

**Escuela Superior Politécnica del Litoral**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**Desarrollo de un sistema didáctico para la enseñanza de  
protecciones eléctricas con tecnología Schneider Electric**

**Proyecto Integrador**

**Previo la obtención del Título de:**

**Ingeniero en Electricidad**

**Presentado por:**

**Milton Daniel Tenesaca Valencia**

**Guayaquil - Ecuador**

**Año: 2025**

## Dedicación

---

Dedico este proyecto a mis padres, por su esfuerzo, paciencia y por inculcarme valores que siempre llevaré conmigo.

A mis abuelos y mis hermanos por su amor y cariño, son y fueron mi motivación en los días malos y buenos, los quiero y espero ser una fuente de inspiración para ustedes.

A mis amigos, por las experiencias compartidas y por ser mi apoyo constante.

A todas las personas que han sumado en mi vida y me han permitido ser quien soy hoy, gracias por ser parte de este logro.

Milton Daniel Tenesaca Valencia

## Agradecimientos

---

Agradezco en primer lugar a Dios por darme la vida, la salud y la fortaleza necesarias para alcanzar este logro, guiándome y sosteniéndome en los momentos difíciles.

Extiendo mi gratitud al Ing. Martín García y al equipo de INPROCONFI, cuyo apoyo y compromiso con la formación profesional contribuyeron de manera significativa al desarrollo de este proyecto y a mi crecimiento académico.

Reconozco también el aporte de los docentes y tutores que, con sus enseñanzas y orientaciones, marcaron mi formación y fueron fundamentales en este proceso.

Finalmente, agradezco a las personas especiales que han dejado una huella en mi vida y cuyo apoyo y compañía han sido motivo de inspiración y gratitud.

Milton Daniel Tenesaca Valencia

## **Declaración Expresa**

---

Yo Milton Daniel Tenesaca Valencia acuerdo y reconozco que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por mí/nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que me corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de mi innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique al autor que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 31 de mayo del 2025.

---

Milton Daniel Tenesaca Valencia

## **Evaluadores**

---

**PhD. Falcones Zambrano Sixifo Daniel**

Profesor Evaluador

---

**PhD. Ugarte Vega Luis Fernando**

Tutor de Proyecto

## Resumen

El presente proyecto tiene busca fortalecer la formación académica de los estudiantes de ingeniería eléctrica mediante el desarrollo de un tablero didáctico orientado a la enseñanza de protecciones. La incorporación de un relé digital Schneider Electric modelo P5T30 en un entorno práctico potencia la relación entre teoría y práctica, además de modernizar los recursos disponibles en el laboratorio.

El tablero se construyó en un rack de 37 unidades, integrando equipos eléctricos, cableado estructurado y un marquillado profesional con la impresora Brady BM-21 PLUS. Para su diseño se empleó el software EPLAN Electric P8, mediante el cual se elaboraron planos, referencias cruzadas y documentación técnica que respaldan la estructura del sistema. Como parte del desarrollo se implementaron tres prácticas de laboratorio: parametrización del relé con Easergy Pro, configuración de la protección de sobrecorriente y aplicación de la protección diferencial de transformador.

Los resultados evidenciaron que el tablero opera de forma confiable, permitiendo realizar configuraciones con guías técnicas que explican la parametrización. En conclusión, este proyecto constituye una herramienta pedagógica moderna e interactiva que impulsa el aprendizaje integral y fomenta el uso de tecnologías actuales en el ámbito académico.

**Palabras clave:** tablero didáctico, relé numérico, EPLAN Electric P8, Easergy Pro, enseñanza práctica.

## **Abstract**

*This project aims to strengthen the academic training of electrical engineering students through the development of a didactic panel designed for the teaching of protection systems. The incorporation of a Schneider Electric P5T30 numerical relay in a practical environment enhances the relationship between theory and practice, while modernizing the resources available in the laboratory.*

*The panel was built in a 37-unit rack, integrating electrical equipment, structured wiring, and professional marking with the Brady BM-21 PLUS printer. The design was carried out using EPLAN Electric P8 software, through which electrical diagrams, cross-references, and technical documentation were developed to support the system structure. As part of the implementation, three laboratory practices were developed: relay parameterization with Easergy Pro, configuration of overcurrent protection, and application of transformer differential protection.*

*The results showed that the panel operates reliably, allowing the execution of configurations with technical guides that explain parameterization. In conclusion, this project constitutes a modern and interactive pedagogical tool that strengthens integral learning and promotes the use of current technologies in the academic field.*

**Keywords:** didactic board, digital relay, EPLAN Electric P8, Easergy Pro, practical teaching.

# Índice general

<b>1. Parte introductoria</b>	<b>1</b>
1.1. Introducción . . . . .	1
1.2. Descripción del problema . . . . .	2
1.3. Justificación del problema . . . . .	3
1.4. Alcance del proyecto . . . . .	3
1.5. Objetivos . . . . .	4
1.5.1. Objetivo General . . . . .	4
1.5.2. Objetivos específicos . . . . .	4
1.6. Marco Teórico . . . . .	5
1.6.1. Sistemas Eléctricos de Potencia . . . . .	5
1.6.2. Sistemas de Protección Eléctrica . . . . .	6
1.6.3. Transformador de corriente . . . . .	8
1.6.4. Relé de protección . . . . .	11
1.6.5. Interruptor de potencia . . . . .	14
1.6.6. Transformador . . . . .	15
1.6.7. Protección de sobrecorriente 50/51 . . . . .	15
1.6.8. Protección diferencial 87 . . . . .	18
1.6.9. Protección de fallo de interruptor . . . . .	19
<b>2. Metodología general</b>	<b>20</b>
2.1. Metodología . . . . .	20
2.2. Ingeniería . . . . .	21

2.2.1. Alimentación . . . . .	21
2.2.2. Control y señalización . . . . .	23
2.3. Parametrización del Relé . . . . .	34
2.4. Construcción del tablero . . . . .	43
2.5. Guías prácticas . . . . .	45
<b>3. Resultados</b>	<b>52</b>
3.1. Ingeniería . . . . .	52
3.2. Tablero didáctico de protecciones . . . . .	54
3.3. Guía de parametrización del relé . . . . .	61
3.4. Guía práctica de protección diferencial 87 . . . . .	65
3.5. Guía práctica de protección sobrecorriente 50/51 . . . . .	72
<b>4. Conclusiones y recomendaciones</b>	<b>78</b>
4.1. Conclusiones . . . . .	78
4.2. Recomendaciones . . . . .	79
<b>Bibliography</b> . . . . .	<b>80</b>
<b>A. Anexos</b> . . . . .	<b>84</b>

# Índice de cuadros

1.1. <i>Probabilidad y severidad de los diferentes tipos de falla</i> . . . . .	7
1.2. <i>Estadísticas de fallas según elementos del sistema eléctrico</i> . . . . .	7
1.3. <i>Clases de precisión de TCs entre IEEE C57.13 e IEC 60044-1</i> . . . . .	11
2.1. <i>Descripción de designaciones del sistema eléctrico mostrado</i> . . . . .	23
2.2. <i>Contactos auxiliares de los relés auxiliares utilizados por el relé de protección</i> . . . . .	24
2.3. <i>Contactos auxiliares de los relés biestables utilizados para el monitoreo del relé de protección</i> . . . . .	25
2.4. <i>Salidas digitales del relé de protección P5T30 para control y comando de relés</i> . . . . .	28
2.5. <i>Listado de equipos utilizados</i> . . . . .	34
2.6. <i>Resumen de configuración por secciones – Relé P5T30</i> . . . . .	36
2.7. <i>Parámetros configurados en la sección Scalling</i> . . . . .	37
2.8. <i>Canales registrados en el registrador de disturbios – Relé P5T30</i> . . . . .	39
2.9. <i>LEDs no programables</i> . . . . .	40
2.10. <i>Asignación de LEDs programables</i> . . . . .	41
2.11. <i>Parámetros principales de la característica diferencial (Grupo 1)</i> . . . . .	48
2.12. <i>Parámetros principales de la protección de sobrecorriente (Grupo 1)</i> . . . . .	50
3.1. <i>Estructura del Proyecto Integrador: Tablero de Protecciones Didáctico</i> . . . . .	52

# Índice de figuras

1.1.	<i>Visión general del sistema didáctico</i>	4
1.2.	<i>Sistema eléctrico de potencia</i>	6
1.3.	<i>Transformador de corriente de 230 kV</i>	9
1.4.	<i>Tipos de transformadores de corriente según sus características constructivas</i>	9
1.5.	<i>Esquema de operación básica de un relé de protección</i>	12
1.6.	<i>Ejemplo de relé electromecánico para protección de sobrecorriente</i>	13
1.7.	<i>Relé numérico de protección de transformador</i>	13
1.8.	<i>Interruptor de potencia de 230 kV</i>	14
1.9.	<i>Transformador de potencia de 69 kV</i>	15
1.10.	<i>Ejemplo de curva de tiempo inverso</i>	16
1.11.	<i>Diagrama de Relé 87</i>	18
1.12.	<i>Característica de operación del relé 87</i>	19
1.13.	<i>Lógica de protección de 50BF</i>	19
2.1.	<i>Diagrama de flujo de metodología</i>	20
2.2.	<i>Bobinas del relé de dos estados</i>	21
2.3.	<i>Alimentación 125 Vdc en tablero</i>	22
2.4.	<i>Control local y remoto del tablero</i>	24
2.5.	<i>Estados y señalización de relés biestables</i>	25
2.6.	<i>Circuito de comando y control de 52H</i>	26
2.7.	<i>Circuito de comando y control de 52L</i>	27
2.8.	<i>Disposición de entradas y salidas</i>	28
2.9.	<i>Entradas digitales en Relé P5T30</i>	29

2.10. Salidas digitales en lote B relé P5T30 . . . . .	30
2.11. Salidas digitales en lote C relé P5T30 . . . . .	30
2.12. Entradas analógicas en lote A relé P5T30 . . . . .	31
2.13. Vista general del tablero tipo rack . . . . .	31
2.14. Vista frontal del tablero . . . . .	32
2.15. Vista posterior y disposición de elementos en el tablero . . . . .	33
2.16. Software Easergy Pro V4.9.1 . . . . .	35
2.17. Conexión con Relé P5T30 para parametrización . . . . .	35
2.18. Panel del Easergy Pro . . . . .	36
2.19. Valores nominales definidos en el software Easergy Pro . . . . .	37
2.20. Diseño del mímico . . . . .	37
2.21. Vista frontal del relé en el software Easergy Pro . . . . .	38
2.22. Etiquetado de las señales de salida . . . . .	38
2.23. Etiquetado de las señales de entrada . . . . .	39
2.24. Lógica programable y establecimiento de la supervisión del circuito de disparo	40
2.25. Configuración de la matriz de salida . . . . .	41
2.26. Configuración de la matriz LEDS . . . . .	42
2.27. Configuración de la matriz de bloqueos . . . . .	42
2.28. Construcción del tablero de protecciones tipo rack . . . . .	43
2.29. Equipo utilizado para marquillar . . . . .	44
2.30. Cableado del tablero con el relé . . . . .	44
2.31. Portada utilizada para las guías prácticas . . . . .	45
2.32. Configuración de la supervisión de circuito de disparo ANSI 74 . . . . .	46
2.33. Configuración de la matriz de salidas del relé . . . . .	47
2.34. Explicación del dibujo del mímico en el software . . . . .	47
2.35. Configuración de protección diferencial para práctica . . . . .	49
2.36. Configuración de protección de sobrecorriente para práctica . . . . .	51
2.37. Configuración de matriz de salida para disparo en alta . . . . .	51
3.1. Portada y marco desarrollado para la ingeniería . . . . .	53

3.2. Resumen gráfico de ingeniería . . . . .	54
3.3. Tablero didáctico de protecciones vista frontal . . . . .	55
3.4. Tablero didáctico de protecciones vista posterior de conexiones . . . . .	56
3.5. Alimentación del tablero didáctico . . . . .	57
3.6. Borneras con terminales de prueba para entradas analógicas . . . . .	57
3.7. Relés de dos estados . . . . .	58
3.8. Relé de transformador Schneider electric modelo P5T30 . . . . .	59
3.9. Tablero didáctico de protecciones, mímico y luces piloto . . . . .	60
3.10. Interfaz de configuración en Easergy Pro . . . . .	61
3.11. Guía teórica y práctica para la parametrización del relé . . . . .	62
3.12. Configuración de la protección diferencial en la guía de parametrización . . . . .	63
3.13. Configuración de la función local/remoto en el relé especificando las entradas y salidas . . . . .	64
3.14. Grupos de conexiones seleccionadas para la prueba con la maleta CMC 256 plus . . . . .	65
3.15. Conexión eléctrica de la maleta de pruebas con el tablero didáctico . . . . .	66
3.16. Conexión eléctrica de salidas digitales del tablero a las entradas digitales de la maleta . . . . .	67
3.17. Software Test universe . . . . .	68
3.18. Configuración de la protección diferencial del relé P5T30 . . . . .	69
3.19. Configuración de la protección diferencial del relé P5T30 . . . . .	69
3.20. Configuración en software Test universe la característica diferencial . . . . .	70
3.21. Configuración en software Test universe la prueba de retriccción por segundo y quinto armónico . . . . .	70
3.22. Resultados en la guía de prueba de protección diferencial . . . . .	71
3.23. Grupos de conexiones seleccionadas para la prueba con la maleta CMC 256 plus . . . . .	72
3.24. Conexión eléctrica de la maleta de pruebas con el tablero didáctico . . . . .	73
3.25. Conexión eléctrica de salidas digitales del tablero a las entradas digitales de la maleta . . . . .	74
3.26. Configuración de la protección de sobrecorriente del relé P5T30 . . . . .	75

3.27. <i>Curvas configurables para la protección de sobrecorriente</i> . . . . .	76
3.28. <i>Configuración en software Test universe la protección de sobrecorriente</i> . . . . .	76
3.29. <i>Configuración en software Test universe la protección de sobrecorriente</i> . . . . .	77
3.30. <i>Resultados de la prueba de sobrecorriente</i> . . . . .	77
1. <i>Montaje de elementos eléctricos en tablero</i> . . . . .	84
2. <i>Ajustes del acabado de plancha metálica frontal del tablero</i> . . . . .	85
3. <i>Parametrización del relé</i> . . . . .	86
4. <i>Realización de pruebas de inyección</i> . . . . .	87

# **Capítulo 1**

## **Parte introductoria**

### **1.1. Introducción**

Los sistemas eléctricos de potencia han evolucionado considerablemente incorporando nuevas tecnologías que permiten una mayor efectividad en la integración y el desempeño de los esquemas de control, protección y comunicación en respuesta a la creciente demanda de modernización impulsada por el avance tecnológico. Como resultado, esto representa un desafío para los ingenieros eléctricos, quienes deben desarrollar habilidades prácticas que garanticen la integridad de los sistemas de potencia y fortalezcan su experiencia profesional alineándose con las tendencias emergentes del sector.

Dentro de estos esquemas modernos en el área de protecciones eléctricas, se ha introducido el uso de relés digitales avanzados que permiten un mantenimiento efectivo de la continuidad del servicio de los sistemas de potencia y en caso de la ocurrencia de anomalías, aseguran el menor tiempo de desconexión posible.

El conocimiento por parte de los ingenieros eléctricos sobre el funcionamiento de estos dispositivos de vanguardia es fundamental para enfrentar adecuadamente fallas en los sistemas de potencia, ya sean causadas por eventos naturales, errores humanos o fallas en los equipos eléctricos primarios.

Estos equipos emergentes no solo mejoran la protección, sino que también permiten una retroalimentación efectiva ante eventos fortuitos que activan los relés de protección. Esta capa-

ciudad facilita una interacción crítica con los operadores y dispositivos adyacentes, permitiendo el registro de eventos, el soporte en la identificación de puntos críticos de mejora, así como la interpretación de resultados para comprender el comportamiento del sistema eléctrico.

Todo esto contribuye a una toma de decisiones más eficiente, respaldada por el uso de protocolos de comunicación modernos que habilitan el monitoreo en tiempo real y aseguran una integración efectiva con el equipamiento existente en el sistema.

En este contexto, el reforzamiento utilizando sistemas de aprendizaje que den como resultado una cohesión y actualización entre componentes teóricos y prácticos para los futuros ingenieros eléctricos permitirá atender las necesidades críticas emergentes por la adopción de equipamiento actualizado y lograr un mejor desempeño debido a la inserción de temas novedosos, tales como protocolos de comunicación, interpretación de eventos, parametrización de equipos y su incorporación a distintos escenarios de los sistemas eléctricos de potencia.

## **1.2. Descripción del problema**

En la formación de ingenieros eléctricos en la ESPOL, resulta esencial consolidar una conexión efectiva entre los conocimientos teóricos y su aplicación práctica, especialmente en el estudio de sistemas de protecciones eléctricas. Esta tesis busca fortalecer dicha relación mediante el desarrollo de un tablero didáctico que permita experimentar y comprender de forma interactiva conceptos fundamentales relacionados con la protección eléctrica. En un entorno marcado por la evolución constante de la tecnología, los laboratorios deben adaptarse incorporando equipos modernos como relés digitales y dispositivos de diversas marcas, como Schneider Electric, para reflejar fielmente las condiciones reales del sector industrial. La inclusión de este recurso didáctico en el entorno académico permitirá reforzar habilidades clave como la coordinación de protecciones, la interpretación de eventos eléctricos y la parametrización de dispositivos. Así, se potencia la formación de profesionales capaces de enfrentar desafíos técnicos complejos, alineando su preparación con las exigencias actuales del sector eléctrico nacional e internacional.

### **1.3. Justificación del problema**

En el ámbito de la ingeniería eléctrica, tanto en el sector público como privado, es imprescindible que los profesionales cuenten con competencias actualizadas que les permitan adaptarse a los avances tecnológicos y desenvolverse eficientemente en diversas áreas de aplicación. Una de las áreas más críticas es la de protecciones eléctricas, la cual demanda un elevado nivel de especialización técnica debido a la constante incorporación de tecnologías innovadoras y al uso generalizado de equipos digitales de última generación. La formación académica debe, por tanto, incorporar recursos que permitan a los estudiantes familiarizarse con estos sistemas modernos desde etapas tempranas. En este contexto, se justifica la implementación de un tablero didáctico que integre equipamiento actualizado y comercialmente disponible, como los dispositivos de protección Schneider Electric. Este recurso contribuirá a fortalecer las competencias prácticas y analíticas de los estudiantes de ingeniería eléctrica de la ESPOL, proporcionándoles un entorno de aprendizaje más cercano a la realidad profesional. Además, permitirá desarrollar habilidades esenciales como la configuración de relés, la coordinación de protecciones y la interpretación de eventos eléctricos, preparándolos para responder con eficacia a los retos técnicos que plantea el entorno industrial actual.

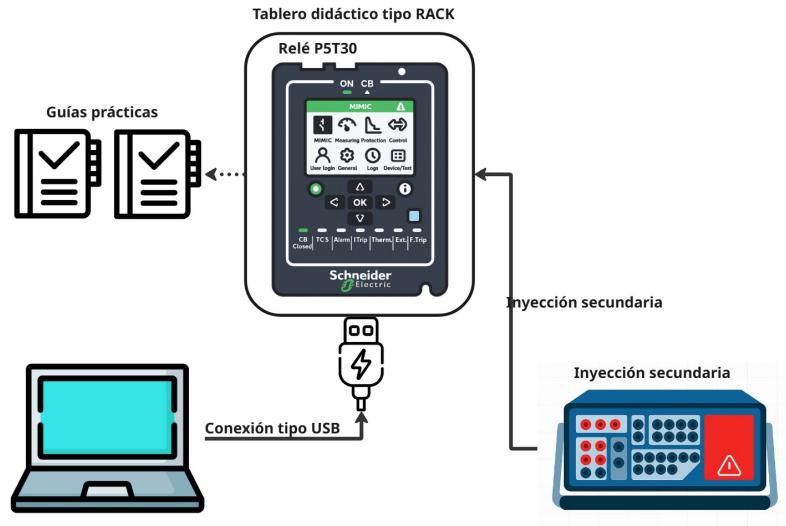
### **1.4. Alcance del proyecto**

El proyecto consiste en la implementación de un tablero tipo *rack* didáctico incorporando el relé de protección de transformador P5T30 de la marca Schneider Electric, un relé auxiliar de dos estados para la simulación del comportamiento de un interruptor. Se incluye el conexionado, etiquetas y borneras. Además, el diseño eléctrico del sistema utilizando el *software* de dibujo eléctrico *EPLAN Electric* con su respectiva ingeniería.

Las guías prácticas estarán orientadas en emular la actuación del relé de protecciones ante distintos esquemas de protección, tales como protección de sobrecorriente y diferencial.

Además, se incluirá un entregable con una guía práctica para la parametrización del equipo con un video explicativo del uso del *software*.

**Figura 1.1: Visión general del sistema didáctico**



## 1.5. Objetivos

### 1.5.1. Objetivo General

Diseñar un tablero didáctico de enseñanza complementado con guías técnicas, que incluya el relé de protección de transformador de la marca Schneider Electric, con el propósito de fortalecer la formación de los estudiantes de ingeniería eléctrica en el área de protecciones eléctricas.

### 1.5.2. Objetivos específicos

- Diseñar un tablero tipo *rack* didáctico de protecciones eléctricas utilizando un relé de protección de transformador de la marca Schneider Electric modelo P5T30 que sea móvil e interactivo para el uso de los estudiantes en el laboratorio de sistemas de potencia.
- Realizar la ingeniería preliminar del sistema utilizando el *software* de dibujo *EPLAN Electric P8*.
- Realizar 3 guías prácticas para el laboratorio de protecciones eléctricas correspondientes a la parametrización del equipo, protección de sobrecorriente y diferencial.

## 1.6. Marco Teórico

### 1.6.1. Sistemas Eléctricos de Potencia

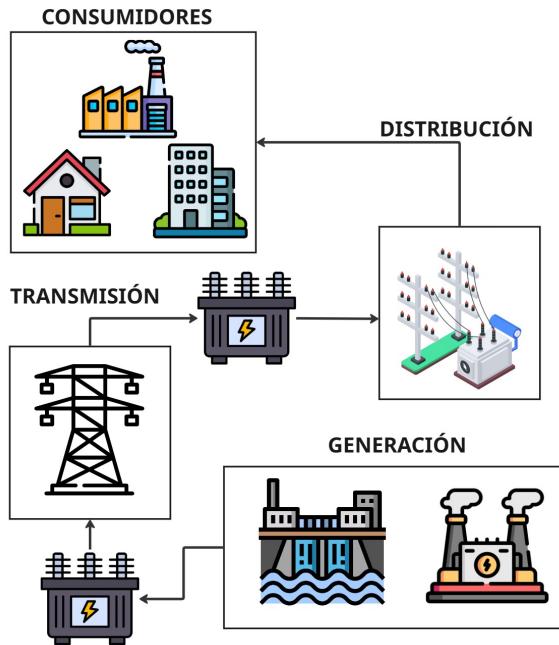
Los sistemas eléctricos de potencia son redes complejas que incorporan una gran variedad de elementos, tales como generadores, líneas de transmisión, transformadores, interruptores y otros equipamientos a través de sus componentes principales de generación, transmisión y distribución con el objetivo de proveer de energía eléctrica a los consumidores finales [1]. Como menciona [2], la transferencia de energía se realiza a través de vínculos capaces de soportar altos niveles de tensión denominados líneas de transmisión, conectando las estaciones de generación hacia las redes de distribución.

La generación en sistemas eléctricos de potencia se compone principalmente por centrales de generación las cuales se encargan de convertir diferentes formas de energía primaria en electricidad [3]. Estas fuentes primarias de energía se pueden clasificar según su naturaleza entre energía renovable o no renovables, [4] define a las fuentes no renovables como aquellas con la característica de poseer limitaciones en su suministro o extracción como lo son el carbón, el gas o el petróleo pertenecientes a los denominados combustibles fósiles, además de la energía nuclear. Por otro lado las fuentes renovables son aquellas que naturalmente se reabastecen, tales como la energía solar, geotérmica, eólica, biomasa e hidráulica.

Los sistemas de transmisión se encargan de la entrega de energía desde la generación hasta los consumidores residenciales o industriales mediante subestaciones eléctricas que elevan la tensión a niveles altos para disminuir pérdidas [5]. La transmisión se realiza sobre largas distancias conectándose con transformadores que permiten acoplar diferentes niveles de voltaje permitiendo así distribuir la energía eléctrica a niveles de tensión adecuados para los usuarios.

Finalmente, los sistemas de distribución se encargan a través de niveles de bajos de tensión la entrega de energía eléctrica a los usuarios finales partiendo de subestaciones eléctricas de distribución [6]. Esto es realizado a través de líneas aéreas o subterráneas [7], además, dependiendo de la disposición del alimentador se puede dividir en dos formas fundamentales: sistemas radiales o en anillo [8].

**Figura 1.2: Sistema eléctrico de potencia**



### 1.6.2. Sistemas de Protección Eléctrica

En los sistemas eléctricos de potencia, diseñar una red que pueda soportar absolutamente todas las fallas posibles no resulta económicamente viable, por eso, la alternativa más eficiente es implementar un sistema de protección que permita detectar rápidamente condiciones anormales y tomar acciones adecuadas [9].

Las fallas eléctricas pueden originarse por diferentes causas y no todas afectan de la misma forma. Según [10], una falla en el sistema suele provocar cambios importantes en variables como la corriente, el voltaje (ya sea sobrevoltaje o subvoltaje), la potencia, el factor de potencia, el ángulo de fase, la dirección de la corriente, la impedancia, la frecuencia, la temperatura, movimientos físicos, presión o contaminación. Sin embargo, el indicio más común de una falla suele ser un cambio repentino y considerable en la corriente.

Los esquemas de protección se apoyan en un conjunto de equipos clave para actuar frente a estas anomalías, entre ellos: relés de protección, interruptores y transformadores de corriente y voltaje. [9] señala que protecciones eléctricas es tanto una ciencia como un arte enfocada en aplicar correctamente estos dispositivos para garantizar la continuidad del servicio y minimizar daños al equipo o al personal cuando ocurren comportamientos anormales en el sistema.

Estos elementos deben trabajar de forma coordinada, ofreciendo la mayor sensibilidad posible ante fallas o condiciones anómalas, pero sin activarse por errores dentro de los márgenes normales de operación [10].

Con base en la experiencia en operación de sistemas eléctricos, [11] explica que la probabilidad de ocurrencia de los diferentes tipos de fallas no es la misma. Por ejemplo, la falla más común es la de una fase a tierra, mientras que la menos frecuente es la trifásica a tierra. La Tabla 1.1 muestra estos datos de forma detallada.

**Tabla 1.1:** Probabilidad y severidad de los diferentes tipos de falla

Tipo de falla	Probabilidad de ocurrencia (%)	Severidad
L-G	85	Menor severidad
L-L	8	
L-L-G	5	
L-L-L	2	Mayor severidad
<b>Total</b>	<b>100</b>	—

*Nota.* Datos tomados de [11].

La probabilidad de falla de los distintos equipos en los sistemas eléctricos de potencia no es la misma, ya que depende de factores como las condiciones atmosféricas o si el equipo está expuesto o no a la intemperie [11]. Aun así, también es importante tener en cuenta que estas probabilidades pueden verse afectadas por el nivel de voltaje y por las propias características del sistema eléctrico, además del clima y el entorno donde opera.

**Tabla 1.2:** Estadísticas de fallas según elementos del sistema eléctrico

Elemento del sistema eléctrico	Probabilidad de falla (%)
Líneas aéreas	50 %
Cables subterráneos	9 %
Transformadores	10 %
Generadores	7 %
Equipos de conmutación (switchgear)	12 %
Relés CT, PT, equipos de control, etc.	12 %
<b>Total</b>	<b>100 %</b>

*Nota.* Datos tomados de [11].

El objetivo principal de los esquemas de protección es aislar lo más rápido posible las

secciones del sistema que presentan problemas o fallas reduciendo al mínimo el área que se desconecta [10]. Esto implica considerar ciertos criterios importantes al momento de diseñar e implementar un esquema de protección. Según [12], los requerimientos necesarios son:

- A. **Confiabilidad:** Describe la capacidad del relé o del sistema de protección para funcionar correctamente cuando se lo requiere (fiabilidad) y evitar operaciones innecesarias (seguridad).
- B. **Rapidez:** La habilidad de minimizar el tiempo de falla y consecuentemente el daño a los equipos o al sistema.
- C. **Selectividad:** Continuidad del servicio con la mínima desconexión posible del sistema.
- D. **Economía:** Máxima protección al menor costo posible.
- E. **Simplicidad:** Mínimo equipamiento, simplicidad en el cableado y en la secuencia de operaciones.

*Adaptado de [12].*

### 1.6.3. Transformador de corriente

Los transformadores de corriente (TCs) se utilizan para medir corrientes eléctricas altas, convirtiéndolas en valores más pequeños y seguros que se puedan manejar sin riesgo [13]. Estos dispositivos son esenciales en cualquier sistema eléctrico y según su función pueden dividirse en dos tipos principales: para **medición** y para **protección**. Los TCs de medición se encargan de enviar información a los sistemas de monitoreo y control, mientras que los de protección tienen el rol de comunicar al relé lo que ocurre cuando hay una falla o una situación anormal [14].

En muchas subestaciones eléctricas es común encontrar transformadores de corriente con **cuatro núcleos magnéticos**. Por lo general, el primer núcleo se utiliza para medición y los otros tres se destinan a funciones de protección.

**Figura 1.3:** Transformador de corriente de 230 kV



*Nota.* Fotografía tomada por el autor.

#### 1.6.3.1. Tipos de construcción de los transformadores de corriente

Los TC pueden tener distintos diseños, existen los de tipo ventana o barra en donde no tienen devanado, sin embargo, también existen los de tipo devanado como se puede apreciar en Figura 1.4.

**Figura 1.4:** Tipos de transformadores de corriente según sus características constructivas



Tipo ventana



Tipo barra



Arrollado

*Nota.* Adaptado de [15].

#### 1.6.3.2. Clases de los transformadores de corriente de protección

La manera en que se expresa la capacidad, precisión y tipo del TC puede variar dependiendo del estándar que se siga. Por ejemplo, según [16], la precisión de un TC se refiere al *porcentaje*

*máximo de error* que puede presentar al trabajar con una carga y corriente determinadas. Para los equipos que siguen la norma **IEEE** este error permitido es del **10 %**. En cambio, en la norma **IEC** los márgenes son más estrictos: aceptan entre **5 % y 10 %**, siendo preferible el uso de un valor del **5 %** [16].

Además, los transformadores de corriente se pueden clasificar según cómo se comportan cuando están sometidos a corrientes altas y a diferentes tipos de carga. La norma *IEEE C57.13-1993* [17] los agrupa principalmente en dos tipos dependiendo de si el flujo de dispersión afecta o no a la precisión de la medición:

- A) **Tipo C o K:** Son transformadores donde el flujo de dispersión no influye mucho en la precisión incluso cuando se trabaja cerca de los límites. En el caso de los tipo **K**, se exige que tengan un voltaje de codo de al menos el 70 % del valor nominal de tensión en el secundario.
- B) **Tipo T:** En este tipo sí hay una mayor sensibilidad al flujo de dispersión, lo que puede afectar a la precisión o la relación de transformación.

Por otro lado, la norma *IEC 60044-1:1992* [18] clasifica los transformadores de corriente usados en protección, basándose en qué tan precisos son al medir corrientes elevadas en estado estable. Aquí se destacan dos clases principales:

enumitem

- C) **Clase P:** Su precisión se evalúa según el error total de la señal, pero no se impone un límite específico al flujo remanente que queda en el núcleo después de una falla.
- D) **Clase TPS:** Son transformadores diseñados para tener muy poca dispersión magnética. En este caso, su exactitud depende de una curva de excitación medida en el secundario y de que se cumpla una relación específica de espiras. Al igual que la clase P, tampoco tienen un límite definido para el flujo remanente.

*Adaptado de [16].*

La **carga máxima** que puede conectarse al secundario de un transformador de corriente se conoce como *burden* [19]. Este parámetro representa la impedancia total del circuito secundario

(en ohmios), incluyendo cables, terminales y el dispositivo de medición o protección. El *burden* también puede expresarse en términos de **potencia aparente**, en voltios-amperios (VA), cuando el transformador opera a corriente nominal.

El valor del *burden* influye directamente en el desempeño del transformador y está relacionado con la **relación de transformación** y el **factor límite de precisión**.

Según [16], los valores de impedancia típicos en transformadores de corriente suelen ser de 1, 2, 4 e incluso hasta 8 ohmios, con un ángulo de 60 grados, no obstante, es importante tener en cuenta que la manera de representar la clasificación de estos transformadores varía según la normativa utilizada.

En el caso de la norma **IEEE**, para transformadores de protección la clase se expresa como el voltaje máximo que puede aparecer en el secundario cuando circula la corriente nominal multiplicada por el *factor límite de precisión* (ALF). Por otro lado, la norma **IEC** utiliza el valor de la resistencia equivalente del circuito secundario, comúnmente expresado en **voltios-amperios (VA)**.

Esta diferencia de representación entre ambas normativas puede observarse claramente en la Tabla 1.3.

**Tabla 1.3:** Clases de precisión de TCs entre IEEE C57.13 e IEC 60044-1

IEEE C57.13	IEC 60044-1
C100	25 VA 5P 20
C200	50 VA 5P 20
C400	100 VA 5P 20
C800	200 VA 5P 20

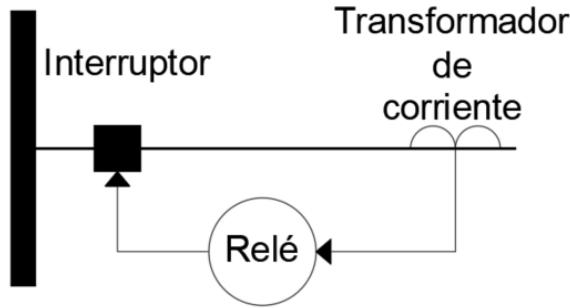
*Nota.* Datos tomados de [16].

#### 1.6.4. Relé de protección

Los relés de protección son una parte fundamental de los sistemas de protección eléctrica, [20] los define como dispositivos eléctricos diseñados para responder ante distintas condiciones de una manera prescrita ante señales de entrada cuando dichas consignas predefinidas se cumplen, esto causa la operación de contactos en su circuito de control interno . Como función

principal, los relés de protección actúan ante anomalías o fallas en el sistema eléctrico mediante la medición de señales analógicas (corrientes y/o voltajes) y la emisión de señales de disparo directamente a las bobinas de los equipos con capacidad de interrupción. Esta función básica se puede apreciar en la Figura 1.5.

**Figura 1.5:** Esquema de operación básica de un relé de protección



Desde sus primeras aplicaciones, estos equipos operaban mediante fuerzas electromagnéticas, por lo que eran conocidos como relés electromecánicos [12]. En la Figura 1.6 se muestra su estructura básica, que refleja su principio de funcionamiento. El disco gira debido a los torques generados por una bobina que actúa de forma similar al estator de un motor eléctrico [21]. Este movimiento se produce cuando se supera un nivel mínimo de corriente, denominado  $I_{set}$ , el cual es definido mediante el ajuste del TAP del relé y corresponde a una señal proveniente del secundario del transformador de corriente. Además, el tiempo que transcurre antes de que se activen los contactos y se envíen señales a los interruptores de potencia se ajusta mediante el parámetro *Time Dial*, lo que permite establecer una temporización dependiente de la magnitud de la corriente, siguiendo una característica de curva de tiempo inverso.

**Figura 1.6:** Ejemplo de relé electromecánico para protección de sobrecorriente



*Nota.* . Fotografía tomada por el autor en el Laboratorio de Sistemas de Potencia de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL).

Hoy en día, estos equipos han evolucionado y se conocen como relés numéricos. Este nombre se debe a que pueden transformar señales analógicas de entrada en señales digitales (de entre 8 y 16 bits), las cuales son procesadas por algoritmos internos dentro de un microprocesador [10]. Aunque su tecnología es diferente, como señala [10], los principios básicos de la protección eléctrica siguen siendo los mismos. No obstante, ofrecen varias ventajas importantes, como mayor confiabilidad, mejor precisión, reducción del espacio requerido, menor costo de instalación y la integración de funciones de comunicación modernas, control, monitoreo y supervisión.

**Figura 1.7:** Relé numérico de protección de transformador



*Nota.* Fotografía tomada por el autor..

### 1.6.5. Interruptor de potencia

Los interruptores de potencia son equipos que, por definición, cierran y abren circuitos eléctricos mediante contactos bajo carga o en condiciones de falla [22].

**Figura 1.8:** *Interruptor de potencia de 230 kV*



*Nota.* Fotografía tomada por el autor.

Los interruptores de potencia pueden clasificarse en dos tipos principales: de tanque vivo y de tanque muerto. En los interruptores de tanque muerto, el tanque y sus componentes se encuentran conectados a tierra, y las conexiones externas se realizan mediante *bushings* convencionales. Por otro lado, los interruptores de tanque vivo contienen el mecanismo de interrupción dentro de un material aislante montado sobre una columna de porcelana que se encuentra al mismo potencial que la red eléctrica [22]. Los interruptores de potencia poseen distintos medios de interrupción, tales como aceite, gas o vacío, uno de los más comunes es el hexafluoruro de azufre SF6. Como explica [23], el SF6 es un gas pesado con altas propiedades de resistencia dieléctrica que aumenta con la presión.

### 1.6.6. Transformador

Los transformadores son equipos que permiten acoplar diferentes niveles de voltaje, transfiriendo energía eléctrica de un circuito a otro en corriente alterna mediante el principio de la inducción electromagnética [24]. En los sistemas de potencia, estos dispositivos cumplen una función fundamental: permiten elevar la tensión a niveles altos para facilitar el transporte eficiente de energía eléctrica a través de líneas de transmisión desde las centrales de generación, y también reducirla a niveles adecuados para su posterior distribución a los usuarios finales.

**Figura 1.9:** Transformador de potencia de 69 kV



*Nota.* Fotografía tomada por el autor.

### 1.6.7. Protección de sobrecorriente 50/51

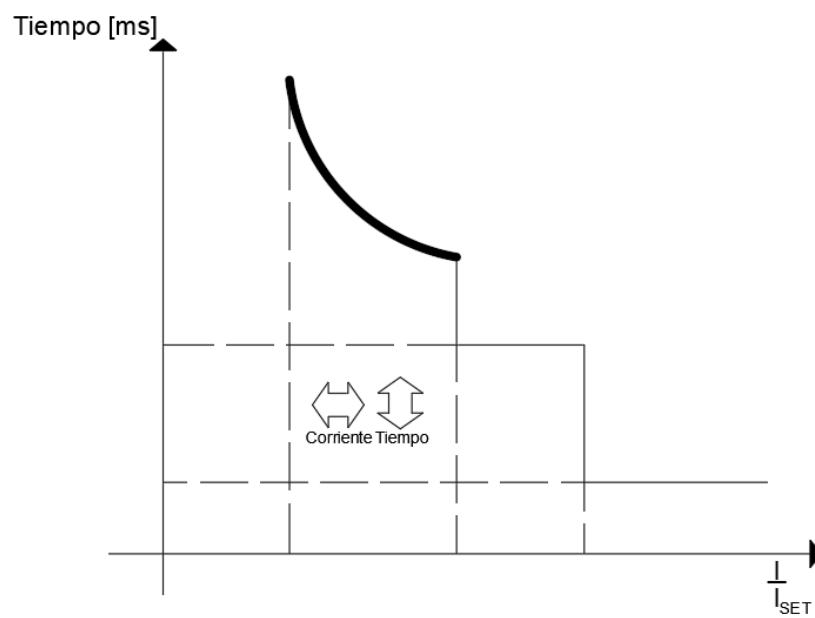
La protección de sobrecorriente es una de las funciones más comunes implementadas en los relés de protección. Según la nomenclatura *ANSI*, esta función puede clasificarse como temporizada (51) o instantánea (50), y su uso ha sido formalizado en la norma *IEEE Std C37.2-2018* [25]. Este tipo de protección opera cuando la corriente supera un valor predeterminado, ya sea de forma inmediata o con un retardo definido en el tiempo, dependiendo del tipo de curva y el ajuste configurado en el relé.

Su funcionamiento se basa en la utilización de curvas características de tiempo inverso las cuales permiten establecer un intervalo de operación previo al accionamiento de los contactos en función de la magnitud de la corriente. Estas curvas varían dependiendo de la normativa a

la que se ajusten, como la *IEEE Std C37.112-1996* que define las ecuaciones de tiempo inverso utilizadas en sistemas eléctricos norteamericanos o la *IEC 60255-151:2009* que establece los requisitos funcionales para este tipo de protección bajo estándares internacionales. También es común encontrar curvas desarrolladas por fabricantes adaptadas a configuraciones específicas o a criterios propios de ajuste. Por otro lado, la protección instantánea actúa a cierto valor de corriente definido sin ningún tipo de retardo de tiempo.

Como se muestra en la Figura 1.10, a mayor intensidad de corriente, menor es el tiempo que tarda el relé en operar. Estas curvas establecen el tiempo de operación en función del múltiplo de corriente, expresado como la relación entre la corriente medida  $I$  y el valor de disparo ajustado  $I_{\text{set}}$ . El parámetro  $TD$ , conocido como *Time Dial*, ajusta la temporización general del relé.

**Figura 1.10: Ejemplo de curva de tiempo inverso**



Las curvas características de tiempo inverso establecidas por la norma *IEC 255-3* [26] se describen a continuación.

$$\text{Curva Normal Inversa: } t = TD \cdot \frac{0,14}{\left(\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0,02} - 1\right)} \quad (1.1)$$

$$\text{Curva Muy Inversa: } t = TD \cdot \frac{13,5}{\left(\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^1 - 1\right)} \quad (1.2)$$

$$\text{Curva Inversa Extrema: } t = TD \cdot \frac{80}{\left(\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^2 - 1\right)} \quad (1.3)$$

$$\text{Curva Inversa Larga: } t = TD \cdot \frac{120}{\left(\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^1 - 1\right)} \quad (1.4)$$

La norma *IEEE C37.112-2018* [27] describe sus curvas de tiempo inverso a continuación.

$$\text{Curva Moderadamente Inversa: } t = TD \cdot \frac{0,0515}{\left(\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{0,020} - 1\right)} + 0,114 \quad (1.5)$$

$$\text{Curva Muy Inversa: } t = TD \cdot \frac{19,61}{\left(\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^2 - 1\right)} + 0,4910 \quad (1.6)$$

$$\text{Curva Extremadamente Inversa: } t = TD \cdot \frac{28,2}{\left(\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^2 - 1\right)} + 0,1217 \quad (1.7)$$

$$\text{Curva Inversa: } t = TD \cdot \frac{44,6705}{\left(\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{2,0938} - 1\right)} + 0,8983 \quad (1.8)$$

$$\text{Curva Inversa Corta: } t = TD \cdot \frac{1,3315}{\left(\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^{1,2969} - 1\right)} + 0,16965 \quad (1.9)$$

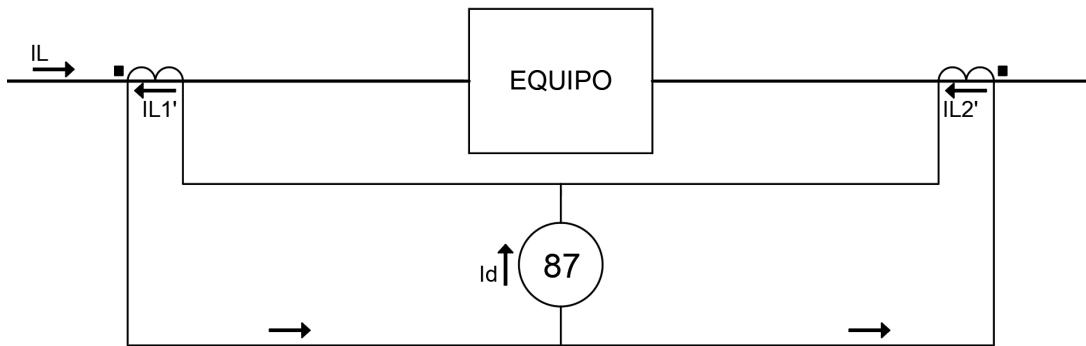
$$\text{Curva Inversa Larga: } t = TD \cdot \frac{28,0715}{\left(\left(\frac{I}{I_{\text{set}}}\right)^1 - 1\right)} + 10,9296 \quad (1.10)$$

Estas expresiones permiten que los relés digitales ajusten su desempeño según el nivel de corriente y las necesidades específicas de coordinación con otros dispositivos en el sistema.

### 1.6.8. Protección diferencial 87

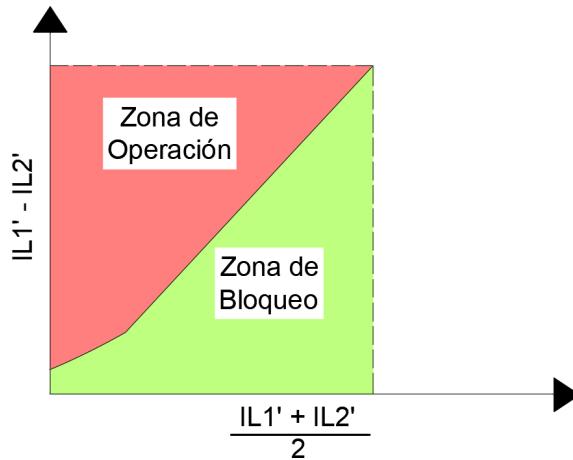
La protección diferencial (función 87, según la nomenclatura ANSI) basa su principio de operación en la comparación de dos señales de corriente [28]. Esta protección está diseñada para detectar fallas internas o corrientes de fuga dentro del equipo protegido, tales como transformadores, barras o líneas de transmisión. Su función consiste en comparar la corriente que entra y sale del sistema protegido como se aprecia en la Figure. 1.11, ante una diferencia significativa se interpreta como una condición anormal generando la señal de disparo correspondiente.

**Figura 1.11:** Diagrama de Relé 87



En la protección diferencial, como la función 87, el área de operación del relé suele dividirse en dos zonas, de acuerdo con su característica de funcionamiento, como se muestra en la Figure 1.12. La corriente de restricción se define como el promedio de las corrientes medidas por los transformadores de corriente ubicados a ambos extremos del elemento protegido. Aunque este concepto se originó en los antiguos relés electromecánicos, continúa siendo fundamental en los relés numéricos modernos [29]. A través de la corriente de restricción se establece el umbral que permite discriminar entre fallas internas y condiciones externas, siendo una base importante para el trazado de las curvas de operación del relé diferencial.

**Figura 1.12:** Característica de operación del relé 87



### 1.6.9. Protección de fallo de interruptor

La protección de fallo de interruptor (función 50BF, según la nomenclatura *ANSI*), actúa ante fallos en el interruptor de potencia o en sus circuitos auxiliares, como la bobina de disparo o el sistema de control, durante la ocurrencia de una falla eléctrica [30]. El esquema básico de este tipo de protección se muestra en la Figura 1.13. Cuando se detecta una condición de falla de interruptor, conocida como *Breaker Failure Initiate* (BFI), y las corrientes de falla persisten en el circuito, se activa un temporizador. Si este temporizador no es reseteado antes de que expire su tiempo configurado, se genera una orden de disparo hacia los interruptores adyacentes, con el fin de despejar la falla por otro camino alternativo [30].

**Figura 1.13:** Lógica de protección de 50BF



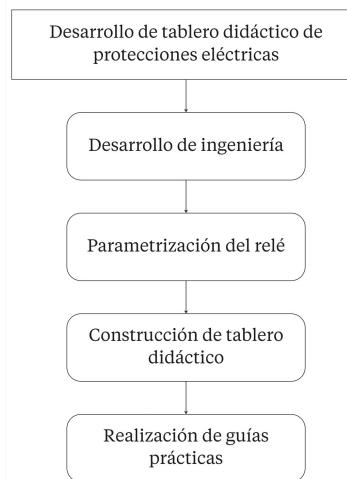
# Capítulo 2

## Metodología general

### 2.1. Metodología

En este capítulo se describen las etapas del desarrollo del tablero didáctico de protecciones eléctricas, desde la ingeniería, selección y disposición de equipos y componentes, hasta el modelado y construcción física. También se incluye la configuración del relé Schneider Electric P5T30.

**Figura 2.1:** Diagrama de flujo de metodología



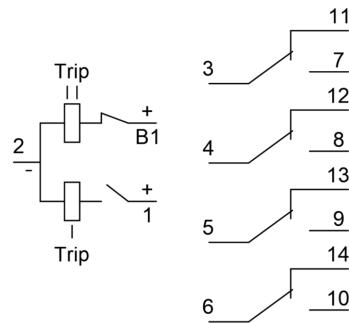
El eje central de la metodología es la fase de ingeniería, donde se definen la selección de materiales, dimensiones, entradas, salidas y detalles de conexionado. Estos aspectos garantizan la correcta interpretación y funcionamiento de los esquemas de protección y su alineación con los objetivos pedagógicos de las guías prácticas.

## 2.2. Ingeniería

En la etapa de ingeniería se elaboraron diagramas esquemáticos de control y comando en *Eplan Electric P8*, con cajetines, portadas e información relevante.

El sistema incorpora un relé digital de transformador y dos relés auxiliares de dos estados como interruptores 52H y 52L para alta y baja. Este equipo simula un interruptor con dos bobinas que accionan los contactos asociados, mostrando los estados en la Figura 2.2.

**Figura 2.2: Bobinas del relé de dos estados**



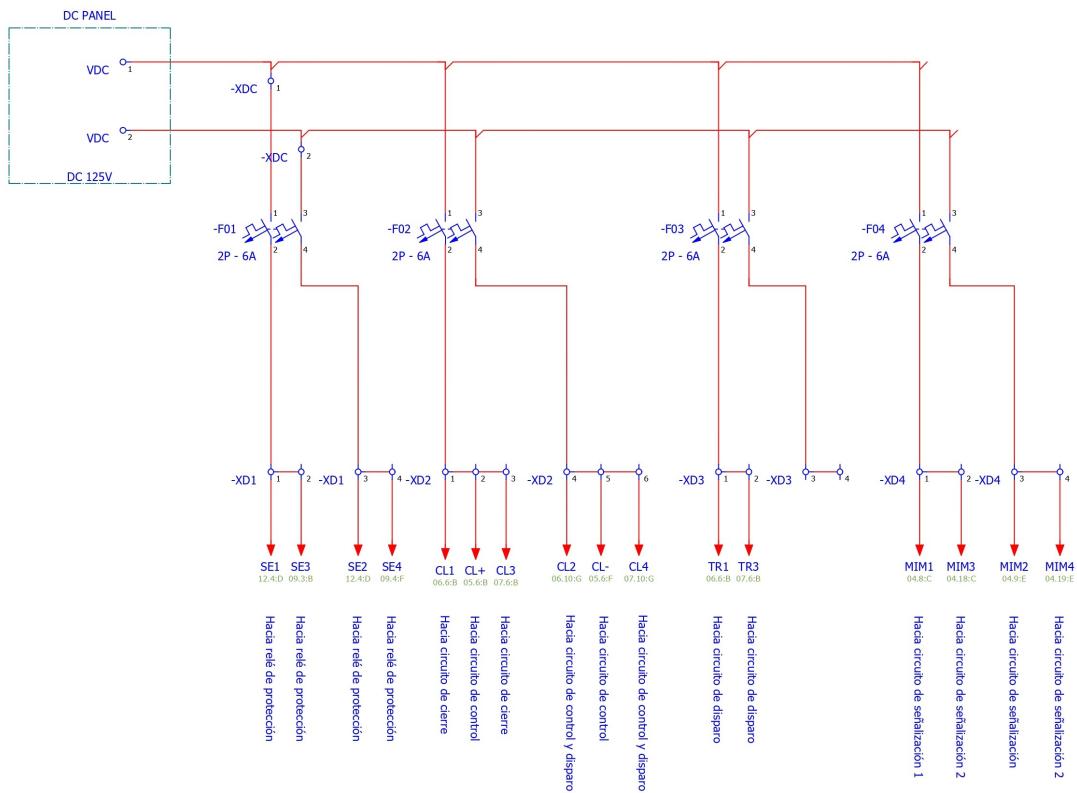
El relé de protección abre y cierra mediante salidas digitales, y recibe señales de entrada digitales y analógicas para monitorear equipos y permitir inyección de corriente en pruebas secundarias.

### 2.2.1. Alimentación

La alimentación del tablero tipo *Rack* se definió según la tensión de los equipos de control, desde el relé de protección hasta las bobinas auxiliares, y la disponible en el laboratorio, seleccionándose 125 Vdc.

Del tablero de distribución se emplearon bornes seccionables con terminales tipo banana que alimentan el tablero didáctico. La señal ingresa por bornes que suministran distintos circuitos, como se muestra en la Figura 2.3.

**Figura 2.3: Alimentación 125 Vdc en tablero**



*Nota.* Elaborado en Eplan Electric P8.

El sistema suministra 125 Vdc a los componentes del tablero mediante cuatro circuitos principales con sus protecciones, como se observa en la Figura 2.3. Las salidas alimentan al relé y a los circuitos de señalización y control, según la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1:** Descripción de designaciones del sistema eléctrico mostrado

Designación	Descripción
SE1 & SE2	Alimentación del relé P5T30
SE3 & SE4	Alimentación de control de entradas del relé P5T30
CL+ & CL-	Alimentación de circuito de control local remoto
CL1 & CL2	Alimentación de circuito de cierre de interruptor 52H
CL3 & CL4	Alimentación de circuito de cierre de interruptor 52L
TR1 & CL2	Alimentación de circuito de disparo de interruptor 52H
TR3 & CL4	Alimentación de circuito de disparo de interruptor 52L
MIM1 & MIM2	Alimentación de señalización de interruptor 52H
MIM3 & MIM4	Alimentación de señalización de interruptor 52L

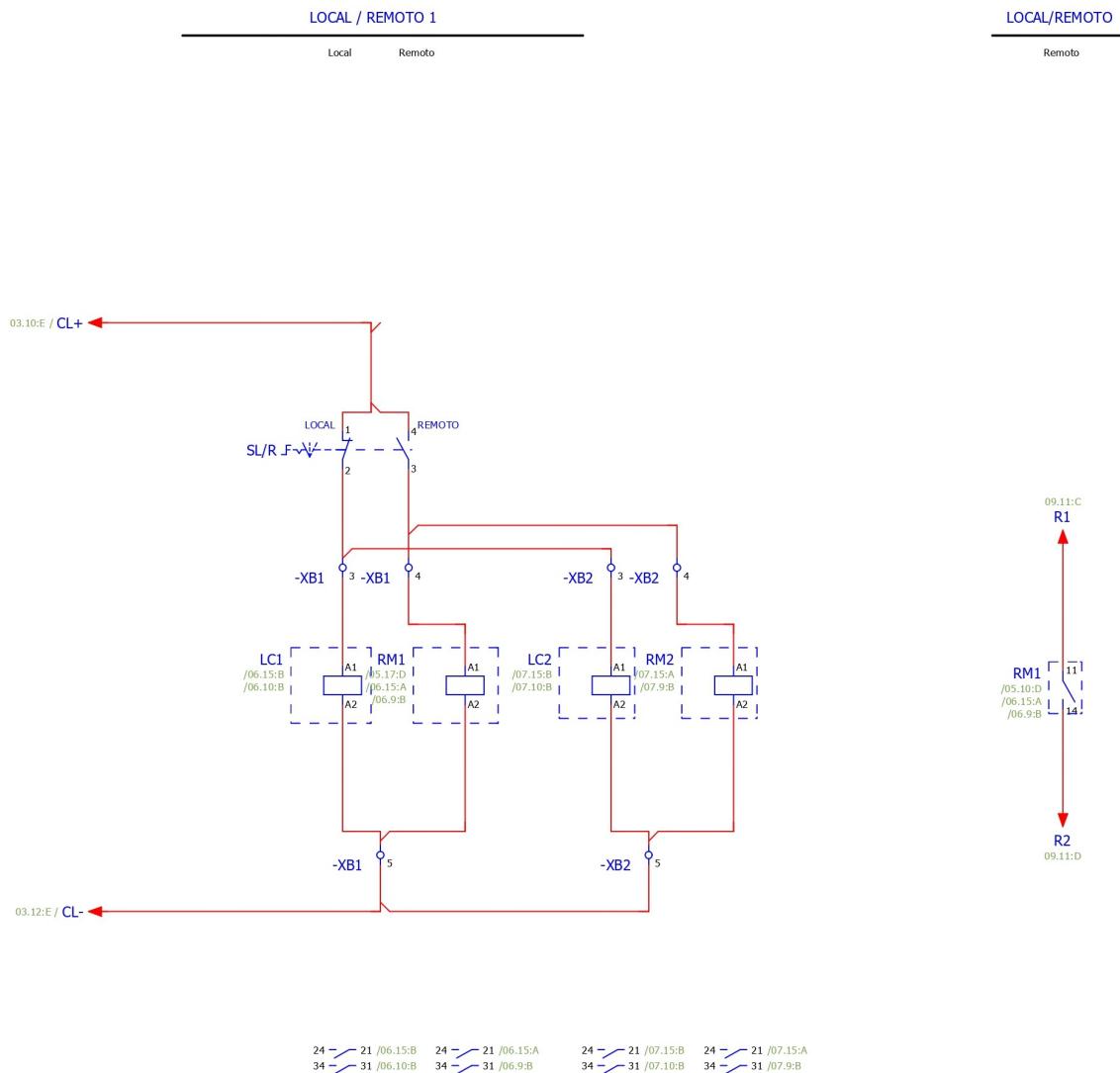
## 2.2.2. Control y señalización

### 2.2.2.1. Control local y remoto

El tablero didáctico incorpora un selector de dos posiciones para control local y remoto.

En la Figura 2.4 se muestran relés auxiliares que replican los estados del selector para la lógica de control del interruptor y la comunicación del estado operativo al relé de protección, según la Tabla 2.2.

**Figura 2.4:** Control local y remoto del tablero



*Nota.* Elaborado en Eplan Electric P8.

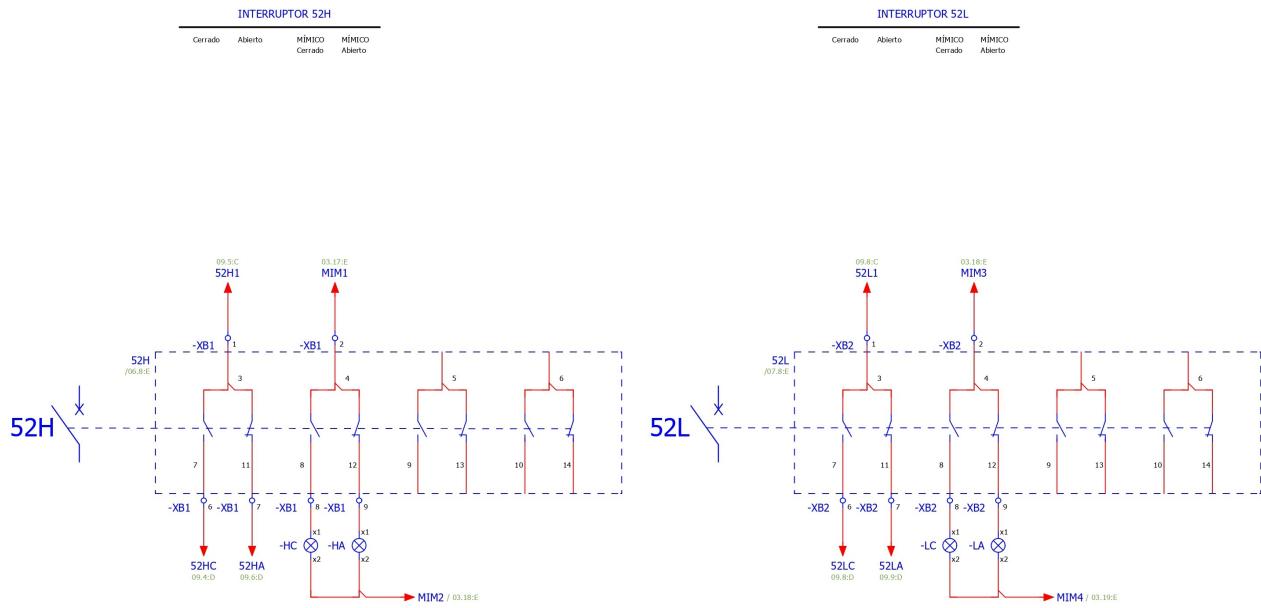
**Tabla 2.2:** Contactos auxiliares de los relés auxiliares utilizados por el relé de protección

Designación	Descripción
R1 & R2	Estado remoto del tablero didáctico de protecciones

### 2.2.2.2. Control y señalización de relés biestables

Los contactos auxiliares de los relés biestables se emplearon para señalizar en el mímico del tablero y comunicar al relé de protección los estados (abierto o cerrado), como se muestra en la Figura 2.5.

**Figura 2.5: Estados y señalización de relés biestables**



*Nota.* Elaborado en Eplan Electric P8.

