



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

SEDE GUAYAQUIL

**CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**PROYECTO DE TITULACIÓN**

Previa la obtención del Título de:

**INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA**

“Diseño e implementación de prueba de falla en una red de distribución empleando el equipo CMC 356 Omicron para el relé SEL 387E.”

**AUTORES**

Tyrone Rodrigo Parrales Marcillo

Bradley Ricardo Zerna Jara

DIRECTOR: Ing. Carlos Fernando Chávez Córdova, Msc

GUAYAQUIL

2021



## CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **TYRONE RODRIGO PARRALES MARCILLO** y **BRADLEY RICARDO ZERNA JARA** autorizamos a la **Universidad Politécnica Salesiana** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

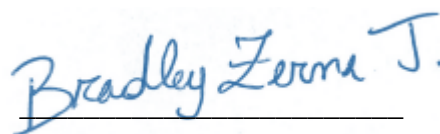
Además, declaramos que los conceptos, análisis desarrollados y las conclusiones del presente trabajo son de exclusiva responsabilidad de los autores.

Guayaquil, 18/10/2021



Tyrone Rodrigo Parrales Marcillo

CI. 0926176637



Bradley Ricardo Zerna Jara

CI: 0922592225

## **CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS**

Yo, **TYRONE RODRIGO PARRALES MARCILLO**, con documento de identificación N° 1315541886, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PRUEBA DE FALLA EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN EMPLEANDO EL EQUIPO CMC 356 OMICRON PARA EL RELÉ SEL 387E**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 18/10/2021



Tyrone Rodrigo Parrales Marcillo

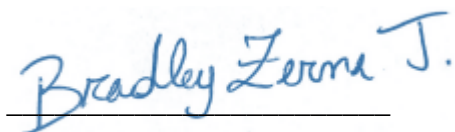
CI. 1315541886

## **CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS**

Yo, **BRADLEY RICARDO ZERNA JARA**, con documento de identificación N° 0922592225, manifiesto mi voluntad y cedo a la **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA** la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de grado titulado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PRUEBA DE FALLA EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN EMPLEANDO EL EQUIPO CMC 356 OMICRON PARA EL RELÉ SEL 387E**” mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de **INGENIERO ELÉCTRICO**, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscrito este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 18/10/2021



Bradley Ricardo Zerna Jara

CI. 0922592225

## **CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR**

Yo, **CARLOS FERNANDO CHÁVEZ CÓRDOVA**, director del proyecto de Titulación denominado “**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PRUEBA DE FALLA EN UNA RED DE DISTRIBUCIÓN EMPLEANDO EL EQUIPO CMC 356 OMICRON PARA EL RELÉ SEL 387E**” realizado por los estudiantes, **TYRONE RODRIGO PARRALES MARCILLO** y **BRADLEY RICARDO ZERNA JARA**, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, 18/10/2021



Carlos Fernando Chávez Córdova

Ing., Msc

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a Dios por haberme dado la vida y ser un pilar fundamental en mi crecimiento personal.

A mi madre Nelly Luvis Marcillo Cruz por el apoyo incondicional en toda mi etapa de estudiante, a mi padre Manabí Parrales López, quien con su esfuerzo me ha brindado la oportunidad de cumplir mis objetivos, a mis hermanos Luciano y Luvis Parrales por ser ejemplo a seguir y por su apoyo durante la carrera.

A toda mi familia y amigos que de alguna u otra manera me apoyaron para culminar mis estudios.

**Tyrone Rodrigo Parrales Marcillo**

Esta tesis está dedicada primero a Dios ya que ha sido mi guía y quien con su manto celestial me protegió de cualquier mal en el transcurso de viaje diario a la ciudad de Guayaquil, a mis padres Ricardo e Isabel quienes con su paciencia y apoyo me ayudaron a cumplir una meta más en mi vida, a mi hermanita Briana quien a su corta edad fue mi inspiración para sacar adelante este proyecto de tesis.

A mis abuelitos Hilda, Ismael y Aurelio, que, aunque no estén físicamente desde el cielo siempre pedían que me vaya bien en los estudios, como no dedicarte a ti mamita Inés este logro que también es tuyo, porque con tu amor incondicional fuiste el espejo en el cual quiero reflejar mis logros venideros, gracias a Dios por tenerte con vida y disfrutar esta felicidad conmigo. Dedico también mi tesis a toda mi familia en general ya que con sus consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y meterle ganas para cristalizar este sueño hoy hecho realidad.

**Bradley Ricardo Zerna Jara**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios y a mi familia, especialmente a mis padres, quienes me han brindado el apoyo necesario para terminar mi carrera y el presente proyecto de tesis.

A los docentes por impartir sus conocimientos y experiencias a lo largo de la carrera, También agradezco al Ing. Carlos Chávez por todo el apoyo a lo largo de este proyecto.

**Tyrone Rodrigo Parrales Marcillo**

Viviré agradecido eternamente con mis padres, porque fueron partícipes en el desarrollo de esta tesis, gracias por confiar y creer en mis sueños, nunca les iba a defraudar porque sabía el sacrificio que ustedes hacían por mí, a ti madre gracias por acompañarme en cada larga y agotadora noche y amanecida de estudio. A ti padre por siempre desear y anhelar lo mejor para mí, solo pediré a Dios que me sigan guiando por el buen camino para seguir mejorando como ser humano y crecer profesionalmente, no niego que fue difícil este transitar, pero jamás imposible ya que con la bendición del dador de nuestras vidas pude lograr mi objetivo tan anhelado. Agradezco también a todos mis maestros especialmente a mi tutor de tesis, por haberme brindado todos sus conocimientos en estos 5 años de vida universitaria ya que por ellos podré desarrollarme en mi carrera de ingeniero eléctrico.

**Bradley Ricardo Zerna Jara**



## **RESUMEN**

El presente proyecto técnico tiene como finalidad la implementación de prácticas para la protección diferencial de transformadores (87T), mediante la utilización del relé SEL 387-E y el equipo inyección de corriente Omicron CMC 356 que permiten la elaboración de una guía detallada de prácticas para el laboratorio de protecciones de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.

Con los equipos CMC 356 y SEL 387-E, se elaboró prácticas que nos permiten conocer la funcionalidad de la protección diferencial del relé SEL y su configuración mediante el software AcSELerator QuickSet, así como la funcionalidad y configuración de los módulos para pruebas diferenciales del equipo de inyección de corriente Omicron incluidos en el software Test Universe.

Finalmente, al haber culminado las prácticas propuestas, se desarrolla una guía de prácticas que tienen como objetivo instruir tanto al docente como al estudiante en sus conocimientos prácticos sobre la protección diferencial de transformadores.

Palabras clave: SEL 387-E, CMC 356, PROTECCIÓN DIFERENCIAL, AcSELerator QuickSet, Test Universe.

## **ABSTRACT**

The purpose of this technical project is the implementation of practices for the differential protection of transformers (87T), using the SEL 387-E relay and the Omicron CMC 356 current injection equipment that allow the elaboration of a detailed guide of practices for the protection laboratory of the Electrical Engineering course of the Salesian Polytechnic University of Guayaquil.

With the CMC 356 and SEL 387-E equipment, practices were developed that allow us to know the functionality of the differential protection of the SEL relay and its configuration using the AcSELerator QuickSet software, as well as the functionality and configuration of the modules for differential tests of the Omicron current injection equipment included in the Test Universe software.

Finally, upon completion of the proposed practices, a practice guide is developed with the objective of instructing both the teacher and the student in their practical knowledge of transformer differential protection.

Keywords: SEL 387-E, CMC 356, DIFFERENTIAL PROTECTION, AcSELerator QuickSet, Test Universe.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>Pág.</b>
PORTADA.....	i
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN .....	ii
CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS.....	iv
CERTIFICADO DE SESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UPS.....	v
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR .....	vi
DEDICATORIA .....	1
AGRADECIMIENTOS .....	2
RESUMEN.....	3
ABSTRACT.....	4
ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	5
ÍNDICE DE FIGURAS.....	14
ÍNDICE DE TABLAS .....	23
ABREVIATURAS.....	24
INTRODUCCIÓN .....	25
CAPÍTULO 1 .....	27
1 EL PROBLEMA.....	27
1.1 Tema a investigar .....	27
1.2 Descripción del Problema .....	27
1.3 Antecedentes .....	27

1.4	Importancia y Alcances.....	28
1.5	Delimitación.....	28
1.6	Objetivos .....	29
1.6.1	Objetivo General .....	29
1.6.2	Objetivos Específicos.....	29
1.7	Marco Metodológico.....	29
CAPÍTULO 2 .....		30
2	MARCO TEÓRICO .....	30
2.1	Antecedentes .....	30
2.1.1	Sistema Eléctrico de Potencia .....	30
2.1.1.1	Generación .....	31
2.1.1.2	Transmisión .....	31
2.1.1.3	Distribución .....	32
2.2	Disturbios en el Sistema Eléctrico de Potencia.....	32
2.2.1	Tipos de disturbios .....	32
2.2.1.1	Perturbaciones.....	32
2.2.1.2	Falla .....	32
2.2.2	Causas de los disturbios .....	33
2.2.2.1	Cortocircuitos.....	33
2.2.2.2	Sobre corrientes .....	34
2.2.2.3	Sobretensiones .....	34
2.2.2.4	Oscilaciones.....	35
2.2.2.5	Consecuencia de los disturbios .....	36
2.3	Transformador de potencia .....	36
2.3.1	Tipos de fallas en transformadores .....	37

2.3.1.1	Fallas internas .....	38
2.3.1.2	Fallas externas.....	38
2.3.2	Conexiones del transformador .....	39
2.3.2.1	Conexión estrella-estrella con neutro (Y-Y).....	40
2.3.2.2	Conexión estrella-delta (Y- $\Delta$ ).....	41
2.3.2.3	Conexión delta-estrella ( $\Delta$ -Y) .....	42
2.4	Sistemas de protección .....	43
2.4.1	Objetivos del sistema de protección.....	44
2.4.2	Particularidades de los sistemas de protecciones .....	44
2.4.2.1	Fiabilidad .....	45
2.4.2.2	Selectividad.....	45
2.4.2.3	Velocidad de funcionamiento .....	45
2.4.2.4	Simplicidad .....	45
2.4.2.5	Economía .....	45
2.4.3	Protección principal y de respaldo de los sistemas de protección .....	45
2.4.3.1	Protección primaria.....	46
2.4.3.2	Protección secundaria o de respaldo .....	46
2.4.4	Componentes de un sistema de protección. ....	46
2.4.4.1	Transformadores de corriente (TC) .....	46
2.4.4.2	Transformador de potencial (TP).....	47
2.4.4.3	Fuentes DC o baterías .....	47
2.4.4.4	Interruptores.....	48
2.4.4.5	Relés de protección.....	48
2.5	Relés de protección .....	49
2.5.1	Clasificación de los relés.....	49

2.5.1.1	Clasificación de los relés según su función general .....	49
2.5.1.1.1	Relés de protección .....	49
2.5.1.1.2	Relés de monitoreo .....	50
2.5.1.1.3	Relés auxiliares.....	50
2.5.1.1.4	Relés de control o reguladores .....	50
2.5.1.1.5	Relés de programación .....	50
2.5.1.2	Clasificación de los relés de acuerdo con su construcción [18, p. 82]. 50	
2.5.1.3	Clasificación de los relés de acuerdo con el tipo de protección [18, p. 82]. 51	
2.6	Identificación internacional de dispositivos de protecciones eléctricas según norma ANSI/IEEE C37-2.....	51
2.7	Protección diferencial.....	54
2.7.1	Protección diferencial de transformadores.....	55
2.7.2	Factores que afectan la protección diferencial .....	57
2.8	Falsas corrientes diferenciales.....	58
2.8.1	Corriente de magnetización Inrush .....	58
2.8.2	Sobreexcitación.....	58
2.9	Relé de protección SEL-387E.....	58
2.10	AcSELerator QuickSet.....	63
2.11	Omicron CMC 356.....	63
2.12	Test Universe .....	64
CAPÍTULO 3 .....		65
3	Marco Metodológico.....	65
3.1	AcSELerator QuickSet.....	65
3.1.1	Comunicación del relé al software .....	65

3.2	Omicron.....	69
3.2.1	Omicron CMC 356.....	69
3.2.2	Test Universe .....	70
3.2.2.1	Módulos de prueba del Test Universe .....	70
3.2.2.1.1	QuickCMC .....	70
3.2.2.1.2	Ramping .....	70
3.2.2.1.3	Pulse Ramping.....	70
3.2.2.1.4	State Sequencer .....	71
3.2.2.1.5	Overcurrent.....	71
3.2.2.1.6	Distance .....	71
3.2.2.1.7	VI Starting .....	71
3.2.2.1.8	Autoreclosure .....	71
3.2.2.1.9	Diferential.....	71
3.2.2.1.10	Diff Configuration.....	71
3.2.2.1.11	Diff Operating Characteristic .....	72
3.2.2.1.12	Diff Trip Time Characteristic.....	72
3.2.2.1.13	Diff Harmonic Restraint.....	72
3.3	Asociación del equipo CMC 356 a PC .....	72
3.3.1	Pasos para asociar el equipo CMC 356 a PC .....	72
3.3.2	Paso 1 .....	72
3.3.2.1	Paso 2.....	73
3.3.2.2	Paso 3.....	73
3.3.2.3	Paso 4.....	73
3.3.2.4	Paso 5.....	74
3.3.2.5	Paso 6.....	75

3.4	Configuración del equipo CMC 356 para pruebas del módulo diferencial. ....	75
3.4.1	Ingreso de datos para la plantilla de informe .....	77
3.4.2	Ajustes para la protección diferencial .....	79
3.4.2.1	Equipo protegido.....	79
3.4.2.2	Transformadores de corriente (TC) .....	80
3.4.2.3	Dispositivo de protección .....	81
3.4.2.4	Definición de la característica.....	81
3.4.2.5	Armónicos.....	84
3.4.3	Hardware configuration .....	85
3.5	Conexión .....	88
3.5.1	Conexión relé SEL 387-E al equipo CMC Omicron 365 .....	88
CAPÍTULO 4 .....		89
4	PRÁCTICAS PROPUESTAS .....	89
4.1	Practica I.....	89
4.1.1	Tema.....	89
4.1.2	Objetivo General .....	89
4.1.3	Objetivos Específicos.....	89
4.1.4	Duración .....	89
4.1.5	Recursos .....	89
4.1.6	Marco Teórico.....	89
4.1.6.1	Sistema de Distribución.....	89
4.1.6.2	Módulo didáctico de protecciones de redes de distribución en SEP ..	90
4.2	Practica II .....	92
4.2.1	Tema.....	92
4.2.2	Objetivo General .....	92



4.2.3	Objetivos específicos .....	92
4.2.4	Duración.....	92
4.2.5	Recursos .....	92
4.2.6	Marco Teórico.....	92
4.2.6.1	AcSELerator QuickSet .....	92
4.2.6.2	Relé SEL-387E .....	92
4.2.7	Marco Procedimental .....	93
4.2.7.1	Instalación del software “AsSELerator QuickSet” .....	93
4.2.8	Creación de cuenta SEL.....	95
4.2.8.1	Relé SEL-387E .....	96
4.3	Practica III.....	99
4.3.1	Tema.....	99
4.3.2	Objetivo General .....	99
4.3.3	Objetivos específicos .....	99
4.3.4	Duración.....	99
4.3.5	Recursos .....	99
4.3.6	Marco procedimental .....	99
4.3.6.1	Instalación del programa Test Universe 4.00 .....	99
4.3.6.2	Reconocimiento de las conexiones e interfaces del OMICRON CMC 356      106	
4.4	Practica IV.....	111
4.4.1	Tema.....	111
4.4.2	Objetivo General .....	111
4.4.3	Objetivos específicos .....	111
4.4.4	Duración.....	111

4.4.5	Recursos utilizados.....	111
4.4.6	Marco teórico .....	111
4.4.7	Marco procedimental .....	112
4.4.7.1	Cálculo de ajustes para función 87T .....	112
4.4.7.2	Ajustes de parámetros 87T en el relé SEL-387E mediante software AcSELerator QuickSet.....	116
4.4.7.3	Pasos a seguir para ejecutar la prueba del módulo diferencial Diff Configuration en el software Test Universe. ....	118
4.4.7.4	Recomendaciones .....	130
4.5	Practica V .....	131
4.5.1	Tema.....	131
4.5.2	Objetivos específicos .....	131
4.5.3	Duración .....	131
4.5.4	Recursos utilizados.....	131
4.5.5	Marco teórico .....	131
4.5.6	Marco procedimental .....	132
4.5.7	Recomendaciones.....	142
4.6	Practica VI.....	143
4.6.1	Tema.....	143
4.6.2	Objetivos específicos .....	143
4.6.3	Duración .....	143
4.6.4	Recursos utilizados.....	143
4.6.5	Marco teórico .....	143
4.6.6	Marco procedimental .....	144
4.6.7	Recomendaciones.....	150
4.7	Practica VII.....	151

4.7.1	Tema.....	151
4.7.2	Objetivos específicos .....	151
4.7.3	Duración.....	151
4.7.4	Recursos utilizados.....	151
4.7.5	Marco teórico .....	151
4.7.6	Marco procedimental .....	152
4.7.7	Recomendaciones.....	157
CAPÍTULO 5 .....		158
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	158
5.1	CONCLUSIONES .....	158
5.2	RECOMENDACIONES .....	160
6	BIBLIOGRAFÍA .....	161
7	ANEXOS .....	165

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
FIGURA 1: UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA .....	28
FIGURA 2: ETAPAS FUNCIONALES DEL SECTOR ELÉCTRICO [2]. .....	30
FIGURA 3 SOBRECORRIENTE TEMPORAL [6]. .....	34
FIGURA 4: SOBRETENSIÓN PRODUCIDA POR DESCARGA ATMOSFERICA [6]. .....	35
FIGURA 5: SOBRETENSIÓN PRODUCIDA POR MANIOBRA [6]. .....	35
FIGURA 6: TRANSFORMADOR DE SUBESTACIÓN DE CENTRAL [11]. .....	37
FIGURA 7: FALLA INTERNA DE UN TRANSFORMADOR [13]. .....	38
FIGURA 8: FALLA EXTERNA DE UN TRANSFORMADOR [13]. .....	39
FIGURA 9: CONEXIÓN YE-YE DE UN TRANSFORMADOR TRIFASICO [15]. ....	41
FIGURA 10: CONEXIÓN YE- $\Delta$ DE UN TRANSFORMADOR TRIFASICO [15]. ....	42
FIGURA 11: CONEXIÓN $\Delta$ -YE DE UN TRANSFORMADOR DE TRES FASES [15]. .....	43
FIGURA 12: TRANSFORMADOR DE CORREINTE [32]. .....	47
FIGURA 13: TRANSFORMADOR DE POTENCIAL INDUCTIVO [20]. .....	47
FIGURA 14: INTERRRUPTOR DE POTENCIA SIEMENS [21]. .....	48
FIGURA 15: PROTECCIÓN DIFERENCIAL [24]. .....	54
FIGURA 16: ESQUEMA BASICO DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIA (A) SIN FALLA, (B) FALLA INTERNA [19]. .....	55
FIGURA 17: PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO POR MEDIO DE RELÉ ELECTROMECAÁNICO [19]. .....	56
FIGURA 18: PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO POR MEDIO DE RELÉ DIGITAL [19]. .....	57
FIGURA 19: RELÉ DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL SEL 387 E [26]. .....	59
FIGURA 20: FUNCIONES DEL RELÉ SEL-387E [25]. .....	60
FIGURA 21: CARACTERISTICA DIFERENCIAL CON PORCENTAJE DE RETENCIÓN [25]. .....	61

FIGURA 22: UNIDAD UNIVERSAL DE PRUEBAS DE RELÉS DE PROTECCIÓN OMICRON CMC 365 [29].	64
FIGURA 23: VENTANA PRINCIPAL DEL SOFTWARE ACSELERATOR QUICKSET.FUENTE: LOS AUTORES.	65
FIGURA 24: CABLE DE COMUNICACIÓN SERIAL SEL C662. [26]	65
FIGURA 25: VENTANA PRINCIPAL DEL SOFTWARE ACSELERATOR QUICKSET. FUENTE: LOS AUTORES.	66
FIGURA 26: VENTANA DE ADMINISTRADOR DE DISPOSITIVO DEL PC. FUENTE: LOS AUTORES.	67
FIGURA 27: VENTANA PROPIEDADES DEL DISPOSITIVO SEL. FUENTE: LOS AUTORES.	67
FIGURA 28: VENTANA DE PARAMETROS DE COMUNICACIÓN SERIAL. FUENTE: LOS AUTORES.	68
FIGURA 29: VENTANA PRINCIPAL DEL SOFTWARE ACSELERATOR QUICKSET. FUENTE: LOS AUTORES.	68
FIGURA 30: VENTANA DE CONFIGURACIÓN DEL RELÉ. FUENTE: LOS AUTORES.	69
FIGURA 31: EQUIPO UNIVERSAL DE PRUEBA DE RELÉS OMICRON CMC 356 [30].	69
FIGURA 32: VENTANA PRINCIPAL DEL SOFTWARE TEST UNIVERSE. FUENTE: LOS AUTORES.	70
FIGURA 33: CONEXIÓN DE FIENTE DE PODER U PUESTA A TIERRA DEL CMC 356. FUENTE: LOS AUTORES.	72
FIGURA 34: CONEXIÓN ETHERNET ENTRE PC Y OMICRON CMC 356 [30].	73
FIGURA 35: PASO 3 ASOCIACIÓN DE UNIDAD DE PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES.	73
FIGURA 36: PASO 4 ASOCIACIÓN DE DISPOSITIVO. FUENTE: LOS AUTORES.	74
FIGURA 37: PASO 5 ASOCIACIÓN DEL DISPOSITIVO. FUENTE: LOS AUTORES.	74

FIGURA 38: PASO 6 VERIFICACIÓN DE ASOCIACIÓN DE DSIPOSITIVO. FUENTE: LOS AUTORES. ....	75
FIGURA 39: VENTANA PRINCIPAL SOFTWARE TEST UNIVERSE. FUENTE: LOS AUTORES. ....	75
FIGURA 40: BARRA PRINCIPAL OMICRON CONTROL CENTER. FUENTE: LOS AUTORES. ....	76
FIGURA 41: VENTANA DE LOS MODULOS DE PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	76
FIGURA 42: VENTANA PRINCIPAL DE OMICRON CONTROL CENTER. FUENTE: LOS AUTORES. ....	77
FIGURA 43: PASO 1 INGRESO DE DATOS DEL OBJETO DE PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	77
FIGURA 44: PASO 2 INGRESO DE DATOS DEL OBJETO DE PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	78
FIGURA 45: VENTANA DE INGRESO DE DATOS DEL OBJETO DE PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	78
FIGURA 46: PASO 1 AJUSTES DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL. FUENTE: LOS AUTORES. ....	79
FIGURA 47: PASO 2 AJUSTES DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL. FUENTE: LOS AUTORES. ....	79
FIGURA 48: VENTANA DE PARAMETROS DE PROTECCÓN DIFERENCIAL – EQUIPO PROTEGIDO. FUENTE: LOS AUTORES. ....	80
FIGURA 49: VENTANA DE PARAMETROS – TC. FUENTE: LOS AUTORES. ....	80
FIGURA 50: VENTANA DE PARAMETROS – DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN. FUENTE: LOS AUTORES. ....	81
FIGURA 51: VENTANA DE PARAMETROS – DEFINICIÓN DE LA CARACTERISTICA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	82
FIGURA 52: VENTANA DE PARAMETROS – DEFINICIÓN DE LA CARACTERISTICA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	82
FIGURA 53: VENTANA DE PARAMETROS – DEFINICIÓN DE LA CARACTERISTICA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	83

FIGURA 54: VENTANA DE PARAMETROS – DEFINICIÓN DE LA CARACTERISTICA. FUENTE: LOS AUTORES.....	83
FIGURA 55: VENTANA DE PARAMETROS – DEFINICIÓN DE LA CARACTERISTICA. FUENTE: LOS AUTORES.....	84
FIGURA 56: VENTANA DE PARAMETROS – ARMÓNICOS. FUENTE: LOS AUTORES. ....	85
FIGURA 57: VENTANA PRINCIPAL OMICRON CONTROL CENTER. FUENTE: LOS AUTORES.....	85
FIGURA 58: VENTANA CONFIGURACIÓN DEL HARWARE GLOBAL – GENERAL. FUENTE: LOS AUTORES.....	86
FIGURA 59: VENTANA DE DETALLES DE LA CONFIGURACIÓN DE SALIDA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	86
FIGURA 60: VENTANA CONFIGURACIÓN DEL HARWARE GLOBAL – SALIDAS ANALÓGICAS. FUENTE: LOS AUTORES. ....	87
FIGURA 61: VENTANA CONFIGURACIÓN DEL HARWARE GLOBAL – ENTRADAS BINARIAS/ANALÓGICAS. FUENTE: LOS AUTORES.....	87
FIGURA 62: CABLES TIPO BANANA. FUENTE: LOS AUTORES.....	88
FIGURA 63: CONEXIÓN DEL RELÉ 387E AL EQUIPO CMC OMICRON 365. FUENTE: LOS AUTORES. ....	88
FIGURA 64: RELÉ SEL 387-E [27]. ....	92
FIGURA 65: ICONO SETUP. FUENTE: LOS AUTORES. ....	93
FIGURA 66: PANTALLA DE SELECCIÓN “EJECUTAR COMO ADMINISTRADOR”. FUENTE: LOS AUTORES.....	93
FIGURA 67: LICENSE AGREEMENT. FUENTE: LOS AUTORES.....	94
FIGURA 68: EXPORT REGULATIONS. FUENTE: LOS AUTORES.....	94
FIGURA 69: ICONOS SOFTWARE INSTALADOS. FUENTE: LOS AUTORES.....	95
FIGURA 70: PAGINA WEB DEL SEL [26]. ....	95
FIGURA 71: CREACION DE CUENTA DEL SEL [26]. ....	95
FIGURA 72: LLENADA DE INFORMACION PARA LA CUENTA SEL [26]. ....	96
FIGURA 73: DIAGRAMA DEL RELE SEL-387E [25]. ....	97
FIGURA 74: ICONO SETUP TEST UNIVERSE. FUENTE: LOS AUTORES. ....	99

FIGURA 75: PANTALLA DE “EJECUTAR COMO ADMINISTRADOR” TEST UNIVERSE. FUENTE: LOS AUTORES. ....	100
FIGURA 76: PANTALLA PARA ELEGIR EL IDIOMA EN EL CUAL VAMOS A TRABAJAR. FUENTE: LOS AUTORES.....	100
FIGURA 77: PANTALLA PROCESANDO INSTALACION DEL PROGRAMA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	101
FIGURA 78: INSTALACION DE OMICRON TEST UNIVERSE. FUENTE: LOS AUTORES. ....	101
FIGURA 79: PANTALLA DE INFORMACION DEL CLIENTE. FUENTE: LOS AUTORES. ....	102
FIGURA 80: CARPETA DE DESTINO DEL ARCHIVO. FUENTE: LOS AUTORES. ....	102
FIGURA 81: PANTALLA CON LA LISTA DE DIFERENTES COMPONENTES. FUENTE: LOS AUTORES. ....	103
FIGURA 82: PANTALLA CON SELECCIÓN DE VIDEOS TUTORIALES. FUENTE: LOS AUTORES.....	103
FIGURA 83: INSTALACION DEL PROGRAMA. FUENTE: LOS AUTORES.....	104
FIGURA 84: PROCESANDO DESCARGA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	104
FIGURA 85: COMPONENTES INSTALANDOSE. FUENTE: LOS AUTORES. ....	105
FIGURA 86: INSTALACION COMPLETA. FUENTE: LOS AUTORES.....	105
FIGURA 87: DESCARGA COMPLETA EXITOSA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	106
FIGURA 88: CONEXIONES E INTERFACES DEL OMICRON [29]. ....	106
FIGURA 89: SALIDA DEL VOLTAJE [31]. ....	107
FIGURA 90: SALIDAS BINARIAS DEL OMICRON [31]. ....	107
FIGURA 91: ENTRADAS ANALOGICAS [31]. ....	108
FIGURA 92: ENTRADAS ANALOGICAS BINARIAS DEL OMICRON [31]. ....	108
FIGURA 93: ENTRADAS AUX DC DEL OMICRON [31]. ....	109
FIGURA 94: SALIDAS DE CORRIENTE A Y B DEL OMICRON [31]. ....	109
FIGURA 95: GENERADOR [31]. ....	110
FIGURA 96: ALIMENTACION DEL OMICRON [31]. ....	110



FIGURA 97 FALLA EXTERNA A LA ZONA DE PROTECCION DIFERENCIAL [13]. .....	112
FIGURA 98 REGION DE FUNCIONAMIENTO DEL ELEMENTO SIN RESTRICCIONES [25]......	114
FIGURA 99 VENTANA AJUSTES DE CONFIGURACION. FUENTE: LOS AUTORES. ....	116
FIGURA 100 VENTANA DE LOS AJUSTE INFORMACION GENERAL. FUENTE: LOS AUTORES.....	117
FIGURA 101 VENTANA AJUSTE DE NFORMACION GENERAL. FUENTE: LOS AUTORES. ....	117
FIGURA 102 VENTANA DE AJUSTE DIFF ELEMS. FUENTE: LOS AUTORES.	118
FIGURA 103 VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE PARAMETROS DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL EN EL PROGRAMA TEST UNIVERSE. FUENTE: LOS AUTORES.....	119
FIGURA 104 VENTANA DE INGRESO DE PARAMETROS DE LA PROTECCION DIFERENCIAL-TC. FUENTE: LOS AUTORES.....	120
FIGURA 105 PARAMETROS DE LA PROTECCION DIFERENCIAL-DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN. FUENTE: LOS AUTORES.....	121
FIGURA 106 VENTANA DE AJUSTE DE PARAMETROS DE LA PROTECCION DIFERENCIAL-DEFINICION DE LA CARACTERISTICA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	123
FIGURA 107 VENTANA DE AJUSTE DE PARAMETROS DE LA PROTECCION DIFERENCIAL-SEGUNDO ARMONICO. FUENTE: LOS AUTORES.....	124
FIGURA 108 VENTANA PARA EL AJUSTE DE PARAMETROS DE LA PROTECCION DIFERENCIAL-QUINTA ARMONICO. FUENTE: LOS AUTORES. .....	124
FIGURA 109 VENTANA MÓDULOS DE PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES. ..	125
FIGURA 110 VENTANA PRINCIPAL DEL MODULO DE PRUEBA DIFF CONFIGURATION. FUENTE: LOS AUTORES. ....	125
FIGURA 111 VENTANA DE PRUEBA DIFF CONFIGURATION (GENERAL). FUENTE: LOS AUTORES. ....	126

