los dispositivos cumplen con su función principal de protección ante cortocircuitos, existen diferencias en los tiempos de reacción y en la selectividad de accionamiento entre marcas y capacidades nominales. Estas variaciones, aunque pequeñas en magnitud, pueden influir en la coordinación de protecciones dentro de un sistema eléctrico real, especialmente en instalaciones donde se requiere una actuación rápida para minimizar daños y garantizar la seguridad.

En general, las pruebas confirman que el mecanismo de disparo electromagnético de los interruptores termomagnéticos evaluados actúa de manera eficiente frente a eventos de cortocircuito, logrando tiempos de respuesta del orden de los micro y milisegundos. Este comportamiento resulta coherente con los principios de diseño de los MCB y con los requerimientos establecidos en las normas técnicas aplicables, reforzando la importancia de seleccionar adecuadamente el dispositivo de protección en función del tipo de instalación y las condiciones de operación.

BREAKERS ABB

Tabla 22. Prueba de Cortocircuito ABB 10A-16A

ABB	
INTERRUPTOR MCB	
ABB AGUAS ABAJO 10A	ABB AGUAS ARRIBA 16A
OPERA	OPERA

Tabla 23. Prueba de Cortocircuito ABB 10-20

ABB	
INTERRUPTOR MCB	
ABB AGUAS ABAJO 10A	ABB AGUAS ARRIBA 20A
OPERA	NO OPERA

Tabla 24. Prueba de Cortocircuito ABB 16-20

ABB	
INTERRUPTOR MCB	
ABB AGUAS ABAJO 16A	ABB AGUAS ARRIBA 20A
OPERA	NO OPERA

BREAKERS SCHNEIDER

Tabla 25. Prueba de Cortocircuito SCHNEIDER 10-16

SCHNEIDER	
INTERRUPTOR MCB	
SCHNEIDER AGUAS ABAJO 10A	SCHNEIDER AGUAS ABAJO 16A
OPERA	OPERA

Tabla 26. Prueba de Cortocircuito SCHNEIDER 10-20

SCHNEIDER	
INTERRUPTOR MCB	
SCHNEIDER AGUAS ABAJO 10A	SCHNEIDER AGUAS ABAJO 20A
OPERA	NO OPERA

Tabla 27. Prueba de Cortocircuito SCHNEIDER 16-20

SCHNEIDER	
INTERRUPTOR MCB	
SCHNEIDER AGUAS ABAJO 16A	SCHNEIDER AGUAS ABAJO 20A
OPERA	NO OPERA

BREAKERS MAVIJU

Tabla 28. Prueba de Cortocircuito MAVIJU 10-16

MAVIJU	
INTERRUPTOR MCB	
MAVIJU AGUAS ABAJO 10A	MAVIJU AGUAS ABAJO 16A
OPERA	OPERA

Tabla 29. Prueba de Cortocircuito MAVIJU 10-20

MAVIJU	
INTERRUPTOR MCB	
MAVIJU AGUAS ABAJO 10A	MAVIJU AGUAS ABAJO 20A
OPERA	NO OPERA

Tabla 30. Prueba de Cortocircuito MAVIJU 16-20

MAVIJU	
INTERRUPTOR MCB	
MAVIJU AGUAS ABAJO 16A	MAVIJU AGUAS ABAJO 20A
OPERA	NO OPERA

5.2.1 CORTOCIRCUITO (coordinación de protecciones)

En este apartado de pruebas sobre los interruptores automáticos tipo MCB dentro de un esquema llamado coordinación de protecciones conforma una etapa fundamental que garantiza una selectividad y una continuidad del suministro eléctrico. Con este con este contexto los MCB

deben ser evaluados no solamente de forma individual, ya que tambien se considera la interacción con otros dispositivos de protección instalados aguas arriba y a su vez aguas abajo.

Este funcionamiento tiene como finalidad que ante una condición de cortocircuito, opere únicamente el dispositivo más cercano a la falla, evitando disparos innecesarios que afecten zonas amplias del circuito.

Durante las pruebas que se realizaron se provocaron cortocircuitos instantáneos, este procedimiento permite analizar la existencia correcta de la coordinación entre MCB. Además, se verifica que el escalonamiento sea asegurando que el interruptor aguas arriba actúe únicamente como un respaldo en caso de que el MCB aguas abajo no despeje la falla.

En lo cual se realizaron 6 pruebas entre diferentes fabricantes las cuales emanan los siguientes resultados.

Tabla 31. Cortocircuito coordinacion MAVIJU- ABB

MAVIJU-ABB	
INTERRUPTOR MCB	
MAVIJU AGUAS ARRIBA 16A	ABB AGUAS ABAJO 10A
OPERA	NO OPERA

Tabla 32. Cortocircuito coordinacion MAVIJU-ABB

MAVIJU-ABB	
INTERRUPTOR MCB	
MAVIJU AGUAS ARRIBA 20A	ABB AGUAS ABAJO 16A
NO OPERA	OPERA

Tabla 33. Cordinacion SCHNEIDER 16A - ABB 10A

SCHNEIDER-ABB	
INTERRUPTOR MCB	
SCHNEIDER AGUAS ARRIBA 16A	ABB AGUAS ABAJO 10A
NO OPERA	OPERA

Tabla 34. Cordinacion SCHNEIDER 20A- ABB10A

SCHNEIDER-ABB	
INTERRUPTOR MCB	
SCHNEIDER AGUAS ARRIBA 20A	ABB AGUAS ABAJO 16A
NO OPERA	OPERA

Tabla 35. Cordinacion MAVIJU – SCHNEIDER

MAVIJU-SCHNEIDER	
INTERRUPTOR MCB	
MAVIJU AGUAS ARRIBA 16A	SCHNEIDER AGUAS ABAJO 10A
OPERA	NO OPERA

Tabla 36. Cordinacion MAVIJU - SCHNEIDER

SCHNEIDER-ABB	
INTERRUPTOR MCB	
MAVIJU AGUAS ARRIBA 20A	SCHNEIDER AGUAS ABAJO 16A
OPERA	NO OPERA

6. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

	ACTIVIDADES	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16
ETAPA INICIAL	Revisión de trabajos relacionados con el problema de sobrecarga de los MCB que afectan al sistema de conexión.																
	Análisis del sistema eléctrico del módulo.																
	Análisis de los tipos de artefactos eléctricos que permitirán el desarrollo del tema																
	Realización de la revisión bibliográfica referente al esquema y equipos de uso óptimo.																
	Elaboración del plan de tesis.																
	Aprobación plan de tesis.																
ETAPA DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	Recopilación de tipo de equipos que se debería usar en el espacio a instalarse.																
	Elaboración de un plano del esquema a instalar.																
	Modelado del módulo a instalarse en el laboratorio.																
	Modelar los diferentes escenarios que se van a interpretar.																
	Construcción del caso de estudio.																
ETAPA DE ANÁLISIS E INFORME DE RESULTADOS	Implementación del caso de estudio.																
	Formulación del análisis de los resultados del caso de estudio implementado.																

7. PRESUPUESTO REFERENCIAL

Este presupuesto estimado para la implementación a este proyecto se detalla en la Tabla 37, la cual comprende una cuidadosa estimación de los recursos financieros aplicados para alcanzar los objetivos propuestos en el inicio de este proyecto. El análisis financiero abarca los diferentes aspectos incluyendo la adquisición de materiales especializados.

Tabla 37. Presupuesto del Módulo de Protecciones

ÍTEMS	MATERIALES	CANT.	PRECIO UNIT	PRECIO TOTAL
1	Paneles melánico blanco	2u	20 \$	40.00
2	Tornillos para sujeción	100u	2.80 \$	2.80
3	Estructura para montaje	1u	180 \$	180.00
4	MCB (3 marcas)	9u	7.5 \$	67.50
5	Cable flexible #12	10m	0.85	8.50
6	Cable solido #10	10m	1.10	11.00
7	Impresiones en vinil	15u	4.00	60.00
8	Cable concéntrico 3x10 AWG	3m	3\$	9.00
9	Resistencias para cargas tipo espiral	12	4.09	49,09
10	Cajas de paso 20*20*10	9u	6	54.00
11	Base para breaker 1p	3u	3.65	10.95
12	Accesorios para conexiones (jacks, plugs, terminales etc)			43,25
13	Sensor de corriente	2u	15\$	30.00
14	Arduino mega	1u	30\$	30.00
15	Portafusible de cuchilla	1u	24.75	24.75
16	Cajas de paso 30*30*10	3u	9.50	28.50
Total				649.84\$

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 Conclusiones

- Con base de la investigación bibliográfica que permitió consolidar un marco teórico sobre el principio de funcionamiento de los interruptores, su condición interna y sus mecanismos térmicos, se comprendió la estructura de las curvas típicas de disparo tipo (B, C, D).
- Los resultados obtenidos permiten afirmar que el banco de pruebas evidencia su correcto funcionamiento comprobando resultando que el MCB ABB de 10 A, sometido a una corriente de 21 A, opera en un tiempo de 11020ms, mientras que el MCB SCHNEIDER de iguales características actúa a los 10091ms, validando este principio a optar por un MCB que actúa en menor tiempo para enfrentar este valor de corriente.
- Los resultados evidencian que, entre las marcas ya evaluadas, los interruptores termomagnéticos Schneider mostraron una operación más robusta a la capacidad de 20 A de I_n sometido a 40 A de corriente resistiva, después de responder ante los eventos expuestos sobre los 34052ms mantienen su capacidad de funcionamiento.
- En el caso del Miniature circuit breaker maviju de 10 A evaluado bajo diferentes niveles de corriente, presento tiempos de operación desde 2086ms hasta los 10033ms en corriente suministrada de 40 A.
- Según las pruebas realizadas para la coordinación de protecciones no significa que la protección de menor corriente nominal actuará primero. La coordinación adecuada requiere que al analizar estos datos exista separación suficiente entre curvas para todos los niveles de falla previstos.

8.2 Recomendaciones

- Este módulo de comprobación resulta ser una herramienta practica para desarrollar un análisis en situaciones reales de las protecciones eléctricas y cumpliendo con la normativa NEC, para prevenir dichas fallas.
- Para la realización de estas pruebas con valores elevados de corriente, es conveniente operar estos cuadros de carga en grupos de 2 a fin de provocar daños internos a los mismos. Esto se debe a que estas cargas generan calor excesivo y su material puede deteriorarse o causar su inhabilitación.

- Se debe realizar un trabajo preparatorio claramente definido sobre el tema de protecciones cuyos criterios estén relacionados con este tema para manipulación de MCB y corrientes en sobrecarga hablando en industrias.
- Se propone que al finalizar cada escenario de pruebas en los MCB se mantenga un rango de tiempo aproximado de 5 a 10 minutos de espera hasta que los equipos recuperen su temperatura normal.

9. REFERENCIAS

- [1] DM Moller electric, «El mini disyuntor», 2009.
- [2] Schneider Corp., «Interruptor enchufable QOvs 1P 16A 10kA Curva C 120VCA QO116VSC6», 2016.
- [3] Ing. Rubén R. Levy, «NORMA-IEC60898-1», 2006.
- [4] IEC 60947-2, «La norma IEC 60947-2», Venezuela, 2016.
- [5] «309882677-NORMA-IEC60898-1».
- [6] Renzo Tamasco Amador, «Protecciones eléctricas», ago. 2007.
- [7] Héctor Santiago Troya Pérez, «Determinación de escenarios operativos de referencia para la aplicación o ajuste de protecciones eléctricas determinación de escenarios operativos de referencia para el ajuste del relé de sobrecorriente direccional a tierra (67N)», quito, jul. 2024.
- [8] S. S. F. A. R. F. Á. F. Ango Iza Richard Santiago, «Repotenciación y rediseño de las instalaciones eléctricas de la Unidad Educativa Fiscal Conocoto bloque 3.», p. 98, ago. 2024.
- [9] C. Quito y J. Horacio Villa El Salvador, «Diseño de tableros eléctricos de sincronismo y protección, para 3 grupos electrógenos trifásicos de 550kw – 460vac, para el abastecimiento permanente de energía eléctrica en el distrito de san lorenzo, provincia de datem del marañon, Perú», 2019.
- [10] M. Jairo, L. Bustos, C. Daniel, P. Llerena, V. Hugo, y S. Salazar, «Diseño y construcción de un banco de protecciones de sobrecorriente, para alimentadores de media tensión», abr. 2015.
- [11] Schneider electric, «Curvas de disparo», 2018.
- [12] Bratu N. E. Campero, «Instalaciones_Electricas_Bratu_2ed», 1995.
- [13] Iván Ramiro Calero Freire, «Protección de generadores eléctricos mediante relés microprocesador multifuncionales», jul. 2008.
- [14] Alberto Enrique Loaiza García, «Diseño y construcción de un banco de pruebas para el curso principios de mecatrónica», 2012.

- [15] C. David, M. Perraso, I. Luis, y E. Tipanluisa, «Diseño y construcción de un banco de pruebas para protecciones eléctricas», Quito, ago. 2013.
- [16] ABB, «Introducción teórica a la selectividad», 2016.
- [17] Guaigua Guanopatin Hernán Geovanny, «Estandarización de ajustes, pruebas y programación de las funciones complementarias en disyuntores de protección», may 2019.
- [18] Airam Ramírez Cabrera, «Diseño de un banco de pruebas de protecciones eléctricas», jul. 2021.

10. ANEXOS

ANEXO 1 CÓDIGO ARDUINO MEGA

```
float Sensibilidad=0.028; ///float Sensibilidad=0.145; (test)//sensibilidad en V/A para nuestro sensor
float offset=0.100; // Equivale a la amplitud del ruido
void setup() {

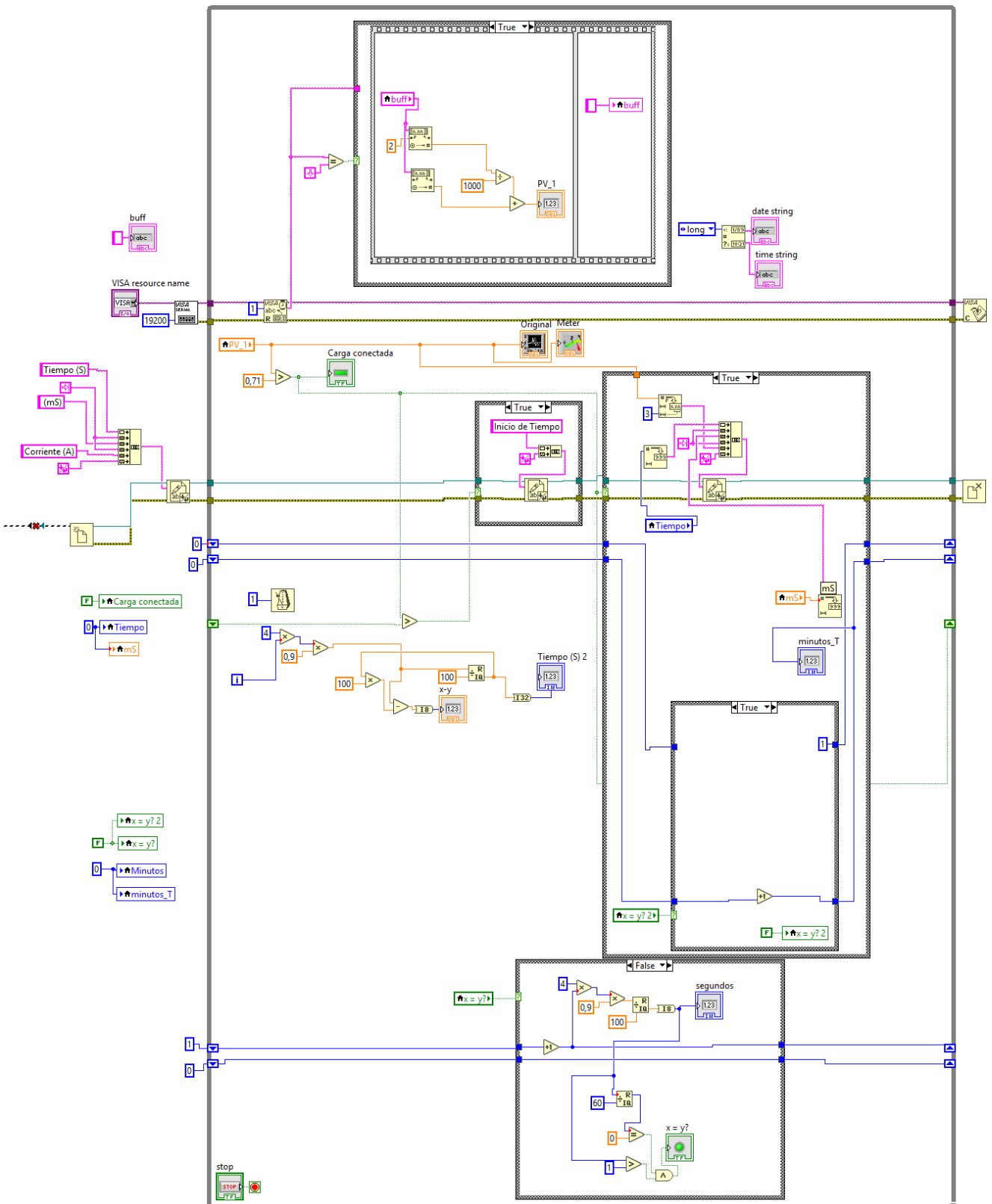
  Serial.begin(19200);
}

void loop() {

  float Ip=get_corriente();//obtenemos la corriente pico
  if(Ip<0) Ip=0;
  float Irms=Ip*0.707; //Intensidad RMS = Ipico/(2^1/2)
  float P=Irms*127.0; // P=IV watts
  //Serial.print("Ip: ");
  //Serial.print(Ip,3);
  //Serial.print("A , Irms: ");
  Serial.println(Irms,3);
  //Serial.print(",");
  //Serial.print("A, Potencia: ");
  //Serial.println(P,3);
  //Serial.println("W");
  //delay(500);
}

float get_corriente()
{
  float voltajeSensor;
  float corriente=0;
  long tiempo=millis();
  float Imax=0;
  float Imin=0;
  while(millis()-tiempo<250)//realizamos mediciones durante 0.5 segundos
  {
    voltajeSensor = analogRead(A0) * (5.0 / 1023.0);//lectura del sensor
    corriente=0.9*corriente+0.1*((voltajeSensor-2.527)/Sensibilidad); //Ecuación para obtener la
    corriente
    if(corriente>Imax)Imax=corriente;
    if(corriente<Imin)Imin=corriente;
  }
  return(((Imax-Imin)/2)-offset);
}
```