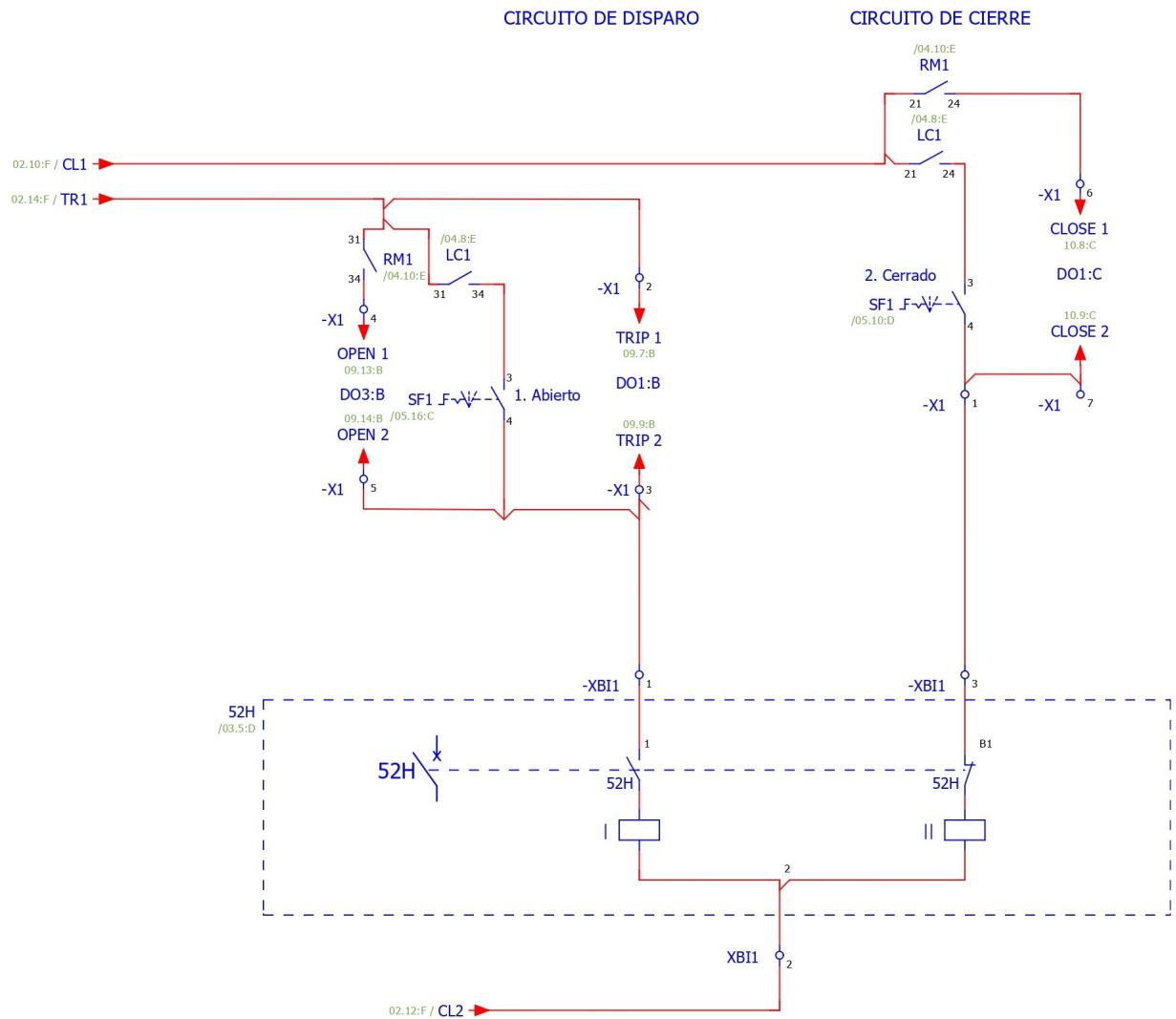
Las señales designadas para la comunicación con el relé de protección se establecieron en Tabla 2.3.

**Tabla 2.3: Contactos auxiliares de los relés biestables utilizados para el monitoreo del relé de protección**

Designación	Descripción
52H1 & (52HC, 52HA)	Estados del relé biestable (cerrado y abierto)
52L1 & (52LC, 52LA)	Estados del relé biestable (cerrado y abierto)

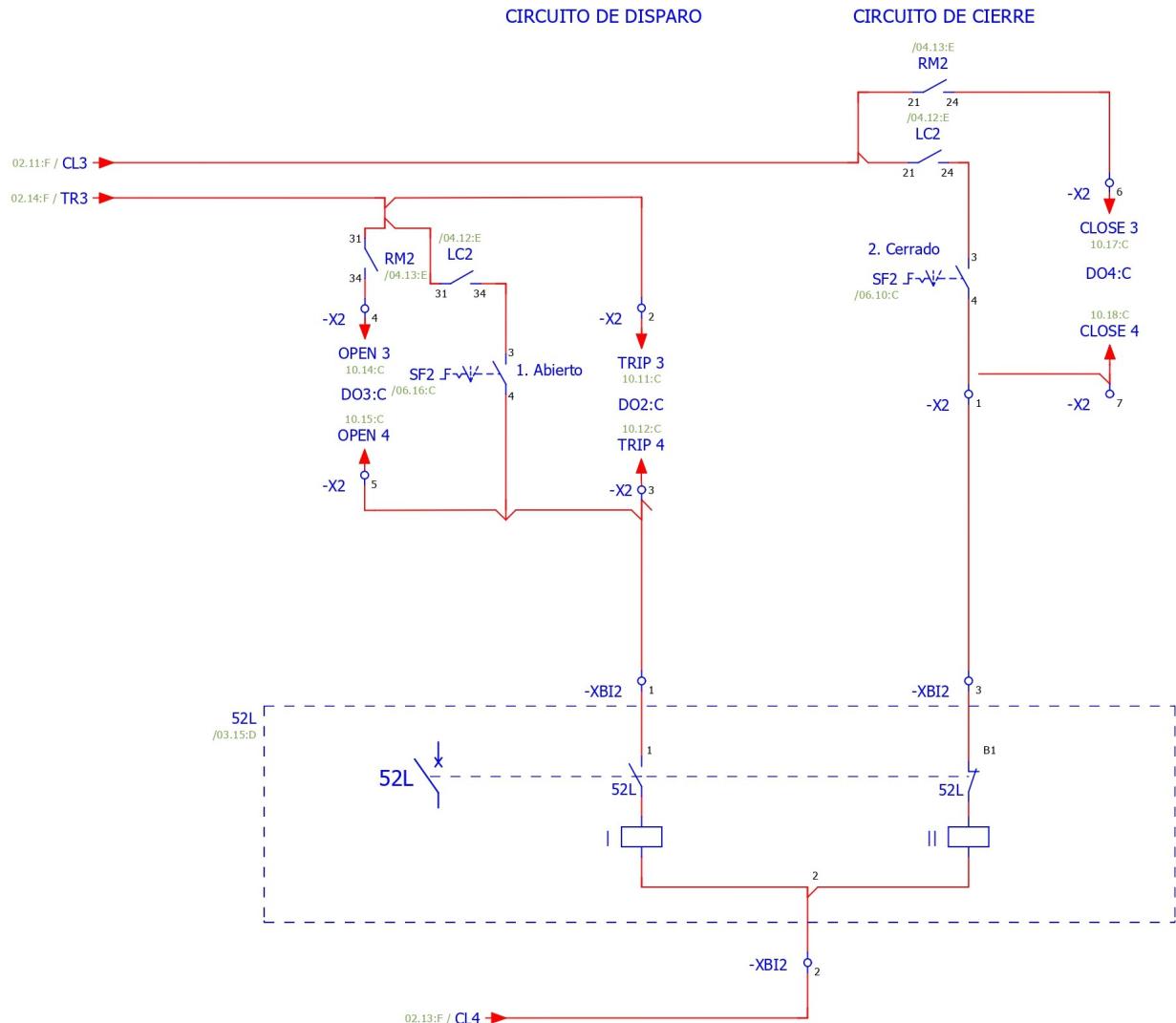
Los circuitos de comando y control de los relés biestables se diseñaron para la lógica local/remoto y la operación de disparo y cierre de los interruptores con sus dos bobinas, como se muestra en las Figura 2.6 y 2.7.

**Figura 2.6: Circuito de comando y control de 52H**



*Nota.* Elaborado en Eplan Electric P8.

**Figura 2.7: Circuito de comando y control de 52L**



*Nota.* Elaborado en Eplan Electric P8.

Las salidas del relé de protección para la lógica de control y comando se muestran en la Tabla 2.4.

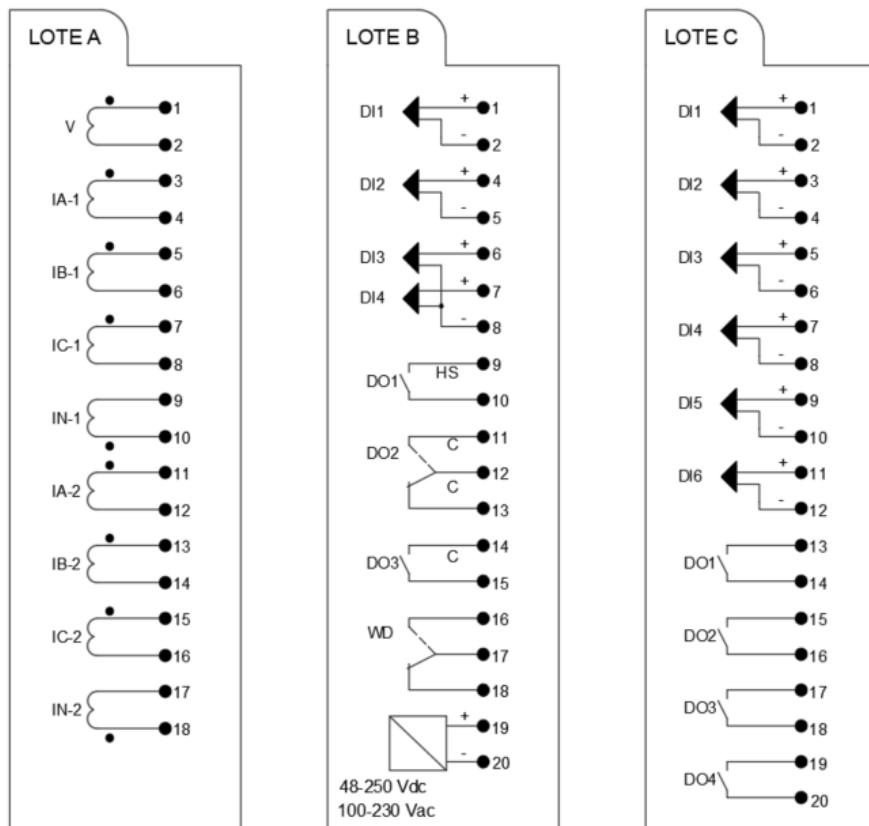
**Tabla 2.4:** Salidas digitales del relé de protección P5T30 para control y comando de relés

Designación	Descripción
DO1 (LOTE:B)	Salida digital de comando para el disparo de 52H
DO3 (LOTE:B)	Comando de apertura desde el relé para operación remota de 52H
DO1 (LOTE:C)	Comando de cierre desde el relé para operación remota de 52H
DO2 (LOTE:C)	Salida digital de comando para el disparo de 52L
DO3 (LOTE:C)	Comando de apertura desde el relé para operación remota de 52L
DO4 (LOTE:C)	Comando de cierre desde el relé para operación remota de 52L

### 2.2.2.3. Control de relé P5T30

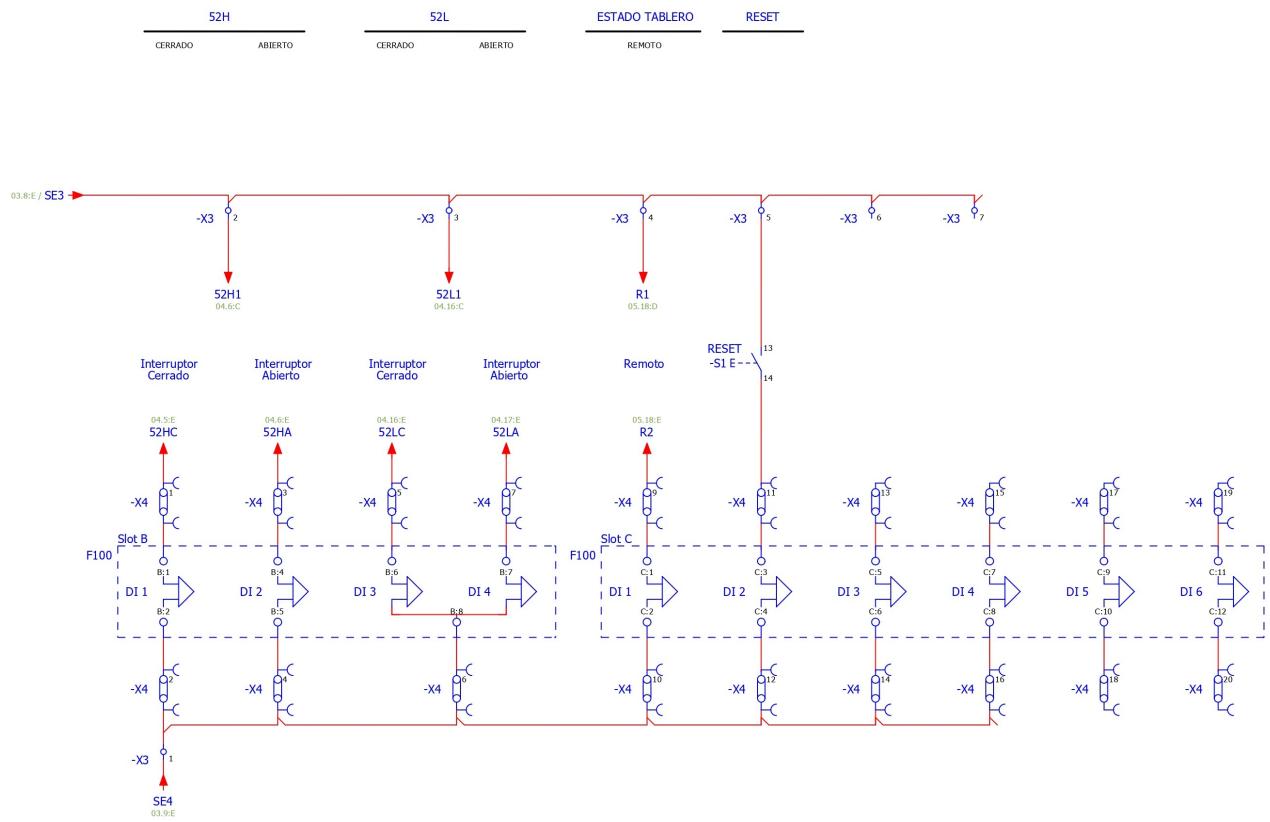
El relé P5T30 de protección tiene entradas y salidas agrupadas en lotes para el sistema didáctico, como se muestra en la Figura 2.8.

**Figura 2.8:** Disposición de entradas y salidas



Las entradas digitales del relé se definieron según las funciones de control y comando del tablero (Tablas 2.2 y 2.3), e incluyeron una para un pulsador de *RESET*, como se muestra en la

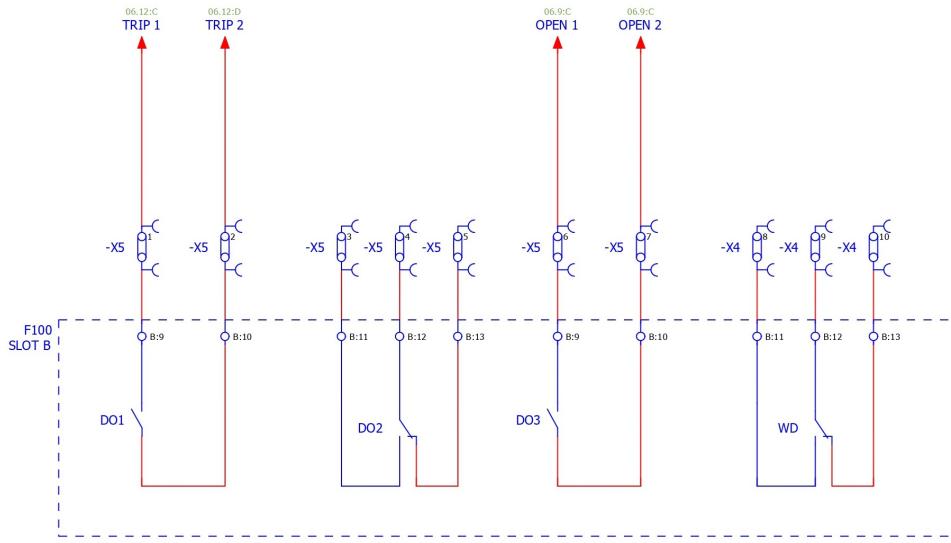
Figura 2.9.

**Figura 2.9: Entradas digitales en Relé P5T30**

*Nota.* Elaborado en Eplan Electric P8.

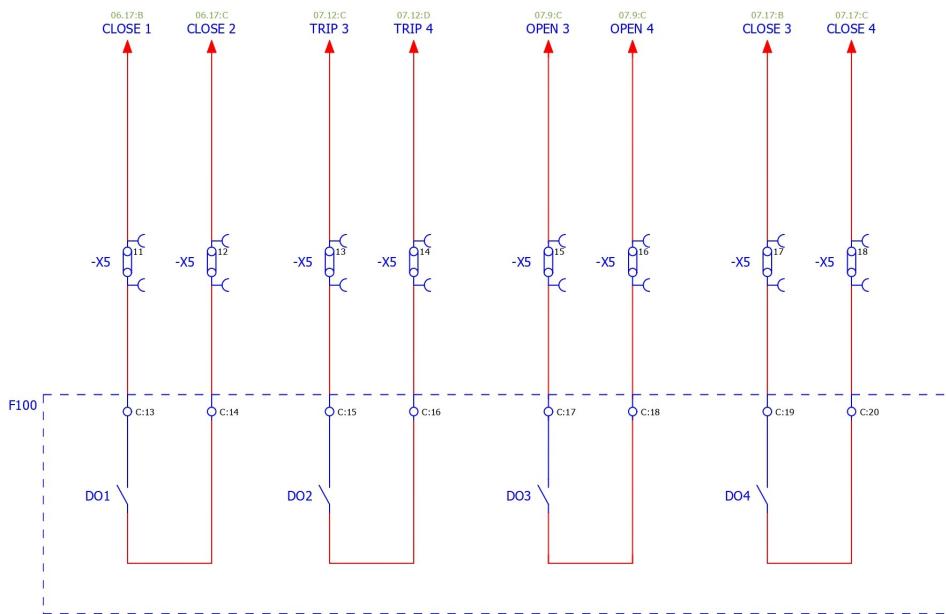
Las salidas digitales se implementaron según la Tabla 2.4 para comandar apertura y cierre, como se muestra en las Figura 2.10 y 2.11.

**Figura 2.10:** Salidas digitales en lote B relé P5T30



Nota. Elaborado en Eplan Electric P8.

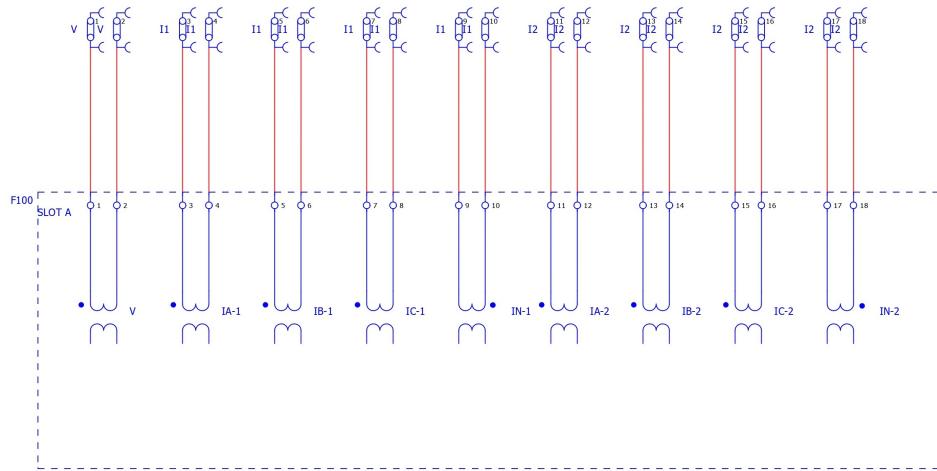
**Figura 2.11:** Salidas digitales en lote C relé P5T30



Nota. Elaborado en Eplan Electric P8.

Las entradas analógicas se usan para inyección de corriente y se conectan a bornes con terminales tipo banana, como se muestra en la Figura 2.12.

**Figura 2.12: Entradas analógicas en lote A relé P5T30**

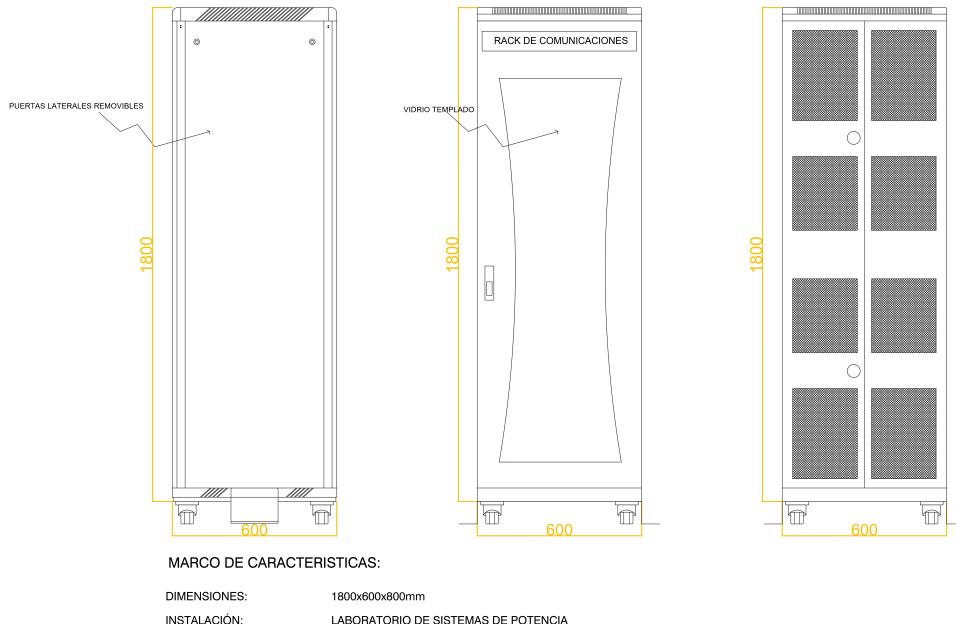


Nota. Elaborado en Eplan Electric P8.

#### 2.2.2.4. Diseño del tablero didáctico

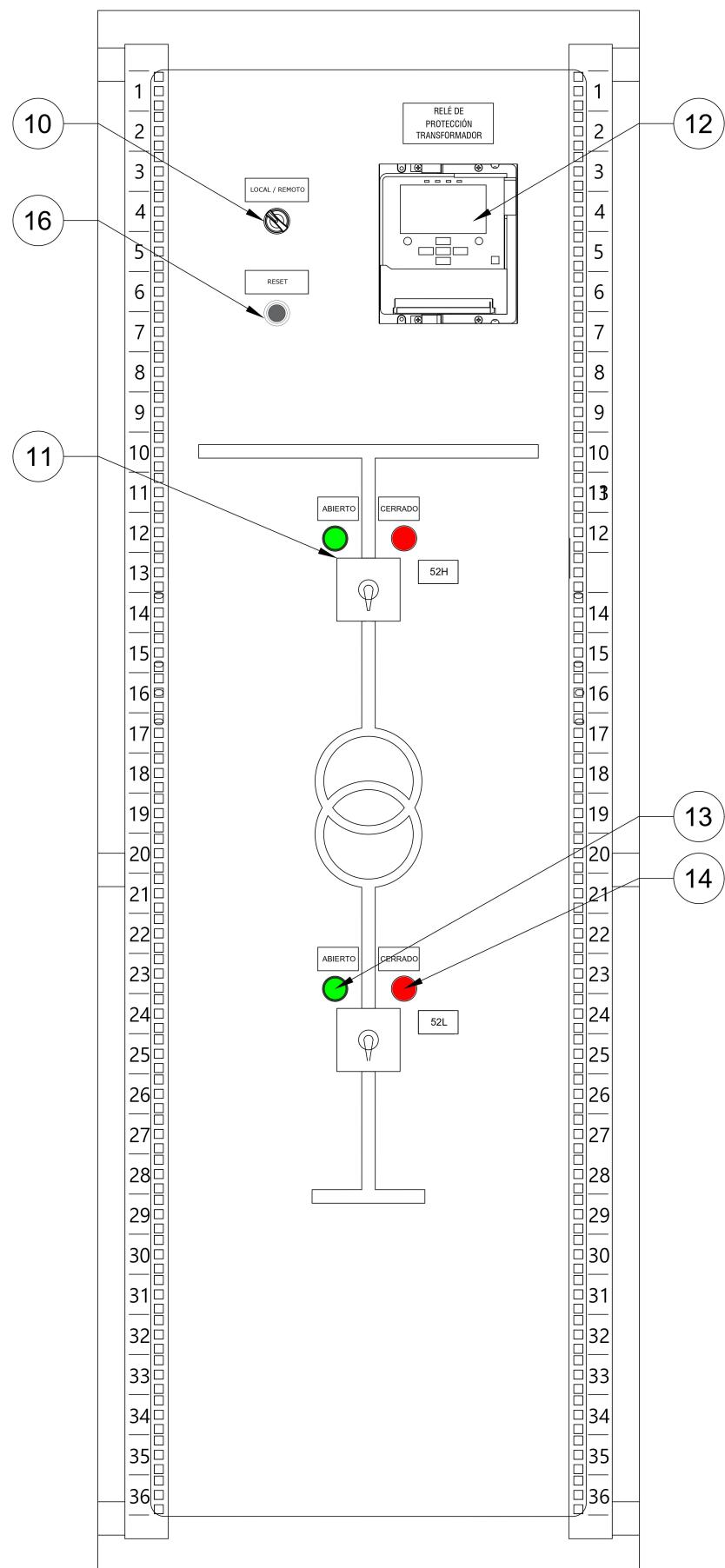
El conexionado y disposición de elementos se definieron según el modelo del tablero tipo rack.

**Figura 2.13: Vista general del tablero tipo rack**

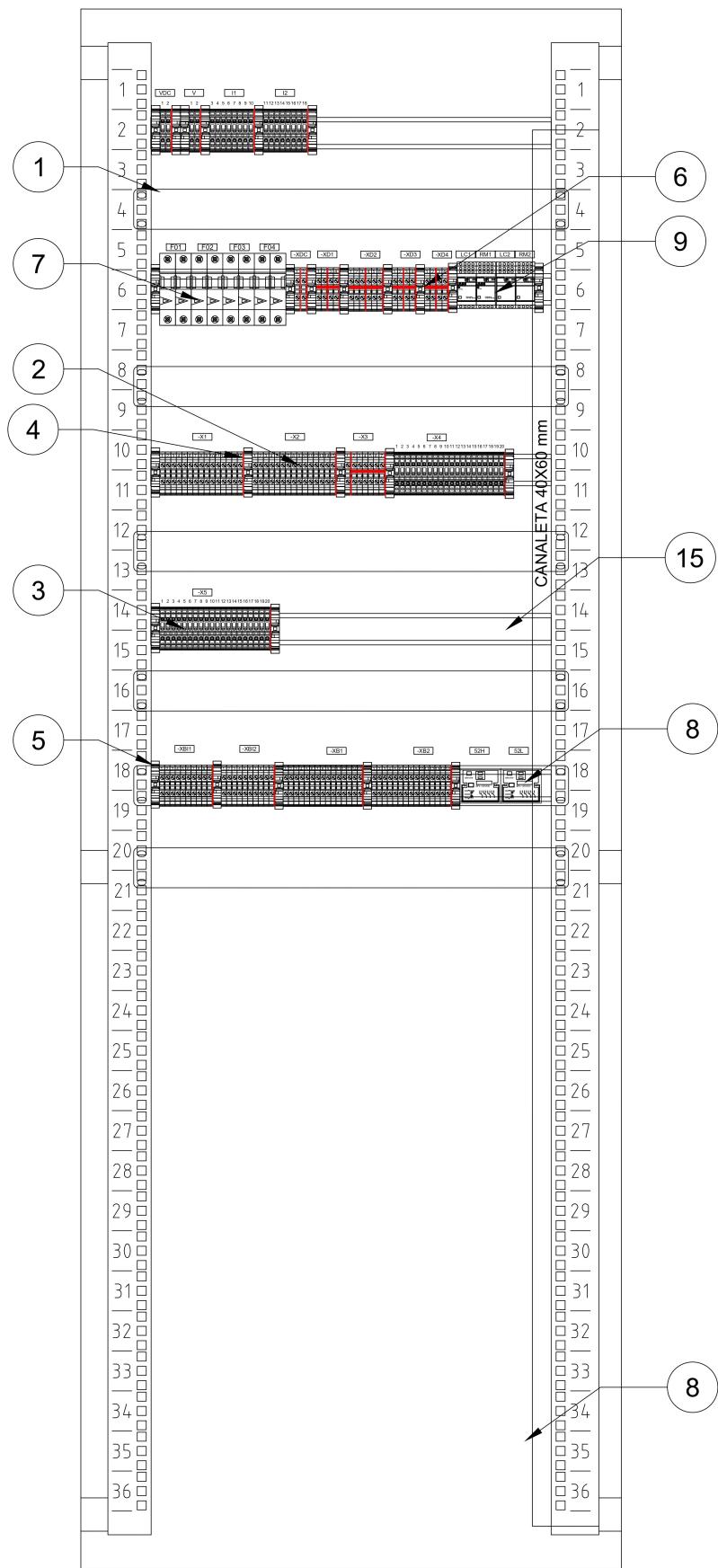


Los planos del armario con los materiales se diseñaron de acuerdo a Figura 2.14 y Figura 2.15.

**Figura 2.14: Vista frontal del tablero**



**Figura 2.15:** Vista posterior y disposición de elementos en el tablero



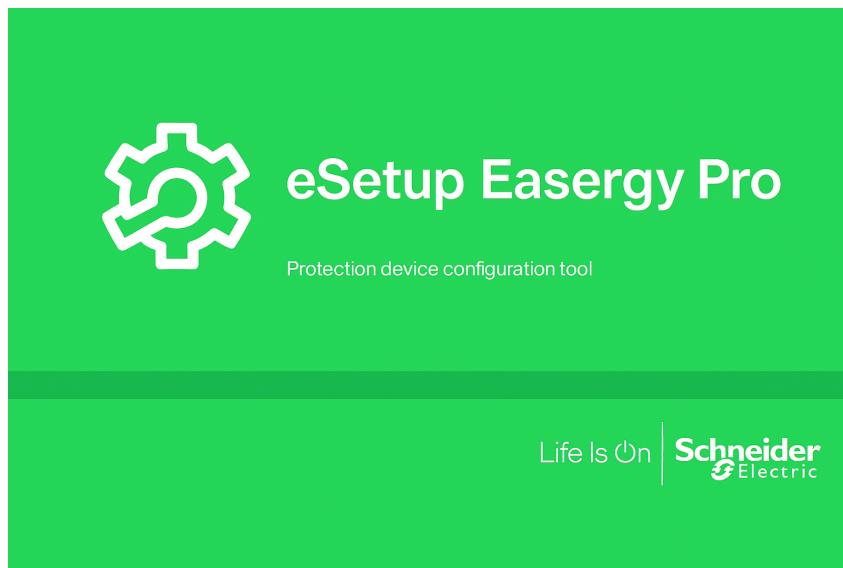
**Tabla 2.5:** Listado de equipos utilizados

Nº	Equipo	Marca	Cant.
1	Organizador de 1U	CONECTION	5
2	Borne conexión (definir modelo)	–	107
3	Borne seccionable con terminales de pruebas	–	60
4	Tope final para borne	–	26
5	Tapa final para bornera	–	24
6	Puente metálico p/bornera	–	10
7	Breaker RIEL DIN 2P - 6A	ABB	4
8	Relé de dos estados - 4 inversores	ARTECHE	2
9	Relé auxiliar de un estado	–	4
10	Selector de dos posiciones manecilla con palanca	–	2
11	Selector de dos posiciones con retorno	–	2
12	Relé P5T30 de transformador	SCHNEIDER ELECTRIC	1
13	Luz piloto verde	–	2
14	Luz piloto roja	–	2
15	Riel DIN 35mm x 1m	–	5
16	Pulsador	–	1

### 2.3. Parametrización del Relé

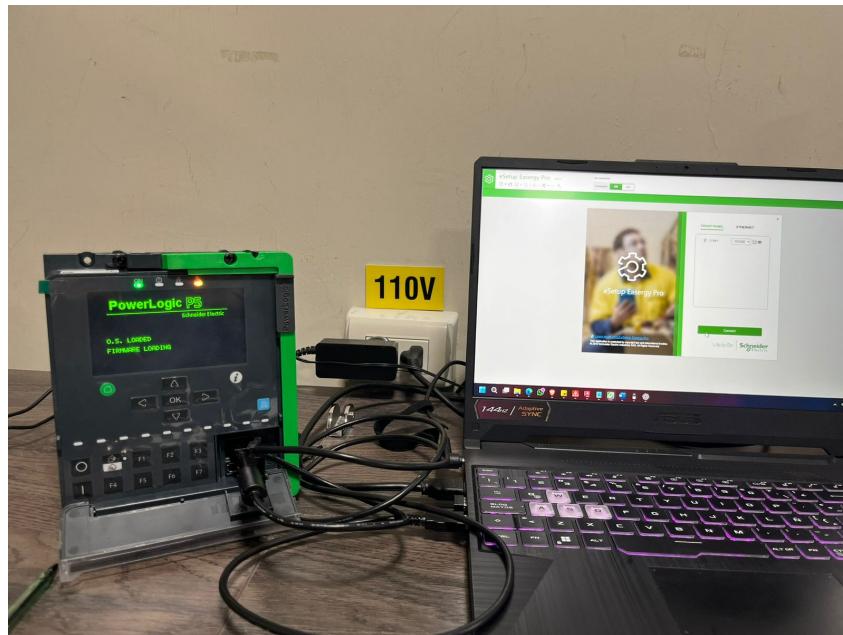
La parametrización se realizó con el *software* eSetup Easergy Pro V4.9.1, usado para configurar y operar relés de protección Schneider Electric.

**Figura 2.16:** Software Easergy Pro V4.9.1



La conexión al relé de protección se hizo mediante *USB*.

**Figura 2.17:** Conexión con Relé P5T30 para parametrización



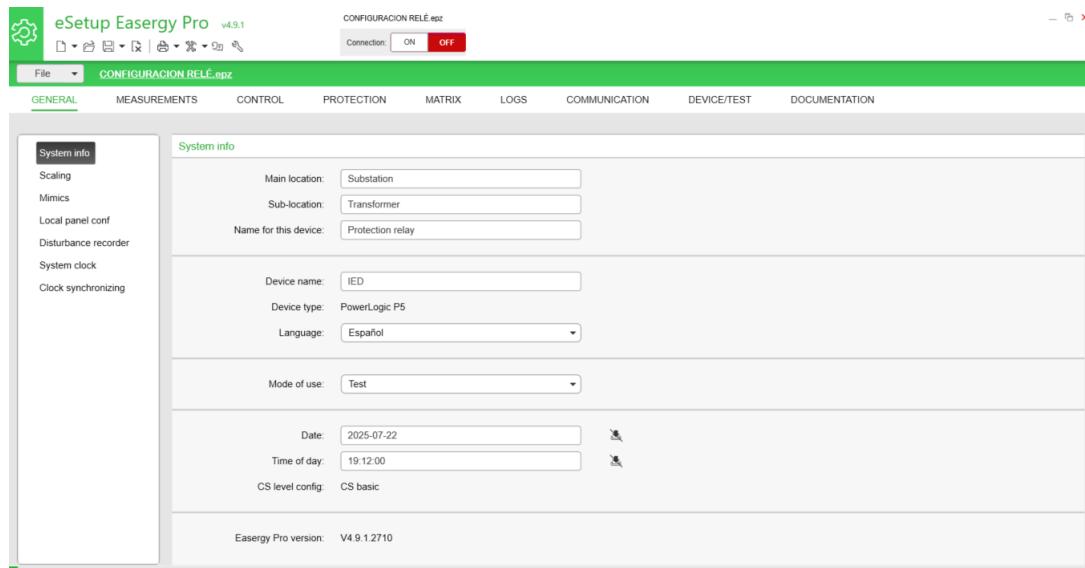
*Nota.* Fotografía tomada por el autor.

El *software* de configuración contiene las secciones de la Tabla 2.6. En la parametrización se definieron entradas analógicas y digitales, y las salidas digitales de la etapa de ingeniería.

**Tabla 2.6:** Resumen de configuración por secciones – Relé P5T30

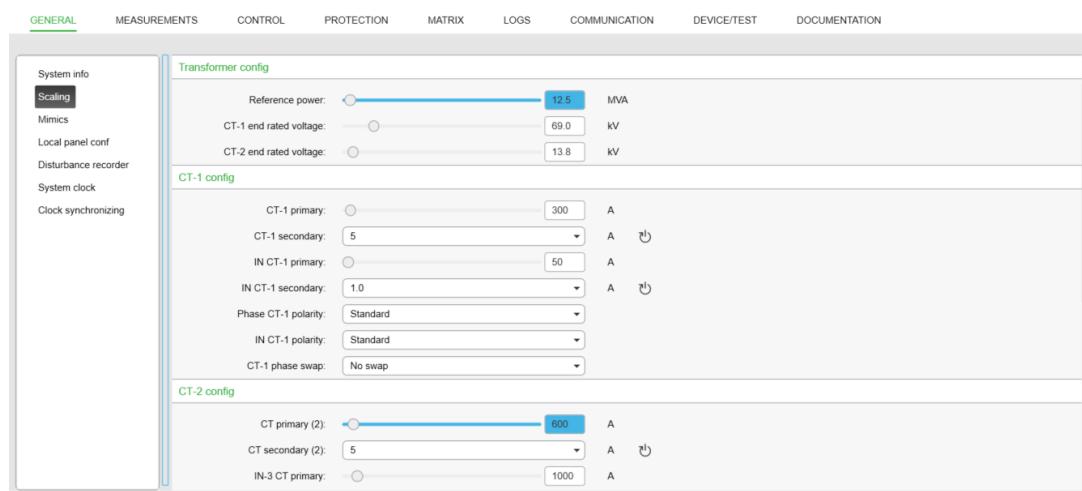
Nº	Sección	Descripción
1	GENERAL	Configura datos del sistema, parámetros nominales del transformador y TCs, mímico en display, brillo, grabación de disturbios y sincronización horaria.
2	MEASUREMENTS	Visualiza en tiempo real corrientes, voltajes, valores RMS, fasores, armónicos y registros de máximos/mínimos.
3	CONTROL	Permite nombrar señales digitales, definir objetos de control, señales virtuales, lógica programable y configuración de LEDs.
4	PROTECTION	Establece y configura las funciones de protección disponibles en el relé.
5	MATRIX	Asigna salidas para funciones de control y protección. También define qué LEDs se utilizarán.
6	LOGS	Registra eventos, alarmas, activaciones de protecciones, salidas digitales y valores extremos (12 meses y últimos 31 días).
7	COMMUNICATION	Configura los protocolos de comunicación disponibles en el relé.
8	DEVICE/TEST	Muestra información general del relé y estado del equipo.
9	DOCUMENTATION	Presenta una vista general de las etiquetas, botones y elementos visibles en el frontal del relé.

Cada uno de estos apartados se pueden observar en Figura 2.18.

**Figura 2.18:** Panel del Easergy Pro

El relé P5T30 protege transformadores, por lo que en la sección general se definen sus valores nominales y los de los transformadores de corriente, mostrados en la Tabla 2.7.

**Figura 2.19:** Valores nominales definidos en el software Easergy Pro



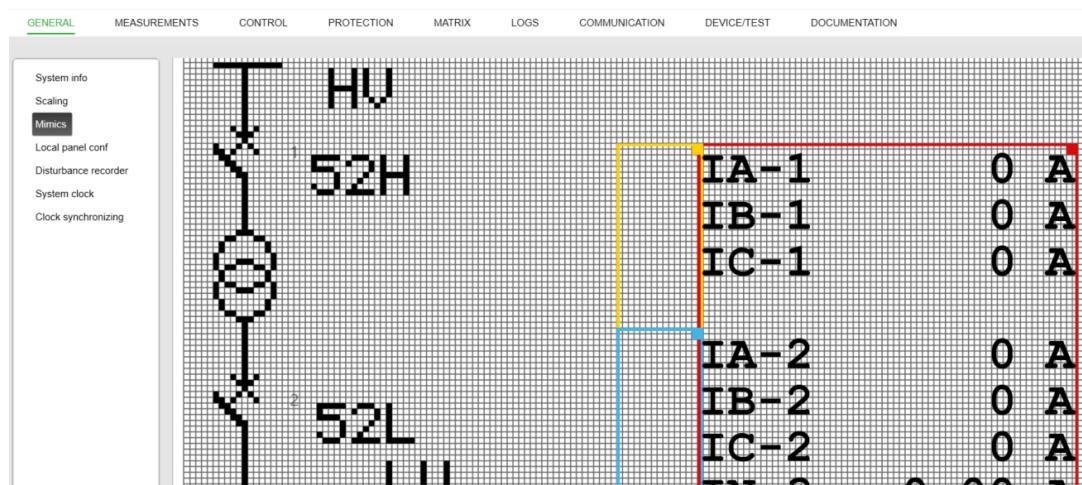
Nota. Autoría propia.

**Tabla 2.7:** Parámetros configurados en la sección Scalling

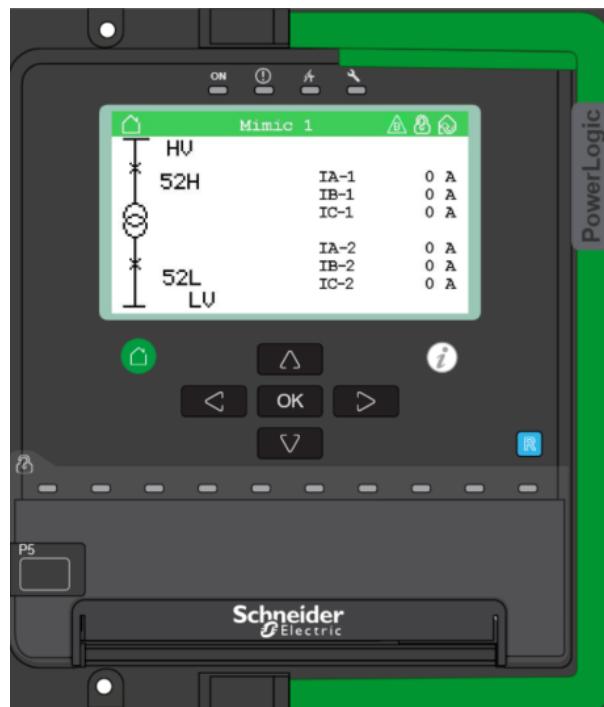
Parámetro	Valor configurado
Potencia aparente nominal	12.5 MVA
Tensión nominal lado primario (CT-1)	69.0 kV
Tensión nominal lado secundario (CT-2)	13.8 kV
Relación TC-1	300/5 A
Relación TC-2	600/5 A

Se diseñó el mímico que representa el diagrama unifilar que estará ubicado en el tablero.

**Figura 2.20:** Diseño del mímico



**Figura 2.21:** Vista frontal del relé en el software Easergy Pro

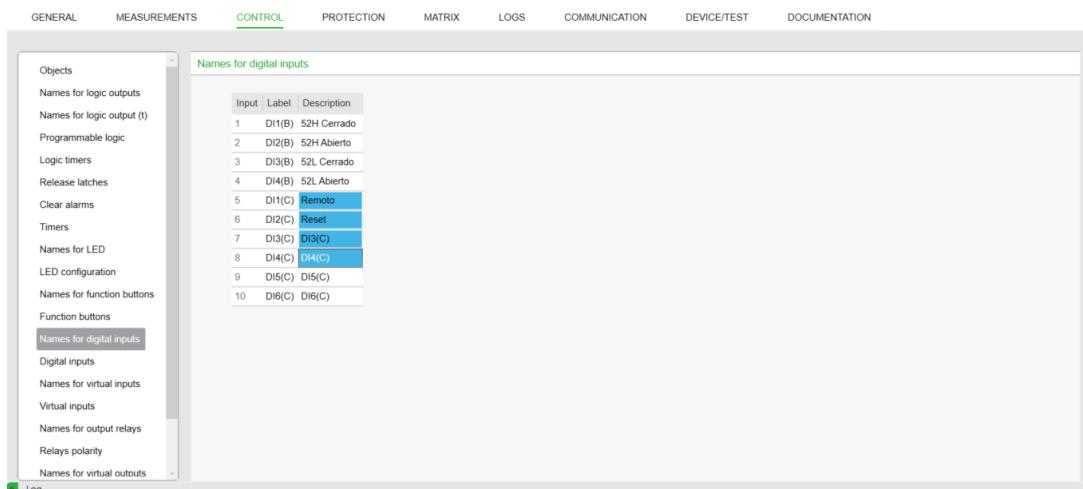


Las señales de entrada y salida se etiquetaron en la sección de control según la ingeniería realizada, como se muestra en las Figura 2.23 y 2.22.

**Figura 2.22:** Etiquetado de las señales de salida

Description	Label
Disparo 52H	DO1(B)
CB Trip lockout_DO2(B)	DO2(B)
Abrir 52H	DO3(B)
Cerrar 52H	DO1(C)
Disparo 52L	DO2(C)
Abrir 52L	DO3(C)
Cerrar 52L	DO4(C)

**Figura 2.23:** Etiquetado de las señales de entrada



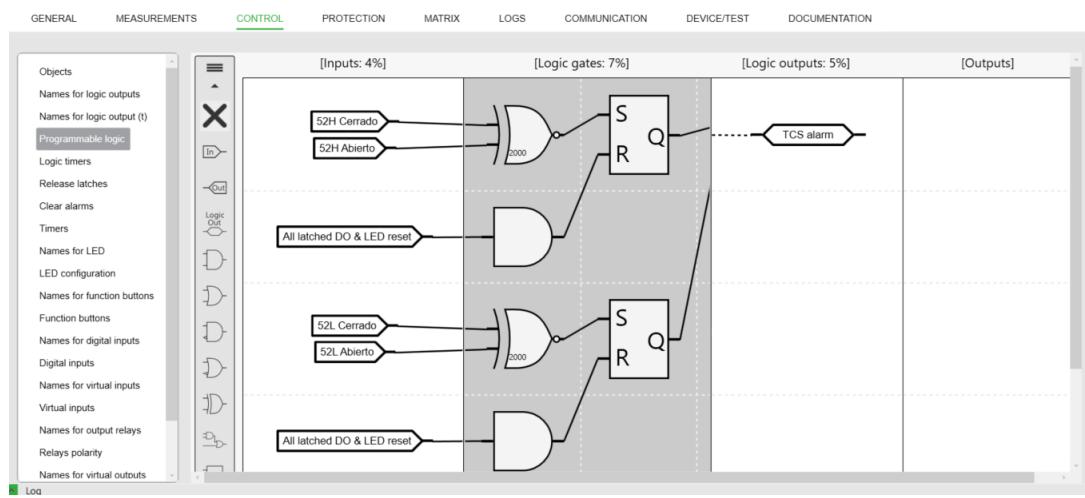
Para el registrador de disturbios se seleccionaron los canales que se pueden observar en Tabla 2.8.

**Tabla 2.8:** Canales registrados en el registrador de disturbios – Relé P5T30

Nº	Canal
1	IA-1 (Corriente fase A - primario)
2	IB-1 (Corriente fase B - primario)
3	IC-1 (Corriente fase C - primario)
4	IA-2 (Corriente fase A - secundario)
5	IB-2 (Corriente fase B - secundario)
6	IC-2 (Corriente fase C - secundario)
7	Starts (inicios de operación de funciones de protección)
8	Trips (órdenes de disparo ejecutadas)

Para supervisar el circuito de disparo (TCS) se usaron puertas XOR, una *flip-flop* SR y entradas digitales definidas en la ingeniería.

**Figura 2.24:** Lógica programable y establecimiento de la supervisión del circuito de disparo



El relé tiene 10 LEDS programables en orden alfabético y 4 no programables que indican su estado. Las asignaciones están en la Tabla 2.10.

**Tabla 2.9:** LEDs no programables

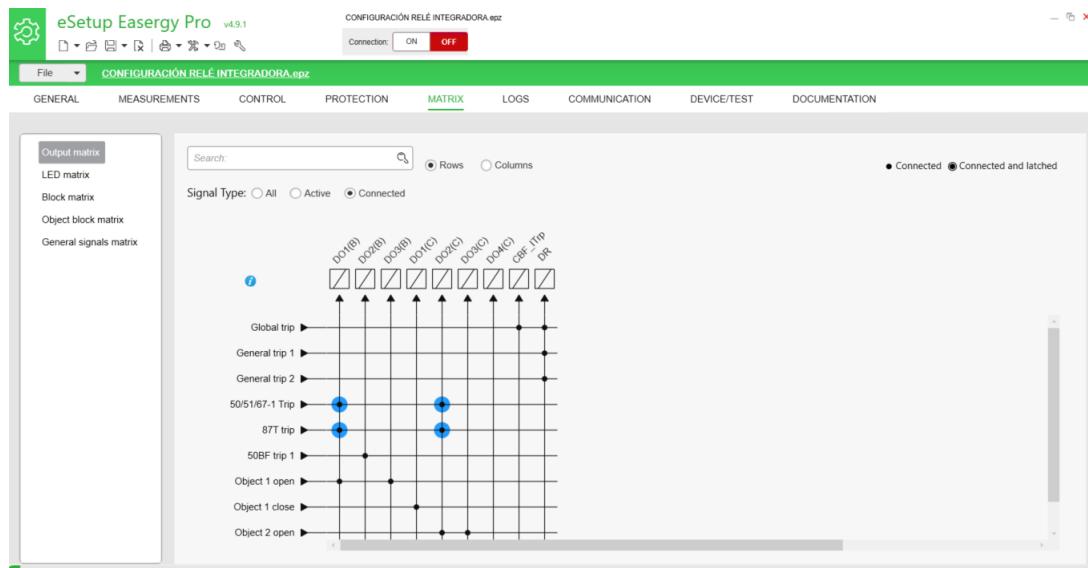
Nº	Función del LED
1	ENCENDIDO/APAGADO LED
2	Alarma LED
3	Disparo LED
4	Mantenimiento/Prueba LED

**Tabla 2.10:** Asignación de LEDs programables

LED	Descripción
LED A (green)	52H Abierto
LED A (red)	52H Cerrado
LED B (green)	52L Abierto
LED B (red)	52L Cerrado
LED C (orange)	Arranque general
LED D (red)	Disparo 51P (1)
LED E (red)	Disparo 87T
LED E (orange)	Bloqueo de diferencial
LED F (red)	50BF
LED G (orange)	Alarma TCS

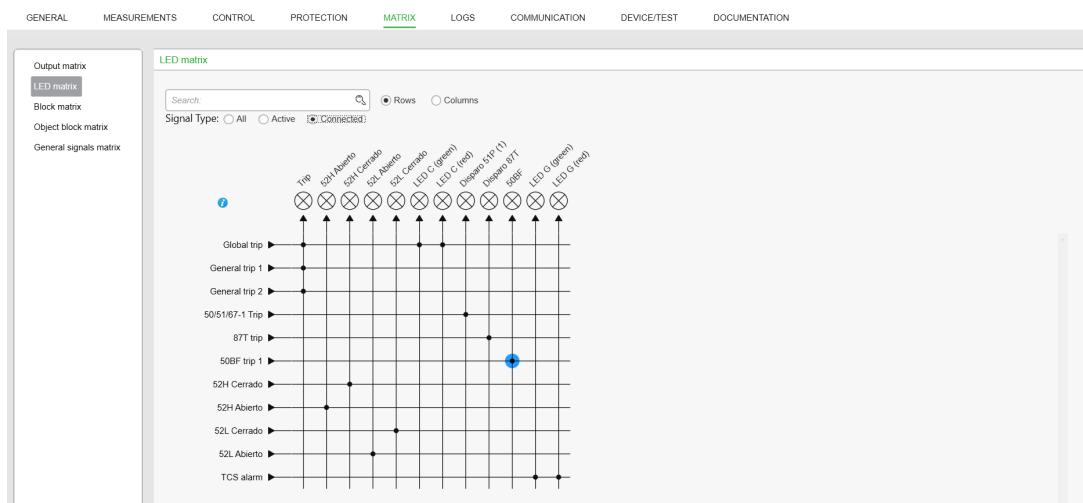
Las salidas digitales se definieron en la matriz del software Easergy Pro, como se muestra en las Figura 2.10 y 2.11.

**Figura 2.25:** Configuración de la matriz de salida



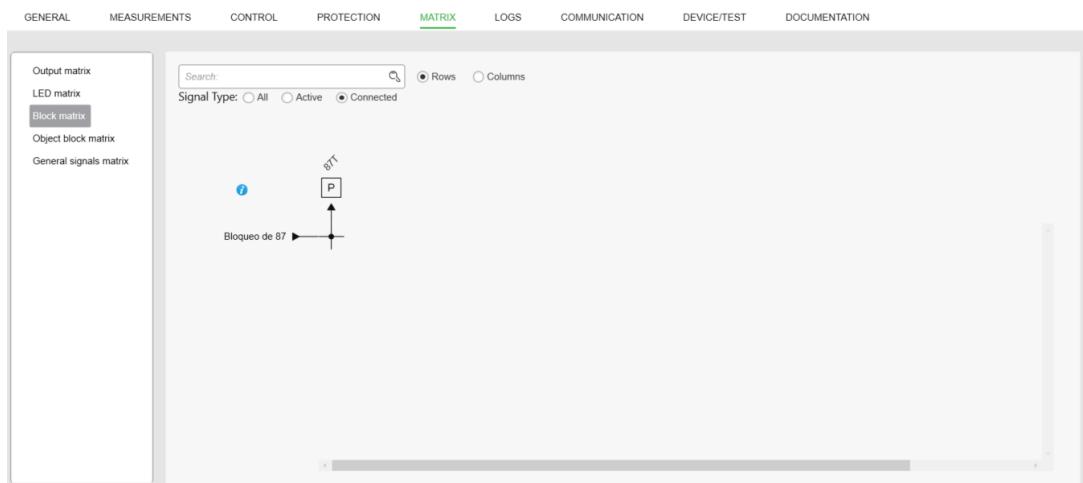
Las salidas de las luces LED se configuraron de la siguiente manera.

**Figura 2.26: Configuración de la matriz LEDS**



Se configuró un bloqueo de la protección diferencial para pruebas de inyección secundaria, permitiendo ensayar otras protecciones y con fines didácticos.

**Figura 2.27: Configuración de la matriz de bloqueos**



## 2.4. Construcción del tablero

El tablero se construyó en un *rack* de comunicaciones de 37 unidades por motivos de espaciamiento y practicidad para emular visualmente los tableros de protecciones habituales ubicados en cuartos de celdas. Además, se seleccionaron estas dimensiones para habilitar futuras aplicaciones en el tablero, ya sea la incorporación de *patch panels* o algún *switch* de comunicaciones. Las placas y el mímico del tablero se fabricaron en acrílico de 2 mm de grosor, se montaron en la parte frontal sobre una plancha metálica de 2 mm, pintada de color negro mate.

**Figura 2.28:** Construcción del tablero de protecciones tipo rack

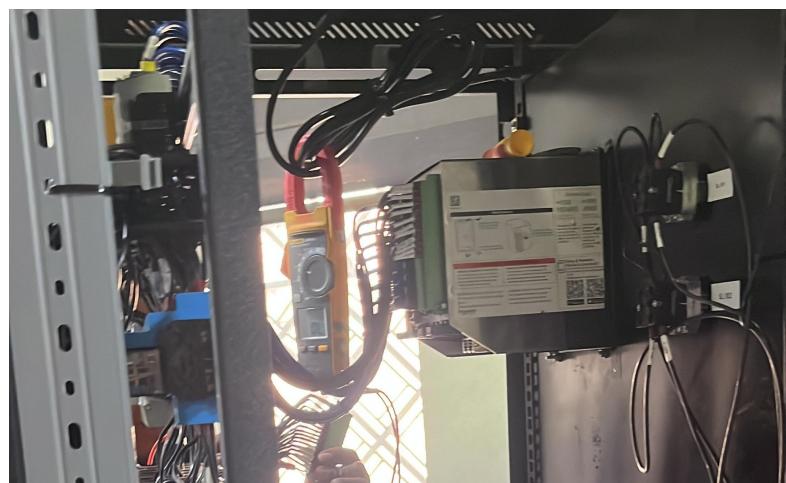


El marquillado se hizo con un etiquetador Brady BM-21 PLUS utilizando referencias cruzadas con el siguiente formato: Bornera de donde parte el cable / Bornera a donde se dirige el cable. Siguiendo esta estructura se cableó y se ordenaron los cables para un mejor acabado visual.

**Figura 2.29:** Equipo utilizado para marquillar



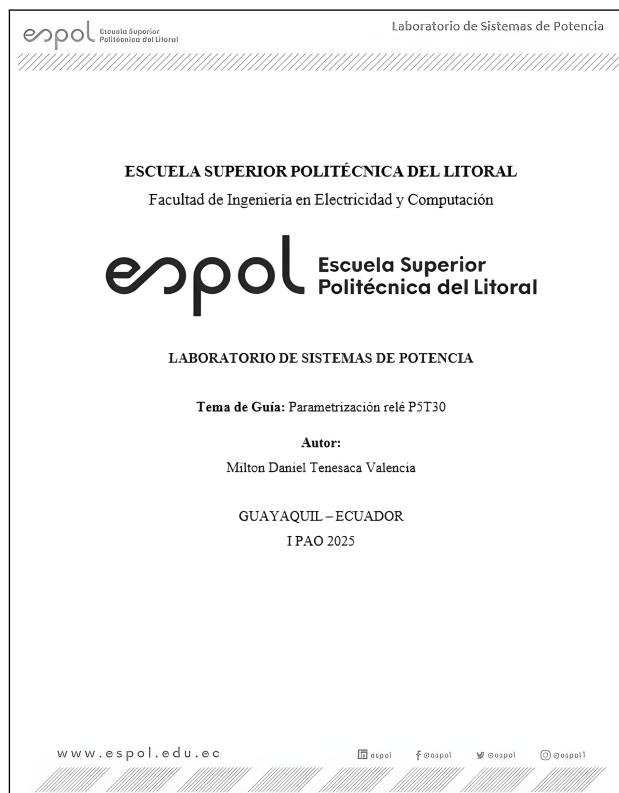
**Figura 2.30:** Cableado del tablero con el relé



## 2.5. Guías prácticas

Para las guías correspondientes se trataron de ajustar lo mayor posible a las prácticas habituales que se realizan en los laboratorios.

**Figura 2.31:** Portada utilizada para las guías prácticas



Incluyen objetivos, herramientas y equipos a utilizar si aplica, imágenes de conexionados utilizando la ingeniería del tablero y las conexiones pertinentes para la realización de pruebas si aplican, la explicación del uso de las interfaces de los *softwares* que se utilizan, ya sea para la parametrización del relé usando *Easergy Pro* o para parametrizar la maleta de pruebas disponible en el laboratorio CMC 256 PLUS. Además, incluyen secciones de procedimientos para realizar las prácticas junto con resultados que contemplan el uso de tablas o directrices para el cálculo de errores porcentuales si aplican. Finalmente, para las prácticas que involucran protecciones eléctricas, se elaboró un banco de preguntas relacionado con el contenido de la práctica para reforzar los temas.

### 2.5.0.1. Guía de parametrización

La guía de parametrización se elaboró detallando la configuración del relé, explicando las opciones que se pueden parametrizar en cada sección y en cada apartado del *software*. Esta guía se enfocó principalmente en dar una explicación práctica y teórica, cuando fue necesario, de las funciones que se pueden establecer en las áreas de control y protección del relé P5T30. Además, orienta a configurar el relé para que funcione en conjunto con el tablero didáctico y su ingeniería realizada.

Se utilizaron tablas y cuadros explicativos en las imágenes para detallar de manera didáctica los apartados configurables.

**Figura 2.32:** Configuración de la supervisión de circuito de disparo ANSI 74

Laboratorio de Sistemas de Potencia

La lógica de actuación de la alarma se describe en Tabla 11 y Tabla 12 .

Estado del interruptor	Condición	Señal digital de estado abierto del interruptor	Señal digital de estado cerrado del interruptor	Alarma TCS
Cerrado	Buen estado del circuito de disparo	1	0	0
	Falla en circuito de disparo	0	0	1
		1	1	1

Tabla 11. Lógica de alarma TCS con interruptor abierto.