FIGURA 112 VENTANA DIFF CONFIGURATION (DATOS DE PRUEBA). FUENTE: LOS AUTORES.....	127
FIGURA 113 VENTANA PRINCIPAL DEL MÓDULO DE PRUEBA DIFF CONFIGURATION - DIAGRAMA UNFILAR Y FASORIAL. FUENTE: LOS AUTORES. ....	127
FIGURA 114 VENTANA PRINCIPAL DEL MÓDULO DE PRUEBA DIFF CONFIGURATION - INICIO DE LA PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	128
FIGURA 115 VENTANA PRINCIPAL DEL MÓDULO DE PRUEBA DIFF CONFIGURATION - PRUEBA EN DESARROLLO. FUENTE: LOS AUTORES. ..	128
FIGURA 116 VENTANA PRUEBA DEL MÓDULO DIFF CONFIGURATION – INGRESO DE CORRIENTES MEDIDAS POR EL RELÉ. FUENTE: LOS AUTORES. ....	129
FIGURA 117 OPCION INFORME PARA VER EL RESULTADO DE LA PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	129
FIGURA 118 INFORME DE LA PRUEBA DEL MÓDULO DIFF CONFIGURATION. FUENTE: LOS AUTORES. ....	130
FIGURA 119 VENTANA PRINCIPAL DEL MODULO DE PRUEBA DIFF OPERARTING CHARACTERISTIC. FUENTE: LOS AUTORES.....	132
FIGURA 120 DIAGRAMA UNIFILAR - FLUJO DE CARGA – OPERACIÓN NORMAL - DIGSILENT. FUENTE: LOS AUTORES.....	133
FIGURA 121 DIAGRAMA UNIFILAR – FALLA EXTERNA EN BARRA 13.8 KV. FUENTE: LOS AUTORES. ....	133
FIGURA 122 DATOS DE CORRIENTES MEDIDAS POR LOS TCS - SOFTWARE DIGSILENT. FUENTE: LOS AUTORES. ....	134
FIGURA 123 DIAGRAMA DE CORRIENTES ANTE FALLA EXTERNA EN DIGSILENT. FUENTE: LOS AUTORES. ....	134
FIGURA 124 DIAGRAMA UNIFILAR – FALLA INTERNA EN BARRA 13.8 KV. FUENTE: LOS AUTORES. ....	135
FIGURA 125 DATOS DE FALLA INTERNA TRIFASICA DE LADO DE BAJA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	136

FIGURA 126 DIAGRAMA DE CORRIENTES EN LA FALLA INTERNA TRIFASICA DE LADO DE BAJA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	136
FIGURA 127 DIAGRAMA UNIFILAR – FALLA INTERNA EN BARRA 69 KV. FUENTE: LOS AUTORES. ....	137
FIGURA 128 DATOS DE PRUEBA DE FALLA INTERNA TRIFASICA DE LADO DE ALTA EN DIGSILENT. FUENTE: LOS AUTORES. ....	138
FIGURA 129 DIAGRAMA DE CORRIENTES EN LA FALLA INTERNA TRIFASICA DE LADO DE ALTA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	138
FIGURA 130 INGRESO DE PUNTOS PRUEBA DIFF CONFIGURATION. FUENTE: LOS AUTORES. ....	140
FIGURA 131 VENTANA DE PRUEBA DE DISPARO. FUENTE: LOS AUTORES. ....	141
FIGURA 132 RESULTADO DE PRUEBA DE DIFF OPERATING CHARACTERISTIC. FUENTE: LOS AUTORES. ....	141
FIGURA 133 VENTANA DEL MÓDULO DE PRUEBA DIFF TRIP TIME CHARACTERISTIC. FUENTE: LOS AUTORES. ....	144
FIGURA 134 VENTANA INGRESO DE PARÁMETROS DE BARRIDO DE LA PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	145
FIGURA 135 VENTANA DE PRUEBA – PUNTOS DE BARRIDO INGRESADOS. FUENTE: LOS AUTORES. ....	145
FIGURA 136 VENTANA DE PRUEBA – RESULTADO DE LA PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	146
FIGURA 137 INFORME DE LA PRUEBA DIFF TRIP TIME CHARACTERISTIC. FUENTE: LOS AUTORES. ....	146
FIGURA 138 PRUEBA DEL TIEMPO LINEA A LINEA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	147
FIGURA 139 PRUEBA LINEA A LINEA FINALIZADA CON EXITO. FUENTE: LOS AUTORES. ....	147
FIGURA 140 INFORME DE PRUEBA L-L DEL MÓDULO DIFF TRIP TME CHARACTERISTIC. FUENTE: LOS AUTORES. ....	148

FIGURA 141 VENTANA DE PRUEBA – MUESTRA DE PUNTOS DE PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	148
FIGURA 142 VENTANA DE PRUEBA – ESTADO DE PUNTOS PROBADOS. FUENTE: LOS AUTORES. ....	149
FIGURA 143 INFORME DE LA PRUEBA DE FALLA TRIFASICA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	149
FIGURA 144 VENTANA DE PUNTOS DE PRUEBA PARA DIFF 2ND HARMONIC RESTRAINT. FUENTE: LOS AUTORES. ....	153
FIGURA 145 VENTANA DE PRUEBA DISPARO. FUENTE: LOS AUTORES. ....	154
FIGURA 146 INFORME DE LA PRUEBA DIFF 2ND HARMONIC RESTRAINT. FUENTE: LOS AUTORES. ....	154
FIGURA 147 VENTANA PRUEBA DE DISPARO - SELECCIÓN DE QUINTO ARMONICO PARA PRUEBA DISPARO TRIFASICO. FUENTE: LOS AUTORES. .....	155
FIGURA 148 VENTANA DE PUNTOS A ANALIZAR EN PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	156
FIGURA 149 VENTANA DE PRUEBA DE DISPARO – RESULTADO DE PREUBA. FUENTE: LOS AUTORES. ....	156
FIGURA 150 RESULTADO DE LA PRUEBA DEL DIFF 5TH HARMONIC RESTRAINT. FUENTE: LOS AUTORES. ....	157
FIGURA 151 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE RELÉ SEL-387-E. ....	165
FIGURA 152 CARACTERISTICAS TECNICAS DEL EQUIPO OMICRON CMC 356. .....	169
FIGURA 153 ESPECIFICACIONES MINIMAS REQUERIDAS PARA INSTALACION DE QUICKSET. ....	170
FIGURA 154 ESPECIFICACIONES MINIMAS REQUERIDAS PARA INSTALACIÓN DE TEST UNIVERSE. ....	171

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
TABLA 1: IDENTIFICACIÓN INTERNACIONAL DE DIPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ANSI/IEEE [23].....	51
TABLA 2: AJUSTES DE PROTECCIÓN PARA LA FUNCIÓN DIFERENCIAL. FUENTE: LOS AUTORES. ....	115
TABLA 3 DATOS DE CORRIENTES PARA PRUEBAS. FUENTE: LOS AUTORES. ....	139

## **ABREVIATURAS**

IED	Intelligent Electronic Device
SEP	Sistema Eléctrico de Potencia
PU	Por unidad
IEC	International Electro technical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
TC	Transformador de Corriente
TP	Transformador de Potencial
KV	Kilo Voltios
KVA	Kilo Voltio Amperios

## INTRODUCCIÓN

El tema de este proyecto de grado es “Diseño e implementación de prueba de falla en una red de distribución empleando el equipo CMC 356 Omicron para el Relé SEL 387E”, el cual tiene como objetivo diseñar una guía práctica para protección diferencial de transformadores (87T), utilizando el relé SEL-387E y el equipo de Pruebas de Inyección de corriente Omicron.

El objetivo a priori de ofrecer esta guía es garantizar el estado de los equipos y asimismo comulgar las buenas prácticas que se deberían regir para la correcta operación de los relés SEL-387, lo que desembocaría en un nivel mayor de proyección, control y medición de transformadores, alimentadores y demás elementos correlacionados.

De modo sistemático esta documentación estará conformada por cuatro capítulos, cuyo objetivo es diseñar e implementar un plan de prueba de falla en una red distribución, en beneficio de los estudiantes de la carrera de Ingeniería eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana como de los docentes a cargo de la doctrina de protecciones eléctricas.

Capítulo I, en este punto se narrarán la parte estructural del exordio del proyecto, como son la introducción, justificación y los objetivos. La idea medular de mantener este patrón argumentativo es que esta estructura nos permitirá brindar una noción previa de lo que se brinda y asimismo se dará a conocer el contexto por el cual surgió la propuesta planteada

Capítulo II, en este apartado se encapsulará toda la información científica y/o teórica anidada en la propuesta otorgada, lo que permitirá dar una visión conceptual de todos los equipos, componentes y programas informáticos que se vayan a emplear.

El capítulo III, en esta sección se hará referencia de los programas que serán utilizados para diseñar las prácticas que serán utilizadas como guía para el estudio de comportamiento de un sistema de distribución eléctrica ante una eventualidad como puede ser el caso de una falla externa y de igual manera se fundamentarán las prácticas establecidas en los objetivos estipulados en el capítulo II.

El capítulo IV, en este punto se presentarán las diversas prácticas contractuales como es el caso de la conexión del relé SEL-387E y de la unidad de prueba universal de Relés CMC -356 de Omicron; también se mostrará como configurar tanto el relé SEL -387E y el CMC – 356 y para finiquitar se detallará los ajustes de protección del equipo relé SEL 387E para así finalmente poder realizar las correspondientes pruebas de fallas.



# CAPÍTULO 1

## 1 EL PROBLEMA

### 1.1 Tema a investigar

Diseño e Implementación de Prueba de Falla en una Red de Distribución empleando el Equipo CMC 356 OMICRON para el Relé SEL 387E.

### 1.2 Descripción del Problema

El laboratorio de Protecciones eléctricas de la carrera de Ingeniería Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana es un departamento que consta de modernos equipos de protección, los cuales no están siendo utilizados para formación académica de los alumnos. El motivo principal se debe a la falta de una guía de prácticas que ayude a docentes y estudiantes, profesionales al manejo y configuración de los dispositivos de protección como a la realización de pruebas de estos dispositivos mediante la maleta de inyección de corriente OMICRON CMC365.

### 1.3 Antecedentes

Vale destacar que la institución educativa recientemente adquirió una maleta de inyección de corriente secundaria OMICRON CMC 356, la cual lamentablemente no se la está empleando, es decir no se está usando de una manera correcta ni integral dentro del pensum académico establecido en la carrera de Ingeniería eléctrica. La causa a priori de este efecto colateral es la carencia de una metodología de estudio que facilite la realización de pruebas de inyección de corriente secundaria en conjunto con los módulos de relés didácticos y de los sistemas eléctricos de potencia. Por lo que se intuye que esta estrategia pueda ser usada como una herramienta didáctica dentro de las protecciones eléctricas.

## 1.4 Importancia y Alcances

La importancia de que los estudiantes conozcan y obtengan conocimientos con respecto a protecciones para Sistemas Eléctricos de Potencia, hace inevitable crear una guía para realizar las prácticas de protección diferencial de transformadores correspondiente a la materia de Protecciones. Para fines formativos la Carrera de Ingeniería Eléctrica tiene IEDs y equipos de inyección de corriente, lo que permite a los estudiantes de la carrera perfeccionar los conocimientos obtenidos en clases y estos puedan utilizarlos en las prácticas.

## 1.5 Delimitación

El desarrollo del presente proyecto se lo realizará con fines didácticos y estará situado en el “Laboratorio de Protecciones Eléctricas” de la Carrera de Ingeniería Eléctrica, de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil. Ubicado en la dirección Robles 107 y Chambers.

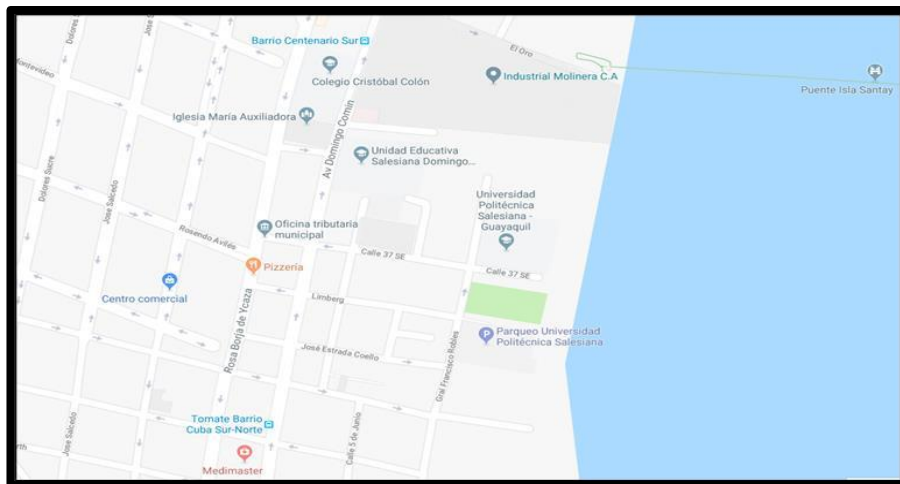


FIGURA 1: UBICACIÓN GEOGRAFICA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo General**

Diseñar e implementar un manual de prácticas de Prueba de Falla en transformadores CMC 356 OMICRON para el Relé SEL 387E.

### **1.6.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar una práctica para ser implementada en el laboratorio de protecciones eléctricas.
- Implementar esta práctica para verificar el estado de respuesta de la protección diferencial del relé SEL-387 en un sistema eléctrico ante una falla.
- Elaborar un manual sobre la práctica especificando detalladamente la configuración de los dispositivos usados.

## **1.7 Marco Metodológico**

Para el presente documento investigativo se utilizará el método exploratorio. Dicho paradigma está diseñado para llevar a cabo el estudio y análisis de todas las variables que podrían estar correlacionadas con el fenómeno a estudiar, en otras palabras, mediante el uso de este recurso se podrá tener un mejor panorama de la problemática a tratar y de los objetivos que se quieran alcanzar.

## CAPÍTULO 2

### 2 MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes

El correcto funcionamiento de los sistemas eléctricos es fundamental para asegurar resultados óptimos en el proceso de distribución de energía, por lo que el perfecto diseño de estos sistemas requiere de profesionales formados y calificados en el uso de todas las tecnologías que cumplen un rol fundamental para alcanzar que el régimen sea eficiente, certificando así la confiabilidad y calidad en el servicio. Brindando oportunidades para el desarrollo de país.

##### 2.1.1 Sistema Eléctrico de Potencia

Un sistema eléctrico de potencia es el grupo de dispositivos eléctricos cuya función es transformar la energía primaria a energía eléctrica, transmitir y distribuir la energía eléctrica de tal forma que llegue a los consumidores una energía de calidad y al menor costo posible [1].

Un sistema eléctrico de potencia está compuesto por tres componentes principales: generación, transmisión y distribución.

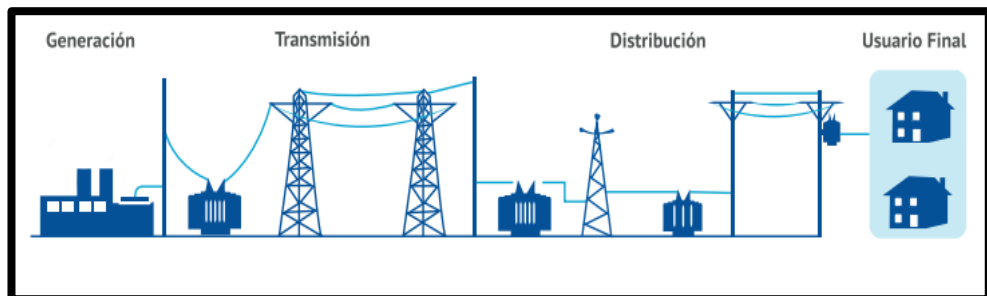


FIGURA 2: ETAPAS FUNCIONALES DEL SECTOR ELÉCTRICO [2].

### **2.1.1.1 Generación**

La generación de la energía es la parte responsable de transformar la energía de forma primaria en energía eléctrica. Esto se debe al principio de transformación de energía electromecánica, que dictamina que el movimiento de un conductor que forma un circuito cerrado en un campo magnético induce una corriente en él. De esta forma, la energía que produce este movimiento mecánico se convierte en energía eléctrica [3].

El equipo responsable de convertir la energía primaria en energía mecánica es una turbina; el dispositivo que convierte la energía mecánica en energía eléctrica se llama generador.

Vale destacar que existen diversos tipos de generación, ya que estos se encuentran determinados por las fuentes de energía primarias existentes [3].

- Hidráulica: Aquí se hace referencia a la generación provocada por la fuerza de la caída del agua.
- Eólica: En este tipo de generación la fuente de energía primaria es el viento. Para lograr este proceso son empleadas tanto los molinos de viento como los aerogeneradores, ya que estos tienen la capacidad de aprovechar las corrientes de aire para posteriormente convertirla en electricidad.
- Solar: Es una de los más populares medios de generación, en este método se utiliza la energía emitida por la radiación solar como forma primaria de energía y a través del uso de los paneles solares fotovoltaicos transforma esta energía primaria en electricidad.
- Nuclear: Esta es obtenida gracias a la fisión de átomos de hidrógeno, aunque en la actualidad se emplea más la obtenida a raíz de la fisión de los átomos de uranio y mediante el vapor generado se impulsan las turbinas utilizadas para este proceso.

### **2.1.1.2 Transmisión**

Es la parte encargada de transferir la energía eléctrica generada por las centrales de generación hasta los centros de consumo, para evitar pérdidas de energía la transmisión

debe realizarse a niveles altos de tensión. Las redes de transmisión están conformadas por un elemento conductor que puede ser de cobre o aluminio y de elementos de soportes que son las torres de transmisión eléctricas [4].

### **2.1.1.3 Distribución**

El sistema de distribución de energía eléctrica es un grupo de componentes responsables de entregar energía eléctrica desde la subestación al usuario. Esencialmente, en la distribución de energía eléctrica incluye líneas de distribución primarias y secundarias, transformadores de distribución, medidores y acometidas [5].

## **2.2 Disturbios en el Sistema Eléctrico de Potencia**

Se concluye por disturbio en el sistema eléctrico de potencia a las condiciones que llevan al sistema, desde funcionar en condiciones anormales (excediendo los límites establecidos), y puede llegar hasta el desplome de este [6].

### **2.2.1 Tipos de disturbios**

Acorde con los impactos que este provoque al sistema de potencia, los disturbios se clasifican en:

- Perturbaciones
- Fallas

#### **2.2.1.1 Perturbaciones**

Son disturbios que permiten al sistema seguir operando, pero en caso de no ser corregidos en un determinado tiempo estos ocasionarán daños a los equipos y se convertirán en una falla [6].

#### **2.2.1.2 Falla**

Es una condición que impide que los equipos del sistema eléctrico de potencia puedan operar y estos requieren de una intervención inmediata para contrarrestar los daños que

puedan causar al SEP. Ante una falla, los sistemas de protección deben actuar de una forma rápida, para evitar daños de los equipos, comúnmente se muestran con mayor periodicidad en el SEP que en los sistemas de protecciones y llegan a ser transitorias o permanentes [6].

### 2.2.2 Causas de los disturbios

Existen diversas causas, sean estas de inicio externo o interno las cuales causan que los disturbios sean ligeros o de gran magnitud en el sistema de potencia, los disturbios más frecuentes a los que se encuentra comprometido un SEP, están [6]:

- Cortocircuitos
- Sobre corrientes
- Sobretensiones
- Oscilaciones

#### 2.2.2.1 Cortocircuitos

El cortocircuito puede definirse como una anomalía eléctrica que se origina cuando dos o más puntos entre los cuales existe una desigualdad de voltaje entran en contacto entre sí y puede dar inicio a corrientes de mayor magnitud a la corriente nominal del sistema, estas corrientes de mayor magnitud a la nominal afectan a los equipos del sistema logrando en el mayor de los casos interrumpir el suministro del servicio eléctrico [7].

Las principales características de los cortocircuitos son [8, p. 8]:

- Tiempo de duración: auto extinguido, temporal, permanente.
- Origen: Provocados por causas mecánicas (rompimiento de conductores, conexión eléctrica ocasional entre dos o más conductores causada por un elemento conductor ajeno, como animales o herramientas), o a causa de sobretensiones eléctricas de inicio interno o atmosférico, o producidos por la degradación del aislamiento provocado por el calor, la humedad o el ambiente corrosivo.
- Localización: dentro o fuera de una máquina o un tablero eléctrico.

Desde otra perspectiva, los cortocircuitos pueden clasificarse en [8, p. 8]:

- Cortocircuitos monofásicos: Siendo estos los que ocurren con mayor frecuencia, representando un 80% de los casos.
- Cortocircuitos bifásicos: Es el segundo más ocurrido teniendo el 15% de los casos. Este tipo de cortocircuito por lo general suelen degenerar en cortocircuitos trifásicos.
- Cortocircuitos trifásicos: Representan sólo el 5% de los casos.

### 2.2.2.2 Sobre corrientes

Se diferencian de los cortocircuitos porque permanecen más tiempo en el sistema eléctrico de potencia y se inician esencialmente cuando existe una sobrecarga en el SEP, las sobre corrientes llegan a valores de 15 hasta 20 veces el valor nominal de corriente [6].

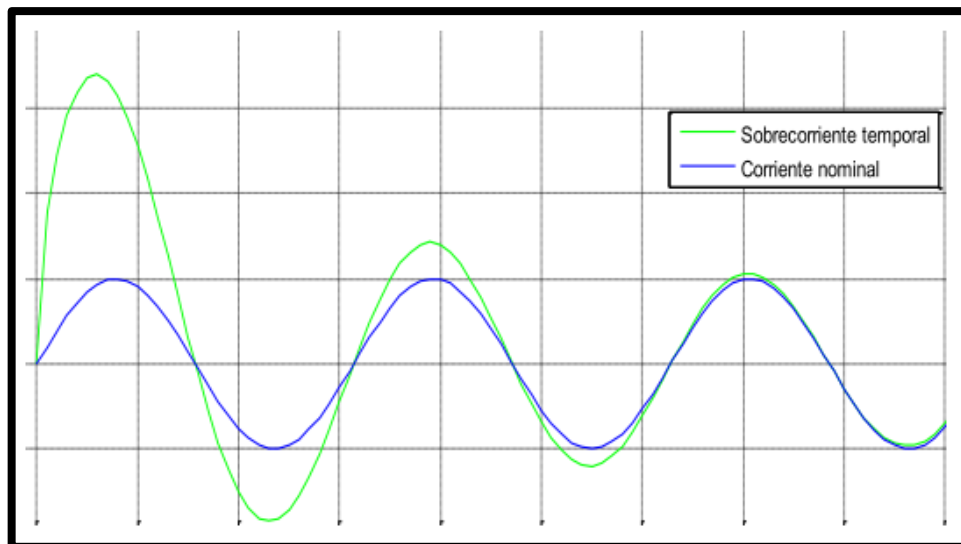


FIGURA 3 SOBRECORRIENTE TEMPORAL [6].

### 2.2.2.3 Sobretensiones

Las sobretensiones producen un aumento anormal de tensión, lo cual provocara desgaste o daño de los elementos aisladores y a su vez provocara cortocircuitos transitorios [6].



Las sobretensiones se producen por dos razones:

- Descargas atmosféricas (indirectas o directas)
- Maniobra realizada en los sistemas eléctricos

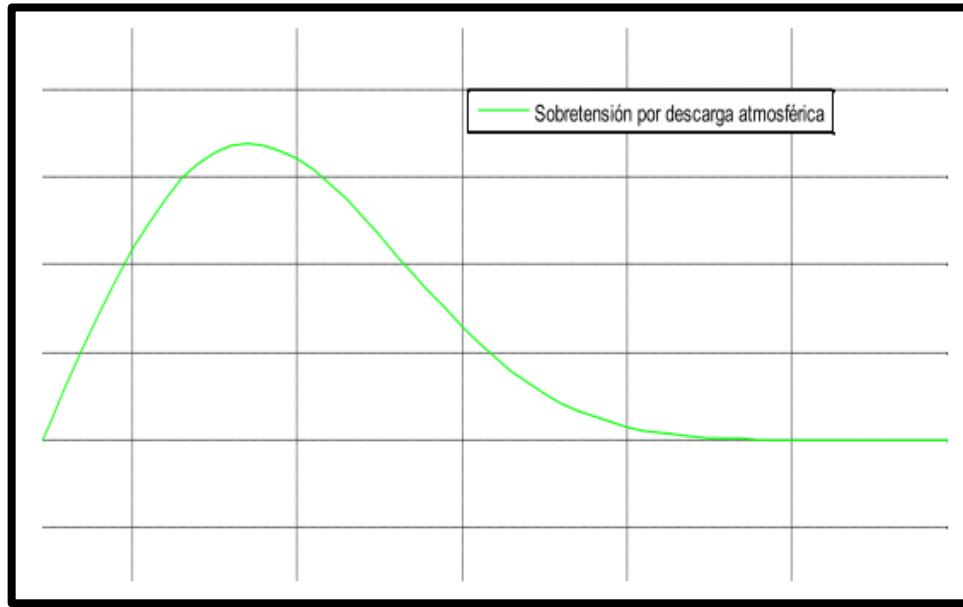


FIGURA 4: SOBRETENSIÓN PRODUCIDA POR DESCARGA ATMOSFERICA [6].

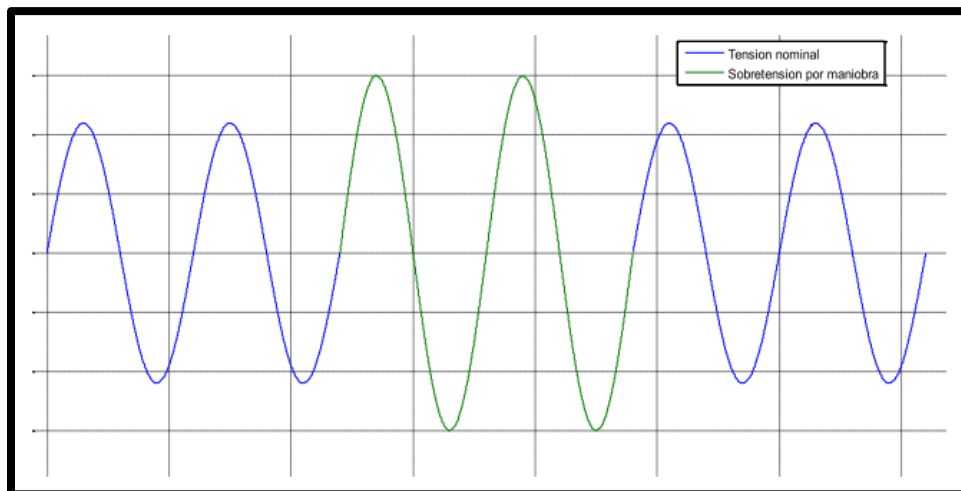


FIGURA 5: SOBRETENSIÓN PRODUCIDA POR MANIOBRA [6].

#### 2.2.2.4 Oscilaciones

Las perturbaciones que provocan las oscilaciones de potencia son causadas por fallas del sistema de control, conexión de la línea de transmisión, desconexión del generador y

conexiones o desconexiones de grandes bloques de carga. Este tipo de perturbaciones provocan cambios bruscos en la potencia eléctrica lo que provoca inestabilidad en el SEP [9].

#### **2.2.2.5 Consecuencia de los disturbios**

Las principales consecuencias de la perturbación son las siguientes [6, p. 31]:

- El voltaje fluctúa severamente.
- Fluctuaciones de potencia.
- Desequilibrio que provoca un funcionamiento inadecuado de equipos.
- El sistema de energía es inestable.
- Causar daños graves al equipo y al personal.
- Tensiones peligrosas que aparecen en distintos puntos del SEP.
- Las interrupciones de energía a largo plazo hacen que los usuarios pasen de una simple incomodidad a enormes pérdidas económicas.

### **2.3 Transformador de potencia**

El transformador de potencia es un equipo electromagnético que transforma la energía eléctrica alterna con una magnitud de voltaje a energía eléctrica alterna con otra magnitud de voltaje a través de la acción de un campo magnético conservando la potencia constante. Esta constituido de dos o más bobinas de alambre conductor envueltas alrededor de un núcleo ferromagnético común [10].

Las principales características requeridas para obtener un transformador e instalarlo correctamente a la red son las detalladas a continuación [5]:

- Capacidad
- Voltaje del devanado de entrada
- Voltaje del devanado de salida
- Frecuencia
- Número de fases
- Grupo vectorial del transformador
- Taps de transformación

- Tipo de enfriamiento



FIGURA 6: TRANSFORMADOR DE SUBESTACIÓN DE CENTRAL [11]

### 2.3.1 Tipos de fallas en transformadores

Hay un amplio conjunto de anomalías que se pueden manifestar en los transformadores de potencia[12, p. 309].

- Fallo de aislamiento de los tornillos de fijación de las láminas del núcleo y del aislamiento por el que es cubierto.
- Origen de puntos calientes causados por conexiones de gran resistencia o problemas en las bobinas.
- Arcos eléctricos originados entre los enrollados y el núcleo o el tanque, producido por sobrevoltajes generados por factores atmosféricos.
- Anomalías en el sistema de refrigeración, como en caso de transformadores con tipo de refrigeración por aceite, como puede ser nivel bajo de aceite u obturación del flujo del líquido.
- Falla en los empalmes de los Taps de conmutaciones que generan puntos calientes o cortocircuito entre conmutaciones.
- Fallas de aislamiento, originado por degeneración por uso o anticipado de los transformadores.

- Aparición de agua en el aceite de los transformadores refrigerados por este líquido.

Todas las fallas mencionadas se dividen en dos clases: fallas internas y fallas externas.

### 2.3.1.1 Fallas internas

Son fallas que se originan en la zona protegida del transformador, como en la parte interna del tanque, o también en sus TCs. Estas fallas se clasifican en dos categorías: Fallas incipientes, estas crecen de manera lenta y pueden transformarse en fallas de mayor magnitud y fallas activas la cuales son causadas por el daño en el aislamiento y otras partes que componen el transformador [13, p. 7].

La corriente de magnetización inrush puede mostrarse por el relevador de protección diferencial como una falta interna, este fenómeno se produce en el momento que el transformador se energiza o cuando la diferencia de potencial primario regresa a su magnitud nominal luego de despejar la falla [14, p. 247].

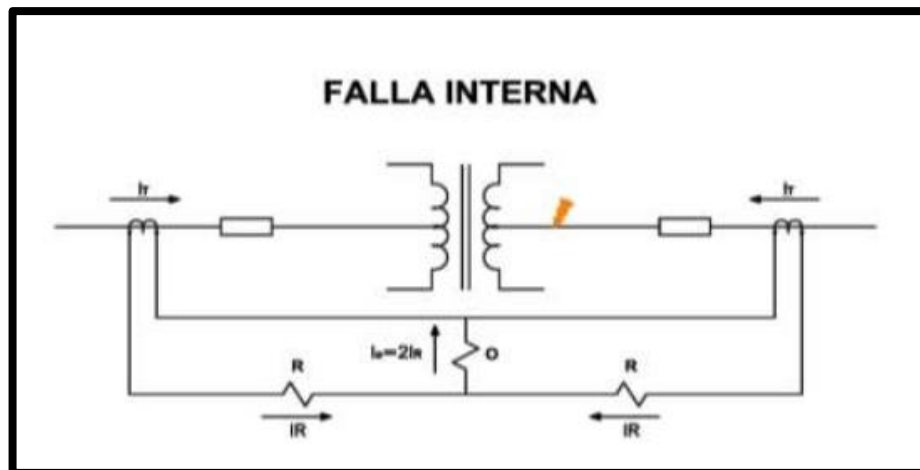


FIGURA 7: FALLA INTERNA DE UN TRANSFORMADOR [13].

### 2.3.1.2 Fallas externas

Son fallas que se originan al exterior de la zona protegida del transformador.

En la protección de estos tipos de fallas se utilizan protecciones de resguardo basadas en relés de protección de sobre corriente, los cuales deben ser energizados con TCs diferentes a los empleados en la protección interna del transformador [13, p. 8].

En fallas a tierra se utilizan usualmente relevadores separados. A demás es aconsejable instalarlos en el área de bajo voltaje ya que si la fuente de poder a la falta este en el lado de alto voltaje, en esta forma no serán afectadas por las corrientes de energización Inrush, por lo que, esta corriente no influirá al momento de la parametrización de la corriente mínima de operación, tampoco en los tiempos de operación de relevador [13, p. 8].

En el suceso de que el transformador esté acoplado a más de una fuente de poder a fallas, es debido instalar una protección de resguardo para cada interruptor, y en la generalidad de los sucesos, para alcanzar una protección selectiva es preciso que alguno de los relevadores sea de sobre corriente direccional [13, p. 8].

En el caso de que el transformador tenga protección contra sobre corriente en lugar de protección diferencial, se puede usar la misma protección contra sobre corriente como respaldo [13, p. 9].