ANEXO 2 Interfaz de LabVIEW



ANEXO 3 BANCO DE PRUEBAS



GUÍA PRÁCTICA DEL USUARIO.

Módulo de Comprobación MCB por Sobrecarga.



**Carrera de
Electricidad**

1. INTRODUCCION.....	62
2. Objetivos del Manual.....	62
2.1 Objetivo general.....	62
2.2 Objetivos específicos.....	62
3. Requisitos Previos.....	62
3.1 Condiciones de instalación (espacio, energía, ambiente).	62
3.2 Herramientas necesarias.	62
3.3 Normas de seguridad aplicables.	63
4. Software a utilizar.	63
4.1 Software ARDUINO.	63
4.2 Software LabVIEW.....	65
5. Ensamblaje del modulo.....	68
5.1 Partes del módulo.	69
6. Conexión de breakers para operación (por sobrecarga).	71
6.1 Armado paso a paso por sobrecargas.	73
6.2 Conexión de breakers para operación (por cortocircuito).	82
7. Procedimientos de operación.	85
7.1 Encendido y apagado paso a paso.	85
7.2 Advertencias y precauciones durante la operación.....	88
8. Mantenimiento.....	88
8.1 Rutinas de inspección periódica.	88
8.2 Limpieza y conservación.....	88
8.3 Reemplazo de piezas o consumibles.	88
9. Solución de Problemas.....	89
9.1 Tabla con problemas comunes, causas posibles y soluciones rápidas.....	89
10. Normas de Seguridad.....	89
10.1 Riesgos asociados al prototipo.	89
10.2 Equipo de protección personal requerido.	90
10.3 Procedimientos de emergencia.	90
10.4 Prohibiciones.....	90
11. Glosario.....	90

11.1 Definición de términos técnicos usados en el manual.	90
12. Anexos	92
12.1 Diagramas eléctricos.	92

1. INTRODUCCION.

El presente manual de usuario ha sido elaborado para acompañar a los estudiantes en el desarrollo seguro y eficiente de las prácticas del laboratorio de los Miniature Circuit Breaker (MCB). Su propósito es ofrecer una guía clara, accesible y estructurada que facilite la comprensión del funcionamiento de los equipos, la correcta ejecución de los procedimientos y la aplicación práctica de los conceptos fundamentales de protección en sistemas eléctricos.

A lo largo del documento se presentan orientaciones operativas, descripciones de los equipos y procedimientos paso a paso diseñados para fortalecer el aprendizaje y reducir riesgos durante las actividades de laboratorio. La intención es que cada usuario pueda desenvolverse con confianza, entendiendo no solo qué debe hacer, sino también por qué cada acción es importante dentro del entorno eléctrico.

2. Objetivos del Manual

2.1 Objetivo general

Brindar a los usuarios una guía práctica y estandarizada que permita realizar las prácticas de protecciones eléctricas de manera segura, ordenada y fundamentada, promoviendo el desarrollo de competencias técnicas y el uso responsable de los equipos del laboratorio.

2.2 Objetivos específicos

- Realizar pruebas a los MCB contra sobrecargas.
- Comparar datos de operación de las 3 marcas definidas.

3. Requisitos Previos

3.1 Condiciones de instalación (espacio, energía, ambiente).

El módulo debe estar situado dentro de un área con espacio suficiente para su manipulación, como es necesario su ventilación ya que este produce calor excesivo. En condiciones de su alimentación eléctrica debe ser conectado directamente a un tomacorriente definido por las instalaciones eléctricas del laboratorio.

3.2 Herramientas necesarias.

- Equipo portátil Windows 10, core i3 6 ram.

- Programa instalado Labview.
- Software Arduino.
- Cables #12 con sus plugs de jacks banana en cada uno de sus extremos.
- Pinza Amperimétrica.
- Multímetro.

3.3 Normas de seguridad aplicables.

Cumplir con las normas de seguridad eléctrica, así como recomendaciones del laboratorista.

- Uso obligatorio de Mandil, guantes y botas dieléctricas.
- Uso de cable calibre #12 flexible.
- Realizar la práctica de acuerdo al manual presentado.
- Mantener orden y limpieza.

4. Software a utilizar.

4.1 Software ARDUINO.

El código de programación lo encuentran en este apartado. Así mismo como también encontrarán un video demostrativo de cómo instalar este software.

<https://drive.google.com/drive/folders/1YfSSUPUjldrZx21zJcoSK0f-Mx7N1skF?usp=sharing>

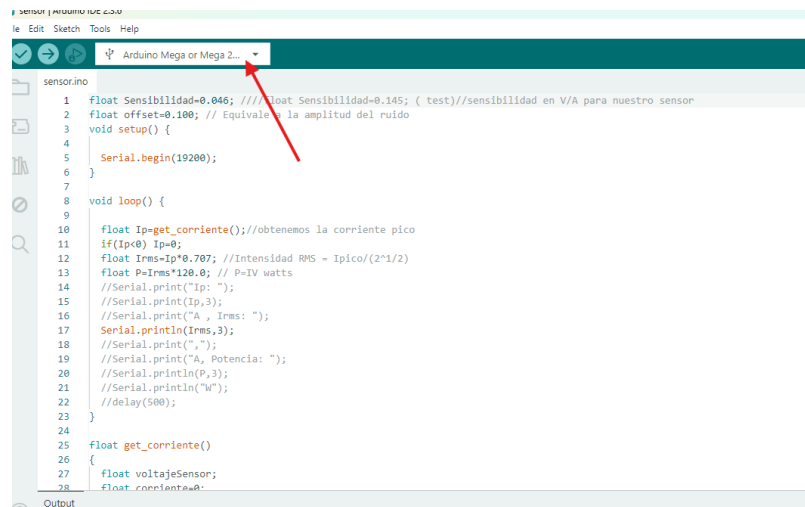


Este procedimiento se mostrará en un video cargado en la misma dirección ya ubicada, pero también se relatará un paso a paso de cómo abrir este software.

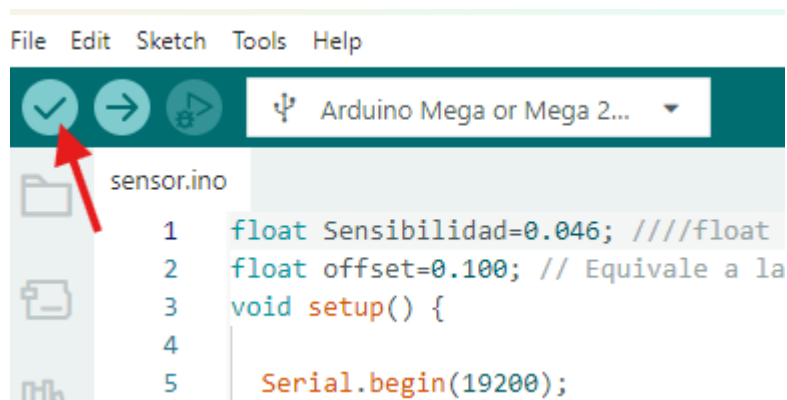
Una vez obtenido este código a través de la descarga. Lo abriremos desde el apartado del lugar guardado. Y comenzamos con la carga hacia la tarjeta arduino.

Abierto el programa y conectada la tarjeta arduino a través de un cable USB propio de esta, hacia el ordenador pasaremos a seleccionar el tipo de tarjeta arduino a la que vamos a compilar y cargar los datos.

En este caso sera tarjeta **arduino mega or mega 2650**. Como se muestra en la imagen de referencia.



Luego verificamos que no exista inconvenientes en la programación con el botón **VERIFICAR** de arduino.



Una vez hecho esto cargaremos el programa. Presionando en **UPLOAD** de arduino.

```
File Edit Sketch Tools Help
sensor.ino
1 float Sensibilidad=0.046; ////float Sensibil
2 float offset=0.100; // Equivale a la amplitu
3 void setup() {
4
5 Serial.begin(19200);
6 }
7
8 void loop() {
9
10 float Ip=get_corriente();//obtenemos la co
```

Echo esto estará listo para proceder hacer las operaciones correspondientes.

4.2 Software LabVIEW

De igual manera este procedimiento se encontrará relatado de manera visual en el link ya ubicado.

Este procedimiento lo encontrarán paso a paso a continuación.

Necesitamos tener instalado LabVIEW en su versión 2018 de 32 bits en nuestras portátiles. Para poder iniciar con el proceso de configuración para la obtención de datos.

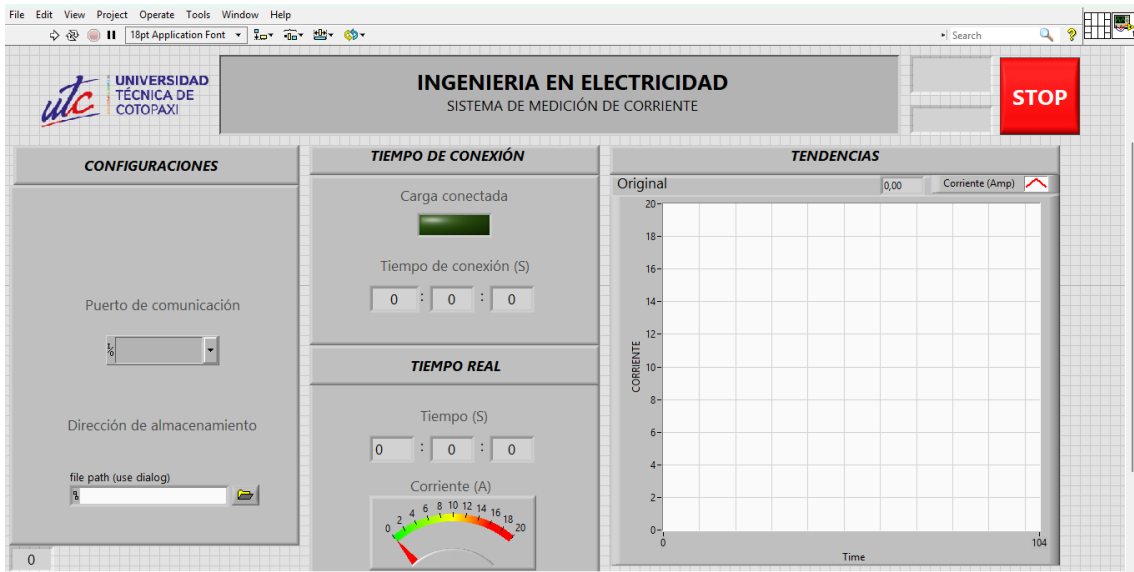
Los programas ya realizados los podrán adquirir desde esta dirección del drive.

<https://drive.google.com/drive/folders/1YfSSUPUjIjDrZx21zJcoSK0f-Mx7N1skF?usp=sharing>



La configuración será de la siguiente manera revisar el video demostrativo disponible en el enlace anterior:

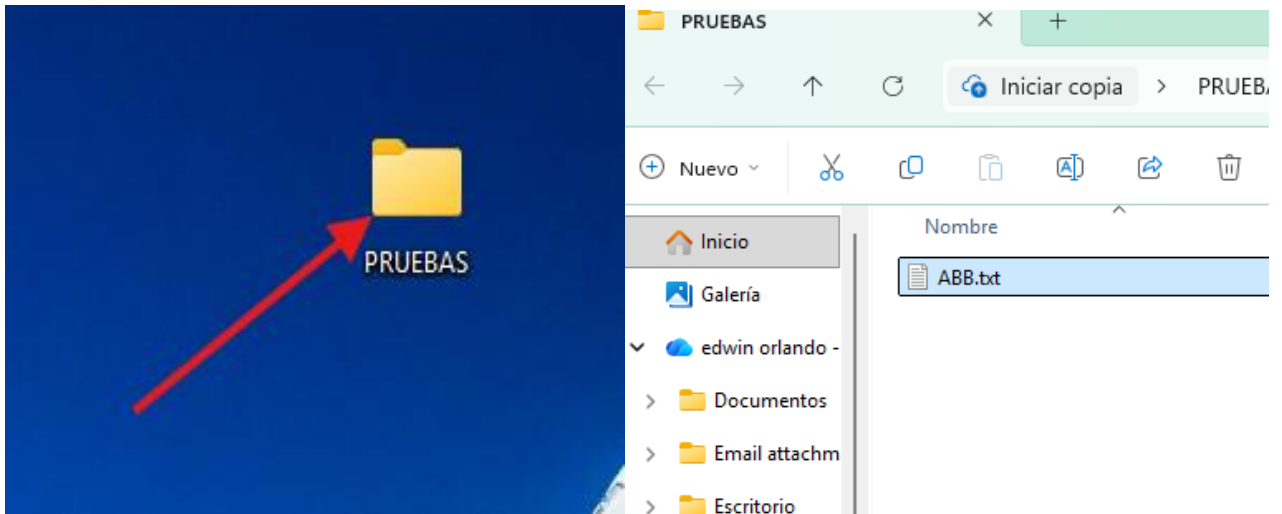
Nos situamos en el front panel de LabVIEW.