Estado del interruptor	Condición	Señal digital de estado abierto del interruptor	Señal digital de estado cerrado del interruptor	Alarma TCS
Abierto	Buen estado del circuito de disparo	0	1	0
	Falla en circuito de disparo	0	0	1
		1	1	1

Tabla 12. Lógica de alarma TCS con interruptor cerrado.

En el apartado de **Programmable Logic** se crea la lógica programable utilizando las señales digitales asociadas a los estados de los interruptores para establecer la señal de alarma TCS. Esto se puede realizar utilizando compuertas digitales, así como, asignando entradas y/o salidas digitales o virtuales.

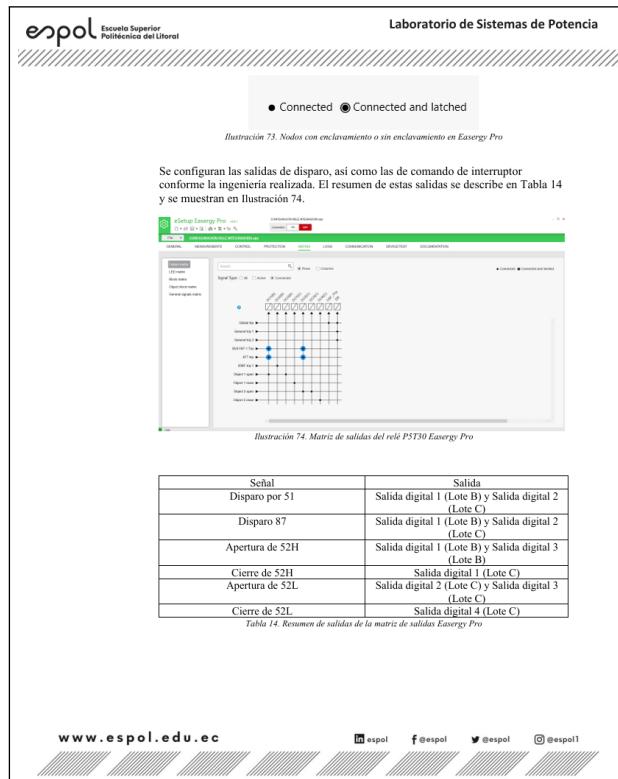
Ilustración 61. Lógica programable Easergy Pro

Se crea una compuerta XOR con los siguientes datos.

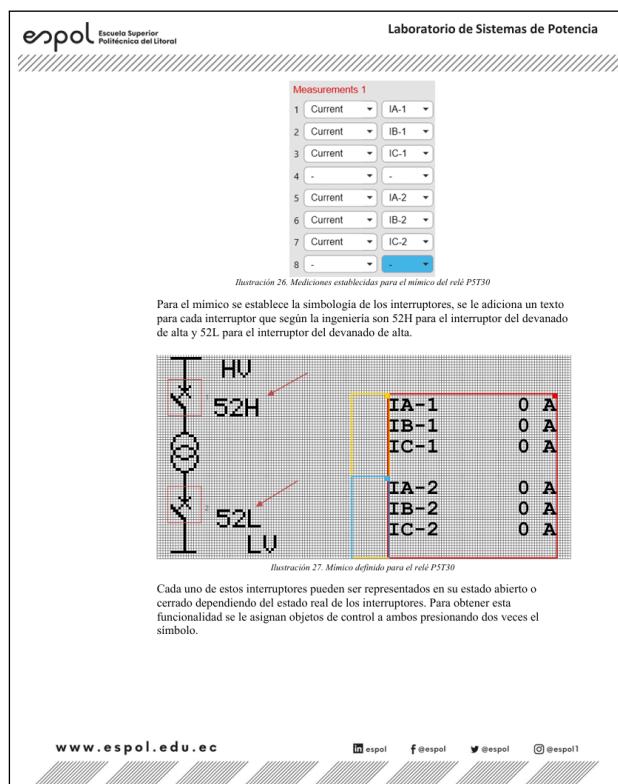
www.espol.edu.ec

espol @espol @espol

**Figura 2.33: Configuración de la matriz de salidas del relé**



**Figura 2.34: Explicación del dibujo del mímico en el software**



Con base a la guía de parametrización, se realizó un video explicativo sobre lo detallado en la práctica.

### 2.5.0.2. Guía práctica protección 87

La presente guía de protección diferencial se elaboró con el propósito de profundizar en la parametrización de la función 87, abordando tanto su configuración como la explicación del modo en que el relé P5T30 establece la característica diferencial.

Se incluyó un apartado específico dedicado a las conexiones del tablero didáctico, sustentado en la ingeniería previamente desarrollada, junto con la integración de la maleta de pruebas OMICRON modelo CMC 256 *PLUS*, disponible en el laboratorio.

La práctica fue diseñada no solo para explicar la prueba característica desde un enfoque teórico y práctico, sino también para incorporar funcionalidades complementarias inherentes a la protección de un transformador de potencia. Entre ellas se destacan el bloqueo por segundo armónico, aplicado en condiciones de *inrush*, y el bloqueo por quinto armónico, implementado para escenarios de sobresaturación.

Para los ensayos se emplearon los datos del transformador mostrados en la Tabla 2.7, seleccionando el grupo vectorial DYn5 con fines didácticos, a fin de ilustrar el procedimiento de compensación implementado en el equipo.

La elección de este arreglo tuvo como finalidad emular el comportamiento operativo de un transformador de potencia, proporcionando un recurso pedagógico adecuado para el aprendizaje.

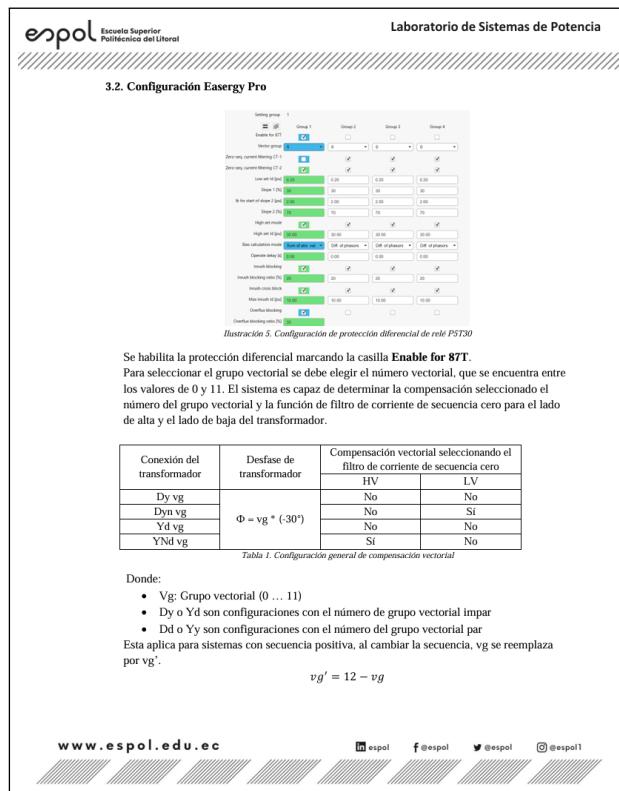
**Tabla 2.11:** Parámetros principales de la característica diferencial (Grupo 1)

Parámetro	Valor
Grupo vectorial	5
Corriente mínima de arranque (Id) [pu]	0.20
Pendiente 1 (Slope 1) [ %]	30
Corriente de inicio para pendiente 2 (Ib) [pu]	2.00
Pendiente 2 (Slope 2) [ %]	70
Umbral alto de corriente diferencial (High set Id) [pu]	30.00
Modo de cálculo del sesgo (Bias)	$I_R = \frac{ I_1  +  I_2 }{2}$

Se elaboraron tablas de toma de datos con el fin de aplicar de manera práctica los resultados obtenidos en las pruebas y facilitar su posterior análisis, orientado al reforzamiento de la teoría relacionada con las protecciones eléctricas. Este recurso metodológico permitió vincular los contenidos teóricos con la práctica experimental en condiciones de laboratorio.

La configuración de la fórmula de corriente de restricción se definió para interactuar adecuadamente con la maleta de pruebas disponible en el laboratorio, asegurando la correcta ejecución de los ensayos y la obtención de resultados representativos para su análisis.

**Figura 2.35: Configuración de protección diferencial para práctica**



### 2.5.0.3. Guía práctica protección sobrecorriente 50/51

La guía de protección de sobrecorriente se elaboró con el propósito de profundizar en la configuración de esta función en el relé. En ella se detallan las conexiones eléctricas entre el equipo de pruebas de inyección secundaria y el tablero didáctico, además de incorporar información teórica complementaria para la correcta parametrización de la protección de sobrecorriente, tomando como referencia el manual del equipo.

Se analizaron las curvas de tiempo inverso de mínimo definido y las curvas de tiempo

definido, resaltando las ventajas que ofrece el relé al disponer de una amplia gama de curvas que pueden adaptarse al esquema de protección mediante el uso de tablas.

Asimismo, se incluyeron funciones adicionales como el adiconador de tiempo definido y el tiempo mínimo de operación, que amplían la versatilidad del sistema de protección.

De igual manera, se abordaron las aplicaciones de bloqueo por segundo armónico y por arranque en frío de cargas, como parte de las funcionalidades complementarias del relé.

Para la configuración de la prueba se emplearon los datos establecidos en la Tabla 2.12.

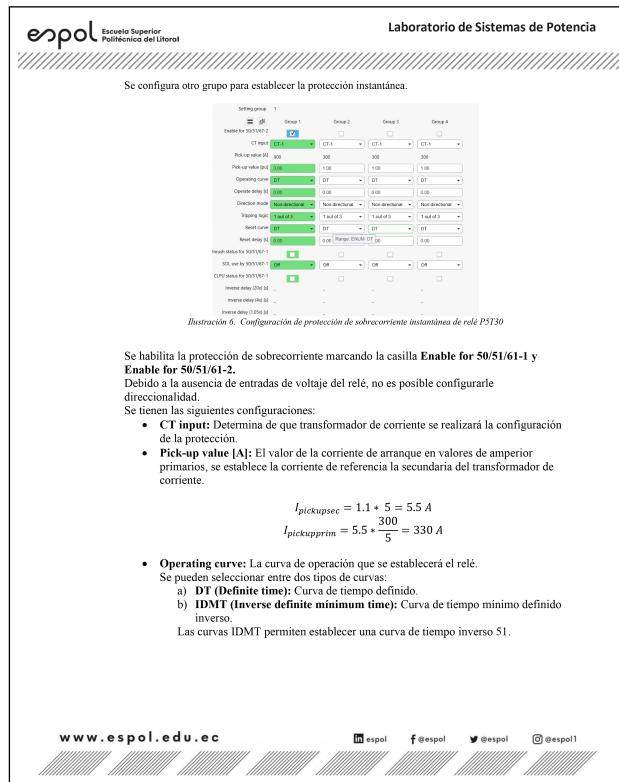
**Tabla 2.12:** Parámetros principales de la protección de sobrecorriente (Grupo 1)

Parámetro	Valor
Entrada de TC (CT input)	CT-1
Corriente de arranque 51 (Pick-up) [A]	330
Corriente de arranque 51 (Pick-up) [pu]	1.10
Corriente de arranque 50 (Pick-up) [pu]	900
Corriente de arranque 50 (Pick-up) [pu]	3.00
Curva de operación (Operating curve)	IEC_SI (F1)
Retardo de operación (Operate delay) [s]	0.00
Multiplicador de tiempo (TMS)	0.070 (F1)
Retardo mínimo de operación (Minimum operate delay) [s]	0.00
Modo direccional (Direction mode)	No direccional (todas las fases)

Las aplicaciones desarrolladas correspondieron a la prueba característica de sobrecorriente, tanto en su modalidad de tiempo inverso como en la modalidad instantánea. Para este propósito se elaboraron tablas de registro de datos, las cuales posteriormente serán analizadas e interpretadas a la luz de la teoría previamente adquirida, permitiendo establecer una relación directa entre los fundamentos teóricos y la práctica experimental.

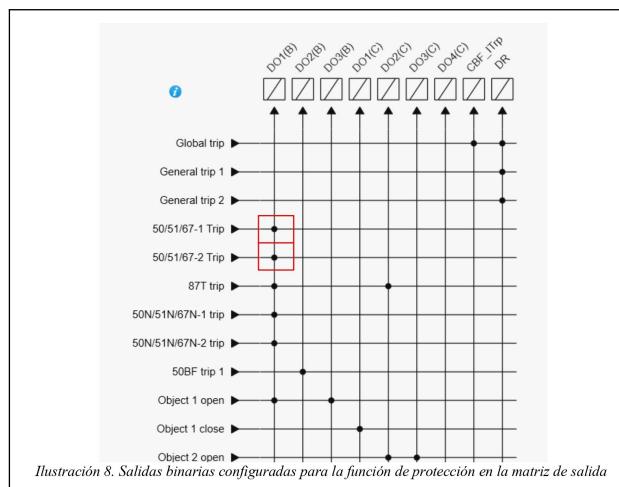
Los valores de configuración fueron seleccionados de manera intencional con el objetivo de reproducir un escenario de operación real mediante el uso de maletas de pruebas, simulando condiciones representativas de los ensayos realizados en relés que incorporan funciones de protección por sobrecorriente. Esta selección metodológica garantizó que los resultados obtenidos fueran coherentes con situaciones prácticas de campo y útiles para el proceso de aprendizaje.

**Figura 2.36:** Configuración de protección de sobrecorriente para práctica



La matriz de salida fue configurada con el propósito de generar un disparo en el nivel de alta tensión, considerando como criterio de análisis la medida proporcionada por el transformador de corriente (TC) de alta. Esta selección metodológica permitió complementar la función principal de protección diferencial, asegurando que la operación del sistema de pruebas reflejara condiciones representativas de la aplicación real en transformadores de potencia.

**Figura 2.37:** Configuración de matriz de salida para disparo en alta



Nota. Fotografía tomada por el autor.

# Capítulo 3

## Resultados

### 3.1. Ingeniería

Se elaboró un documento técnico de once páginas en el *software EPLAN Electric P8*, donde se detalló la estructura eléctrica y funcional del tablero didáctico de protecciones.

**Tabla 3.1:** *Estructura del Proyecto Integrador: Tablero de Protecciones Didáctico*

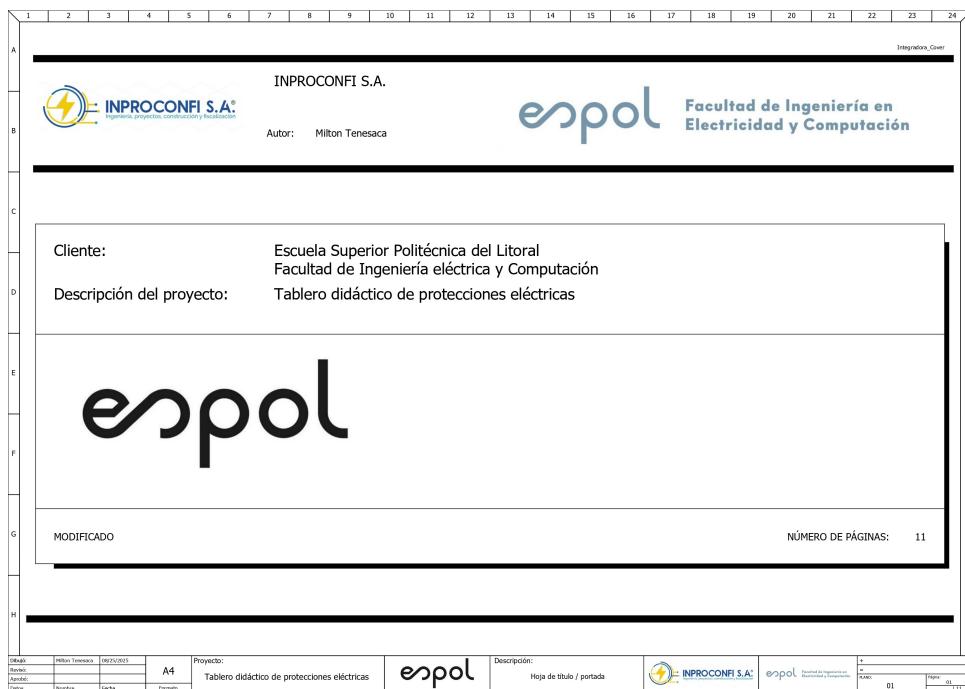
Página	Descripción
01	Hoja de título / portada
02	Alimentación DC
03	Estados y mímicos
04	Estados
05	Disparo y comando 52H
06	Disparo y comando 52L
07	Entradas analógicas relé
08	Entradas digitales relé
09	Salidas digitales relé 1
10	Salidas digitales relé 2
11	Relé de protección

La portada del documento correspondiente a la ingeniería realizada incorpora información esencial, como el nombre del cliente, la descripción detallada del proyecto ejecutado, así como los datos del autor y de los contribuyentes responsables del desarrollo del tablero didáctico

junto con el relé de protecciones.

Adicionalmente, se implementó un marco de referencia diseñado para aprovechar la funcionalidad de referencia cruzada que integra el propio *software* de diseño eléctrico. Dicho marco incluye elementos fundamentales como el número de página, la descripción de cada lámina, la identificación del proyecto, el formato del dibujo y la fecha de elaboración.

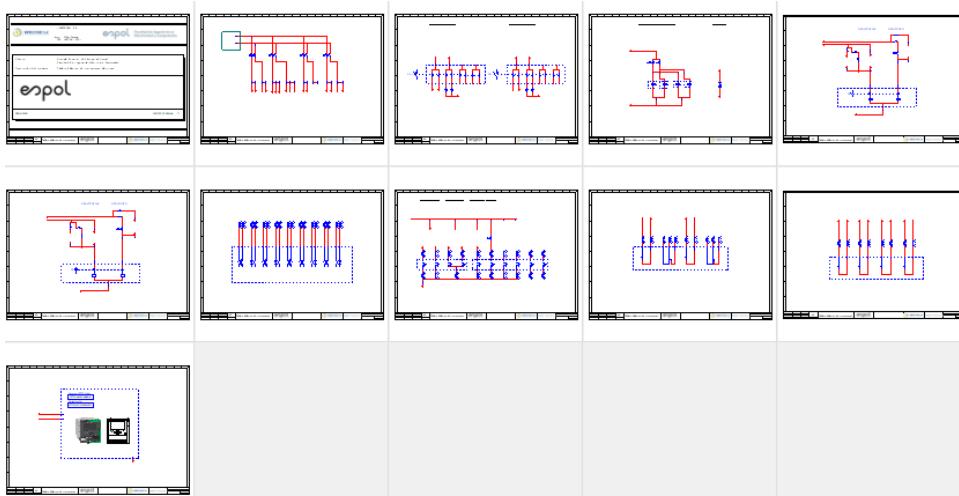
**Figura 3.1:** Portada y marco desarrollado para la ingeniería



La ingeniería elaborada consta de un total de 11 páginas, en las cuales se detalla la información pertinente al conexionado tanto del tablero didáctico como del relé de protecciones. Cada lámina presenta de manera estructurada los diagramas y referencias necesarias para la correcta interpretación de las conexiones, asegurando la coherencia entre el diseño y la implementación práctica.

A partir de estas representaciones gráficas se procedió a la ejecución de las conexiones físicas, empleando el marquillado correspondiente y respetando rigurosamente lo establecido en el documento de ingeniería.

**Figura 3.2: Resumen gráfico de ingeniería**



## 3.2. Tablero didáctico de protecciones

Se construyó el tablero didáctico incorporando el relé Schneider Electric P5T30 y un mímico representativo del diagrama unifilar, con el propósito de facilitar la comprensión y la interacción directa con el sistema de protección. El producto final incluye los elementos especificados en la Tabla 2.5.

El mímico y los selectores fueron configurados para ofrecer un control local de nivel 1, lo que permite la interacción con los relés de dos estados a través de selectores de tres posiciones, así como mediante la interfaz directa del propio relé. Este esquema proporciona al usuario la posibilidad de realizar maniobras operativas de manera didáctica, reforzando la comprensión de la lógica de control.

En lo referente al control remoto, este bloquea las funciones locales mediante un selector de dos posiciones, asegurando que la prioridad de operación recaiga en el modo supervisado a distancia. Complementariamente, se incluyó un pulsador destinado a cumplir la función de *RESET* de los enclavamientos del relé.

**Figura 3.3: Tablero didáctico de protecciones vista frontal**



En la parte posterior se usaron los organizadores de 1 unidad *rack* para permitir la organización de los cables con un acabado sinérgico con el color del tablero. Cada elemento, como conjunto de borneras, cables y relés, está debidamente etiquetado conforme la ingeniería establecida.

El espacio inferior se proyectó para futuras aplicaciones con el tablero.

**Figura 3.4:** Tablero didáctico de protecciones vista posterior de conexiones



Para la alimentación del tablero se utilizaron cables de calibre 12 para permitir mayor ampacidad. Lo mismo sucede con las entradas analógicas de corriente que se incorporaron.

**Figura 3.5:** Alimentación del tablero didáctico



Se utilizaron borneras con puntas de pruebas para las señales analógicas de entrada y las señales digitales de entrada y salida con el fin de poder utilizar didácticamente los cables tipo banana que se encuentran disponibles en el laboratorio de protecciones.

**Figura 3.6:** Borneras con terminales de prueba para entradas analógicas



*Nota.* Fotografía tomada por el autor.

Los relés de dos estados se ubicaron en la parte inferior del tablero y fueron incorporados con

el propósito de simular el comportamiento de dos interruptores independientes, ya que disponen de dos bobinas de operación.

**Figura 3.7: Relés de dos estados**



*Nota.* Fotografía tomada por el autor.

El relé fue montado en la parte frontal del tablero sobre una plancha metálica, acompañada de una placa de acrílico destinada a su identificación. Adicionalmente, se incorporó una tira de cartulina blanca que permite señalar de manera clara la funcionalidad asignada a cada luz *LED* configurable. Este recurso complementario facilita la asociación entre la señalización luminosa y los eventos de protección, contribuyendo a una mejor comprensión operativa durante el desarrollo de prácticas en el laboratorio.

Figura 3.8: Relé de transformador Schneider electric modelo P5T30



Nota. Fotografía tomada por el autor.

Las luces piloto incorporadas en el tablero permiten visualizar el estado operativo de los interruptores, funcionando como una señalización directa del comportamiento de los relés. Cada una de estas luces piloto cuenta con una alimentación de 125 Vdc, valor que se estableció en concordancia con la tensión de alimentación de las bobinas de los relés de dos estados.

**Figura 3.9:** Tablero didáctico de protecciones, mímico y luces piloto

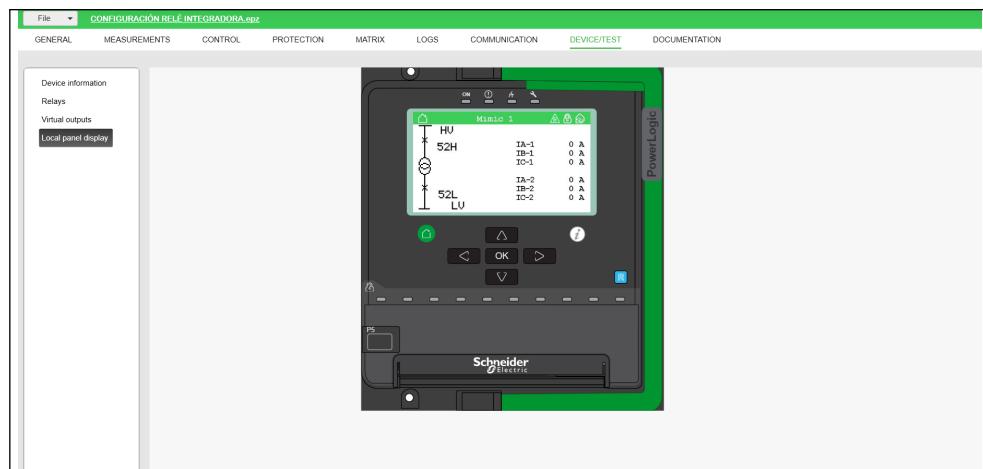


El selector de tres posiciones, provisto de retorno automático al girarse en sentido antihorario, energiza la bobina de apertura de manera local. En cambio, al girarse en sentido horario, energiza la bobina de cierre del relé de dos estados, permitiendo así la apertura y el cierre de los interruptores. Este mecanismo emula un esquema de control de nivel 1 en una subestación, ofreciendo al usuario la posibilidad de reproducir de forma didáctica las maniobras básicas de operación que se llevan a cabo en instalaciones reales.

### 3.3. Guía de parametrización del relé

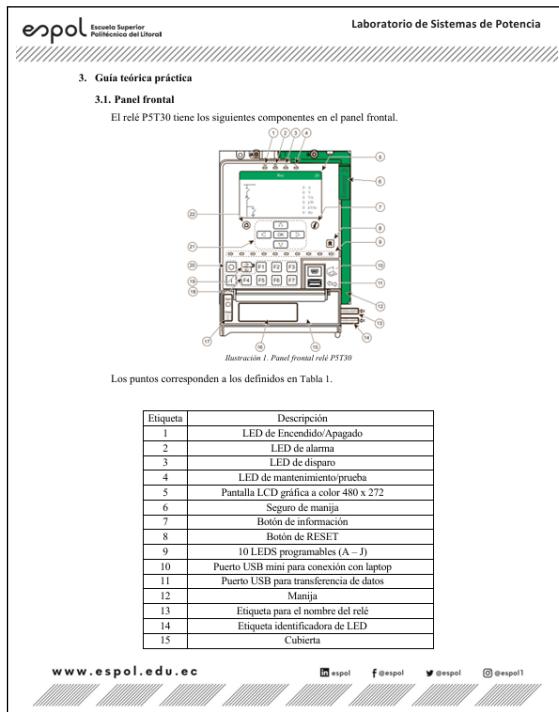
Se elaboró una guía didáctica enfocada en la parametrización del relé modelo P5T30 de la línea Schneider Electric, incorporado en el tablero didáctico de protecciones tipo *rack*. La guía tuvo como finalidad facilitar la familiarización del personal académico con el equipo y mejorar la comprensión del manejo del *software* Easergy Pro.

**Figura 3.10:** Interfaz de configuración en Easergy Pro



La guía de parametrización del relé se organizó en tres apartados principales. En la sección de **objetivos** se detallan las metas de la práctica, estableciendo la manera en que el relé puede configurarse para lograr una operación funcional dentro del tablero didáctico de protecciones eléctricas.

**Figura 3.11: Guía teórica y práctica para la parametrización del relé**



En la sección de **equipos y herramientas** se especifican los elementos necesarios para la práctica, tales como un cable USB tipo mini para la conexión del equipo, además del propio relé numérico y un computador portátil con el *software* de configuración requerido.

Por último, la sección de **guía teórica y práctica** integra la explicación detallada de los pasos a seguir. Se presentan de forma conjunta la teoría que respalda cada acción y las actividades prácticas que deben ejecutarse en el laboratorio al parametrizar. Entre los aspectos más relevantes se encuentran la selección de objetos, el control de estados local/remoto, la asignación de entradas y salidas digitales, la configuración de transformadores de corriente y potencia, así como los ajustes de tiempo y niveles de protección. Además, se incluyen procedimientos relacionados con la supervisión de disturbios, el registro de eventos y la lectura de mediciones en tiempo real.

El *software* está habilitado para poder instalarse en un computador con correo institucional con accesibilidad gratuita, además, la instalación de los drivers respectivos se detallan en el manual del relé P5T30 que también se encuentra disponible en la red.

El documento cuenta con 49 páginas que abarcan explicaciones mediante capturas, cajas de textos, flechas y tablas. Las explicaciones están orientadas a que se conozca el por qué del uso,

que valores se pueden ingresar y en caso de una parametrización diferente, poder realizarla sin problemas.

Se explicaron las funciones de las protecciones tales como, las corrientes de arranque, las funcionalidades de cada protección como las restricciones, los bloqueos, las señalizaciones, las alarmas y además cómo configurar sus salidas para operar los interruptores y poder bloquearse o enclavarse de acuerdo con el configurador.

**Figura 3.12:** Configuración de la protección diferencial en la guía de parametrización



Se especificaron las salidas y entradas a utilizar referenciando al lote del que se encuentran en el relé de protección como se aprecia en Figura 3.13. Aquí se dan pautas para realizar el control local/remoto en el relé de protección.

**Figura 3.13:** Configuración de la función local/remoto en el relé especificando las entradas y salidas

*Ilustración 34. Esquematizado de las señales de entrada del relé P5730 en Easergy Pro*

Apartado	Descripción
Object open DI	Permite establecer el estado del interruptor para monitoreo, además se relaciona con el símbolo establecido en el mímico. Si la señal es recibida en la pantalla del panel frontal se representará el interruptor abierto. Se designó la entrada digital 4 del lote B.
Object close DI	Permite establecer el estado del interruptor para monitoreo, además se relaciona con el símbolo establecido en el mímico. Si la señal es recibida en la pantalla del panel frontal se representará el interruptor cerrado. Se designó la entrada digital 3 del lote B.
DI for remote open control	Permite el control del objeto de manera remota mediante una entrada digital.
DI for remote close control	Permite el control del objeto de manera remota mediante una entrada digital.
DI for local open control	Permite el control del objeto de manera local mediante una entrada digital.
DI for local close control	Permite el control del objeto de manera local mediante una entrada digital.

Tabla 8. Designaciones para el control del objeto 2 en Easergy Pro

A continuación, para tener un mejor control y entendimiento de que señales corresponden a cada entrada digital, se definen en **name for digital inputs**. Fueron etiquetados con base a la ingeniería del tablero de protecciones disfáctico.

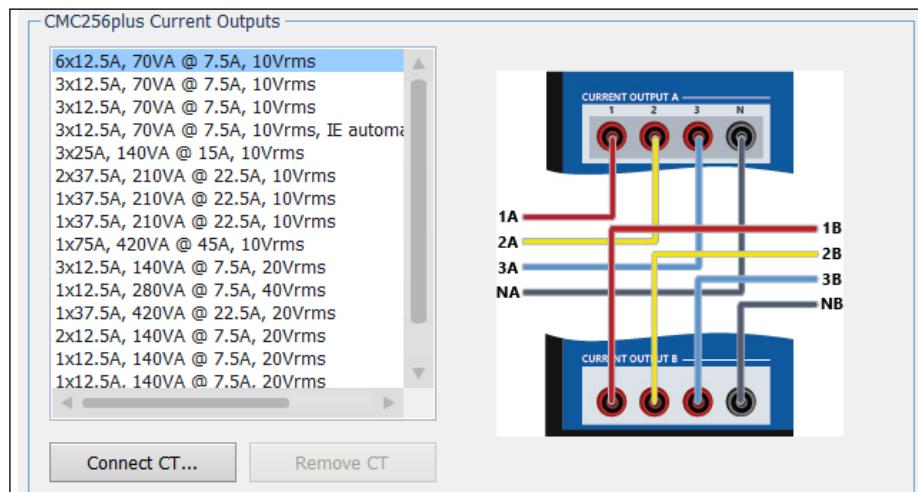
### 3.4. Guía práctica de protección diferencial 87

Se desarrolló una guía práctica orientada a la verificación de la protección diferencial del relé P5T30 mediante la técnica de inyección secundaria empleando maletas de pruebas. La finalidad de esta guía fue proporcionar un recurso didáctico que permita comprender, de manera estructurada, los procedimientos de prueba asociados a esta función de protección.

La guía incluye diagramas eléctricos con carácter pedagógico que ilustran las conexiones necesarias entre las salidas analógicas y binarias de la maleta de pruebas y las entradas correspondientes del tablero didáctico de protecciones, tomando como base la ingeniería previamente elaborada.

Asimismo, se especificaron las borneras requeridas para la realización de las conexiones respectivas y se integraron imágenes de los *softwares* utilizados tanto para la configuración del relé P5T30 como para la operación de la maleta de pruebas.

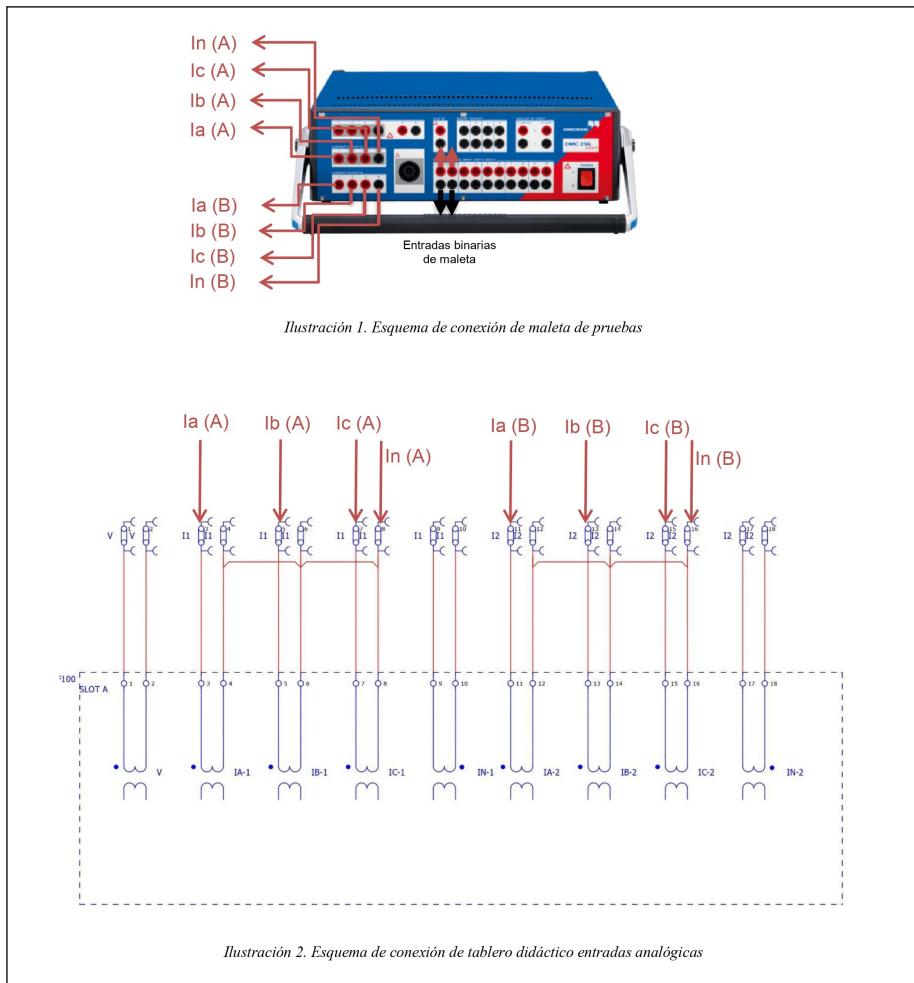
**Figura 3.14:** Grupos de conexiones seleccionadas para la prueba con la maleta CMC 256 plus



Se utilizaron los dos grupos de salidas de corriente con una corriente máxima de inyección de 12.5 Amperios, valor que se especificó en la guía para las pruebas de inyecciones.

Las conexiones se ejecutan directamente en las borneras mediante el uso de puntas de prueba del tablero didáctico. Cabe señalar que, de manera interna, el tablero ya dispone del conexionado correspondiente en configuración de estrella, por lo que no resulta necesario conformar nuevamente dicho arreglo utilizando conductores tipo *banana*.

**Figura 3.15:** Conexión eléctrica de la maleta de pruebas con el tablero didáctico



Las salidas digitales corresponden a las señales de disparo generadas por el relé, configuradas para representar los eventos de actuación de la protección. En este caso, se estableció que se registrarán los disparos tanto en el lado de alta tensión como en el de baja tensión del relé, asociados a la función diferencial.

**Figura 3.16:** Conexión eléctrica de salidas digitales del tablero a las entradas digitales de la maleta

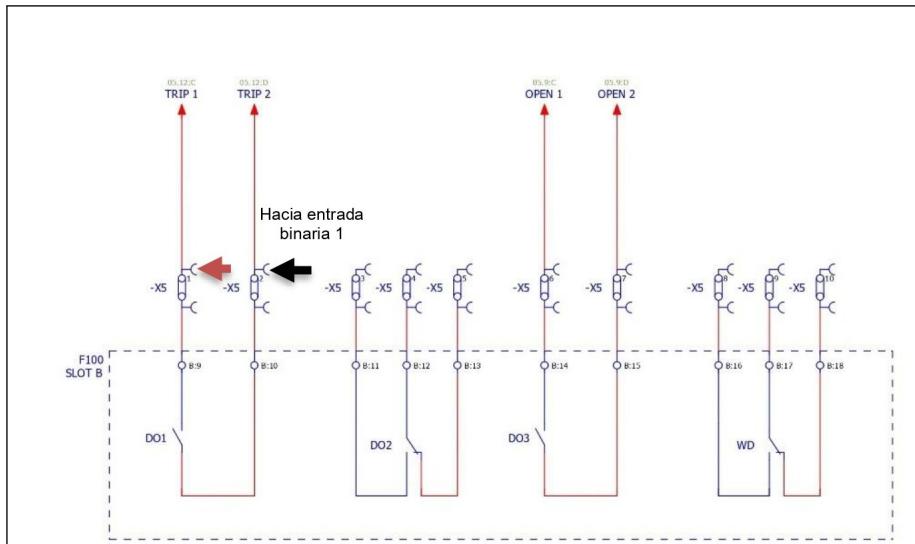


Ilustración 3. Esquema de conexión salidas binarias 1 del tablero didáctico

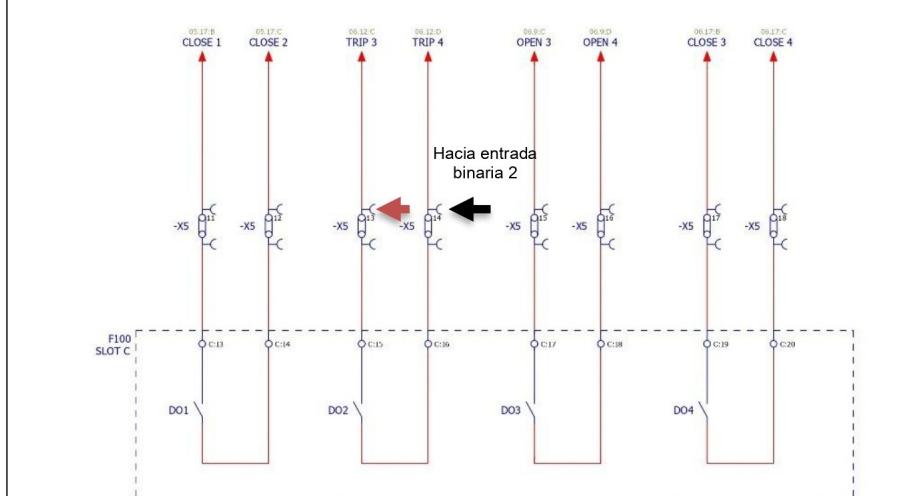


Ilustración 4. Esquema de conexión salidas binarias 2 del tablero didáctico

La guía práctica orientada a la protección diferencial se estructuró en distintos apartados.

En primer lugar, se establecieron los **objetivos**, que consisten en enseñar cómo configurar la protección 87 con el relé Schneider Electric P5T30 y su uso integrado con el tablero didáctico de protecciones, utilizando para ello la práctica de inyección secundaria con la maleta de pruebas disponible en el laboratorio.

En la sección de **equipos y herramientas** se especificaron los elementos necesarios, entre los que se incluyen el tablero didáctico de protecciones, el cable USB mini requerido para la configuración, un computador, la ingeniería realizada del tablero y la maleta de pruebas del laboratorio junto con su respectivo *software* Test Universe.

**Figura 3.17: Software Test universe**



La **guía práctica** incorporó diagramas de conexión entre los equipos explicados de manera detallada, además de un apartado que resalta las capacidades del relé P5T30 en la configuración de la función diferencial.

**Figura 3.18:** Configuración de la protección diferencial del relé P5T30

Se explicó cómo el relé interpreta la curva característica, las fórmulas empleadas, tablas con la compensación vectorial y gráficos ilustrativos

**Figura 3.19:** Configuración de la protección diferencial del relé P5T30

espol Escuela Superior  
Politécnica del Litoral

Laboratorio de Sistemas de Potencia

El relé PST30 establece la característica como se muestra a continuación.

A	Característica de falla alimentada de un solo lado	B	Pendiente 1
C	Pendiente 2	D	Área de disparo

La característica puede ser graficada con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Para } I_R < \frac{I_{d,LS}}{2}; I_d > I_{d,LS}$$

$$\text{Para } \frac{I_{d,LS}}{2} \leq I_R \leq I_{R,S2}; I_d > \text{Slope 1} * \left( I_R - \frac{I_{d,LS}}{2} \right) + I_{d,LS}$$

$$\text{Para } I_R > I_{R,S2}; I_d > \text{Slope 2} * (I_R - I_{R,S2}) + \text{Slope 1} * \left( I_{R,S2} - \frac{I_{d,LS}}{2} \right) + I_{d,LS}$$

[www.espol.edu.ec](http://www.espol.edu.ec)

Asimismo, se incluyó una guía específica sobre el uso del software Test Universe para la

ejecución de la prueba de la curva característica de la protección diferencial.

**Figura 3.20:** Configuración en software Test universe la característica diferencial

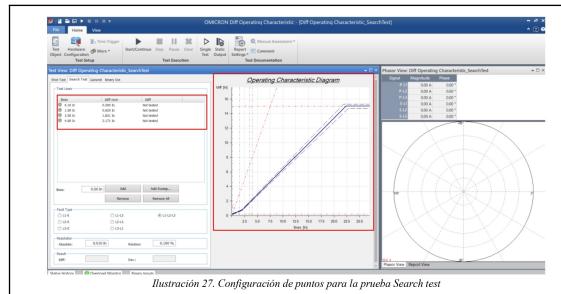


Ilustración 27. Configuración de puntos para la prueba Search test

Se incluyó la configuración para realizar la prueba de la función de restricción de segundo y quinto armónico correspondientes para las condiciones de *inrush* y para sobresaturación.

**Figura 3.21:** Configuración en software Test universe la prueba de restricción por segundo y quinto armónico

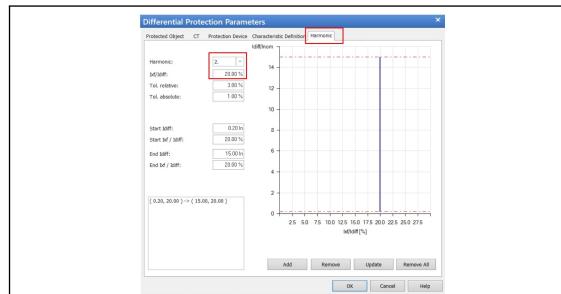


Ilustración 28. Configuración de protección diferencial para la prueba de bloqueo de segundo armónico

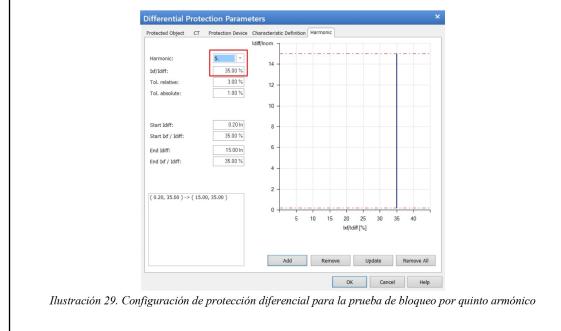


Ilustración 29. Configuración de protección diferencial para la prueba de bloqueo por quinto armónico

Posteriormente, en la sección de **procedimiento**, se describió paso a paso el proceso a seguir, señalando las consideraciones para la conexión, el aterrizamiento, la toma de datos y la correcta realización de las pruebas.

En cuanto a los **resultados**, se proporcionó una orientación clara para que los participantes interpreten los registros obtenidos, identifiquen los tiempos, valores de las pendientes y de corriente diferencial de operación con el fin de que verifiquen la respuesta del relé frente a los

límites de tolerancia establecidos. Además, se sugirió la graficación de la función característica para calcular el error porcentual, lo que permite profundizar en los conocimientos teóricos adquiridos en clase.

**Figura 3.22:** Resultados en la guía de prueba de protección diferencial

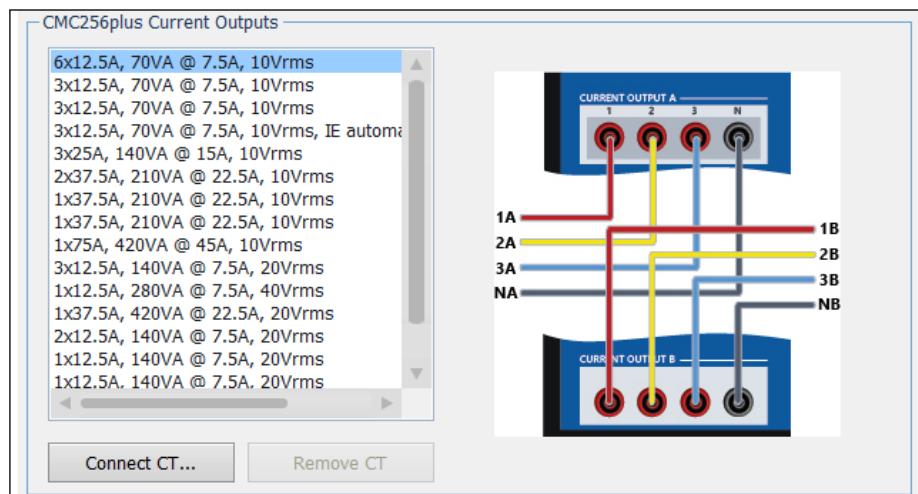
Finalmente, se añadió una sección de **preguntas**, donde se presenta un banco relacionado con las prácticas desarrolladas. Este apartado contribuye a reforzar los conocimientos teóricos y prácticos adquiridos, afianzando competencias que resultan esenciales en el ámbito profesional.

### 3.5. Guía práctica de protección sobrecorriente 50/51

Se elaboró una guía práctica orientada a la verificación de la protección de sobrecorriente del relé P5T30 mediante la técnica de inyección secundaria con maletas de pruebas. Esta guía fue realizada con un carácter didáctico, incorporando imágenes, tablas y explicaciones que facilitan la comprensión de los procedimientos para la configuración de esta función de protección aplicada a transformadores de potencia.

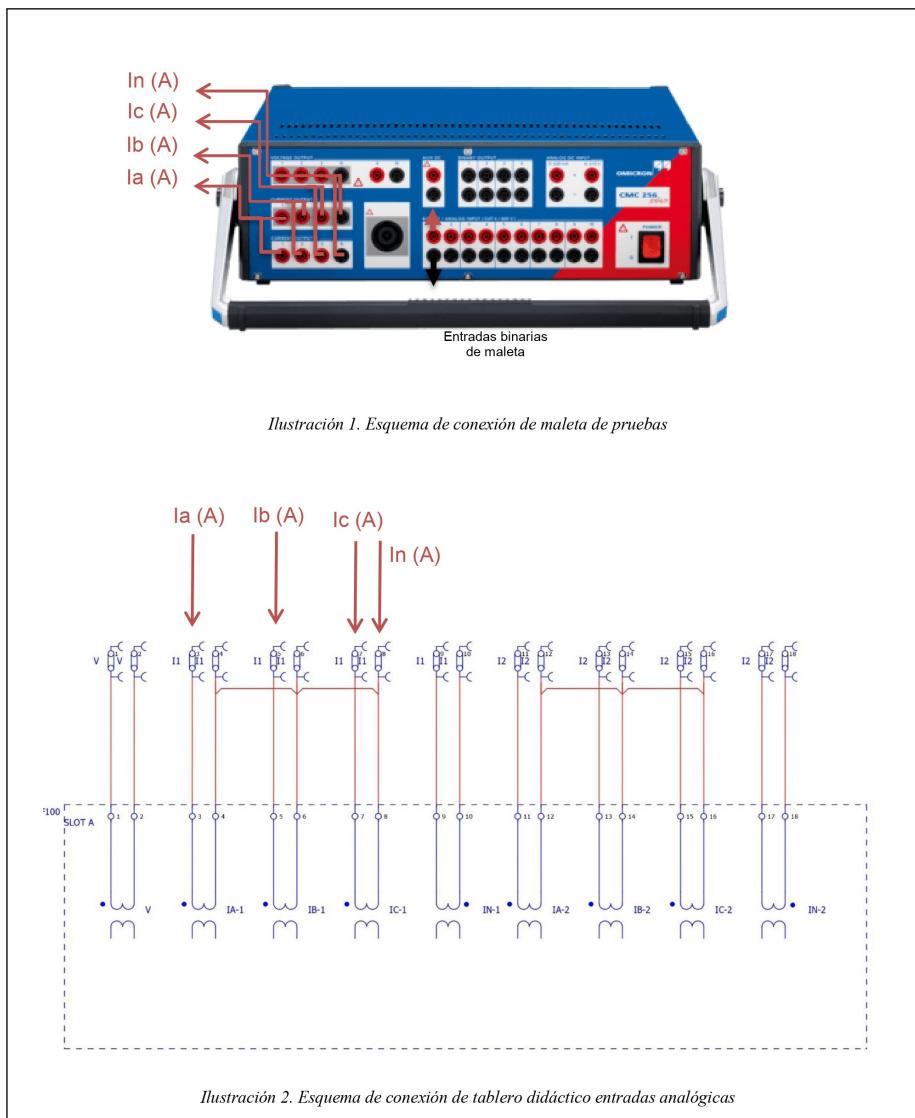
El desarrollo de esta práctica fue definido para ejecutarse de manera conjunta con la maleta de pruebas disponible en el laboratorio, complementada con su *software* respectivo.

**Figura 3.23:** Grupos de conexiones seleccionadas para la prueba con la maleta CMC 256 plus



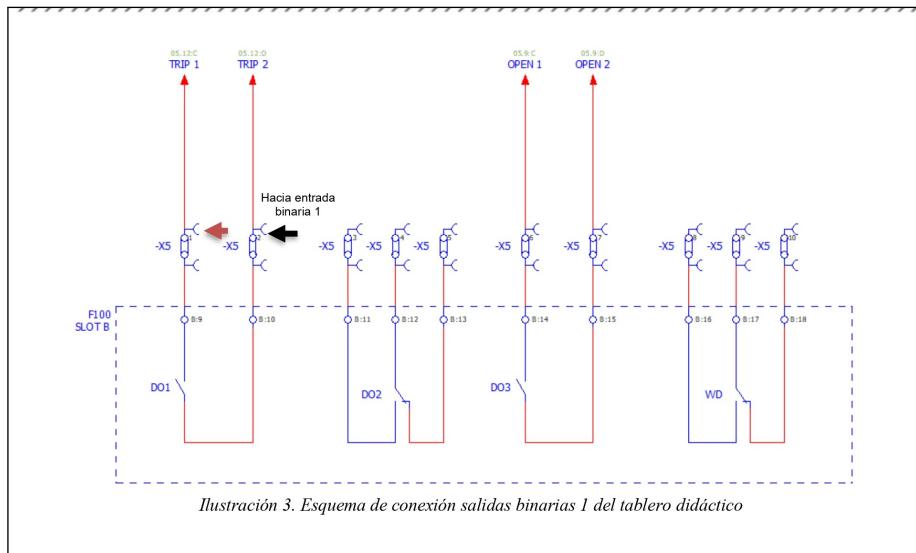
Se estableció la representación gráfica y descriptiva de las conexiones necesarias para su ejecución, las cuales se realizan en conjunto con el tablero didáctico. Asimismo, se especifican las entradas y salidas binarias y analógicas que deben implementarse tomando como referencia la ingeniería preliminar elaborada para el proyecto.

**Figura 3.24:** Conexión eléctrica de la maleta de pruebas con el tablero didáctico



La salida digital correspondiente al disparo de la protección de sobrecorriente fue configurada para ejecutar el comando de apertura sobre el interruptor definido en el esquema de pruebas, con el propósito de emular el comportamiento de un interruptor ubicado en el devanado de alta tensión de un transformador.

**Figura 3.25:** Conexión eléctrica de salidas digitales del tablero a las entradas digitales de la maleta

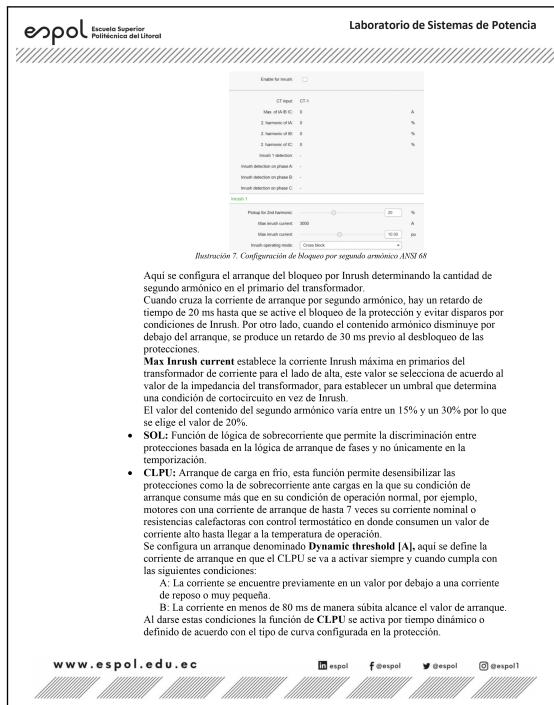


Se definieron los **objetivos**, que establece el enfoque de la guía práctica de realizar la configuración de la protección de sobrecorriente utilizando el relé numérico mediante la aplicación de inyección secundaria empleando la maleta de pruebas ubicada en el laboratorio.

Se desarrolló un listado de **equipos y herramientas** que especifican los elementos necesarios para poder realizar de manera correcta la práctica, tanto los requeridos para conectarse con el relé numérico para la parametrización con el *software*, como los necesarios para realizar la inyección de corriente secundaria.

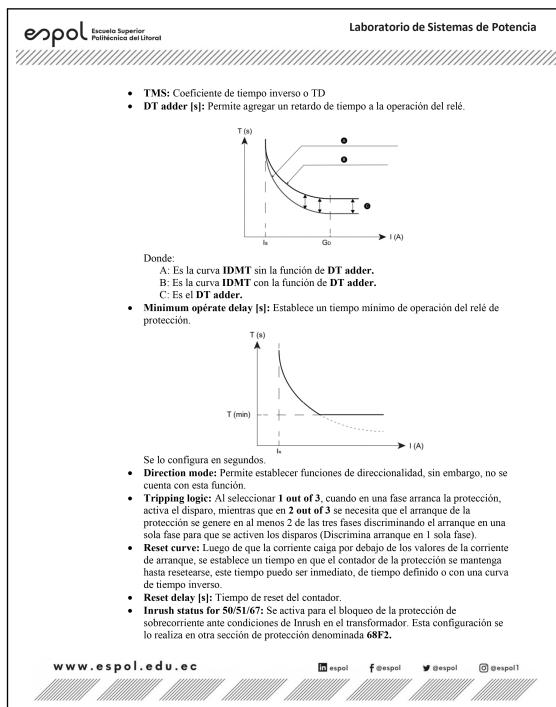
La **guía práctica** incorpora los diagramas de conexiones, además de cómo se realiza los ajustes para la protección de sobrecorriente de tiempo inverso y la de tiempo definido. La guía resalta las funcionalidades adicionales que incorpora el relé, incluyendo las explicaciones pertinentes a dichas funcionalidades. Se incluye la configuración del bloqueo por segundo armónico y la de arranque de cargas en frío con sus características, tiempos de accionamiento, límites o umbrales operativos y además las condiciones de operación de dichas funcionalidades.

**Figura 3.26:** Configuración de la protección de sobrecorriente del relé P5T30



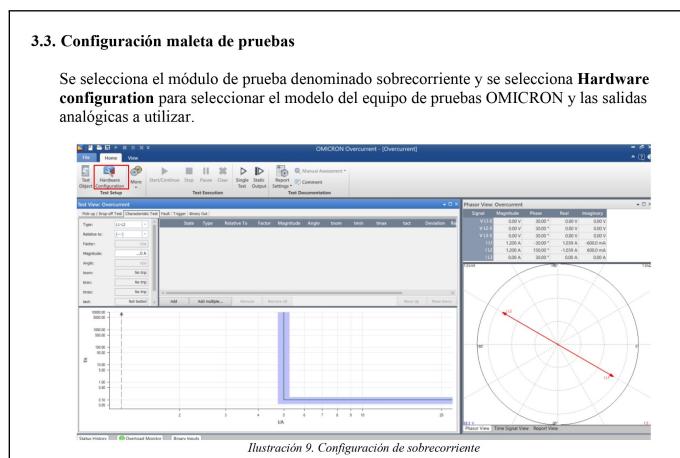
Se incorpora de manera ilustrativa el tipo de gráficas que se pueden configurar para la protección de sobrecorriente mencionando los estándares a los que se adhieren, adicionando las bondades propias que relé posee para la definición de la curva de protección y su parametrización.

**Figura 3.27:** Curvas configurables para la protección de sobrecorriente



De manera similar, se incluyó al igual que en la guía práctica de la función diferencial, los pasos para desarrollar, configurar la maleta de pruebas del laboratorio utilizando el *software Test Universe*.

**Figura 3.28:** Configuración en software Test universe la protección de sobrecorriente



Se establecieron puntos para simular fallas con la finalidad de probar la funcionalidad del relé de protección.

**Figura 3.29: Configuración en software Test universe la protección de sobrecorriente**

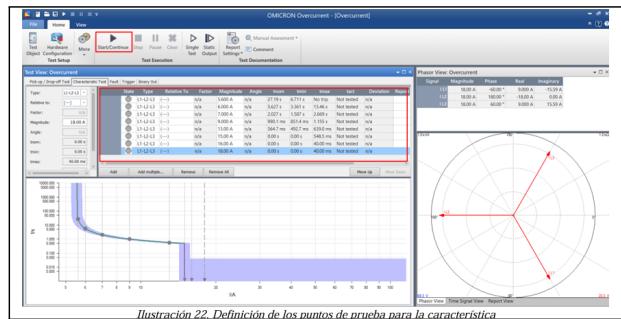


Ilustración 22. Definición de los puntos de prueba para la característica

Se abarcó una sección de **procedimientos** que describe los pasos a seguir para realizar las conexiones de manera segura considerando el aterrizamiento de los equipos, la toma de datos y la correcta realización de las pruebas.

Los **resultados** proporcionan la interacción por parte de los participantes con las pruebas realizadas mediante la utilización de tablas e indicaciones para el cálculo de los errores obtenidos mediante cálculos teóricos y resultados prácticos.

**Figura 3.30: Resultados de la prueba de sobrecorriente**

 <b>Laboratorio de Sistemas de Potencia</b>																																														
<b>3.4. Procedimiento</b> <b>Prueba de protección sobrecorriente</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Preparar las conexiones eléctricas del tablero de protecciones didáctico con la maleta de pruebas a utilizar.</li> <li>Realizar la configuración de la protección de sobrecorriente del relé de protección para la prueba de inyección.</li> <li>Realizar configuración de la maleta para realizar la prueba de curva característica de la protección diferencial del relé P5T30.</li> </ul>																																														
<b>4. Resultados</b> Registre y analice los resultados obtenidos.																																														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>I [A]</th> <th>Tnom [S]</th> <th>Tcalc [S]</th> <th>Tactuación [S]</th> <th>Error %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>		I [A]	Tnom [S]	Tcalc [S]	Tactuación [S]	Error %																																								
I [A]	Tnom [S]	Tcalc [S]	Tactuación [S]	Error %																																										
<b>5. Preguntas</b> Responda y explique las siguientes preguntas																																														
1. ¿Por qué es necesario implementar la función de bloqueo por segundo armónico en la protección de sobrecorrientes? 2. ¿Cómo influye la saturación de los transformadores de corriente en el desempeño de la función de la protección de sobrecorriente? 3. ¿Por qué la protección de sobrecorriente no puede considerarse como protección principal de transformadores de potencia y en qué escenarios sí es aceptable como protección de respaldo?																																														
<a href="http://www.espol.edu.ec">www.espol.edu.ec</a>																																														
																																														

Finalmente, se elaboró una sección de **preguntas** donde se presenta un banco que relaciona lo realizado en la práctica con la teoría adquirida en los componentes de sistemas de protecciones.

# Capítulo 4

## Conclusiones y recomendaciones

### 4.1. Conclusiones

- Se diseñó y construyó un sistema didáctico en un tablero tipo *rack* de 37 unidades incorporando un relé de protección de la marca Schneider Electric.
- El sistema desarrollado constituye una herramienta práctica para la enseñanza de protecciones eléctricas utilizando el relé de protección de transformador, cumpliendo con un diseño didáctico, móvil y práctico.
- El sistema didáctico desarrollado cuenta con la información ingenieril necesaria elaborada en el *software* de dibujo eléctrico *Eplan Electric P8*, permitiendo el conocimiento a detalle de las conexiones, funcionamiento y las lógicas de control y comando correspondientes.
- Las 3 guías desarrolladas cumplen con una estructura orientada al uso del *software* requerido para configurar las funciones del relé de protección ubicado en el tablero didáctico, así como la parametrización de las funciones de protección como la diferencial y de sobrecorriente en prácticas de laboratorio.