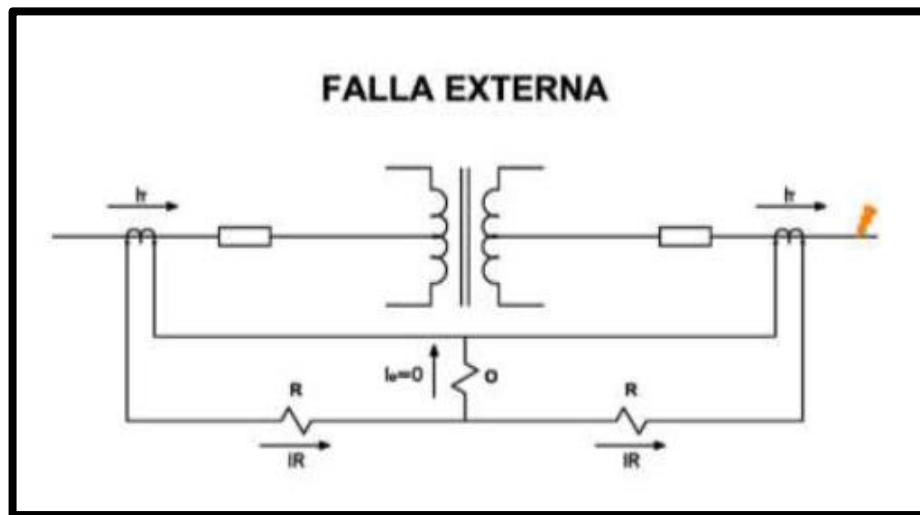


FIGURA 8: FALLA EXTERNA DE UN TRANSFORMADOR [13].

### 2.3.2 Conexiones del transformador

Para ser empleados en circuitos de tres fases, los transformadores se pueden conectar en distintas conexiones, estas dependen de la clase de conexión de los devanados del transformador y pueden ser de forma simétricas o asimétricas.

Para elegir un transformador es preciso saber las desventajas y ventajas de las conexiones posibles [14, p. 269].

### **2.3.2.1 Conexión estrella-estrella con neutro (Y-Y)**

Esta conexión Y-Y la diferencia de potencial de la fase primaria está vinculado con la diferencia de potencial de la fase secundaria a través de la relación de espiras del transformador.

Si se inyecta voltajes trifásicos a un transformador con conexión Y-Y, los ángulos de voltajes entre fase estarán separados en  $120^\circ$  uno con respecto a otro. No obstante, los elementos del tercer armónico de cada una de las tres fases se encontrarán en fase entre sí, ya que, para cada etapa de la frecuencia principal, hay tres etapas en el tercer armónico. Puesto a tener un núcleo no lineal, siempre habrá elementos de tercer armónico en el transformador. Estos elementos siempre se agregan. Como resultado obtenemos un elemento de voltaje del tercer armónico que se establece sobre el voltaje principal de 60 Hz. Este elemento de voltaje de tercer armónico puede ubicarse muy por encima del voltaje principal en sí [10, p. 92].

En la conexión Y-Y existen dos inconvenientes graves [10, p. 92]:

- Cuando las cargas del circuito del transformador estén en desequilibrio, puesto así que la diferencia de potencial en cada fase del transformador puede presentarse una inestabilidad severa.
- En los voltajes de tercer armónico pueden presentarse con gran magnitud.

Tanto el problema de inestabilidad del voltaje y el problema del tercer armónico se pueden solucionar empleando una de las siguientes técnicas [10, p. 92]:

- Ajustando firmemente a la puesta a tierra los neutros del transformador, especialmente el neutro del devanado primario. Esta conexión permite que el componente adicional del tercer armónico genere corriente en la línea neutra en vez de agrupar grandes diferencias de potencial. El cable neutro a su vez proporciona una ruta de retorno para cuando exista alguna inestabilidad de corriente en la carga.

- Incrementar un tercer devanado y conectarlo en delta al banco de transformadores, puesto que si se incrementa al transformador un tercer devanado el cual esté conectado en delta, los elementos de voltaje del tercer armónico en delta se incorporarán, provocando un movimiento de corriente circulante dentro de este enrollamiento. Es decir, se anulan los componentes de voltaje del tercer armónico de la misma forma que colocando a tierra los neutros de los transformadores.

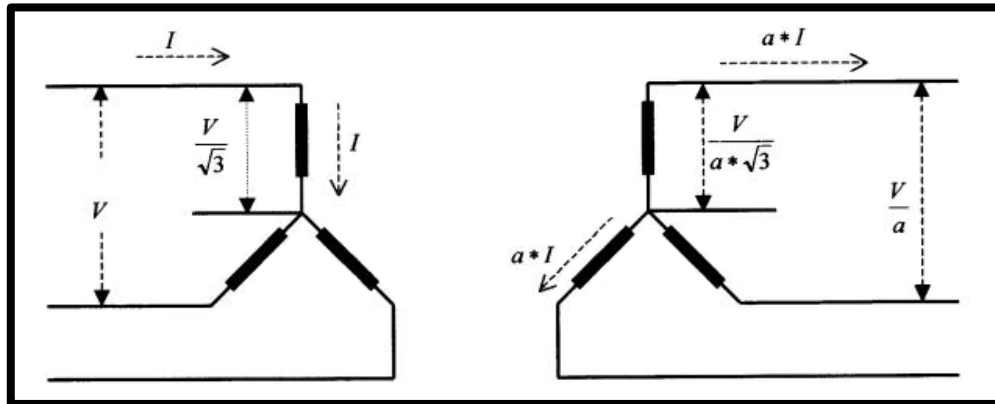


FIGURA 9: CONEXIÓN YE-YE DE UN TRANSFORMADOR TRIFASICO [15].

### 2.3.2.2 Conexión estrella-delta (Y-Δ)

En esta conexión Y-Δ, la diferencia de potencial primaria de línea se encuentra enlazado con la diferencia de potencial primaria de fase, por otra parte, la diferencia de potencial de línea secundario es igual a la diferencia de potencial de fase secundario.

En esta conexión no se presentan inconvenientes de tercera armónica en los componentes de sus voltajes, ya que se consume una corriente circulante en el lado de delta. Esta conexión se comporta más estable en casos de desequilibrio de cargas, ya que la conexión en delta disminuye porcentualmente cualquier inestabilidad que aparezca [10, p. 94].

Esta conexión presenta un inconveniente, ya que, por su propia conexión, la diferencia de potencial del secundario se desfasa en  $30^\circ$  con respecto a la diferencia de potencial del primario del transformador, este suceso en el que se desplaza una fase podría generar dificultades en la coordinación en paralelo de los secundarios en los bancos de transformadores respectivamente. Cada ángulo de fase de los secundarios de los transformadores debe ser idénticos si se van a enlazar en paralelo, esto manifiesta que hay

que desfasarlos a  $30^\circ$  en su respectivo banco del transformador para ubicarlos en paralelo [10, p. 94].

Este es el tipo de conexión que se emplea usualmente para los transformadores reductores en donde no se requiere de la presencia de neutro en la carga trifásica del devanado de baja tensión. Entre sus particularidades tenemos [14, p. 271]:

- No es posible la conexión a tierra del devanado secundario.
- Los voltajes de tercer armónico se eliminan ya que la corriente imana de tercer armónico sigue recorriendo en el interior de la conexión en delta del devanado secundario.

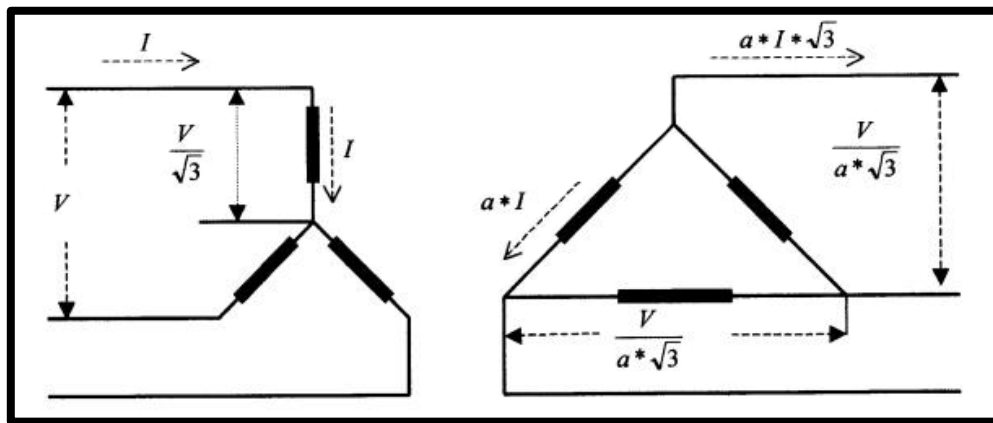


FIGURA 10: CONEXIÓN YE-Δ DE UN TRANSFORMADOR TRIFASICO [15].

### 2.3.2.3 Conexión delta-estrella (Δ-Y)

En esta conexión delta-estrella se cuenta con las mismas virtudes y un desfase igual a la conexión de transformador Y-Δ, ocasionando que el voltaje secundario atrase  $30^\circ$  al voltaje primario [10, p. 95].

Este tipo de conexión es empleado usualmente para los transformadores de gran potencia cuyo fin es elevar el extremo emisor de una línea de transmisión en alto voltaje. El neutro de la conexión estrella en el devanado de alto voltaje se acostumbra a conectarse a tierra para certificar una distribución con equilibrio de voltajes en la relación de las líneas y la tierra, de esta manera menorar tensiones encontradas entre las bobinas de los transformadores y los núcleos. En ocasiones la unión a tierra del neutro se ejecuta a través



de una impedancia favorable, cuya finalidad es la de restringir la magnitud de corriente derivada de cortocircuito con respecto a línea y tierra. La clase de conexión también es utilizada en transformadores reductores, en ocasiones donde se requiere una conexión de bajo voltaje al punto neutro. Unas de sus particularidades son [14, p. 271]:

- Al conectar a tierra el neutro del enrollamiento secundario se eliminan las corrientes de tierra de secuencia cero.
- Se suprime las diferencia de potencial del tercer armónico, debido a que la corriente magnetizante de tercer armónico permanece recorriendo en el interior del delta del primario.
- En la conexión estrella se utiliza un aislamiento especificado donde se llega al valor de tensión del neutro.

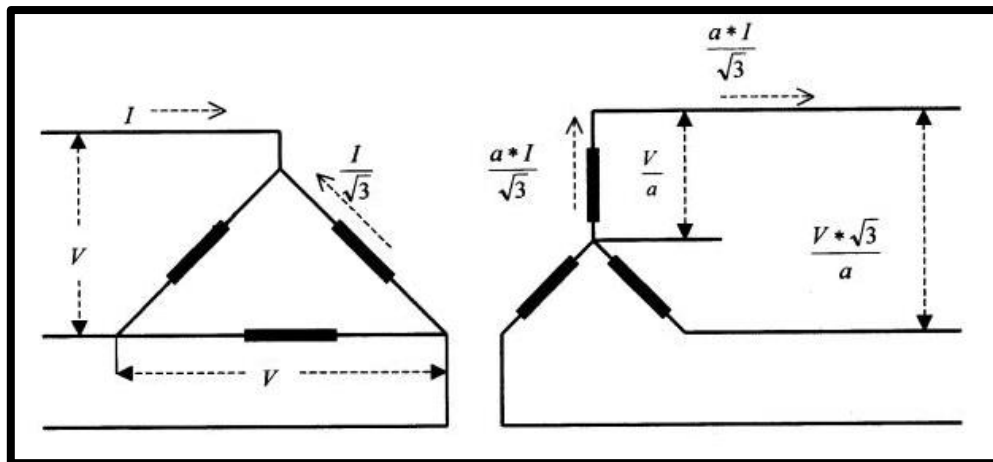


FIGURA 11: CONEXIÓN Δ-YE DE UN TRANSFORMADOR DE TRES FASES [15].

## 2.4 Sistemas de protección

El sistema de protección es una agrupación de equipos y elementos encargados en detectar y neutralizar cualquier tipo de falla o condición anormal que se presente en un SEP, con el fin de proteger la integridad de los equipos y personas, por ende, se alcanza a mantener la estabilidad del sistema, logrando de esta manera un servicio de calidad hacia los consumidores [16].

### 2.4.1 **Objetivos del sistema de protección**

Como objetivo principal el sistema de protección tiene el encargo de aislar rápidamente una zona en falla o condición anormal donde se encuentre operando el sistema eléctrico, de manera que el resto del sistema eléctrico pueda seguir funcionando en la medida de lo posible [17, p. 17].

Conviene señalar que el empleo del término protección no se especifica, ni se compromete a que el equipo de protección pueda impedir inconvenientes, tales como desperfectos y fallas del equipo, o descargas eléctricas ocasionadas por contacto involuntario de un ser humano. No anticipa los problemas, por lo tanto, los relés de protección únicamente actúan luego de que se origine una condición irregular o intolerable, con referencias suficientes para dar apertura a su operación. En lo cual, la protección no significa que va a prevenir problemas, sino acortar el tiempo que el problema pueda durar y su vez restringir los perjuicios, la duración de interrupción y los inconvenientes correlacionados que pueden resultar de otra manera [17, p. 17].

Entre los objetivos primordiales del sistema de protección tenemos [6, p. 32]:

- Despejar las fallas originadas en un sistema eléctrico de potencia con rapidez, confiabilidad y selectividad.
- Resguardar a las personas y equipos de sobre corrientes y sobrevoltaje, de manera efectiva.
- Minimizar efectos dañinos que producen las fallas en un SEP
- Asegurar la calidad y continuidad del servicio eléctrico
- Localizar y establecer el valor y la extensión del tiempo de fallas.
- Distinguir escenarios de fallas por medio del monitoreo continuo de las variables del SEP: Voltaje (V), Corriente (I), Frecuencia (f), Impedancia (Z).

### 2.4.2 **Particularidades de los sistemas de protecciones**

En un sistema de protección se requieren las características descritas a continuación [17, p. 19]:

#### **2.4.2.1 Fiabilidad**

Es la garantía de que la protección funcionará correctamente. La fiabilidad consta de dos aspectos, la fiabilidad y la seguridad. La fiabilidad indica la capacidad del sistema de protección para funcionar correctamente cuando se lo exige, mientras la seguridad es la capacidad para impedir el funcionamiento innecesario durante el funcionamiento normal del día a día e impedir el funcionamiento cuando se produzcan fallos y problemas fuera de la zona de protección asignada.

#### **2.4.2.2 Selectividad**

Es la capacidad del sistema para asegurar la máxima continuidad del servicio con la mínima desconexión del sistema en casos de falla o condiciones anormales de operación del SEP.

#### **2.4.2.3 Velocidad de funcionamiento**

Capacidad de respuesta del sistema de protección para aislar una zona problemática lo más rápidamente posible, de esta manera se minimizará la duración de los fallos y los consiguientes daños en los equipos e inestabilidad del sistema.

#### **2.4.2.4 Simplicidad**

Un sistema de protección debe ser lo más sencillo y simple posible, esto sin dejar de cumplir los objetivos propuestos. Debe estar compuesto por el número mínimo de equipos de protección y circuitos agrupados para alcanzar los objetivos de protección.

#### **2.4.2.5 Economía**

El sistema de protección debe cumplir con todas las características antes mencionadas, es decir, alcanzar una máxima protección con un coste total mínimo.

#### **2.4.3 Protección principal y de respaldo de los sistemas de protección**

Todos los equipos, elementos en un SEP deben estar íntegramente protegidos de tal manera que los relevadores actúen solamente cuando se detecte una falla en el sistema. Algunos relevadores solo operan cuando ocurren fallas dentro de una zona específica de protección, a estas se les denomina protección unitaria.

Otros tipos de relés tienen la capacidad de encontrar anomalías dentro de la zona particularmente establecida y al exterior de ella, normalmente en zonas cercanas, estas logran utilizarse de manera de respaldo de la protección principal como defensa secundaria.

#### **2.4.3.1 Protección primaria**

Una protección principal o primaria es la encargada de restringir cualquier tipo de falla en primera instancia, cubriendo una zona delimitada la cual está conformada por varios componentes del SEP. Esta protección puede estar conformada por varios equipos que protegen a un único elemento [16].

#### **2.4.3.2 Protección secundaria o de respaldo**

Esta protección es la encargada de actuar en ocasiones donde la protección principal no actúe por cualquier razón, el relé de protección secundario o respaldo posee un componente de protección que puede ser similar o no al empleado por la protección principal, que contiene un circuito de tiempo definido que retarda la actuación del relé y admite el tiempo suficiente para que así la protección primaria actúe antes que la secundaria [18].

#### **2.4.4 Componentes de un sistema de protección.**

##### **2.4.4.1 Transformadores de corriente (TC)**

Los transformadores de corriente son dispositivos cuya finalidad es proporcionar aislamiento del voltaje en un SEP y suministrar una corriente secundaria de valor normalizado de 1A, 2A y 5A de último, para alimentar a los relés



los cuales el más utilizado es este de protección [19, p. 31].

FIGURA 12: TRANSFORMADOR DE CORRIENTE [32].

#### 2.4.4.2 Transformador de potencial (TP)

Los transformadores de potencial tienen como finalidad reducir la magnitud de voltaje nominal del sistema de potencia a un nivel voltaje secundario considerando un desfasamiento de ángulo aproximadamente cero para alimentar a los relés de protección con tensión de valor normalizado. Los valores normalizados de tensión son: 100, 110, 115, 120, y 230V [19, p. 34].



FIGURA 13: TRANSFORMADOR DE POTENCIAL INDUCTIVO [20].

#### 2.4.4.3 Fuentes DC o baterías

Son equipos que tienen como objetivo servir como fuente de alimentación al sistema de protección, cabe recalcar que la fuente de poder de un sistema de protección no debe ser alimentado de manera directa a la red ya que, en caso de algún fallo en la red, la fuente de poder para el sistema podría verse afectada y por ende el equipo de protección no actuara de manera adecuada. En la mayoría de los casos esta fuente de poder es una batería, la que se debe conectar por medio un cargador a la línea de corriente alterna de servicio complementarios de la subestación eléctrica. Asimismo, ante un defecto en la alimentación, la batería consta de una autonomía de servicio de 8 a 12 horas para proveer potencia al equipo de protección [6, p. 37].

#### 2.4.4.4 Interruptores

El interruptor es el equipo cuya función principal es conectar y desconectar un circuito en tensión normal de operación o de falla, aislando el punto donde se ha originado la falla. Este dispositivo opera con las señales de disparo que recibe de los relés de protección, para desenergizar al elemento que se encuentra en falla, de esta manera el resto del sistema podrá seguir trabajando de manera normal. [19].



FIGURA 14: INTERRUPTOR DE POTENCIA SIEMENS [21]

#### 2.4.4.5 Relés de protección

Es el instrumento de mayor importancia dentro de un sistema de protecciones, ya que son los encargados de detectar fallas o condiciones anormales en el sistema, esto lo realizan con la información que reciben de los elementos de medición, compara los puntos y disponen la maniobra a ejecutarse. Está se complementa en un contacto introducido en el tablero de control de interruptores el cual ejecuta su cierre para realizar la apertura de ellos [13].

## **2.5 Relés de protección**

Un relevador de protección es un equipo parametrizable de discriminación, cuya función es decidir si el SEP está atravesando una falla o disturbio, emplea contactos que dependiendo el caso llevan a actuar al sistema de protecciones, por ejemplo, accionar un elemento de protección (disyuntor) o activar una alarma. Para la toma de decisión el relé es parametrizado, los valores configurados en el relé son puestos en comparación con los que entregan los dispositivos de medida (TC y TP), de esta manera protege de daños a los elementos que formen parte del sistema [22].

Las funciones específicas de un relé son [22, pp. 38-39]:

- Recibir las señales de los dispositivos de medición de entrada.
- Calcular los valores de los elementos de medición de entrada.
- Cotejar el valor ajustado con los valores recibidos por los elementos de medición.
- Mediante la comparación accionar abriendo o cerrando sus contactos auxiliares.

Las características que debe tener un relé de protección son [22, p. 39]:

- Adaptación.
- Memoria.
- Comparación.
- Decisión.

### **2.5.1 Clasificación de los relés**

Los relevadores de protección se clasifican de varias maneras, por ejemplo, por su función características de rendimiento o principios de funcionamiento. La clasificación por función es la más común.

#### **2.5.1.1 Clasificación de los relés según su función general**

##### **2.5.1.1.1 Relés de protección**

Un relé de protección es un dispositivo electrónico cuya función es censar algún cambio en la señal recibida por los dispositivos de medición (TC y TP). En caso de que la magnitud de la señal de entrada se encuentra fuera de límites parametrizados, el relé actuara, abriendo o cerrando contactos eléctricos para empezar la maniobra de protección. Puede empezar o admitir el accionamiento de un interruptor o una alarma [18].

#### **2.5.1.1.2 Relés de monitoreo**

Los relés de monitoreo son utilizados para verificar las condiciones del sistema de energía o del sistema de protección. En los sistemas de energía son los detectores de fallas, la comprobación de la tensión o las unidades de detección direccional que confirman las condiciones del sistema de energía, pero no detectan directamente el fallo o el problema [17, p. 24].

#### **2.5.1.1.3 Relés auxiliares**

Las unidades auxiliares se utilizan en todo el sistema de protección para diversos fines. En general, hay dos categorías: multiplicación de contactos y aislamiento de circuitos. En los sistemas de relés y de control, es frecuente que se necesiten (1) más salidas para disparos múltiples, alarmas y el funcionamiento de otros equipos, como el registro y la adquisición de datos y el bloqueo; (2) contactos que soporten mayores corrientes o tensiones en los sistemas secundarios; y (3) el aislamiento eléctrico y magnético de varios circuitos secundarios [17, p. 24].

#### **2.5.1.1.4 Relés de control o reguladores**

Los relés de regulación están asociados a los cambiadores de tomas de los transformadores y a los reguladores de los equipos de generación para controlar los niveles de tensión con cargas variables. Los relés de regulación se utilizan durante el funcionamiento normal del sistema y no responden a los fallos del sistema, a menos que éstos permanezcan mucho tiempo en el sistema [17, p. 24].

#### **2.5.1.1.5 Relés de programación**

Establecen o detectan secuencias eléctricas, para el tiempo de cierre y sincronización [18, p. 82].

#### **2.5.1.2 Clasificación de los relés de acuerdo con su construcción [18, p. 82].**

- Relevadores electromagnéticos o electromecánicos.
- Relevadores de estado sólido.
- Relevadores de porcentaje.
- Relevadores de producto.
- Relevadores a base de microprocesadores.
- Relevadores computarizados.



- Relevadores no eléctricos (térmicos, de presión, etc.).

### 2.5.1.3 Clasificación de los relés de acuerdo con el tipo de protección [18, p. 82].

- Relevadores de sobre corriente.
- Relevadores de sobre corriente de CA (operan de acuerdo a la relación de fase entre cantidades de CA).
- Relevadores de distancia (operan de acuerdo a la distancia entre el transformador de corriente del relevador y la falla. La distancia es medida en términos de  $Z$ ,  $X$  o  $R$ ).
- Relevadores diferenciales (operan de acuerdo a la diferencia escalar o vectorial entre dos cantidades de corriente o de voltaje. Relevadores de potencia inversa).
- Relevadores de tiempo inverso.
- Relevadores de tiempo definitivo.
- Relevadores de bajo voltaje.
- Relevadores de tierra.
- Relevadores de fase (segregada).
- Relevadores de comparación de fase.
- Relevadores de comparación direccional.
- Relevadores direccionales de CC (operan de acuerdo a la dirección de la corriente y son modelos de bobina móvil).

## 2.6 Identificación internacional de dispositivos de protecciones eléctricas según norma ANSI/IEEE C37-2

TABLA 1: IDENTIFICACIÓN INTERNACIONAL DE DIPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ANSI/IEEE [23]

NÚMERO ANSI/IEEE	FUNCIÓN
1	ELEMENTO MAESTRO O DISPOSITIVO DE INICIALIZACIÓN.
2	RELEVADOR DE ARRANQUE O CIERRE DE TIEMPO DIFERIDO.
3	RELEVADOR DE ENCLAVAMIENTO O DE COMPROBACIÓN.
4	CONTADOR MAESTRO.
5	DISPOSITIVO DE PARADA.
6	INTERRUPTOR DE ARRANQUE.

7	INTERRUPTOR ANÓDICO.
8	DISPOSITIVO DE DESCONEXIÓN DEL CONTROL DE POTENCIA.
9	DISPOSITIVO DE INVERSIÓN.
10	SUICHE DE SECUENCIA UNITARIA.
11	RESERVADO PARA FUTURA APLICACIÓN.
12	DISPOSITIVO DE SOBREVOLUCIDAD.
13	DISPOSITIVO DE VELOCIDAD SÍNCRONA.
14	DISPOSITIVO DE BAJA VELOCIDAD.
15	DISPOSITIVO DE ADAPTACIÓN DE VELOCIDAD O DE FRECUENCIA.
16	RESERVADO PARA FUTURAS APLICACIONES.
17	SUICHE DE DERIVACIÓN O DE DESCARGA.
18	DISPOSITIVO DE ACELERACIÓN O DESACELERACIÓN.
19	CONTACTOR DE TRANSICIÓN DE ARRANQUE A MARCHA.
20	VÁLVULA OPERADA ELÉCTRICAMENTE.
21	RELEVADOR DE DISTANCIA.
22	INTERRUPTOR DE COMPENSACIÓN.
23	DISPOSITIVO DE CONTROL DE TEMPERATURA.
24	RESERVADO PARA FUTURA APLICACIÓN.
25	DISPOSITIVO DE SINCRONIZACIÓN O DE COMPROBACIÓN DE SINCRONISMO.
26	DISPOSITIVO DE APARATO TÉRMICO.
27	RELEVADOR DE BAJO VOLTAJE.
28	RESERVADO PARA FUTURA APLICACIÓN.
29	CONTACTOR DE AISLAMIENTO.
30	RELEVADOR ANUNCIADOR.
31	DISPOSITIVO DE EXCITACIÓN SEPARADA.
32	RELEVADOR DIRECCIONAL DE POTENCIA.
33	SUICHE DE POSICIÓN.
34	SUICHE DE SECUENCIA DE LA OPERACIÓN DE UN MOTOR.
35	DISPOSITIVO PARA CORTOCIRCUITAR ANILLOS COLECTORES O DE OPERACIÓN DE ESCOBILLAS.
36	DISPOSITIVO DE POLARIDAD.
37	RELEVADOR DE BAJA CORRIENTE O DE BAJA POTENCIA.
38	DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DE SOPORTE.
39	RESERVADO PARA FUTURA APLICACIÓN.
40	RELEVADOR DE CAMPO.
41	INTERRUPTOR DE CAMPO.
42	INTERRUPTOR DE MARCHA.
43	DISPOSITIVO SELECTOR DE TRANSFERENCIA MANUAL.
44	RELEVADOR DE ARRANQUE Y DE SECUENCIA UNITARIA.
45	RESERVADO PARA FUTURA APLICACIÓN.
46	RELEVADOR DE CORRIENTE DE FASE INVERSA O DE BALANCE DE FASE.
47	RELEVADOR DE VOLTAJE DE SECUENCIA DE FASE.

48	RELEVADOR DE SECUENCIA INCOMPLETA.
49	RELEVADOR TÉRMICO DE UNA MÁQUINA O DE UN TRANSFORMADOR.
50	RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE DE ACCIÓN INSTANTÁNEA.
51	RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE DE TIEMPO AC.
52	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO DE CORRIENTE ALTERNA.
53	RELEVADOR DE GENERADOR DC O DE EXCITACIÓN.
54	INTERRUPTOR DC DE ALTA VELOCIDAD.
55	RELEVADOR DE FACTOR DE POTENCIA.
56	RELEVADOR DE APLICACIÓN DE CAMPO.
57	DISPOSITIVO DE CORTOCIRCUITO O DE PUESTA A TIERRA.
58	RELEVADOR DE FALLA DE ENCENDIDO DE RECTIFICADOR DE POTENCIA.
59	RELEVADOR DE SOBREVOLTAJE.
60	RELEVADOR DE BALANCE DE VOLTAJE.
61	RELEVADOR DE BALANCE DE CORRIENTE.
62	RELEVADOR DE PARADA O DE APERTURA DE TIEMPO DIFERIDO.
63	RELEVADOR DE FLUJO DE LÍQUIDO, DE NIVEL O DE PRESIÓN DE GAS.
64	RELEVADOR DE PROTECCIÓN DE TIERRA.
65	GOBERNADOR.
66	DISPOSITIVO DE ESCALONAMIENTO.
67	RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE DIRECCIONAL AC.
68	RELEVADOR DE BLOQUEO.
69	DISPOSITIVO DE OPERACIÓN PERMITIDA.
70	REÓSTATO OPERADO ELÉCTRICAMENTE.
71	RESERVADO PARA FUTURAS APLICACIONES.
72	INTERRUPTOR AUTOMÁTICO DC.
73	CONTADOR DE RESISTENCIA DE CARGA.
74	RELEVADOR DE ALARMA.
75	MECANISMO DE CAMBIO DE POSICIÓN.
76	RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE DC.
77	TRANSMISOR DE PULSOS.
78	RELEVADOR DE PROTECCIÓN PARA MEDIDA DE ÁNGULO DE FASE, O DE FUERA DE SINCRONISMO.
79	RELEVADOR DE RECIERRE AC.
80	RESERVADO PARA FUTURA APLICACIÓN.
81	RELEVADOR DE FRECUENCIA.
82	RELEVADOR DE RECIERRE DC.
83	RELEVADOR AUTOMÁTICO SELECTIVO DE CONTROL O DE TRANSFERENCIA.
84	MECANISMO DE OPERACIÓN.
85	RELEVADOR RECEPTOR DE ONDA PORTADORA, O DE HILO PILOTO.
86	RELEVADOR DE BLOQUEO, O DE FIJACIÓN.
87	RELEVADOR DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL.
88	MOTOR AUXILIAR O GENERADOR AUXILIAR.

89	SUICHE DE LÍNEA.
90	DISPOSITIVO DE REGULACIÓN.
91	RELEVADOR DIRECCIONAL DE VOLTAJE.
92	RELEVADOR DIRECCIONAL DE VOLTAJE Y DE POTENCIA.
93	CONTACTOR DE CAMBIO DE CAMPO.
94	RELEVADOR DE DISPARO, O DE LIBRE DISPARO.
95 A 99	USADOS SOLO PARA APLICACIONES ESPECÍFICAS EN INSTALACIONES INDIVIDUALES DONDE NINGUNO DE LOS NÚMEROS DE 1 A 94 HA SIDO USADO.

## 2.7 Protección diferencial

Los relés de protección diferencial tienen una diversidad de formas, esto depende del dispositivo a proteger, como transformadores, generadores, barras y líneas. Estos relés de protección operan al momento en que diferencia vectorial entre dos o más magnitudes eléctricas excede el valor seteado en el dispositivo de protección. Esta protección es de tipo primaria [24, p. 14].

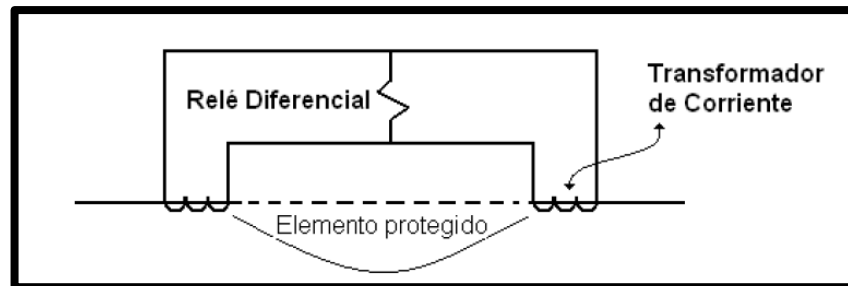


FIGURA 15: PROTECCIÓN DIFERENCIAL [24].