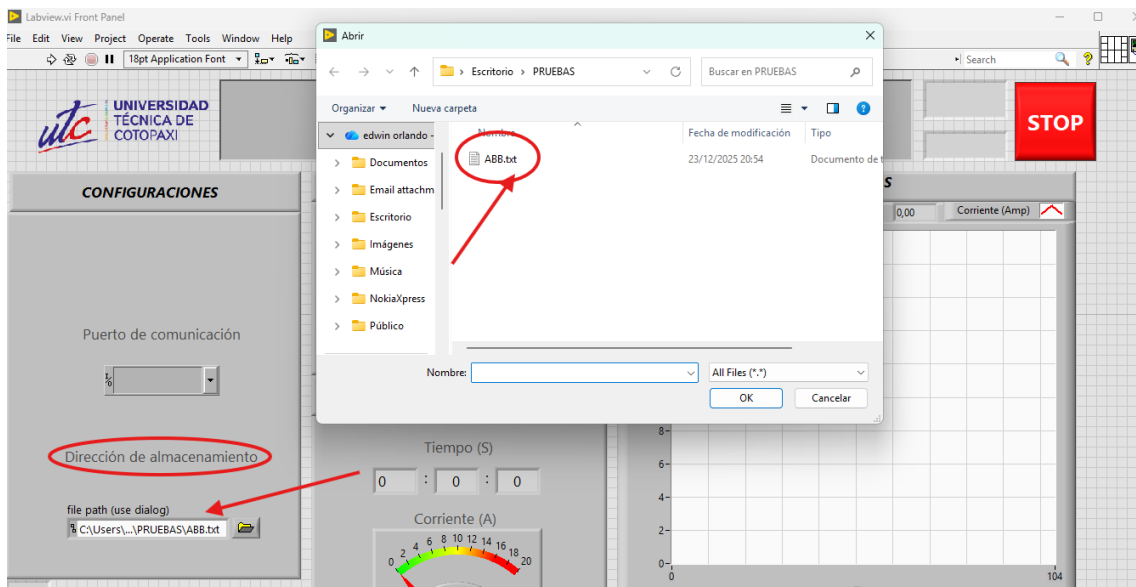
Seleccionamos en el puerto de comunicación el tipo de com que nos indique el software. (por lo general es COM3).



Seguidamente creamos una carpeta en nuestro escritorio con el nombre de pruebas, dentro de ella un archivo tipo TXT.



Nuevamente en el front panel de LabVIEW en la sección de dirección de almacenamiento ubicamos el archivo creado anteriormente de la carpeta de pruebas.



5. Ensamblaje del modulo

Las bases utilizadas en el sistema cuentan con secciones fijas y móviles que permiten ubicar de manera ordenada los módulos de carga, los interruptores MCB y el módulo de comunicación del sensor. Una vez ensamblados, el conjunto queda dispuesto para iniciar las pruebas correspondientes. Es importante considerar que las cargas se encuentran instaladas en la parte superior e inferior de las rejillas y el módulo de comunicación, mientras que en la zona central se ubican los MCB, lo que facilita el acceso y la visualización durante las prácticas.

El sistema opera con una alimentación de 127 V. Para garantizar estabilidad y seguridad, el anaquel debe asegurarse mediante los seguros ubicados en sus patas, evitando cualquier desplazamiento durante el uso. El cableado empleado corresponde a un conductor calibre #12, seleccionado conforme a los criterios establecidos en la normativa NEC SB IE.

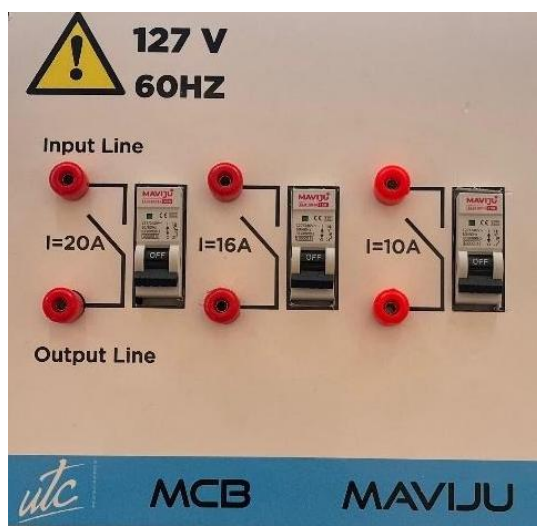


5.1 Partes del módulo.

Módulo de MCB

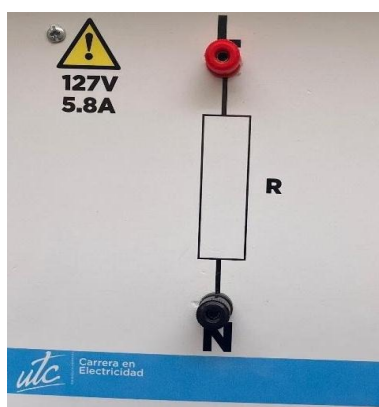
Comenzaremos familiarizándonos con la caja de breakers que se utilizará en esta práctica. Esta unidad contiene tres interruptores automáticos (breakers), cada uno con una capacidad de ruptura distinta, lo que permite observar su comportamiento frente a diferentes niveles de corriente de falla. Todos los breakers de esta caja pertenecen a la misma marca, lo que garantiza uniformidad en sus características de fabricación.

En cambio, las demás cajas disponibles para comparación cuentan con breakers de distintas marcas, pero mantienen la misma capacidad de ruptura. Esta configuración está pensada para analizar cómo varía el desempeño entre fabricantes bajo condiciones eléctricas equivalentes.



Módulo de Carga

Este módulo creado con una resistencia genera energía calorífica que consume un aproximado de 5.8 A alimentado a 127V.



Sistema de Medición

El sistema de medición de corriente y tiempo de operación está alimentando el neutro que viene la fuente principal a cada una de las cargas correspondiente y la comunicación con el ordenador mediante un cable USB.



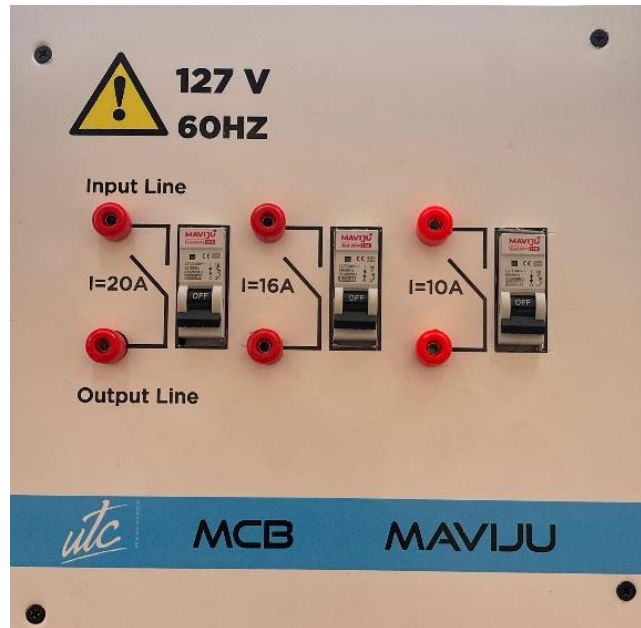
Alimentación del Modulo

El apartado consta de un seccionador ON – OFF.

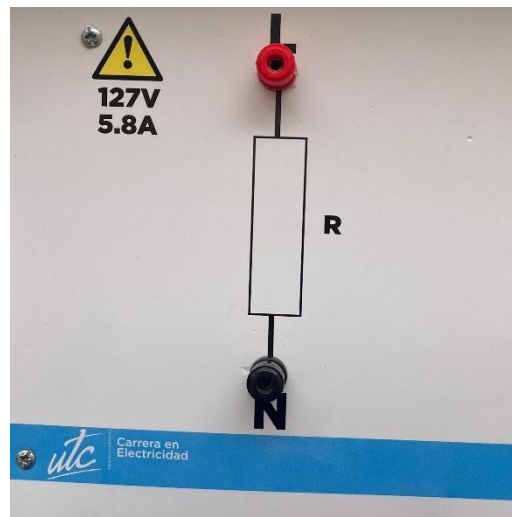


6. Conexión de breakers para operación (por sobrecarga).

Iniciaremos conociendo la caja de breakers a utilizar, contiene 3 breakers de diferente capacidad de ruptura. Estos breakers serán de la misma marca en esta caja. Las otras cajas tendrán diferente marca, pero la misma capacidad de ruptura.



Seguidamente tendremos las unidades de carga. Estas cargas cada una representa una corriente de 5,8 A.



El sistema de medición de corriente y tiempo de operación serán conectadas a través de un conjunto de cargas asociadas a los breakers y a un ordenador para la obtención de resultados.



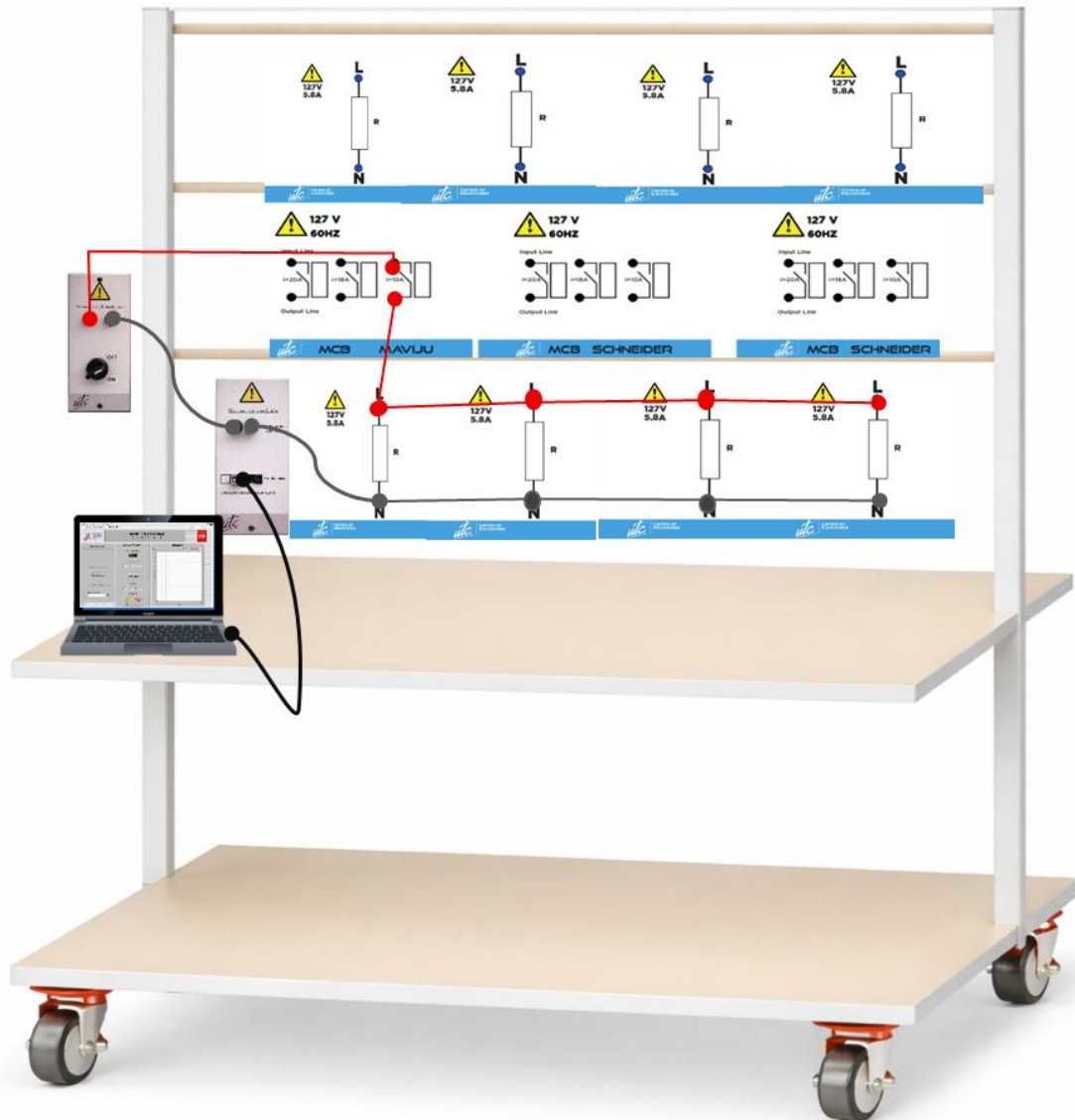
El apartado de alimentación del modulo consta de un seccionador ON – OFF.



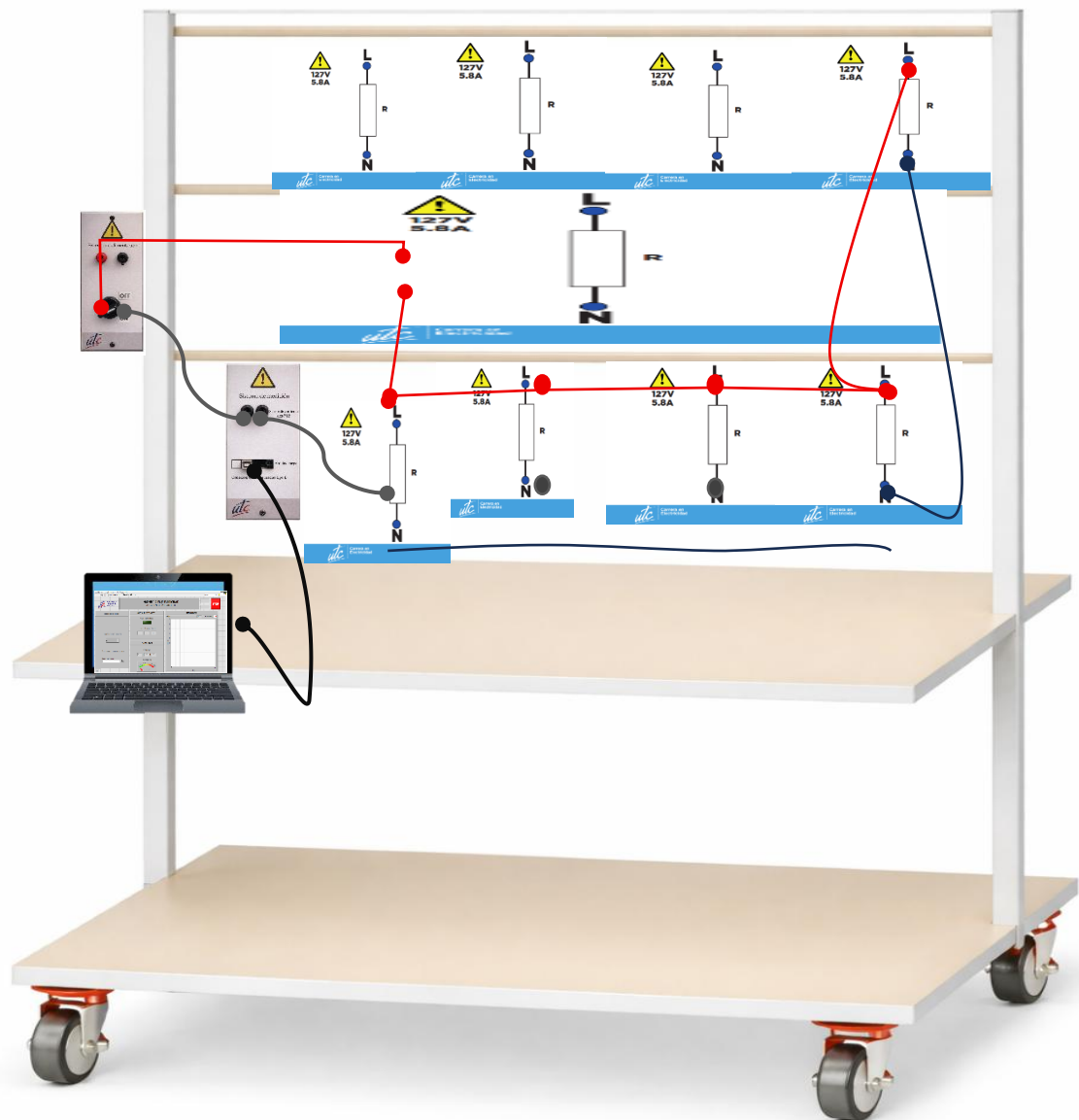
6.1 Armado paso a paso por sobrecargas.

Breaker 10 A.