## 4.2. Recomendaciones

- El trabajo se enfocó en la elaboración, construcción y configuración de las funciones de control y protección del relé P5T30. Un desarrollo e integración de las funciones de comunicación del relé permitirá una formación completa en el aprendizaje de las funciones necesarias en el área de protocolos de comunicación y telemetría.
- En el laboratorio se dispone de equipos eléctricos que pueden incorporarse al uso didáctico del tablero. Para lograr un aprendizaje profundo de las funciones de control y protección, la integración de este equipamiento es necesaria en aplicaciones prácticas.
- El equipo cuenta con una gran variedad de funciones de protección configurables. Se recomienda el desarrollo de las distintas funcionalidades existentes a través de proyectos que consoliden y amplíen el alcance que actualmente se dispone en el sistema didáctico.

# Bibliografía

- [1] P. Murty, Power System Analysis, 2nd Edition, 2017.
- [2] D. Das, Electrical Power Systems, 2nd Edition, New Age International Publishers.
- [3] U.S. Energy Information Administration, Electricity explained, <https://www.eia.gov/energyexplained/electricity/how-electricity-is-generated.php>.
- [4] U.S. Energy Information Administration, Sources of energy, <https://www.eia.gov/energyexplained/what-is-energy/sources-of-energy.php>.
- [5] California Public Utilities Commission, Electric transmission, [https://cpuc.ca.gov/Environment/info/aspen/cltp/archive/Files\\_8\\_26\\_14/\\_2ElectricTransmissionFactSheet.pdf](https://cpuc.ca.gov/Environment/info/aspen/cltp/archive/Files_8_26_14/_2ElectricTransmissionFactSheet.pdf) (2014).
- [6] Monolithic Power Systems, Power distribution systems, <https://www.monolithicpower.com/en/learning/mpscholar/ac-power/the-power-grid/power-distribution-systems>, accessed: Jun. 1, 2025 (2025).
- [7] A. Huda, R. Živanović, Large-scale integration of distributed generation into distribution networks: Study objectives, review of models and computational tools, Renewable and Sustainable Energy Reviews 134 (2021) 110314, accessed: Jun. 1, 2025. doi:10.1016/j.rser.2020.110314.  
URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032120307655>
- [8] H. L. Willis, Power Distribution Planning Reference Book, CRC Press, 2004, accessed: Jun. 1, 2025.

- 
- [9] P. M. Anderson, Power System Protection, IEEE Press and Wiley-Interscience, New York, USA, 1999, power Math Associates, Inc.
  - [10] J. L. Blackburn, T. J. Domin, Protective Relaying: Principles and Applications, 4th Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA, 2014.
  - [11] Y. G. Paithankar, S. R. Bhide, Fundamentals of Power System Protection, Prentice-Hall of India Private Limited, New Delhi, India, 2003.
  - [12] Eaton Corporation, Fundamentals of protective relays, [En línea]. Accedido: 4-jun-2025 (2025).  
URL <https://www.eaton.com/ca/en-gb/products/electrical-circuit-protection/fundamentals-of-protective-relays.html>
  - [13] Schneider Electric, Understanding the types and working principles of current transformers, accedido: 3-jun-2025 (2025).  
URL <https://eshop.se.com/in/blog/post/understanding-the-types-and-working-principles-of-current-transformers>
  - [14] L. Acrel Electric Co., Types and applications of current transformer, accedido: 3-jun-2025 (2025).  
URL <https://www.acrelenergy.com/types-and-applications-of-current-transformer.html>
  - [15] ABB, Instrument Transformers: Technical Information and Application Guide, accedido: 4-jun-2025 (2006).  
URL <https://library.e.abb.com/public/e2462bd7f816437ac1256f9a007629cf/ITTechInfoAppGuide.pdf>
  - [16] S. E. Zocholl, Current Transformer Accuracy Ratings, Schweitzer Engineering Laboratories, Inc., disponible en: SEL Application Guide (s.f.).
  - [17] Ieee standard requirements for instrument transformers (1993).

- 
- [18] Instrument transformers—part 1: Current transformers (1992).
  - [19] Accuenergy, Understanding ct burden: Definition, ratings, and importance, accedido: 05-jun-2025 (2025).  
URL <https://www.accuenergy.com/support/reference-directory/ct-burden/>
  - [20] Ieee standard for relays and relay systems associated with electric power apparatus, aprobado el 17 de agosto de 1989, reafirmado el 17 de marzo de 1994. (1989).
  - [21] Control Automation, Instantaneous and time overcurrent (50/51) protection, accessed: Jun. 7, 2025 (n.d.).  
URL <https://control.com/textbook/electric-power-measurement-and-control/instantaneous-and-time-overcurrent-5051-protection/>
  - [22] L. Layton, Substations – volume v – circuit interrupting devices, PDHonline Course E472 (4 PDH), instructor: Lee Layton, PE (2020).
  - [23] L. Chinchilla, Interruptores de potencia, accessed: Jun. 7, 2025 (2025).  
URL <https://www.leirychinchilla.com/interruptores-potencia/>
  - [24] Encyclopædia Britannica, Transformer, accessed: Jun. 7, 2025 (2025).  
URL <https://www.britannica.com/technology/transformer-electronics>
  - [25] IEEE Power and Energy Society, Ieee standard for electrical power system device function numbers, acronyms, and contact designations, IEEE Std C37.2-2018, published February 2019 (2019).
  - [26] International Electrotechnical Commission, Iec 60255-151:2009 – measuring relays and protection equipment – part 151: Functional requirements for overcurrent protection, IEC Standard, geneva, Switzerland (2009).
  - [27] IEEE Power System Relaying Committee, Ieee standard inverse-time characteristic equations for overcurrent relays, IEEE Std C37.112-2018, published by IEEE Power and Energy Society (2018).

- [28] G. A. Bonilla, E. G. Barahona, X. A. Proaño, W. P. Guamán, Evaluación del funcionamiento de la protección diferencial 87 en transformadores monofásicos ante presencia de fallas, mediante un prototipo didáctico, Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas, Universidad Técnica de Cotopaxi Available online. Accessed: Jun. 7, 2025 (2025).  
URL <https://revistas.ups.edu.ec/>
- [29] Control Automation, Differential (87) current protection, accessed: Jun. 7, 2025 (2025).  
URL <https://control.com/textbook/electric-power-measurement-and-control/differential-87-current-protection/>
- [30] IEEE Power System Relaying and Controls Committee, Ieee c37.119-2016: Guide for breaker failure protection of power circuit breakers, IEEE Standard, published by IEEE, Product of the IEEE PSRCC K23 Working Group (2016).

## A. Anexos

**Figura 1: Montaje de elementos eléctricos en tablero**



**Figura 2:** Ajustes del acabado de plancha metálica frontal del tablero



**Figura 3:** Parametrización del relé

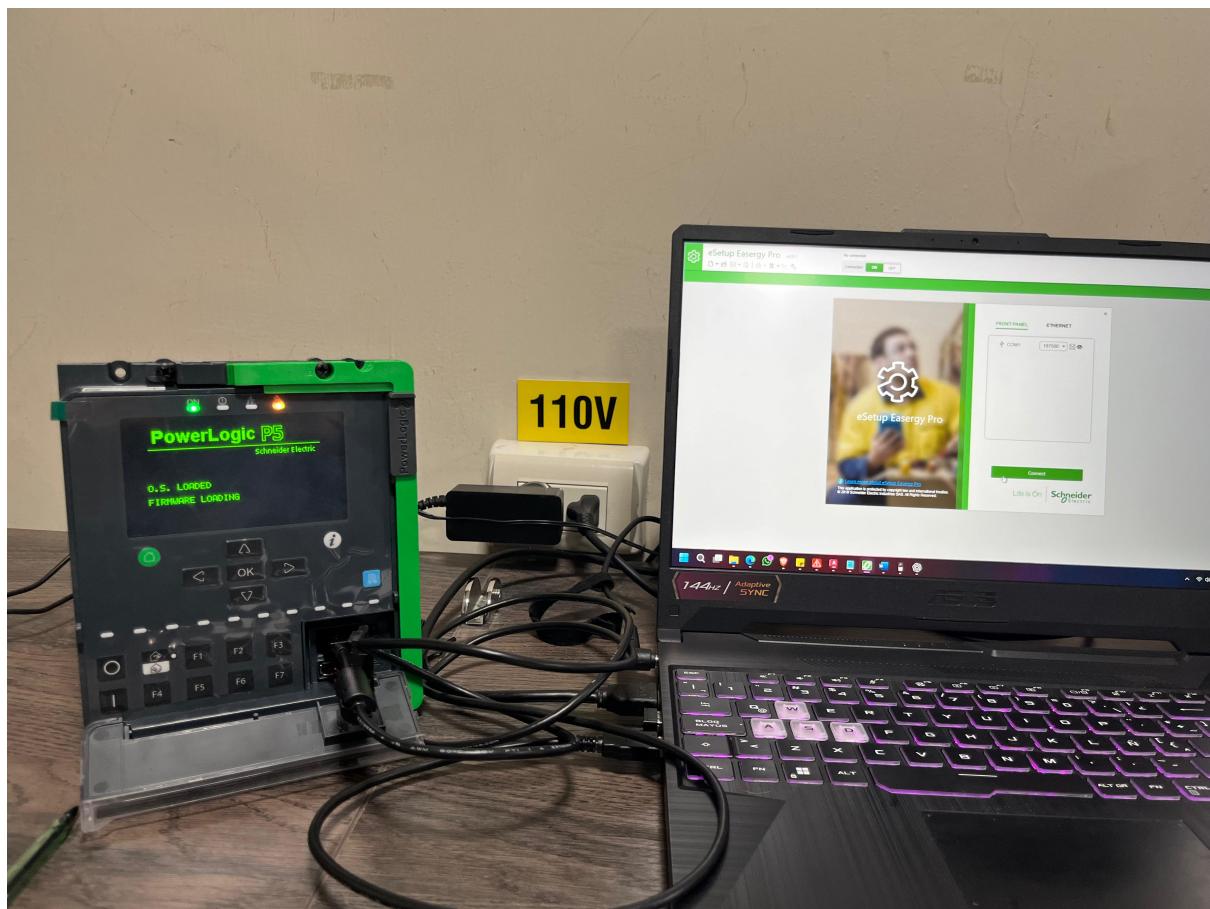


Figura 4: Realización de pruebas de inyección





INPROCONFI S.A.

Autor: Milton Tenesaca



Facultad de Ingeniería en  
Electricidad y Computación

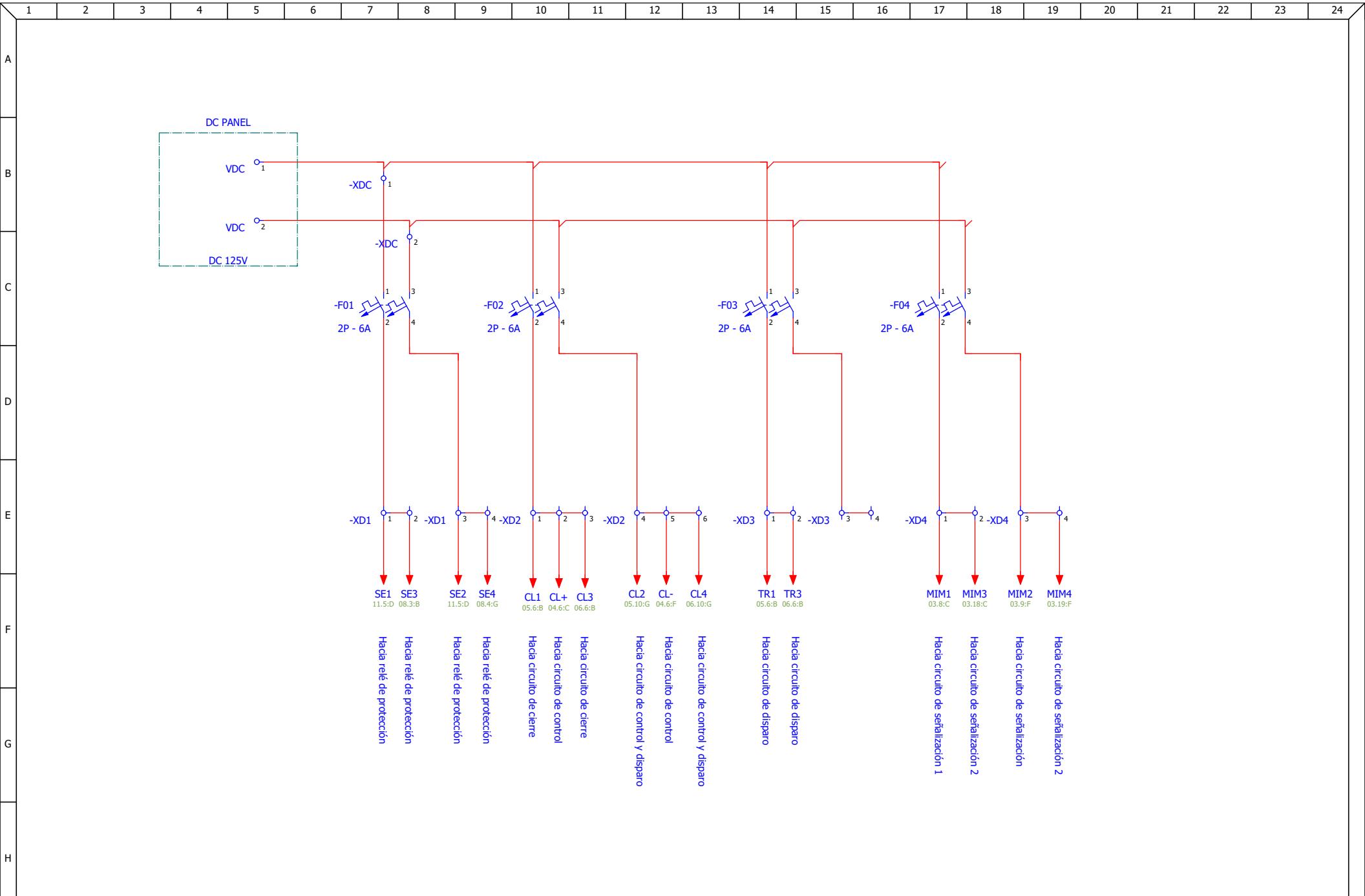
Cliente: Escuela Superior Politécnica del Litoral  
Facultad de Ingeniería eléctrica y Computación  
Descripción del proyecto: Tablero didáctico de protecciones eléctricas

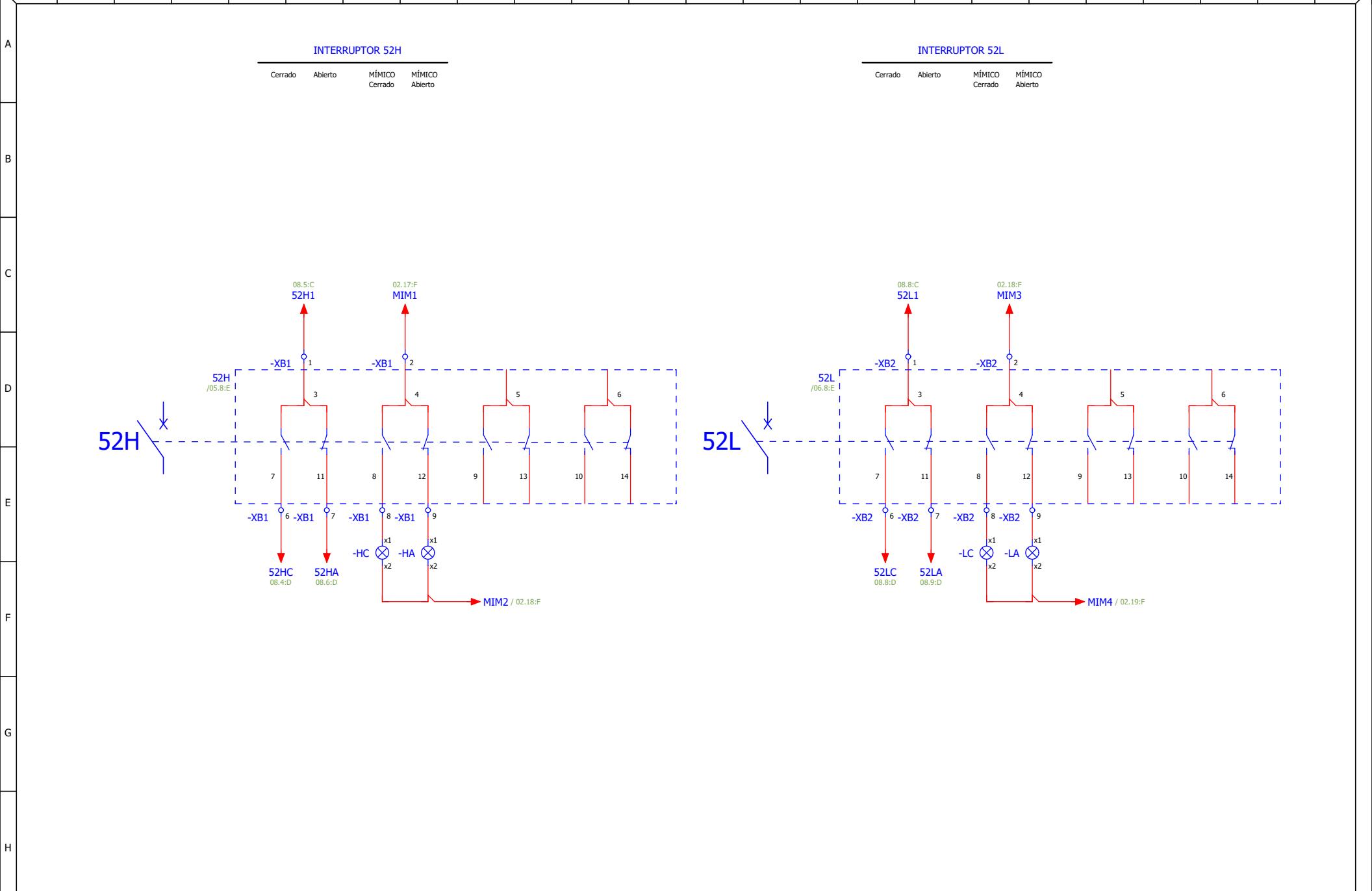


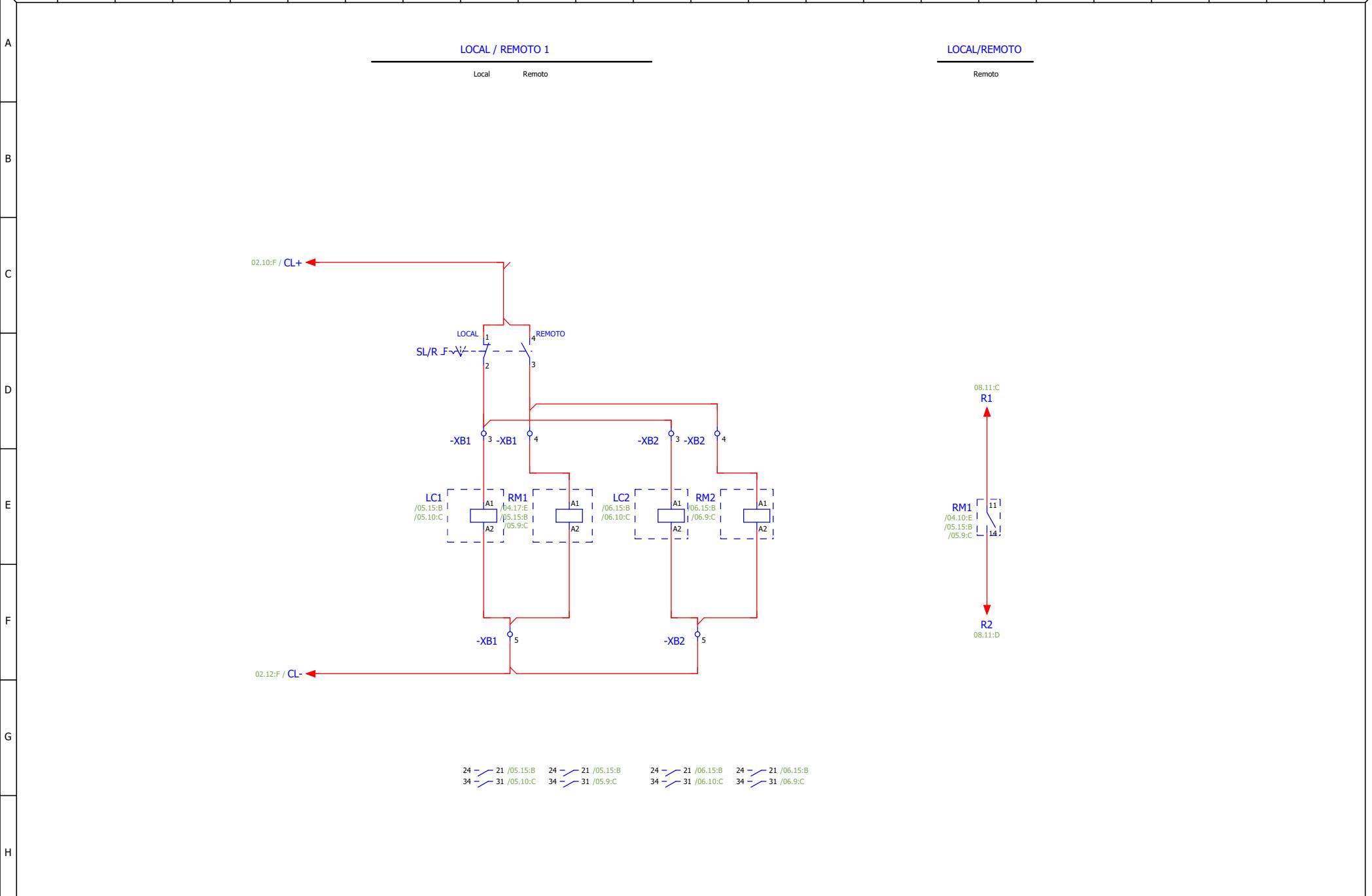
MODIFICADO

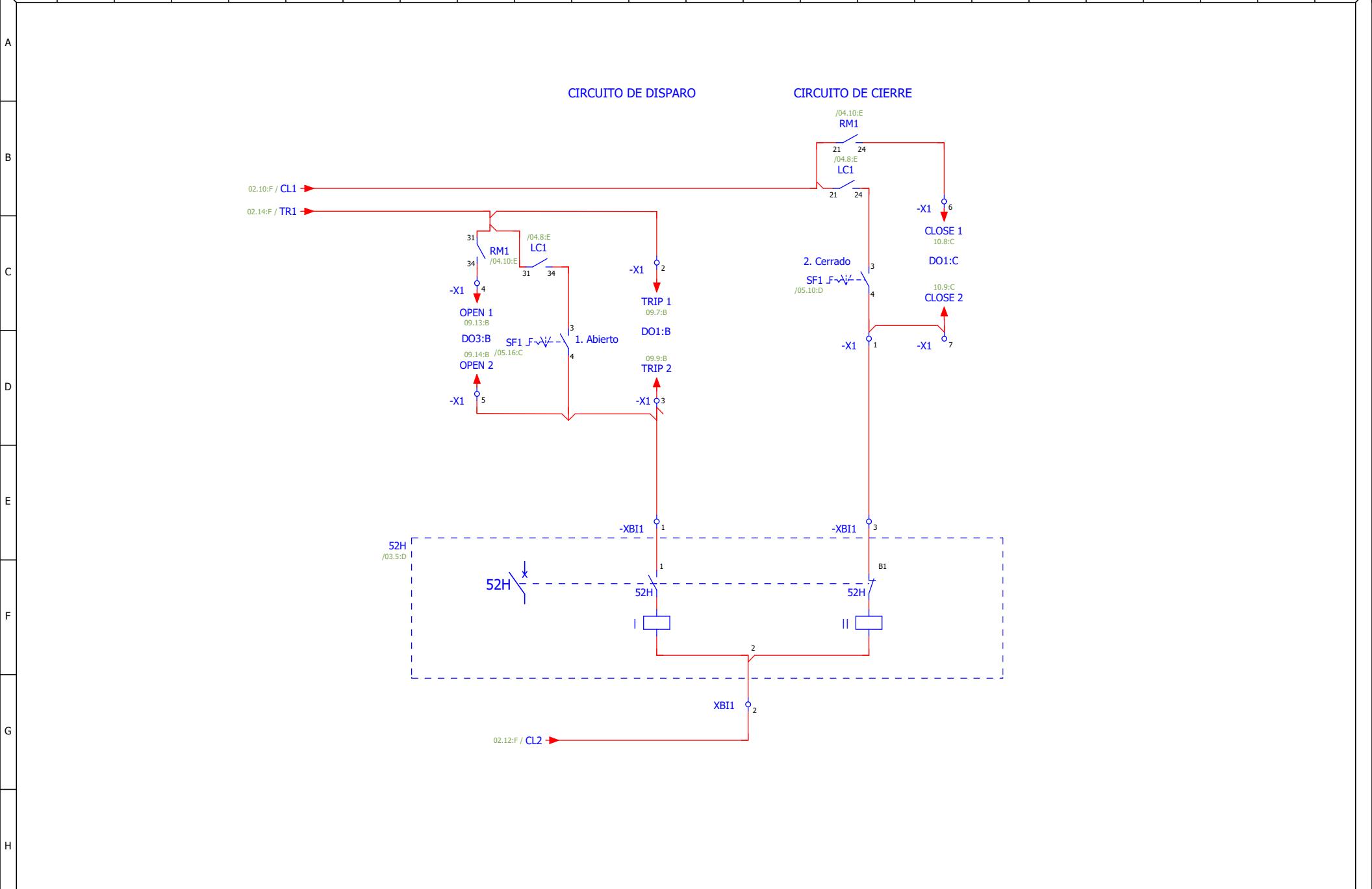
NÚMERO DE PÁGINAS: 11

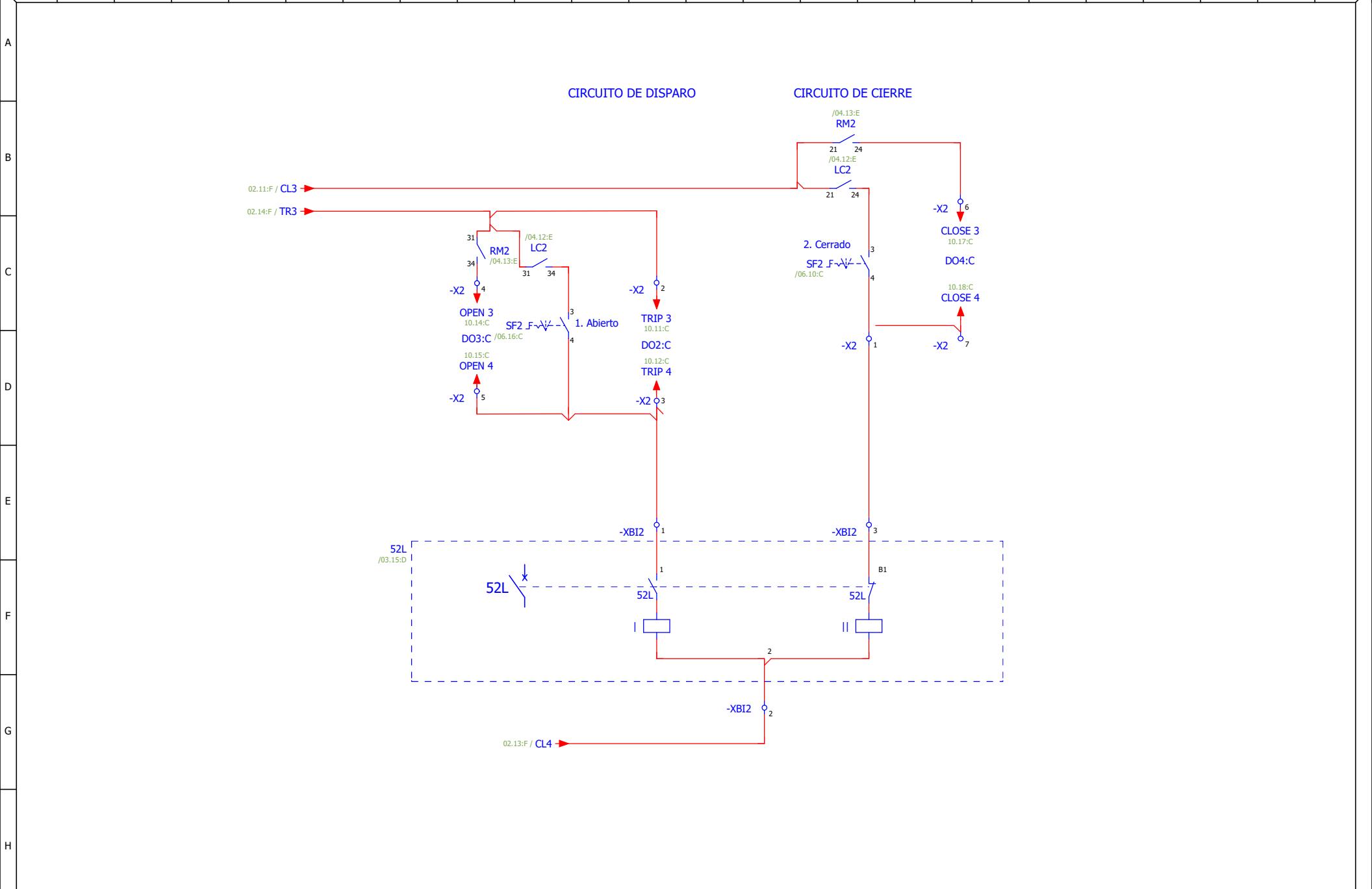
Dibujó:	Milton Tenesaca	08/25/2025	A4	Proyecto:	Tablero didáctico de protecciones eléctricas	espol	Descripción:	Hoja de título / portada	INPROCONFI S.A. Ingeniería, proyectos, construcción y fiscalización	espol	+
Revisó:											=
Aprobó:											PLANO:
Datos	Nombre	Fecha		Formato							Página: 01 / 11

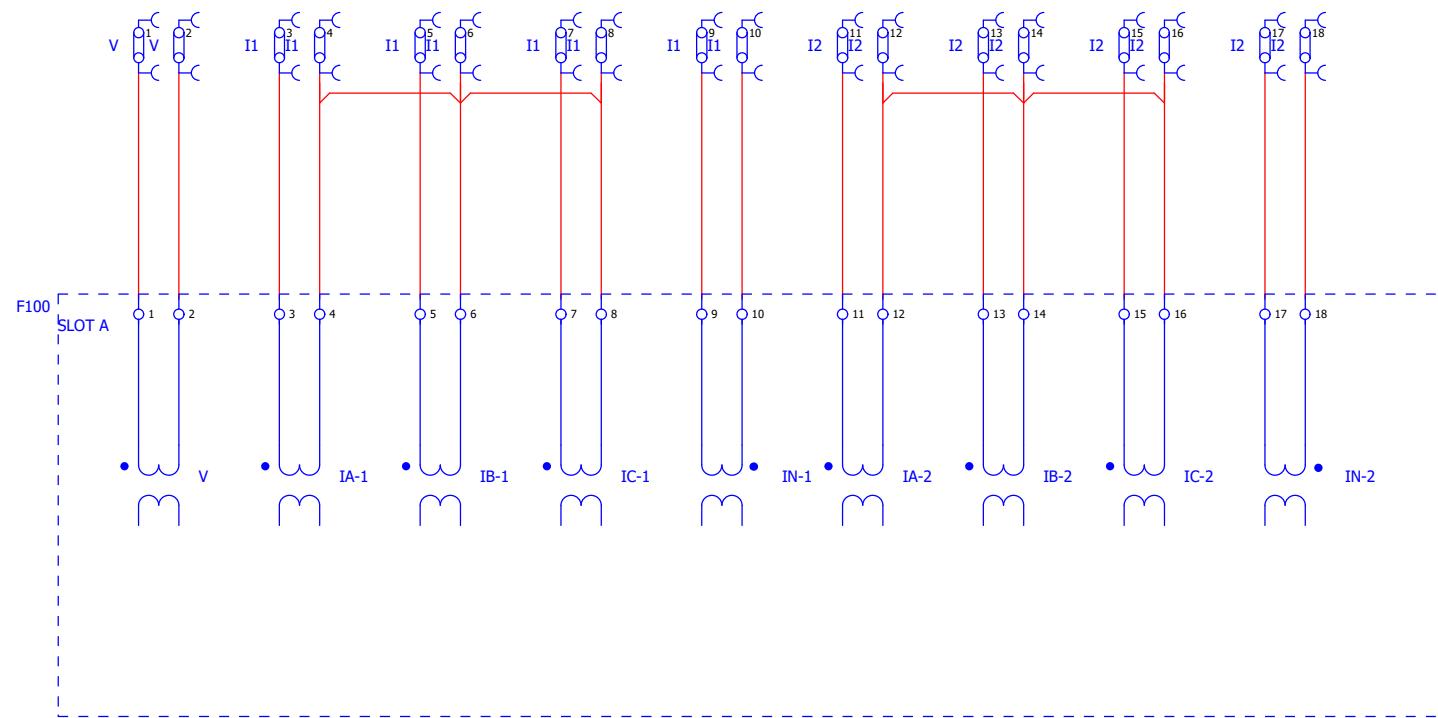


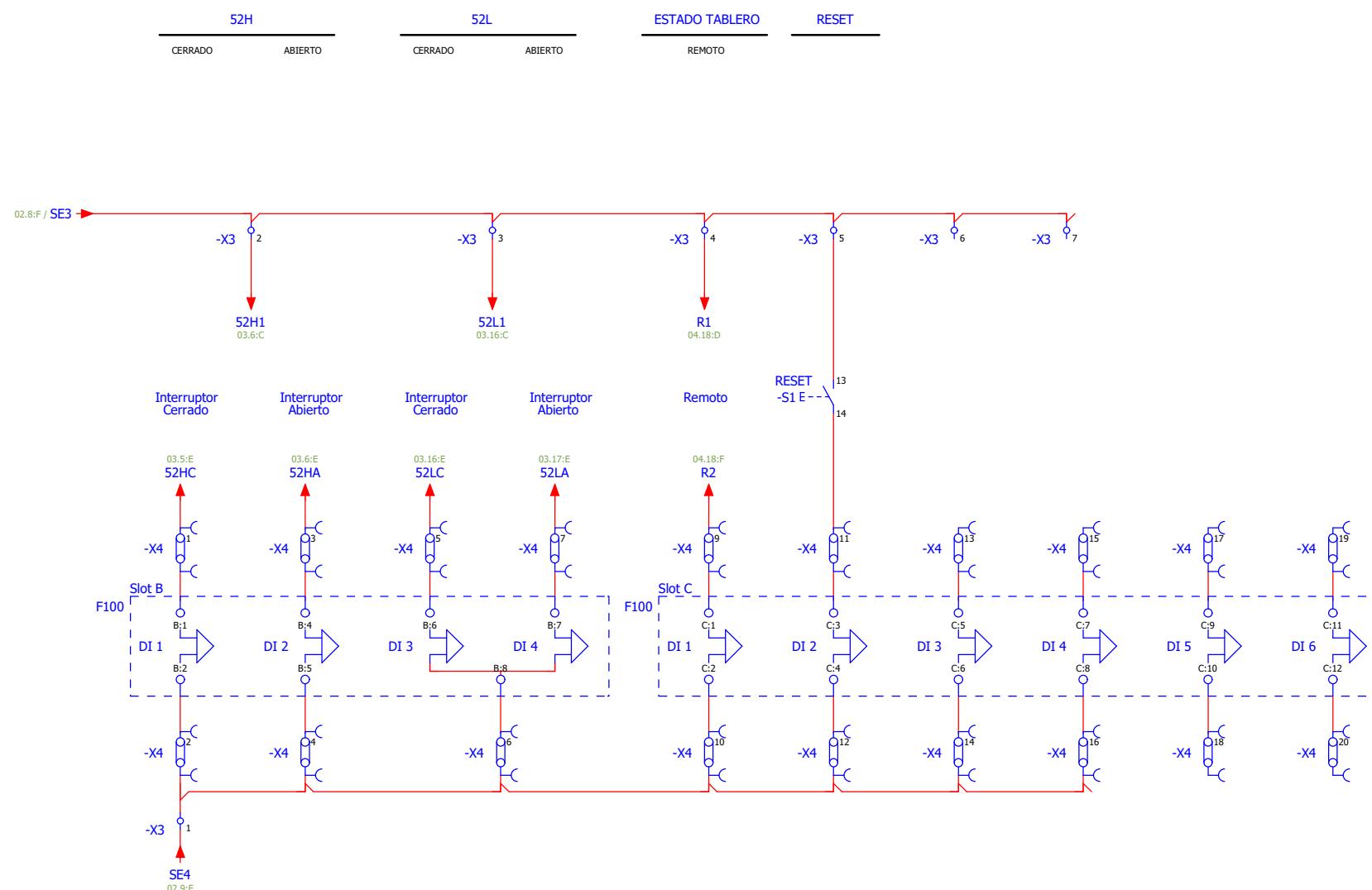


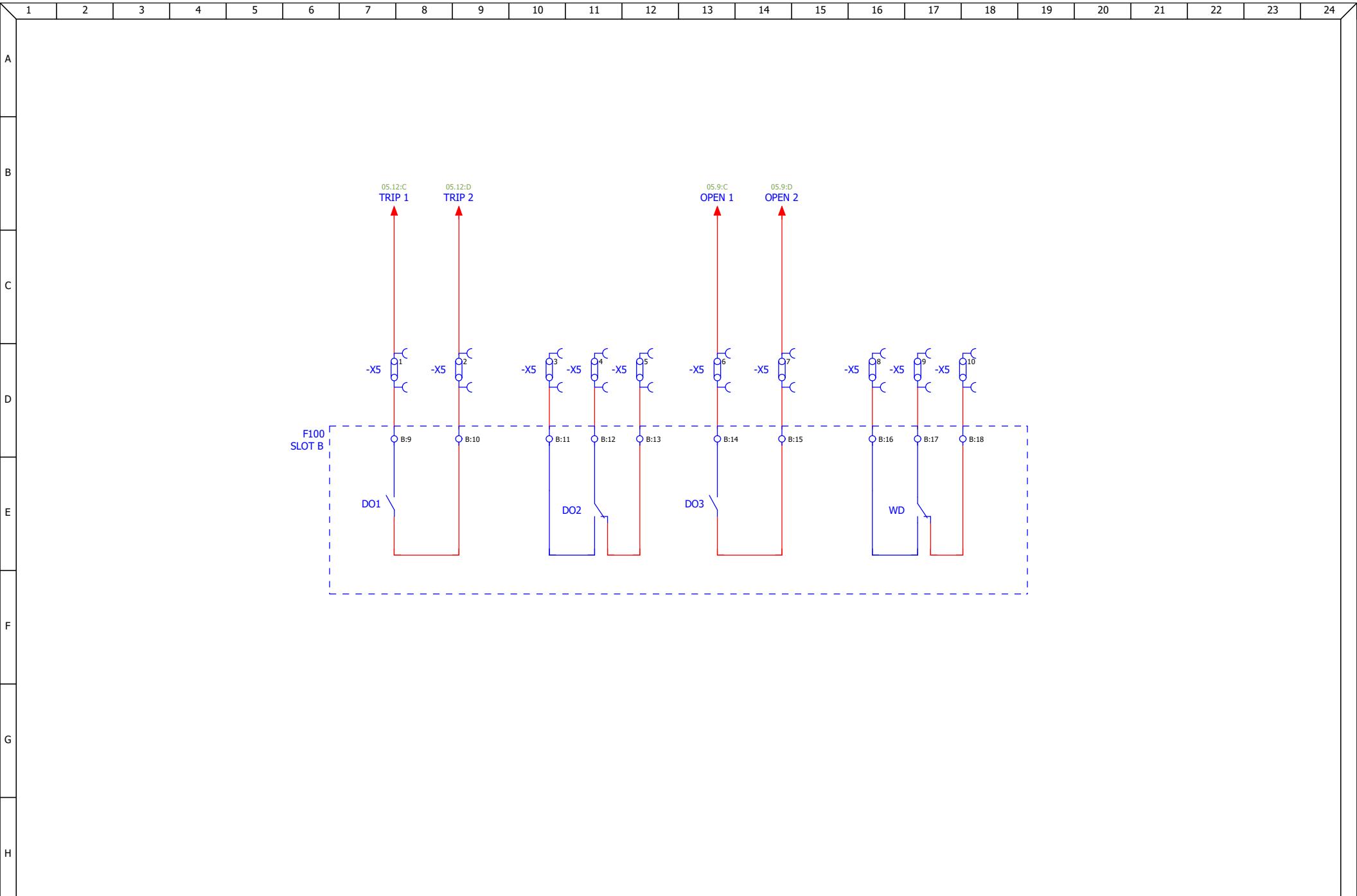


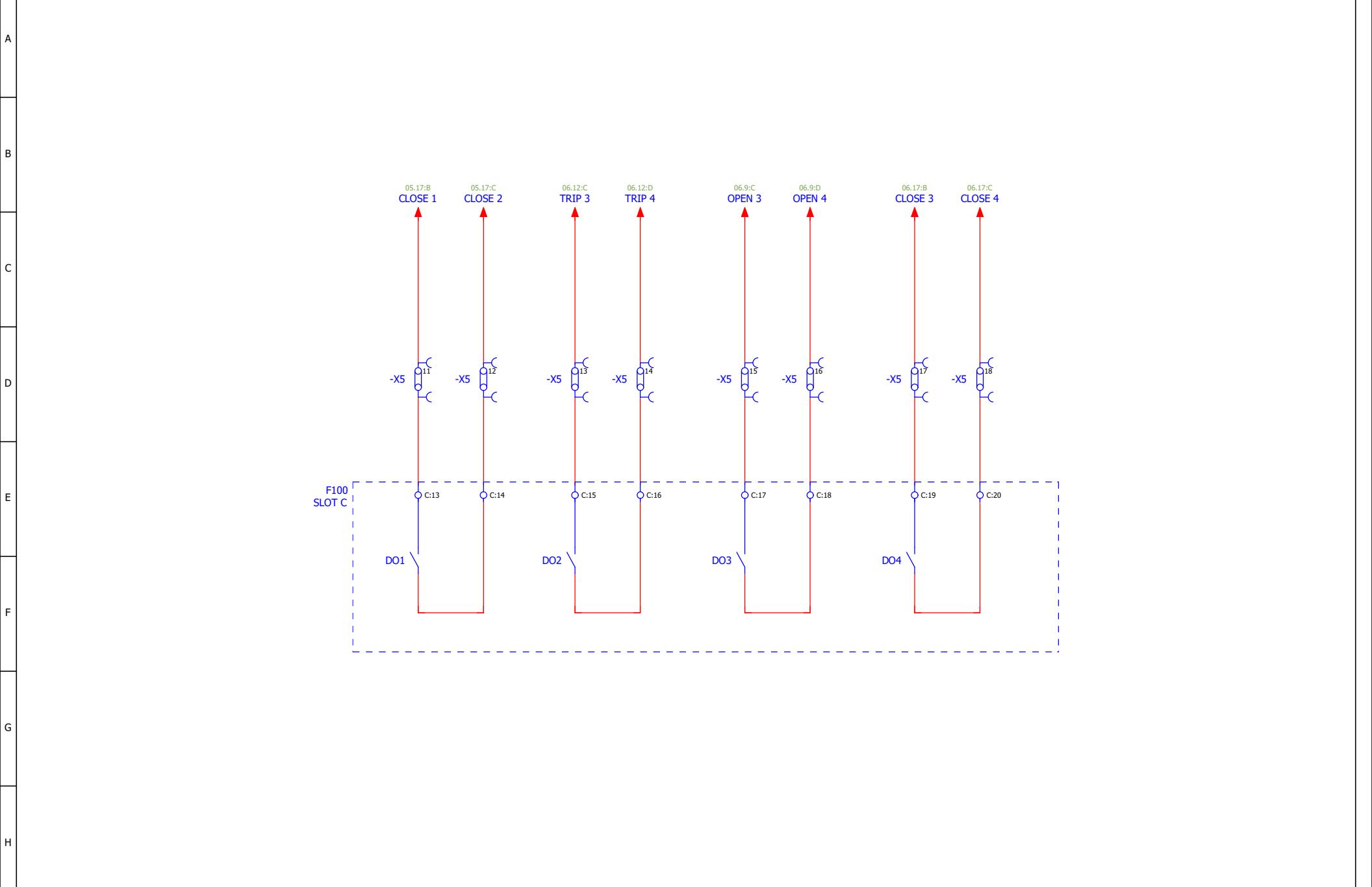


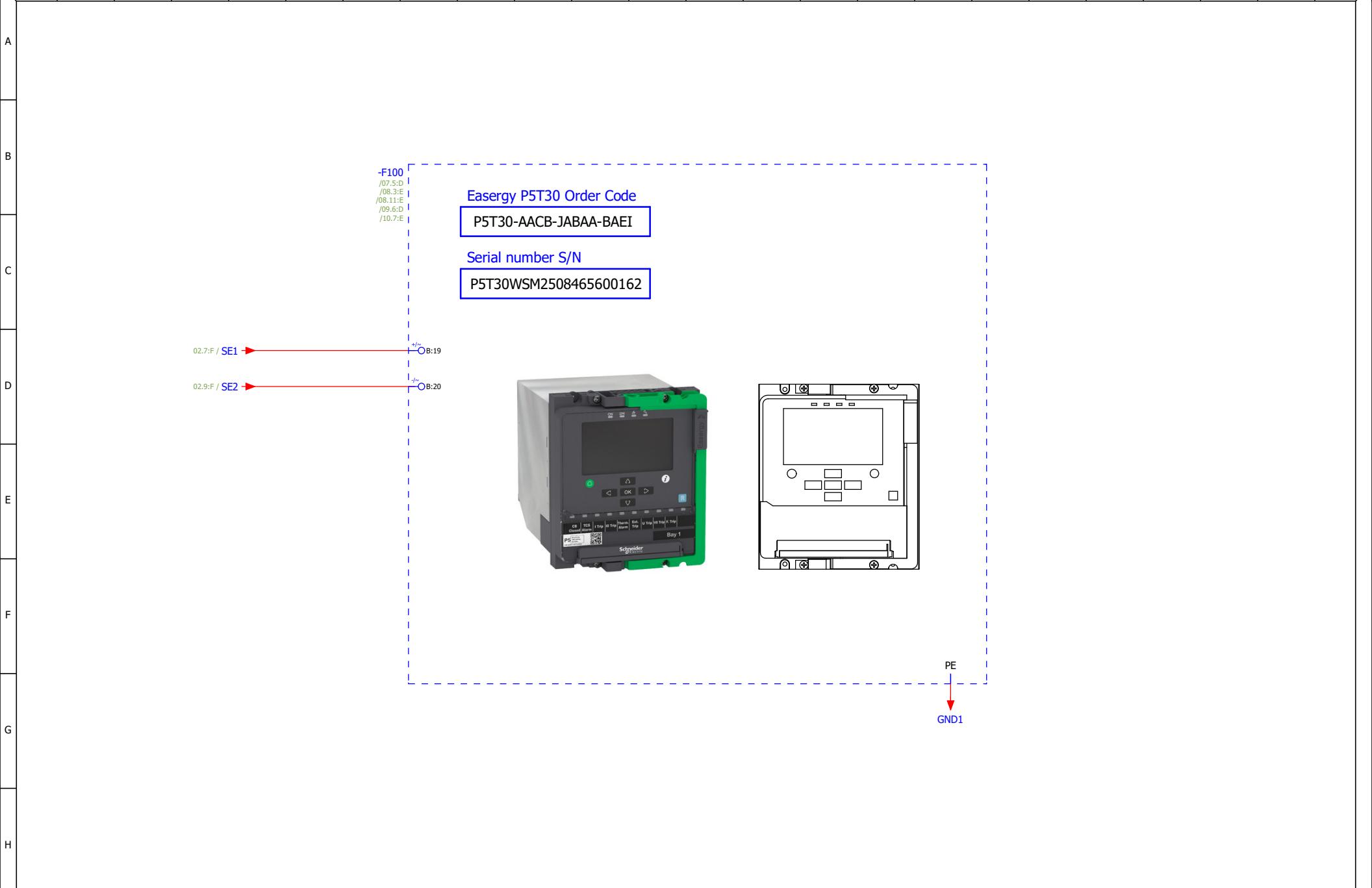


A  
B  
C  
D  
E  
F  
G  
H









## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación



## **LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA**

**Tema de Guía:** Parametrización relé P5T30

**Autor:**

Milton Daniel Tenesaca Valencia

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

I PAO 2025

## Contents

<b>LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA .....</b>	<b>1</b>
<b>Guía Práctica.....</b>	<b>3</b>
<b>1. Objetivos .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Objetivo general.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Objetivos específicos .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Equipos y herramientas.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Guía teórica práctica .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1. Panel frontal.....</b>	<b>4</b>
<b>3.2. Instalación del driver.....</b>	<b>5</b>
<b>3.3. Conexión del equipo con el software eSetup Easergy Pro .....</b>	<b>5</b>
<b>3.4. Configuración del relé .....</b>	<b>9</b>
<b>3.4.1. Sección general .....</b>	<b>10</b>
<b>3.4.2. Sección de mediciones.....</b>	<b>23</b>
<b>3.4.3. Sección de control .....</b>	<b>29</b>
<b>3.4.4. Sección de protección.....</b>	<b>41</b>
<b>3.4.5. Sección de matriz .....</b>	<b>45</b>
<b>3.4.6. Sección de registros.....</b>	<b>48</b>

## Guía Práctica

**Tema:** Parametrización Relé P5T30

### 1. Objetivos

#### 1.1. Objetivo general

Implementar una guía didáctica orientada al uso y parametrización del relé modelo P5T30 de la línea Schneider Electric en el tablero didáctico de protecciones tipo Rack, con el fin de la familiarización del personal académico con el equipo y la comprensión del manejo del software Easergy Pro.

#### 1.2. Objetivos específicos

- Realizar una guía de parametrización del relé para su operación sinérgica con el tablero de protecciones didáctico tipo rack con base a la ingeniería del tablero realizada en el software Eplan Electric P8.
- Explicar las configuraciones y las designaciones implementadas en el relé mediante el software Easergy Pro.

### 2. Equipos y herramientas

- Tablero didáctico de protecciones.
- Relé P5T30.
- Cables USB mini.
- Computador.
- Software eSetup Easergy Pro V4.9.1.
- Manual de usuario Easergy P5.
- Ingeniería del tablero didáctico.

### 3. Guía teórica práctica

#### 3.1. Panel frontal

El relé P5T30 tiene los siguientes componentes en el panel frontal.

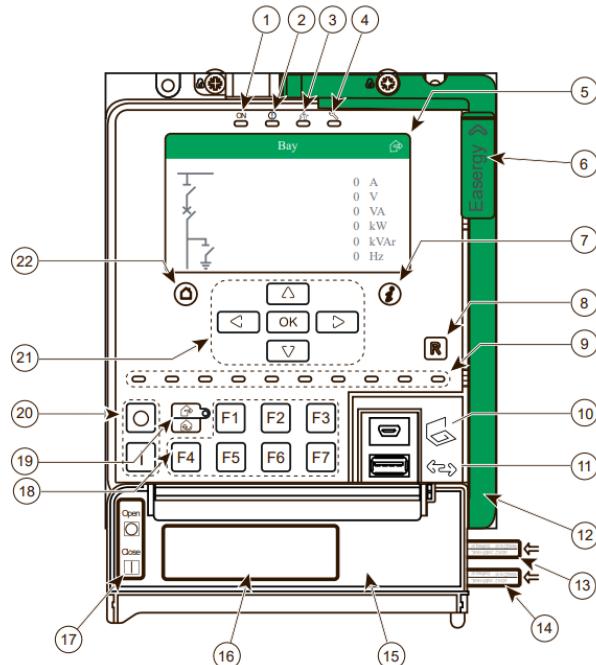


Ilustración 1. Panel frontal relé P5T30

Los puntos corresponden a los definidos en Tabla 1.

Etiqueta	Descripción
1	LED de Encendido/Apagado
2	LED de alarma
3	LED de disparo
4	LED de mantenimiento/prueba
5	Pantalla LCD gráfica a color 480 x 272
6	Seguro de manija
7	Botón de información
8	Botón de RESET
9	10 LEDS programables (A – J)
10	Puerto USB mini para conexión con laptop
11	Puerto USB para transferencia de datos
12	Manija
13	Etiqueta para el nombre del relé
14	Etiqueta identificadora de LED
15	Cubierta

16	Etiqueta para los botones funcionales (detrás de la compuerta)
17	Etiqueta para los botones de interruptor abierto e interruptor cerrado (detrás de la compuerta)
18	Botones funcionales (F1 – F7)
19	Botones de control remoto/local
20	Botones de interruptor abierto e interruptor cerrado
21	Botones de navegación
22	Botón Home

Tabla 1. Descripción del panel frontal relé P5T30

Los LEDS que son programables pueden ser asignados según su función mediante el software eSetup Easergy Pro en 3 diferentes colores.

La conexión para parametrizar o configurar el relé se realiza mediante el puerto USB mini que viene incorporado y se ilustra en Ilustración 1.

### 3.2. Instalación del driver

Para la vinculación del equipo, es necesario la instalación de los drivers USB en la computadora, los pasos son descritos en sección **Setting up the connection** en el manual de usuario del relé [1].

### 3.3. Conexión del equipo con el software eSetup Easergy Pro

Una vez realizada la conexión, se procede a abrir el software indicado para la configuración.



Ilustración 2. Programa eSetup Easergy Pro

Una vez ingresado emergirá la siguiente pantalla representando el estado sin conexión del software.

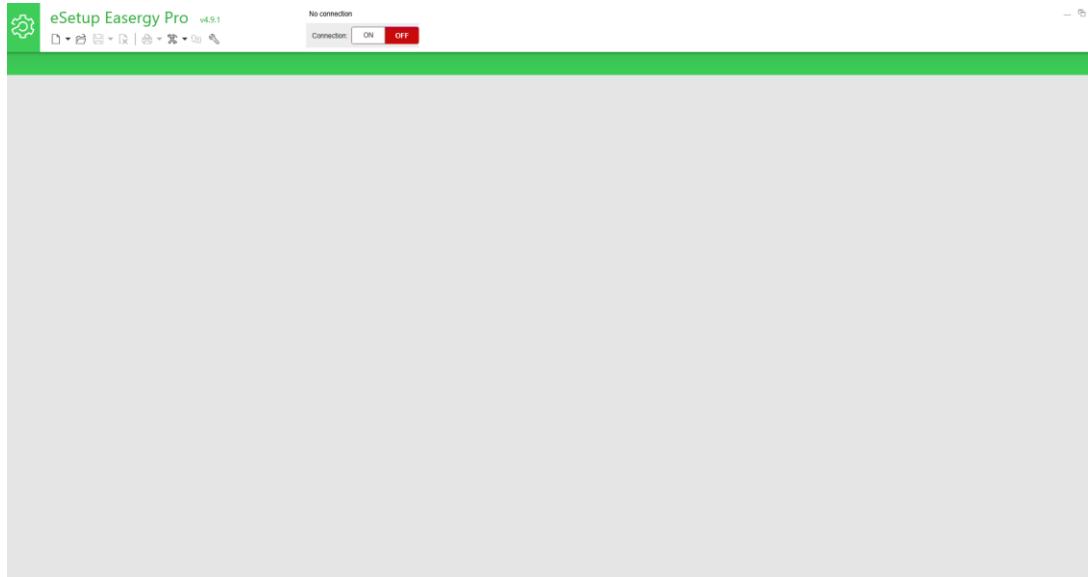


Ilustración 3. Ingreso al software Easergy Pro

Para vincular con el equipo se debe seleccionar el apartado de **Connection**.

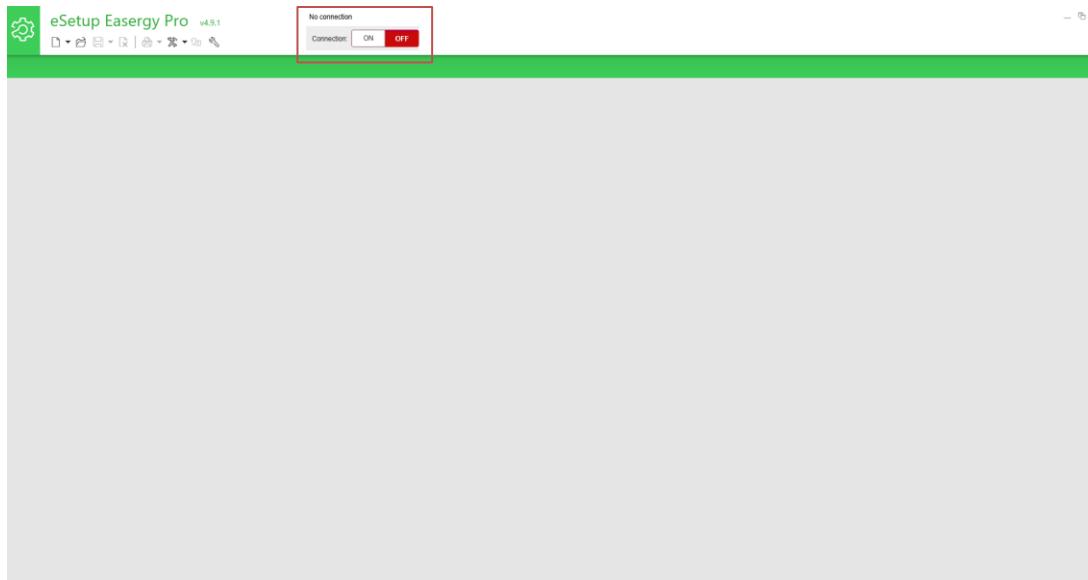


Ilustración 4. Establecimiento de conexión con software Easergy Pro



Ilustración 5. Apartado de conexión

Una vez seleccionado el apartado, aparecerá la siguiente pantalla y se selecciona la opción que dice P5 USB.

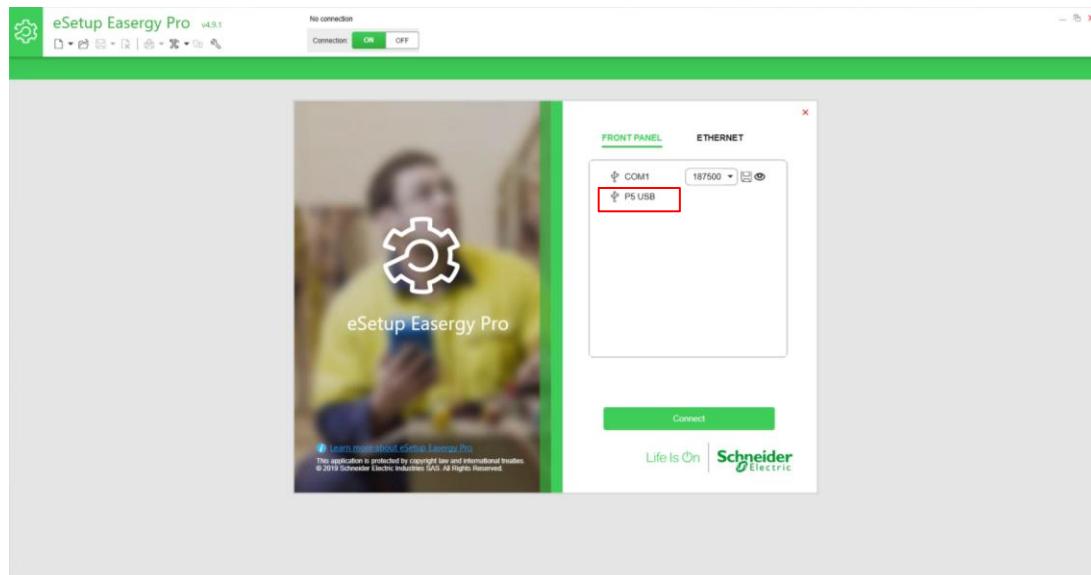


Ilustración 6. Conexión USB mediante Easergy Pro

Al ingresar se solicitará un usuario y contraseña como se puede observar en Ilustración 7.

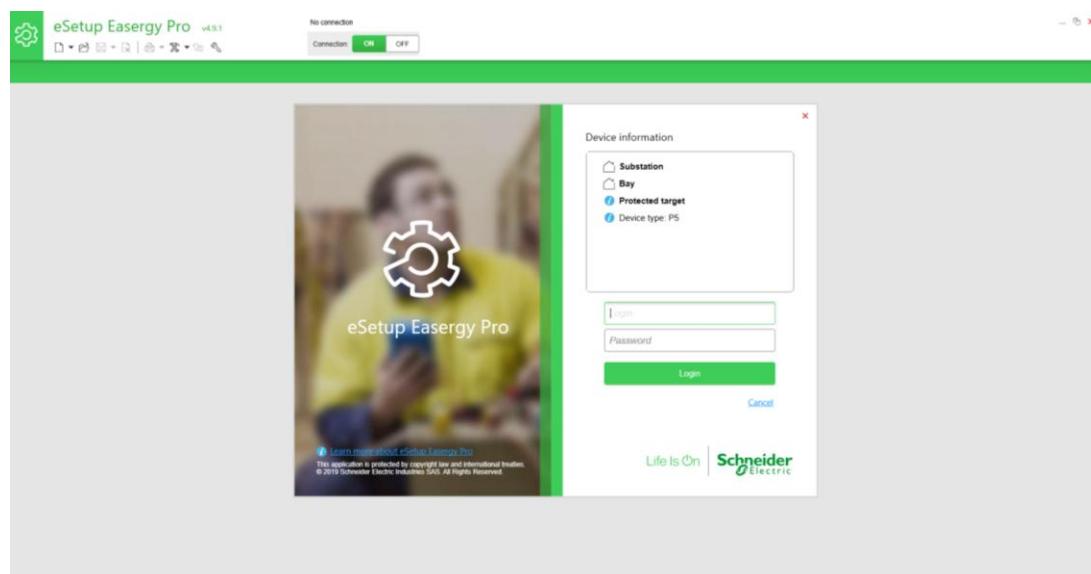


Ilustración 7. Inicio de sesión en Easergy Pro

Para el ingreso del usuario y contraseña utilizar la Tabla 2.