Esta protección es netamente selectiva de un dispositivo y se efectúa cotejando las intensidades de corriente en la entrada del devanado primario y a la salida del devanado secundario. Se podría decir que el principio de operación en esta protección es basa a la ley de corriente de Kirchoff que afirma: “La suma de las corrientes que llegan a un nodo es igual a la suma de corrientes que salen del mismo” [7, p. 31].

En situaciones de normal operación siempre tendrá una igualdad de magnitudes de corriente en la cual las corrientes que lleguen al relé diferencial se derogan dando cero en el valor de corriente de su bobina de operación, esto quiere decir que no habrá una diferencia de corrientes que haga accionar esta protección. Ocurre un caso similar al momento que existen fallas al exterior del elemento a proteger, pero en caso de que ocurra

una falla interna a la zona de protección está provocará que exista una diferencia de corriente a la que nombramos corriente diferencial y hará que actúe el relé de protección [7, p. 31].

### 2.7.1 Protección diferencial de transformadores

La protección diferencial se recomienda para la protección principal de cada uno de los elementos que componen un sistema de potencia. Un relé diferencial de corriente es el tipo de protección empleado frecuentemente para transformadores de 10 MVA o superiores. La protección diferencial es de utilidad adecuada para detectar fallas que se producen tanto en el interior del transformador como en sus conexiones externas hasta los transformadores de corriente relacionados con este tipo de protección [19, p. 45].

En la figura 16 se expone el esquema primordial de protección diferencial; los TC's disminuyen las magnitudes de corrientes de los devanados principal y secundario del transformador de potencia. Las relaciones de transformación de los TC's son elegidas de forma en que cada TC's provea en su secundario la misma corriente. Las corrientes que son enviadas de los TC's son cotejadas al pasar a través del relevador diferencial. En situaciones normales de operación del transformador y ante fallas externas, la corriente diferencial a través del relevador de protección es prácticamente cero, como se muestra en la figura (a); para fallas internas, la corriente diferencial es la suma de las corrientes que alimentan la falla, como se muestra en la figura (b) [19, p. 45].

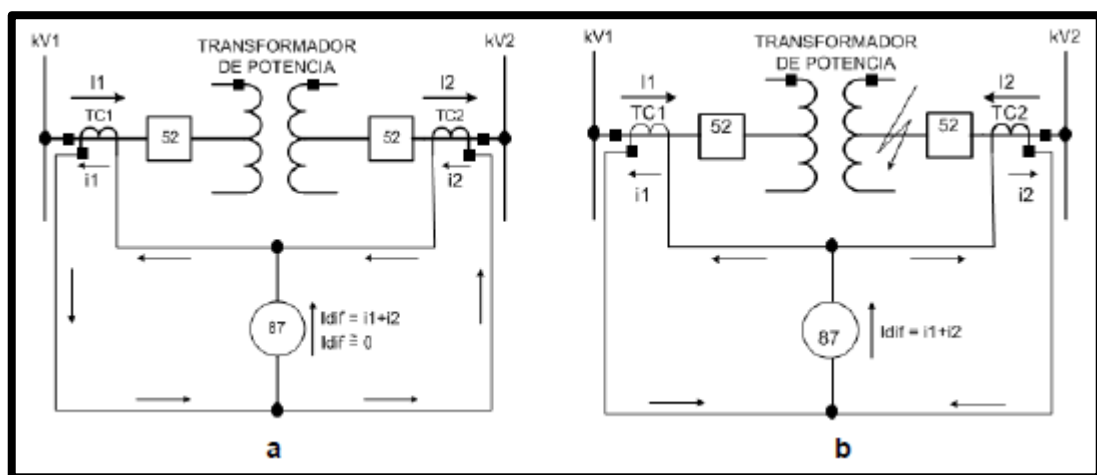


FIGURA 16: ESQUEMA BASICO DE LA PROTECCIÓN DIFERENCIA (A) SIN FALLA, (B) FALLA INTERNA [19].

La protección diferencial de un transformador trifásico muestra algunas diferencias cuando se ejecuta por medio de relevadores electromecánicos y cuando se hace con un relevador digital. En los transformadores con conexiones estrella-delta y delta-estrella, se presentan desfases entre las corrientes del devanado primario y las corrientes del lado secundario de  $30^\circ$ . Los relevadores diferenciales electromecánicos son monofásicos, por lo que se requiere realizar arreglos en las conexiones de los TC's, para compensar dichos desfases. Para conseguir esta compensación los TC's se conectan de manera inversa a la conexión del transformador de potencia, es decir, si el primario del transformador está conectado en delta, los TC's se conectan en estrella y si el secundario está en estrella, los TC's se conectan en delta [19, p. 46].

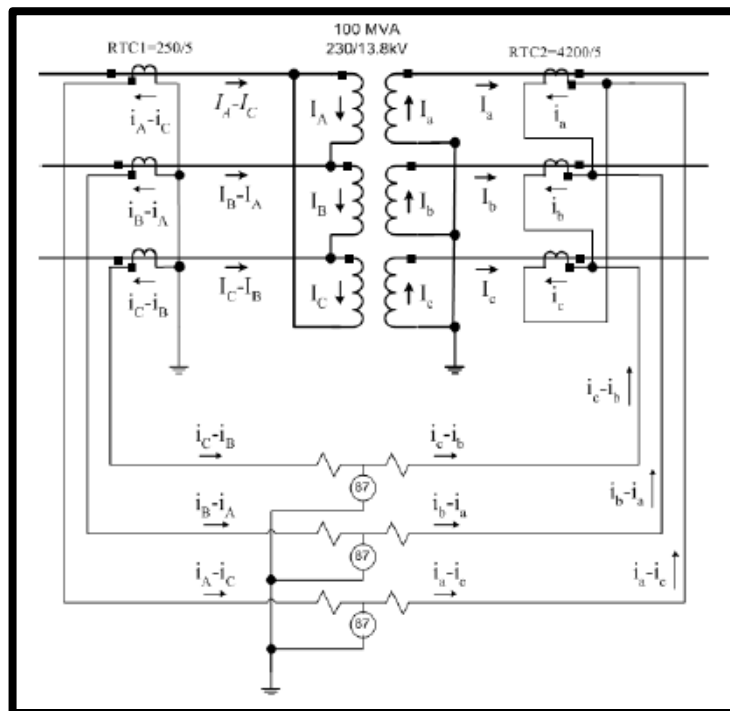


FIGURA 17: PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO POR MEDIO DE RELÉ ELECTROMECAÍNICO [19].

Por otro lado, cuando la protección del transformador se ejecuta con un relevador digital, los filtros son parte del algoritmo para obtener fusores y el análisis se realiza para todo un espectro de frecuencias (de la señal fundamental a la 9ª armónica). Las compensaciones

de desfases también se realizan mediante algoritmos internos del relé digital [19, p. 46].

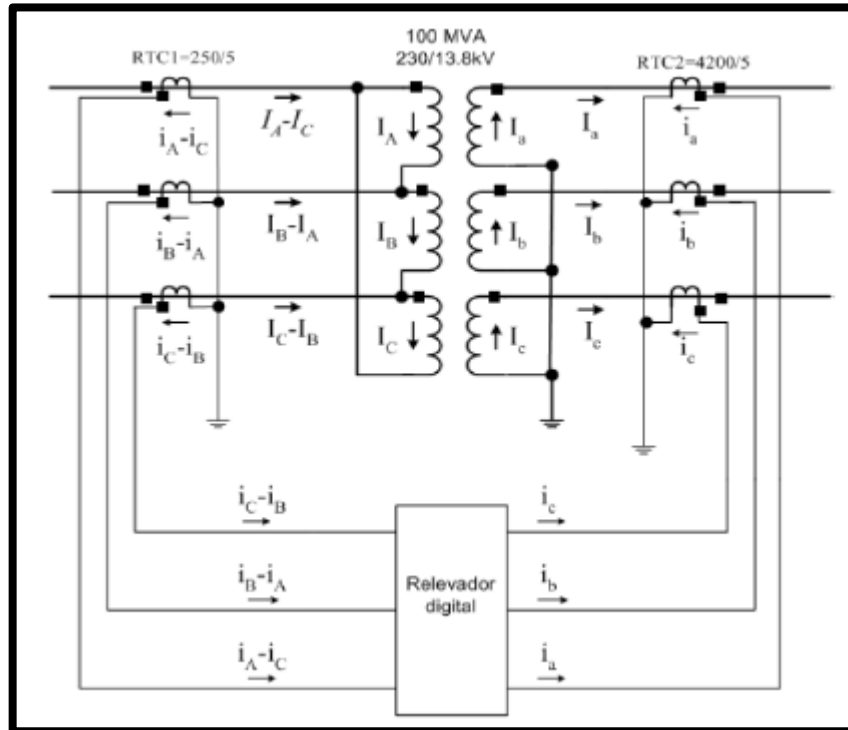


FIGURA 18: PROTECCIÓN DIFERENCIAL DE UN TRANSFORMADOR TRIFÁSICO POR MEDIO DE RELÉ DIGITAL [19].

### 2.7.2 Factores que afectan la protección diferencial

A la hora de aplicar la protección diferencial, hay que tener en cuenta varios factores [17, p. 297]:

- La corriente de irrupción imana (inrush).
- La sobreexcitación.
- La saturación del TC's.
- Diferentes niveles de tensión; ya que, los TC's son de diferentes tipos, relaciones y características de rendimiento.
- Desplazamientos de fase en bancos conectados en estrella-delta.
- Tomas del transformador para el control de la tensión.
- Cambios de fase o tomas de tensión en transformadores de regulación.

## **2.8 Falsas corrientes diferenciales**

### **2.8.1 Corriente de magnetización Inrush**

Al momento de energizar un transformador causa un gran flujo transitorio de corriente Inrush, los valores de esta corriente alcanzan magnitudes de entre 6 y 12 veces la corriente nominal del transformador. Esta corriente puede provocar un falso disparo de la protección diferencial ya que solo fluye por un solo devanado del transformador y el relé puede percibir este dato como una corriente diferencial [19, p. 50].

### **2.8.2 Sobreexcitación**

El nivel de flujo dentro de un transformador es proporcional a la tensión aplicada al mismo e inversamente proporcional a la frecuencia de la tensión aplicada [17].

Las condiciones de sobretensión o de baja frecuencia pueden originar niveles de flujo que saturan el núcleo del transformador. Un ejemplo es cuando se desconecta una carga repentinamente de un transformador, esto provoca que las tensiones en los terminales aumenten y causen un aumento de corriente de excitación del transformador. Esta corriente de excitación fluye por un solo devanado del transformador y surge como una corriente diferencial que puede disparar al relé de protección. Este fenómeno se caracteriza por tener un alto porcentaje de corrientes de 3ª y 5ª armónica [19, p. 51].

## **2.9 Relé de protección SEL-387E**

El relé de protección diferencial SEL 387-E es usado para proteger transformadores de potencia de dos o tres devanados, reactores, barras, generadores, grandes motores u otros aparatos de potencia multiterminal. Este relé proporciona tres elementos con características de doble pendiente [25].





FIGURA 19: RELÉ DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL SEL 387 E [26].

### 2.9.1 Funciones del relé SEL 387E

El relé de protección SEL 387E contiene funciones, las cuales pueden observarse en la figura 20:

- Protección diferencial de corriente
- Protección para fallas restringidas a tierra
- Protección de sobre corriente
- Protección volts-por-hertz
- Protección de sobre y bajo voltaje
- Protección de frecuencia

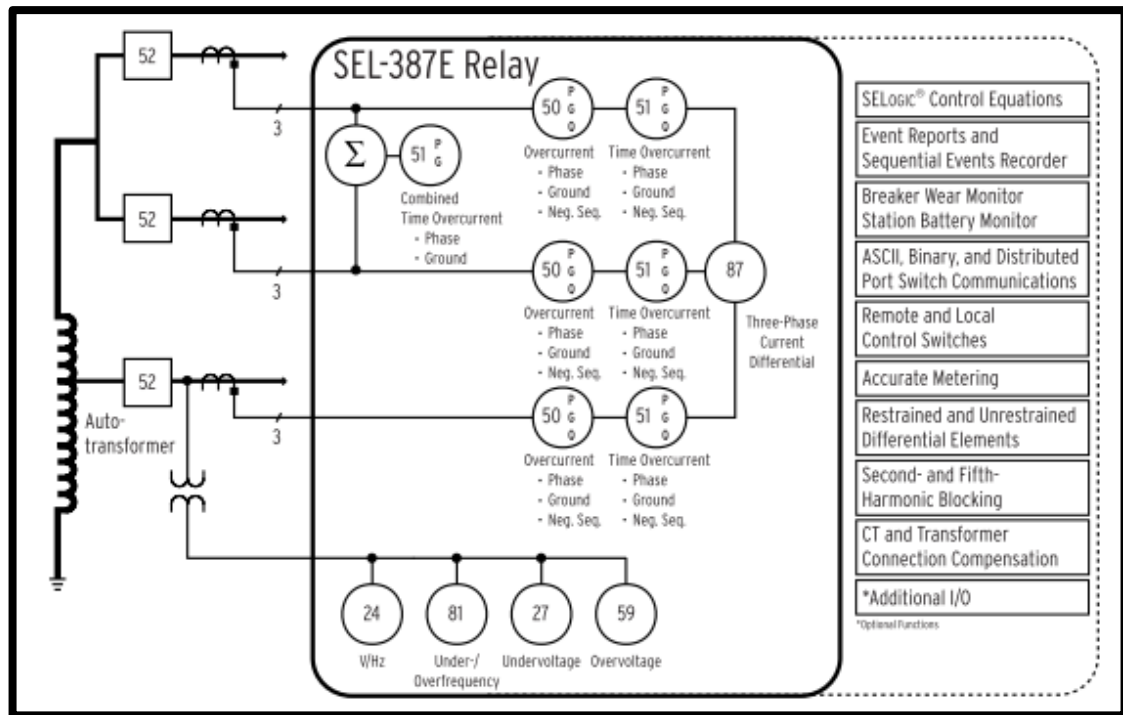


FIGURA 20: FUNCIONES DEL RELÉ SEL-387E [25].

### 2.9.2 Protección diferencial de corriente

El relevador SEL-387E incluye componentes de corriente diferencial con y sin retención de armónicos, independientes entre sí. Ya que estos componentes tienen la particularidad de doble pendiente, con retención de porcentaje variable.

El relé brinda la elección de bloqueo de armónicos o retención armónica, las mismas que facilitan el correcto funcionamiento durante situaciones de corriente inrush del transformador o condiciones de sobreexcitación permisibles. El bloqueo de armónicas pares (segunda y cuarta), reforzadas por bloqueo de DC, proporcionan seguridad durante la energización de transformadores evitando una falsa operación del relé por corriente inrush, en tanto que el bloqueo de quinta armónica provee seguridad para condiciones de sobreexcitación que puedan ocurrir cuando se desconecta una carga repentinamente de un transformador.

Un conjunto de elementos diferencial de corriente sin restricciones compara la cantidad de corriente diferencial de funcionamiento con un valor seteado, normalmente unas 10

veces el ajuste del TAP, este ajuste de captación sólo actuará en caso de fallos internos. [27]

### 2.9.2.1 Características de operación

El Relé SEL-387E posee tres elementos diferenciales (87R-1, 87R-2 y 87R-3). Estos elementos utilizan cantidades de operación (IOP) y de retención (IRT) que el relé calcula a partir de sus corrientes de entrada. La figura 21 muestra la característica del relé [25].

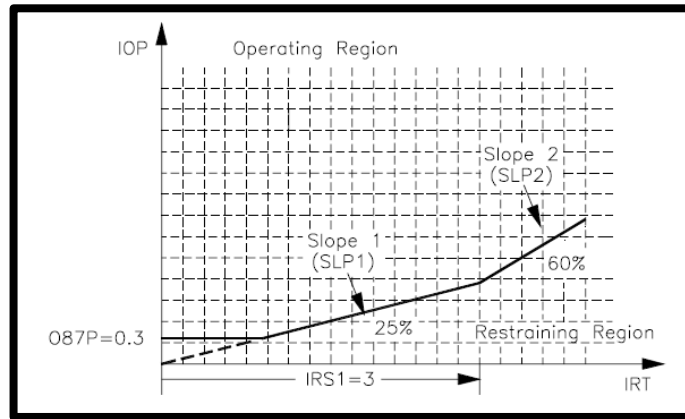


FIGURA 21: CARACTERÍSTICA DIFERENCIAL CON PORCENTAJE DE RETENCIÓN [25].

El usuario puede ajustar esta característica ya sea como de simple slope, característica diferencial de porcentaje; o como de slope dual, característica diferencial de porcentaje variable. El disparo ocurre si la cantidad de operación es mayor que el valor de la curva, para un valor de retención determinado. La cantidad de operación también debe satisfacer un valor mínimo de pickup. Los cuatro ajustes que definen la característica son [25, pp. 3-1]:

- O87P = mínimo nivel de IOP requerido para operación
- SLP1 = Slope inicial, se inicia en el origen e intercepta a O87P en  $IRT = O87P * 100 / SLP1$
- IRS1 = límite de IRT para la característica de operación SLP1; intersección en el punto de inicio de SLP2
- SLP2 = segundo slope. Si se usa, debe ser mayor o igual que SLP1

Los elementos sin retención (87U1, 87U2 y 87U3) comparan la cantidad IOP con el valor de ajuste (U87P), típicamente en torno de 10 veces TAP, y disparan si ese nivel es excedido. Estos elementos son usados para resguardar los bushings y los terminales de los enrollados de su transformador, manteniendo la seguridad contra corriente inrush y condiciones de falla externa.

### **2.9.2.2 Pickup de corriente de elementos sin retención**

El componente instantáneo de corriente sin restricción se utiliza para reaccionar rápidamente para niveles de magnitud corrientes muy elevados que indican rotundamente una falla interna. Ajuste el nivel de pickup (U87P) a 10 veces el TAP. El componente diferencial sin restricción reconoce sólo a la componente fundamental de la corriente de operación. No es afectada por los ajustes SLP1, SLP2, IRS1. De esta manera, debe ser configurado lo suficientemente alto para no actuar frente a grandes corrientes de Inrush [25, pp. 3-23].

### **2.9.2.3 Bloqueo de segunda armónica**

Simulaciones de transformadores exponen que la corriente imana de Inrush constantemente alcanza a más del 30 por ciento de  $IF2/IF1$ , en el primer ciclo del Inrush. Un ajuste de 15 por ciento comúnmente provee un margen de seguridad. Sin embargo, algunos tipos de transformador o la presencia dentro de la zona diferencial de algunos equipos que drenan corriente fundamental para sí mismos, puede pretender de un umbral tan bajo como 7 por ciento. Por ejemplo, la corriente fundamental de carga de un cable largo aplicado a los terminales secundarios de un transformador podría “diluir” el nivel de segunda armónica visto desde el primario a menos de 15 por ciento [25, pp. 3-24].

### **2.9.2.4 Bloqueo de cuarta armónica**

Las corrientes imanas de Inrush son originadas durante la energización de un transformador, cuando la corriente contiene un desplazamiento dc, debido al punto en que se sitúa la onda al momento de la energización. Las condiciones de Inrush se detectan típicamente usando armónicas pares y se usan para evitar errores de operación inducidos por esa misma causa. La componente armónica mayor es usualmente la segunda, seguida

por la cuarta armónica. Use bloqueo de cuarta armónica para proveer seguridad adicional frente a condiciones de Inrush; ajuste PCT4 menor que PCT2 [25, pp. 3-26].

#### **2.9.2.5 Bloqueo de quinta armónica**

El análisis de Fourier de las corrientes de un transformador durante sobreexcitación, indica que un ajuste de un 35 por ciento de quinta armónica es adecuado para bloquear el elemento diferencial de porcentaje. Para deshabilitar el bloqueo de quinta armónica, ajuste PCT5 en OFF. La presencia de corriente diferencial de quinta armónica se puede usar para activar una salida de alarma durante la partida. Esta alarma indica que la corriente de excitación nominal del transformador está excedida [25, pp. 3-24].

### **2.10 AcSELerator QuickSet**

AcSELerator QuickSet es un software que permite a los ingenieros y técnicos configurar y administrar dispositivos de protección, control y medición de un sistema de potencia de manera veloz y sencilla. El software es de distribución gratuita y puede ser descargado desde la página web oficial de SEL [28].

Para la descarga del software es necesario crear una cuenta con un correo institucional (Universidad o empresa) ya que correos personales como Outlook, Gmail, etc. No son admitidos.

### **2.11 Omicron CMC 356**

El equipo CMC356 de Omicron es una unidad universal de pruebas de todas las generaciones de relés de protección, cuenta con salidas de voltaje y corrientes trifásicas. Sus seis potentes fuentes de corriente (modo trifásico: hasta 64 A / 860 VA por canal) con un gran rango dinámico, permiten probar hasta los relés electromecánicos de alta carga con una demanda de potencia muy alta [29].



FIGURA 22: UNIDAD UNIVERSAL DE PRUEBAS DE RELÉS DE PROTECCIÓN OMICRON CMC 365 [29].

## 2.12 Test Universe

Test Universe es un software de Omicron para realizar pruebas basadas en parámetros, que contemplan todas las generaciones de dispositivos de protección, incluida la protección electromecánica y los IED multifuncionales en sistemas de subestación totalmente digitalizados. Test Universe tiene una distribución modular. Cada módulo contiene un requisito de prueba concreto y se puede iniciar directamente para realizar una prueba simple y manual. Todos los módulos brindan evaluaciones automáticas de los resultados, por ejemplo, según una característica de protección modelada o cualquier otro criterio definido por el usuario. [30]

# CAPÍTULO 3

## 3 Marco Metodológico

### 3.1 AcSELerator QuickSet

AcSELerator QuickSet es un software desarrollado por Schweitzer Engineering Laboratories, Inc. Esta herramienta tecnológica es usada para configurar, comisionar y administrar dispositivos de protección de una manera veloz y sencilla que va a ser utilizado con el fin de proteger, controlar, medir y monitoria los sistemas de energía.

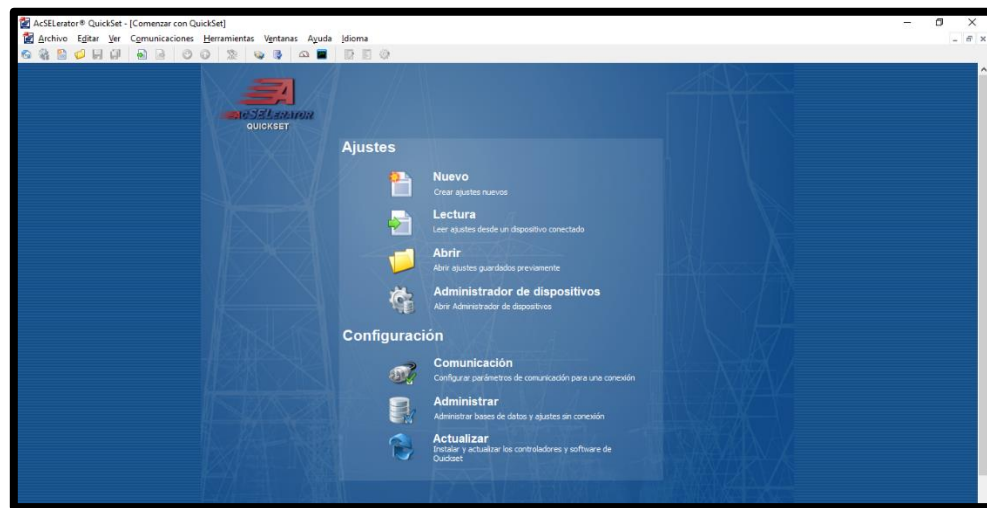


FIGURA 23: VENTANA PRINCIPAL DEL SOFTWARE ACSELERATOR QUICKSET. FUENTE: LOS AUTORES.

#### 3.1.1 Comunicación del relé al software

El relé 387-E es compatible con comunicaciones seriales o Ethernet, para la realización de esta tesis la comunicación del relé se efectuará por puerto serial.



FIGURA 24: CABLE DE COMUNICACIÓN SERIAL SEL C662. [26]

Para asociar el relé SEL 387-E al software debemos continuar estos pasos:

- Enlazar el cable de comunicación serial SEL C662 para la PC y el puerto serial del relé.
- Abrir el software AcSELeRator y en la ventana dar clic en comunicación.



FIGURA 25: VENTANA PRINCIPAL DEL SOFTWARE ACSELERATOR QUICKSET. FUENTE: LOS AUTORES.

- Aparecerá una ventana de parámetros de comunicación.
- En tipos de conexión activa seleccionar serial.
- En dispositivo seleccionar el puerto de comunicación de nuestra PC, en caso de no conocer este puerto, debemos dirigirnos al administrador de dispositivos de nuestro PC y dar clic en puertos (COM Y LTP), aquí aparecerá un dispositivo SEL en el cual daremos clic derecho y seleccionamos propiedades.



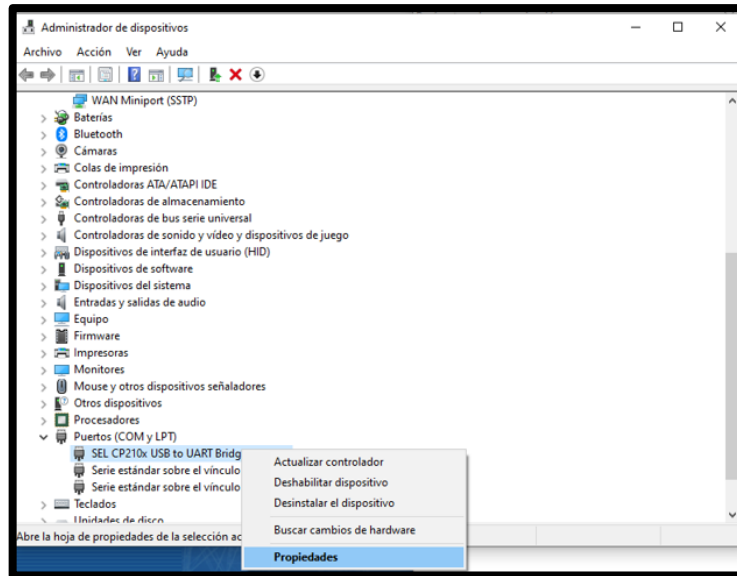


FIGURA 26: VENTANA DE ADMINISTRADOR DE DISPOSITIVO DEL PC. FUENTE: LOS AUTORES.

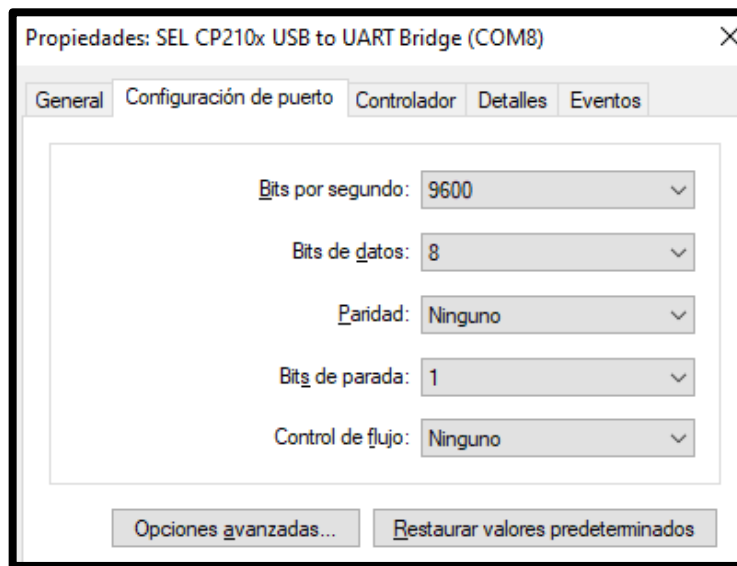


FIGURA 27: VENTANA PROPIEDADES DEL DISPOSITIVO SEL. FUENTE: LOS AUTORES.

- Con los datos de la pestaña de propiedad del puerto COM, obtenemos la velocidad de datos y los bits de datos que serán seleccionados en la ventana de comunicación del software AcSELerator.

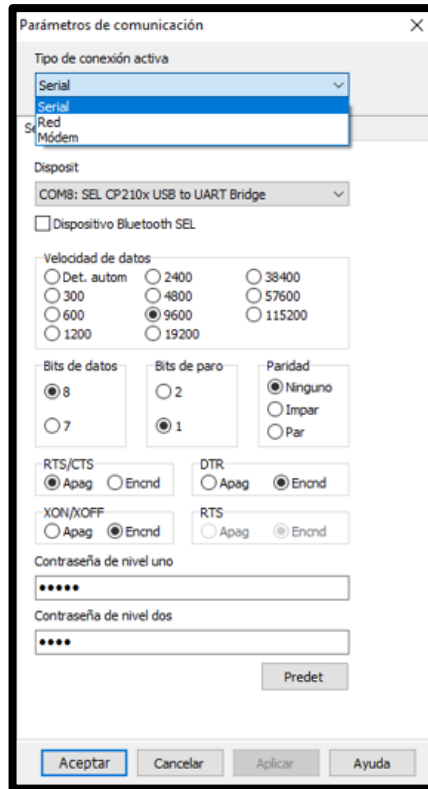


FIGURA 28: VENTANA DE PARAMETROS DE COMUNICACIÓN SERIAL. FUENTE: LOS AUTORES.

- Finalmente se da clic derecho en aceptar.
- Una vez conectado damos clic en lectura para entrar a la configuración del relé.



FIGURA 29: VENTANA PRINCIPAL DEL SOFTWARE ACCELERATOR QUICKSET. FUENTE: LOS AUTORES.

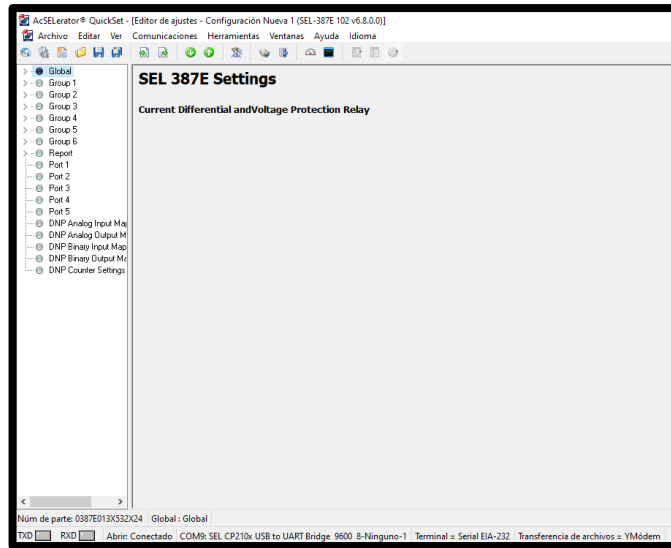


FIGURA 30: VENTANA DE CONFIGURACIÓN DEL RELÉ. FUENTE: LOS AUTORES.

## 3.2 Omicron

### 3.2.1 Omicron CMC 356

La Omicron CMC 356 es una maleta de inyección de corriente utilizada por técnicos y profesionales de ingeniería para probar el correcto funcionamiento de dispositivos de protección como los relés, mediante simulaciones de fallas que se realizan por medio de inyectar señales de corrientes, tensiones. También cumple funciones de monitoreo y funcionamiento del equipo en prueba.



FIGURA 31: EQUIPO UNIVERSAL DE PRUEBA DE RELÉS OMICRON CMC 356 [30].

### 3.2.2 Test Universe

Test Universe es un software de Omicron para realizar evaluaciones fundamentadas con parámetros, que agrupa cada generación de dispositivos de protección, incorporando protección electromecánica y los dispositivos electrónicos inteligentes multifuncionales con respecto a sistemas de subestación absolutamente digitalizados. El Test Universe cuenta con varios módulos para diferentes tipos de pruebas de diferentes protecciones.