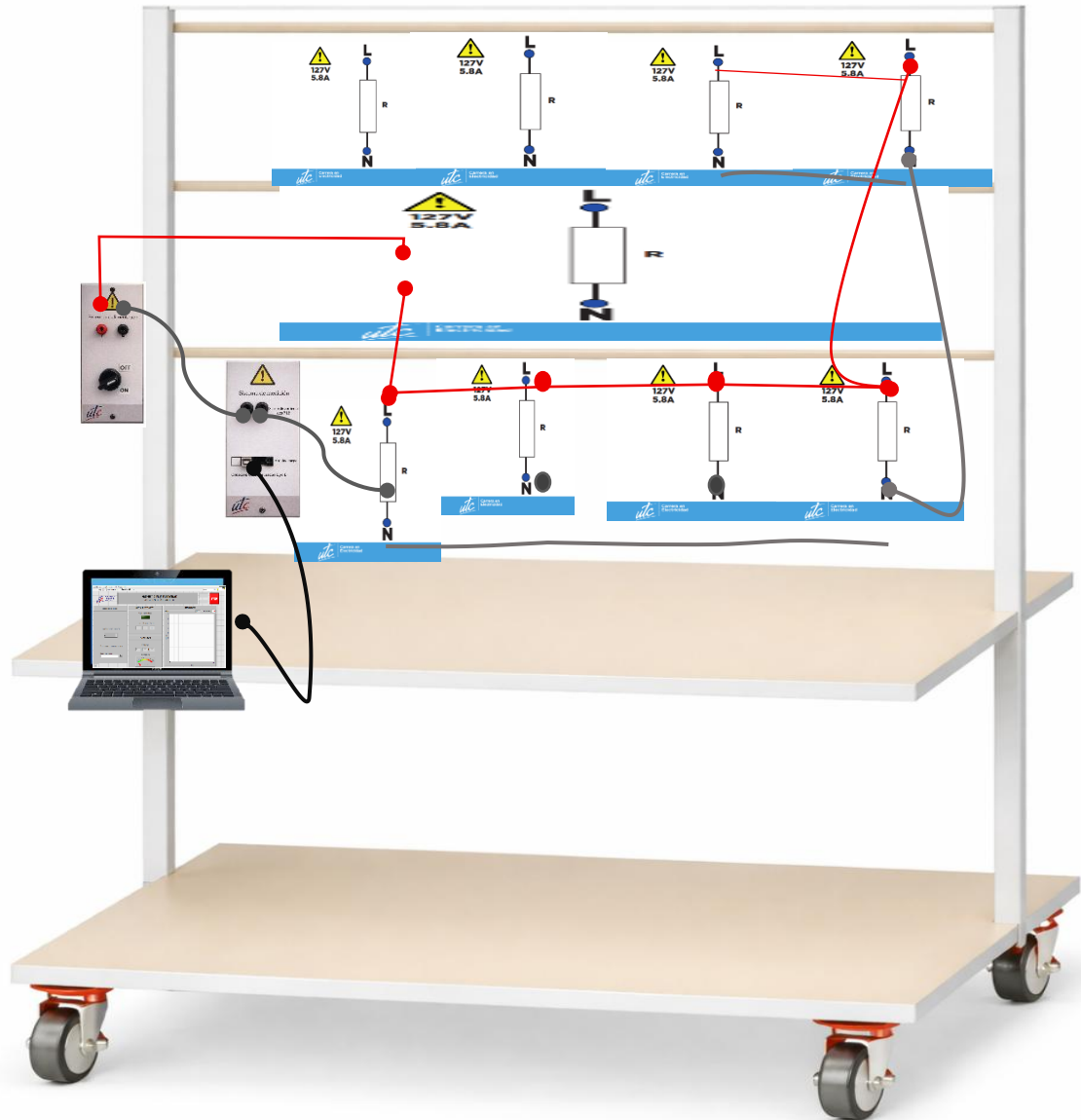
Para arrancar con las pruebas de sobrecarga para el MCB 10A (utilizar 4 cargas).



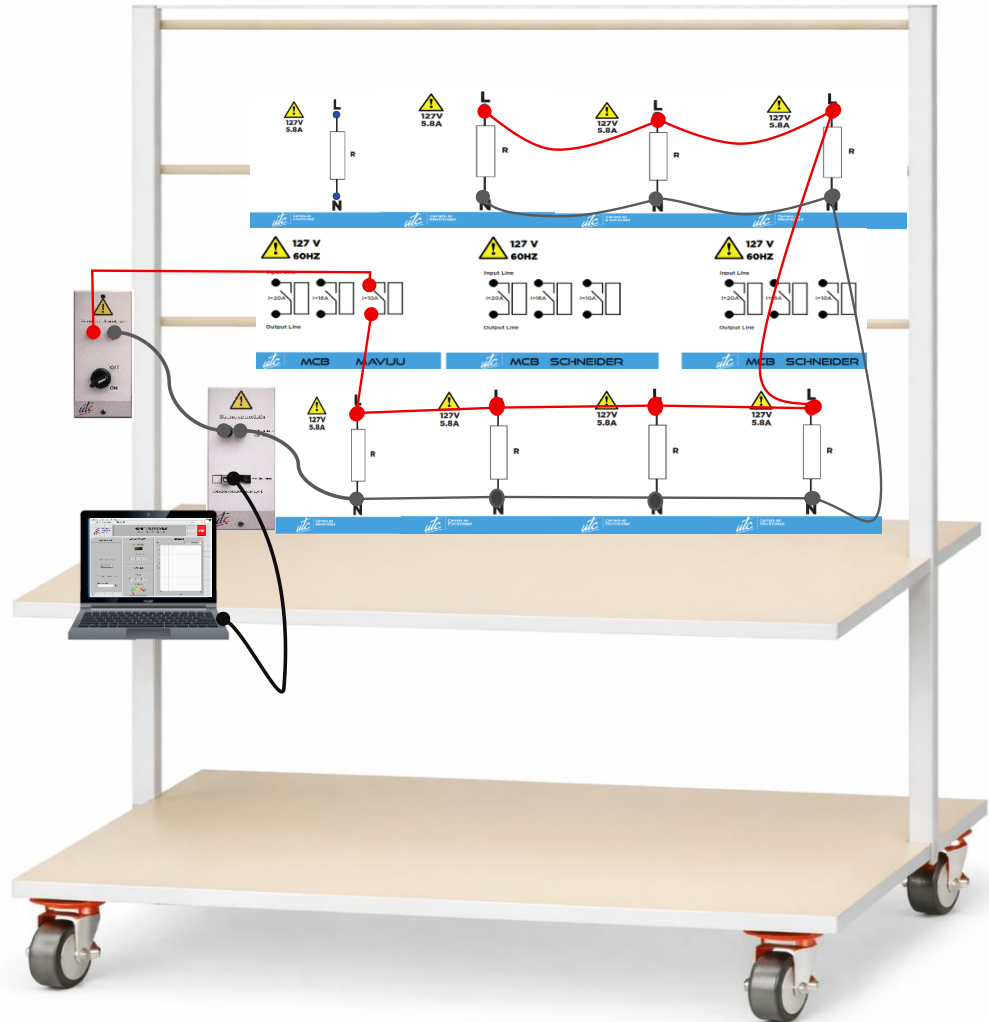
Prueba de sobrecarga para el MCB 10A (5 cargas)



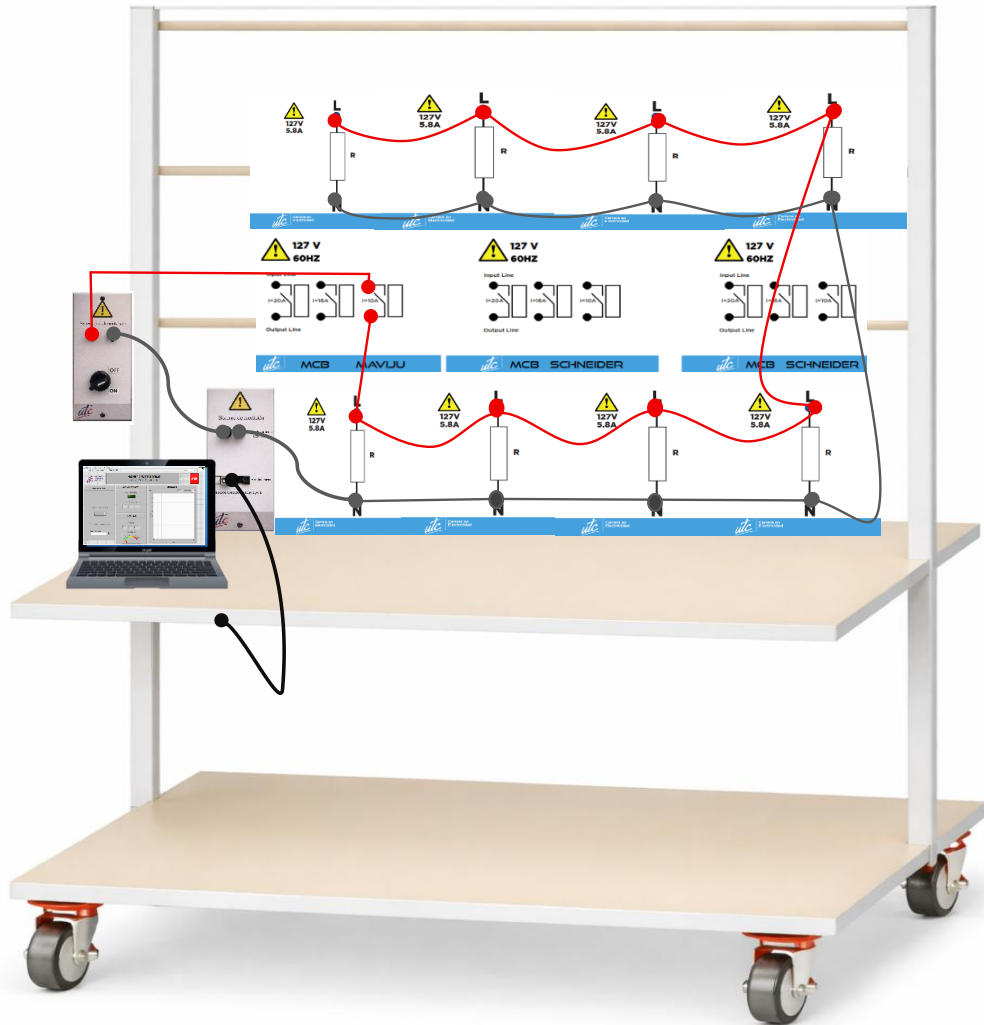
Prueba de sobrecarga para el MCB 10A (6 cargas)



Incrementamos una unidad de carga más (7 unidades).

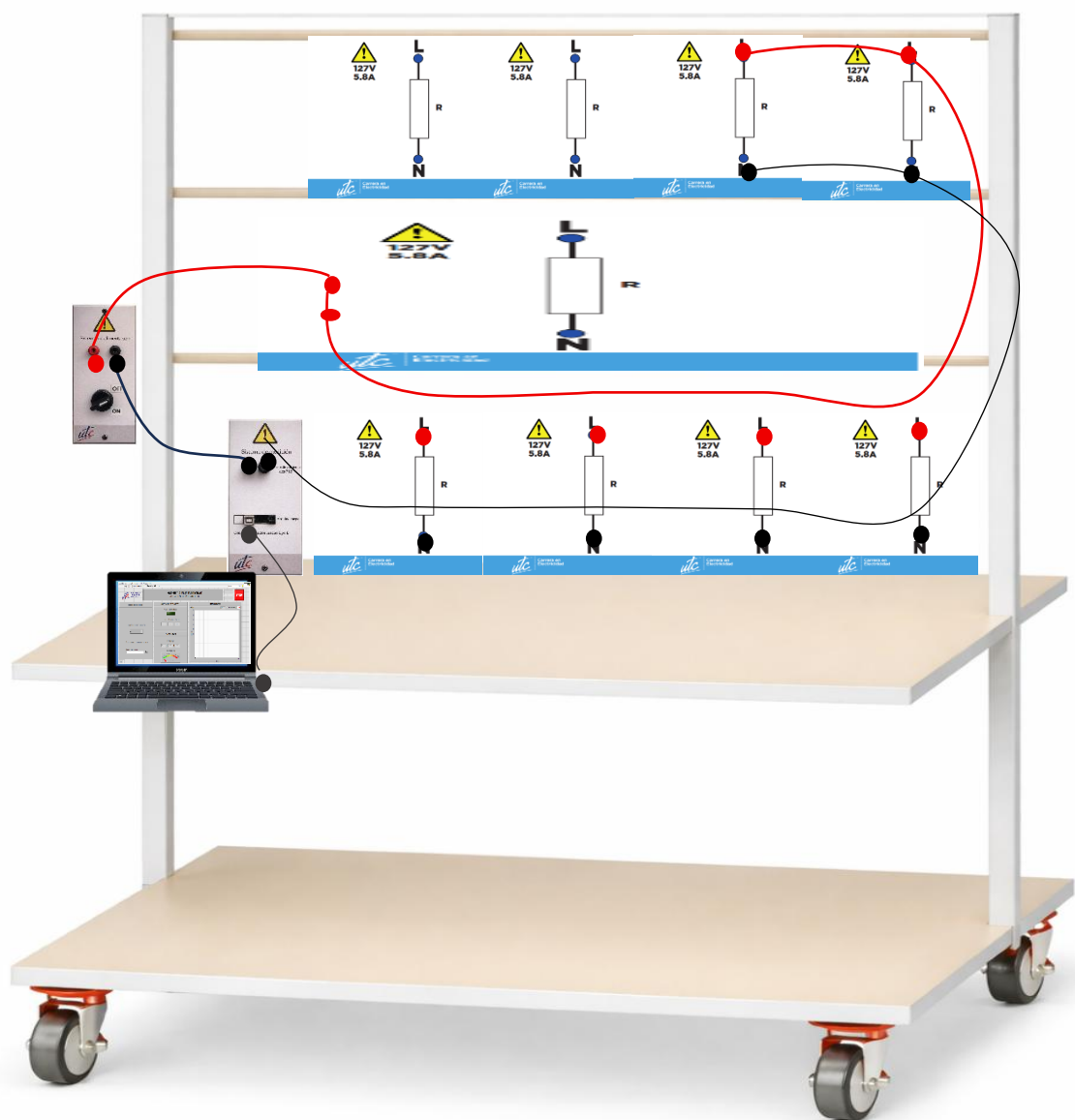


Incrementamos una unidad de carga más (8 unidades).