Usuario	Rol	Contraseña	Tiempo máximo de inactividad	Máximo número de intentos de inicio de sesión	Complejidad de contraseña
OperatorLevel	Operador	AAAAA	15 min	Sin límites	Sin requerimiento
EngineerLevel	Ingeniero	AAAAA			
InstallerLevel	Instalador	AAAAA			

Tabla 2. Usuarios y contraseñas para conexión con relé

Se ingresa como rol de ingeniero utilizando el usuario y clave respectivo.

The image shows a login interface with three fields. The top field contains the text "EngineerLevel". The middle field contains four asterisks ("\*\*\*\*") and has a cursor at the end. Below these fields is a large green rectangular button with the word "Login" in white text.

Ilustración 8. Inicio de sesión como rol de ingeniero

### 3.4. Configuración del relé

Al iniciar sesión se habilitará el interfaz para poder establecer las configuraciones requeridas en el relé de protección. Para la configuración se cuenta con 9 secciones establecidas descritas en Tabla 3.

Nº	Sección	Descripción
1	General (general)	Configura datos del sistema, parámetros nominales del transformador y TCs, mímico en el display, brillo, registrados de disturbios y sincronización horaria.
2	Measurements (mediciones)	Visualiza en tiempo real las corrientes, voltajes, valores RMS, fasores, armónicos y además registra máximos y mínimos.
3	Control (control)	Permite etiquetar señales digitales, virtuales, definir objetos de control, lógicas programables y configurar LEDs.
4	Protection (protección)	Establece y configura las funciones de protección disponibles en el relé
5	Matrix (matriz)	Asigna salidas para funciones de control y protección, así como, asignación de los LEDs
6	Logs (registros)	Registra eventos, alarmas, activaciones de protecciones, salidas digitales y valores extremos (12 meses y últimos 31 días)
7	Communication (comunicación)	Configura los protocolos de comunicación disponibles en el relé
8	Device/Test (equipo/prueba)	Muestra información general del relé y el estado del equipo
9	Documentation (documentación)	Presenta una vista general de las etiquetas, botones, elementos visibles en el frontal del relé

Tabla 3. Descripción general de las secciones configurables en software Easergy Pro

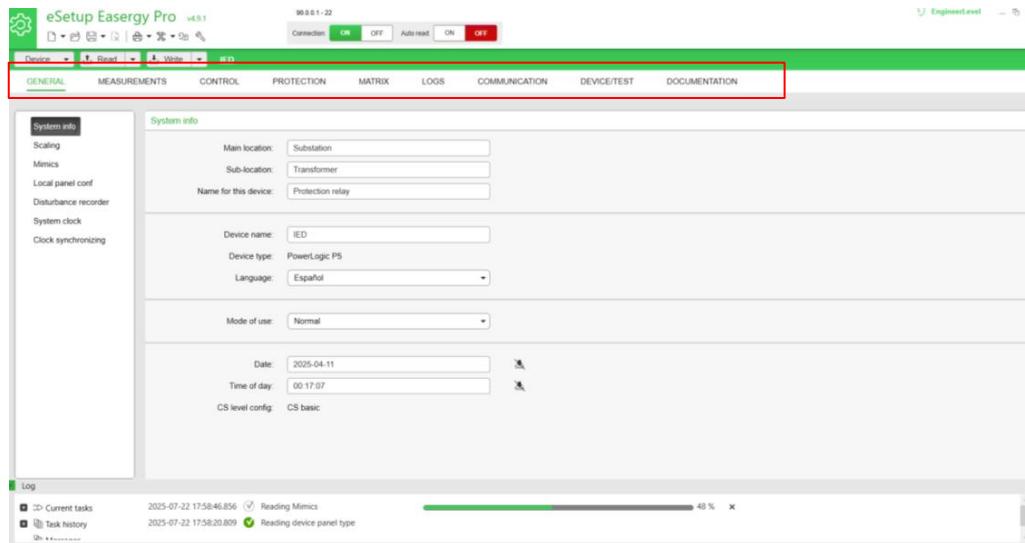


Ilustración 9. Vista inicial en Easergy Pro

### 3.4.1. Sección general

En esta sección es posible configurar información general del relé tal como se menciona en Tabla 3 y se cuenta con 7 apartados.

En el apartado de información del sistema configuramos datos relevantes sobre la ubicación del relé, pueden ser datos de la sub estación, la bahía, el nombre del transformador, además del nombre que se le puede asignar al relé de protección. Se lo establece en los valores por defecto del relé.

En este apartado se puede definir la fecha y hora del equipo, así como funciones del modo de uso.

El modo de uso se puede establecer de 3 maneras como se aprecia en Ilustración 10.

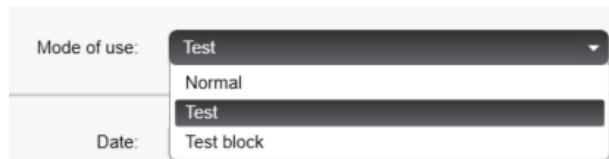


Ilustración 10. Modo de uso Easergy Pro

Cada modo de uso tiene la función de configurar el relé, sin embargo, los modos de **TEST** y **TEST BLOCK** permiten:

1. Forzar los estados de los contactos de salida del relé. Esta función permite verificar la integridad de los contactos de salida antes de cualquier tipo de prueba funcional, así como las conexiones desde las salidas digitales hasta los circuitos de control y comando de los interruptores, además de chequear la transferencia de eventos a través de protocolos de comunicación.
2. Realizar pruebas manuales o virtuales a través del software Easergy Pro. Estas pruebas permiten la simulación de señales de corriente y voltaje.

Para el modo de prueba (**TEST**) se fuerzan los estados de los contactos de salida en la sección de Equipo/prueba (**DEVICE/TEST**) en el apartado de relé (**Relays**) como se aprecia en Ilustración 11. Si se establece en 1 la salida se accionará cerrando el contacto asociado a esa salida. Las etiquetas o nombres de estas salidas se definen en Tabla 10.

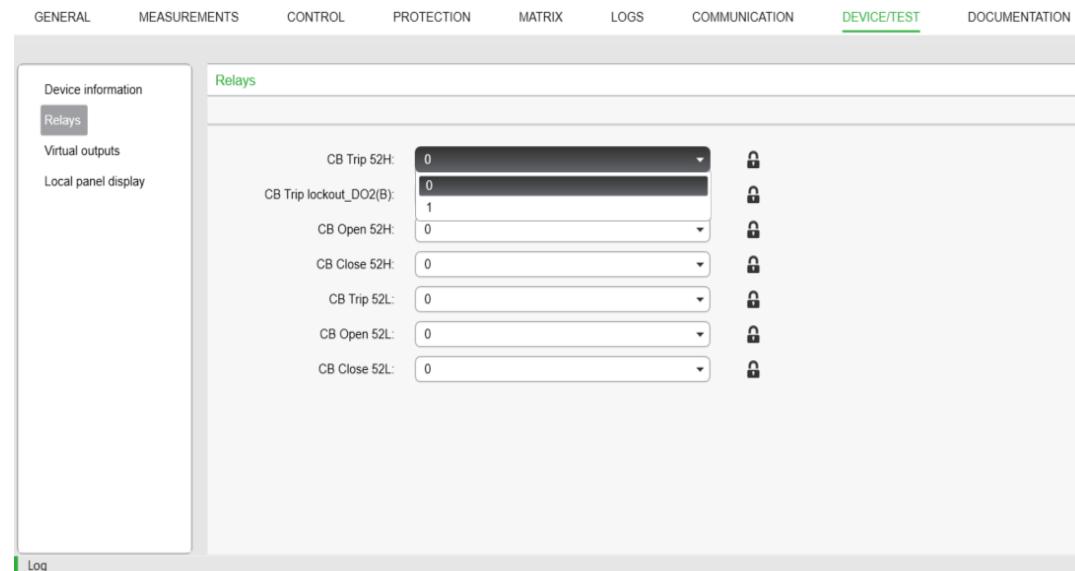


Ilustración 11. Forzar contactos de salida mediante el modo TEST y TEST BLOCK

Las inyecciones virtuales se pueden realizar dando click a la barra ubicada en la parte derecha del software Easergy Pro.

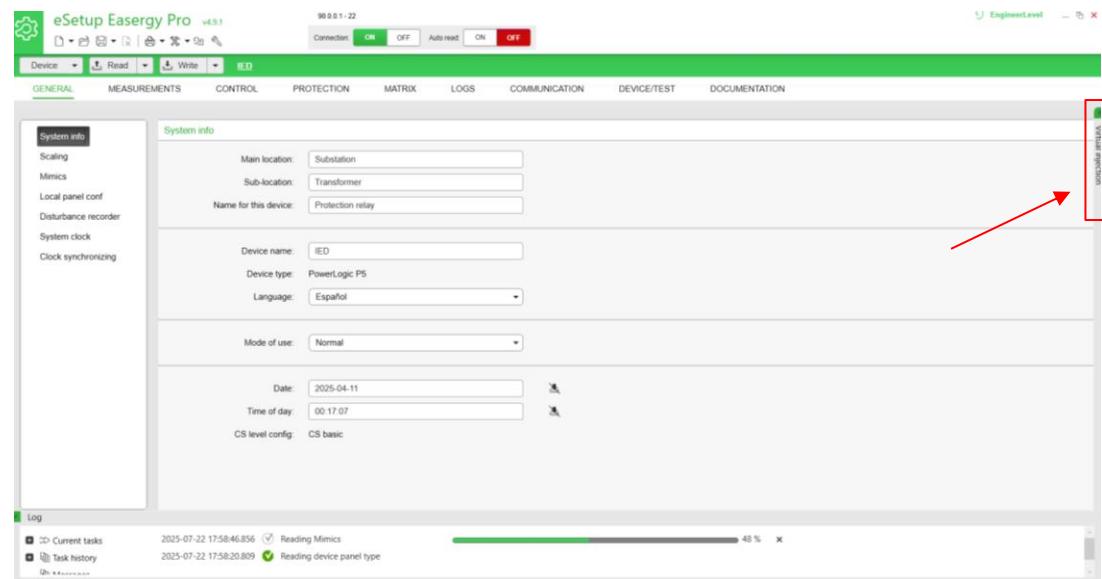


Ilustración 12. Ubicación del apartado de inyecciones virtuales

Una vez abierto se selecciona modo TEST.

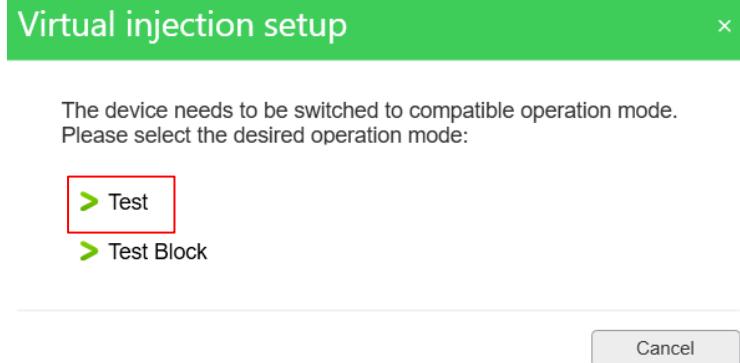


Ilustración 13. Configuración de las inyecciones virtuales Easergy Pro

Aparecerá el siguiente apartado donde se podrá configurar los valores de inyección, la frecuencia y el tiempo de inyección virtual. Esta emulación permite replicar la operación de un relé mediante sus mediciones a través de sus equipos de instrumentación o a su vez algún tipo de prueba de inyección primaria.

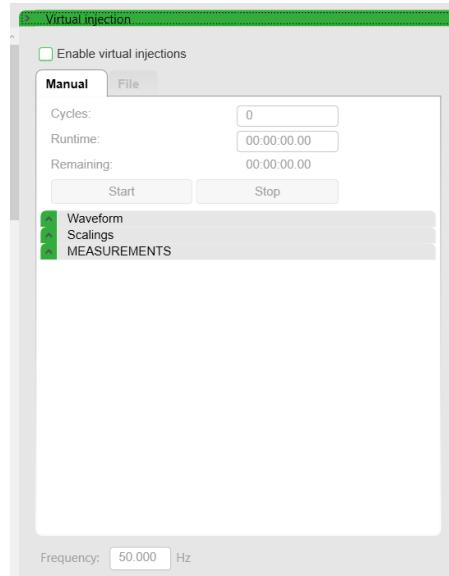


Ilustración 14. Apartado de configuración de inyección virtual Easergy Pro

Se puede configurar de la siguiente manera:

1. Ciclos: Las inyecciones pueden ser realizadas en ciclos o en tiempo real, por ejemplo, a 60 Hz 1 ciclo son 16.6 ms.
2. Forma de onda: Permite visualizar la forma de onda de la inyección virtual.
3. Frecuencia: Se establece la frecuencia, por ejemplo, 60 Hz o 50 Hz.
4. Escala: Permite definir los valores de corriente, voltaje y ángulos máximos.
5. Mediciones: Se definen los valores en primarios de inyección como se puede apreciar en Ilustración 15.

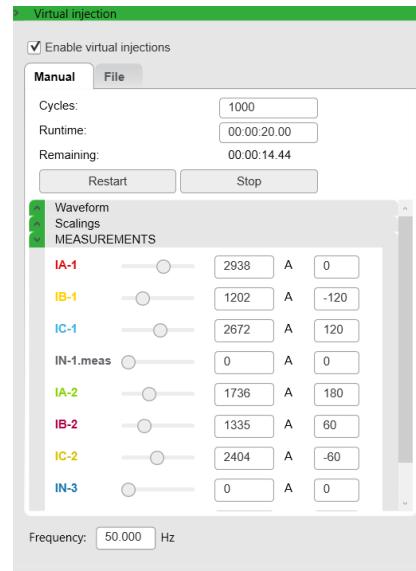


Ilustración 15. Valores de inyección virtual en primarios Easergy Pro

En el apartado de documento (**File**) es posible simular disturbios grabados mediante el registrador de disturbios a través de archivos tipo Comtrade (Common format for Transient Data Exchange o formato común para el intercambio de datos sobre transitorios).

Para esta guía se configurará el tiempo del relé conforme el establecido en la computadora. Se selecciona el apartado **device** y se establece la sincronización del tiempo con PC.

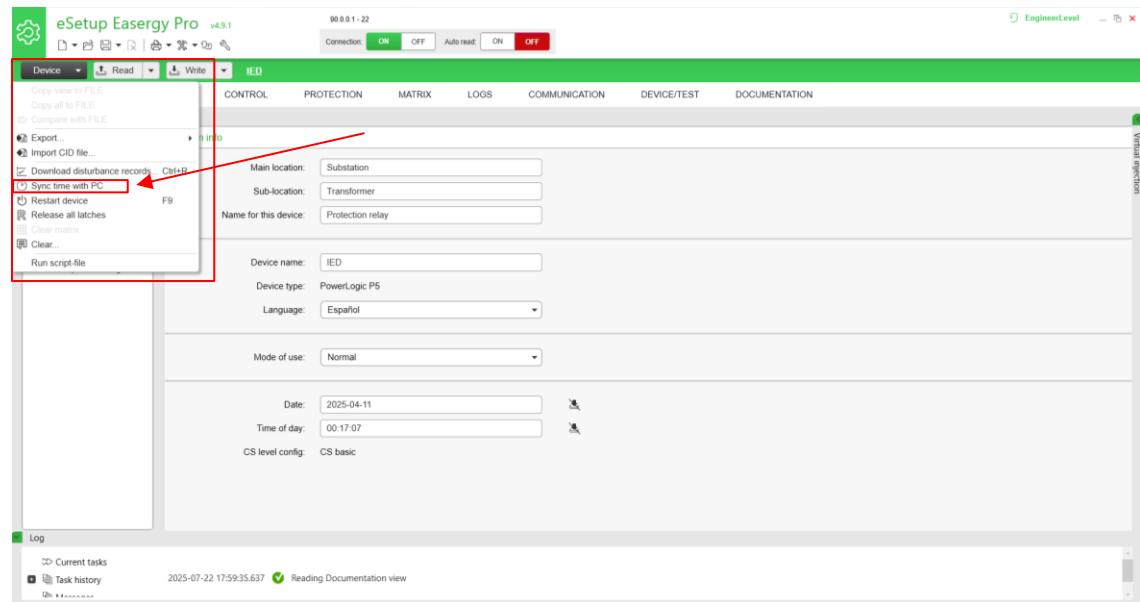


Ilustración 16. Sincronización del tiempo con PC Easergy Pro

En la sección de escala se establecen los valores nominales del transformador a proteger, así como también los valores nominales para los transformadores de corriente como se observa en Ilustración 17.

Para la parametrización y configuración de las funciones de protección posteriores se utilizarán los valores designados en Ilustración 18 e Ilustración 19.

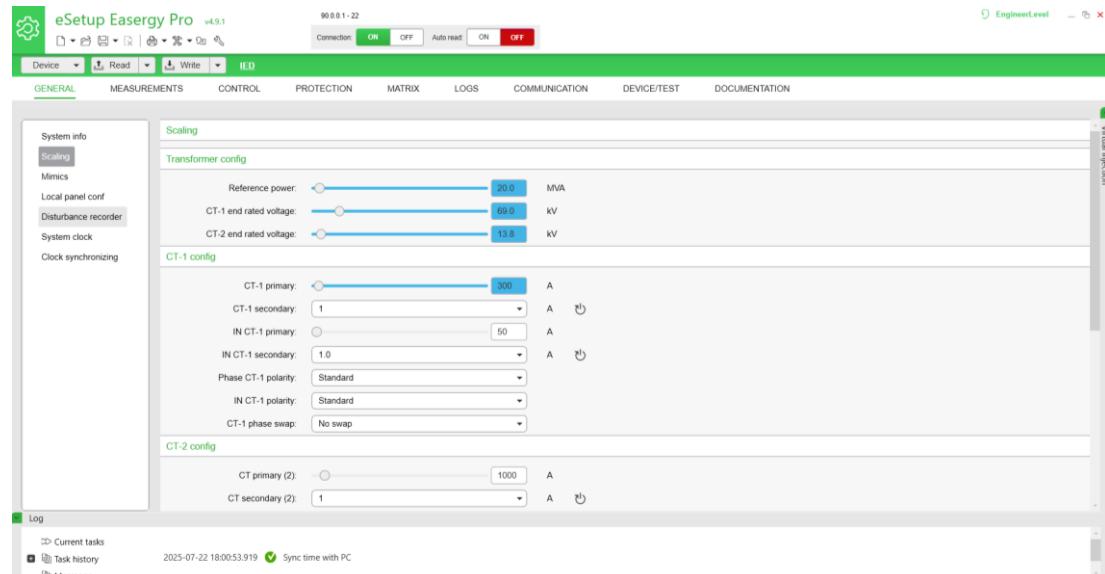


Ilustración 17. Apartado de escala Easergy Pro

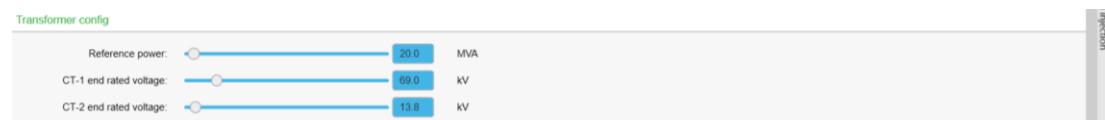


Ilustración 18. Valores nominales del transformador de potencia Easergy Pro

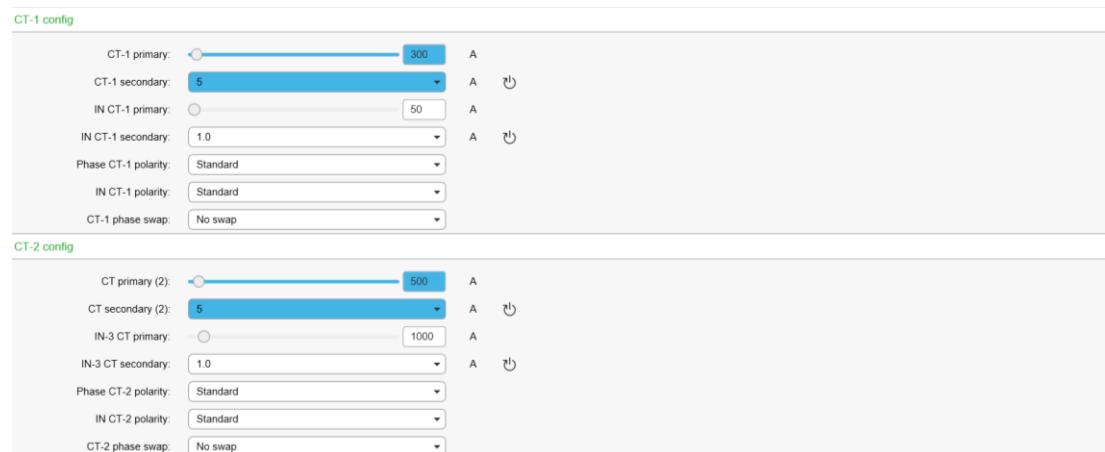


Ilustración 19. Valores nominales de los TCs Easergy Pro

En el apartado mímico se puede diseñar el mímico que será visible en la pantalla del relé P5T30.

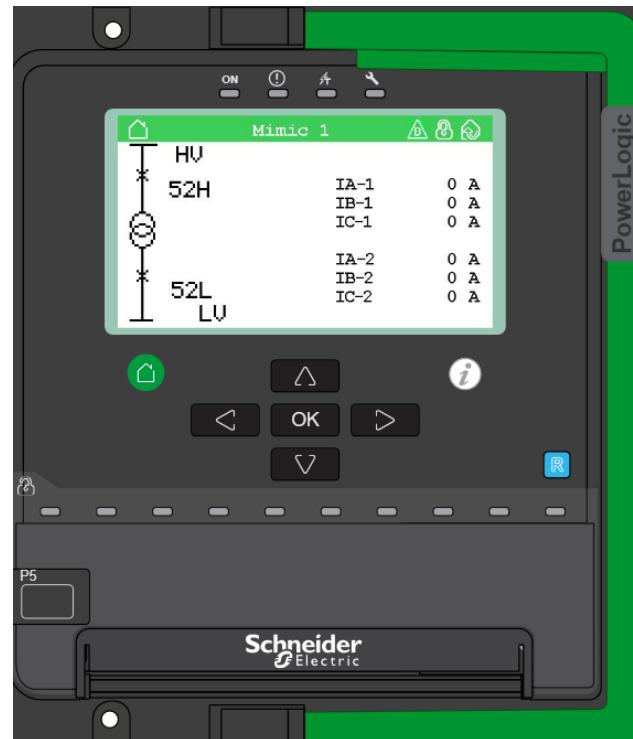


Ilustración 20. Ilustración del mímico en panel frontal del relé P5T30

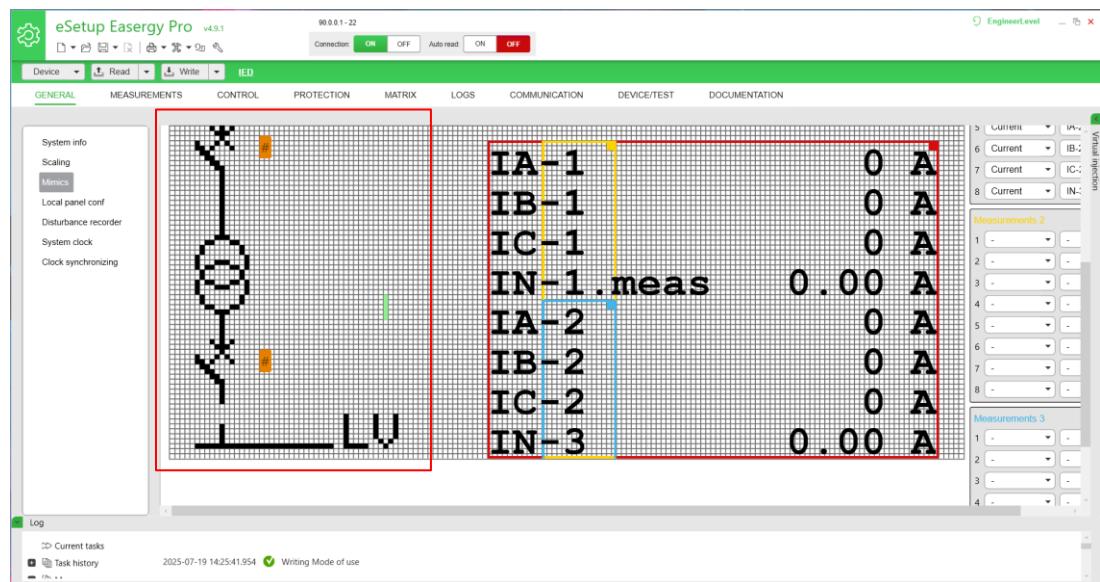


Ilustración 21. Diseño del mímico y parámetro del panel frontal del relé P5T30 en Easergy Pro

El diseño se lo realiza mediante un panel de dibujo que se encuentra en la parte superior.



Ilustración 22. Panel de dibujo para editar mímico en Easergy Pro

Es posible la configuración de más mímicos que pueden ser apreciados en la pantalla del relé.

Se puede configurar también la ilustración de los valores medidos en tiempo real del relé en la pantalla, esto se configura en los rectángulos que se definen en Ilustración 23.

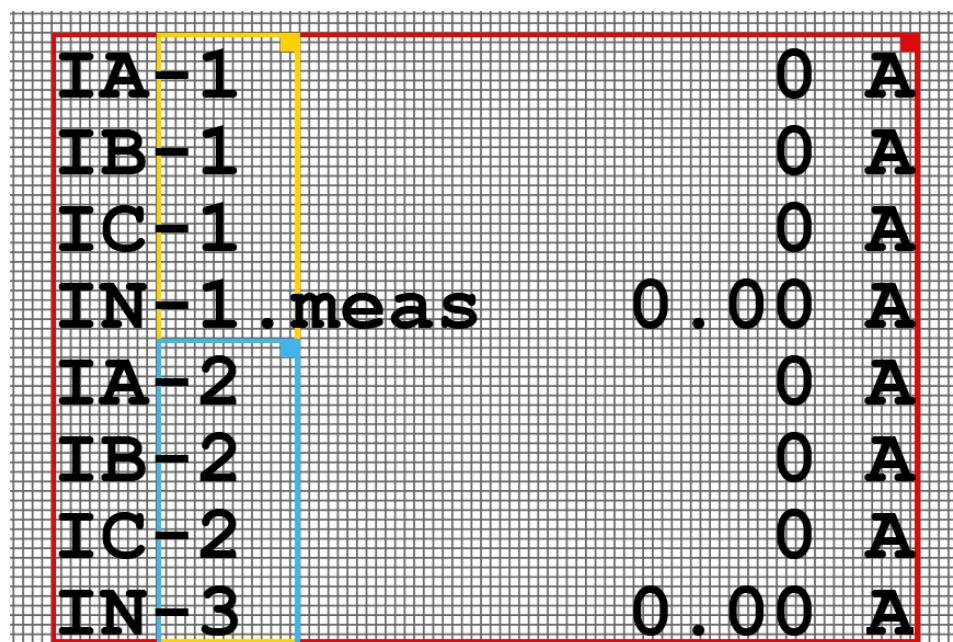


Ilustración 23. Recuadro para definir mediciones visibles en la pantalla del panel frontal del relé P5T30

Se tienen 3 secciones o cuadros, rojo, amarillo y celeste. Para esta configuración se usa solo el recuadro rojo y se configura en la sección mencionada en Ilustración 24.

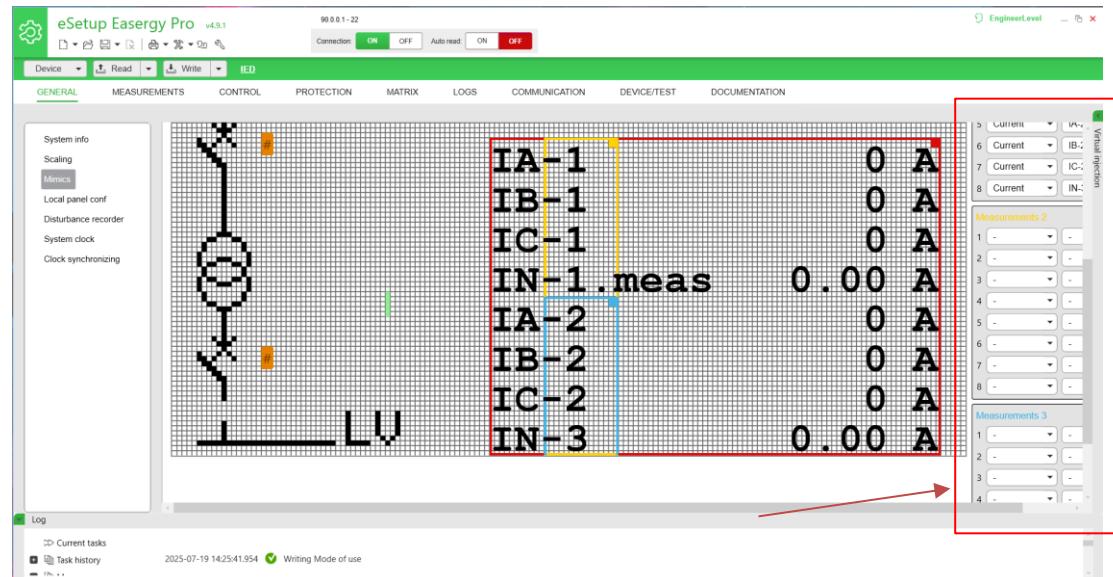


Ilustración 24. Apartado de configuraciones de valores visibles en el panel frontal del relé

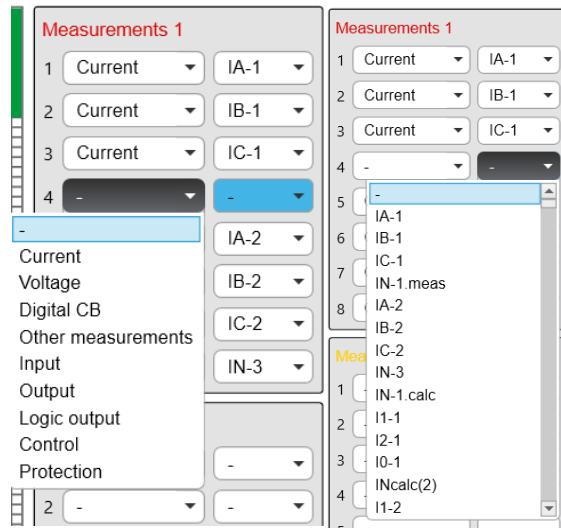


Ilustración 25. Mediciones disponibles para establecer en el panel frontal del relé

Para esta configuración se dejarán establecidas las siguientes mediciones que corresponden a los valores de corrientes en primarios del lado de alta y baja del transformador.

Measurements 1		
1	Current	IA-1
2	Current	IB-1
3	Current	IC-1
4	-	-
5	Current	IA-2
6	Current	IB-2
7	Current	IC-2
8	-	-

Ilustración 26. Mediciones establecidas para el mímico del relé P5T30

Para el mímico se establece la simbología de los interruptores, se le adiciona un texto para cada interruptor que según la ingeniería son 52H para el interruptor del devanado de alta y 52L para el interruptor del devanado de alta.

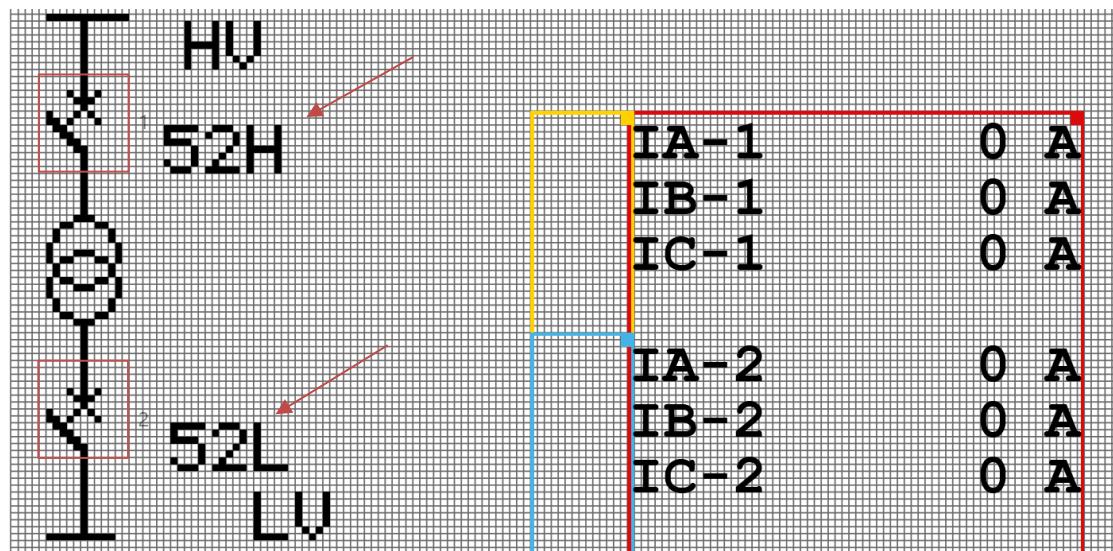


Ilustración 27. Mímico definido para el relé P5T30

Cada uno de estos interruptores pueden ser representados en su estado abierto o cerrado dependiendo del estado real de los interruptores. Para obtener esta funcionalidad se le asignan objetos de control a ambos presionando dos veces el símbolo.

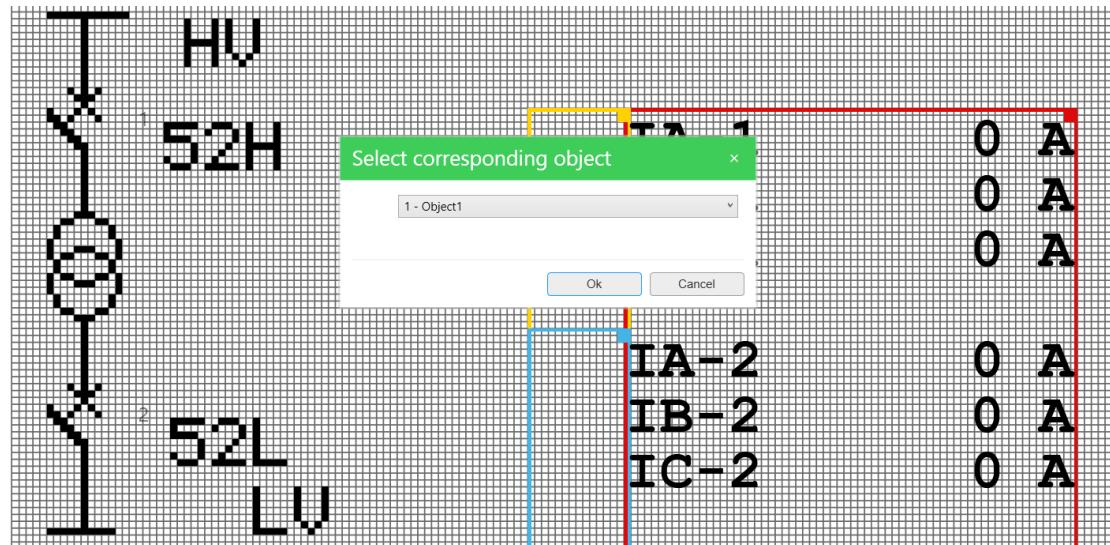


Ilustración 28. Designación de objetos de control para representación de los estados de los interruptores Easergy Pro

Elemento del mímico	Objeto de control
Interruptor 52H	Objeto 1
Interruptor 52L	Objeto 2

Tabla 4. Objetos de control designados a los interruptores del mímico en software Easergy Pro

En el apartado de configuración de panel local se permite establecer el brillo, el tiempo de encendido de la pantalla, así como el control de objetos mediante los botones ubicados en la parte frontal del relé (botones de interruptor abierto e interruptor cerrado mencionados en Ilustración 1).

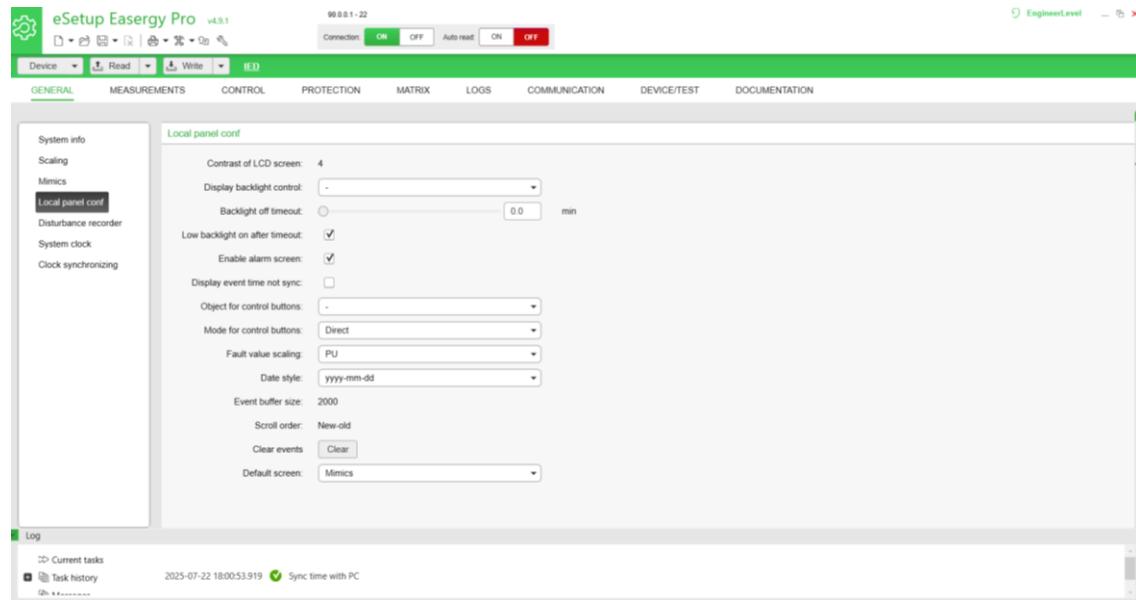


Ilustración 29. Configuración del panel local Easergy Pro

Los valores del tiempo máximo de encendido se establecen en 0.0, esto permite que la pantalla no se apague en ningún momento, no definimos el control de objetos porque se establecerán para los botones funcionales del relé en la sección de control.

El modo de control se lo establece en directo.



Ilustración 30. Modos de control del objeto mediante los botones de apertura y cierre del panel local

1. Control selectivo: Establece una confirmación antes de accionar el control del botón. Esta confirmación es presionar dos veces para el control siendo la segunda vez la confirmación.
2. Control directo: No necesita confirmación.

En la sección del registrador de disturbios se selecciona los canales que se registrarán, estos valores analógicos muestrados serán obtenidos antes, durante y después de un evento de falla. Se tiene una ratio de muestreo 24 y 48 muestras por ciclo.

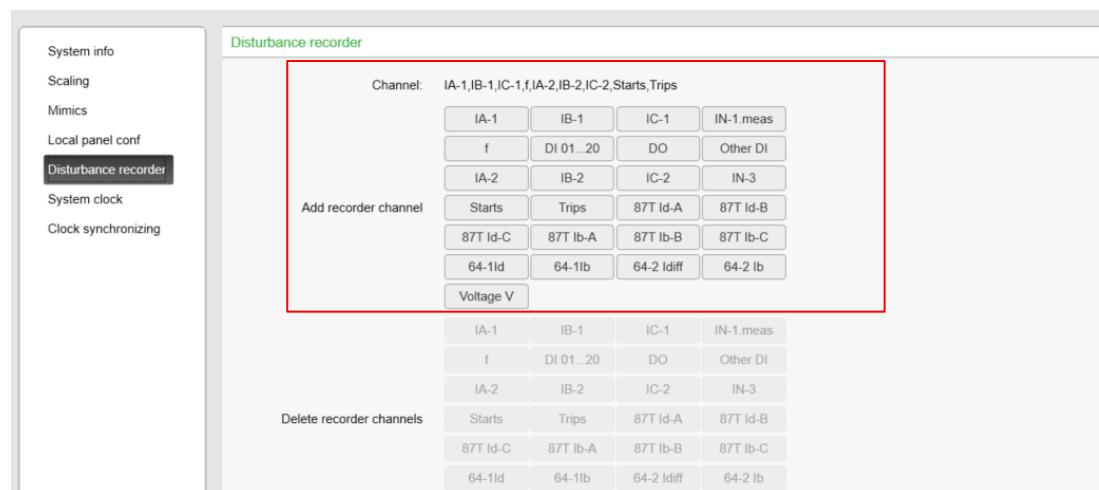


Ilustración 31. Canales seleccionados en el registrador de disturbios



Ilustración 32. Ratio de muestreo, tiempo de muestra previo al disparo y longitud de registro Easergy Pro

El registro empieza una vez que alguna protección actúa, se recibe la entrada de alguna señal digital, salidas digitales o señales GOOSE. El disparo del registrador de disturbios puede configurarse en la matriz de salida ubicada en la sección matriz, se lo identifica como "DR" en las columnas.

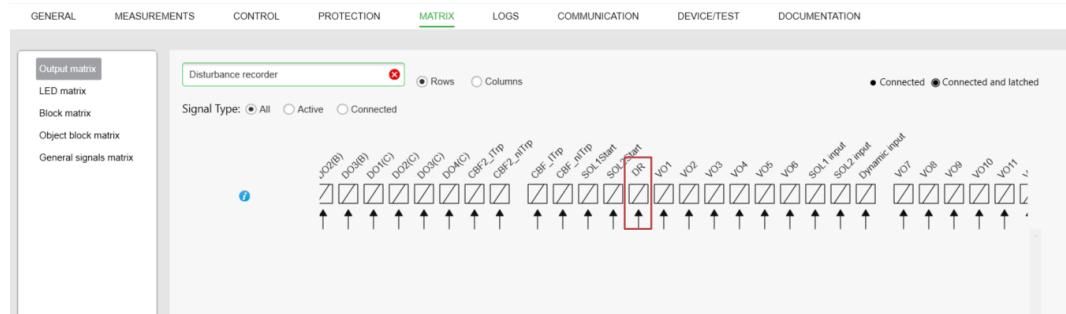


Ilustración 33. Salida del registrados de disturbios en la matriz de salidas Easergy Pro

Los archivos del registrador de disturbios pueden ser descargados en formato Comtrade y procesados en cualquier software que permita analizar estos tipos de documentos.

La sección del reloj del sistema se puede visualizar en Ilustración 34.

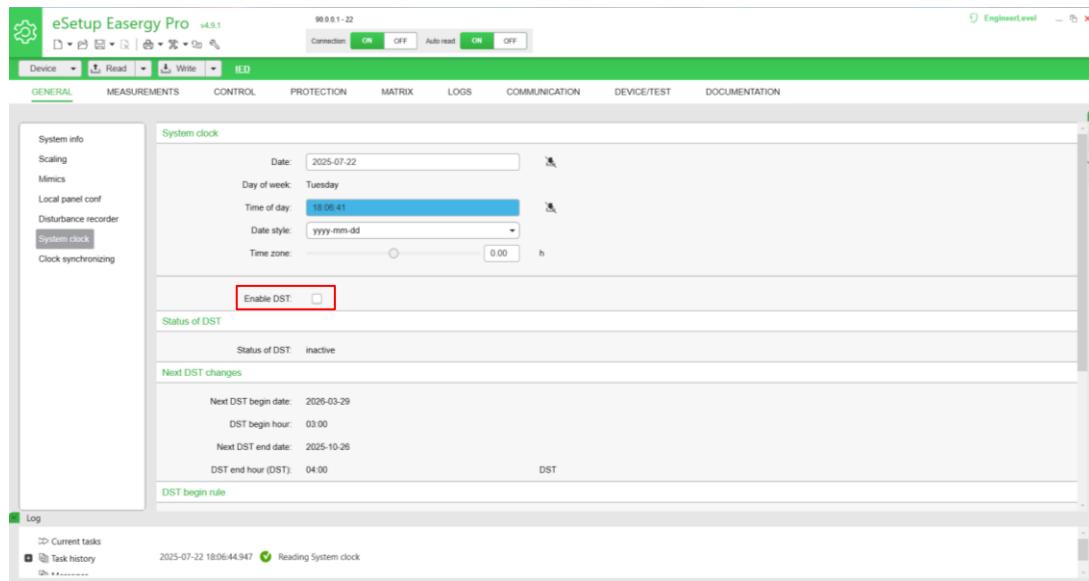


Ilustración 34. Reloj del sistema Easergy Pro

En esta sección se puede configurar el DST u horario de verano, esto en el caso de la necesidad de adelantar o atrasar una hora para los países en donde es necesario.

La sincronización de tiempo se realiza de manera interna debido a que el relé no cuenta con el apartado necesario a nivel de hardware para implementar el módulo IRIG-B de expansión.

Se destaca la opción de sincronización por pulsos mediante entradas digitales.

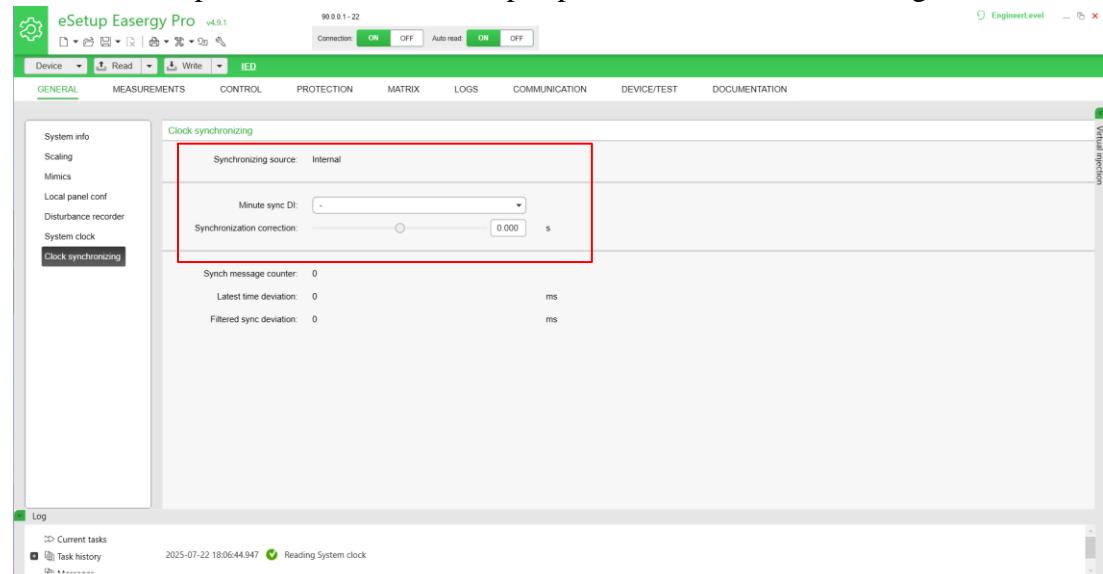


Ilustración 35. Sincronización de reloj relé P5T30 usando Easergy Pro

Para guardar los datos en el relé, se debe seleccionar **Write** o escribir como se explica en Ilustración 36.

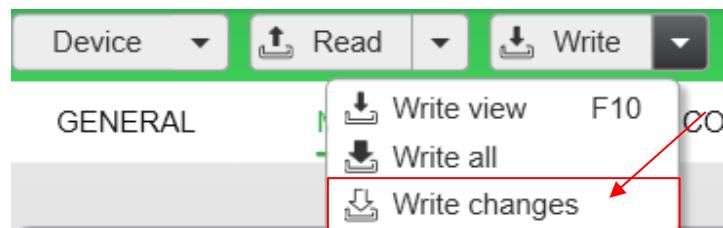


Ilustración 36. Escribir cambios Easergy Pro

### 3.4.2. Sección de mediciones

En la sección de mediciones se puede observar en tiempo real los valores de entradas analógicas que ingresan al relé de protección o por otro lado los valores de inyecciones virtuales en el modo de prueba.

Se pueden visualizar los valores de corriente y voltaje en lado primario y secundario.

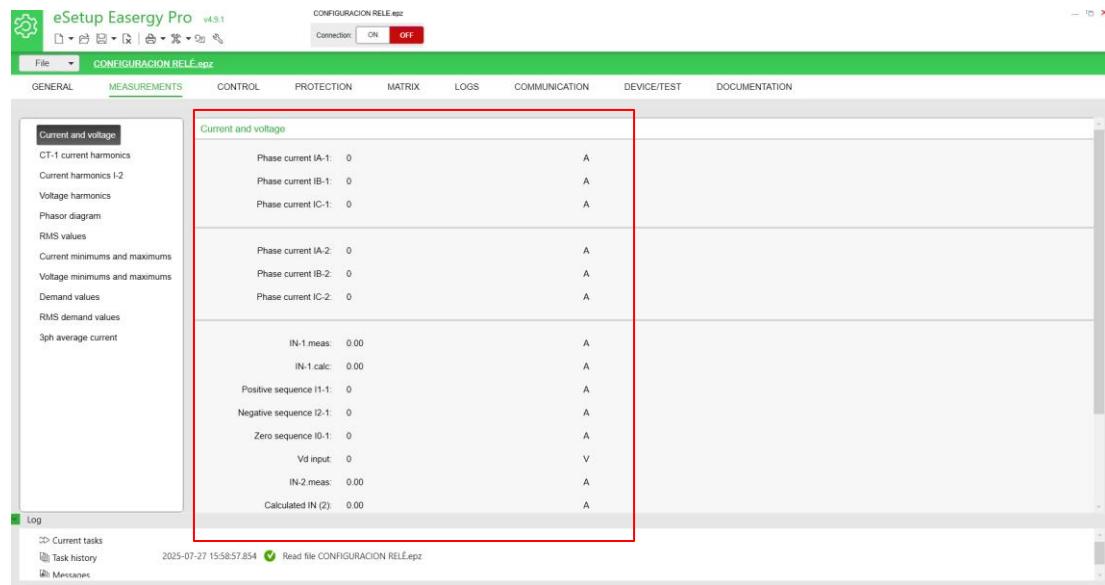


Ilustración 37. Valores de corrientes y de voltajes Easergy Pro

Se puede visualizar el espectro armónico de corrientes en el lado primario, además el THD.

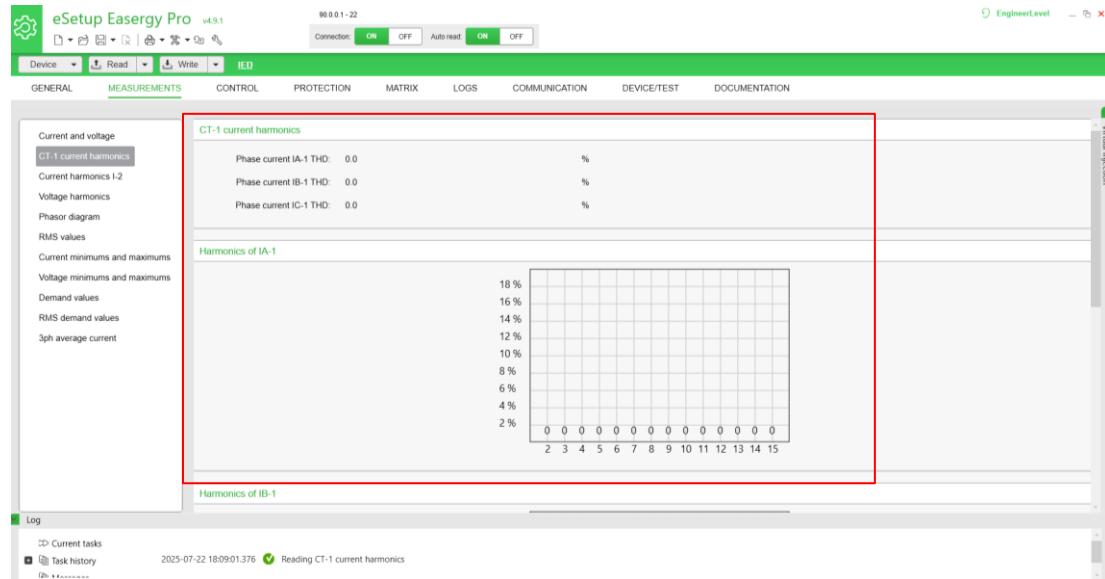


Ilustración 38. Armónicos de corriente en el lado primario Easergy Pro

Se puede visualizar el espectro armónico de corrientes en el lado secundario, además el THD.

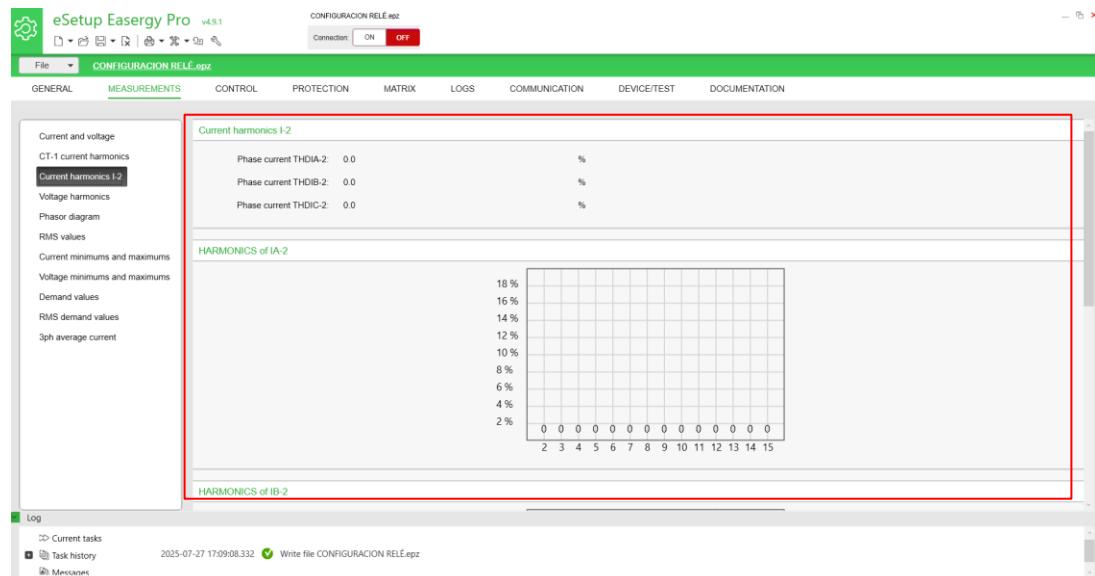


Ilustración 39. Armónicos de corriente en el lado secundario Easergy Pro

Se pueden visualizar el espectro armónico de voltaje de la entrada analógica de voltaje disponible, además su THD.

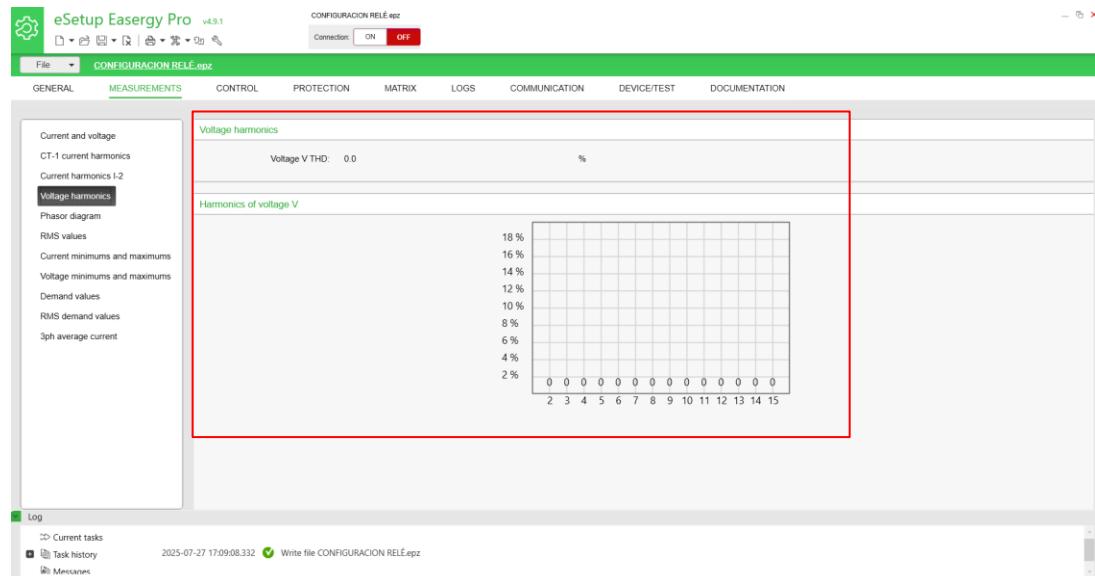


Ilustración 40. Armónico de voltaje Easergy Pro

Se pueden visualizar los diagramas fasoriales de las señales de corriente y voltaje.

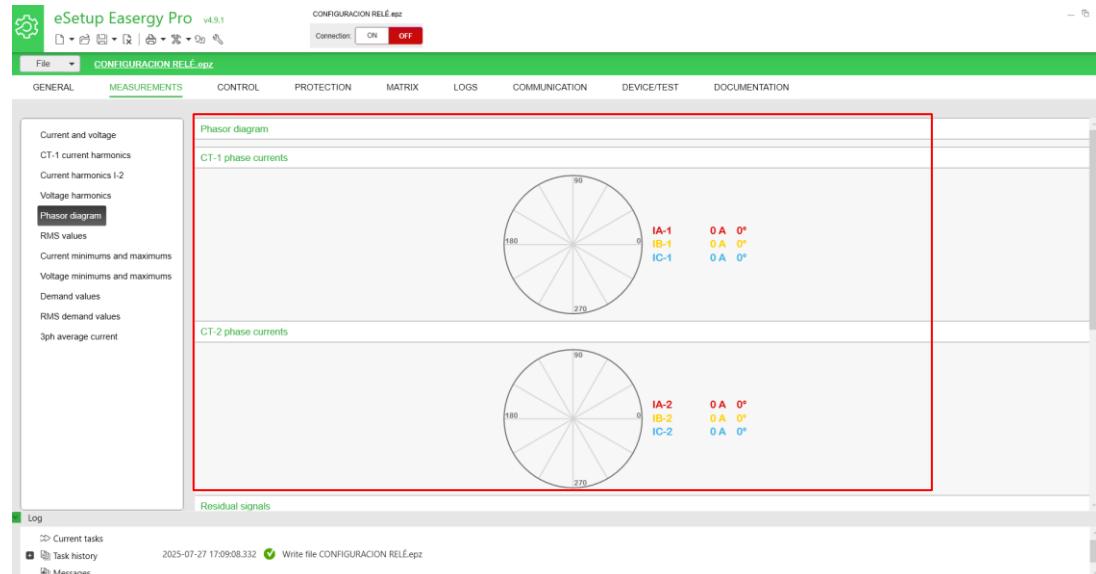


Ilustración 41. Diagramas fasoriales de señales de corriente y voltaje Easergy Pro

Se pueden visualizar los valores RMS de las señales de corriente y voltaje.

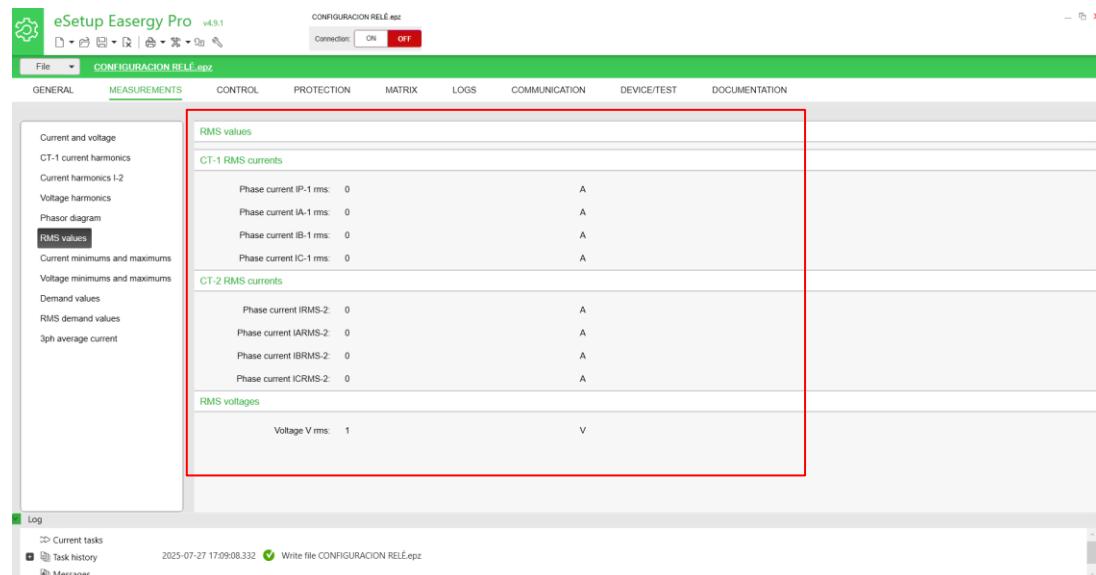


Ilustración 42. Valores RMS de corriente y voltaje Easergy Pro

Se puede visualizar el registro de corrientes máximas y mínimas.