FIGURA 32: VENTANA PRINCIPAL DEL SOFTWARE TEST UNIVERSE. FUENTE: LOS AUTORES.

#### 3.2.2.1 Módulos de prueba del Test Universe

##### 3.2.2.1.1 QuickCMC

Es un módulo de generación de modelo de fallas en donde se puede ingresar las magnitudes de salidas (voltaje, corriente, ángulo de fase) para la realización de fallas monofásicas, bifásicas y trifásicas.

##### 3.2.2.1.2 Ramping

Este módulo de prueba establece valores límite, como el mínimo voltaje de arranque o la histéresis de conmutación.

##### 3.2.2.1.3 Pulse Ramping

El módulo de rampa es útil para la búsqueda de valores de arranque de los relés multifuncionales de protección.

#### **3.2.2.1.4 State Sequencer**

Este módulo de prueba sirve para establecer los tiempos de funcionamiento y las sucesiones sensatas de coincidencia.

#### **3.2.2.1.5 Overcurrent**

Este módulo es usado para realizar evaluaciones automáticas para relevadores de sobre corrientes direccionadas y las no direccionadas con valoración autónoma respectivamente desde la característica del tiempo de disparo.

#### **3.2.2.1.6 Distance**

En este módulo produce las funciones para concretar y hacer pruebas de los relevadores de distancia a través de valoraciones de los componentes de impedancia, utilizando las definiciones de operación simple en el plano Z.

#### **3.2.2.1.7 VI Starting**

Proporciona funciones para efectuar la muestra de trabajo de sobre corrientes y subtensión. Descubre el valor del impulso, retorno y la conexión de cualquier punto de prueba especificado.

#### **3.2.2.1.8 Autoreclosure**

Prueba del oficio forzado de cierre automático de los respectivos relés de protección.

#### **3.2.2.1.9 Differential**

El módulo diferencial es un conjunto de módulos para pruebas de relés diferenciales, principalmente ventajoso para proyectos diferenciales de transformador para un rango de tres devanados e inyección hasta de nueve corrientes.

#### **3.2.2.1.10 Diff Configuration**

Este módulo se utiliza para simular fallos externos y comprobar la persistencia de la protección diferencial.

### 3.2.2.1.11 Diff Operating Characteristic

En este módulo se evalúa la labor de la protección en lo que corresponde a fallos en el interior de la zona protegida. La actuación eficaz del relevador, trabaje o no trabaje, se la valúa a través de la equiparación junto a la característica detallada.

### 3.2.2.1.12 Diff Trip Time Characteristic

En este módulo de prueba el sometimiento entre el tiempo de disparo y la magnitud de la corriente diferencial, se miden los tiempos de ejecución en las corrientes diferenciales establecidas. Las corrientes de experimento reales hacia las corrientes diferenciales específicas se deducen automáticamente.

### 3.2.2.1.13 Diff Harmonic Restraint

En este módulo se realiza la prueba de la función de bloqueo por armónicos, provocados por corrientes de fuerza del transformador y congestión del TC de un relé diferencial. Los valores de prueba se establecen en el dibujo de la característica de limitación de armónicos, donde la corriente diferencial se va a graficar encima del contenido en la restricción de armónico de la corriente de prueba establecida.

## 3.3 Asociación del equipo CMC 356 a PC

### 3.3.1 Pasos para asociar el equipo CMC 356 a PC

#### 3.3.2 Paso 1

Conectar el equipo CMC 365 a la fuente de poder y su puesta a tierra para proceder a encender el equipo.



FIGURA 33: CONEXIÓN DE FUENTE DE PODER U PUESTA A TIERRA DEL CMC 356. FUENTE: LOS AUTORES.

### 3.3.2.1 Paso 2

Conectar el cable de red que enlazara los dispositivos (PC y Omicron CMC 365).

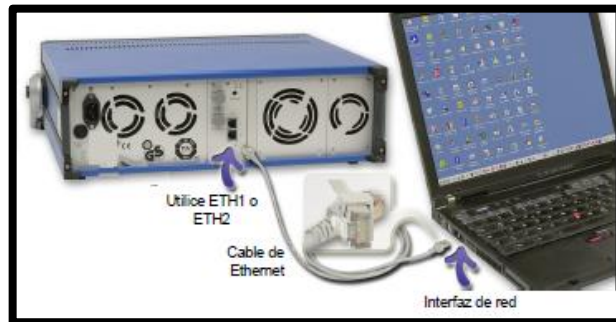


FIGURA 34: CONEXIÓN ETHERNET ENTRE PC Y OMICRON CMC 365 [30].

### 3.3.2.2 Paso 3

Abrir el programa Test Universe, en la pantalla principal en configurar dar clic en la opción asociación de unidad de prueba.

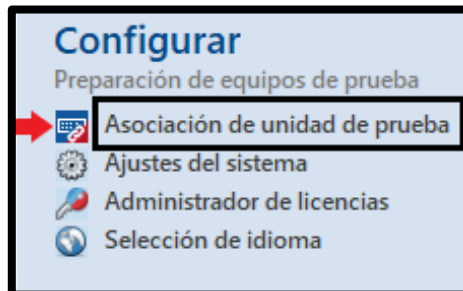


FIGURA 35: PASO 3 ASOCIACIÓN DE UNIDAD DE PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES.

### 3.3.2.3 Paso 4

En la pestaña que aparece dar clic izquierdo en la opción asociar dispositivo

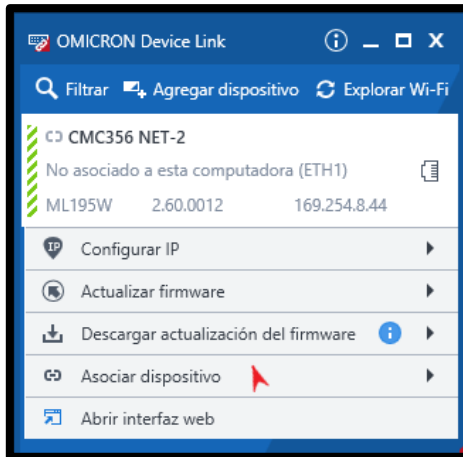


FIGURA 36: PASO 4 ASOCIACIÓN DE DISPOSITIVO. FUENTE: LOS AUTORES.

### 3.3.2.4 Paso 5

Presionar el botón ASOCIATE ubicado en la parte de atrás del equipo Omicron 365 mostrado en la siguiente figura.

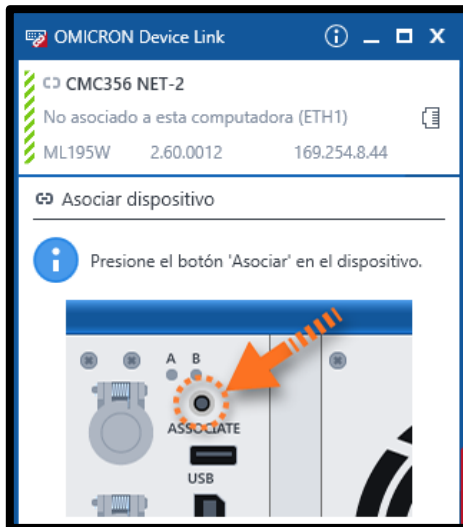


FIGURA 37: PASO 5 ASOCIACIÓN DEL DISPOSITIVO. FUENTE: LOS AUTORES.



### 3.3.2.5 Paso 6

EL dispositivo se asociará automáticamente después de presionar el botón en el paso anterior, asegurar que la conexión esta lista como se muestra en la figura.

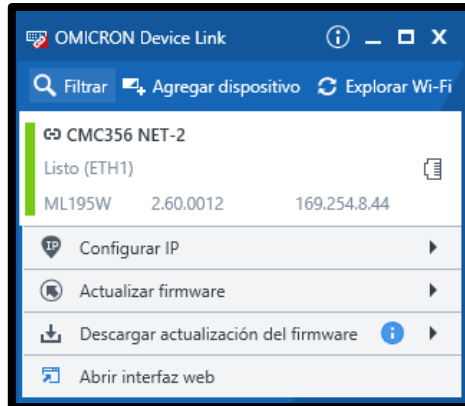


FIGURA 38: PASO 6 VERIFICACIÓN DE ASOCIACIÓN DE DSIPOSITIVO. FUENTE: LOS AUTORES.

## 3.4 Configuración del equipo CMC 356 para pruebas del módulo diferencial.

Abrir el software Test Universe y en la ventana principal dar clic en documento de prueba.



FIGURA 39: VENTANA PRINCIPAL SOFTWARE TEST UNIVERSE. FUENTE: LOS AUTORES.

En la ventana que aparecerá, dar clic derecho en insertar y después en insertar módulo de prueba.

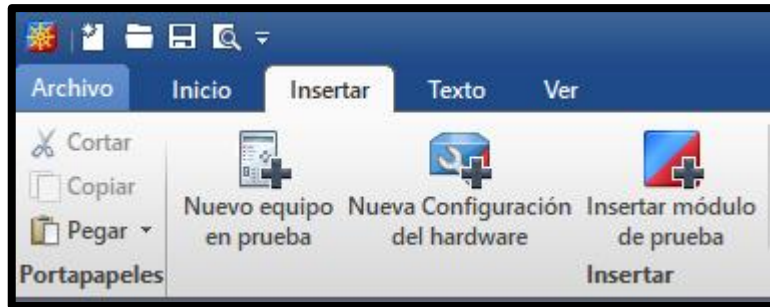


FIGURA 40: BARRA PRINCIPAL OMICRON CONTROL CENTER. FUENTE: LOS AUTORES.

En esta ventana que se despliega se selecciona el o los módulos a probar, en este caso seleccionaremos el módulo de prueba Diff configuration y después se da clic en aceptar, hacemos lo mismo para insertar los módulos:

- Diff Operating Characteristic.
- Diff Trip Time Characteristic.
- Diff Harmonic Restraint.

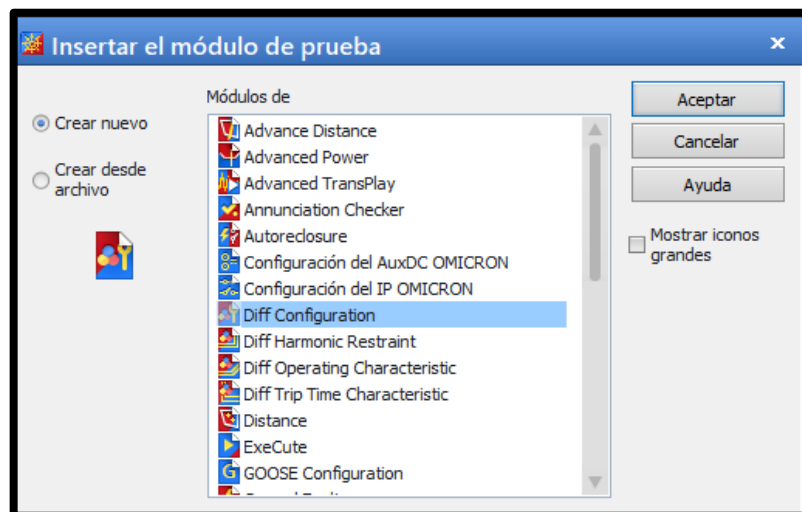


FIGURA 41: VENTANA DE LOS MODULOS DE PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES.

Podemos ver que se han agregado los módulos de prueba.

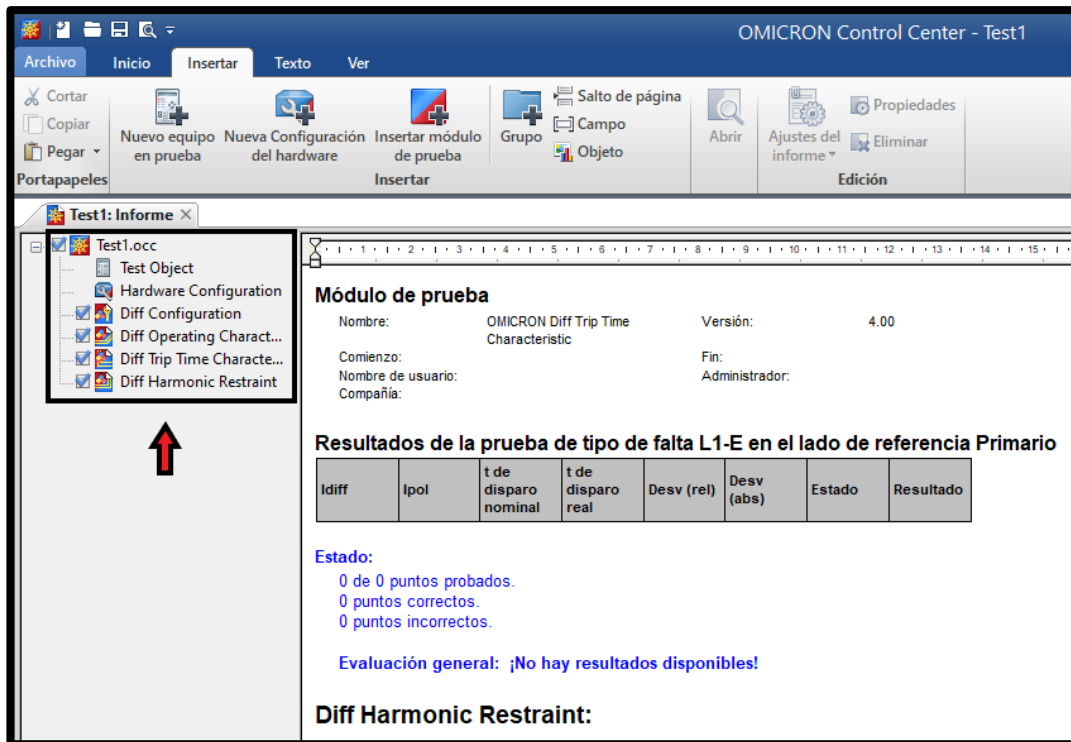


FIGURA 42: VENTANA PRINCIPAL DE OMICRON CONTROL CENTER. FUENTE: LOS AUTORES.

### 3.4.1 Ingreso de datos para la plantilla de informe

Una vez insertados los módulos de prueba que se desean realizar, se procede con el ingreso de datos que aparecerán en la plantilla de informes, para esto se siguen los siguientes pasos:

Dar clic derecho en Test Object.

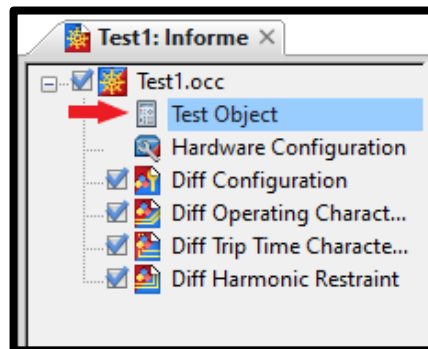


FIGURA 43: PASO 1 INGRESO DE DATOS DEL OBJETO DE PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES.

En la pestaña que se despliega dar clic en RIO y después clic en dispositivo.

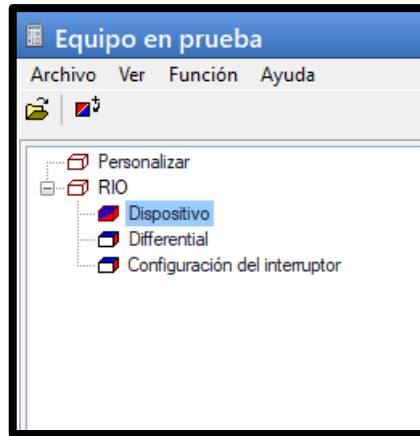


FIGURA 44: PASO 2 INGRESO DE DATOS DEL OBJETO DE PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES.

Se abrirá una ventana en donde se editará los datos del dispositivo que serán mostrados en el informe, y finalmente se dará clic en aceptar.

 A screenshot of a configuration window titled "Ajustes del dispositivo". The window contains several sections for entering device data:
 

- Dispositivo:**
  - Nombre/descripción: PRUEBA DIFERECIAL
  - Fabricante: SEL
  - Tipo de dispositivo: 387E
  - Dirección del dispositivo: [Empty]
  - Número de serie/modelo: [Empty]
  - Información adicional 1: [Empty]
  - Información adicional 2: [Empty]
- Valores nominales:**
  - Número de fases:  2  3
  - f nom: 60,000 Hz
  - V nom (secundario): 100,000 V (L-L)
  - 57,735 V (L-N)
  - V primario: 110,000 kV (L-L)
  - 63,509 kV (L-N)
  - I nom (secundario): 1,000 A
  - I primario: 1,000 kA
- Otras propiedades de dispositivo:**
  - Tiempo de reposición: 20,000 ms
  - Límites:**
    - V max: 200,000 V (L-L)
    - I max: 50,000 A
  - Sensibilidad de detección de sobrecarga:**
    - Alto  Usuario  50,000 ms
    - Bajo  Off
  - Filtros antirrebote y antirruído:**
    - Tiempo de antirrebote: 3,000 ms
    - Tiempo antirruído: 0,000 s
- Subestación:**
  - Nombre: [Empty]
  - Dirección: [Empty]
- Bahía:**
  - Nombre: [Empty]
  - Dirección: [Empty]
- Factores de tensión/corriente residuales:**
  - VLN/ VN: 1,732
  - IN / I nom: 1,000

 At the bottom right, there are three buttons: "Aceptar", "Cancelar", and "Ayuda".

FIGURA 45: VENTANA DE INGRESO DE DATOS DEL OBJETO DE PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES.

### 3.4.2 Ajustes para la protección diferencial

Para configurar los ajustes del equipo de prueba diferencial damos clic en test object.

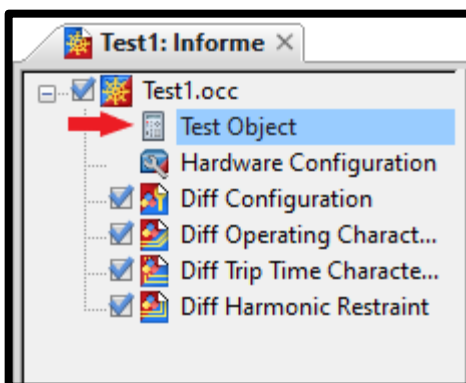


FIGURA 46: PASO 1 AJUSTES DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL. FUENTE: LOS AUTORES.

Doble Clic en Differential para editar los ajustes del relé a operar.

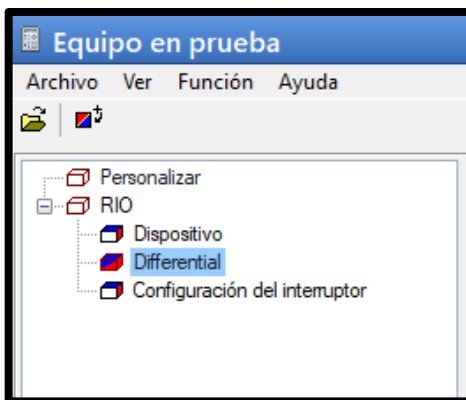


FIGURA 47: PASO 2 AJUSTES DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL. FUENTE: LOS AUTORES.

#### 3.4.2.1 Equipo protegido

En la pestaña equipo protegido editamos los datos del transformador

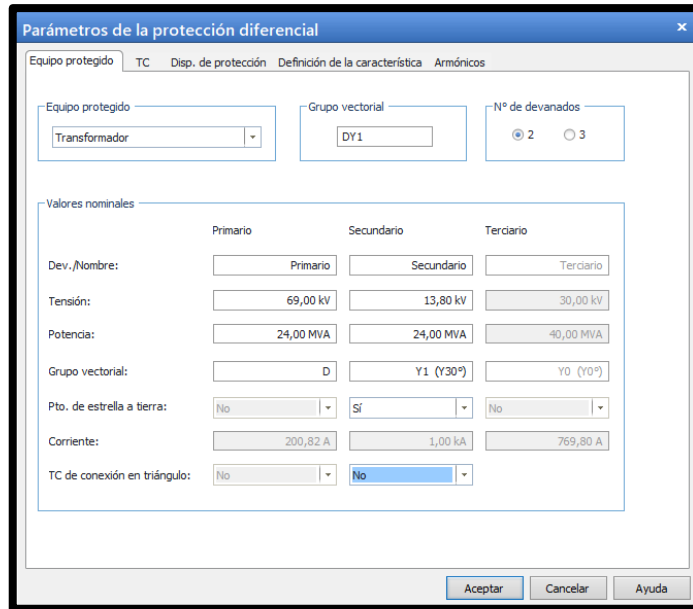


FIGURA 48: VENTANA DE PARAMETROS DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL – EQUIPO PROTEGIDO. FUENTE: LOS AUTORES.

### 3.4.2.2 Transformadores de corriente (TC)

En la pestaña de transformador de corriente (TC) editamos los datos con las relaciones de transformadores de los devanados primario y secundario.

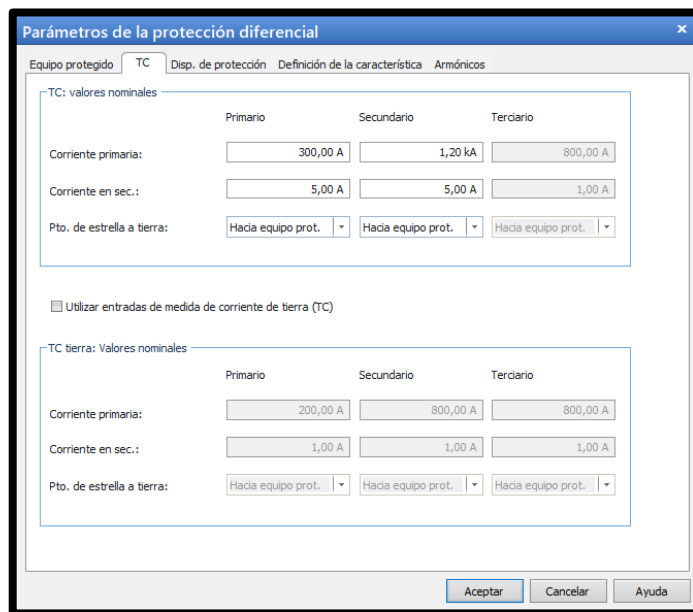


FIGURA 49: VENTANA DE PARAMETROS – TC. FUENTE: LOS AUTORES.

### 3.4.2.3 Dispositivo de protección

En la pestaña de dispositivo de protección escogeremos la ecuación diferencial del relé y su factor K. Así como los ajustes  $I_{diff}>$  e  $I_{diff}>>$ .

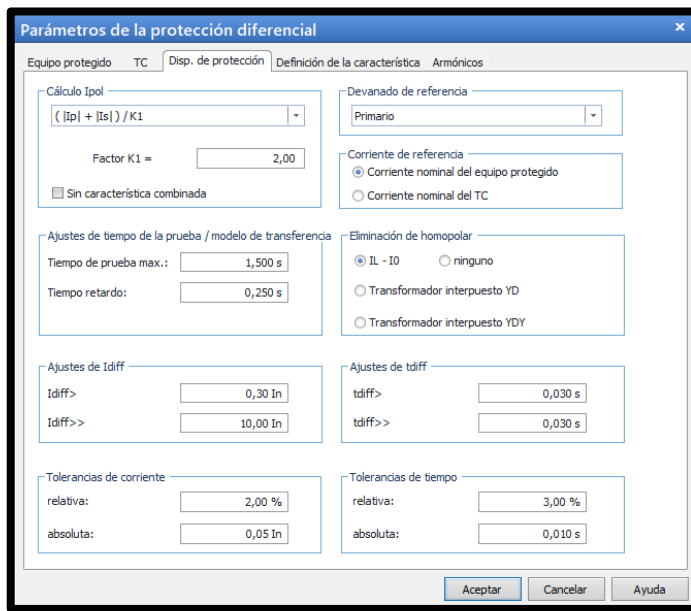


FIGURA 50: VENTANA DE PARAMETROS – DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN. FUENTE: LOS AUTORES.

### 3.4.2.4 Definición de la característica

Para definir la característica de protección daremos clic en anular todo para proceder a ingresar los puntos de la pendiente a utilizar por el relé, la cual se divide en 3 segmentos.

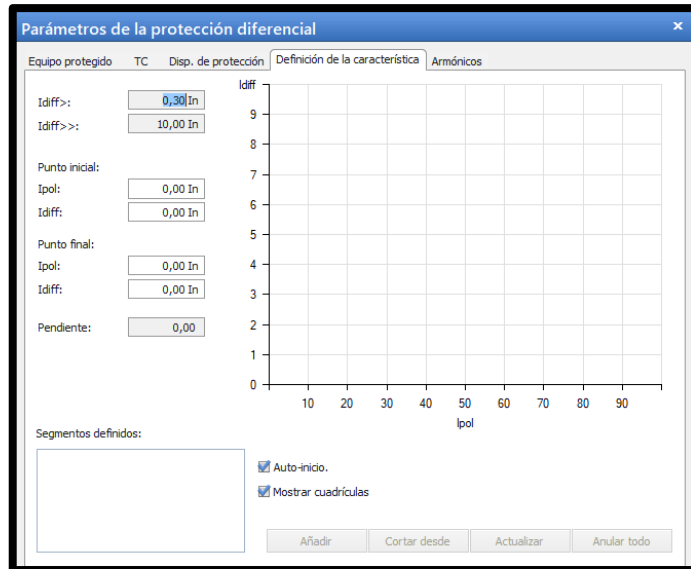


FIGURA 51: VENTANA DE PARAMETROS – DEFINICIÓN DE LA CARACTERISTICA. FUENTE: LOS AUTORES.

Para la creación de la primera pendiente, se ingresan los puntos inicial y final.

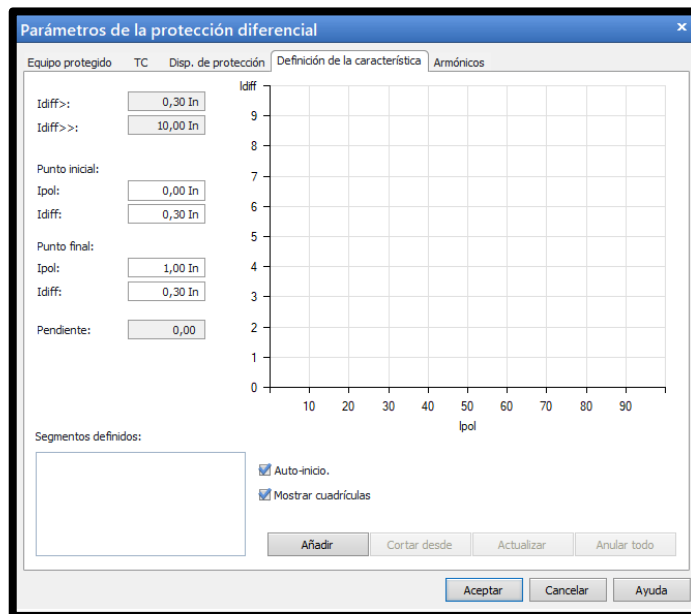


FIGURA 52: VENTANA DE PARAMETROS – DEFINICIÓN DE LA CARACTERISTICA. FUENTE: LOS AUTORES.

Dar clic en añadir para ver la creación del primer segmento



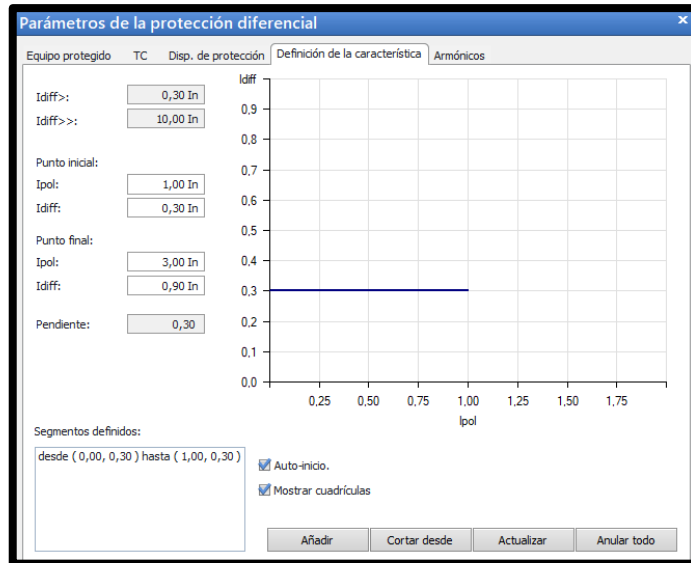


FIGURA 53: VENTANA DE PARAMETROS – DEFINICIÓN DE LA CARACTERISTICA. FUENTE: LOS AUTORES.

Para la creación del segundo segmento se procede a ingresar solo el punto final de la recta ya que el programa toma de referencia el punto final del primer segmento como punto inicial del segundo segmento.

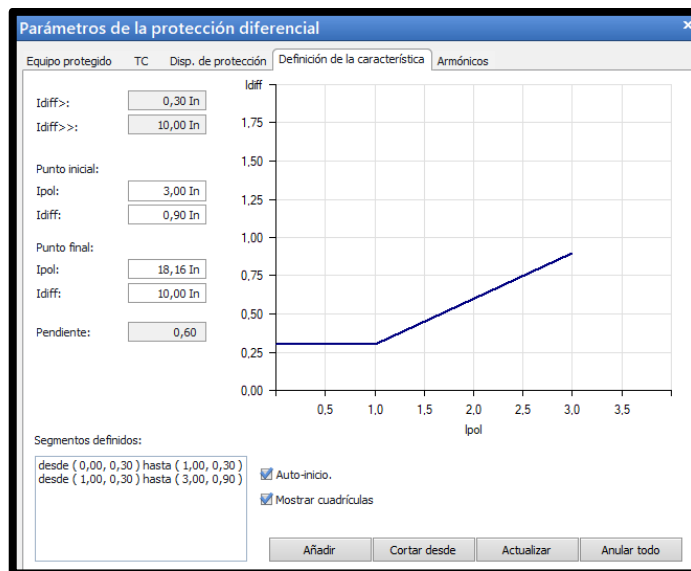


FIGURA 54: VENTANA DE PARAMETROS – DEFINICIÓN DE LA CARACTERISTICA. FUENTE: LOS AUTORES.

Para la creación el tercer segmento se sigue el paso de la creación del segundo segmento.

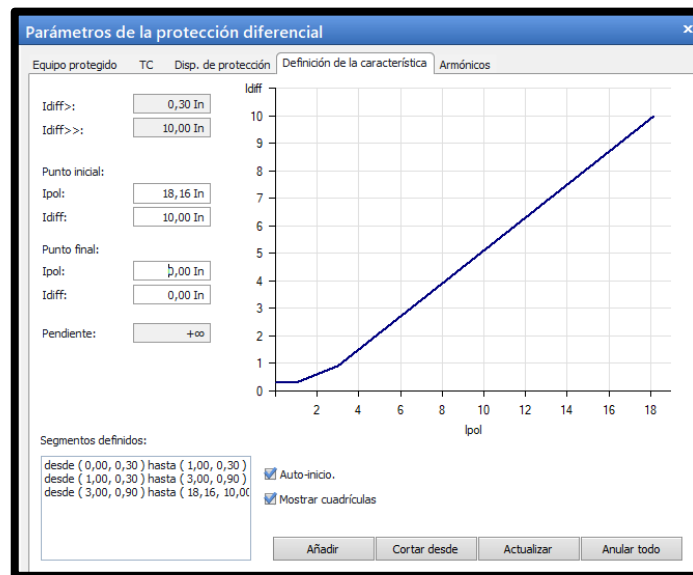


FIGURA 55: VENTANA DE PARAMETROS – DEFINICIÓN DE LA CARACTERISTICA. FUENTE: LOS AUTORES.

### 3.4.2.5 Armónicos

En esta pestaña configuramos los porcentajes de segundo y quinto armónico, en cada cambio se debe dar clic en actualizar para guardar los cambios realizados.

Finalmente se dará clic derecho en aceptar.