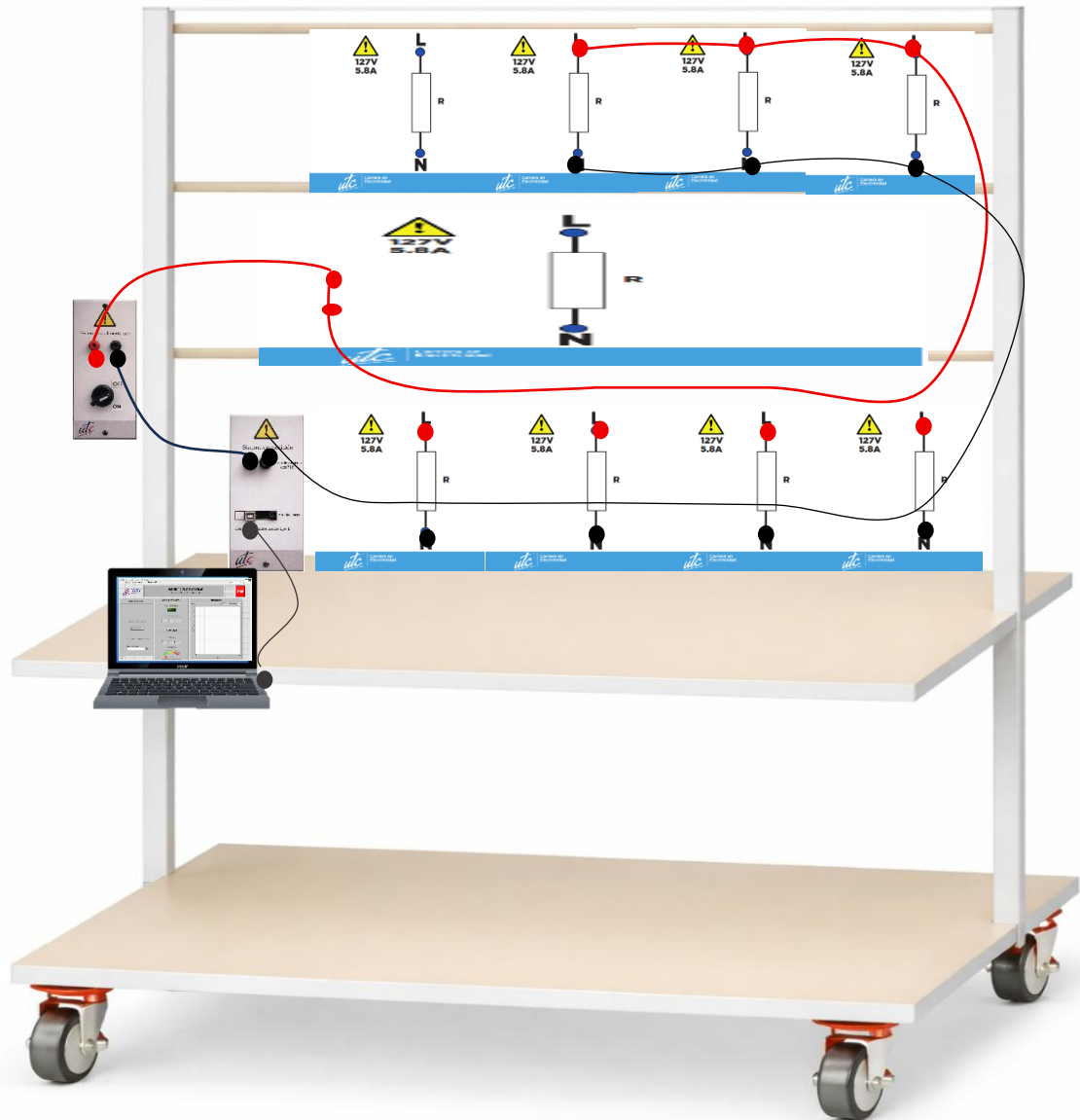


Breaker 16 A.

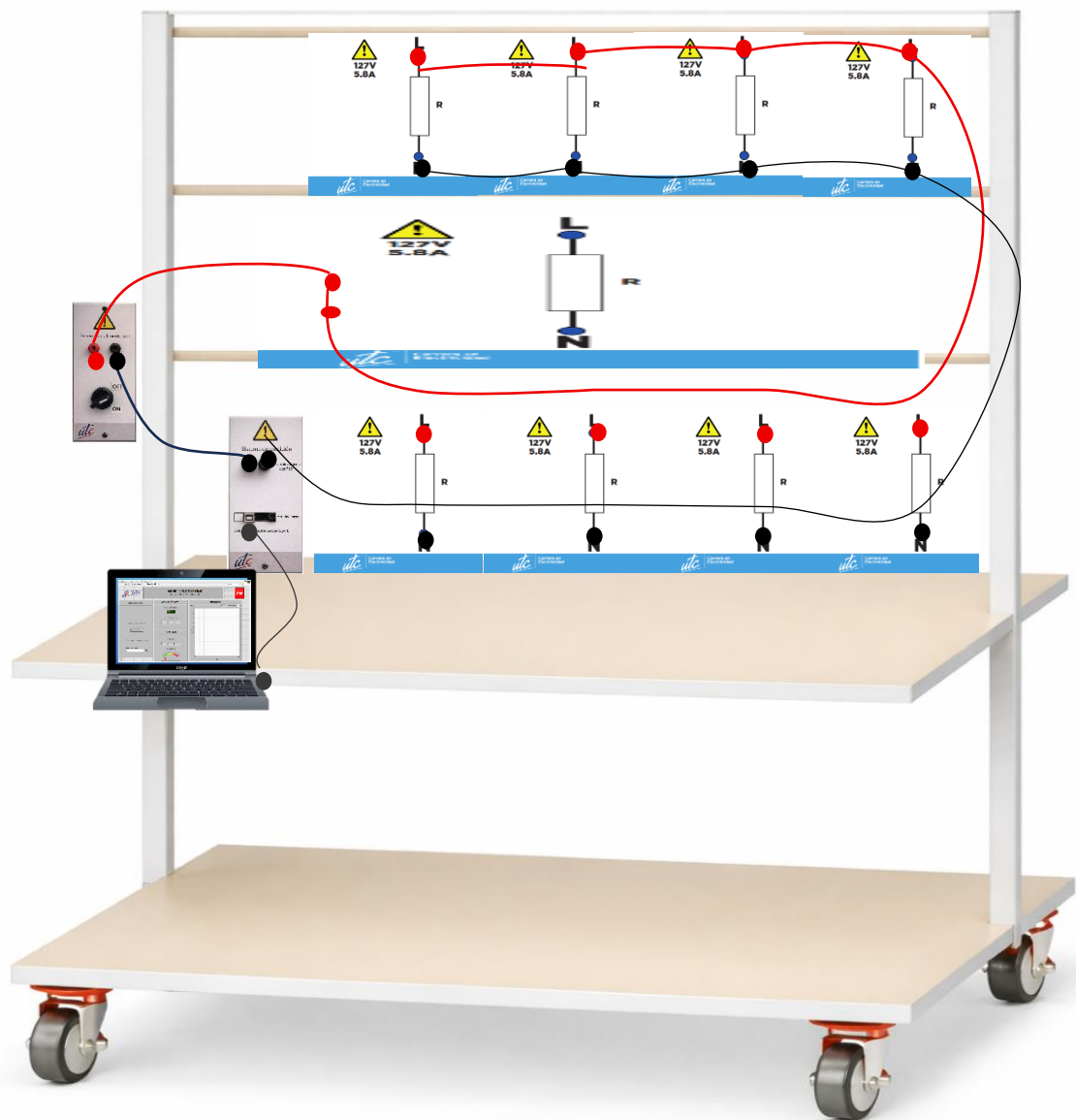
Aquí se muestra el diagrama unifilar de conexión para arrancar con las pruebas.
(iniciar con 6 módulos de carga).



Continuamos añadiendo unidades de carga (7 unidades).

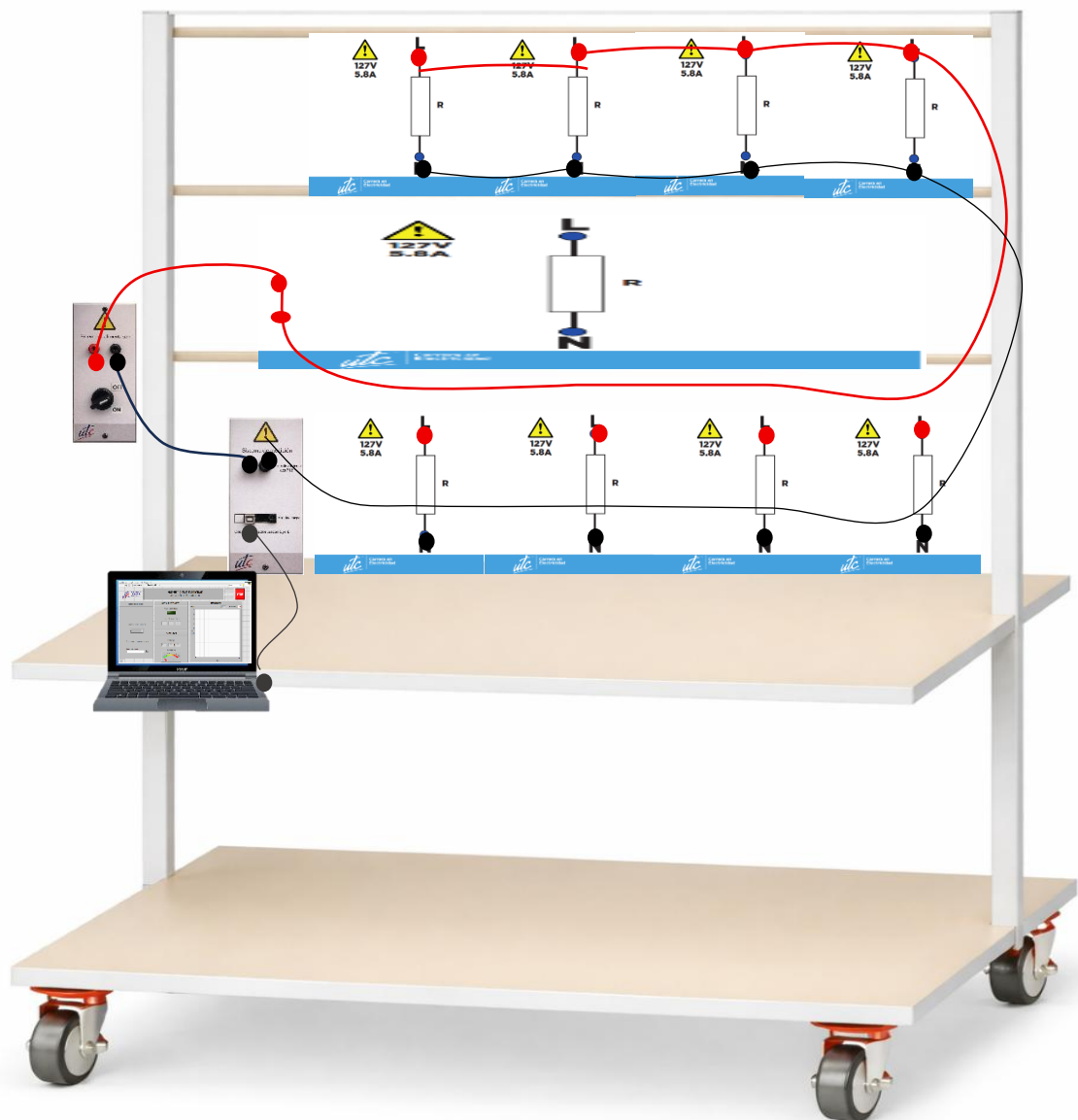


Añadimos la última unidad de carga para este breaker (8 unidades).



Breaker de 20 A.

Se muestra el diagrama unifilar de conexión para arrancar con las pruebas. (**utilizar las 8 unidades de carga**).

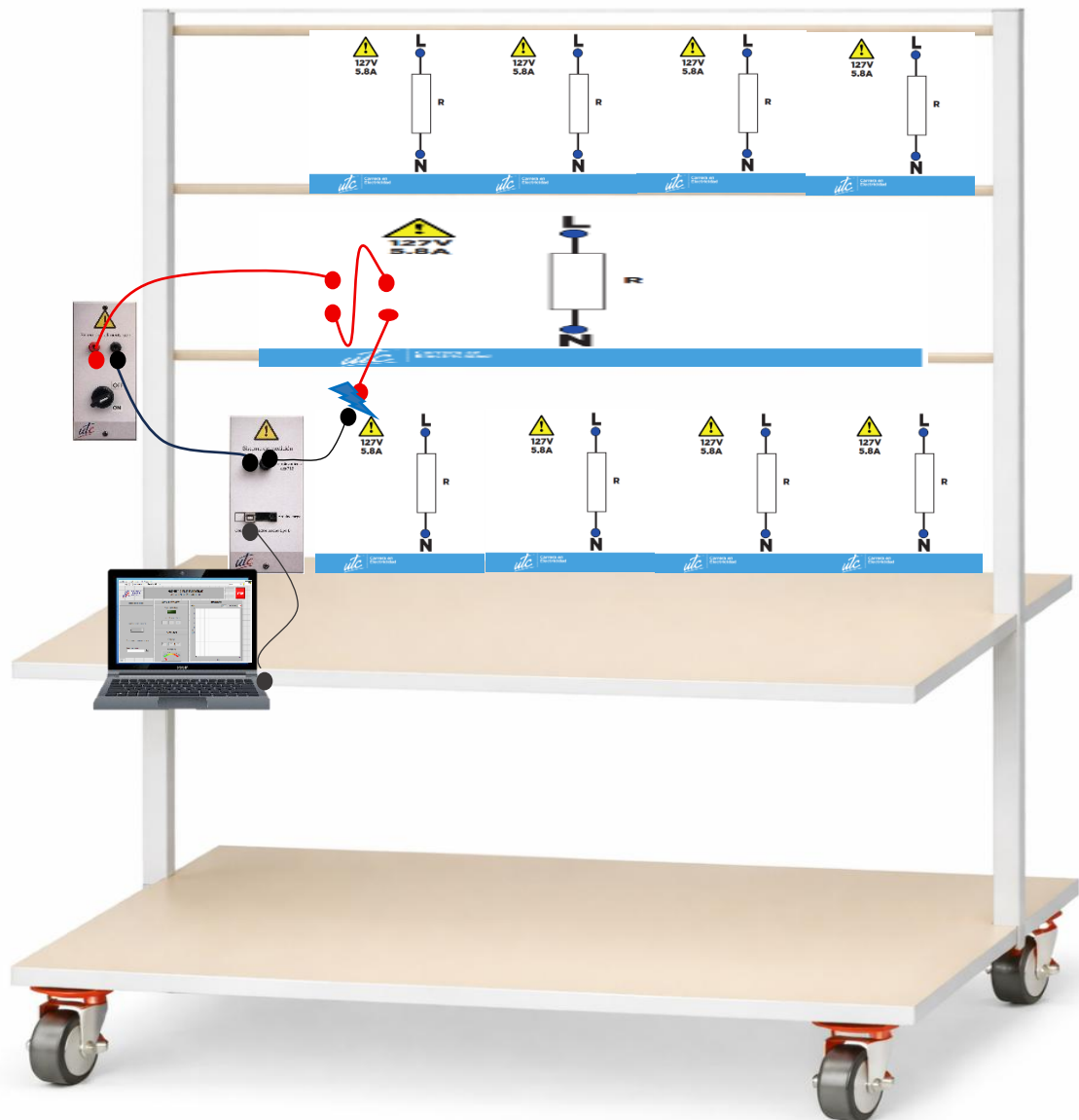


CABE MENCIONAR QUE ESTE PROCESO SE REPETIRÁ PARA LOS SIGUIENTES MÓDULOS DE BREAKER RESTANTES.