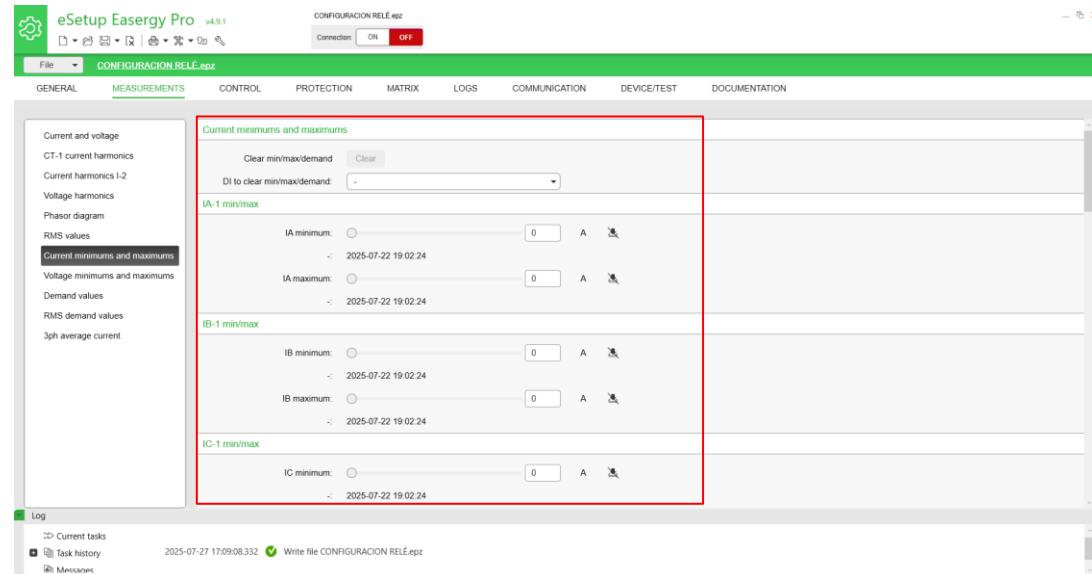


Ilustración 43. Corriente máximas y mínimas Easergy Pro

Se puede visualizar el registro de voltajes máximos y mínimos.

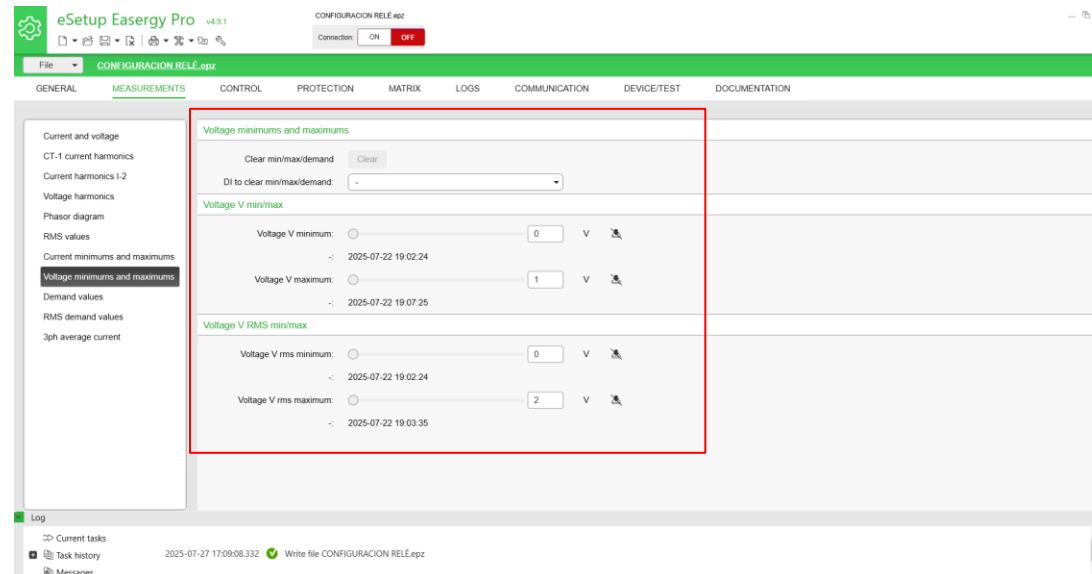


Ilustración 44. Voltajes máximos y mínimos Easergy Pro

Se pueden visualizar los valores de demanda para estudios de consumo y planificación. Se puede promediar los valores en una ventana de 10 minutos a 60 minutos.

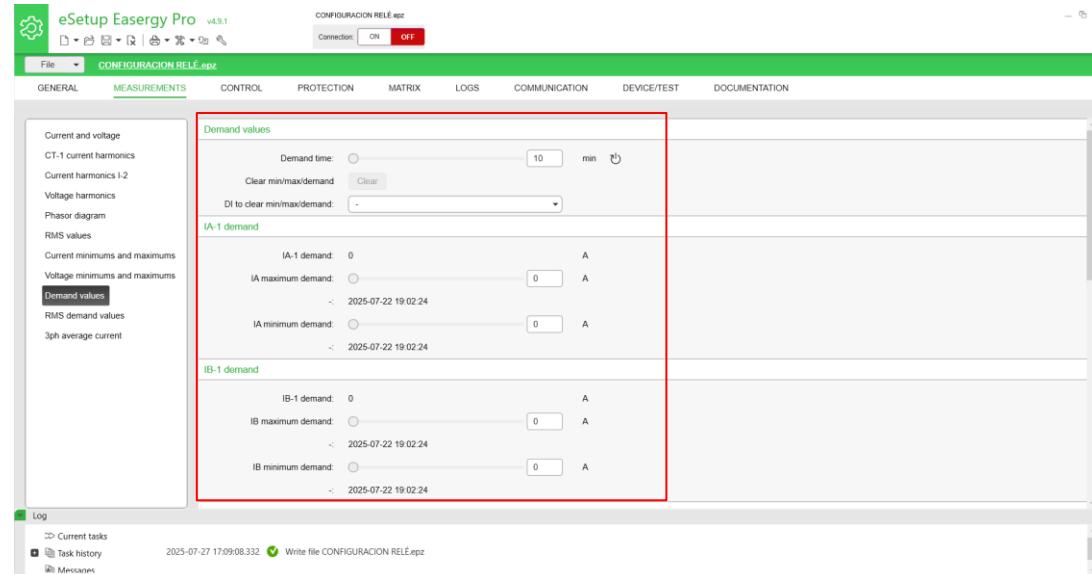


Ilustración 45. Valores de corriente de demanda Easergy Pro

Se pueden visualizar los valores RMS de las corrientes de demanda, así como su valores máximos y mínimos.

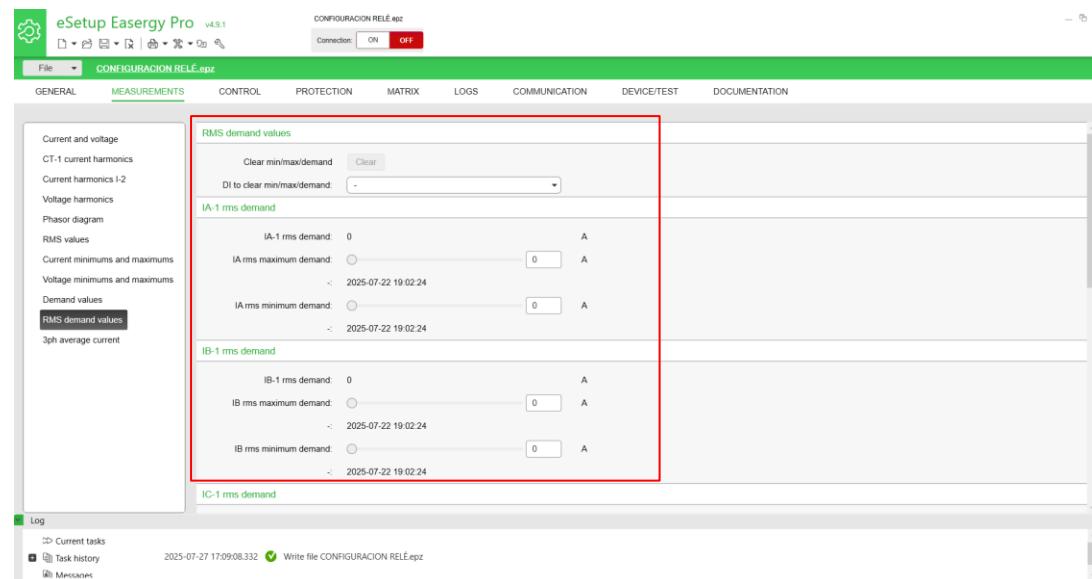


Ilustración 46. Valores RMS de las corrientes de demanda Easergy Pro

Se puede configurar la ventana de obtención de las corrientes promedio trifásicas.

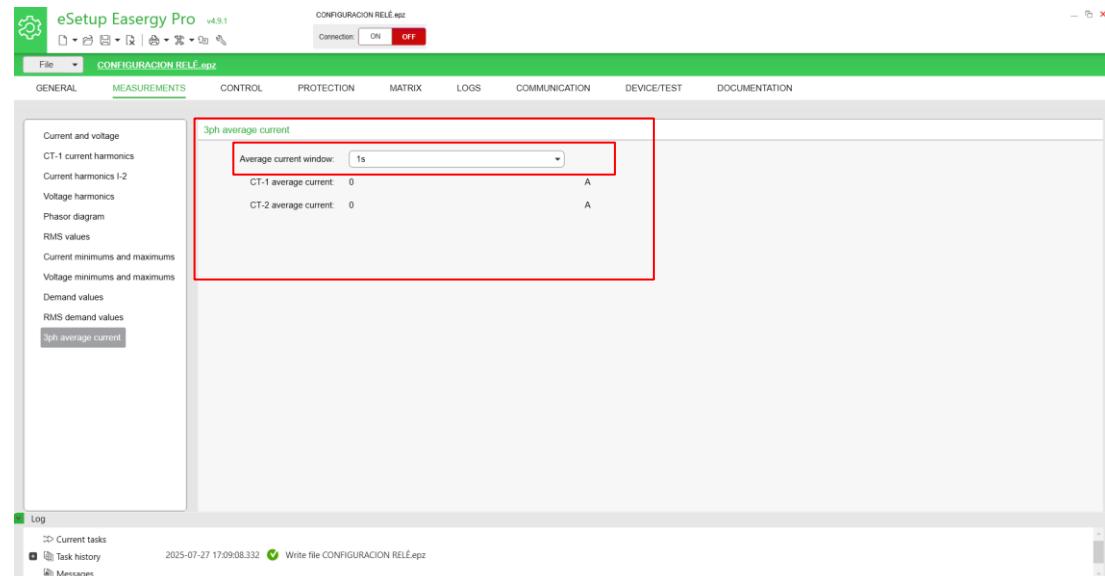


Ilustración 47. Selección de ventana de muestreo de corrientes trifásicas

La ventana de obtención de corriente promedio pueden tener los siguientes valores establecidos en Tabla 5.

Parámetro	Valor	Descripción
Valores configurables	1s, 1 min	Tiempo para calcular las corrientes promedio
Tiempo de demanda	Tiempo de demanda (10 – 60 min)	Tiempo de demanda (tiempo en promediar)

Tabla 5. Ventana de tiempo para el cálculo de corriente promedio trifásica

### 3.4.3. Sección de control

En el apartado de control podemos definir, etiquetas y programar las señales digitales, analógicas y virtuales del relé.

En el apartado de objetos definimos el control de dichos elementos y lo relacionamos a los equipos que estamos monitoreando. En el caso de esta guía se monitorea los interruptores 52H y 52L, definidos también en el mímico.

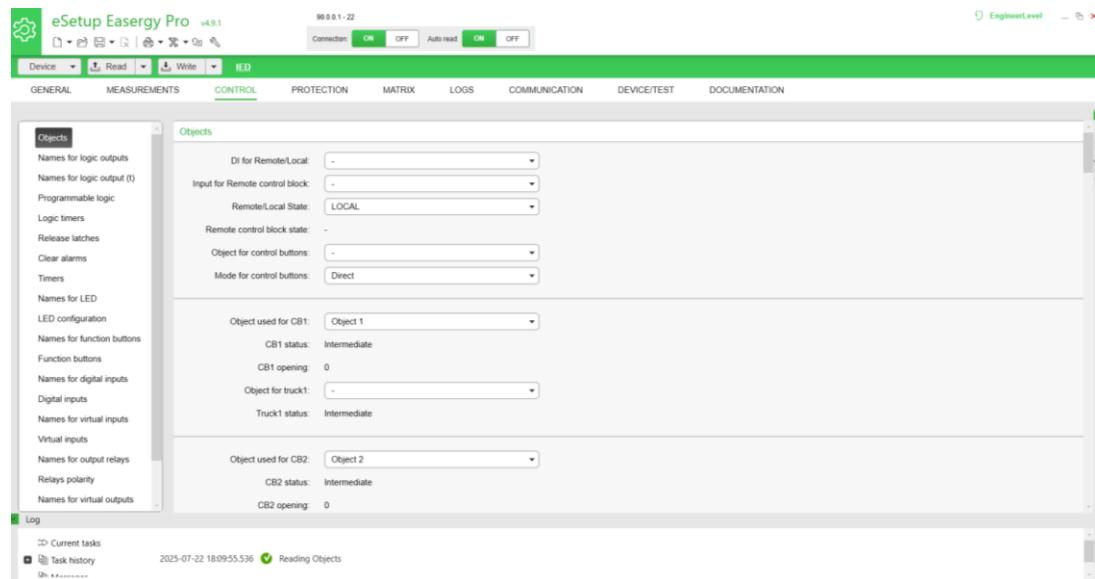


Ilustración 48. Apartado de objetos en la sección de control

Entrada digital	Asignación
Entrada digital 1 (LOTE B)	Estado cerrado interruptor 52H
Entrada digital 2 (LOTE B)	Estado abierto interruptor 52H
Entrada digital 3 (LOTE B)	Estado cerrado interruptor 52L
Entrada digital 4 (LOTE B)	Estado abierto interruptor 52L
Entrada digital 1 (LOTE C)	Estado remoto tablero didáctico
Entrada digital 2 (LOTE C)	Reset del relé

Tabla 6. Asignación de las señales de entrada digitales del relé P5T30 según ingeniería

Tomando como base las entradas digitales estipuladas en la ingeniería para los estados del interruptor y el estado local remoto del tablero, mencionados en la Tabla 6. Se establecen los siguientes parámetros.

**Objects**

DI for Remote/Local:	DI1(C)		-
Input for Remote control block:	-		-
Remote/Local State:	LOCAL		-
Remote control block state:	-		-
Object for control buttons:	-		-
Mode for control buttons:	Direct		-
Object used for CB1:	Object 1		-
CB1 status:	Closed		-
CB1 opening:	0		-
Object for truck1:	-		-
Truck1 status:	Intermediate		-
Object used for CB2:	Object 2		-
CB2 status:	Closed		-
CB2 opening:	0		-
Object for truck2:	-		-
Truck2 status:	Intermediate		-

Ilustración 49. Selección de objetos para interruptores y señal de estado remoto

**Control object 1**

Object1:	Object1
Object1 extended state:	Closed
Object1 final trip by:	-
Object open DI:	DI2(B)
Object close DI:	DI1(B)
DI for object ready:	-
Max intermediate position time:	<input type="radio"/> 0.20 s
Max control pulse length:	<input type="radio"/> 0.20 s
Completion timeout:	<input type="radio"/> 10.00 s
Object 1 control	<a href="#">Open</a> <a href="#">Close</a>
DI for remote open control:	DI3(C)
DI for remote close control:	DI4(C)
DI for local open control:	-
DI for local close control:	-
Inactivity days limit:	<input type="radio"/> 500
Last state change:	2025-08-10
Inactive days left:	500
Inactive alarm:	inactive

Ilustración 50. Objeto 1 designado a interruptor 52H

Control object 2

Object2:	Object2
Object2 extended state:	Closed
Object2 final trip by:	-
Object open DI:	DI4(B)
Object close DI:	DI3(B)
DI for 'object ready':	-
Max intermediate position time:	<input type="radio"/> 0.20 s
Max control pulse length:	<input type="radio"/> 0.20 s
Completion timeout:	<input type="radio"/> 10.00 s
Object 2 control	<input type="button" value="Open"/> <input type="button" value="Close"/>
DI for remote open control:	DI5(C)
DI for remote close control:	DI6(C)
DI for local open control:	-
DI for local close control:	-
Inactivity days limit:	<input type="radio"/> 500
Last state change:	2025-08-10
Inactive days left:	500
Inactive alarm:	inactive

Ilustración 51. Objeto 2 designado a 52L

Cuando el relé recibe las señales de control remoto, este no puede ejecutar comando de manera local mediante el panel principal ubicado en la parte frontal del relé, ni mediante los botones que aparecen en el apartado de objetos en el software Easergy Pro.



Ilustración 52. Control de manera local de objetos mediante el software Easergy Pro

Si el relé recibe las señales de entrada digitales asignadas al control local, se podrá comandar los objetos mediante el software Easergy Pro, los electroswitches ubicados en el tablero o mediante la pantalla principal del relé.



Ilustración 53. Ilustración de pantalla principal del relé P5T30

Para realizar este proceso se debe realizar lo siguiente:

1. Navegar por los objetos designados en el mímico utilizando los botones de navegación.
2. Dar ok en el objeto que se desea controlar.
3. Seleccionar abrir o cerrar.

Las designaciones para el control de objetos en el software se describen y establecen en Tabla 7 y Tabla 8 tomando como base las entradas digitales definidas en Tabla 6.

Apartado	Descripción
Object open DI	Permite establecer el estado del interruptor para monitoreo, además se relaciona con el símbolo establecido en el mímico. Si la señal es recibida en la pantalla del panel frontal se representará el interruptor abierto. Se designó la entrada digital 2 del lote B.
Object close DI	Permite establecer el estado del interruptor para monitoreo, además se relaciona con el símbolo establecido en el mímico. Si la señal es recibida en la pantalla del panel frontal se representará el interruptor cerrado. Se designó la entrada digital 1 del lote B.
DI for remote open control	Permite el control del objeto de manera remota mediante una entrada digital.
DI for remote close control	Permite el control del objeto de manera remota mediante una entrada digital.
DI for local open control	Permite el control del objeto de manera local mediante una entrada digital.
DI for local close control	Permite el control del objeto de manera local mediante una entrada digital.

Tabla 7. Designaciones para el control del objeto 1 en Easergy pro

Apartado	Descripción
Object open DI	Permite establecer el estado del interruptor para monitoreo, además se relaciona con el símbolo establecido en el mímico. Si la señal es recibida en la pantalla del panel frontal se representará el interruptor abierto. Se designó la entrada digital 4 del lote B.
Object close DI	Permite establecer el estado del interruptor para monitoreo, además se relaciona con el símbolo establecido en el mímico. Si la señal es recibida en la pantalla del panel frontal se representará el interruptor cerrado. Se designó la entrada digital 3 del lote B.
DI for remote open control	Permite el control del objeto de manera remota mediante una entrada digital.
DI for remote close control	Permite el control del objeto de manera remota mediante una entrada digital.
DI for local open control	Permite el control del objeto de manera local mediante una entrada digital.
DI for local close control	Permite el control del objeto de manera local mediante una entrada digital.

Tabla 8. Designaciones para el control del objeto 2 en Easergy pro

A continuación, para tener un mejor control y entendimiento de que señales corresponden a cada entrada digital, se los definen en **name for digital inputs**. Fueron etiquetados con base a la ingeniería del tablero de protecciones didáctico.

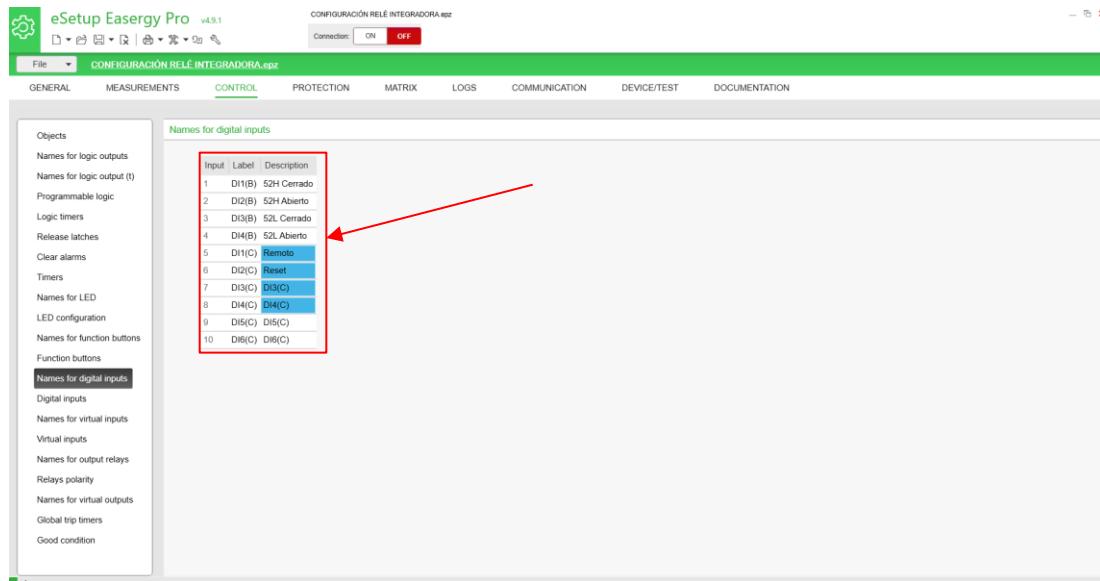


Ilustración 54. Etiquetado de las señales de entrada del relé P5T30 en Easergy Pro

Se selecciona la entrada digital 2 (LOTE C) para la función de Reset en el apartado de **Release Latches**.

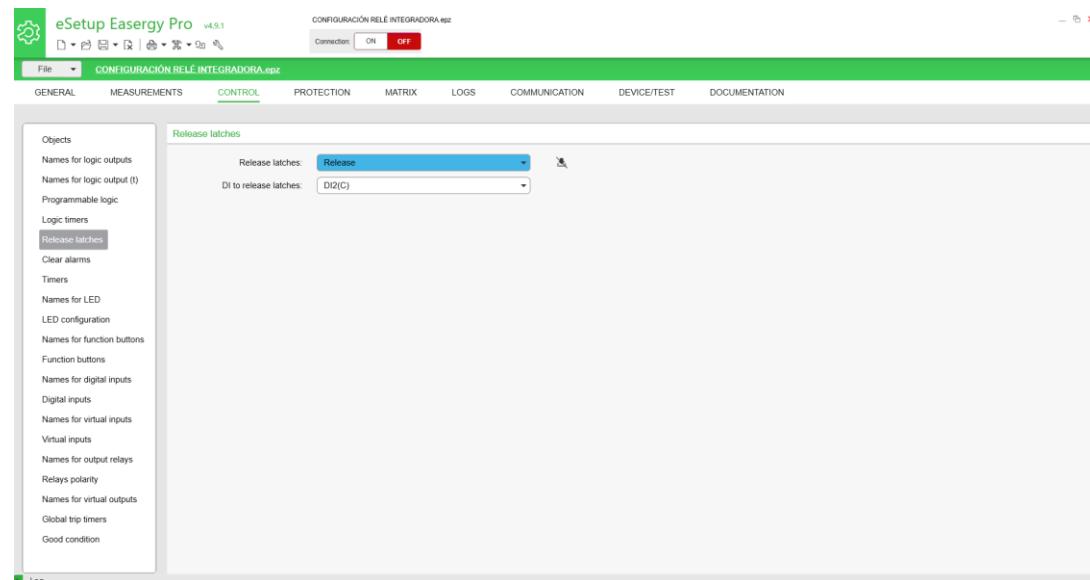


Ilustración 55. Selección de entrada digital para función RESET Easergy Pro

Se selecciona el botón funcional F1 para la función de restablecimiento de alarmas en el apartado de **Clear alarms**.

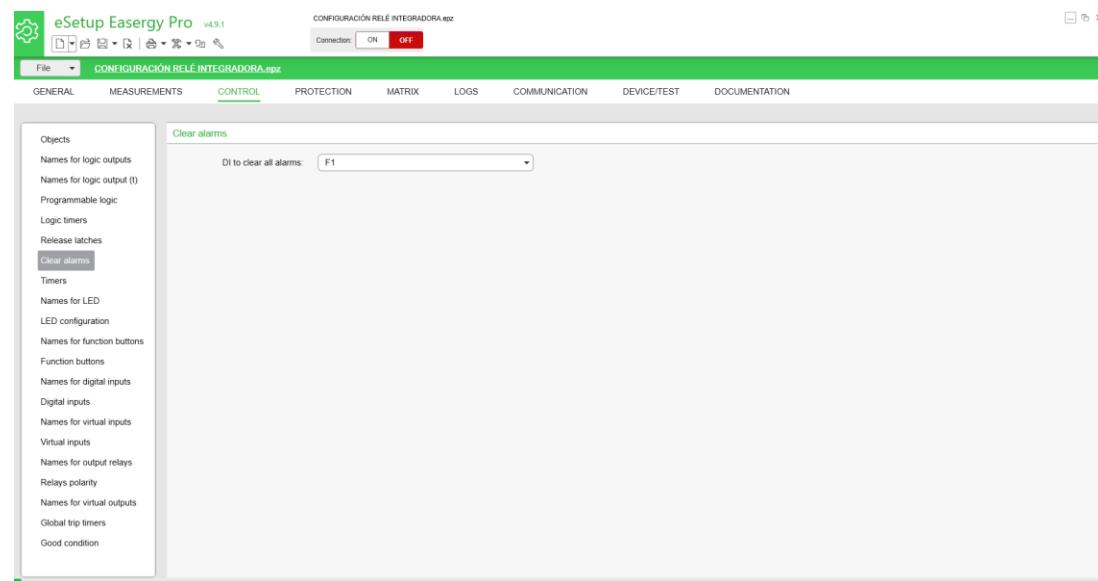


Ilustración 56. Selección de botón funcional para el restablecimiento de alarmas Easergy Pro

Se etiquetan los botones funcionales en el apartado **Names for function buttons**.

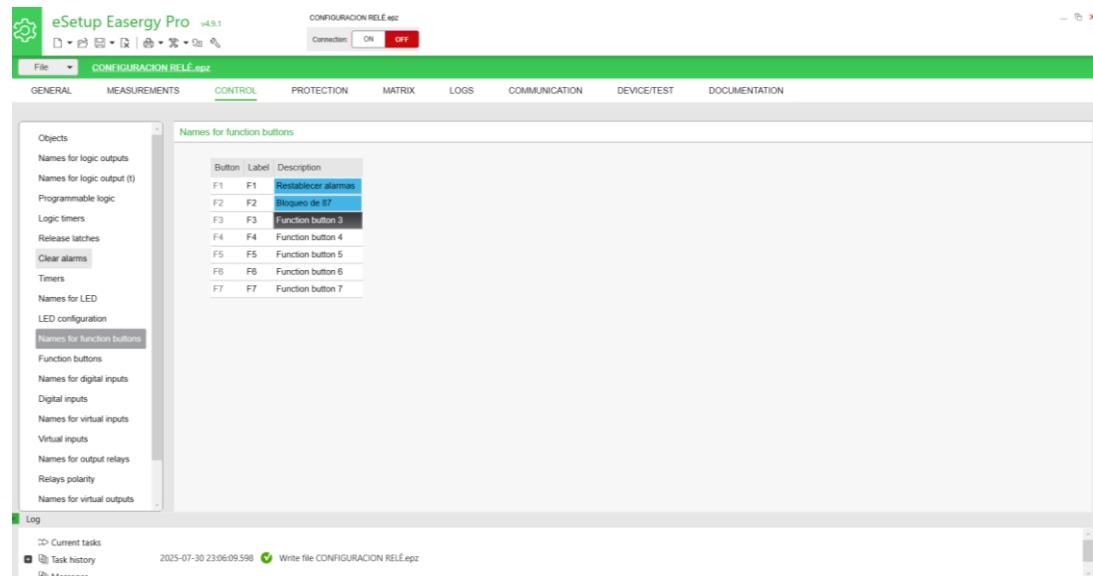


Ilustración 57. Nombre de los botones funcionales en Easergy Pro

Se designan las etiquetas para las Luces LED configurables que se van a utilizar en el relé de protección, esto es realizado en el apartado **Names for LED** y se pueden apreciar en Tabla 9.

LED	Description
Alarm	Alarm
Trip	Trip
LED A (green)	52H Abierto
LED A (red)	52H Cerrado
LED A (orange)	LED A (orange)
LED B (green)	52L Abierto
LED B (red)	52L Cerrado
LED B (orange)	LED B (orange)
LED C (green)	LED C (green)
LED C (red)	LED C (red)
LED C (orange)	Aranque general
LED D (green)	LED D (green)
LED D (red)	Disparo 51P (1)
LED D (orange)	LED D (orange)
LED E (green)	LED E (green)
LED E (red)	Disparo 87T
LED E (orange)	Bloqueo de diferencial
LED F (green)	LED F (green)
LED F (red)	LED F (red)
LED F (orange)	Alarma TCS
LED G (green)	LED G (green)
LED G (red)	LED G (red)
LED G (orange)	LED G (orange)
LED H (green)	LED H (green)
LED H (red)	LED H (red)

Ilustración 58. Etiquetado de las luces LED programables del relé

LED	Etiqueta	Asignación
A (VERDE)	52H Abierto	Interruptor 52H abierto
A (ROJO)	52H Cerrado	Interruptor 52H cerrado
B (VERDE)	52L Abierto	Interruptor 52L abierto
B (ROJO)	52L Cerrado	Interruptor 52L cerrado
C (NARANJA)	Arranque general	Arranque de protecciones
D (ROJO)	Disparo 51P (1)	Disparo de protección 51 de fase en alta tensión
E (ROJO)	Disparo 87T	Disparo de protección 87 de transformador
E (NARANJA)	Bloqueo diferencial	Bloqueo de diferencial para pruebas
F (NARANJA)	Alarma TCS	Alarma de supervisión de circuito de disparo

Tabla 9. Designación de luces LED programables

Finalmente se establecen los enclavamientos de los LEDS para los disparos en el apartado de **LED configuration**.

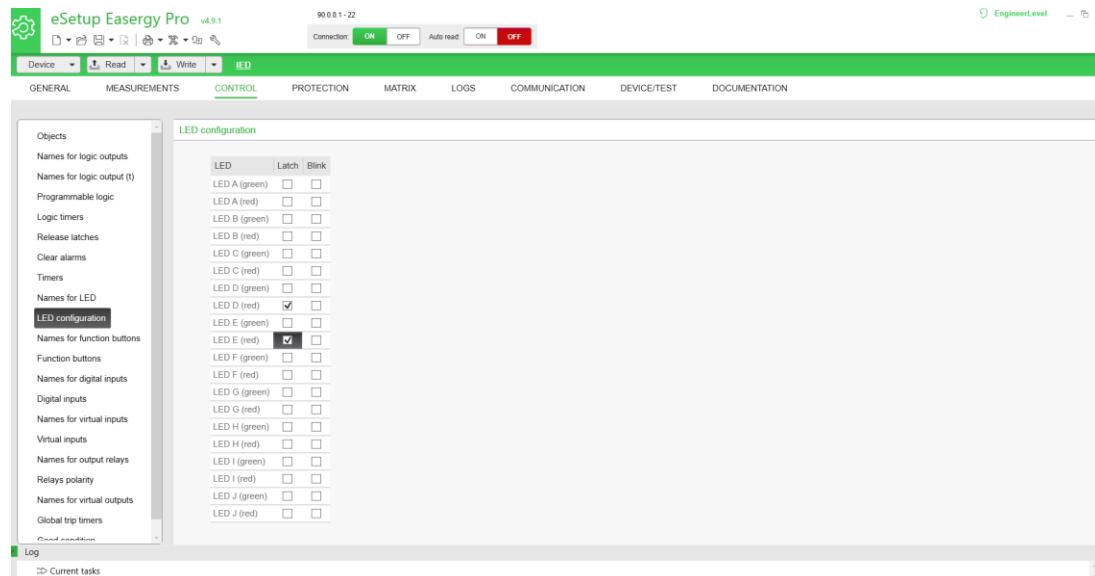


Ilustración 59. Configuración de enclavamientos de LEDS Easergy Pro

Las salidas digitales también se etiquetan conforme la ingeniería realizada en el apartado de **Names for output relays**. En la Tabla 10 se resume las asignaciones de las salidas digitales del relé.

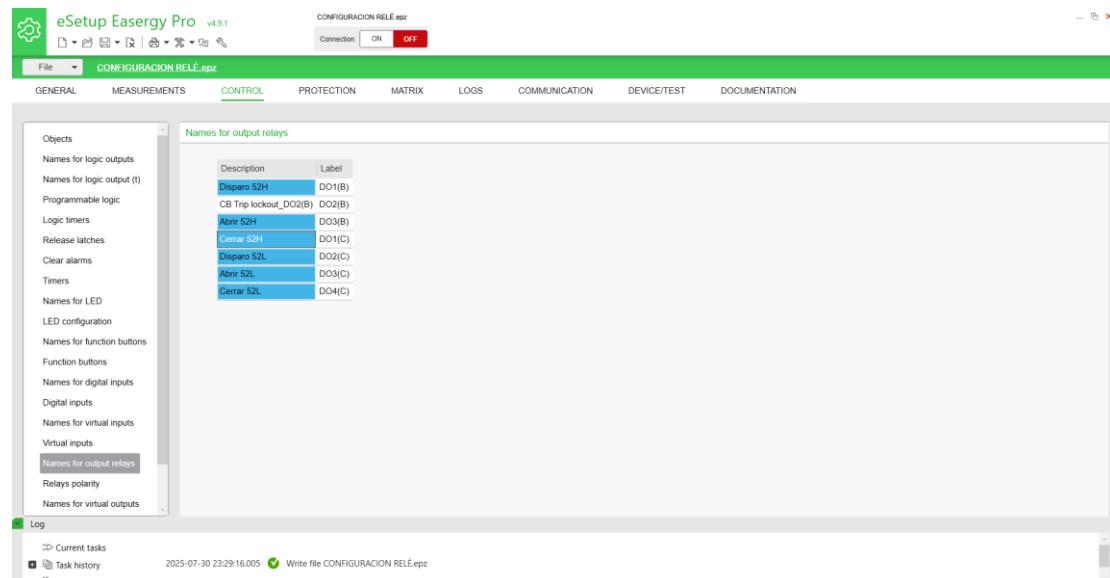


Ilustración 60. Etiquetado de las salidas digitales del relé P5T30 en Easergy Pro

Salida digital	Asignación
Salida digital 1 (LOTE B)	Salida digital de comando para el disparo de 52H
Salida digital 3 (LOTE B)	Comando de apertura 52H
Salida digital 1 (LOTE C)	Comando de cierre 52H
Salida digital 2 (LOTE C)	Salida digital de comando para el disparo de 52L
Salida digital 3 (LOTE C)	Comando de apertura 52L
Salida digital 4 (LOTE C)	Comando de cierre 52L

Tabla 10. Asignación de las señales digitales de salida del relé P5T30 según ingeniería

Para la configuración de la alarma TCS o de supervisión de circuito de disparo (ANSI 74) se realizará una lógica programable utilizando compuertas digitales.

Esta función permite identificar la disponibilidad del circuito de disparo y comando de los interruptores cuando es requerido un disparo.

Es capaz de detectar:

1. La continuidad del circuito de disparo y comando del interruptor.
2. La pérdida de alimentación del interruptor.
3. Incongruencia en los contactos que definen los estados del interruptor.

La lógica de actuación de la alarma se describe en Tabla 11 y Tabla 12 .

Estado del interruptor	Condición	Señal digital de estado abierto del interruptor	Señal digital de estado cerrado del interruptor	Alarma TCS
Cerrado	Buen estado del circuito de disparo	1	0	0
	Falla en circuito de disparo	0	0	1
		1	1	1

Tabla 11. Lógica de alarma TCS con interruptor abierto.

Estado del interruptor	Condición	Señal digital de estado abierto del interruptor	Señal digital de estado cerrado del interruptor	Alarma TCS
Abierto	Buen estado del circuito de disparo	0	1	0
	Falla en circuito de disparo	0	0	1
		1	1	1

Tabla 12. Lógica de alarma TCS con interruptor cerrado.

En el apartado de **Programmable Logic** se crea la lógica programable utilizando las señales digitales asociadas a los estados de los interruptores para establecer la señal de alarma TCS. Esto se puede realizar utilizando compuertas digitales, así como, asignando entradas y/o salidas digitales o virtuales.

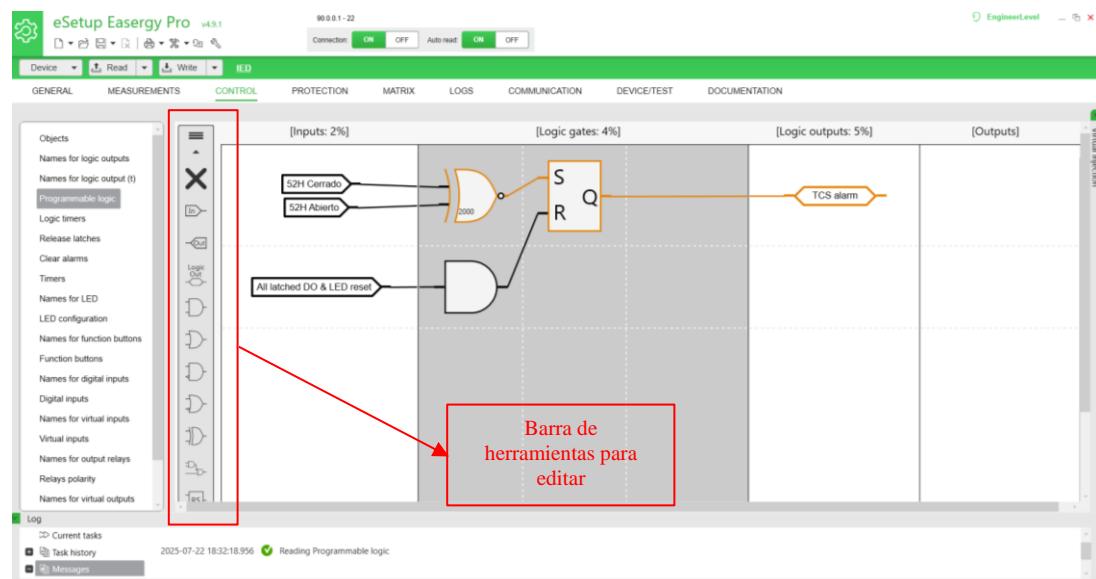


Ilustración 61. Lógica programable Easergy Pro

Se crea una compuerta XOR con los siguientes datos.

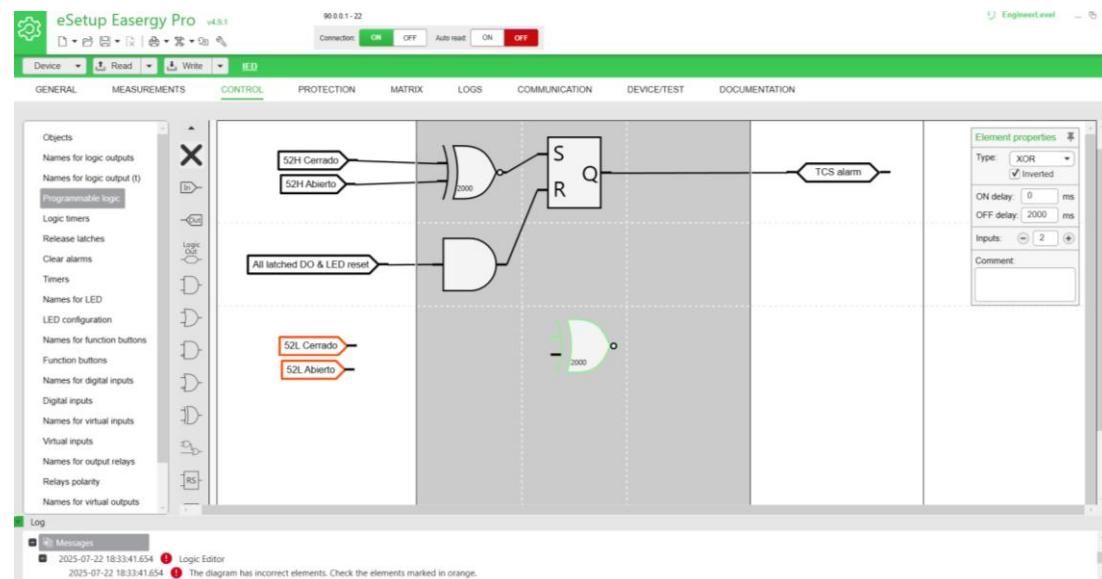


Ilustración 62. Edición de lógica para alarma TCS

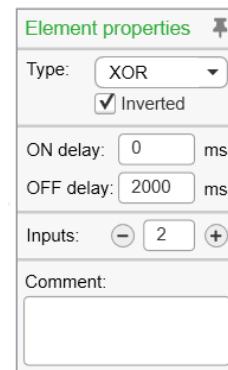


Ilustración 63. Configuración de la puerta XOR

Se crea una compuerta and y una flip flop SR para las señales de estado de 52L de la misma manera que la que estaba establecida por defecto recibiendo las señales de estado de 52H.

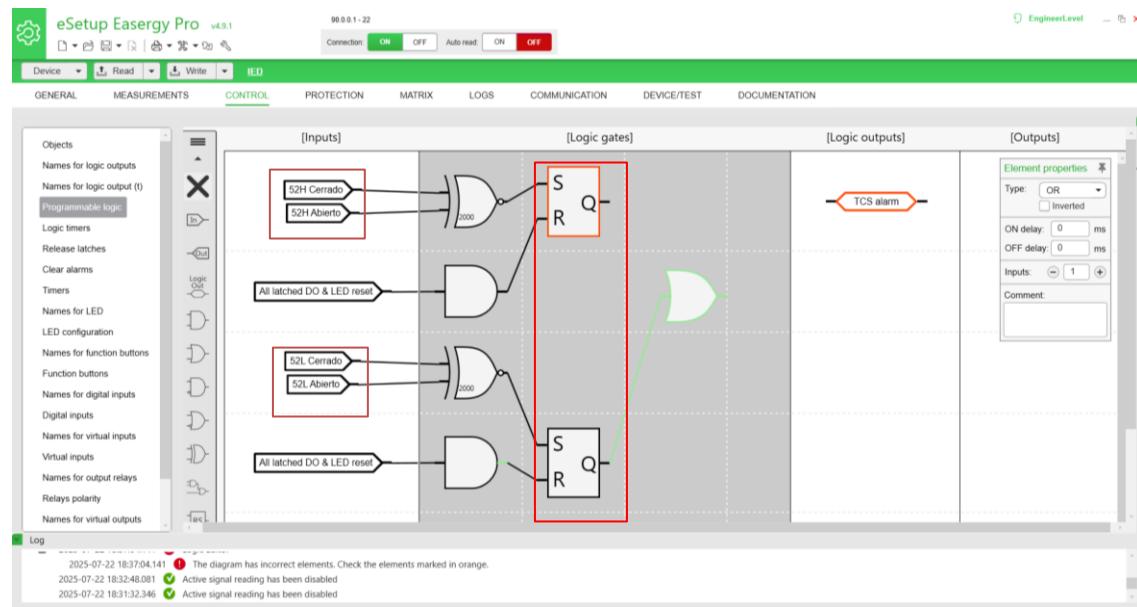


Ilustración 64. Edición de lógica para alarma TCS utilizando las señales de estado de ambos interruptores

Finalmente se utiliza una compuerta OR para establecer la señal de alarma TCS. Esta lógica permitirá identificar incongruencia de los circuitos de disparo de los interruptores 52H y 52L mediante el monitoreo de las señales de estado que ingresan al relé como entradas digitales.

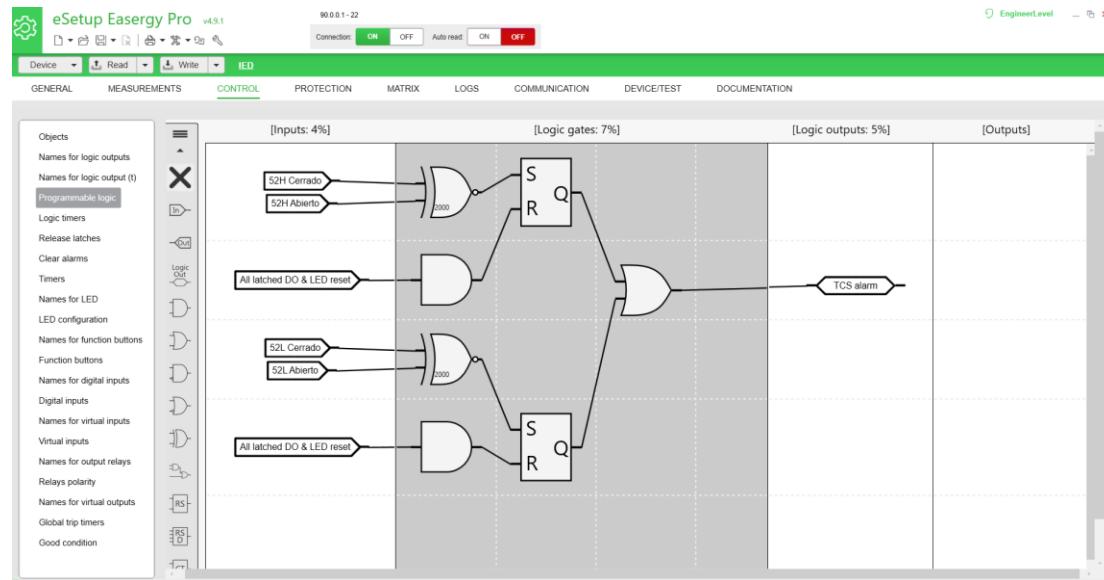


Ilustración 65. Lógica programable para la alarma TCS

### 3.4.4. Sección de protección

En esta sección se pueden definir las protecciones que se quieren implementar en el relé, configurarlas y habilitarlas.

Esta sección cuenta con los apartados establecidos en Tabla 13.

Configuración de protecciones en sección de protección
Validación de etapas de protección
Estado de etapa de protección
Estado de etapa de protección 2
Diferencial de transformador
Sobrecorriente de fase 50/51/67-1
Sobrecorriente de fase 50/51/67-2
Sobrecorriente de fase 50/51/67-3
Sobrecorriente de fase 50/51/67-4
Sobrecorriente de fase 50/51/67-5
Sobrecorriente de fase 50/51/67-6
Falla a tierra restringida 1
Falla a tierra restringida 2
Sobrecorriente de falla a tierra 50N/51N/67N-1
Sobrecorriente de falla a tierra 50N/51N/67N-2
Sobrecorriente de falla a tierra 50N/51N/67N-3
Sobrecorriente de falla a tierra 50N/51N/67N-4
Sobrecorriente de falla a tierra 50N/51N/67N-5
Sobrecorriente de falla a tierra 50N/51N/67N-6
Conductor roto 46BC-1
Conductor roto 46BC-2
Sobrecorriente secuencia negativa 46-1
Sobrecorriente secuencia negativa 46-2
Bloqueo por frecuencia 68F2-1
Bloqueo por frecuencia 68F2-2
Sobrevoltaje del neutro 59N-1
Sobrevoltaje del neutro 59N-2
Sobrevoltaje del neutro 59N-3
Sobrecarga térmica del alimentador
Fallo de interruptor 50BF

Interruptor 2 fallo 50BF
Lógica de sobrecorriente selectiva SOL
Monitoreo del interruptor
Monitoreo del transformador 1 26/63
Monitoreo del transformador 2 26/63
Supervisión de TC
Supervisión de TC 2 60
Diferencial 60
Curvas de retardo programables
Etapa programable 99-1
Etapa programable 99-2
Etapa programable 99-3
Etapa programable 99-4
Etapa programable 99-5
Etapa programable 99-6
Etapa programable 99-7
Etapa programable 99-8

Tabla 13. Apartados disponibles en sección de protección Easergy Pro

Para la configuración de la protección de sobre corriente se ingresa en el apartado **Phase overcurrent 50/51/67-1** y se configura siguiendo las descripciones en Ilustración 66 y Ilustración 67.

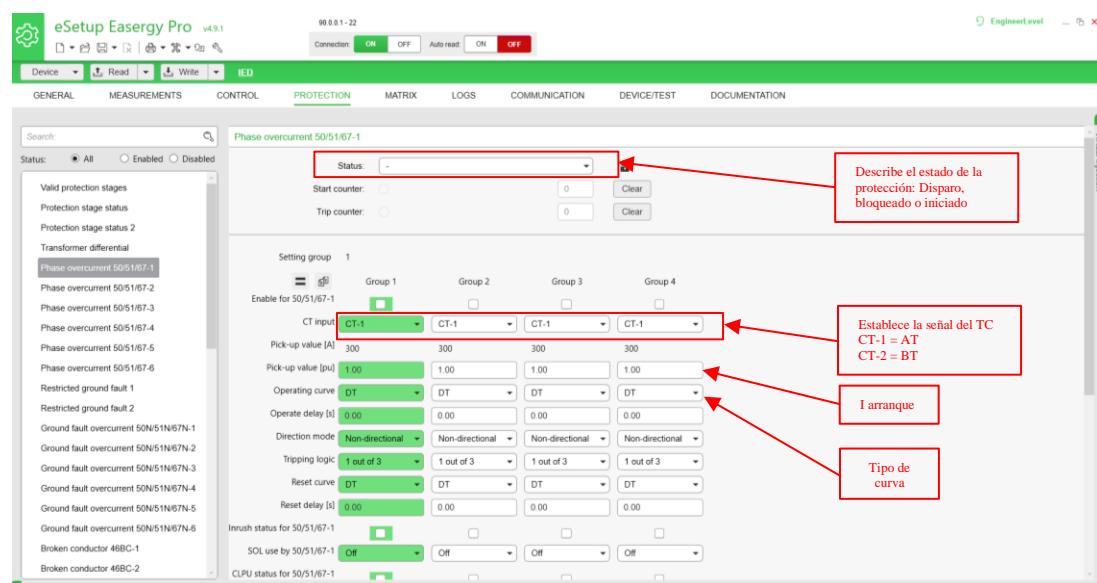


Ilustración 66. Configuración de protección de sobrecorriente de tiempo definido

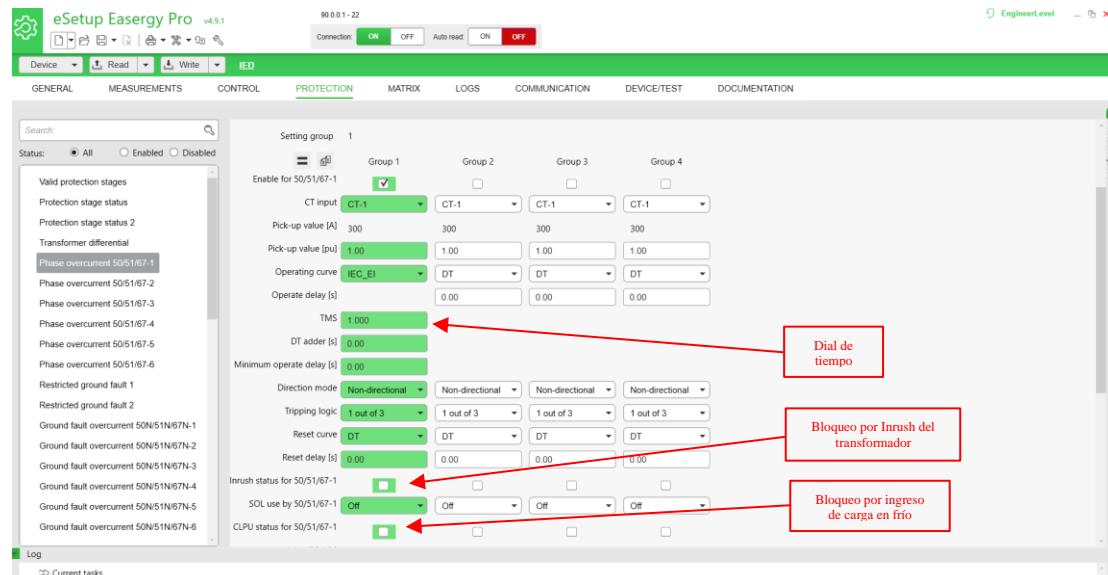


Ilustración 67. Configuración de protección de sobrecorriente de tiempo inverso

Para la configuración diferencial se selecciona el apartado de **Transformer differential** y se configura siguiendo las descripciones en Ilustración 68 e Ilustración 69.

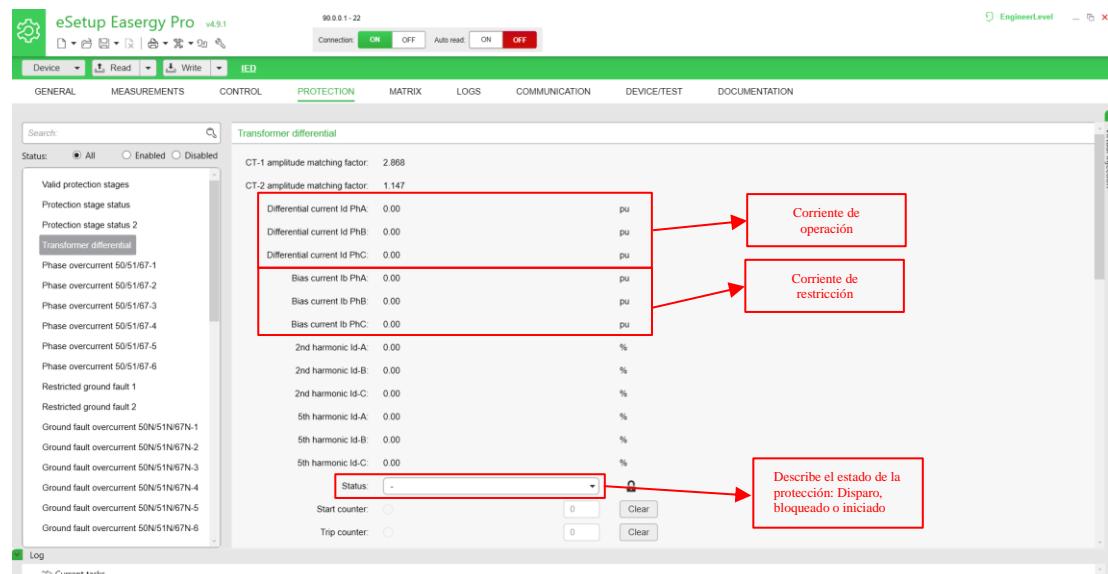


Ilustración 68. Configuración de protección diferencial (I)

Setting group 1

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Enable for D71	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Vector group	0		0	0
Zero-seq. current filtering CT-1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Zero-seq. current filtering CT-2	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Low set id [pu]	0.20	0.20	0.20	0.20
Slope 1 [%]	30	30	30	30
lb for start of slope 2 [pu]	2.00	2.00	2.00	2.00
Slope 2 [%]	70	70	70	70
High set mode	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
High set id [pu]	30.00	30.00	30.00	30.00
Recalculation mode	Dif. of phasors	Dif. of phasors	Dif. of phasors	Dif. of phasors
Operate delay [s]	0.00	0.00	0.00	0.00
Inrush blocking	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Inrush blocking rate [%]	20	20	20	20
Inrush cross block	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Max inrush id [pu]	10.00	10.00	10.00	10.00
Overflux blocking	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CTS operating mode	Indication	Indication	Indication	Indication

Selección de grupo vectorial

Corriente de arranque

Pendientes

Corriente sin restricción

Bloqueo por segundo armónico

Bloqueo por quinto armónico

Arranque de segunda pendiente

*Ilustración 69. Configuración de protección diferencial (2)*

Para la protección de fallo de interruptor se selecciona el apartado de **Breaker failure 50BF**. Se lo configura siguiendo las descripciones de Ilustración 70 e Ilustración 71.

**Breaker failure 50BF**

Enable for 50BF:

50BF status 1:

50BF status 2:

Trip counter:  0

CT input: CT-1

BI for external trip signal:

BI for external reset signal:

Enable CBF timer1:

Timer1 operate delay:  0.20 s

Enable CBF timer2:

Timer2 operate delay:  0.20 s

Noncurrent CBF reset mode: Curr only

**Define los estados en que se encuentra la protección:**  
Disparo

**Entradas digitales para señales de disparo externos o de restablecimiento externo**

*Ilustración 70. Configuración de protección de fallo de interruptor*

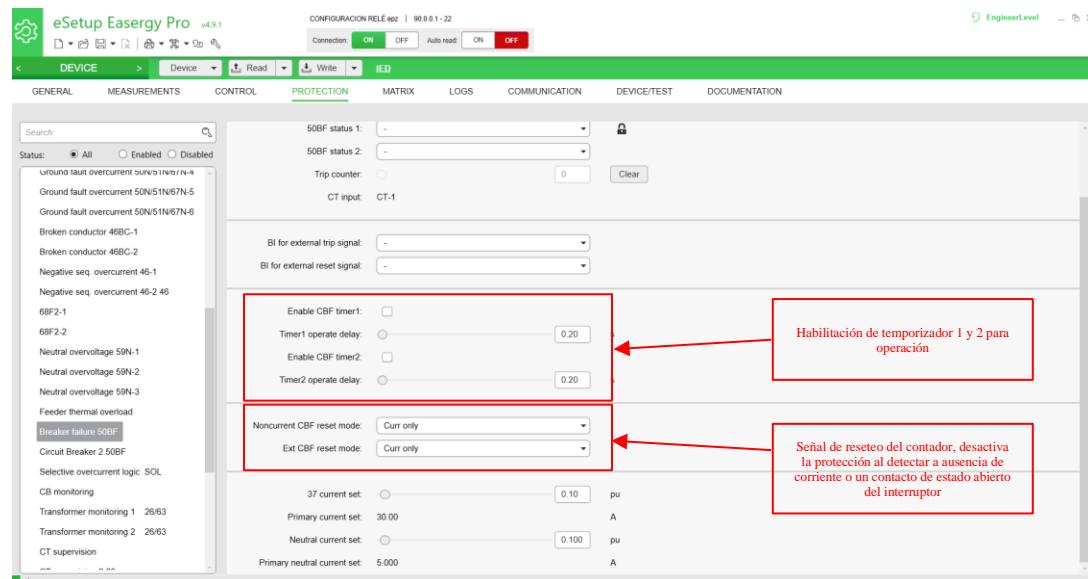


Ilustración 71. Configuración de protección de fallo de interruptor

### 3.4.5. Sección de matriz

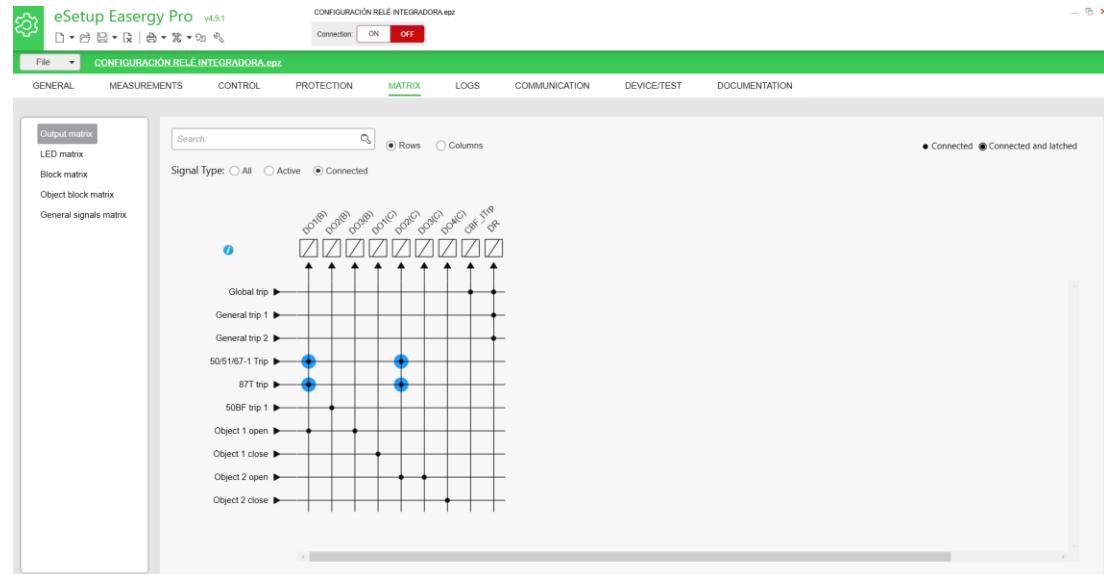


Ilustración 72. Sección de matriz Easergy Pro

En este aparato se configuran las salidas digitales, luces LEDS o bloqueos. En cada nodo se selecciona la salida asignada, esta puede ser digital o virtual. Se pueden configurar para que tengan la característica de enclavamiento como se explica en Ilustración 73. Si se presiona dos veces click derecho se activa la función con enclavamiento.