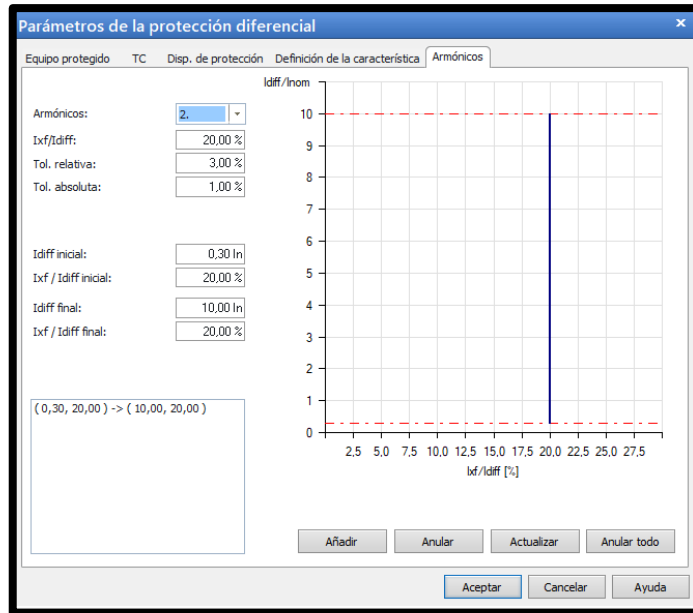


FIGURA 56: VENTANA DE PARAMETROS – ARMÓNICOS. FUENTE: LOS AUTORES.

### 3.4.3 Hardware configuration

Dar clic en Hardware Configuration para activar las salidas de corrientes y entradas binarias a utilizar en las pruebas.

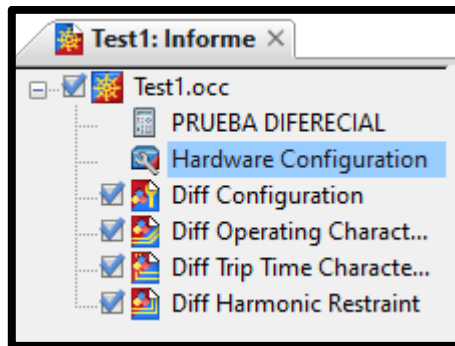


FIGURA 57: VENTANA PRINCIPAL OMICRON CONTROL CENTER. FUENTE: LOS AUTORES.

En la ventana configuración del hardware global, en la pestaña general se debe dar clic en detalles.

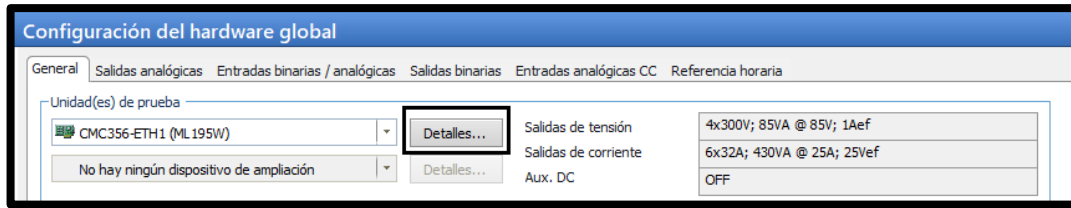


FIGURA 58: VENTANA CONFIGURACIÓN DEL HARWARE GLOBAL – GENERAL. FUENTE: LOS AUTORES.

Como se realiza una prueba diferencial no se requerirá de salidas de tensión por lo que daremos clic en no usado.

Requeriremos de 6 salidas de corrientes, 3 por cada devanado en prueba, por lo que seleccionaremos con un clic la opción (6x32A), después daremos clic en aceptar.

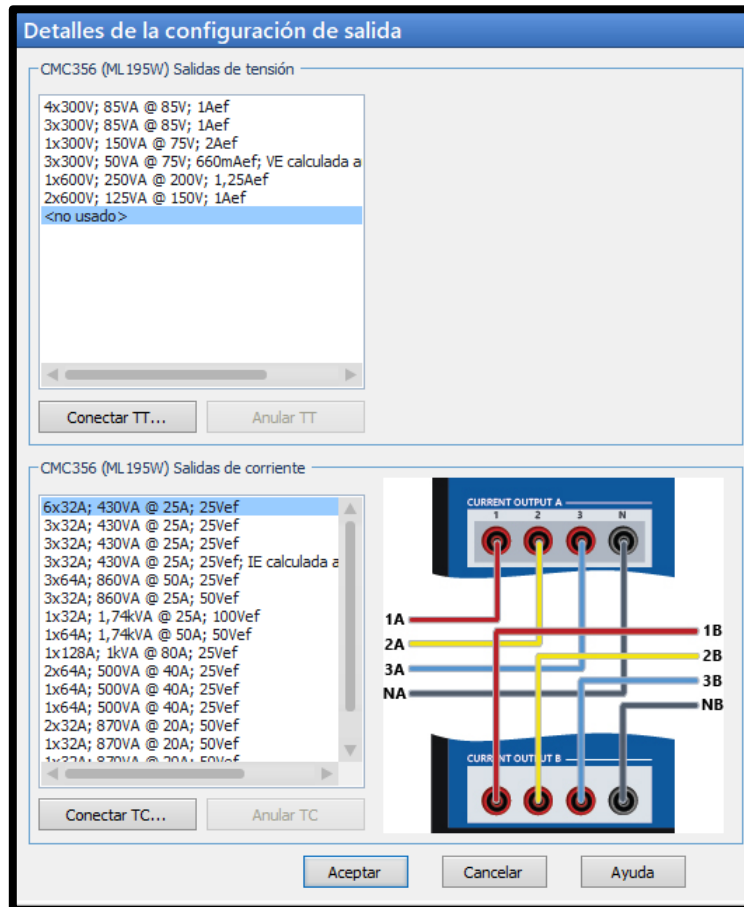


FIGURA 59: VENTANA DE DETALLES DE LA CONFIGURACIÓN DE SALIDA. FUENTE: LOS AUTORES.

Nombramos las salidas en la pestaña salidas analógicas.

		CMC356 I A ?????				CMC356 I B ?????			
Etiqueta	Terminal de conexión	1	2	3	N	1	2	3	N
<b>I Prim L1</b>		X							
I Prim L2			X						
I Prim L3				X					
I Sec L1						X			
I Sec L2							X		
I Sec L3								X	

FIGURA 60: VENTANA CONFIGURACIÓN DEL HARWARE GLOBAL – SALIDAS ANALÓGICAS. FUENTE: LOS AUTORES.

En la ventana de señales binarias habilitamos la señal de disparo y finalmente damos clic en aceptar.

		CMC356 ML195W															
Función		Binario	Binario	Binario	Binario	Binario	Binario	Binario	Binario	Binario	Binario	Binario	Binario	Binario	Binario	Binario	
Libre de potencial		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
Tensión nominal																	
Relación de las pinzas de corriente																	
Tensión de umbral																	
Etiqueta	Terminal de conexión	1+	1-	2+	2-	3+	3-	4+	4-	5+	5-	6+	6-	7+	7-	8+	8-
<b>Disparo</b>		X															

FIGURA 61: VENTANA CONFIGURACIÓN DEL HARWARE GLOBAL – ENTRADAS BINARIAS/ANALÓGICAS. FUENTE: LOS AUTORES.

### 3.5 Conexión

Para ejecutar las pruebas de protección diferencial, se debe realizar las conexiones entre el equipo Omicron CMC 356 y el relé SEL 387-E con cables tipo banana.

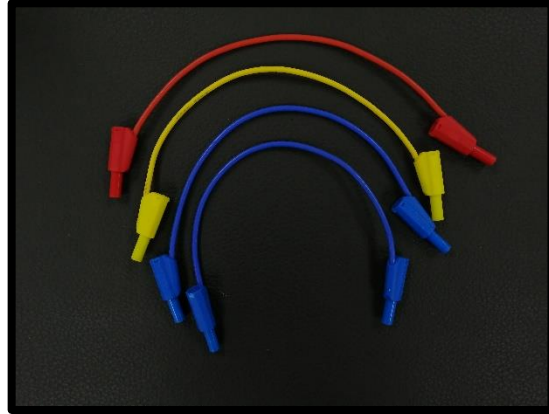


FIGURA 62: CABLES TIPO BANANA. FUENTE: LOS AUTORES.

#### 3.5.1 Conexión relé SEL 387-E al equipo CMC Omicron 365

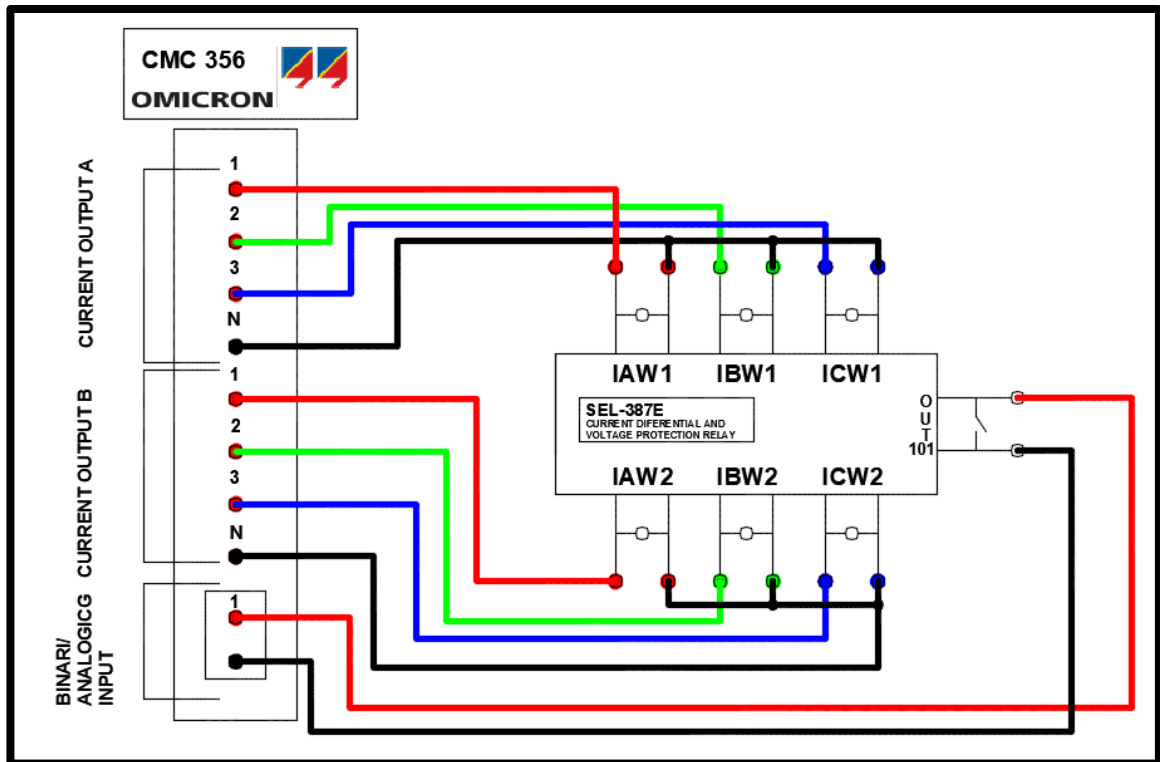


FIGURA 63: CONEXIÓN DEL RELÉ 387E AL EQUIPO CMC OMICRON 365. FUENTE: LOS AUTORES.

## CAPÍTULO 4

### 4 PRÁCTICAS PROPUESTAS

#### 4.1 Practica I

##### 4.1.1 Tema

Identificación de módulo de pruebas de distribución.

##### 4.1.2 Objetivo General

Reconocer los componentes que conforman el módulo de distribución.

##### 4.1.3 Objetivos Específicos

- Identificar los bloques que conforman el módulo de sistema de distribución.
- Determinar los cargos de los componentes de un sistema de distribución.

##### 4.1.4 Duración

2 horas.

##### 4.1.5 Recursos

Modulo didáctico de protecciones de redes de distribución en sistemas eléctricos de potencia.

##### 4.1.6 Marco Teórico

###### 4.1.6.1 Sistema de Distribución

En este sistema de distribución eléctrica se establece una agrupación de elementos delegados de transitar la energía a partir de una subestación de potencia hasta llegar al usuario. Principalmente, en lo que corresponde a distribución de energía eléctrica entiende las líneas primarias y secundarias de distribución, los transformadores de distribución y los medidores y acometidas.

El objetivo es realizar un buen trabajo operativo, de tal manera que el cliente reciba un excelente servicio, además de ser continuo y sin ninguna falla, por lo cual se crea un valor de tensión adecuado, así de esta manera los artefactos y aparatos puedan funcionar correctamente.

La definición natural para un sistema de distribución se comprende desde el punto de vista de ingeniería eléctrica, incluyendo los siguiente:

- a) Subestación principal de potencia:** En esta subestación se recibe la potencia del sistema de transmisión y se la transforma al voltaje de subtransmisión.
- b) Sistema de subtransmisión:** En este sistema se representa las líneas que se ubican desde la subestación (SE) principal hasta llegar a alimentar a las SE de distribución.
- c) Subestación de distribución:** En esta subestación se encomienda recibir la fuerza de los circuitos de subtransmisión para así transformarla al voltaje de los alimentadores primarios.
- d) Alimentadores primarios:** Los alimentadores se representan como los circuitos que surgen de las SE de distribución y hacen que transite el flujo de potencia hasta llegar a los transformadores de distribución.
- e) Transformadores de distribución:** Se menora el voltaje del alimentador primario al voltaje de utilización del usuario.
- f) Secundarios y servicios:** Se reparte la energía del secundario del transformador de distribución a los usuarios o servicios.

#### **4.1.6.2 Módulo didáctico de protecciones de redes de distribución en SEP**

El módulo nos facilita recrear situaciones que pueden ocurrir dentro de una subestación de distribución las cuales pueden ser de sobre corriente en las líneas, este módulo que cuenta el laboratorio funciona con una tensión de 600V en trifásico y está dividido por bloques lo que lo hace visualizar en buenas condiciones la formación de este.

- **Bloque de alimentación**

Se cuenta con un transformador trifásico delta-estrella reduciendo de 600v a 480v con una capacidad de 6kv, el bloque se encuentra implementado por transformadores de corriente permitiendo el control y medición, seccionadores, interruptores, luces piloto y un analizador de red.

- **Bloque de barra de doble transferencia**



En este bloque podemos realizar la transferencia de energía determinando una organización entre los seccionadores e interruptores, energizándose a 480V desde el transformador de 6KVA.

- **Bloque de transformadores 3KVA**

Este bloque cuenta con dos transformadores de 3KVA trifásicos estrella-estrella que trabajan de una manera ordenada contando cada uno con luces piloto, transformadores de corriente para su respectiva control y medición, interruptores, reduciendo así de 480V a 208V.

- **Bloque de control**

Este bloque está preparado por pulsadores de activación, desactivación de interruptores.

- **Bloque de IEDs**

En el bloque contamos con 4 IEDs, por su parte 3 de sobre corriente sel-751 y uno diferencial sel-387E, parametrizándolo de la mejor manera obtendríamos datos claves para la medición, control y diferentes maniobras que necesitemos revisar y obtener resultados.

- **Bloque de barra de carga**

En este bloque tenemos dos barras de carga conectados a un transformador trifásico estrella-estrella donde una barra tiene siete interruptores y la otra tiene cuatro interruptores energizándose a 208V.

## 4.2 Practica II

### 4.2.1 Tema

Identificación del relé SEL 387-E.

### 4.2.2 Objetivo General

Instalación del software “AcSELerator Quick Set”

### 4.2.3 Objetivos específicos

- Descarga y montaje del software en el computador.
- Conocer parámetros del relé a utilizarse.

### 4.2.4 Duración

2 horas

### 4.2.5 Recursos

Modulo didáctico de protecciones de redes de distribución en sistemas eléctricos de potencia, computador, relé SEL-387E, software AcSELerator Quick Set.

### 4.2.6 Marco Teórico

#### 4.2.6.1 AcSELerator QuickSet

El software AcSELerator permite que los usuarios recopilen datos de medición y generen reportes, utilizando plantillas preconfiguradas o personalizando reportes y gráficos para el análisis que necesitemos realizar.

#### 4.2.6.2 Relé SEL-387E

El relé 387-E es un diferencial de corriente y de voltaje, que brinda protección a los dos o tres arrollamientos de transformadores de potencia, ingresos de tensión para el correspondiente cálculo de potencia y para la protección de sobreexcitación, suministrando soluciones versátiles para aparatos de protección de energía.



FIGURA 64: RELÉ SEL 387-E [27].

## 4.2.7 Marco Procedimental

### 4.2.7.1 Instalación del software “AsSELerator QuickSet”

1. Dar clic en SETUP

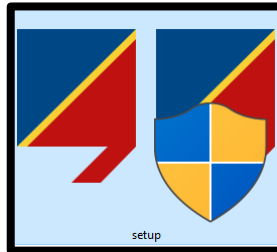


FIGURA 65: ICONO SETUP. FUENTE: LOS AUTORES.

2. Ejecutamos como administrador y aceptamos todo.

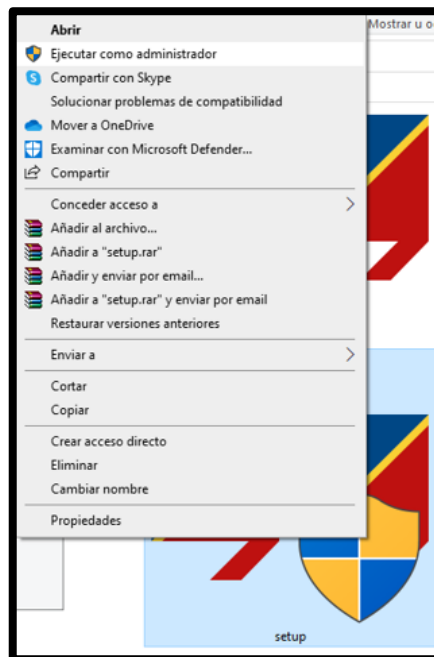


FIGURA 66: PANTALLA DE SELECCIÓN “EJECUTAR COMO ADMINISTRADOR”. FUENTE: LOS AUTORES.

3. Clic en aceptar a la opción “License Agreement” y “Export Regulations” y automáticamente se terminará instalando el programa.

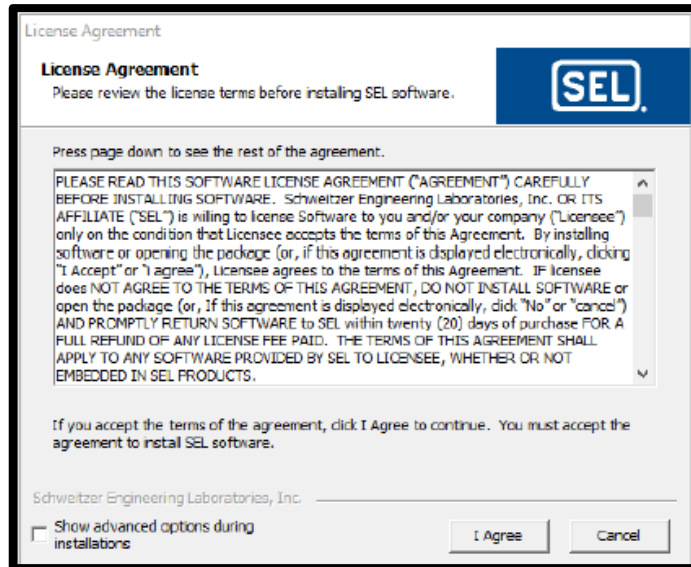


FIGURA 67: LICENSE AGREEMENT. FUENTE: LOS AUTORES.



FIGURA 68: EXPORT REGULATIONS. FUENTE: LOS AUTORES.

4. Una vez instalado el software, vamos a tener 3 programas disponibles para utilizarlos.

Los programas instalados son los siguientes:

- SEL Compass
- AcSELerator QcuikSet
- SEL SynchroWAVE Event



FIGURA 69: ICONOS SOFTWARE INSTALADOS. FUENTE: LOS AUTORES.

#### 4.2.8 Creación de cuenta SEL

1. En Internet, buscamos la página <https://selinc.com/es/> y damos clic en Iniciar Sesión.

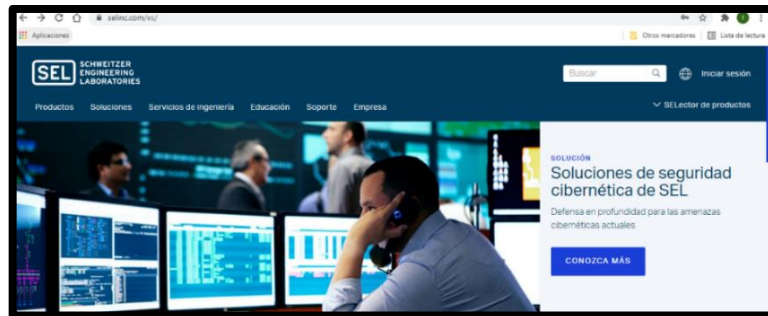


FIGURA 70: PAGINA WEB DEL SEL [26].

2. Se da clic en “Crear Cuenta”

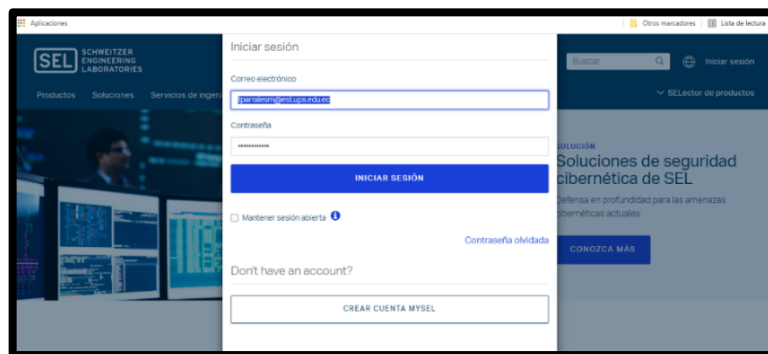


FIGURA 71: CREACION DE CUENTA DEL SEL [26].

3. Se llena toda la información personal para completar el registro de la creación de la cuenta.

The image shows a web registration form for SEL. At the top, there is a navigation bar with the SEL logo and links for 'Productos', 'Soluciones', 'Servicios de Ingeniería', 'Educación', 'Soporte', and 'Empresa'. A search bar and 'Iniciar sesión' link are also present. The main form area is titled 'Información de contacto' and contains the following fields:

- Contraseña\***: A password input field.
- Confirmar contraseña\***: A field to confirm the password.
- Nombre\***: A text input field for the user's name.
- Apellido\***: A text input field for the user's surname.
- Organización\***: A text input field for the user's organization.
- Pais\***: A dropdown menu labeled 'Seleccionar país'.
- Código postal**: A text input field for the postal code.
- Estado/Provincia**: A dropdown menu for the state or province.
- Ciudad\***: A text input field for the city.
- Código de país\***: A dropdown menu with '+1' selected.
- Teléfono\***: A text input field for the phone number, with an example 'e.g. 999.999.9999'.

At the bottom of the form, there is a checkbox with the text 'Al hacer clic en esta casilla, acepta nuestra política de privacidad y nuestra política de procesamiento de datos.' and a button labeled 'CREAR CUENTA MYSEL'.

FIGURA 72: LLENADA DE INFORMACION PARA LA CUENTA SEL [26].

#### 4.2.8.1 Relé SEL-387E

El relé de diferencial de corriente y tensión SEL-387E facilita protección a los transformadores de potencia de dos o tres devanados, es decir esto equivale a la protección, control y medición de transformadores, barras, interruptores y alimentadores. Dentro de las características se incluyen cuatro entradas de corriente trifásica con protección independiente de diferencial con limitación y sin limitación, particularidades programables de diferencial de pendiente unitaria o dual, revisor de interruptor, inspector de voltaje del banco de baterías y ecuaciones de control SELOGIC mejoradas.

## Función del relé

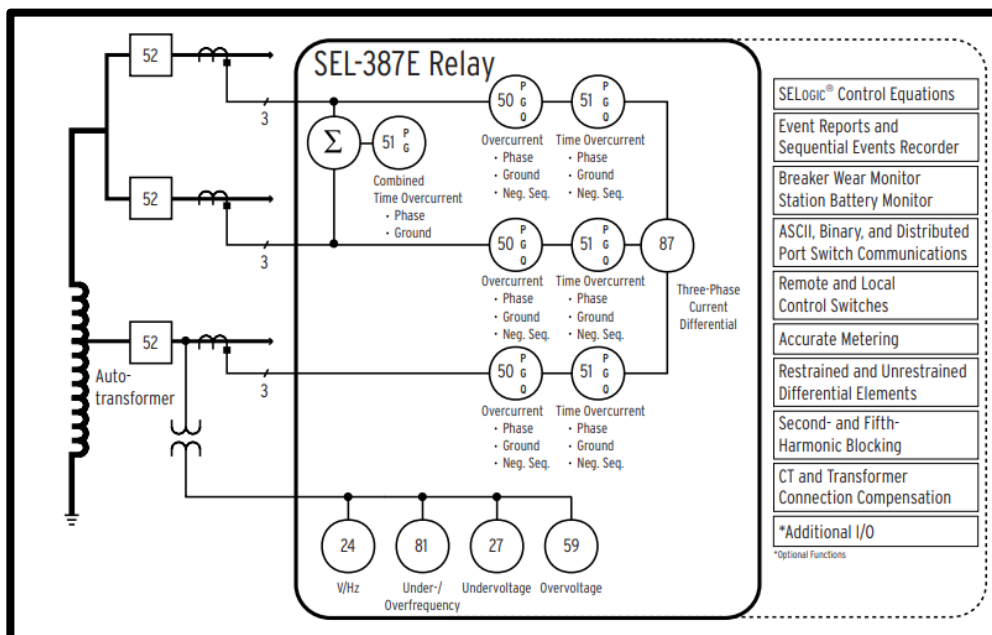


FIGURA 73: DIAGRAMA DEL RELE SEL-387E [25].

- a) Protección diferencial de corriente:** El Relé SEL-387E contiene componentes de corriente diferencial con limitación y sin limitación, independientes entre ellas.
- b) Protección para fallas restringidas a tierra (Restricted Earth Fault Protection):** Este relé diferencial SEL 387-E suministra la facilidad del rastreo delicado de fallas internas a tierra, a través de componentes de protección para fallas restringidas a tierra (Restricted Earth Fault (REF)).
- c) Protección de sobre corriente:** El Relé SEL-387E determina componentes de sobre corriente no direccional, para cada devanado, adicional a esto posee dos funciones especiales de sobre corriente: sobre corriente combinada (tiempo inverso, fase y tierra) y protección restringida de tierra (REF).
- d) Protección volts-por-Hertz:** El Relé SEL-387E provee elementos sensitivos de doble nivel, para detectar sobreexcitación de voltaje. Ambos niveles de protección volts-por-Hertz pueden considerar control de torque.

**e) Protección de sobre y bajo voltaje:** El Relé SEL-387E provee ocho elementos de sobre y bajo voltaje. Estos elementos incluyen elementos de bajo y sobrevoltaje de fase, fase-fase y secuencia positiva; así como elementos de sobrevoltaje de secuencia negativa y residual.

**f) Protección de frecuencia:** El Relé SEL-387E provee seis niveles de elementos de baja/sobre frecuencia. Cada elemento puede operar como elemento de baja o sobre frecuencia, dependiendo de su ajuste de pickup.

**g) Monitor de eventos de falla externa:** El Relé SEL-387E suministra una pantalla para la presentación de eventos para fallas externas, para reconocer al mismo tiempo el nivel, permanencia, fecha y hora de la corriente de falla, respectivamente para falla externa.



## 4.3 Practica III

### 4.3.1 Tema

Reconocimiento de la unidad OMICRON CMC 356.

### 4.3.2 Objetivo General

- Descargar e instalar el software en el computador.

### 4.3.3 Objetivos específicos

- Describir cada acción que nos brinda el software.
- Reconocimiento de las conexiones e interfaces del CMC OMICRON 356

### 4.3.4 Duración

1 hora y 30 minutos.

### 4.3.5 Recursos

Computador y software Test Universe 4.00

### 4.3.6 Marco procedimental

#### 4.3.6.1 Instalación del programa Test Universe 4.00

1. Damos clic en el icono “setup” que lo podemos hallar en la maleta Omicron 356.

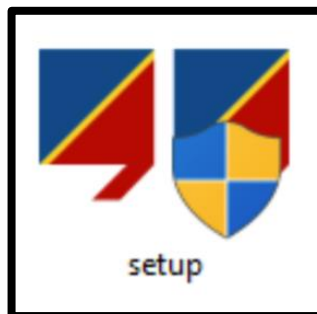


FIGURA 74: ICONO SETUP TEST UNIVERSE. FUENTE: LOS AUTORES.

2. Damos clic izquierdo al icono y ejecutamos como administrador, luego aceptamos el permiso y escogemos el idioma el cual dominamos.

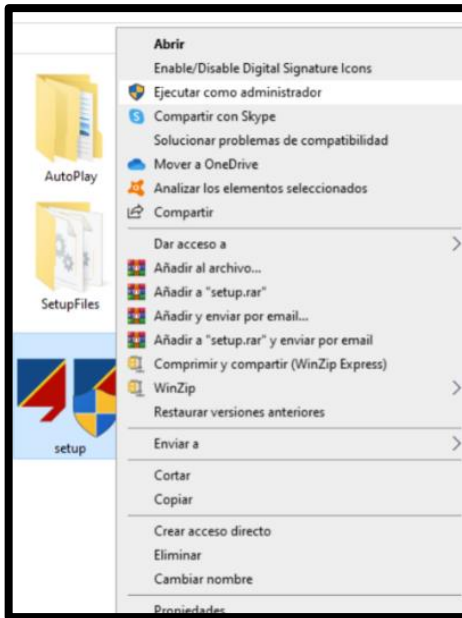


FIGURA 75: PANTALLA DE “EJECUTAR COMO ADMINISTRADOR” TEST UNIVERSE. FUENTE: LOS AUTORES.

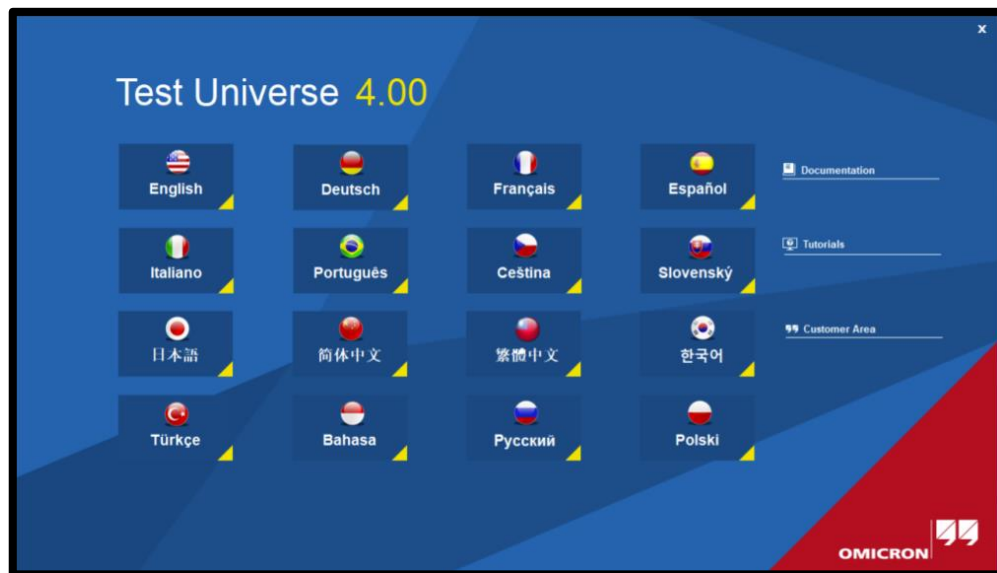


FIGURA 76: PANTALLA PARA ELEGIR EL IDIOMA EN EL CUAL VAMOS A TRABAJAR. FUENTE: LOS AUTORES.