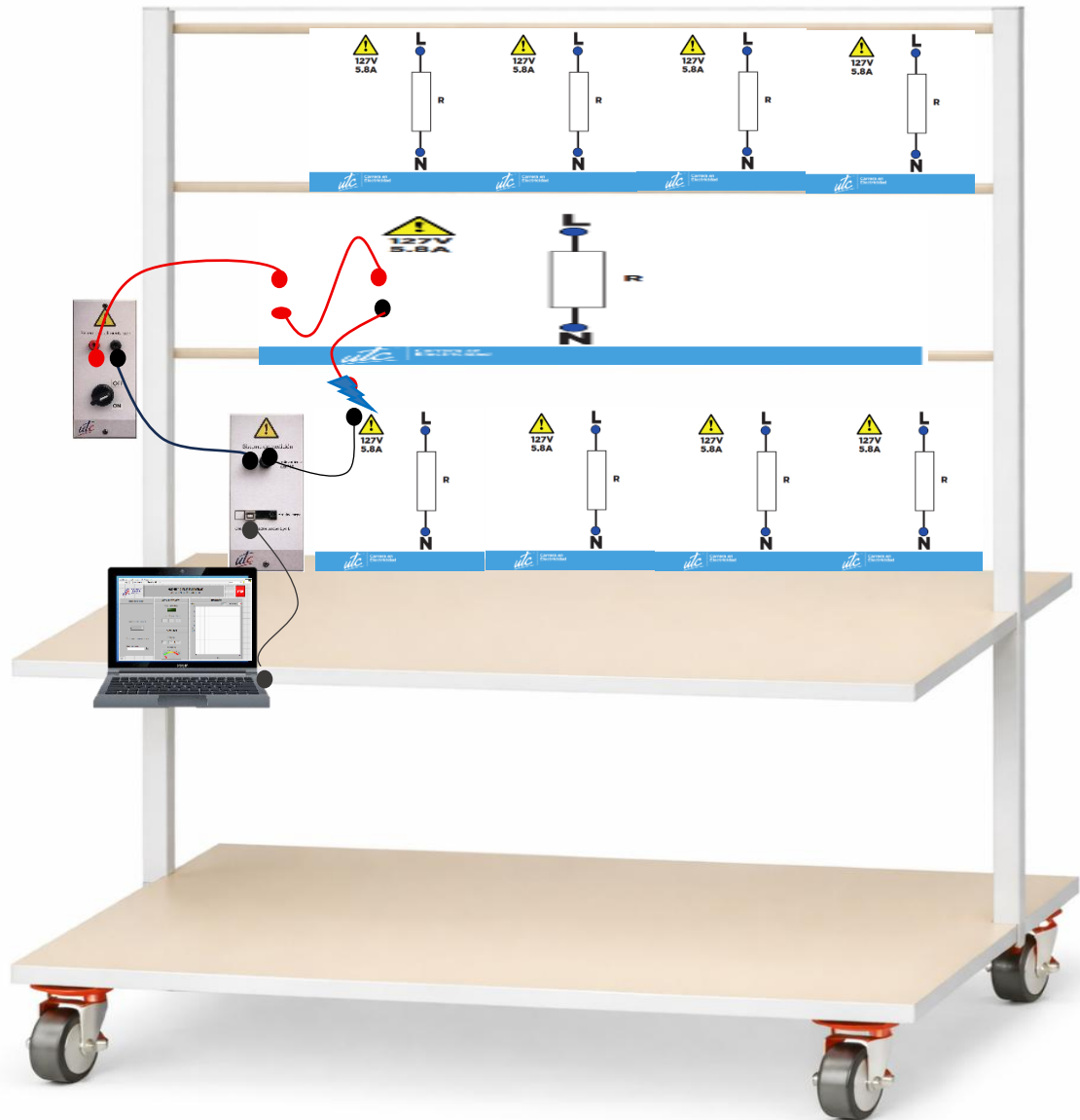
6.2 Conexión de breakers para operación (por cortocircuito).

En este apartado se harán 3 combinaciones para obtener datos de operación.

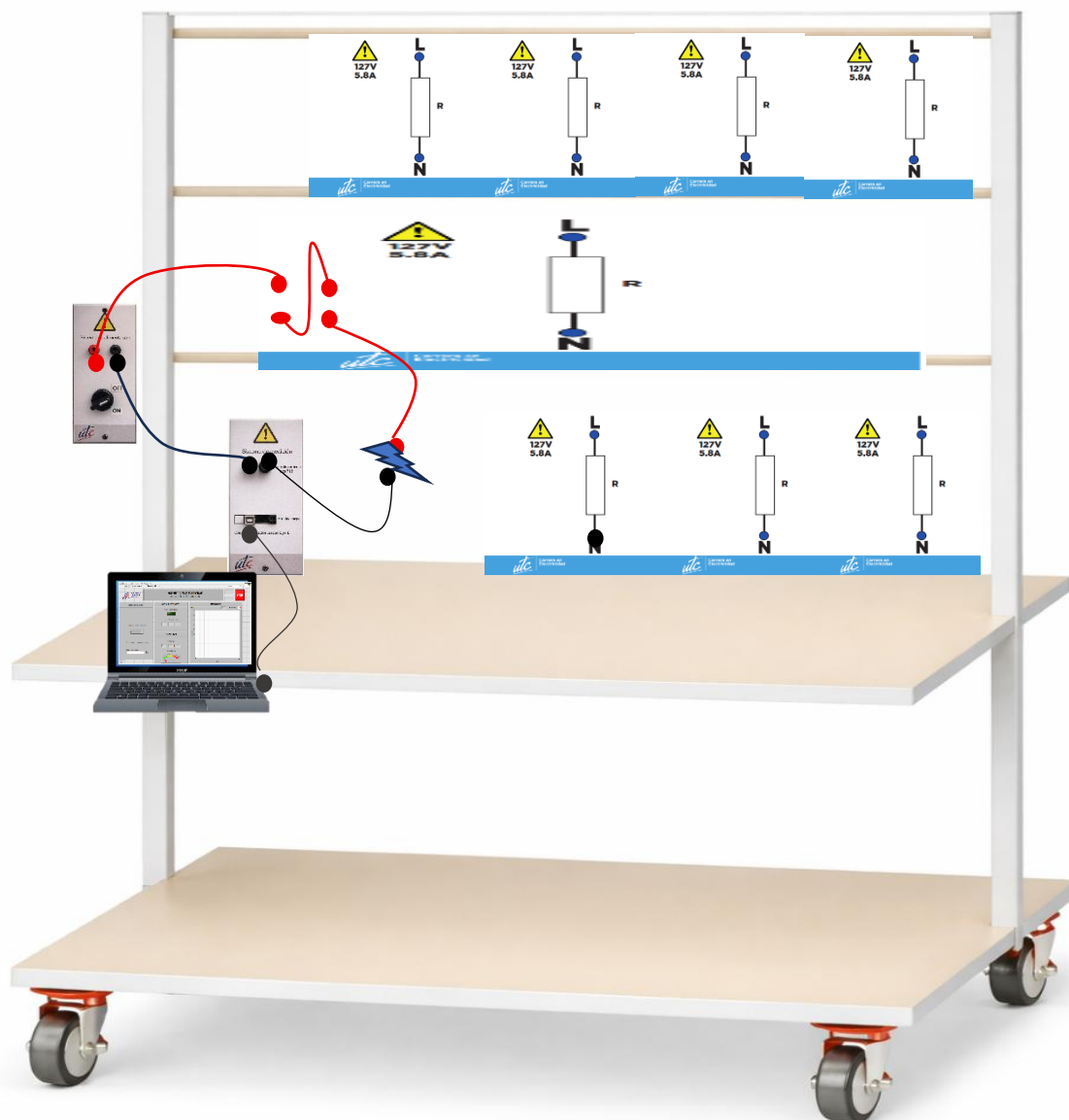
Conexión 10 A – 16 A.



Conexión 10 A – 20 A.



Conexión 16 A – 20 A.



CABE MENCIONAR QUE ESTE PROCESO SE REPETIRÁ PARA LOS SIGUIENTES MÓDULOS DE BREAKER RESTANTES.

7. Procedimientos de operación.

7.1 Encendido y apagado paso a paso.

El encendido sera siguiendo las siguientes instrucciones:

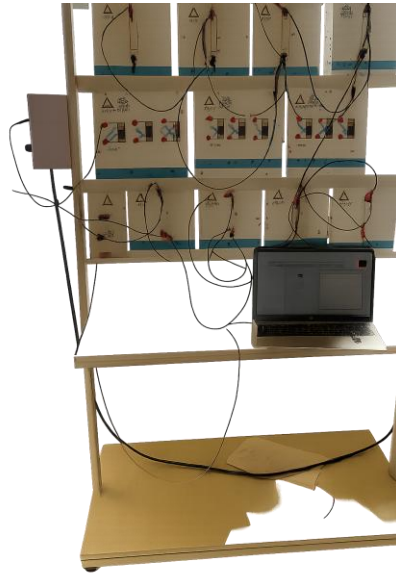
Con el módulo sin energizar nos cercioramos que todas las cajas de breakers estén en modo (off). Tanto como el switch de on off.



Enchufamos el módulo a la alimentación eléctrica (127 V).



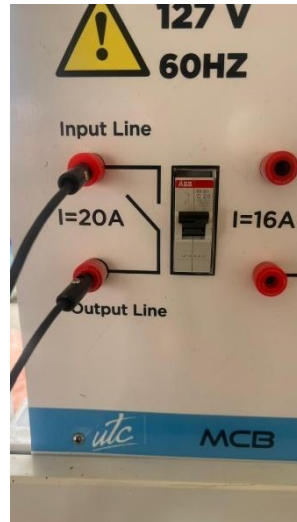
Realizamos las conexiones para las pruebas de los mini circuit breakers. Esto en modo off durante todo el proceso. (estas conexiones se detallarán más adelante).



Energizamos el módulo desde el switch en posición ON.



Energizamos la sección de breakers para las pruebas que se van a realizar.



Una vez obtenidos los datos ubicamos en modo off los breakers, como tambien el módulo en su totalidad.



7.2 Advertencias y precauciones durante la operación.

Advertencias.

- Antes de iniciar la manipulación de este módulo, asegúrese que el área de trabajo esté libre de humedad ya que podría causar conductividad a través de los elementos y el cuerpo humano.
- Someter a más corriente de la que soporta este módulo es decir más allá de 50 A de funcionamiento.
- Dejar el módulo en funcionamiento sin la supervisión del practicante o bajo vigilancia del laboratorista.

Precauciones.

- Verificar que el módulo este correctamente conectado a la red eléctrica.
- Mantener el área de trabajo limpia y libre de objetos que puedan interferir con la práctica causando alteraciones en los resultados.
- Desconectar el módulo de la fuente de alimentación antes de realizar un ajuste y conexiones para las pruebas a realizar.
- Desconectar brevemente el módulo en caso que visualice anomalías.

8. Mantenimiento

8.1 Rutinas de inspección periódica.

- Realizar inspecciones visuales antes de cada jornada de uso para verificar el estado físico del módulo y sus conexiones.
- Revisar que en los cables de conexión no existan terminales corroídos o componentes con desgaste evidente.
- Informar cada inspección al laboratorista encargado para el control y cumplimiento de rutinas.

8.2 Limpieza y conservación.

- Limpiar el módulo únicamente con paños secos o a su vez si fuese necesario únicamente con paños ligeramente humedecidos.
- Ubicar el equipo en el lugar asignado siempre y cuando no esté en uso, evitando exposición prolongada al sol o calor extremo.

8.3 Reemplazo de piezas o consumibles.

- Se debe sustituir de inmediato cualquier componente que presente desgaste, daño físico o pérdida de funcionalidad por ej.: (jacks banana, plugs de conexión, resistencias internas de carga y breakers).
- Llevar un registro con la fecha y tipo de pieza reemplazada para mantener un historial de mantenimiento actualizado.

9. Solución de Problemas.

9.1 Tabla con problemas comunes, causas posibles y soluciones rápidas.

Problema común	Causa posible	Solución rápida
El módulo no enciende	Fuente de alimentación desconectada o cable dañado	Verificar conexión eléctrica y sustituir el cable si presenta fallas
Lecturas de tiempo inexactas	Calibración incorrecta o interferencia externa	Recalibrar el sensor acs 712 en arduino a un valor de 0.046 en la fila 1 float sensibilidad (ver video del enlace titulado arduino.mp4 al tiempo 0:46).
Sobrecalentamiento del módulo	Uso prolongado o ventilación insuficiente	Apagar el módulo, dejar enfriar y mejorar la ventilación del área
Desconexión inesperada durante la prueba	Conexiones flojas o terminales corroídos	Ajustar las conexiones y limpiar terminales con productos adecuados
Resultados no registrados	No haber asignado un archivo txt	Crear un nuevo archivo y darle dirección para guardar los datos.
Ruido anormal durante la operación	Piezas internas sueltas o desgaste mecánico	Detener la operación y revisar fijaciones; reemplazar piezas defectuosas

10. Normas de Seguridad

10.1 Riesgos asociados al prototipo.

Los riesgos más críticos son incendios, electrocución y daños irreversibles a los equipos por lo cual se mencionarán algunos que se podían efectuar al poner en funcionamiento inadecuado del prototipo.

Incendios electricos: una sobrecarga prolongada puede aumentar la temperatura de los conductores así provocar ignición de materiales cercanos.

Riesgos de electrocución: durante las pruebas sin el aislamiento o descuido de manipulación puede quedar expuesto a tensiones peligrosas.

Arcos electricos: en condiciones de cortocircuitos, puede provocar arcos que dañen contactos internos así puedan provocar riesgos de quemadura de los elementos oh personal que manipule estos elementos

10.2 Equipo de protección personal requerido.

Utilizar siempre EPP como guantes dieléctricos, calzado aislante, casco y gafas de protección.

10.3 Procedimientos de emergencia.

Desconexión inmediata del suministro de energía.

Este paso sera realmente util ya que el prototipo quedaría inutilizable, además asegúrese que este elemento quede totalmente desenergizado antes de intervenir.

Activar protocolos internos.

Notificar al supervisor o responsable de práctica para registrar el incidente y reponer el elemento afectado.

Control de incendio eléctrico.

Tener al alcance extintores de tipo C, siendo el adecuado para este tipo de casos y NUNCA utilizar AGUA sobre equipos energizados.

Revisión post-evento

Realizar una inspección al módulo, los MCB's y las conexiones. En caso necesario sustituir componentes dañados antes de reiniciar pruebas. Siempre y cuando siguiendo los pasos ya establecidos.

10.4 Prohibiciones

- No usar cable o herramientas no autorizadas para la conexión de los módulos.
- Alimentos, bebidas en los módulos.
- NO TOCAR los módulos de carga al realizar las pruebas.

11. Glosario

11.1 Definición de términos técnicos usados en el manual.

EPP: Equipos de protección personal.

MCB: Miniature circuit breaker.

SOBRECARGA: circuito recibe demasiada corriente (amperaje) de la que está diseñado para soportar

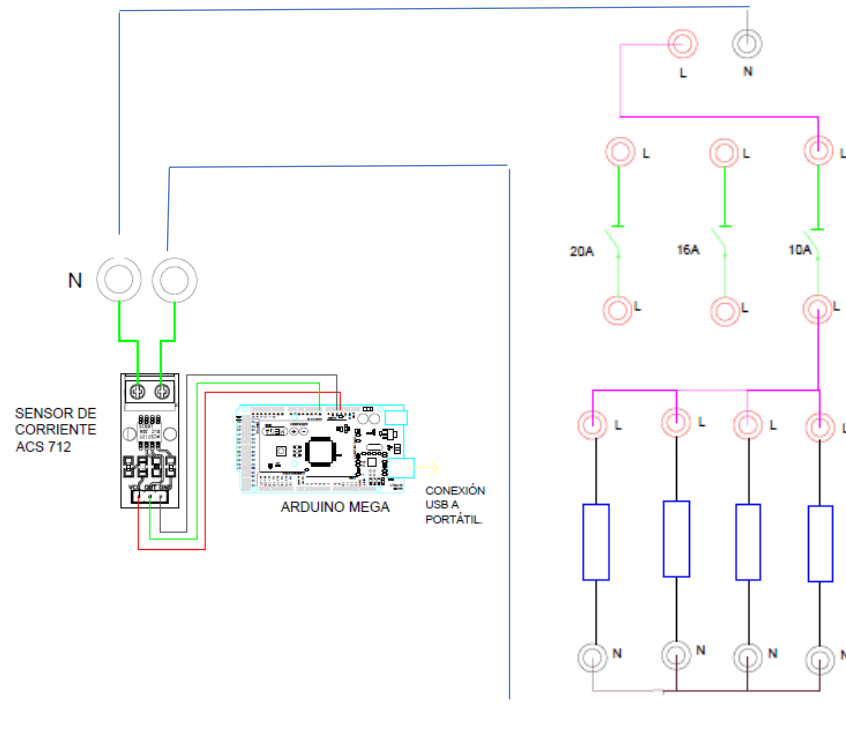
CORTOCIRCUITO: fallo eléctrico donde la corriente toma un camino anormal y de muy baja resistencia entre dos puntos de diferente potencial.