● Connected ● Connected and latched

Ilustración 73. Nodos con enclavamiento o sin enclavamiento en Easergy Pro

Se configuran las salidas de disparo, así como las de comando de interruptor conforme la ingeniería realizada. El resumen de estas salidas se describe en Tabla 14 y se muestran en Ilustración 74.

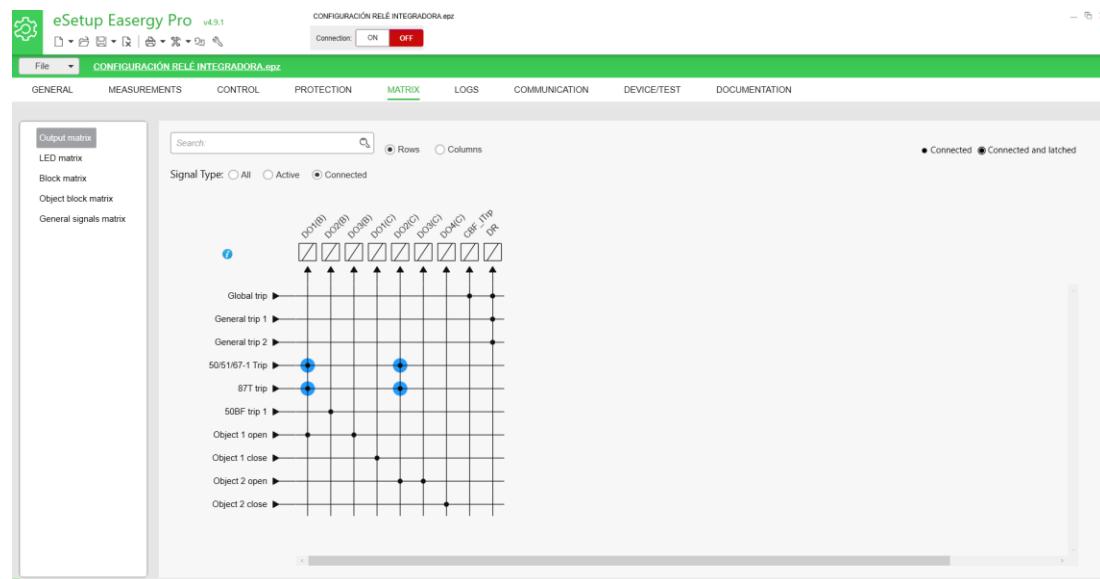


Ilustración 74. Matriz de salidas del relé P5T30 Easergy Pro

Señal	Salida
Disparo por 51	Salida digital 1 (Lote B) y Salida digital 2 (Lote C)
Disparo 87	Salida digital 1 (Lote B) y Salida digital 2 (Lote C)
Apertura de 52H	Salida digital 1 (Lote B) y Salida digital 3 (Lote B)
Cierre de 52H	Salida digital 1 (Lote C)
Apertura de 52L	Salida digital 2 (Lote C) y Salida digital 3 (Lote C)
Cierre de 52L	Salida digital 4 (Lote C)

Tabla 14. Resumen de salidas de la matriz de salidas Easergy Pro

Para la configuración de la matriz de salidas LEDS se selecciona de acuerdo con Ilustración 75.

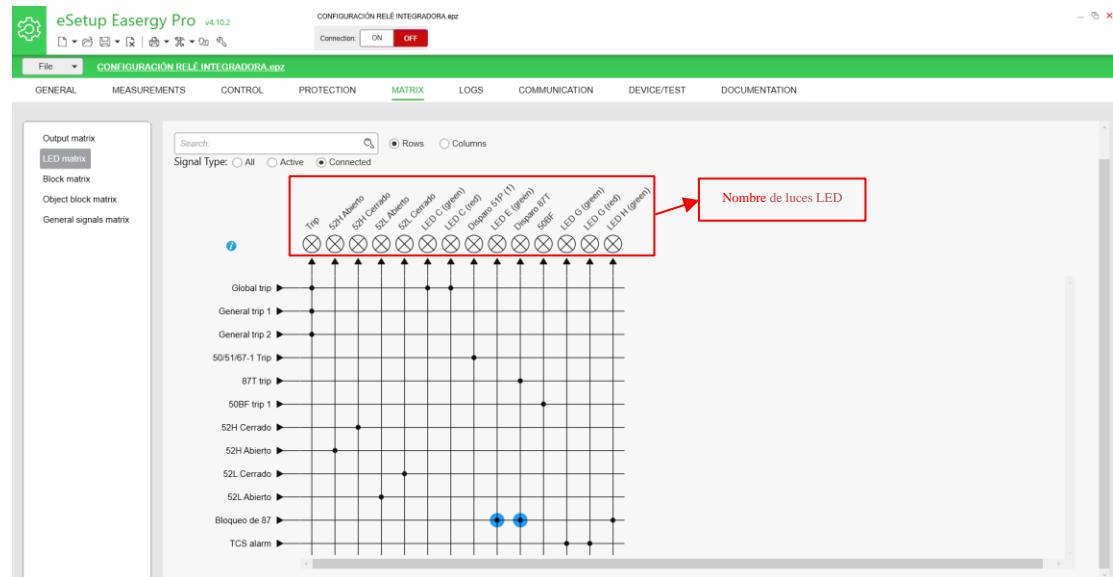


Ilustración 75. Matriz de salidas LEDS Easergy Pro

En la matriz de bloqueo se configura el bloqueo de protección diferencial como se estableció en Ilustración 57.

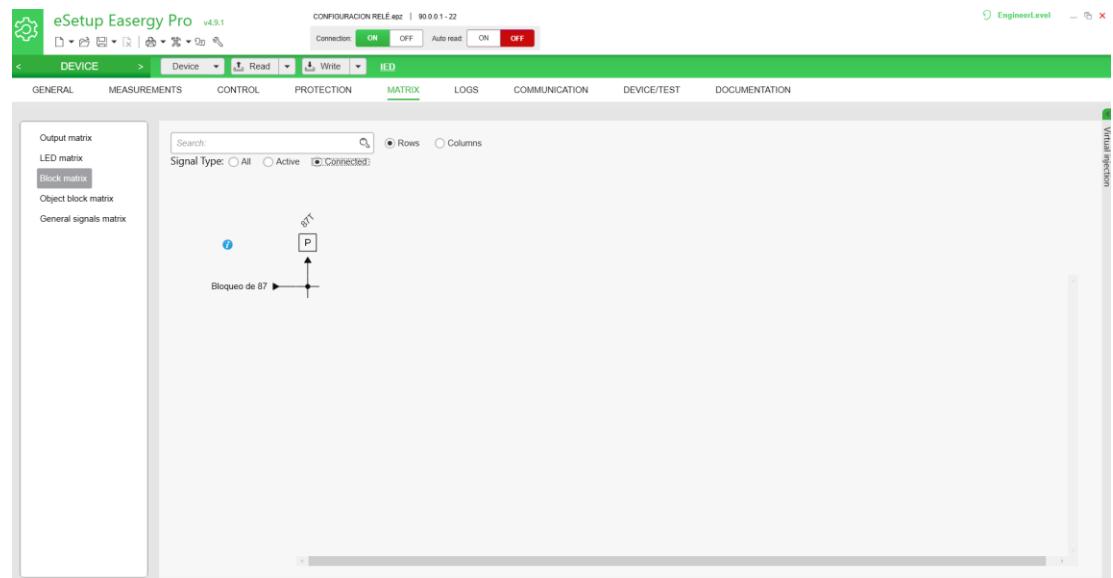


Ilustración 76. Establecimiento de bloqueo de protección diferencial

### 3.4.6. Sección de registros

Esta sección permite configurar los registros que el relé va almacenando como eventos. Estos pueden ser de salidas, entradas, actuación de funciones de protección, de monitoreo, cambio en configuraciones, etc.

En el apartado de **running hour counter** se permite el registro del tiempo de operación de una entrada digital.

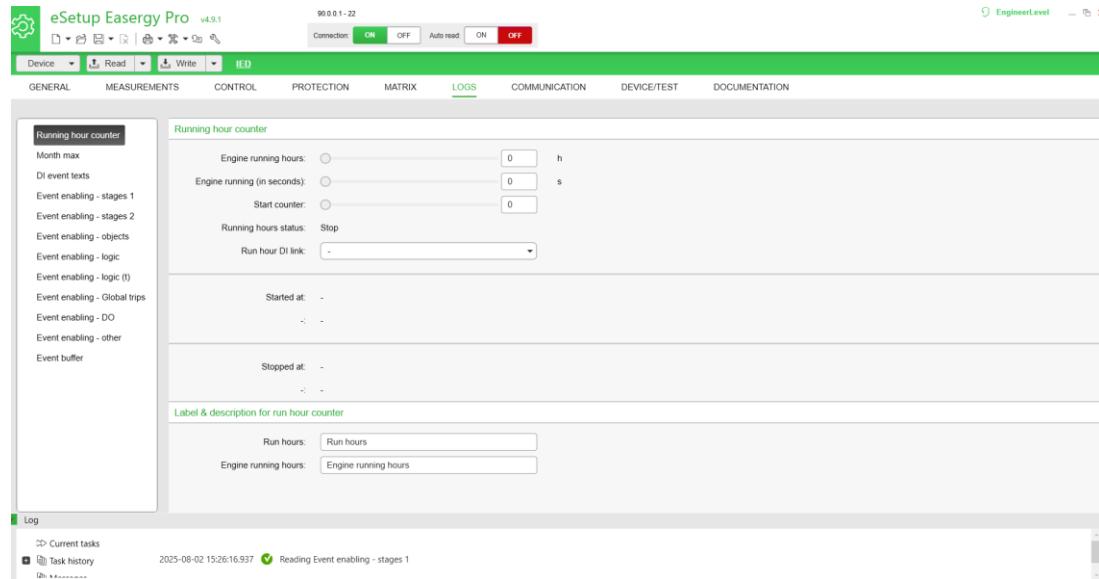


Ilustración 77. Apartado de Running hour counter Easergy Pro

En el apartado de **Month max** se puede observar los máximos registrados en los últimos 31 días y en los últimos 12 meses.

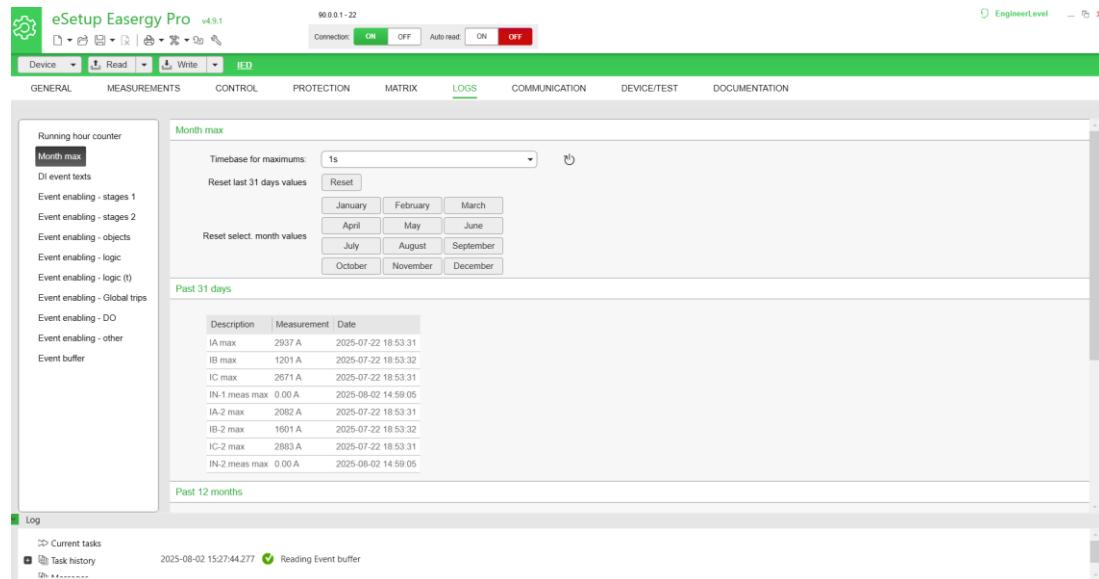


Ilustración 78. Apartado de Month max Easergy Pro

En los siguientes apartados se permite la habilitación de las funciones que se quieren registrar y guardar en el búfer de eventos. Se seleccionan los valores predeterminados del relé.

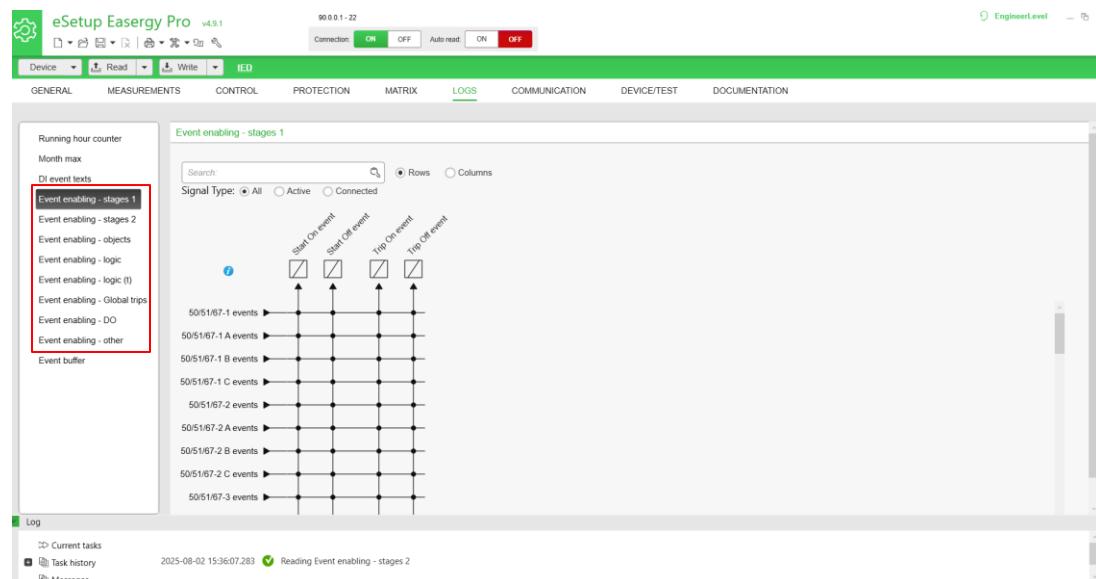


Ilustración 79. Habilitación de eventos Easergy Pro

En el apartado de búfer de eventos se pueden observar los registros habilitados con fecha, hora y en orden como se observa en Ilustración 80.

	Index	Timestamp	Event code	Description
Event buffer	[891]	2025-04-09 14:35:40.431	72E02	Object2 closed
	[892]	2025-04-09 14:35:40.431	71E43	CB2 closed
	[893]	2025-04-09 14:35:41.343	72E01	Object2 open
	[894]	2025-04-09 14:35:41.343	71E42	CB2 open
	[895]	2025-04-09 14:35:57.827	72E02	Object2 closed
	[896]	2025-04-09 14:35:57.827	71E43	CB2 closed
	[897]	2025-04-09 14:35:58.790	72E01	Object2 open
	[898]	2025-04-09 14:35:58.790	71E42	CB2 open
	[899]	2025-04-09 14:35:59.482	72E02	Object2 closed
	[900]	2025-04-09 14:35:59.482	71E43	CB2 closed
	[901]	2025-04-09 14:36:00.394	72E01	Object2 open
	[902]	2025-04-09 14:36:00.394	71E42	CB2 open
	[903]	2025-04-09 14:37:26.163	71E30	CB1 running
	[904]	2025-04-09 14:37:26.396	70E08	Setting change PC serial port
	[905]	2025-04-09 14:37:26.463	72E04	Object2 running
	[906]	2025-04-09 14:37:26.464	71E45	CB2 running
	[907]	2025-04-09 14:37:26.653	72E22	Object2 invalid position timeout
	[908]	2025-04-09 14:37:26.653	71E38	CB2 invalid position timeout
	[909]	2025-04-09 14:37:31.827	72E02	Object2 closed
	[910]	2025-04-09 14:37:31.827	71E43	CB2 closed
	[911]	2025-04-09 14:37:32.549	72E04	Object2 running
	[912]	2025-04-09 14:37:32.549	71E45	CB2 running

Ilustración 80. Apartado de búfer de eventos Easergy Pro

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

**LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA**

**Tema de Práctica:** Prueba de protección diferencial mediante inyección secundaria en  
relé P5T30

**Autor:**

Milton Daniel Tenesaca Valencia

GUAYAQUIL – ECUADOR  
I PAO 2025

## Contents

<b>LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA .....</b>	<b>1</b>
<b>1. Objetivos .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1. Objetivo general.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2. Objetivos específicos .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Equipos y herramientas.....</b>	<b>3</b>
<b>3. Guía práctica .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1. Diagrama de conexiones.....</b>	<b>4</b>
<b>3.2. Configuración Easergy Pro.....</b>	<b>6</b>
<b>3.3. Configuración maleta de pruebas para prueba de protección diferencial .....</b>	<b>10</b>
<b>3.3.1. Configuración de prueba de la curva característica diferencial.....</b>	<b>10</b>
<b>3.3.2. Configuración de prueba de restricción por segundo armónico y quinto                 armónico.....</b>	<b>21</b>
<b>3.4. Procedimiento .....</b>	<b>23</b>
<b>4. Resultados.....</b>	<b>23</b>
<b>5. Preguntas .....</b>	<b>24</b>

**Guía Práctica**

**Tema:** Prueba de protección diferencial mediante inyección secundaria en relé P5T30

**1. Objetivos****1.1. Objetivo general**

Implementar una guía didáctica orientada a la realización de pruebas eléctricas a la protección diferencial del relé P5T30 ubicado en el tablero didáctico de protecciones mediante la ejecución de inyección secundaria para la compresión de la operación del tablero y la protección diferencial.

**1.2. Objetivos específicos**

- Configurar la protección diferencial utilizando el software easergy pro para poder realizar pruebas de inyección secundaria.
- Explicar las conexiones necesarias para realizar prácticas de inyección.

**2. Equipos y herramientas**

- Tablero didáctico de protecciones.
- Relé P5T30.
- Cables USB mini.
- Computador.
- Software eSetup Easergy Pro V4.9.1.
- Manual de usuario Easergy P5.
- Ingeniería del tablero didáctico.
- Software TestUniverse.
- Maleta de pruebas.

### 3. Guía práctica

#### 3.1. Diagrama de conexiones

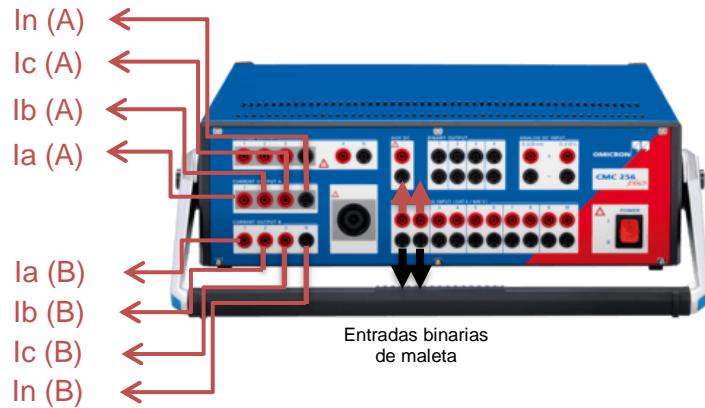


Ilustración 1. Esquema de conexión de maleta de pruebas

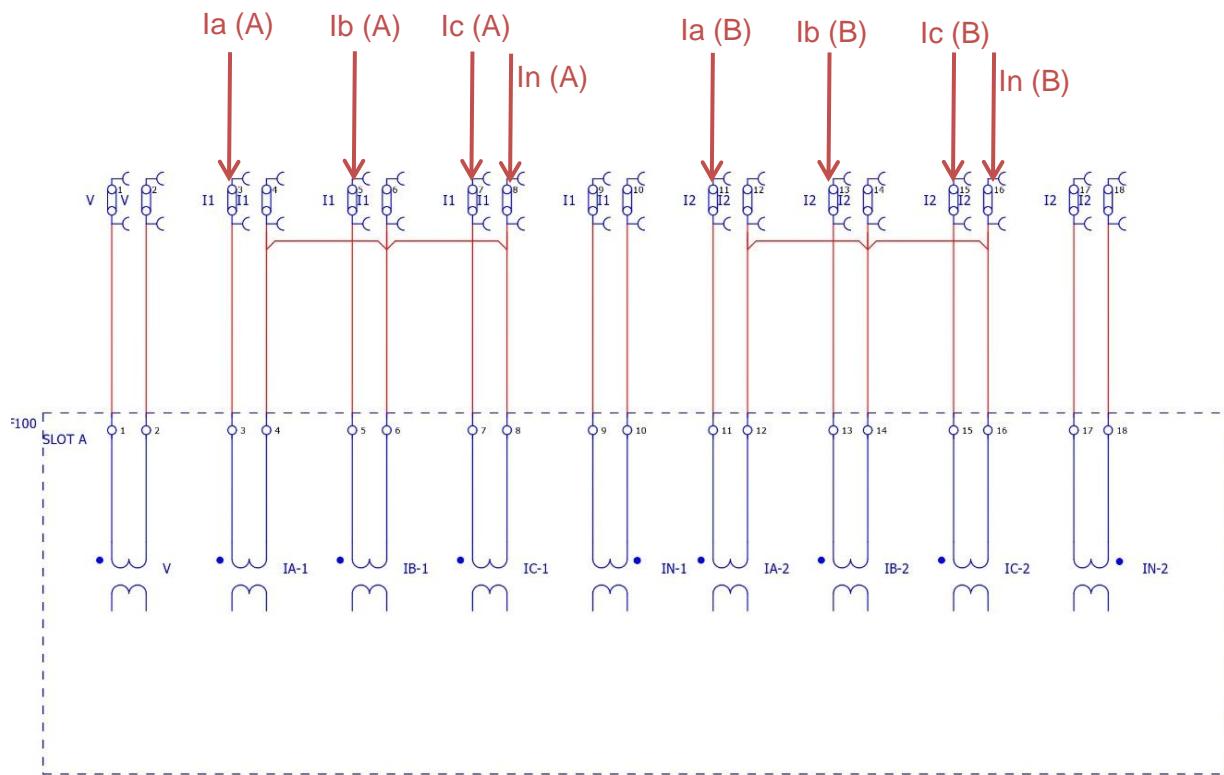


Ilustración 2. Esquema de conexión de tablero didáctico entradas analógicas

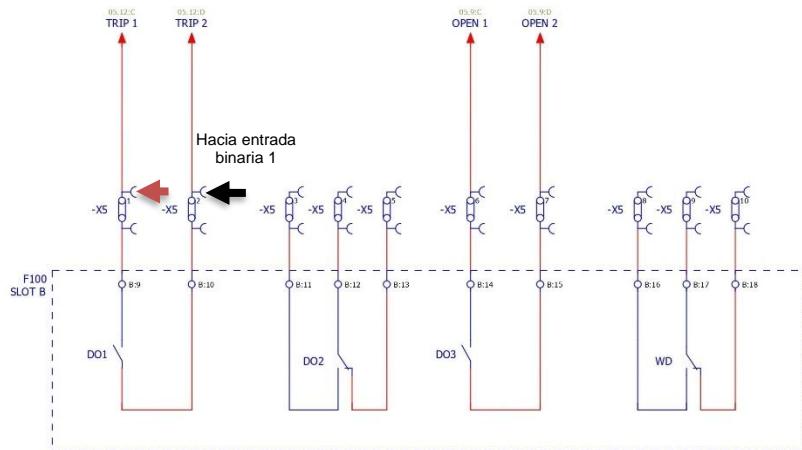


Ilustración 3. Esquema de conexión salidas binarias 1 del tablero didáctico

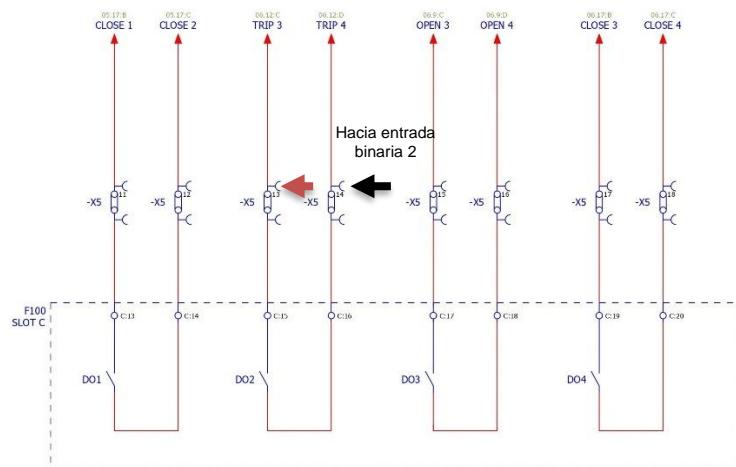


Ilustración 4. Esquema de conexión salidas binarias 2 del tablero didáctico

### 3.2. Configuración Easergy Pro



Ilustración 5. Configuración de protección diferencial de relé P5T30

Se habilita la protección diferencial marcando la casilla **Enable for 87T**.

Para seleccionar el grupo vectorial se debe elegir el número vectorial, que se encuentra entre los valores de 0 y 11. El sistema es capaz de determinar la compensación seleccionado el número del grupo vectorial y la función de filtro de corriente de secuencia cero para el lado de alta y el lado de baja del transformador.

Conexión del transformador	Desfase de transformador	Compensación vectorial seleccionando el filtro de corriente de secuencia cero	
		HV	LV
Dy vg	$\Phi = vg * (-30^\circ)$	No	No
Dyn vg		No	Sí
Yd vg		No	No
YNd vg		Sí	No

Tabla 1. Configuración general de compensación vectorial

Donde:

- Vg: Grupo vectorial (0 ... 11)
- Dy o Yd son configuraciones con el número de grupo vectorial impar
- Dd o Yy son configuraciones con el número del grupo vectorial par

Esta aplica para sistemas con secuencia positiva, al cambiar la secuencia, vg se reemplaza por vg'.

$$vg' = 12 - vg$$

Se tienen las siguientes configuraciones:

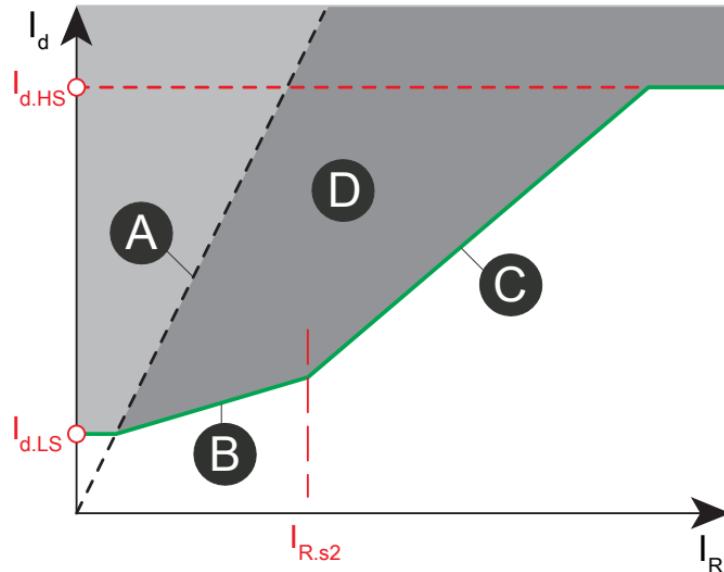
- **Low set id [pu]:** Corriente de arranque de la gráfica característica.
  - **Slope 1 [%]:** Primer pendiente de la característica en porcentaje.
  - **I<sub>b</sub> for start of slope 2 [pu]:** Corriente de restricción que establece el inicio de la segunda pendiente.
  - **Slope 2 [%]:** Segunda pendiente de la característica en porcentaje.
  - **High set mode:** Configura el límite de la característica (corriente sin restricción).
  - **Bias calculation mode:** Permite establecer el cálculo de la corriente de restricción.
- Existen dos configuraciones.

$$Diff. of phasors: I_R = \frac{|I_1 - I_2|}{2}$$

$$Sum of abs. val.: I_R = (|I_1| + |I_2|)/2$$

- **Operate delay:** Establece un retardo de tiempo en operación de diferencial.
  - **Inrush blocking:** Define la función de bloqueo por segundo armónico.
  - **Inrush blocking ratio [%]:** Define el porcentaje de bloqueo por segundo armónico.
  - **Inrush cross block:** Establece que, si 1 fase activa una función de bloqueo, esta bloqueara la función diferencial en las demás fases.
  - **Max inrush Id [pu]:** Corriente diferencia máxima de Inrush.
  - **Overflux blocking:** Define la función de bloqueo por quinto armónico.
  - **Overflux blocking ratio [%]:** Define el porcentaje de bloqueo por quinto armónico.
  - **CTS operatin mode:** Establece la protección ANSI 60 de supervisión de transformador de corriente en caso de circuitos abiertos o fallas en su operación.
- Si se encuentra en **Indication**, al detectar una falla enviará una alarma de TCS. Si se encuentra en **Blocking**, bloqueará la función 87. Si se encuentra en **Restraining**, desplazará la corriente pickup de la característica hacia arriba.

El relé P5T30 establece la característica como se muestra a continuación.



A	Característica de falla alimentada de un solo lado	B	Pendiente 1
C	Pendiente 2	D	Área de disparo

La característica puede ser graficada con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Para } I_R < \frac{I_{d,LS}}{2}; I_d > I_{d,LS}$$

$$\text{Para } \frac{I_{d,LS}}{2} \leq I_R \leq I_{R,S2}; I_d > \text{Slope 1} * \left( I_R - \frac{I_{d,LS}}{2} \right) + I_{d,LS}$$

$$\text{Para } I_R > I_{R,S2}; I_d > \text{Slope 2} * (I_R - I_{R,S2}) + \text{Slope 1} * \left( I_{R,S2} - \frac{I_{d,LS}}{2} \right) + I_{d,LS}$$

Una vez habilitada la función diferencial se establece un disparo en alta y en baja en la matriz de salidas en el software.

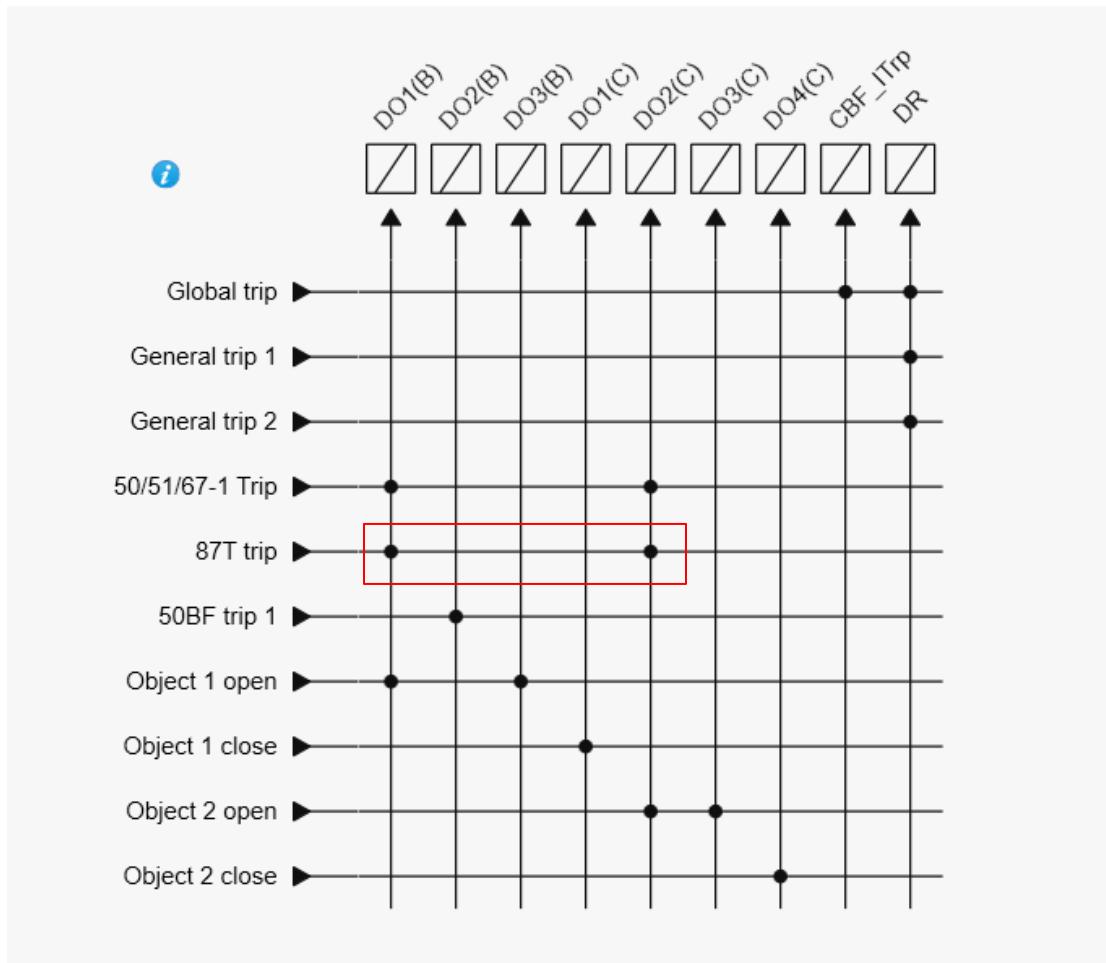


Ilustración 6. Configuración de la matriz de salida para un disparo en alta y en baja por protección diferencial

### 3.3. Configuración maleta de pruebas para prueba de protección diferencial

#### 3.3.1. Configuración de prueba de la curva característica diferencial

Se selecciona el módulo de prueba denominado operación característica de diferencial y se configura en el apartado de **Hardware configuration** el modelo del equipo de pruebas OMICRON y las salidas analógicas a utilizar.

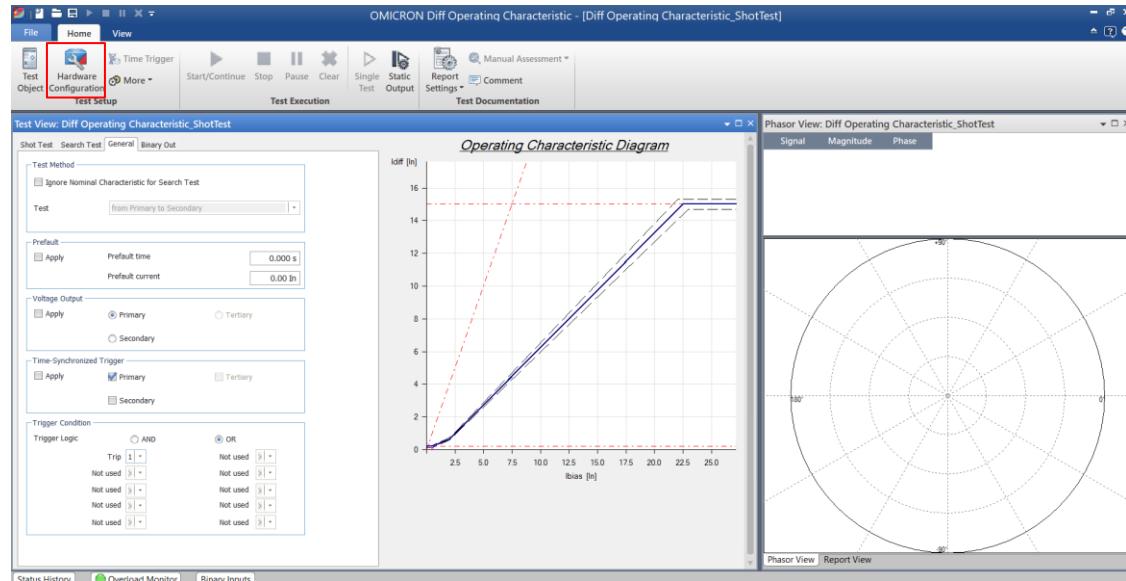


Ilustración 7. Configuración de operación característica

Seleccionamos el modelo CMC 256 plus y las salidas de corriente para utilizar los dos grupos de salidas.

**La corriente máxima a utilizar para las pruebas es de hasta 12.5 A.**

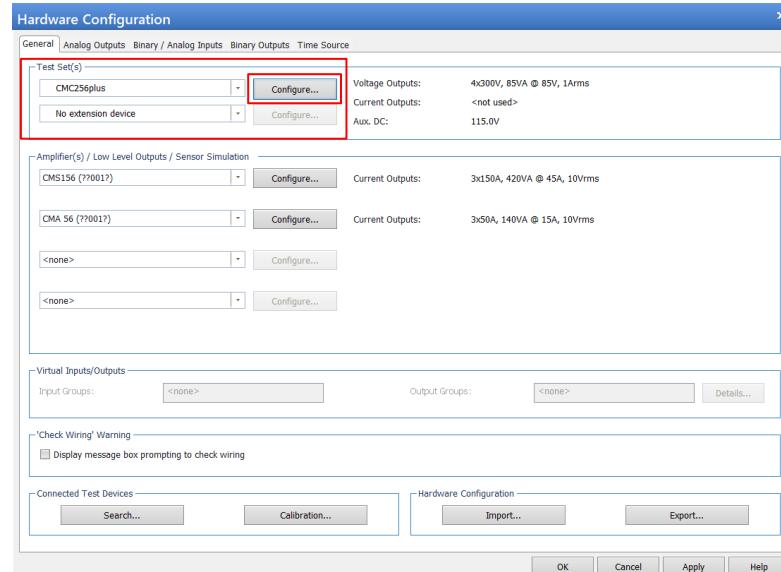


Ilustración 8. Configuración de Hardware

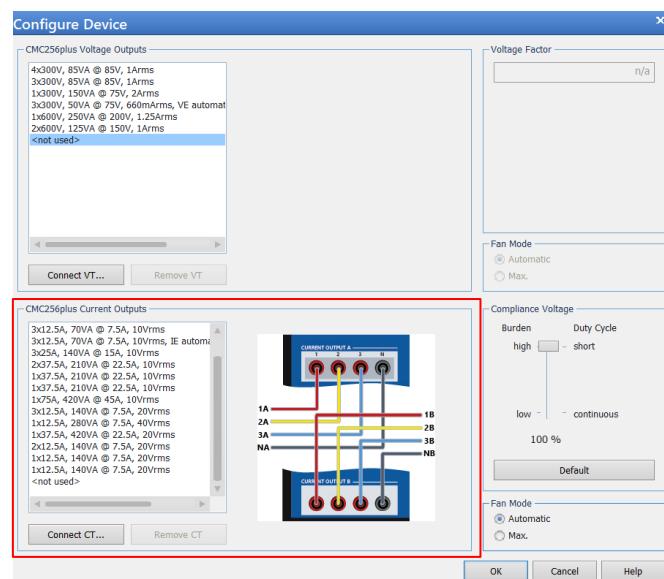


Ilustración 9. Configuración de salidas de maleta de pruebas

Se configuran las entradas binarias.

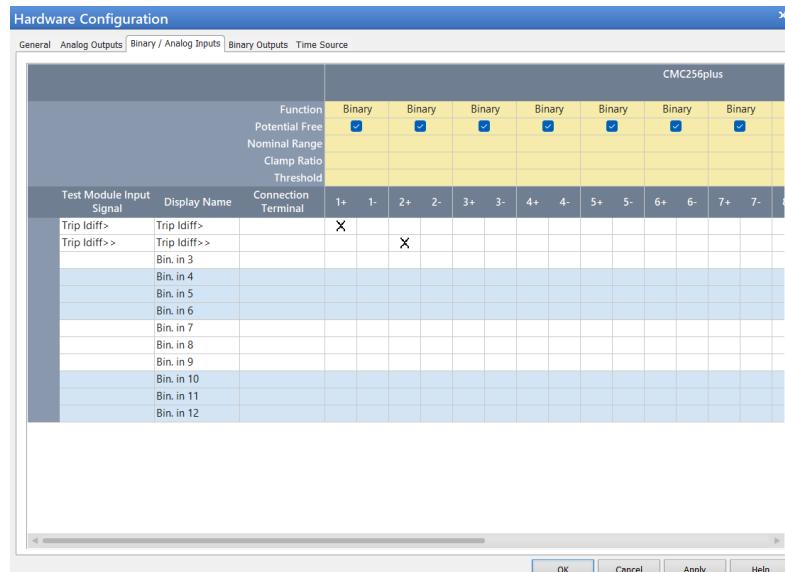


Ilustración 10. Configuración de entradas binarias de maletas de pruebas

Una vez seleccionado el módulo de prueba, seleccionar objeto de prueba.

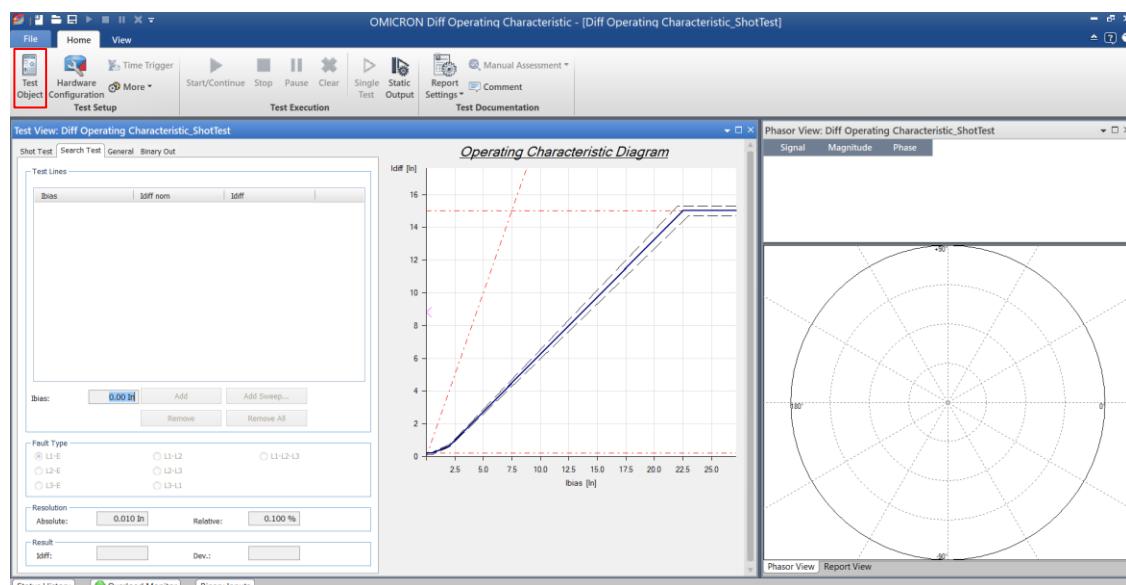


Ilustración 11. Selección de objeto de pruebas

Se da paso a la configuración de la protección diferencial y de las características del relé.

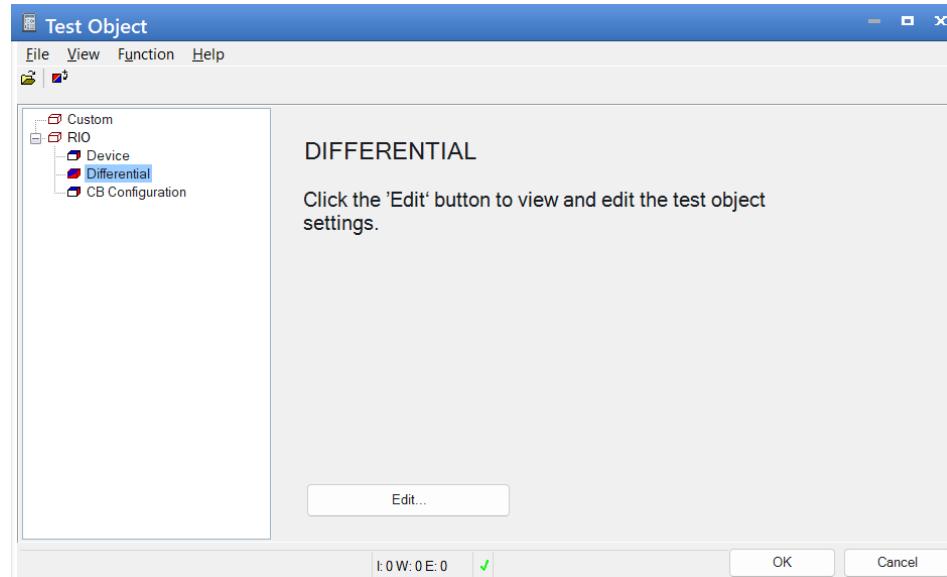


Ilustración 12. Configuración de objeto de prueba de la característica de la diferencial

Se configuran los parámetros de la característica diferencial, del objeto protegido, en este caso el relé es de protección de transformador por lo que se ingresa las configuraciones del transformador de potencia como se muestra en Ilustración 13.

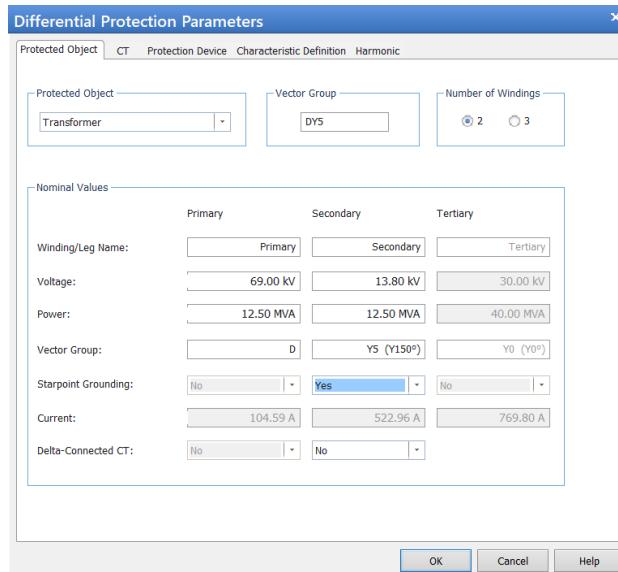


Ilustración 13. Configuración de objeto protegido basado en la configuración del relé

Se establecieron dos transformadores de corriente en el relé, para el lado de alta cumple con una relación de 300:5 y en el secundario de 600:5.

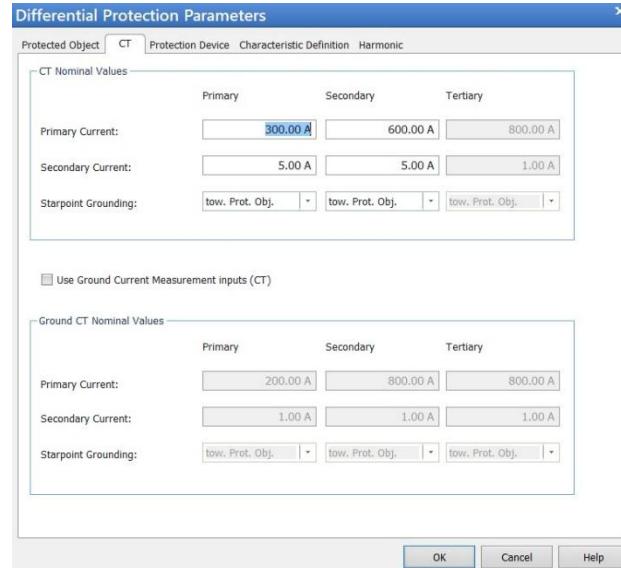


Ilustración 14. Configuración de transformadores de corriente

Se establece la ecuación que calculará la corriente de restricción denominada **Ibias**, con un factor K1 de 2. Este valor debe estar acorde con la configuración del relé de protección, dependiendo de la marca existen diferentes fórmulas.

En configuración de la corriente diferencial establecemos los límites máximos y mínimos para la prueba en la maleta OMICRON.

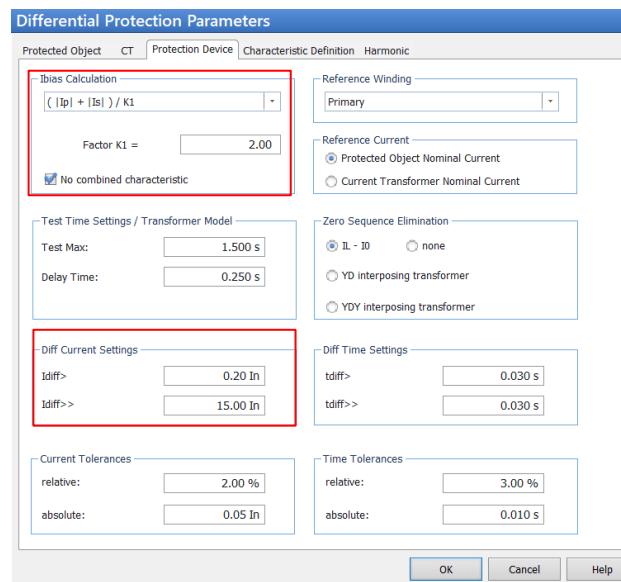


Ilustración 15. Configuración del equipo de protección

En la definición de la característica se comienza a establecer por segmento la gráfica de la protección diferencial con los siguientes parámetros:

- **Idiff>:** Corriente de arranque o corriente de pickup
- **Idiff>>:** Corriente sin restricción
- **Ibias & Idiff (Start point):** Define el punto inicial del segmento de la característica
- **Ibias & Idiff (End point):** Define el punto final del segmento de la característica

Desde Ilustración 16 hasta Ilustración 19 se definen los puntos que corresponden a la curva característica del relé.

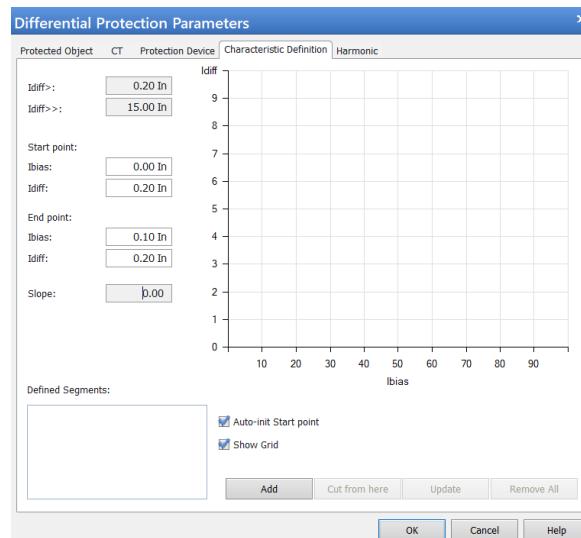


Ilustración 16. Configuración de curva característica (inicio)

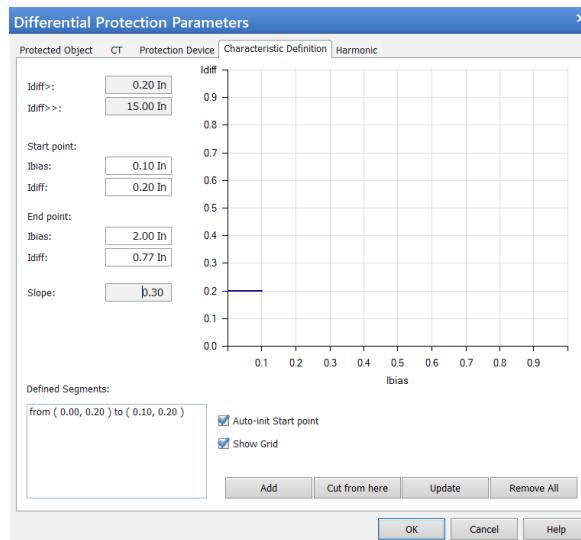


Ilustración 17. Configuración de curva característica (segmento 1)

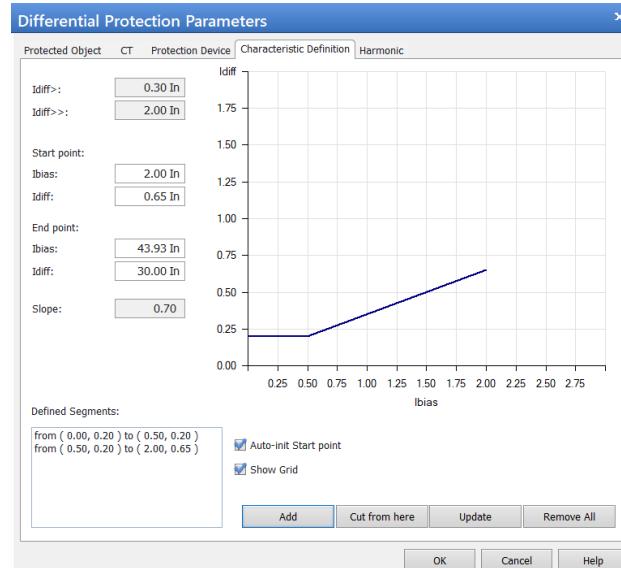


Ilustración 18. Configuración de curva característica (segmento 2)

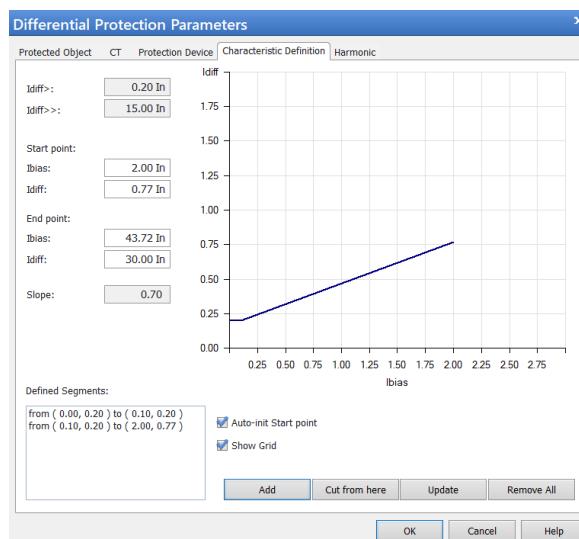


Ilustración 19. Configuración de curva característica (segmento 3)

Se selecciona equipo para configurar los datos del relé de protección.

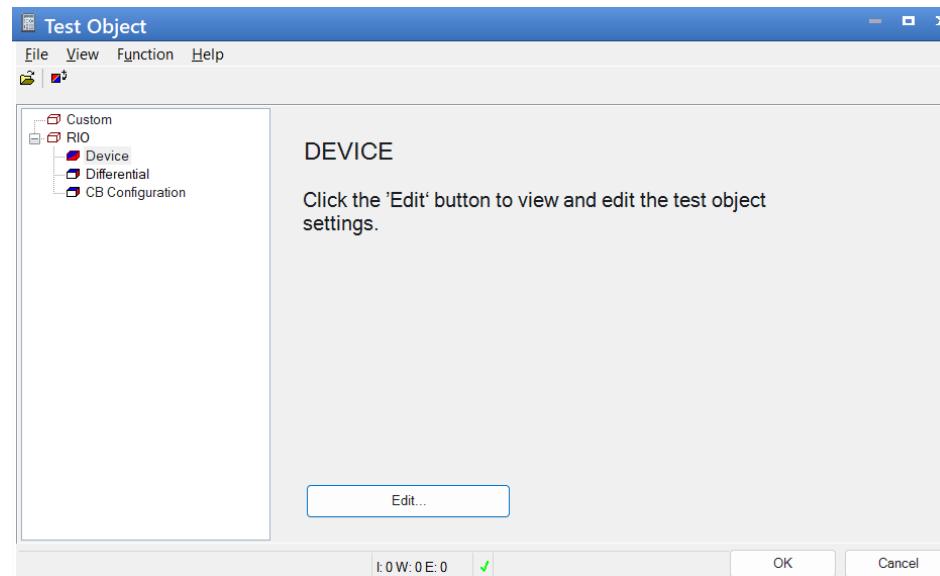


Ilustración 20. Configuración de equipo

Se ingresa la información del relé de acuerdo con la ingeniería y la marca.

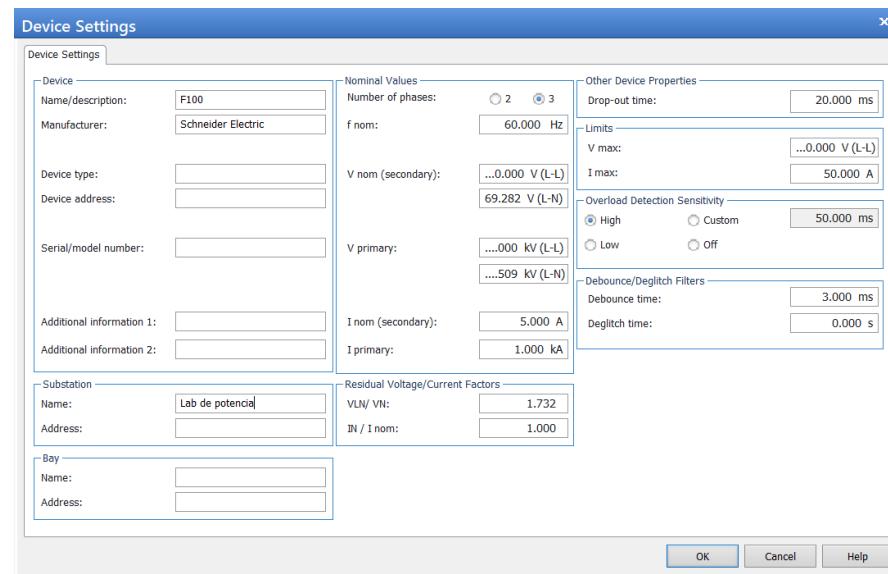


Ilustración 21. Detalles del equipo de protección

Se puede visualizar la configuración realizada en el interfaz para realizar la prueba de la función diferencial.

Se permite realizar inyecciones personalizadas en cualquier punto para validar la correcta dinámica de operación/bloqueo del relé en **Shot Test**.

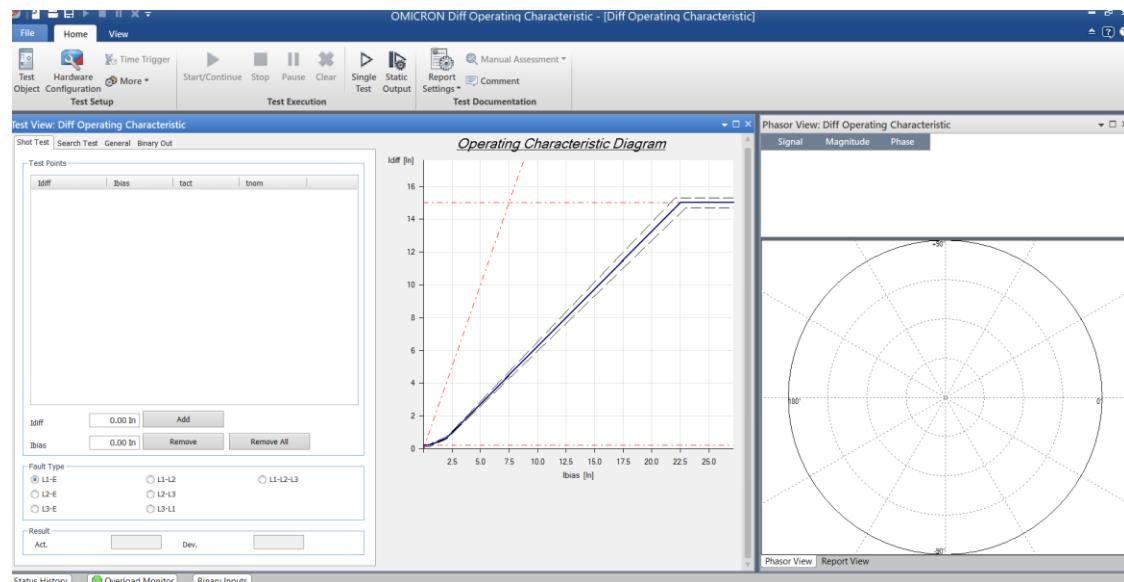


Ilustración 22. Interfaz para prueba de característica

Se configura el apartado de **Shot Test**.

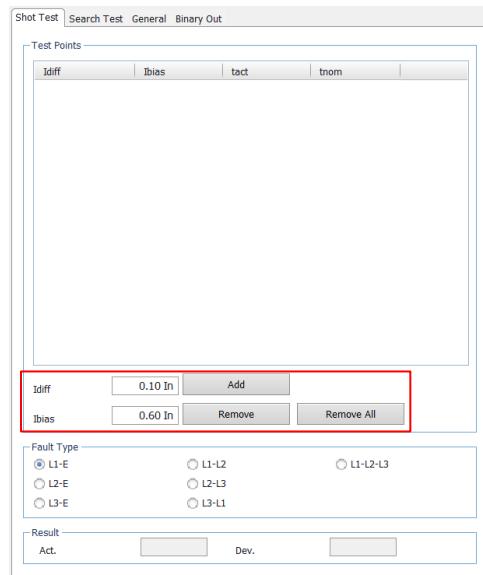


Ilustración 23. Selección de puntos de prueba para Shot test

Se ingresa los puntos de prueba para validar la operación de la protección 87.