3. Escogemos el idioma y continuamos con el proceso de descarga del programa.

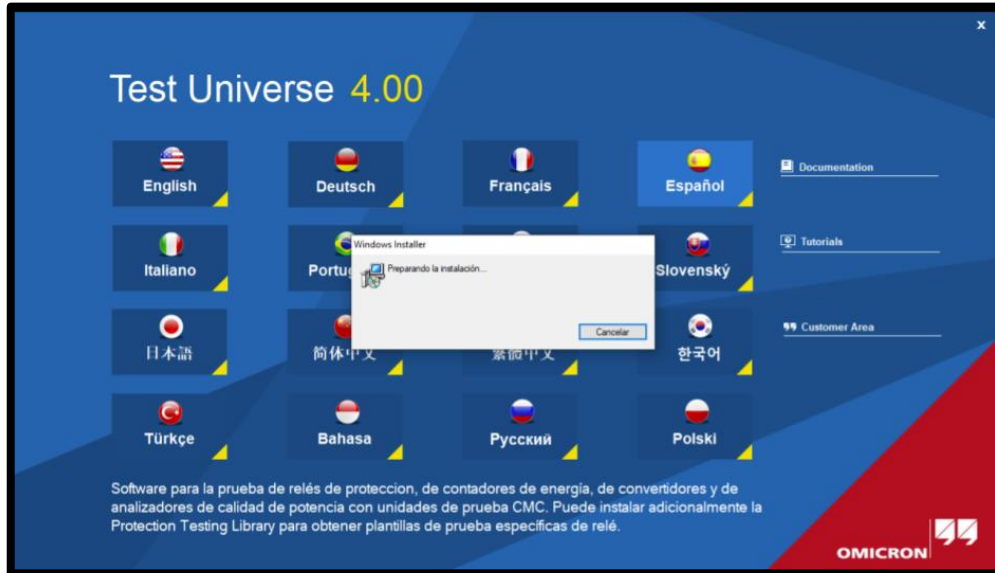


FIGURA 77: PANTALLA PROCESANDO INSTALACION DEL PROGRAMA. FUENTE: LOS AUTORES.

4. Damos clic en “siguiente” para seguir con el proceso de descarga.



FIGURA 78: INSTALACION DE OMICRON TEST UNIVERSE. FUENTE: LOS AUTORES.

5. Ingresamos el nombre del usuario y de la organización.

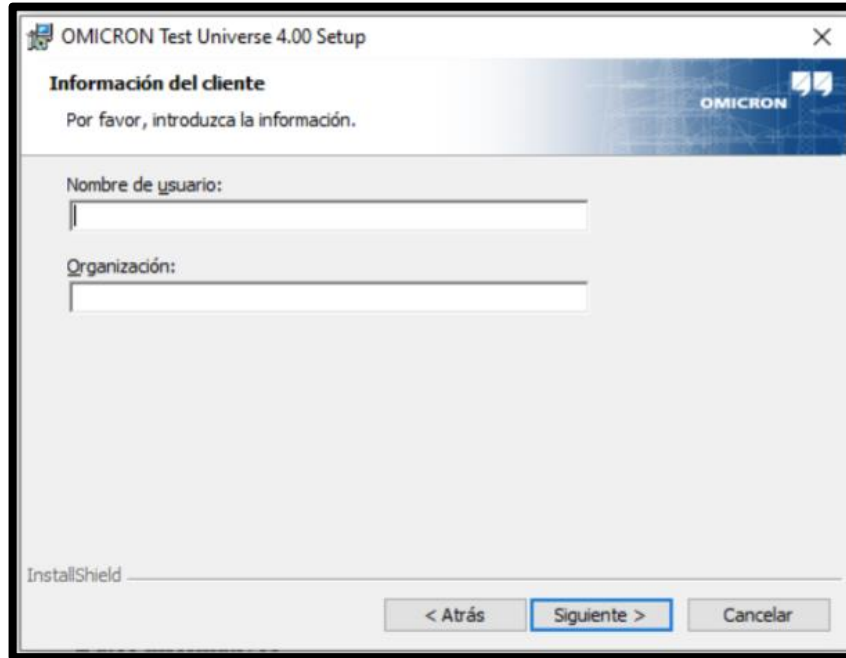


FIGURA 79: PANTALLA DE INFORMACION DEL CLIENTE. FUENTE: LOS AUTORES.

6. Indicamos el destino de la carpeta del software.

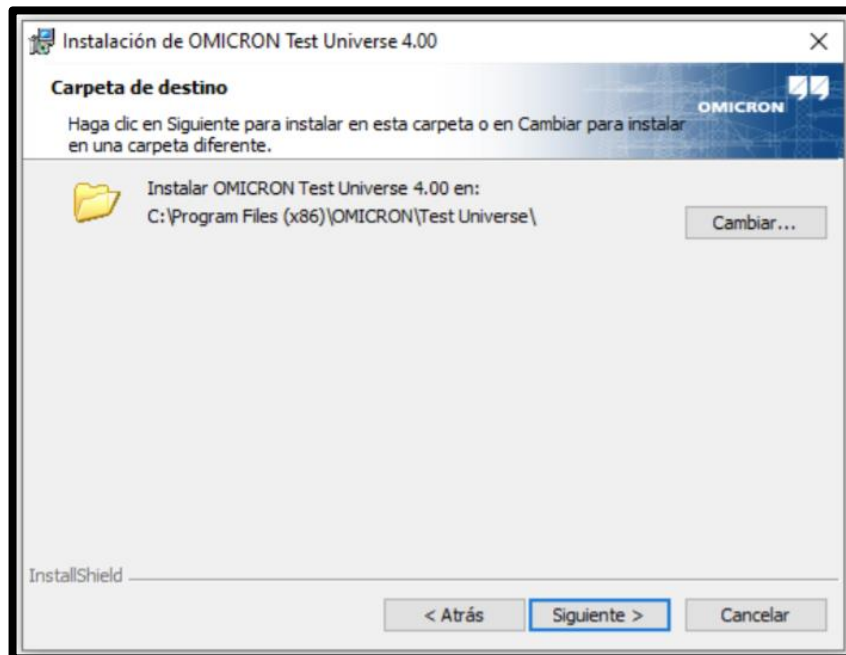


FIGURA 80: CARPETA DE DESTINO DEL ARCHIVO. FUENTE: LOS AUTORES.

7. Detallamos las funciones a activarse en el momento de descarga del software.

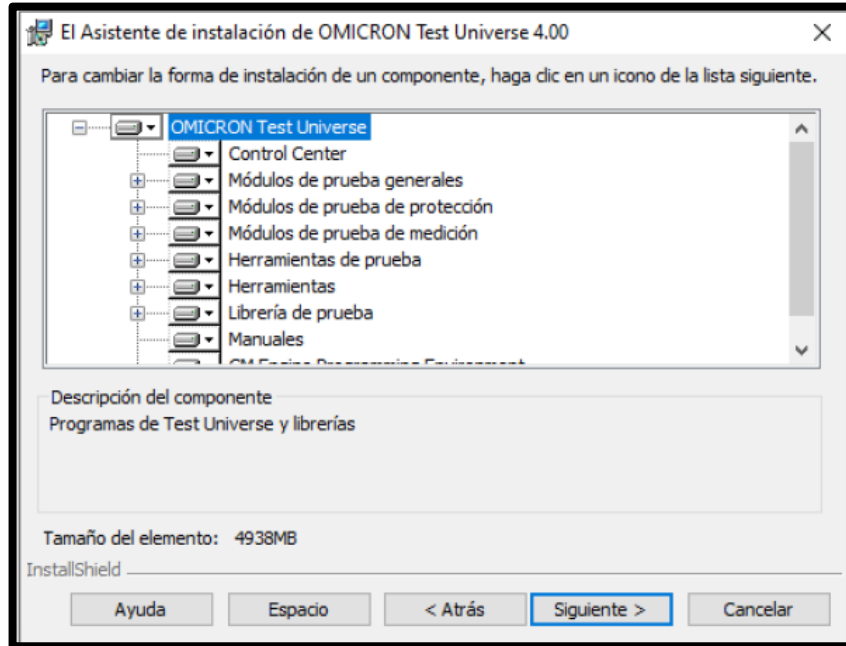


FIGURA 81: PANTALLA CON LA LISTA DE DIFERENTES COMPONENTES. FUENTE: LOS AUTORES.

8. Activamos los videos tutoriales en español.

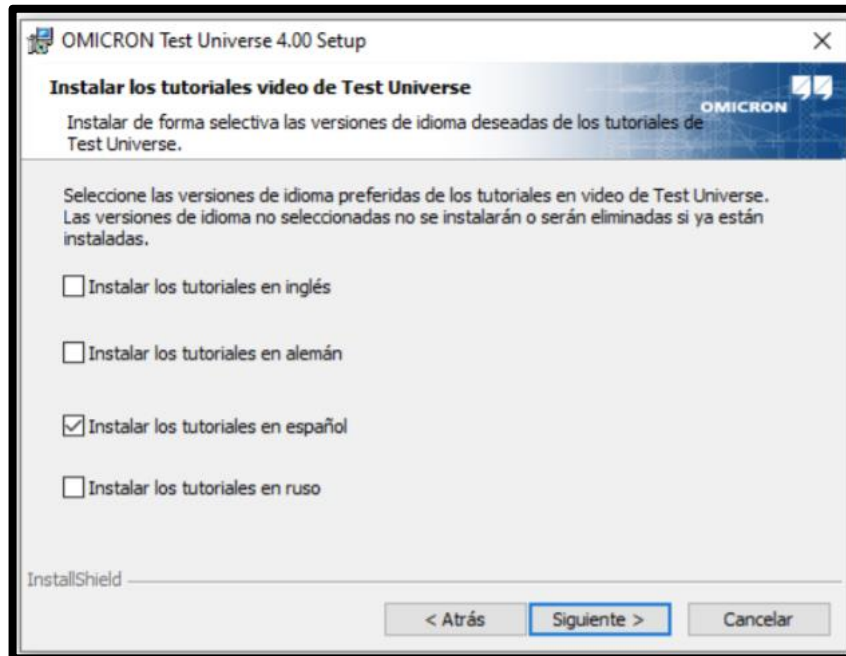


FIGURA 82: PANTALLA CON SELECCIÓN DE VIDEOS TUTORIALES. FUENTE: LOS AUTORES.

9. Damos visto bueno a las condiciones para que empiece la instalación.

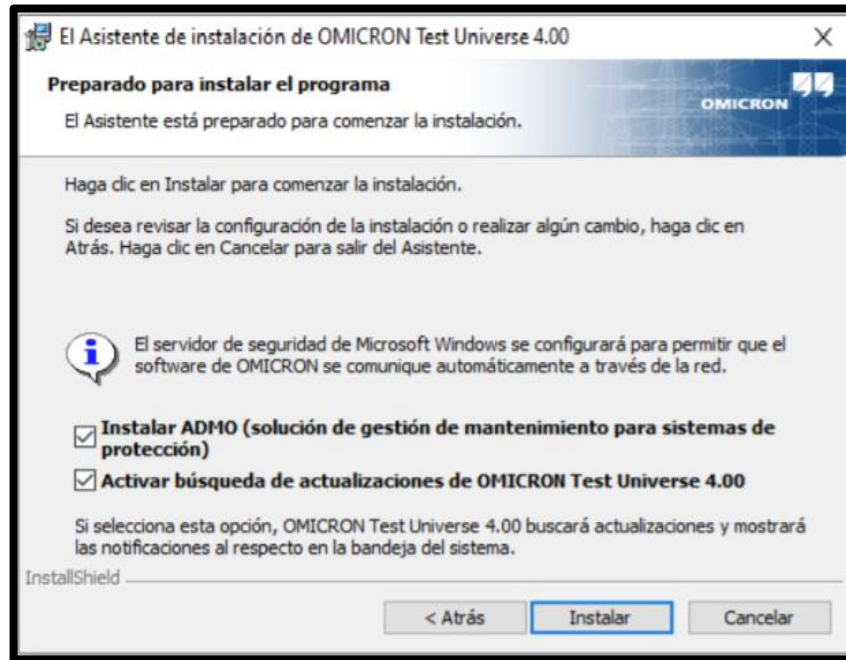


FIGURA 83: INSTALACION DEL PROGRAMA. FUENTE: LOS AUTORES.

10. Aprobando las especificaciones estamos listos para descargar.

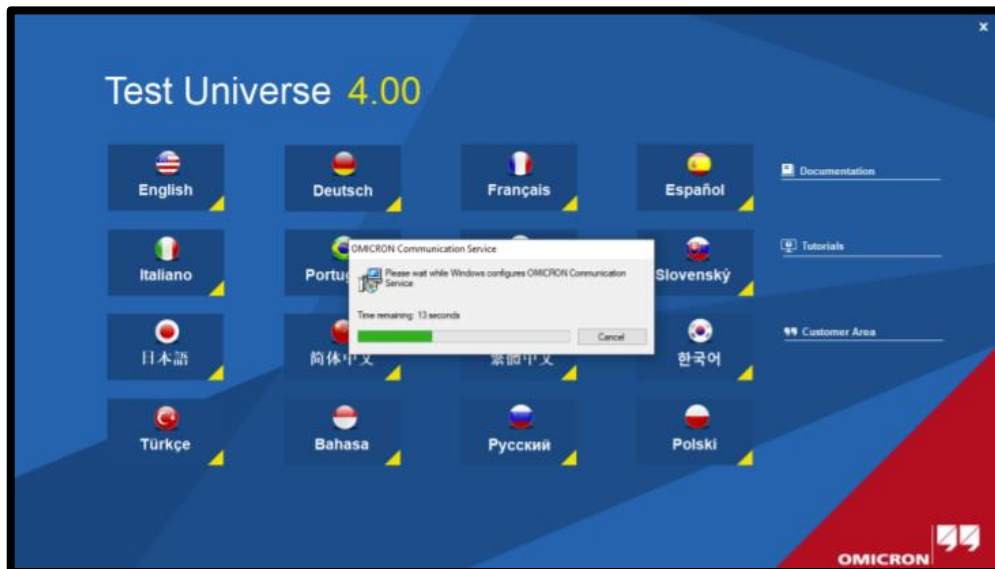


FIGURA 84: PROCESANDO DESCARGA. FUENTE: LOS AUTORES.

11. Procesando instalación del programa.

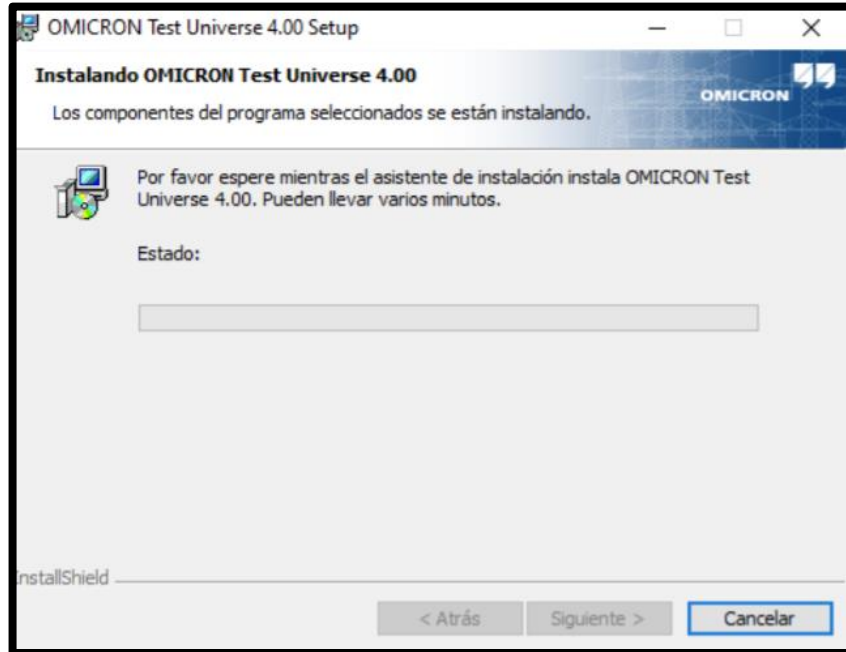


FIGURA 85: COMPONENTES INSTALANDOSE. FUENTE: LOS AUTORES.

12. Finalizamos la instalación del programa.

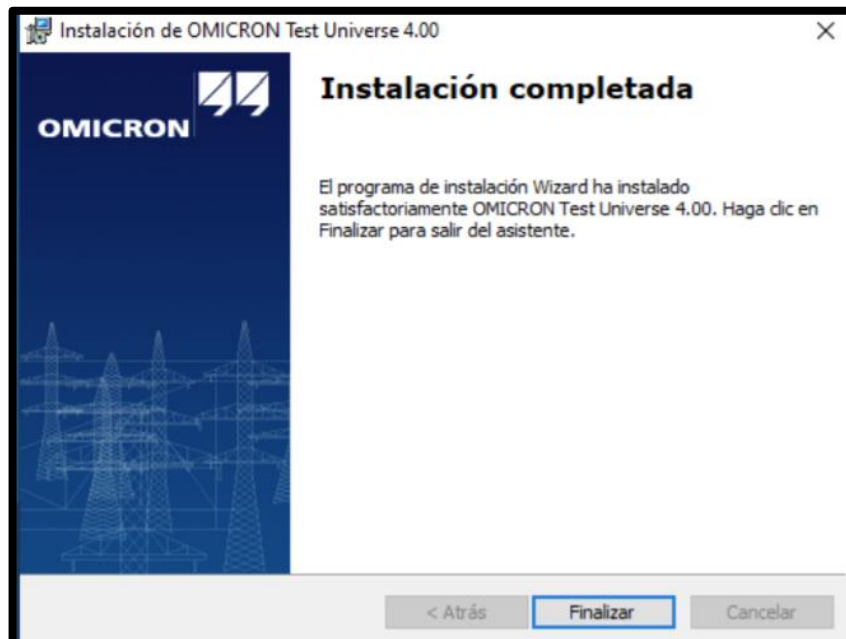


FIGURA 86: INSTALACION COMPLETA. FUENTE: LOS AUTORES.



13. Obtenemos los siguientes programas.

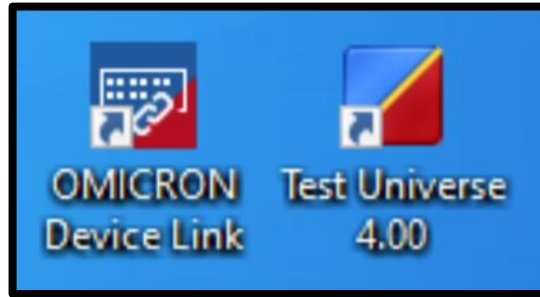


FIGURA 87: DESCARGA COMPLETA EXITOSA. FUENTE: LOS AUTORES.

#### 4.3.6.2 Reconocimiento de las conexiones e interfaces del OMICRON CMC 356

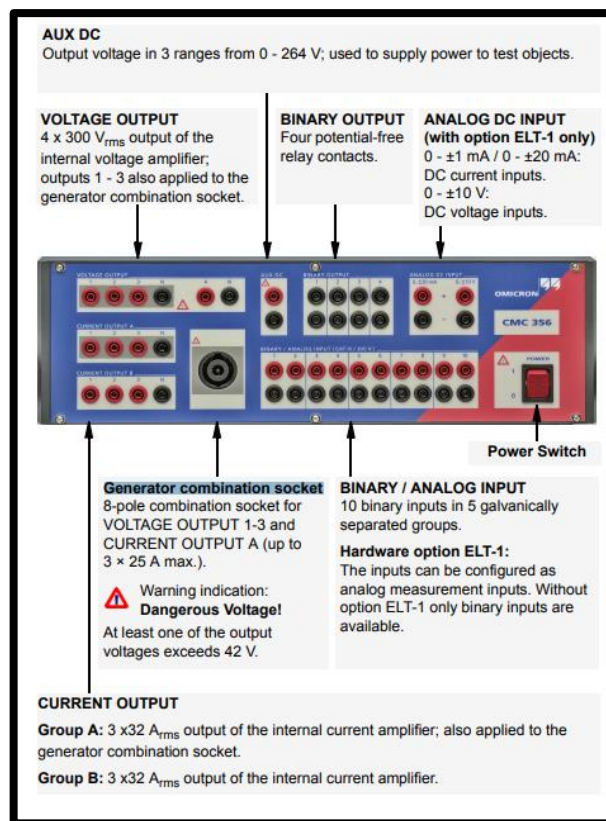


FIGURA 88: CONEXIONES E INTERFACES DEL OMICRON [29].



➤ **Voltage output (Salida de voltaje)**

Las cuatro salidas de voltaje tienen un neutro común y separados de todas las restantes salidas del CMC 356. Los dos enchufes negros etiquetados con “N”, significando el neutro, están conectados entre sí.

El amplificador de voltaje y los amplificadores de corrientes son amplificadores lineales con CC enganche. Las salidas de voltaje funcionan en 2 rangos.

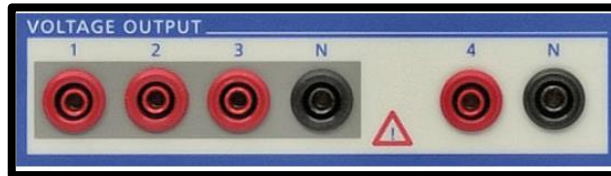


FIGURA 89: SALIDA DEL VOLTAJE [31].

➤ **Binary Output (Salidas binarias)**

Tiene cuatro salidas binarias disponibles para el uso de contactos de relé libres de fuerza.

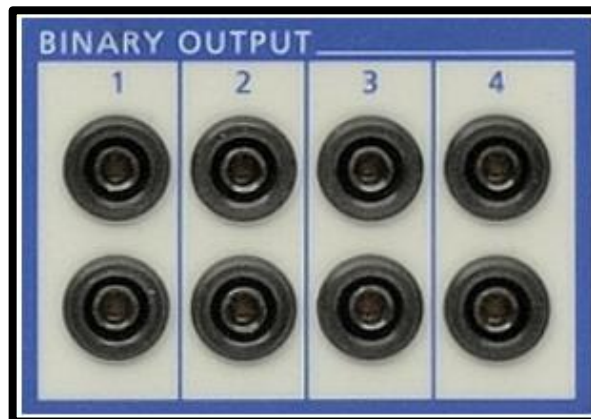


FIGURA 90: SALIDAS BINARIAS DEL OMICRON [31].

➤ **Analog DC Input**

Entrada CC analógica.

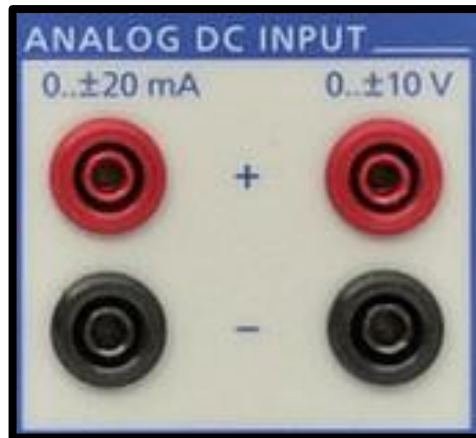


FIGURA 91: ENTRADAS ANALOGICAS [31].

➤ **Binary / Analog input (Entrada binaria analógica)**

Las entradas binarias establecidas se dividen en cinco grupos de dos, cada grupo estrictamente separados por los demás.

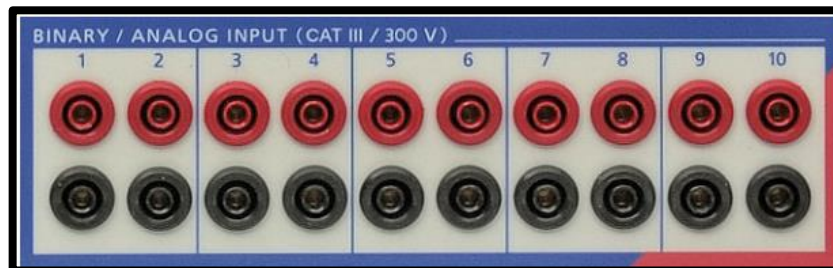


FIGURA 92: ENTRADAS ANALOGICAS BINARIAS DEL OMICRON [31].

➤ **AUX DC**

Los objetos de evaluación que piden una tensión CC auxiliar se pueden alimentar desde la salida AUX DC.

La salida AUX DC está separada de todas las demás salidas.



FIGURA 93: ENTRADAS AUX DC DEL OMICRON [31].

➤ **Current output (Salida de corriente)**

Salida de corriente A y Salida de corriente B

Dos trifásicos separados galvánicamente salidas de corriente, corriente por corriente, ubicándose con su propio neutra cada una.

Las salidas están separadas galvánicamente de todas las demás conexiones del CMC 356.

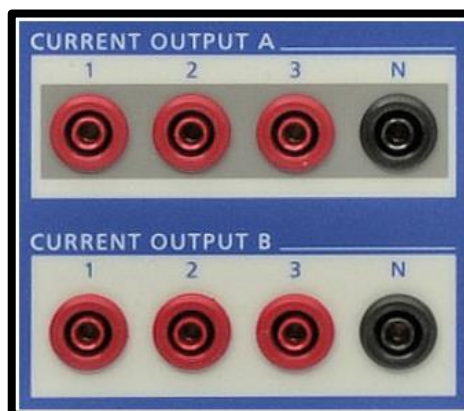


FIGURA 94: SALIDAS DE CORRIENTE A Y B DEL OMICRON [31].

➤ **Generation combination socket**

Toma de combinación de generador.



FIGURA 95: GENERADOR [31].

➤ **Power switch**

Interruptor de alimentación.



FIGURA 96: ALIMENTACION DEL OMICRON [31].

## **4.4 Practica IV**

### **4.4.1 Tema**

Prueba de módulo diferencial Diff Configuration.

### **4.4.2 Objetivo General**

- Comprobar el correcto funcionamiento del relé SEL-387E ante una falla externa a la zona de protección diferencial.

### **4.4.3 Objetivos específicos**

- Calcular ajustes para protección diferencial de transformador (87T).
- Establecer parámetros y ajustes para protección diferencial de transformador (87T) en el software AcSELerator QuickSet.
- Introducir parámetros diferenciales en el módulo de prueba diff configuration del software Test Universe.
- Comprobar el efectivo funcionamiento de la protección diferencial del relé SEL-387E ante una falla externa a la zona de protección diferencial, mediante el equipo de inyección de corriente Omicron CMC 356.

### **4.4.4 Duración**

1 hora.

### **4.4.5 Recursos utilizados**

- Computador
- Omicron CMC 356
- Relé SEL 387E
- Software Test Universe
- Software AcSELerator QuickSet
- Cables tipo banana
- Cable USB serial SEL

### **4.4.6 Marco teórico**

#### **Módulo de prueba diff configuration.**

Este módulo simula fallas externas al transformador es decir fallas que se generar muy por fuera de la zona de protección 87T. En esta prueba el relé no debe actuar ya que el

fallo no se encuentra dentro de la zona de protección, el correcto funcionamiento de esta prueba nos indica que las conexiones realizadas se efectuaron de manera correcta y que el relé se encuentra operando de manera adecuada. En caso de que el relé opere esto quiere decir que las conexiones se encuentran mal realizadas o en ciertos casos el relé no esté actuando de manera correcta.

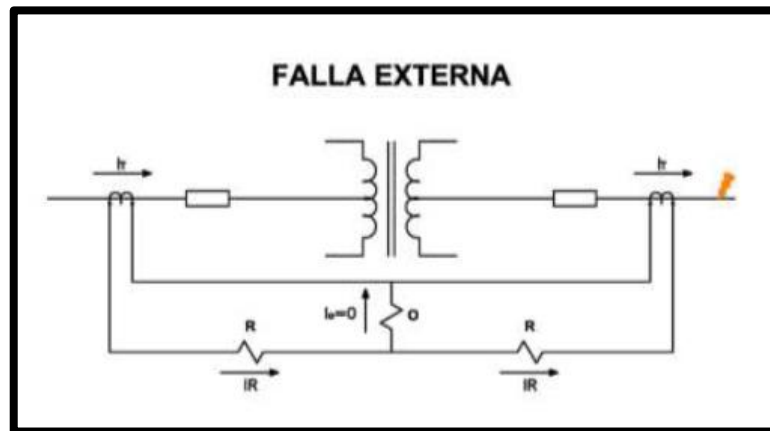


FIGURA 97 FALLA EXTERNA A LA ZONA DE PROTECCION DIFERENCIAL [13].

#### 4.4.7 Marco procedimental

##### 4.4.7.1 Cálculo de ajustes para función 87T

Se debe determinar la corriente nominal del transformador en el arrollamiento de alta del transformador:

$$I_{HV} = \frac{MVA}{\sqrt{3} * V_{LL}} = \frac{24MVA}{\sqrt{3} * 69000} = 200.82 [A]$$

La correspondencia de transformación del transformador de corriente (RTC) en el lado de alta (HV) es de 300:5 por lo que la corriente secundaria en 69KV es:

$$I_{HV} = \frac{200.82}{RTC} = \frac{200.82}{60} = 3.35 [A]$$

También se debe calcular la corriente nominal del arrollamiento de baja del transformador:

$$I_{LV} = \frac{MVA}{\sqrt{3} * V_{LL}} = \frac{24MVA}{\sqrt{3} * 13800} = 1004.1 [A]$$

La correspondencia de transformación del transformador de corriente (RTC) en el lado de baja (LV) es de 1200:5 por lo que la corriente secundaria en 13.8 KV es:

$$I_{LV} = \frac{1004.01}{RTC} = \frac{1004.01}{240} = 4.18 [A]$$

De acuerdo con los criterios de ajuste por el fabricante, la unidad diferencial sin restricción debe ajustarse a 10 veces la corriente nominal por lo que 87T sin restricción es igual a 33.5 A.

La finalidad de los componentes instantáneos sin restricción es la de responder inmediatamente para niveles de corrientes que son muy exagerados ya que estos indican rotundamente cuando hay una falla interna. El ajuste de pickup (U87P) debe concordar cerca de 10 veces TAP.

Los valores de TAP para el relé SEL-387E son los valores de corriente nominal. Para ingresar este valor en el relé de debe hacer en valores de TAP, por lo que este ajuste queda la siguiente manera:

$$U87P = 8$$

Los ajustes TAP1 y TAP2 en el relé son:

**TAP1:** 3.35

**TAP2:** 4.18

El fabricante recomienda para la correcta maniobra de la protección diferencial, se ajuste un valor de 0.3 para el mínimo nivel de corriente de operación (IOP) requerido para operación, por lo que el ajuste queda de la siguiente manera:

**O87P:** 0.3

El ajuste de las pendientes SLP1 y SLP2, de acuerdo con los criterios del fabricante este recomienda que sea de 25% y 70% respectivamente.

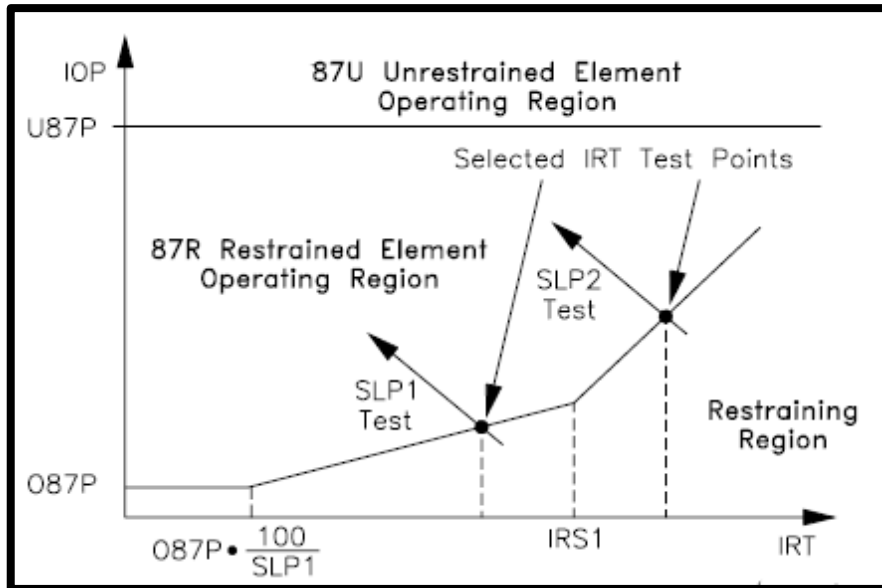


FIGURA 98 REGION DE FUNCIONAMIENTO DEL ELEMENTO SIN RESTRICCIONES [25].