12. Anexos

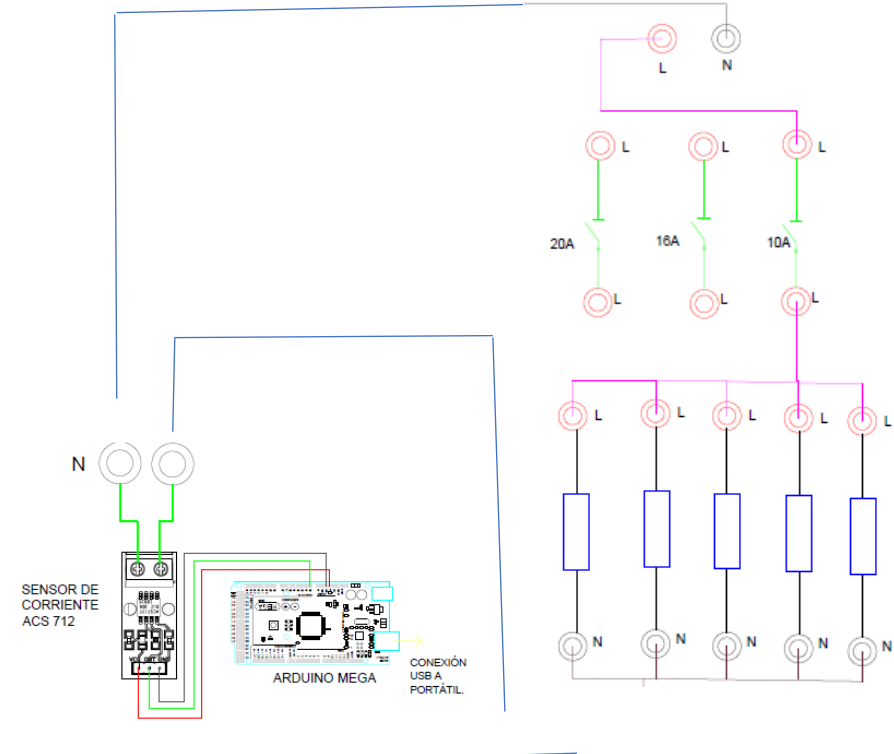
12.1 Diagramas eléctricos.

Sobrecarga 10 A.

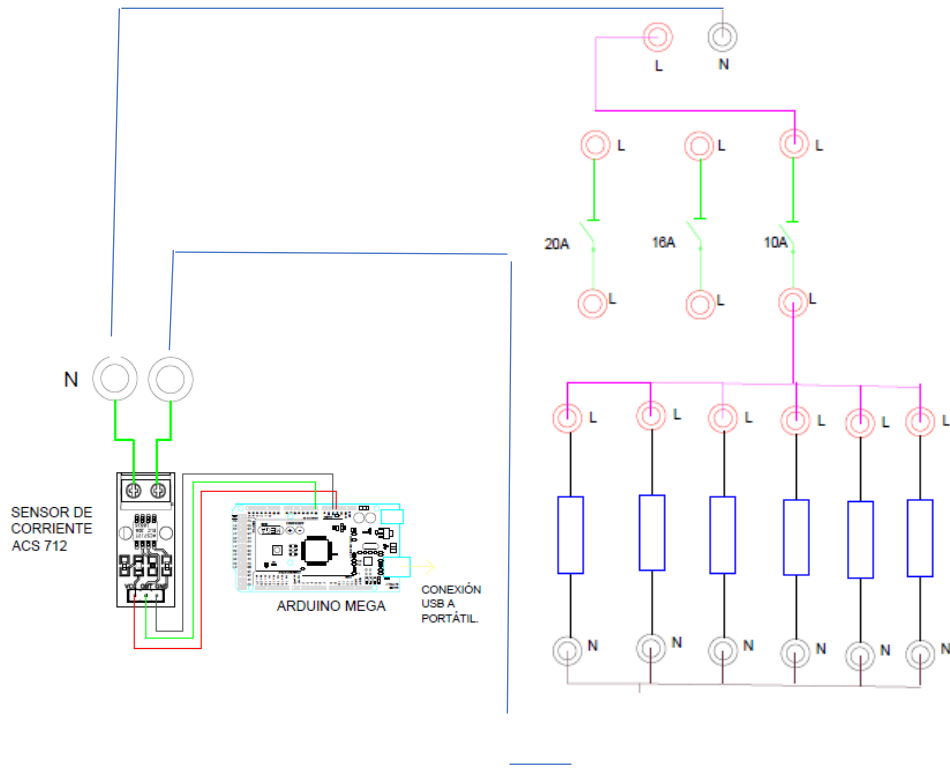
4 cargas



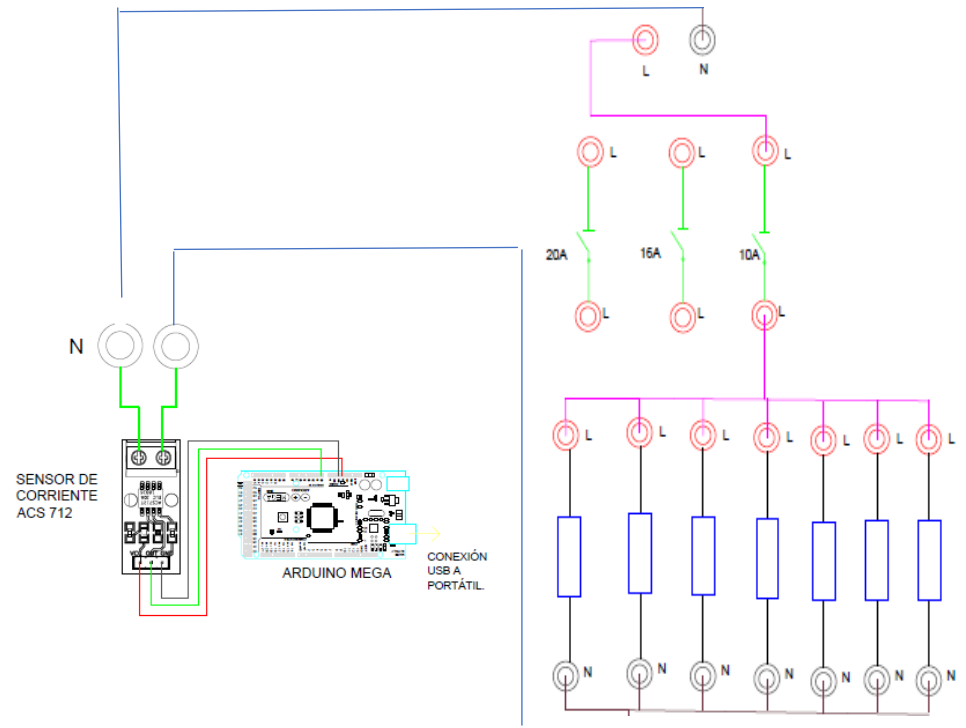
5 cargas



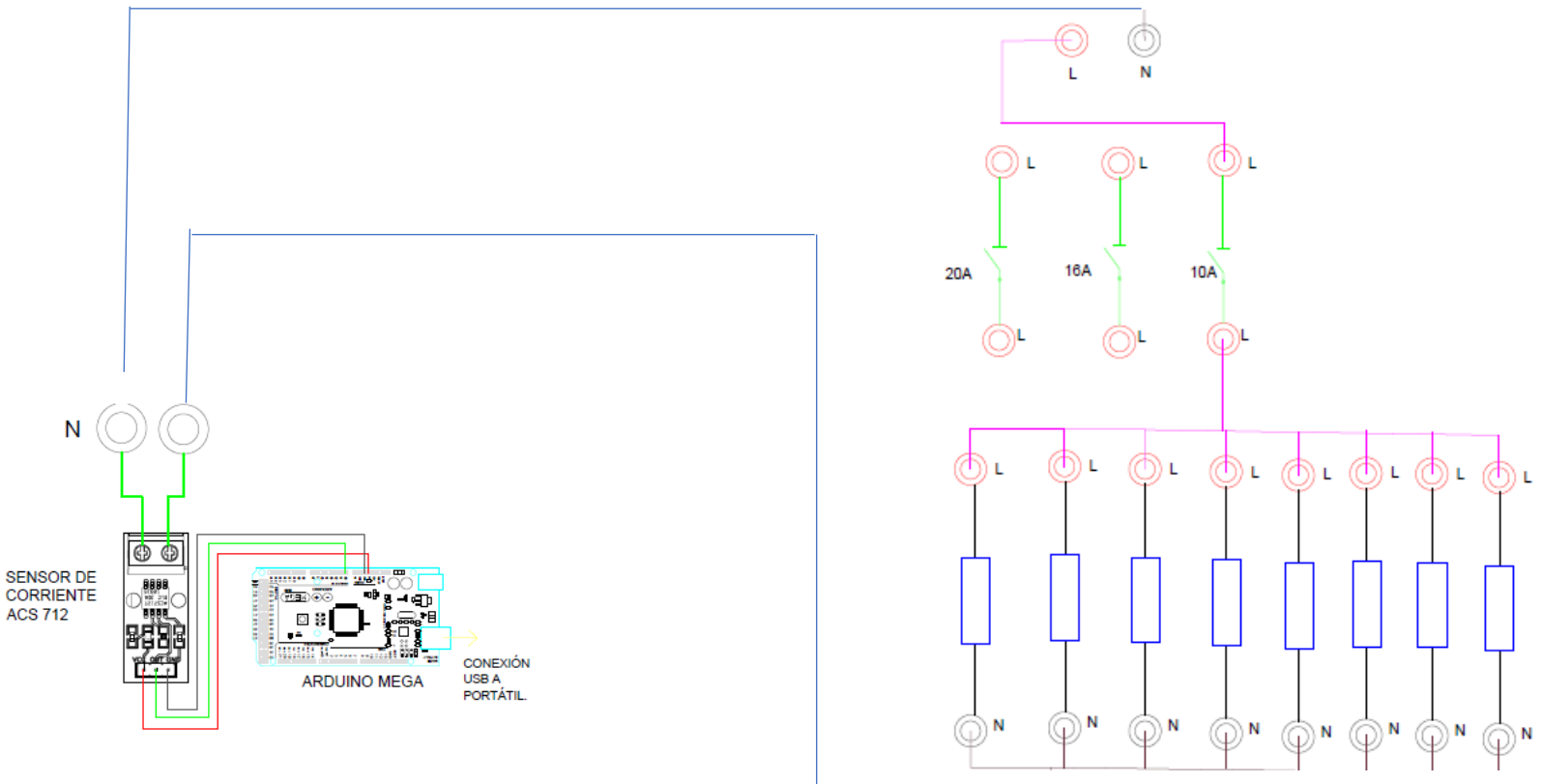
6 cargas.



7 cargas.

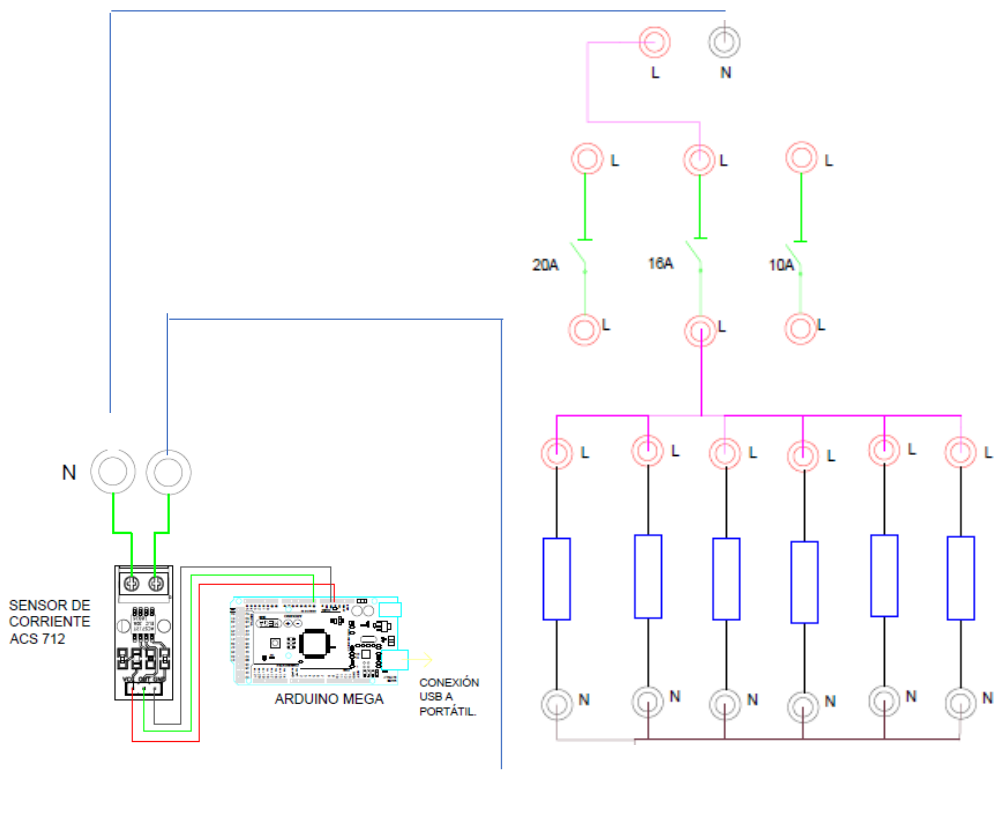


8 cargas.

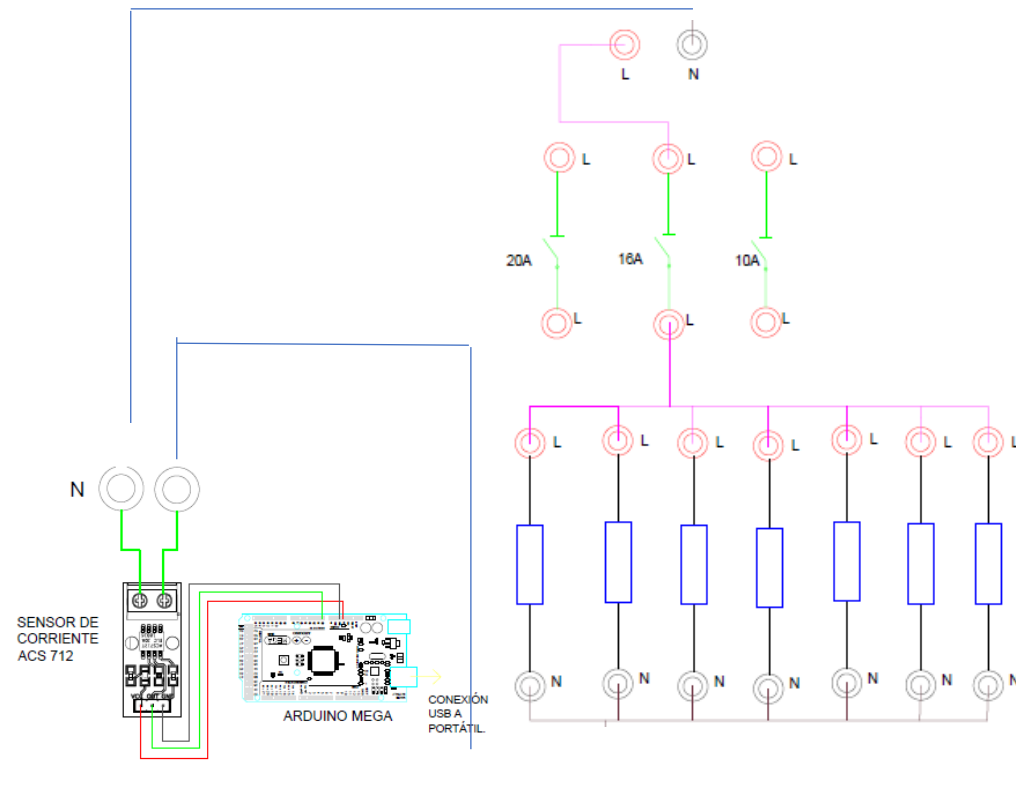


Sobrecarga 16 A.