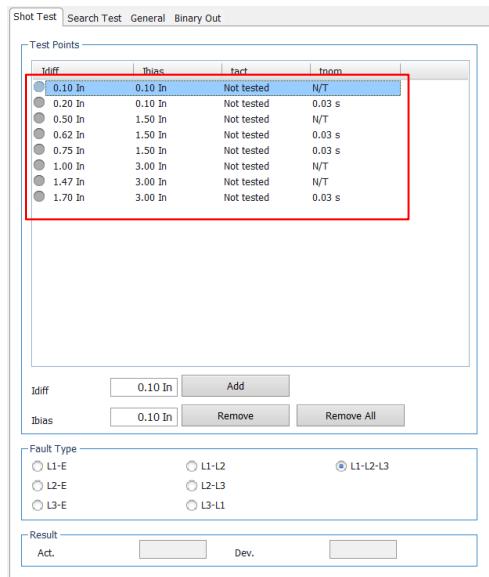


Ilustración 24. Puntos para la prueba Shot test

Se realiza la prueba en todos los puntos seleccionados para una falla en las tres fases.  
**Se debe tomar en cuenta la corriente máxima que entrega la maleta de pruebas, se establece un máximo de 12.5 A al usar las 6 salidas analógicas de corriente.**

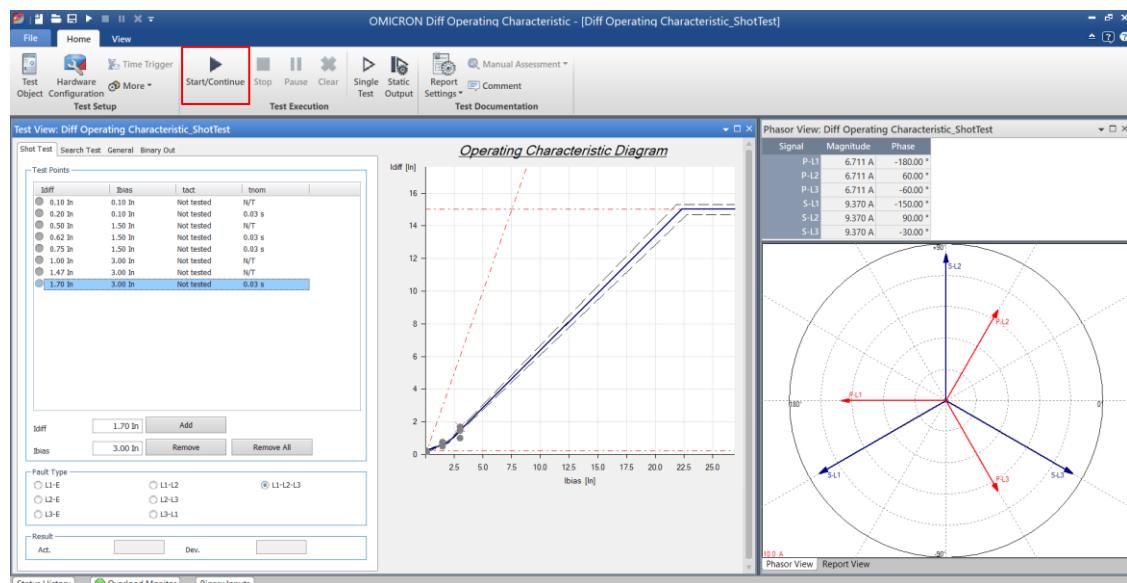


Ilustración 25. Inicio de prueba Shot test

Se configura la prueba **Search test**, en este apartado se evalúa todos los puntos de la corriente diferencial ingresando la corriente de restricción a analizar. El resultado mostrará el valor de la corriente diferencial en donde el relé opera validando la correcta operación del relé con un rango de tolerancia designado. Para esta prueba se deben eliminar los puntos configurados en **Shot test**.

**Se considera la corriente máxima que pueda entregar la maleta de pruebas.**

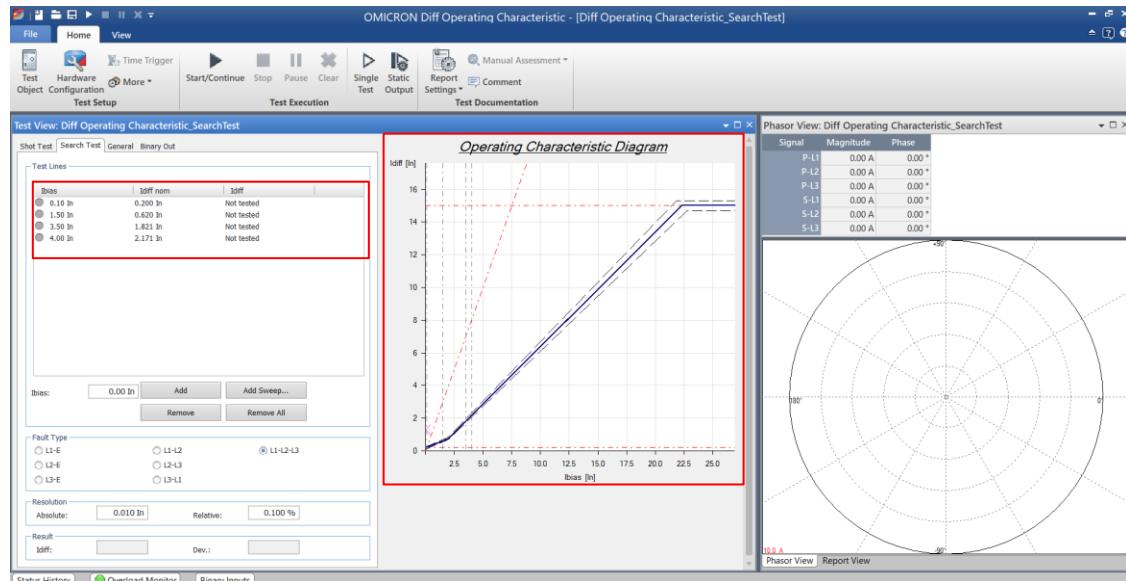


Ilustración 26. Configuración de puntos para la prueba Search test

### 3.3.2. Configuración de prueba de restricción por segundo armónico y quinto armónico

Se crea un nuevo módulo de prueba donde se ingresan los datos definidos del relé y de la protección diferencial, además se configura el apartado de restricción armónica.

Se establece la restricción por segundo y también por quinto armónico para un valor del 20% y 35% respectivamente.

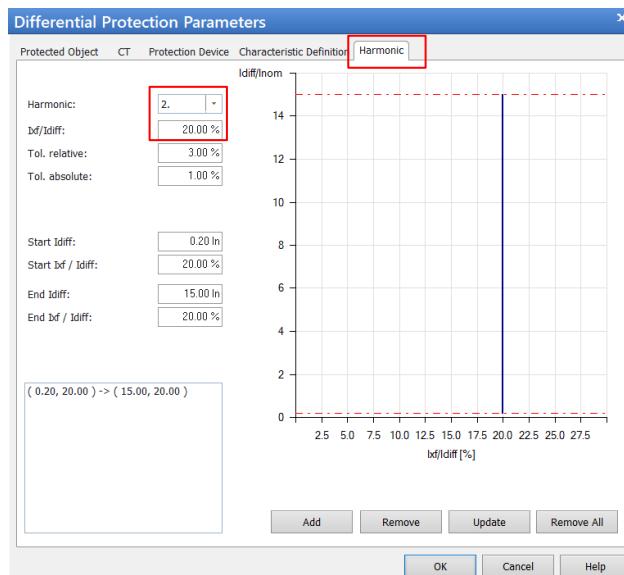


Ilustración 27. Configuración de protección diferencial para la prueba de bloqueo de segundo armónico

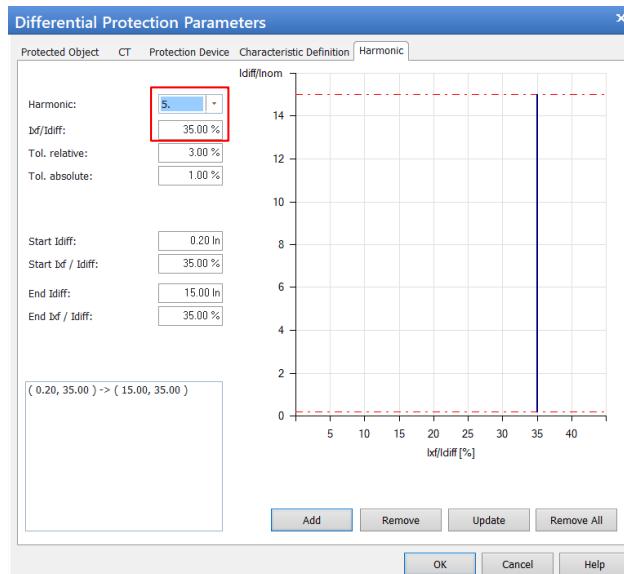


Ilustración 28. Configuración de protección diferencial para la prueba de bloqueo por quinto armónico

Se realiza la prueba en **Shot test** para evaluar el correcto funcionamiento del bloqueo por segundo armónico de la protección diferencial.

Se seleccionan 5 puntos que se ajusten a la curva de restricción de segundo armónico configurando como se muestra en Ilustración 29.

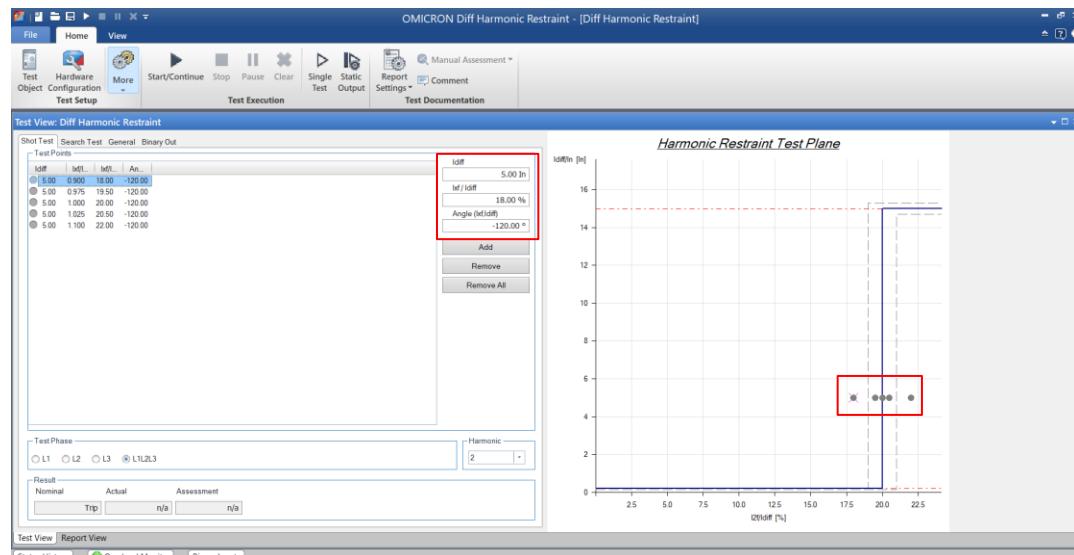


Ilustración 29. Prueba de bloqueo por segundo armónico

A continuación, se realiza la prueba en **Shot test** para evaluar el funcionamiento del bloqueo por quinto armónico.

Se seleccionan 5 puntos que se ajusten a la curva de restricción de quinto armónico configurando como se muestra en Ilustración 30.

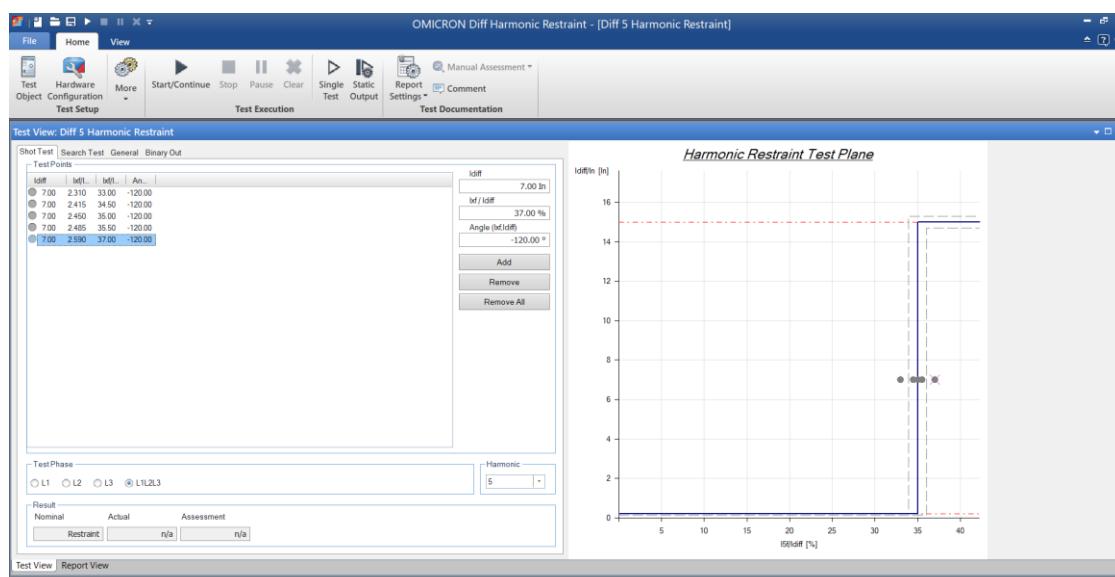


Ilustración 30. Prueba de bloqueo por quinto armónico

### 3.4. Procedimiento

#### Prueba de protección diferencial

- Preparar las conexiones eléctricas del tablero de protecciones didáctico con la maleta de pruebas a utilizar para la prueba siguiendo las instrucciones del apartado de **Diagrama de Conexiones**.
- Realizar la configuración de la protección diferencial del relé de protección para la prueba de inyección.
- Realizar configuración de la maleta para realizar las pruebas de la protección diferencial del relé P5T30.
- Verificar que el tablero didáctico y la maleta de pruebas se encuentren debidamente aterrizados.
- Realizar prueba.
- Tome los datos para el desarrollo de resultados.

## 4. Resultados

Registre y analice los resultados obtenidos.

<b>Idiff pu</b>	<b>Ibias pu</b>	<b>Estado [Trip, no Trip]</b>	<b>Tiempo [S]</b>

Tabla 2. Resultados de prueba Shot Test curva característica

Dibujar la curva característica de la protección diferencial para el cálculo del error porcentual.

<b>Idiff pu</b>	<b>Ibias pu</b>	<b>Estado [Trip, no Trip]</b>	<b>Idiffop pu</b>	<b>Pendiente op %</b>	<b>Error %</b>

Tabla 3. Resultados de prueba Search Test curva característica

<b>Idiff pu</b>	<b>I2f/Idiff [%]</b>	<b>Estado [Trip, no Trip]</b>

Tabla 4. Resultados de prueba Shot Test de segundo armónico

<b>Idiff pu</b>	<b>I5f/Idiff [%]</b>	<b>Estado [Trip, no Trip]</b>

Tabla 5. Resultados de prueba Shot Test de quinto armónico

## 5. Preguntas

Responda y explique las siguientes preguntas

1. ¿Por qué es necesario implementar la función de bloqueo por segundo armónico en la protección diferencial de transformadores de potencia?
2. ¿Cuál es la finalidad de aplicar el bloqueo por quinto armónico en la protección diferencial?
3. ¿En presencia de fallas externas al transformador, ¿debe operar la protección diferencial? ¿Por qué?

## **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación



### **LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA**

**Tema de Práctica:** Prueba de protección sobrecorriente 50/51 mediante inyección secundaria en relé P5T30

#### **Autor:**

Milton Daniel Tenesaca Valencia

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**I PAO 2025**

## Contents

<b>LABORATORIO DE SISTEMAS DE POTENCIA .....</b>	<b>1</b>
<b>Guía Práctica.....</b>	<b>3</b>
<b>1.    Objetivos .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1.    Objetivo general.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2.    Objetivos específicos .....</b>	<b>3</b>
<b>2.    Equipos y herramientas.....</b>	<b>3</b>
<b>3.    Guía práctica .....</b>	<b>4</b>
<b>3.1.    Diagrama de conexiones.....</b>	<b>4</b>
<b>3.2.    Configuración Easergy Pro.....</b>	<b>6</b>
<b>3.3.    Configuración maleta de pruebas .....</b>	<b>12</b>
<b>3.4.    Procedimiento .....</b>	<b>19</b>
<b>4.    Resultados.....</b>	<b>19</b>
<b>5.    Preguntas .....</b>	<b>19</b>

**Guía Práctica****Tema:** Prueba de protección de sobre corriente 50/51**1. Objetivos****1.1. Objetivo general**

Implementar una guía didáctica orientada a la implementación de la protección de sobrecorriente del relé P5T30 en el tablero didáctico de protecciones mediante pruebas de inyección secundaria para la obtención de las curvas características y la comprensión de la operación del sistema.

**1.2. Objetivos específicos**

- Configurar la protección sobrecorriente utilizando el software easergy pro para su correcta actuación ante pruebas de inyecciones secundarias.
- Explicar las conexiones necesarias para realizar práctica.

**2. Equipos y herramientas**

- Tablero didáctico de protecciones.
- Relé P5T30.
- Cables USB mini.
- Computador.
- Software eSetup Easergy Pro V4.9.1.
- Manual de usuario Easergy P5.
- Ingeniería del tablero didáctico.
- Maleta de pruebas.

### 3. Guía práctica

#### 3.1. Diagrama de conexiones

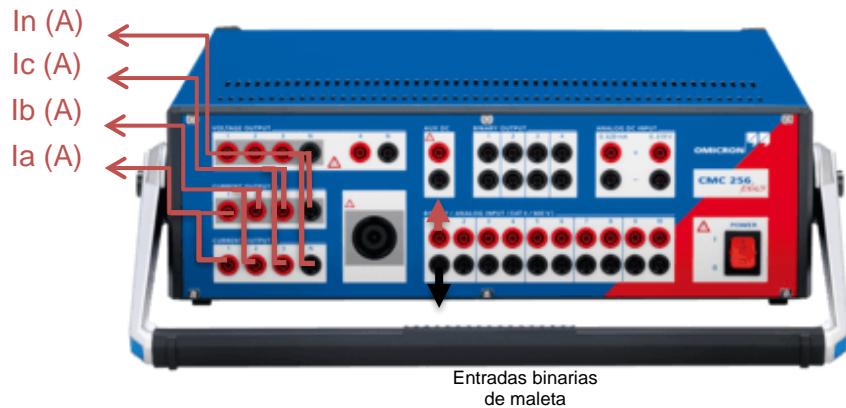


Ilustración 1. Esquema de conexión de maleta de pruebas

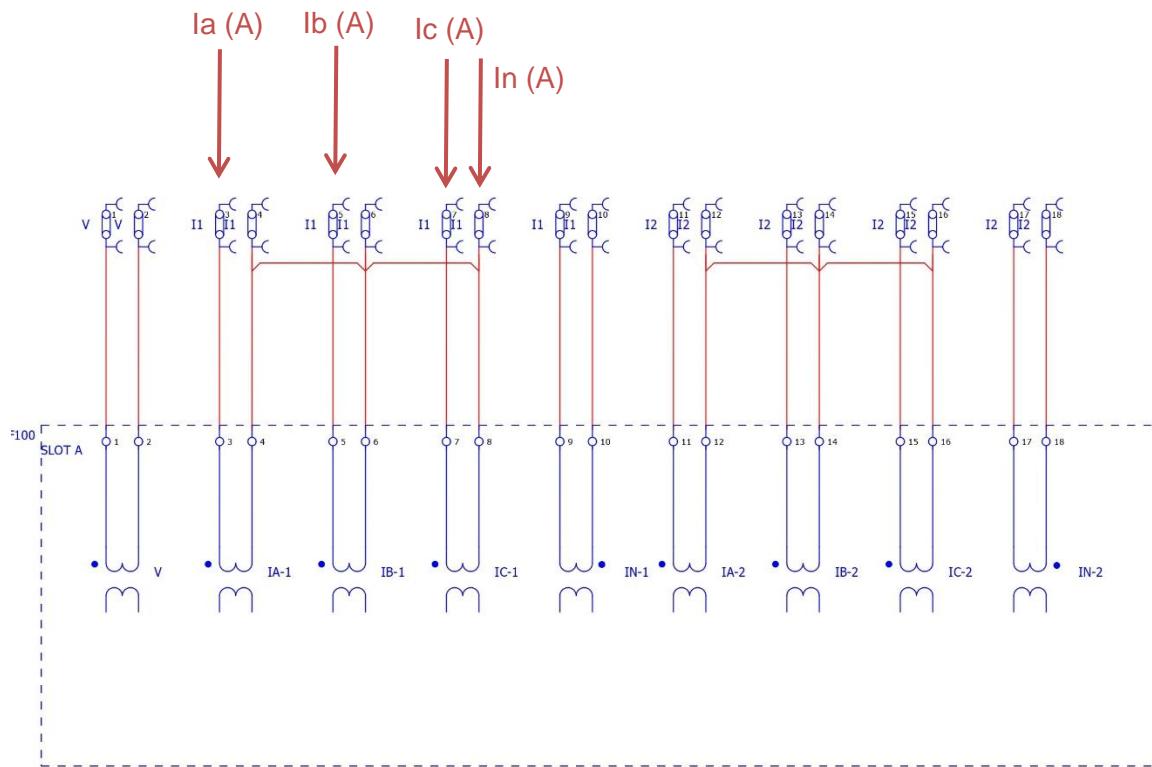


Ilustración 2. Esquema de conexión de tablero didáctico entradas analógicas

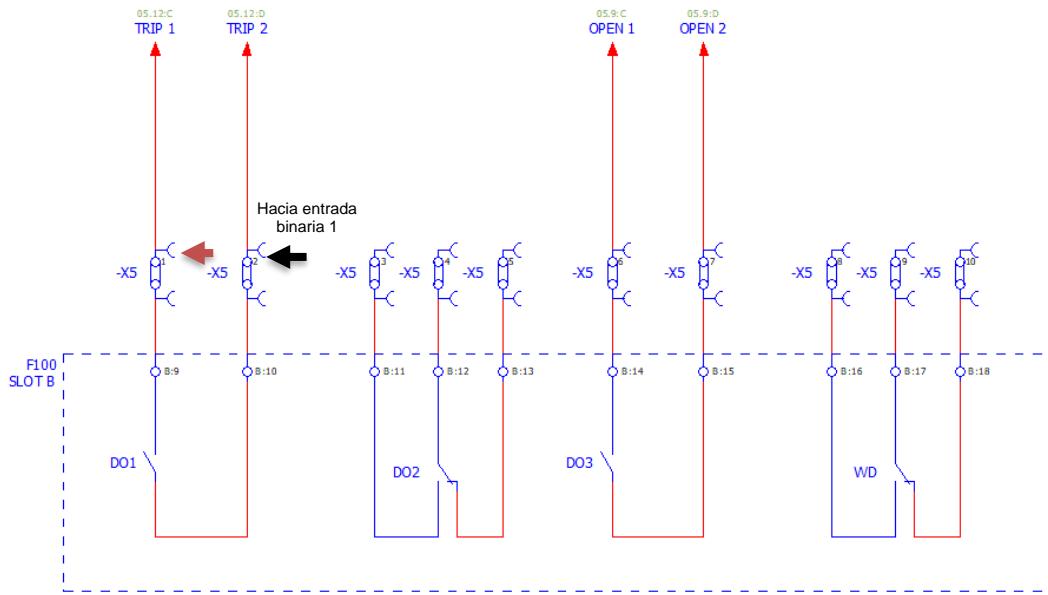


Ilustración 3. Esquema de conexión salidas binarias 1 del tablero didáctico

### 3.2. Configuración Easergy Pro

Se habilita la protección de sobrecorriente marcando la casilla **Enable for 50/51/61-1**.

	Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
<b>Enable for 50/51/61-1</b>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
CT input	CT-1	CT-1	CT-1	CT-1
Pick-up value [A]	330	330	300	300
Pick-up value [pu]	1.10	1.10	1.00	1.00
Operating curve	IEC_SI	IEC_VI	IEC_SI	DT
Operate delay [s]	0.00			
TMS	0.070	0.020	1.000	
DT adder [s]	0.00	0.00	0.00	
Minimum operate delay [s]	0.00	0.27	0.00	
Direction mode	Non-directional	Non-directional	Non-directional	Non-directional
Tripping logic	1 out of 3	1 out of 3	1 out of 3	1 out of 3
Reset curve	DT	DT	DT	DT
Reset delay [s]	0.00	0.00	0.00	0.00
Inrush status for 50/51/67-1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
SOL use by 50/51/67-1	Off	Off	Off	Off
CLPU status for 50/51/67-1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Dynamic threshold [A]	330	330		
Dynamic threshold [pu]	1.10	1.10		
Dynamic TMS	0.020	0.020		

Ilustración 4. Configuración de protección se sobre corriente de riel P5T30

Se habilita en otro segundo grupo para habilitar la protección de sobrecorriente instantánea.

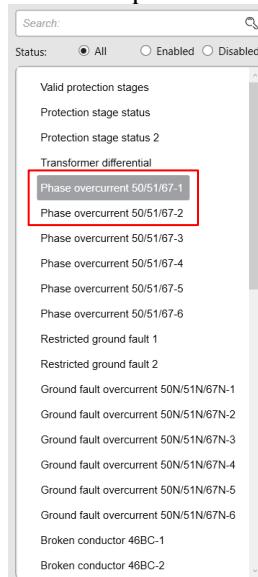


Ilustración 5. Funciones de protección

Se configura otro grupo para establecer la protección instantánea.

Ilustración 6. Configuración de protección de sobrecorriente instantánea de relé P5T30

Se habilita la protección de sobrecorriente marcando la casilla **Enable for 50/51/61-1 y Enable for 50/51/61-2**.

Debido a la ausencia de entradas de voltaje del relé, no es posible configurarle direccionalidad.

Se tienen las siguientes configuraciones:

- **CT input:** Determina de que transformador de corriente se realizará la configuración de la protección.
- **Pick-up value [A]:** El valor de la corriente de arranque en valores de amperios primarios, se establece la corriente de referencia la secundaria del transformador de corriente.

$$I_{pickupsec} = 1.1 * 5 = 5.5 \text{ A}$$

$$I_{pickupprim} = 5.5 * \frac{300}{5} = 330 \text{ A}$$

- **Operating curve:** La curva de operación que se establecerá el relé.

Se pueden seleccionar entre dos tipos de curvas:

- a) **DT (Definite time):** Curva de tiempo definido.
- b) **IDMT (Inverse definite minimum time):** Curva de tiempo mínimo definido inverso.

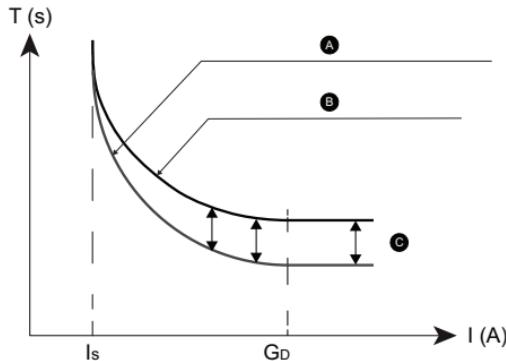
Las curvas IDMT permiten establecer una curva de tiempo inverso 51.

En la siguiente tabla se definen las curvas disponibles para configurar en el relé.

<b>Curva</b>	<b>Norma/origen</b>	<b>Descripción</b>
IEC_SI	IEC 60255	Curva estándar inversa
IEC_VI	IEC 60255	Curva muy inversa
IEC_EI	IEC 60255	Curva extremadamente inversa
IEC_LTI	IEC 60255	Curva gran tiempo inverso
IEC_UTI	IEC 60255	Curva ultra inversa
UK_Rectifier	Reino Unido	Curva para rectificadores industriales
FR_STI	Francia	Variante francesa de la estándar inversa
RI	Alemania	Curva inversa normalizada para distribución
IEEE_MI	IEEE C37.112	Curva moderadamente inversa
IEEE_VI	IEEE C37.112	Curva muy inversa
IEEE_EI	IEEE C37.112	Curva extremadamente inversa
STI_CO2	Fabricante/variante	Estándar inverso con constante 2
LTI_CO5	Fabricante/variante	Gran tiempo inverso con constante 5
MI_CO7	Variante	Moderadamente inversa con constante 7
NI_CO8	Variante	Normalmente inversa con constante 8
VI_CO9	Variante	Muy inversa con constante 9
EI_CO11	Variante	Extremadamente inversa con constante 11
BPN	Fabricante	Específica para interruptores
ANSI_NI	ANSI/IEEE	Normalmente inversa según ANSI
ANSI_STI	ANSI/IEEE	Tiempo corto inverso según ANSI
ANSI_LTI	ANSI/IEEE	Tiempo largo inverso según ANSI

Tabla 1. Curvas disponibles en el relé de protección

- **TMS:** Coeficiente de tiempo inverso o TD
- **DT adder [s]:** Permite agregar un retardo de tiempo a la operación del relé.



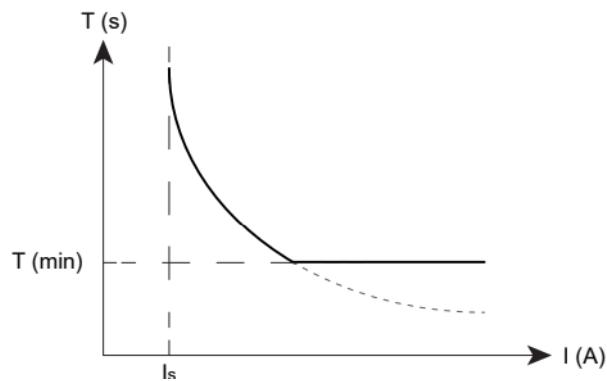
Donde:

A: Es la curva **IDMT** sin la función de **DT adder**.

B: Es la curva **IDMT** con la función de **DT adder**.

C: Es el **DT adder**.

- **Minimum operate delay [s]:** Establece un tiempo mínimo de operación del relé de protección.



Se lo configura en segundos.

- **Direction mode:** Permite establecer funciones de direccionalidad, sin embargo, no se cuenta con esta función.
- **Tripping logic:** Al seleccionar **1 out of 3**, cuando en una fase arranca la protección, activa el disparo, mientras que en **2 out of 3** se necesita que el arranque de la protección se genere en al menos 2 de las tres fases discriminando el arranque en una sola fase para que se activen los disparos (Discrimina arranque en 1 sola fase).
- **Reset curve:** Luego de que la corriente caiga por debajo de los valores de la corriente de arranque, se establece un tiempo en que el contador de la protección se mantenga hasta resetearse, este tiempo puede ser inmediato, de tiempo definido o con una curva de tiempo inverso.
- **Reset delay [s]:** Tiempo de reset del contador.
- **Inrush status for 50/51/67:** Se activa para el bloqueo de la protección de sobrecorriente ante condiciones de Inrush en el transformador. Esta configuración se lo realiza en otra sección de protección denominada **68F2**.

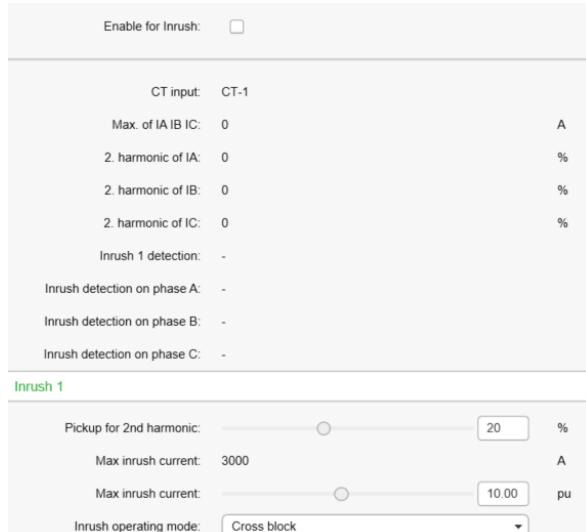


Ilustración 7. Configuración de bloqueo por segundo armónico ANSI 68

Aquí se configura el arranque del bloqueo por Inrush determinando la cantidad de segundo armónico en el primario del transformador.

Cuando cruza la corriente de arranque por segundo armónico, hay un retardo de tiempo de 20 ms hasta que se active el bloqueo de la protección y evitar disparos por condiciones de Inrush. Por otro lado, cuando el contenido armónico disminuye por debajo del arranque, se produce un retardo de 30 ms previo al desbloqueo de las protecciones.

**Max Inrush current** establece la corriente Inrush máxima en primarios del transformador de corriente para el lado de alta, este valor se selecciona de acuerdo al valor de la impedancia del transformador, para establecer un umbral que determina una condición de cortocircuito en vez de Inrush.

El valor del contenido del segundo armónico varía entre un 15% y un 30% por lo que se elige el valor de 20%.

- **SOL:** Función de lógica de sobrecorriente que permite la discriminación entre protecciones basada en la lógica de arranque de fases y no únicamente en la temporización.
- **CLPU:** Arranque de carga en frío, esta función permite desensibilizar las protecciones como la de sobrecorriente ante cargas en la que su condición de arranque consume más que en su condición de operación normal, por ejemplo, motores con una corriente de arranque de hasta 7 veces su corriente nominal o resistencias calefactoras con control termostático en donde consumen un valor de corriente alto hasta llegar a la temperatura de operación.

Se configura un arranque denominado **Dynamic threshold [A]**, aquí se define la corriente de arranque en que el CLPU se va a activar siempre y cuando cumpla con las siguientes condiciones:

A: La corriente se encuentre previamente en un valor por debajo a una corriente de reposo o muy pequeña.

B: La corriente en menos de 80 ms de manera súbita alcance el valor de arranque.

Al darse estas condiciones la función de **CLPU** se activa por tiempo dinámico o definido de acuerdo con el tipo de curva configurada en la protección.

Se definen las salidas para un disparo en el lado de alta tensión.

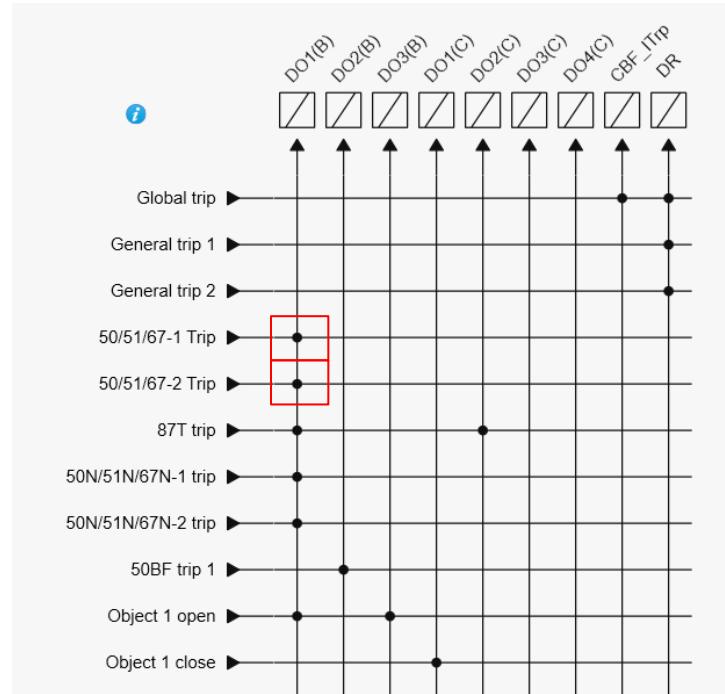


Ilustración 8. Salidas binarias configuradas para la función de protección en la matriz de salida

### 3.3. Configuración maleta de pruebas

Se selecciona el módulo de prueba denominado sobrecorriente y se selecciona **Hardware configuration** para seleccionar el modelo del equipo de pruebas OMICRON y las salidas analógicas a utilizar.

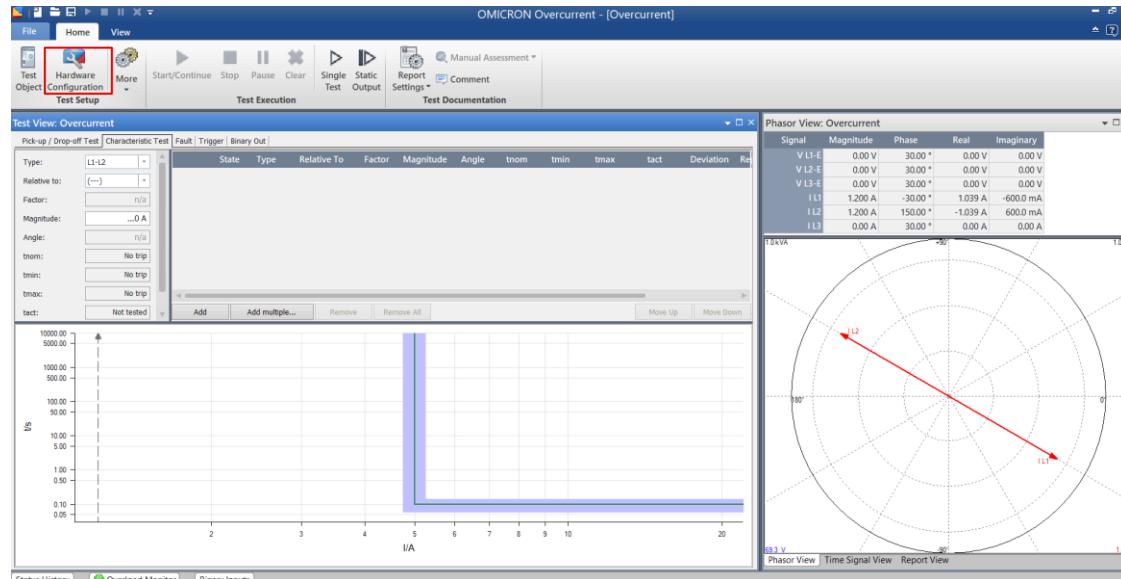


Ilustración 9. Configuración de sobrecorriente

Seleccionamos el modelo CMC 256 plus y las salidas de corriente para utilizar 2 grupo de salidas.

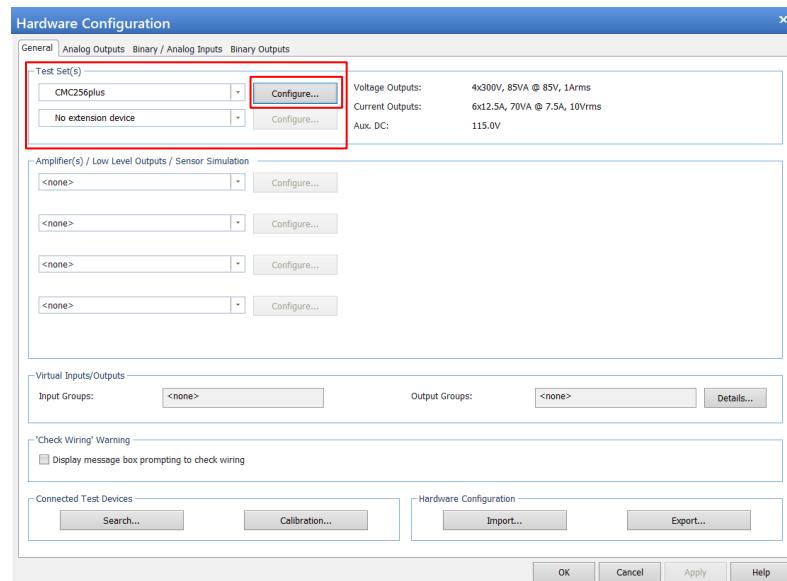


Ilustración 10. Configuración de hardware

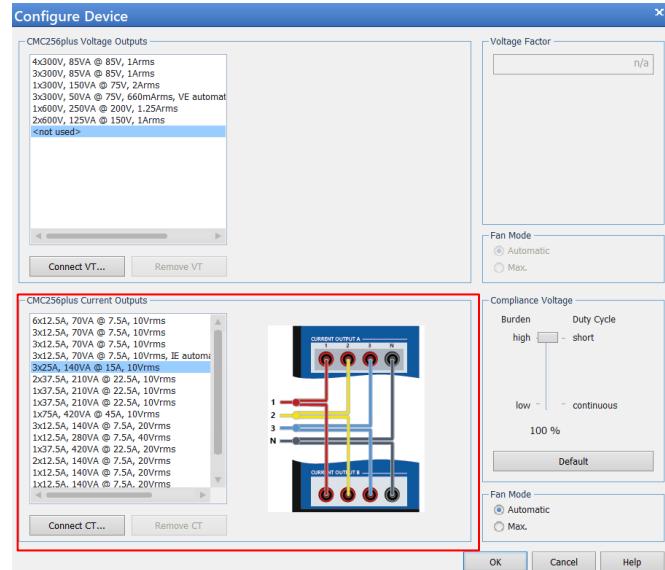


Ilustración 11. Configuración de salida de maleta de pruebas

Configuramos las salidas analógicas correspondientes al grupo A y B que contiene la maleta.

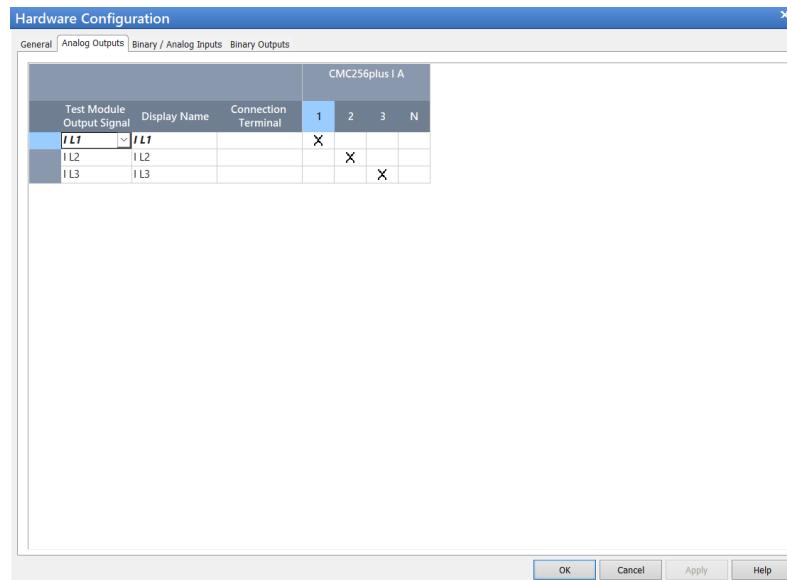


Ilustración 12. Configuración de las salidas analógicas de la maleta

Configuramos las entradas binarias de la maleta.

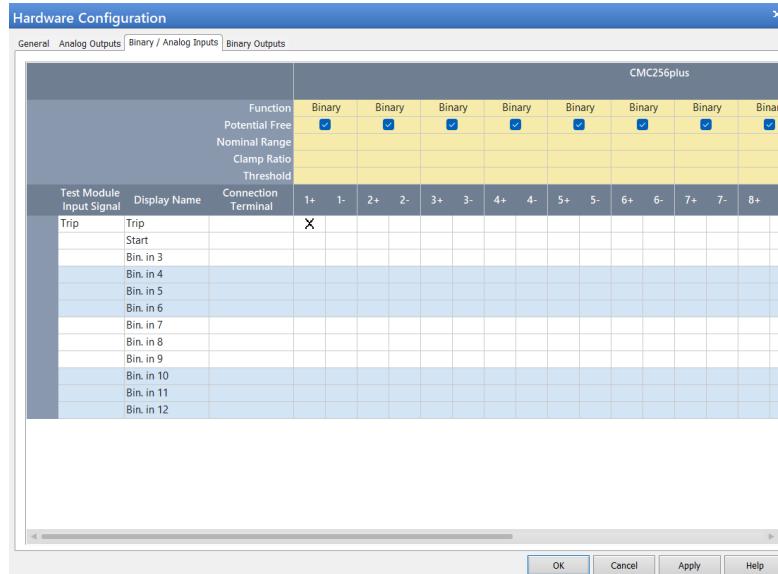


Ilustración 13. Configuración de las entradas binarias de la maleta

Una vez realizadas estas configuraciones se selecciona objeto de prueba.

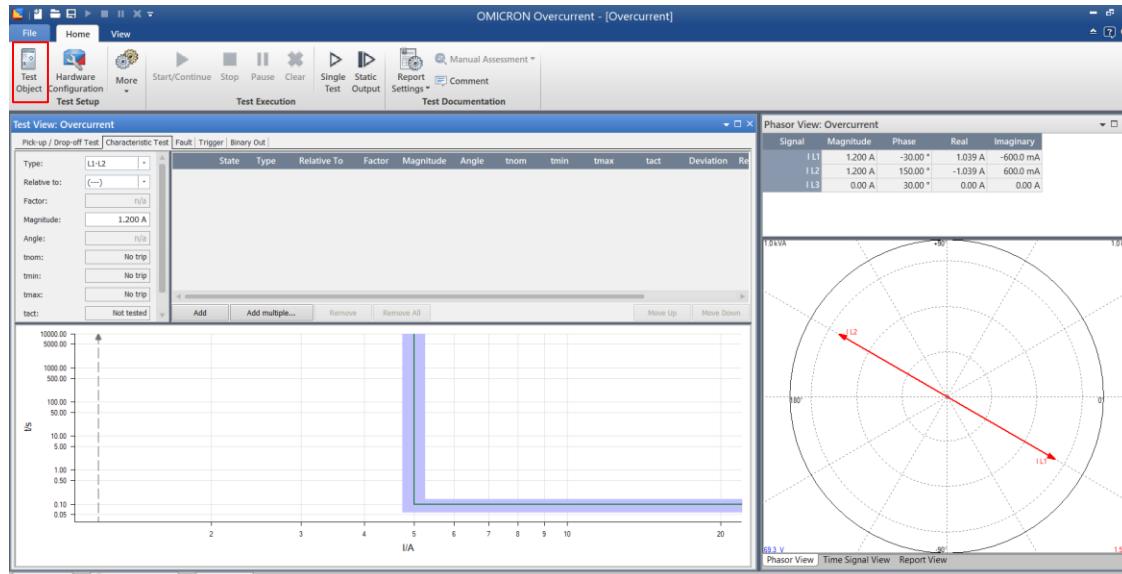


Ilustración 14. Configuración de objeto de prueba de la maleta

Se da paso a la configuración de la protección de sobrecorriente y de las características del relé.

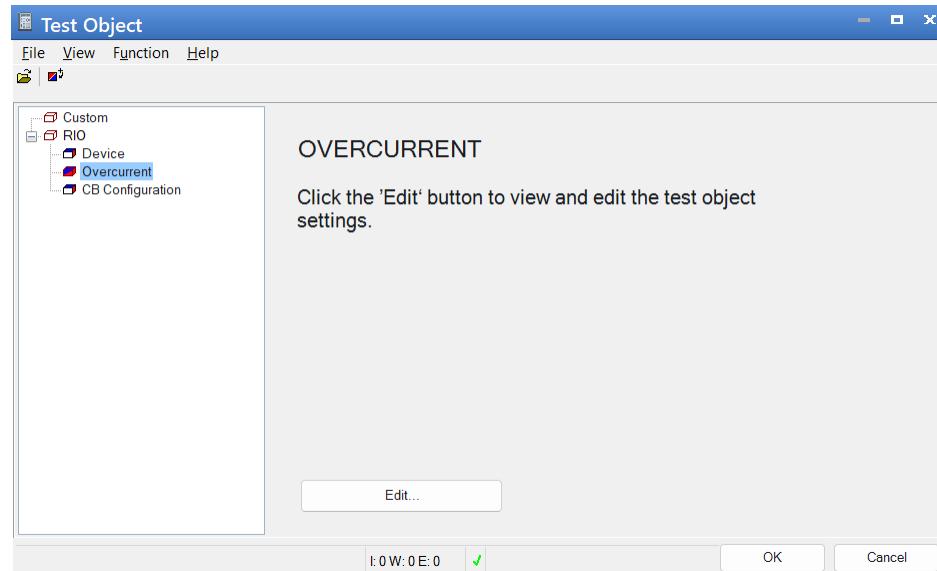


Ilustración 15. Configuración de objeto de prueba de la función de sobrecorriente

Se configuran las características de esta protección, al no poseer el relé función de direccionalidad, se establece **Non-directional** y en tolerancias se establece un 5% como criterio la corriente y para el tiempo de operación.

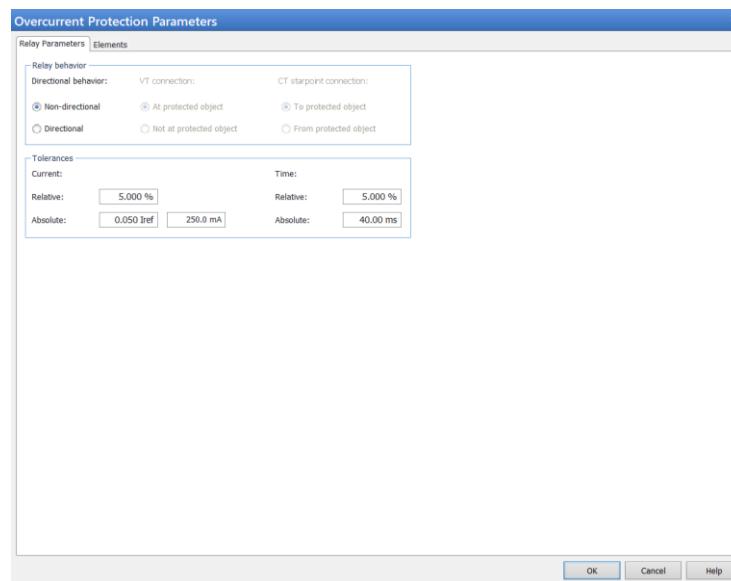


Ilustración 16. Configuración de parámetros de la protección de sobrecorriente

En **Elements** configuramos los valores de corriente que se inyectarán y definiremos el tipo de curva a utilizar para la prueba.

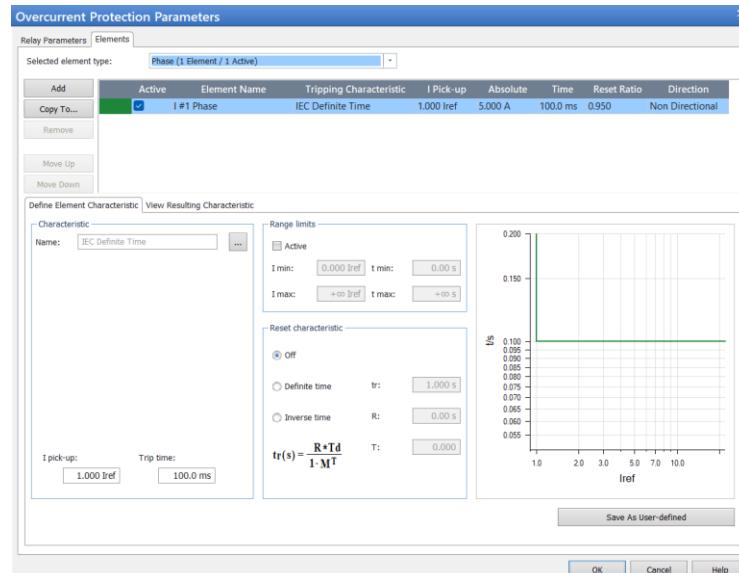


Ilustración 17. Definición de las curvas para la prueba de sobrecorriente

Se selecciona la curva característica que se va a utilizar para probar.

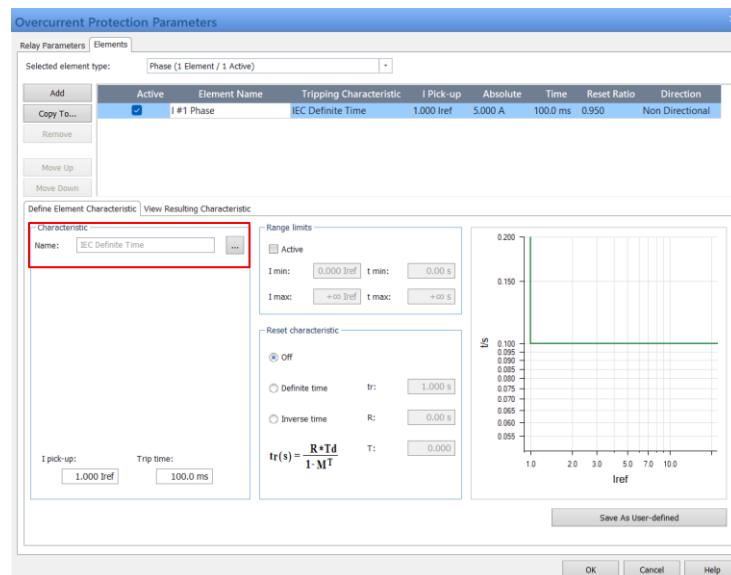


Ilustración 18. Selección de curva característica

Se selecciona la curva característica IEC normalmente inversa.

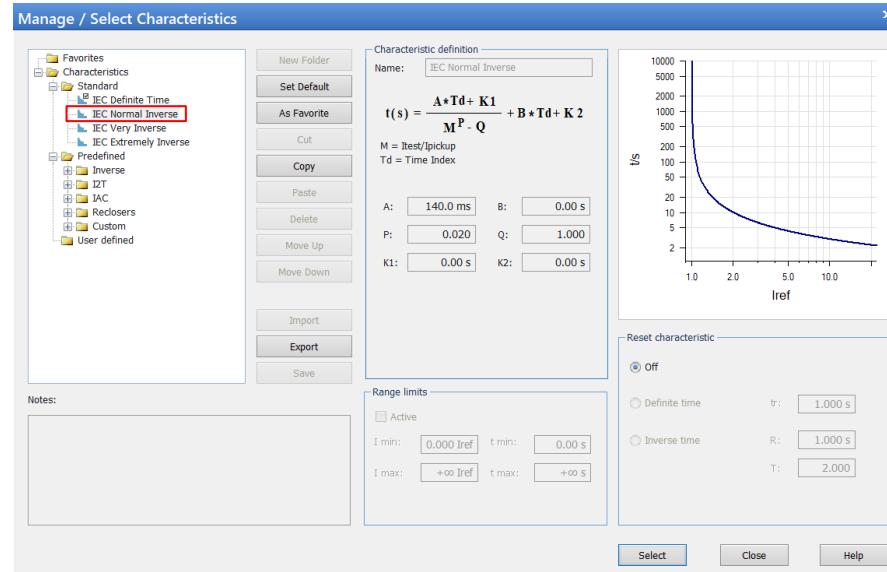


Ilustración 19. Selección de curva normalmente inversa

Se configura los valores de corriente de arranque y al dial de tiempo.

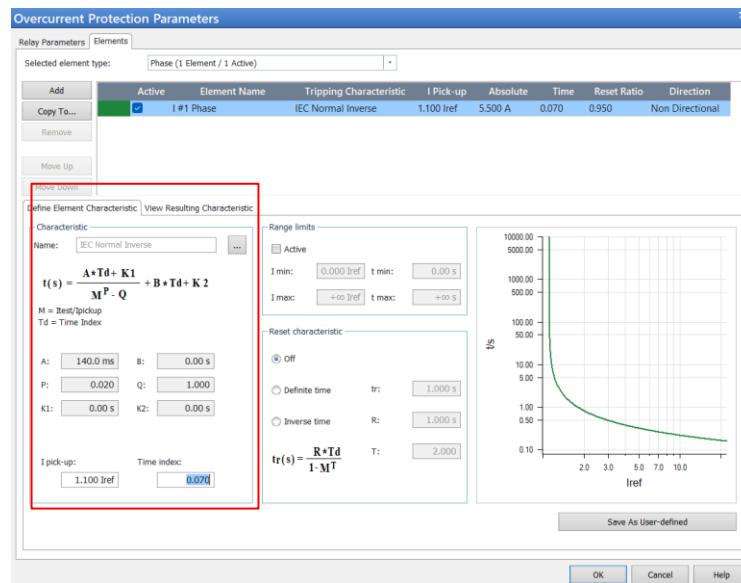


Ilustración 20. Configuración de los ajustes para la protección 51

Se configura una curva de tiempo definido para definir la instantánea a la corriente de arranque establecida en el software.

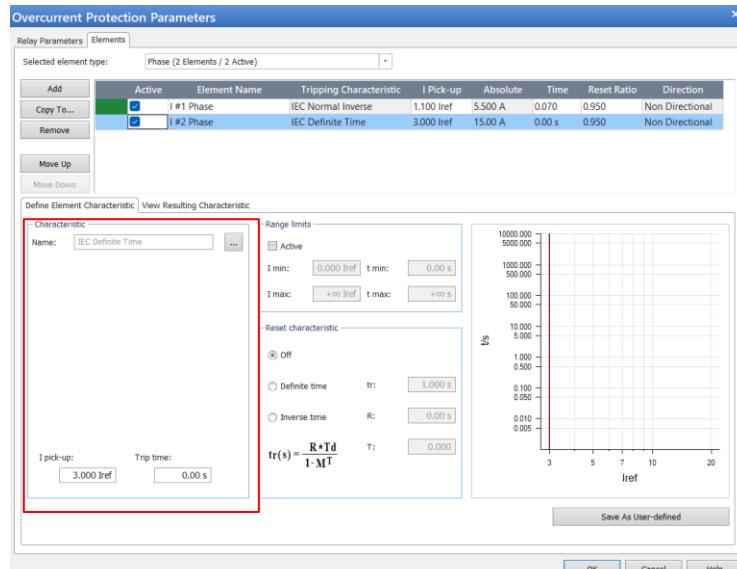


Ilustración 21. Configuración de los ajustes para la protección 50

Definimos los siguientes puntos para evaluar la característica de sobrecorriente del relé de protección y se selecciona **Start/Continue**.

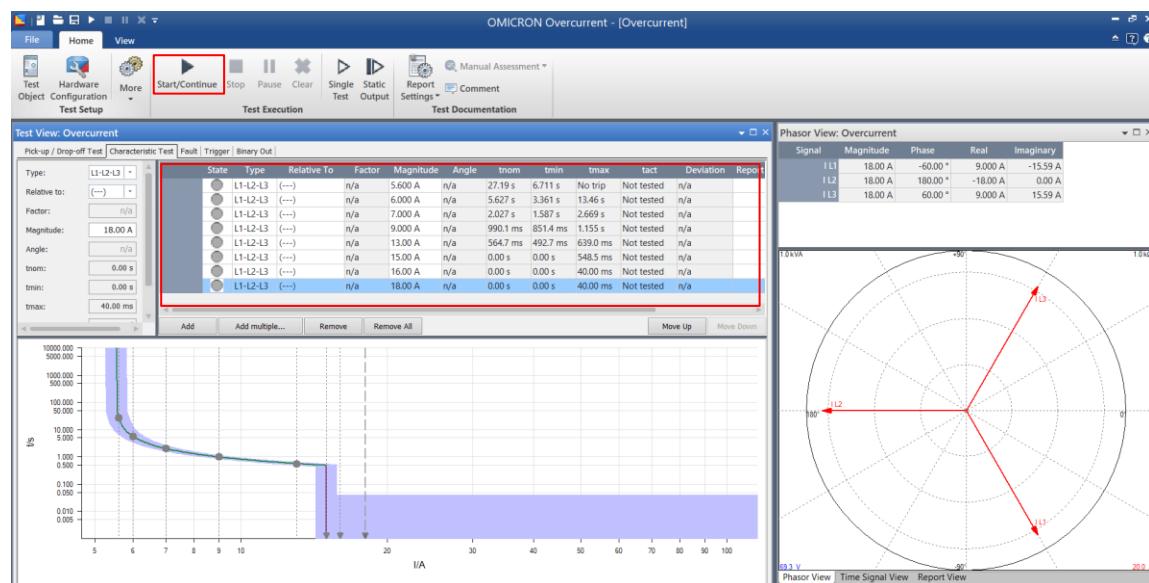


Ilustración 22. Definición de los puntos de prueba para la característica

### 3.4. Procedimiento

#### Prueba de protección sobrecorriente

- Preparar las conexiones eléctricas del tablero de protecciones didáctico con la maleta de pruebas a utilizar.
- Realizar la configuración de la protección de sobrecorriente del relé de protección para la prueba de inyección.
- Realizar configuración de la maleta para realizar la prueba de curva característica de la protección diferencial del relé P5T30.

## 4. Resultados

Registre y analice los resultados obtenidos.

I [A]	Tnom [S]	Tcalc [S]	Tactuación [S]	Error%

## 5. Preguntas

Responda y explique las siguientes preguntas

1. ¿Por qué es necesario implementar la función de bloqueo por segundo armónico en la protección de sobrecorrientes?
2. ¿Cómo influye la saturación de los transformadores de corriente en el desempeño de la función de la protección de sobrecorriente?
3. ¿Por qué la protección de sobrecorriente no puede considerarse como protección principal de transformadores de potencia y en que escenarios sí es aceptable como protección de respaldo?