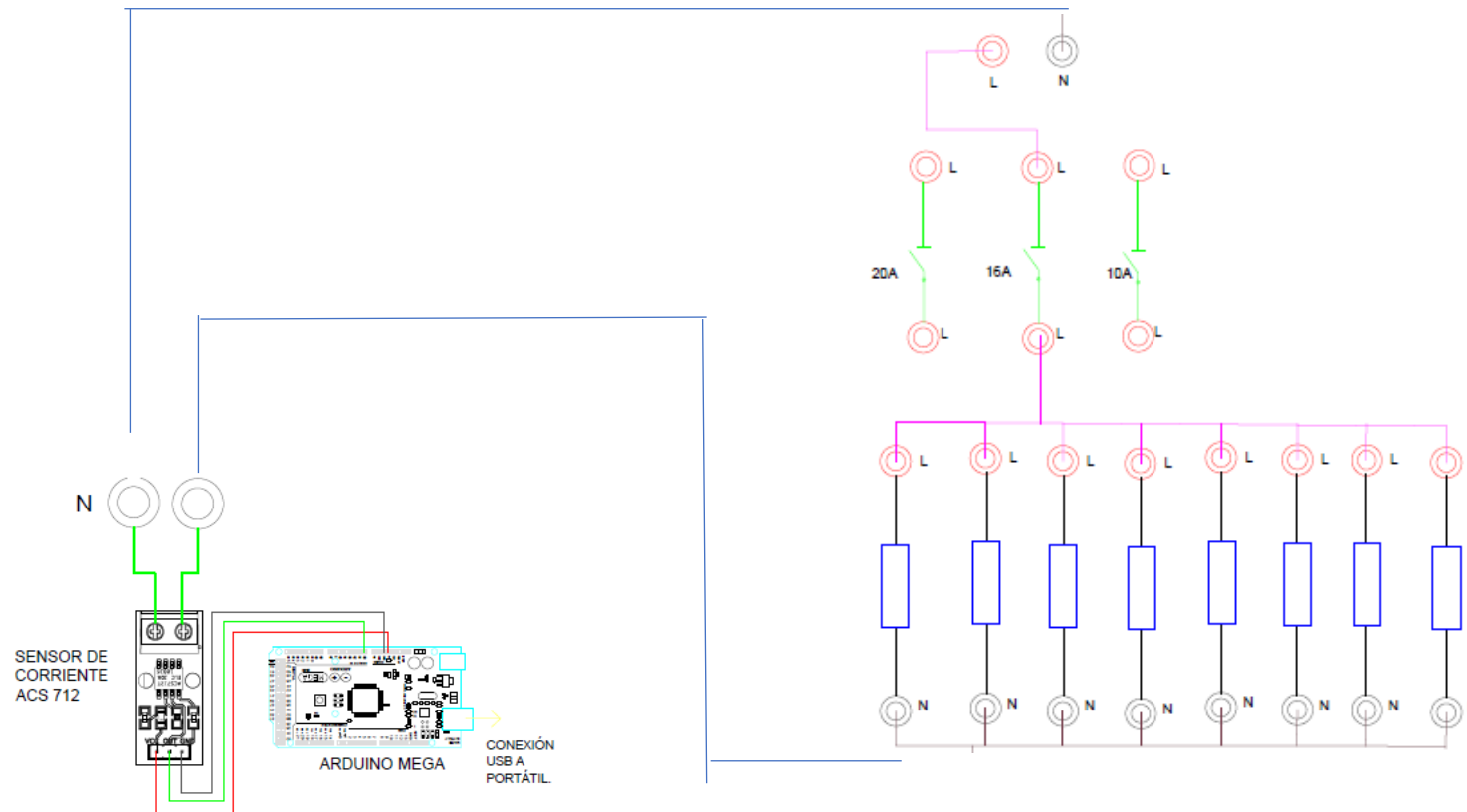
6 cargas.



7 cargas

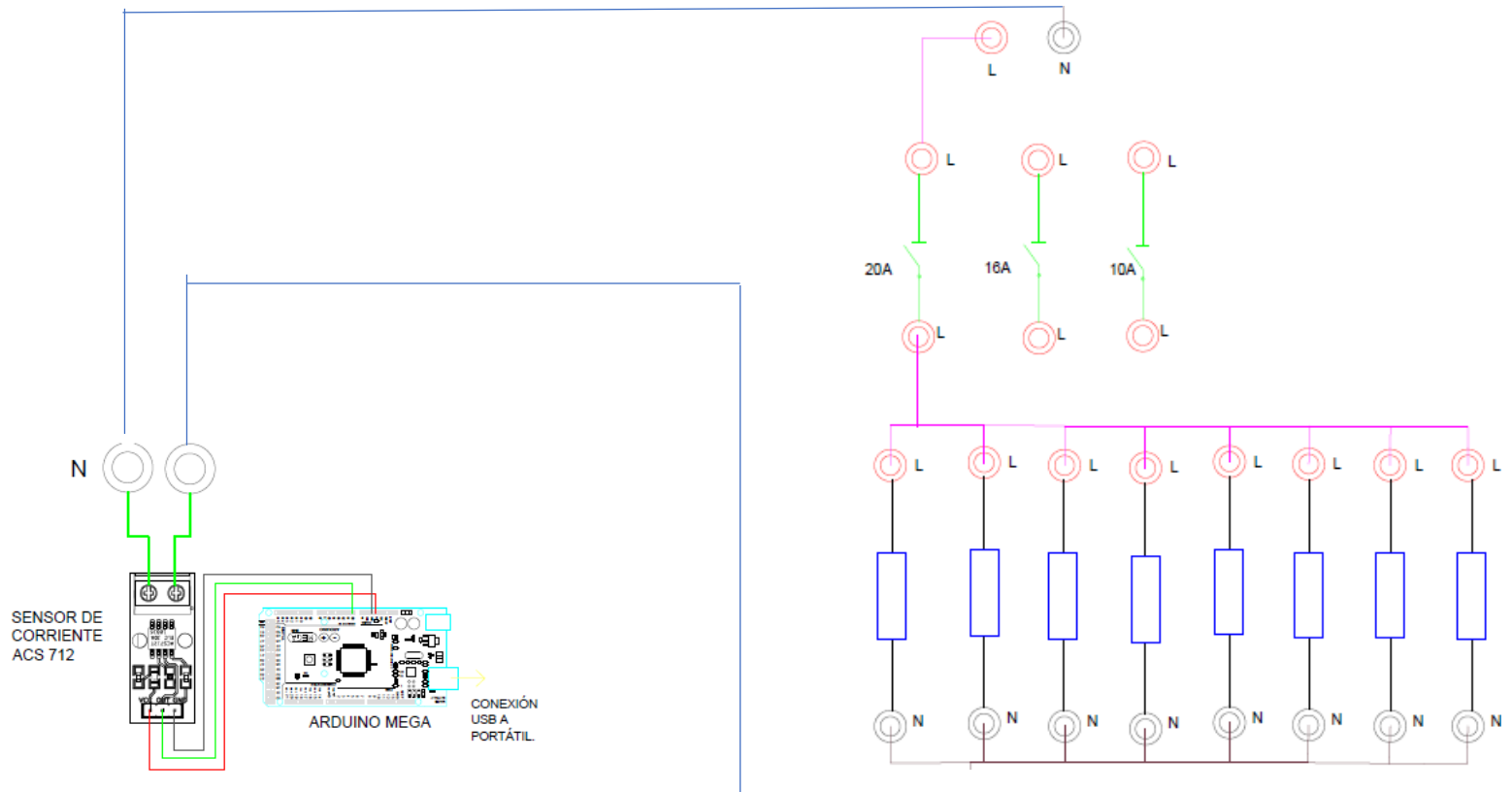


8 cargas.



SOBRECARGA 20 A.

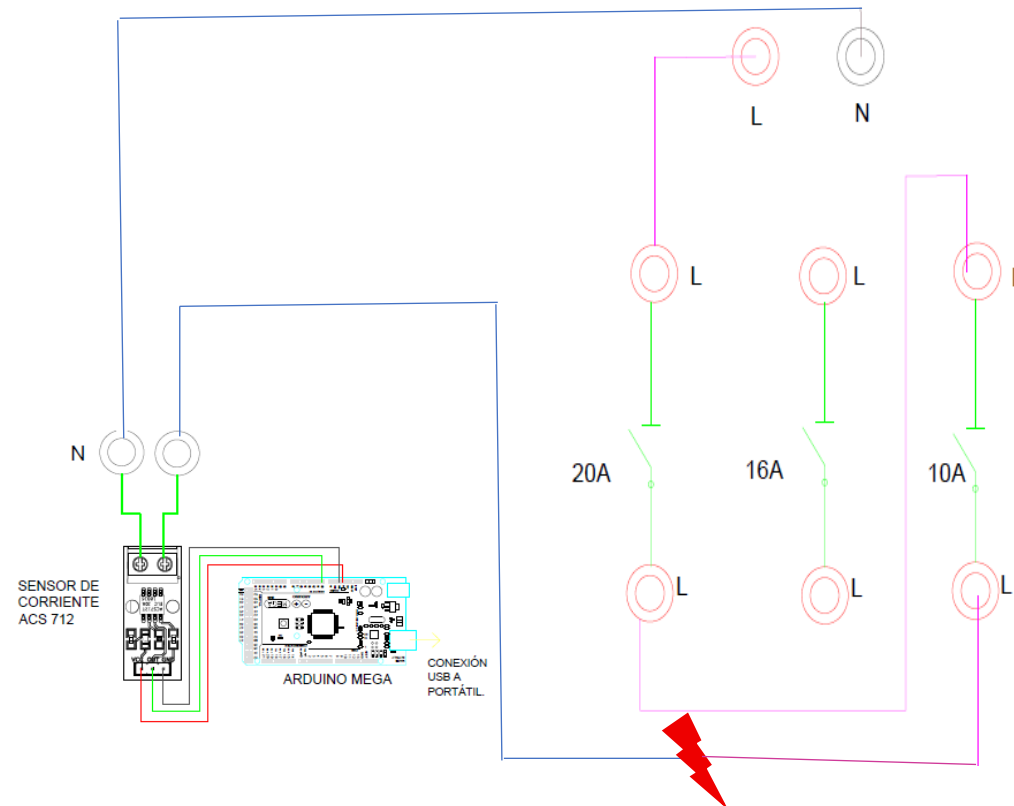
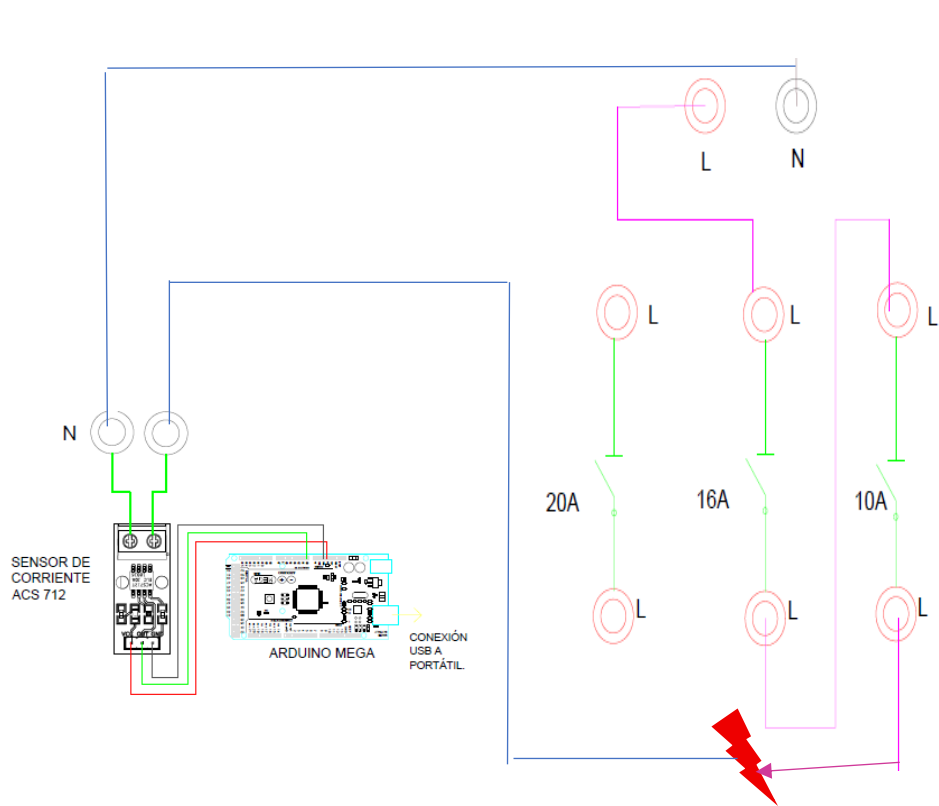
8 CARGAS TOTALES.



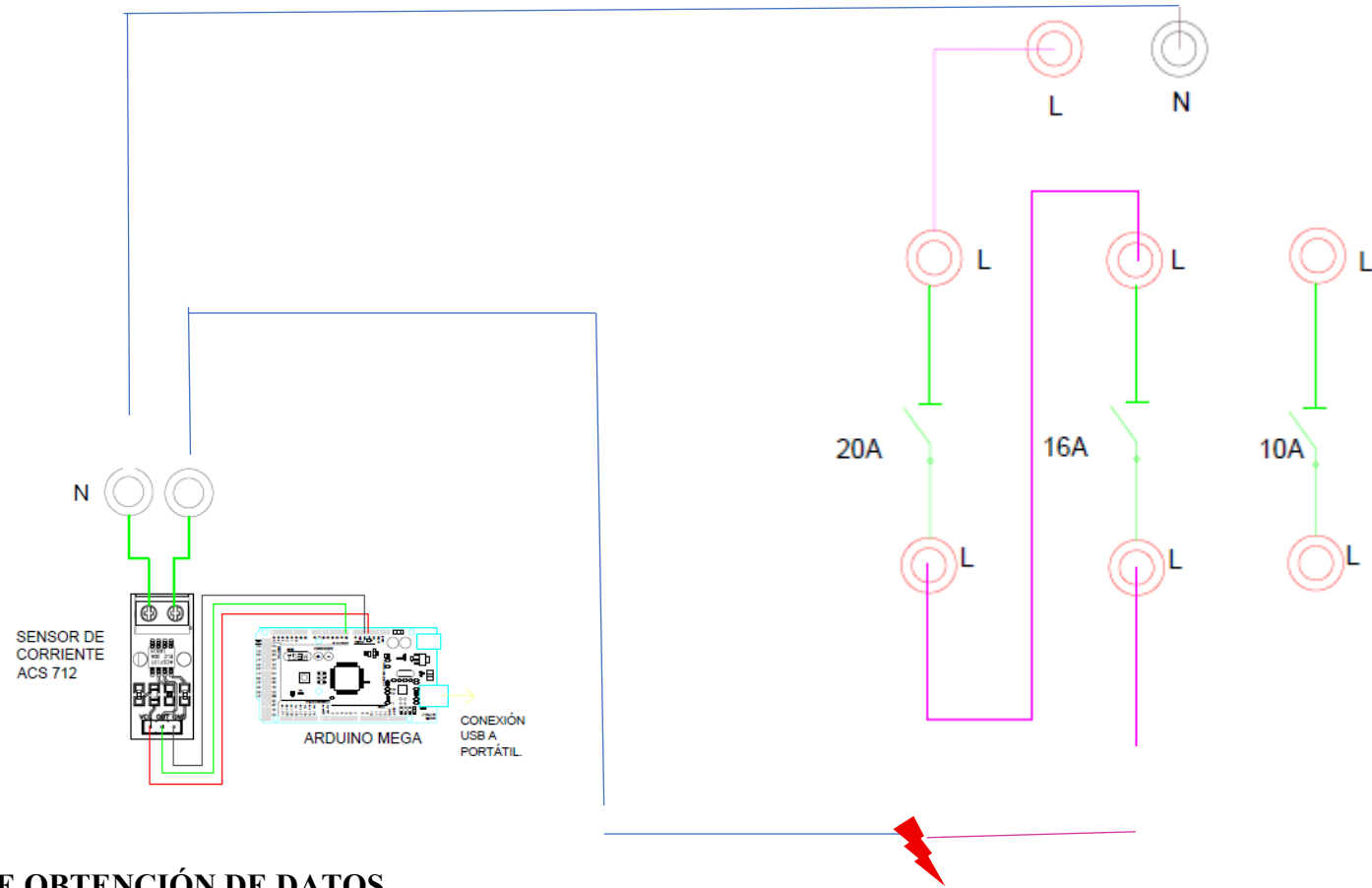
CORTOCIRCUITOS.

10 A – 16 A.

10 A – 20 A



20 A – 16 A



SISTEMA DE OBTENCIÓN DE DATOS.