El valor de IRT se obtiene de la gráfica que representa la curva característica de la función 87T.

Por lo que los ajustes se programaran de la siguiente manera:

SLP1: 25%

SLP2: 70%

Los bloqueos por armónico en base a los criterios se deben ajustar de la siguiente forma:

PCT2: 15

PCT5: 35

A continuación, en la tabla 2 se muestra un resumen de los ajustes de protección diferencial de transformador en el relé SEL-387E:



TABLA 2: AJUSTES DE PROTECCIÓN PARA LA FUNCIÓN DIFERENCIAL. FUENTE: LOS AUTORES.

AJUSTE	VALOR DE AJUSTE	DESCRIPCIÓN
RID	UPS GYE (387-E)	IDENTIFICACIÓN DEL RELÉ
TID	STATION A	NOMBRE DE LA SUBESTACIÓN
E87W1	Y	HABILITACIÓN DE LA FUNCIÓN 87 DEVANADO 1
E87W2	Y	HABILITACIÓN DE LA FUNCIÓN 87 DEVANADO 2
E87W3	N	HABILITACIÓN DE LA FUNCIÓN 87 DEVANADO 3
W1CT	Y	TIPO DE CONEXIÓN DEL DEVANADO 1 DEL TRANSFORMADOR (Y= ESTRELLA, D= DELTA)
W2CT	Y	TIPO DE CONEXIÓN DEL DEVANADO 2 DEL TRANSFORMADOR (Y= ESTRELLA, D= DELTA)
W3CT	Y	TIPO DE CONEXIÓN DEL DEVANADO 3 DEL TRANSFORMADOR (Y= ESTRELLA, D= DELTA)
CTR1	60	RELACIÓN DE LOS TCS DE LADO DE ALTA
CTR2	240	RELACIÓN DE LOS TCS DE LADO DE BAJA
MVA	24	MÁXIMA POTENCIA DEL TRANSFORMADOR
ICOM	Y	COMPENSACIÓN POR DESFASE ANGULAR EN EL TRANSFORMADOR
W1CTC	0	AJUSTE DE COMPENSACIÓN PARA DESFASE ANGULAR EN EL DEVANADO DE ALTA DEL TRANSFORMADOR
W2CTC	1	AJUSTE DE COMPENSACIÓN PARA DESFASE ANGULAR EN EL DEVANADO DE BAJA DEL TRANSFORMADOR
VWDG1	69	VOLTAJE LINEA A LINEA DEL DEVANADO DE ALTA DEL TRANSFORMADOR
VWDG2	13,8	VOLTAJE LINEA A LINEA DEL DEVANADO DE BAJA DEL TRANSFORMADOR
TAP 1	3,35	VALOR DE CORRIENTE EN MULTIPLOS DE TAP DE LADO DE ALTA
TAP 2	4,18	VALOR DE CORRIENTE EN MULTIPLOS DE TAP DE LADO DE BAJA
O87P	0,3	PICKUP DE CORRIENTE DE OPERACIÓN DE LOS ELEMENTOS CON RETENCIÓN
SLP1	25	VALOR PORCENTUAL DE PRIMERA PENDIENTE
SLP2	70	VALOR PORCENTUAL DE SEGUNDA PENDIENTE
IRS1	3	LÍMITE DE IRT PARA LA CARACTERÍSTICA DE OPERACIÓN SLP1
U87P	8	PICKUP DE CORRIENTE DE ELEMENTOS SIN RETENCIÓN
PCT2	15	PORCENTAJE DE BLOQUEO POR SEGUNDA ARMÓNICA

PCT5	35	PORCENTAJE DE BLOQUEO POR QUINTA ARMÓNICA
------	----	---

#### 4.4.7.2 Ajustes de parámetros 87T en el relé SEL-387E mediante software AcSELerator QuickSet

- Ingresar al programa AcSELerator QuickSet.
- Enlazar el relé al software
- Enlazado el dispositivo se prosigue a cambiar en el grupo 1 los parámetros de protección diferencial indicados anteriormente en la tabla 2.

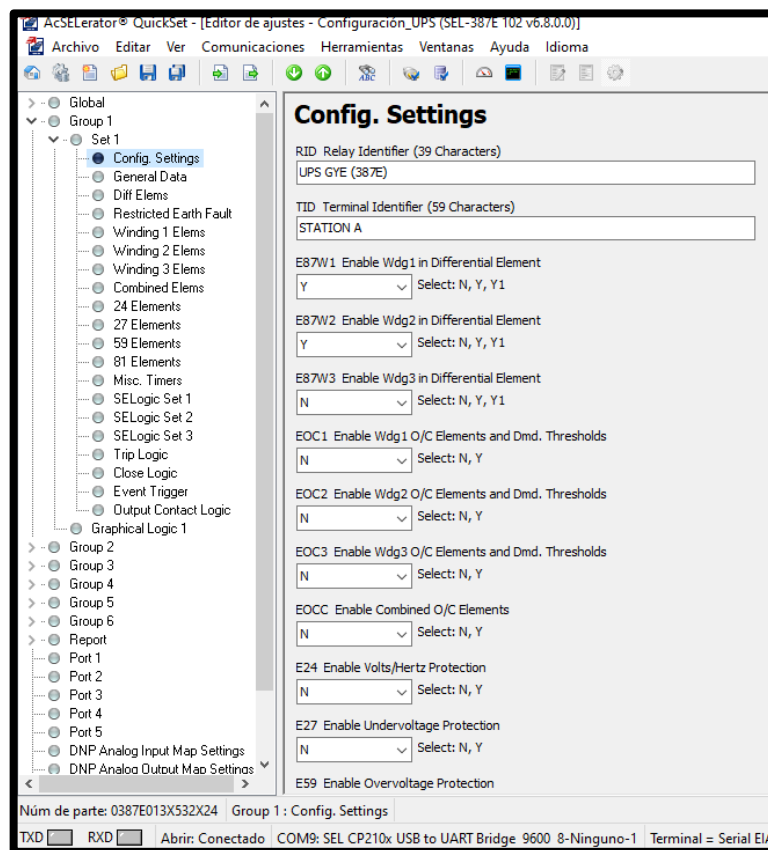


FIGURA 99 VENTANA AJUSTES DE CONFIGURACION. FUENTE: LOS AUTORES.

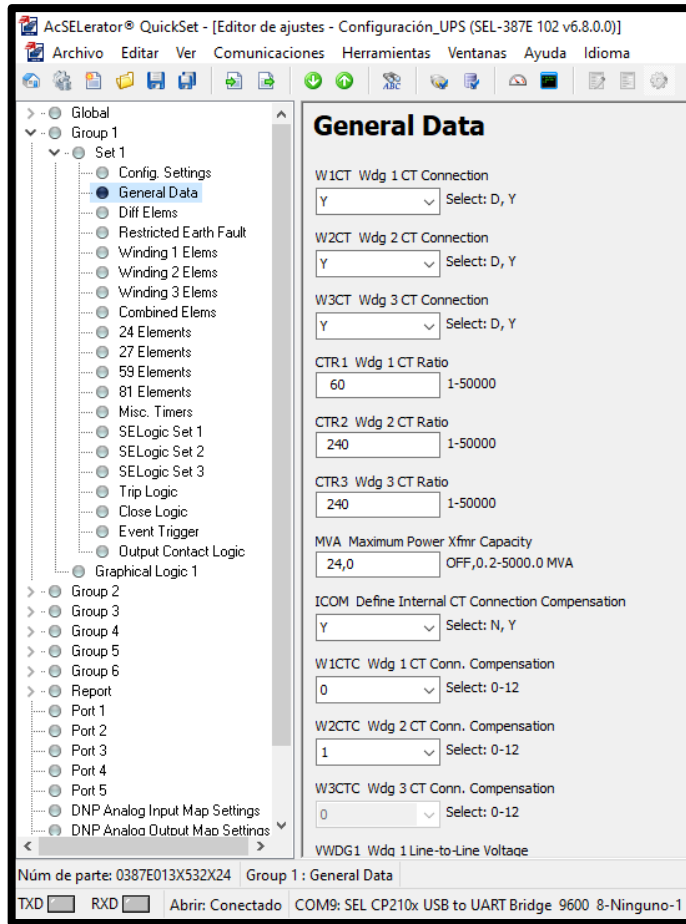


FIGURA 100 VENTANA DE LOS AJUSTE INFORMACION GENERAL. FUENTE: LOS AUTORES.

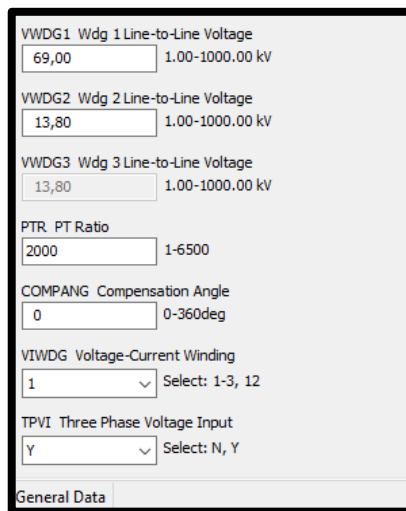


FIGURA 101 VENTANA AJUSTE DE NFORMACION GENERAL. FUENTE: LOS AUTORES.

Diff Elems	
TAP1 Wdg 1 Current Tap 3,35 Auto. setting when MVA != OFF	PCT4 4th Harmonic Blocking Percentage 15 OFF,5-100%
TAP2 Wdg 2 Current Tap 4,18 Auto. setting when MVA != OFF	PCT5 5th Harmonic Blocking Percentage 35 OFF,5-100%
TAP3 Wdg 3 Current Tap 3,35 Auto. setting when MVA != OFF	TH5P 5th Harmonic Alarm Threshold OFF OFF,0.02-3.2 TAP
O87P Restrained Element Current PU 0,30 0.10-1.00 TAP	TH5D 5th Harmonic Alarm TDPJ 30,000 0.000-8000.000 cyc
SLP1 Restraint Slope 1 Percentage 25 5-100%	DCRB DC Ratio Blocking N Select: N, Y
SLP2 Restraint Slope 2 Percentage 70 OFF,25-200%	HRSTR Harmonic Restraint Y Select: N, Y
IRS1 Restraint Current Slope 1 Limit 3,0 1.0-20.0 TAP	IHBL Independent Harmonic Blocking N Select: N, Y
U87P Unrestrained Element Current PU 8,0 1-20 TAP	
PCT2 2nd Harmonic Blocking Percentage 15 OFF,5-100%	

FIGURA 102 VENTANA DE AJUSTE DIFF ELEMS. FUENTE: LOS AUTORES.

#### 4.4.7.3 Pasos a seguir para ejecutar la prueba del módulo diferencial Diff Configuration en el software Test Universe.

- Una vez abierto el software y enlazado al equipo Omicron, procedemos a realizar los ajustes para la función diferencial.

**Nota:** En el capítulo 3 se detalla paso a paso la conexión y configuración de ajustes del software Test Universe.

#### Equipo protegido.

EQUIPO PROTEGIDO:	TRANSFORMADOR	
	PRIMARIO	SECUNDARIO
NOMBRE. DEVANADO		
TENSIÓN	69 KV	13,8 KV
POTENCIA	24 MVA	24 MVA
GRUPO VECTORIAL	D	Y1

**Parámetros de la protección diferencial**

Equipo protegido TC Disp. de protección Definición de la característica Armónicos

Equipo protegido: Transformador

Grupo vectorial: DY1

Nº de devanados:  2  3

Valores nominales

	Primario	Secundario	Terciario
Dev./Nombre:	Primario	Secundario	Terciario
Tensión:	69,00 kV	13,80 kV	30,00 kV
Potencia:	24,00 MVA	24,00 MVA	40,00 MVA
Grupo vectorial:	D	Y1 (Y30°)	Y0 (Y0°)
Pto. de estrella a tierra:	No	Sí	No
Corriente:	200,82 A	1,00 kA	769,80 A
TC de conexión en triángulo:	No	No	

Aceptar Cancelar Ayuda

FIGURA 103 VENTANA DE CONFIGURACIÓN DE PARAMETROS DE PROTECCIÓN DIFERENCIAL EN EL PROGRAMA TEST UNIVERSE. FUENTE: LOS AUTORES.

## TC

TC: VALORES NOMINALES	PRIMARIO	SECUNDARIO
CORRIENTE PRIMARIA	300	1200
CORRIENTE SECUNDARIA	5	5
PTO. DE ESTRELLA A TIERRA	HACIA EL EQUIPO PROTEGIDO	HACIA EL EQUIPO PROTEGIDO

**Parámetros de la protección diferencial**

Equipo protegido: TC    Disp. de protección    Definición de la característica    Armónicos

TC: valores nominales

	Primario	Secundario	Terciario
Corriente primaria:	300,00 A	1,20 kA	800,00 A
Corriente en sec.:	5,00 A	5,00 A	1,00 A
Pto. de estrella a tierra:	Hacia equipo prot.	Hacia equipo prot.	Hacia equipo prot.

Utilizar entradas de medida de corriente de tierra (TC)

TC tierra: Valores nominales

	Primario	Secundario	Terciario
Corriente primaria:	200,00 A	800,00 A	800,00 A
Corriente en sec.:	1,00 A	1,00 A	1,00 A
Pto. de estrella a tierra:	Hacia equipo prot.	Hacia equipo prot.	Hacia equipo prot.

Aceptar    Cancelar    Ayuda

FIGURA 104 VENTANA DE INGRESO DE PARAMETROS DE LA PROTECCION DIFERENCIAL-TC. FUENTE: LOS AUTORES.

## Dispositivo de protección

DIS. DE PROTECCIÓN	
CÁLCULO IPOL	$(IP+IS)/K1$
FACTOR K1	2
IDIFF>	0,30 IN
IDIFF>>	8 IN

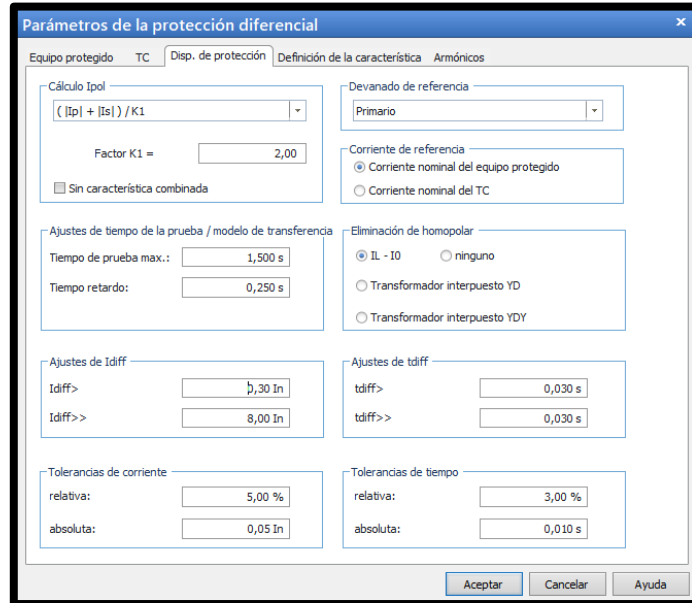


FIGURA 105 PARAMETROS DE LA PROTECCION DIFERENCIAL-DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN. FUENTE: LOS AUTORES.

## Definición de la característica

### Segmento 1

Punto 1: (0; 0.3)

$$I_{pol} = \text{Origen } (0)$$

$$I_{diff} = 0.87P = 0.3$$

PUNTO INICIAL	
IPOL	0
IDIFF	0,3

Punto 2: (1,2; 0.3)

$$I_{pol} = 0.87P * (100/SLP1) = 0.3 * (100/25) = 1,2$$

$$I_{diff} = 0.87P = 0.3$$

PUNTO FINAL	
IPOL	1,2
IDIFF	0,3

## Segmento 2

Punto 1: (1,2; 0.3)

PUNTO INICIAL	
IPOL	1,2
IDIFF	0,3

Punto 2: (3; 0,75)

$$Ipol = IRS1 = 3$$

$$Idiff = (SLP1/100) * IRS1 = (25/100) * 3 = 0,75$$

PUNTO FINAL	
IPOL	3
IDIFF	0,75

## Segmento 3

Punto 1: (3; 0,75)

PUNTO INICIAL	
IPOL	3
IDIFF	0,75

Punto 2: (13.36; 8)

Calculamos el valor " b " de intercepción con el eje " Y " del nuevo segmento, utilizando los datos del punto 1 del segmento 3.



$$I_{diff} = (SLP2\% * I_{pol}) + b$$

$$b = I_{diff} - (SLP2 * I_{pol}) = 0.75 - (0.7*3) = -1.35$$

$$I_{diff} = (0.7 * I_{pol}) - 1.35$$

$$I_{pol} = \frac{I_{diff} + 1.35}{0.7} = \frac{8 + 1.35}{0.7} = 13.3571 \approx 13.36$$

$$I_{diff} = U87P=8$$

PUNTO FINAL	
IPOL	13,36
IDIFF	8

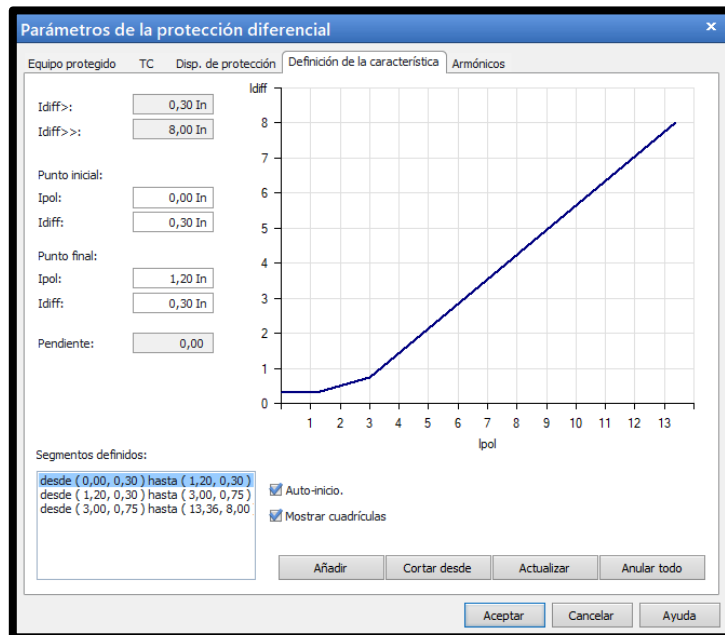


FIGURA 106 VENTANA DE AJUSTE DE PARAMETROS DE LA PROTECCION DIFERENCIAL-DEFINICION DE LA CARACTERISTICA. FUENTE: LOS AUTORES.

### Parametrización de bloqueo de segundo y quinto armónico.

El manual del fabricante recomienda un bloqueo del 15% y 35% de restricción para el segundo y quinto armónico respectivamente.

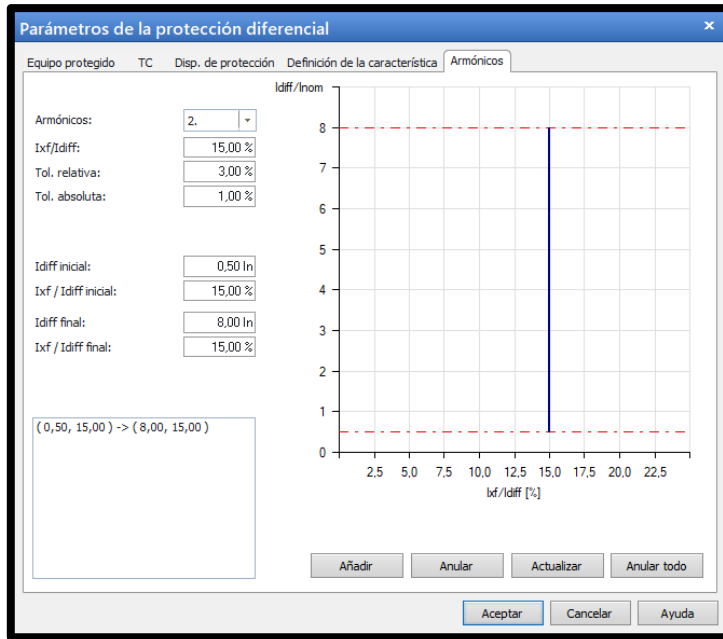


FIGURA 107 VENTANA DE AJUSTE DE PARAMETROS DE LA PROTECCION DIFERENCIAL-SEGUNDO ARMONICO.  
FUENTE: LOS AUTORES.

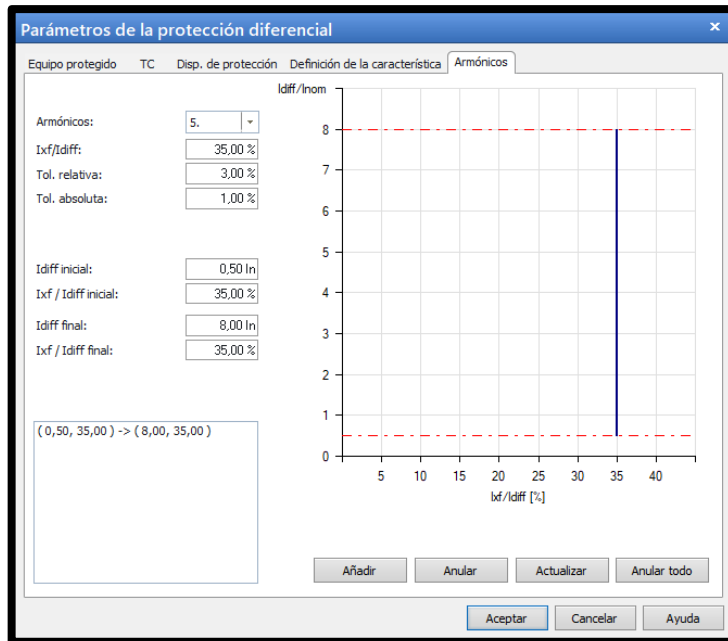


FIGURA 108 VENTANA PARA EL AJUSTE DE PARAMETROS DE LA PROTECCION DIFERENCIAL-QUINTA ARMONICO. FUENTE: LOS AUTORES.

Finalmente configuramos en hardware configuration, las salidas de corrientes como se describe en el capítulo 3.

**Nota:** En esta práctica se realizaron los ajustes para la ejecución de todos los módulos de pruebas diferenciales.

### Ejecución de la prueba de diff configuration.

#### Paso 1:

Ingresar dando doble clic al módulo de prueba diff configuration donde aparecerá la ventana para proceder a ejecutar la prueba.

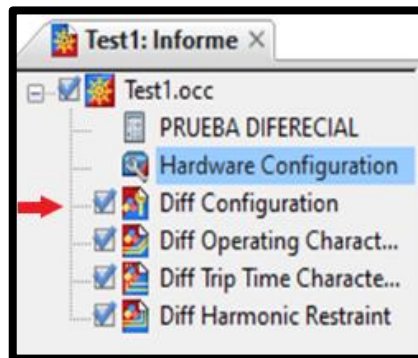


FIGURA 109 VENTANA MÓDULOS DE PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES.

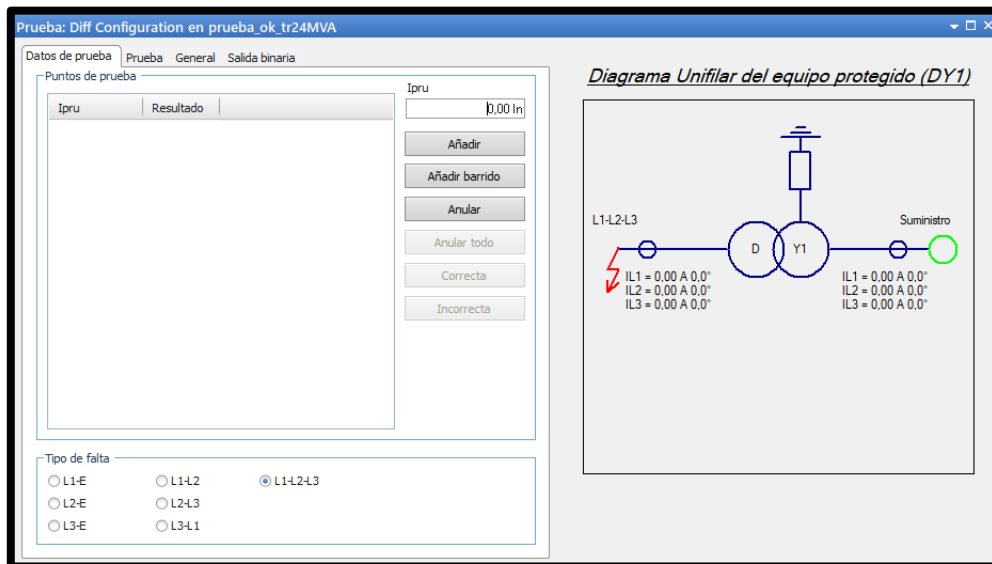


FIGURA 110 VENTANA PRINCIPAL DEL MODULO DE PRUEBA DIFF CONFIGURATION. FUENTE: LOS AUTORES.

En este caso se procederá a ejecutar una prueba donde la falla externa va a ser del lado secundario del transformador y el suministro de energía en el lado primario del mismo.

Para seleccionar este tipo de falla se debe dar clic en la pestaña general donde seleccionaremos la falla mencionada anteriormente.

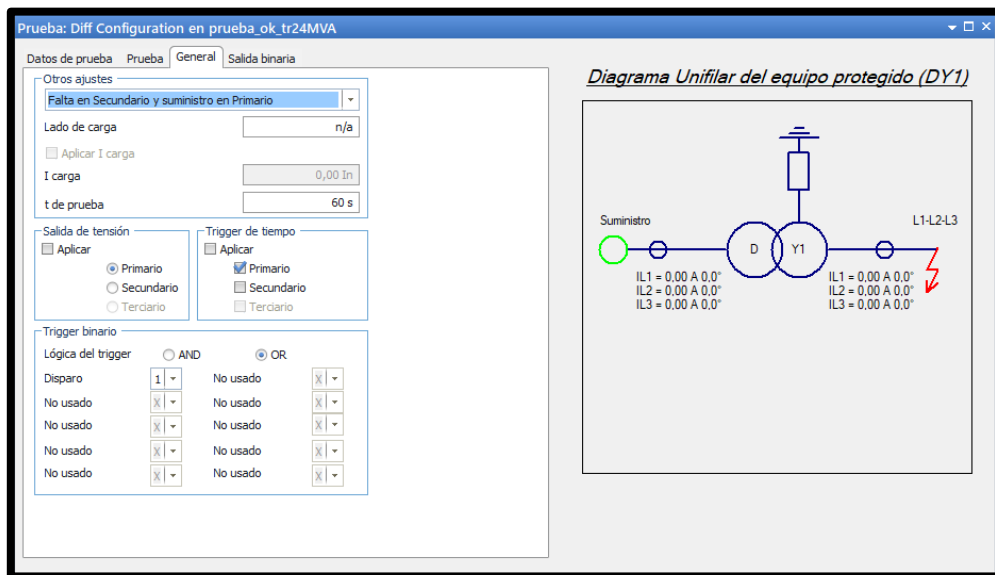


FIGURA 111 VENTANA DE PRUEBA DIFF CONFIGURATION (GENERAL). FUENTE: LOS AUTORES.

## Paso 2:

Seleccionamos en pestaña de datos de prueba, el tipo de falla a probar que son los siguientes:

Falla externa monofásica línea-neutro de lado secundario.

Falla externa bifásica línea-línea de lado secundario.

Falla externa trifásica de lado secundario.

### **Falla externa monofásica línea-neutro de lado secundario.**

Luego de seleccionar datos de prueba, vamos a añadir un punto de prueba de valor 1 In, automáticamente en el diagrama unifilar se reflejará la cantidad de corriente con la que va a trabajar la maleta de inyección para simular la falla como se puede observar en la figura 113.

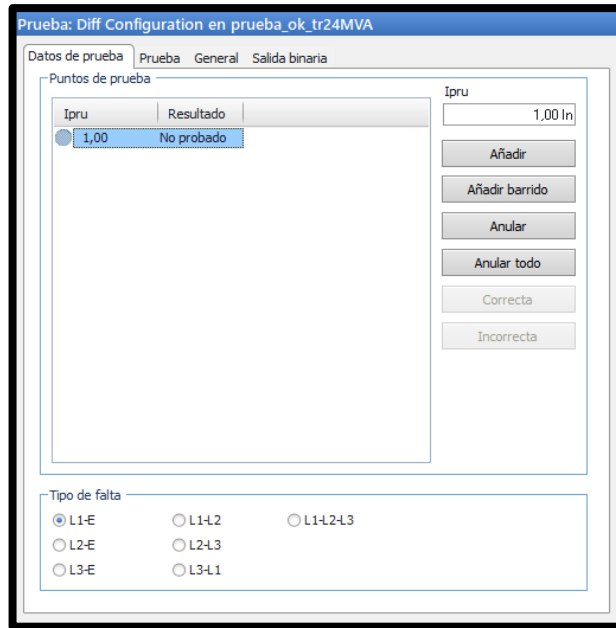


FIGURA 112 VENTANA DIFF CONFIGURATION (DATOS DE PRUEBA). FUENTE: LOS AUTORES.

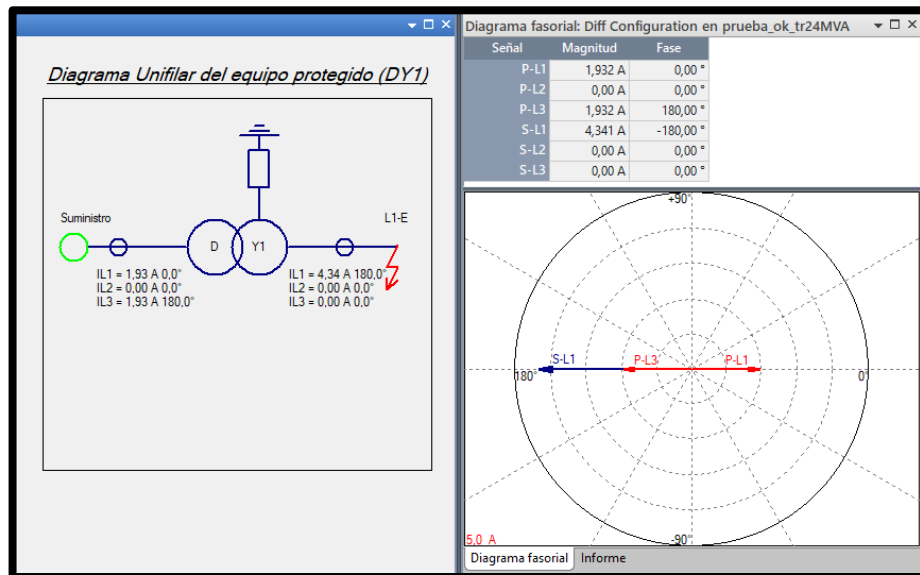


FIGURA 113 VENTANA PRINCIPAL DEL MÓDULO DE PRUEBA DIFF CONFIGURATION - DIAGRAMA UNFILAR Y FASORIAL. FUENTE: LOS AUTORES.

**Paso 3:** Para iniciar la prueba, damos clic en comenzar, donde la maleta va a empezar a trabajar inyectando la corriente establecida por el punto ya añadido.

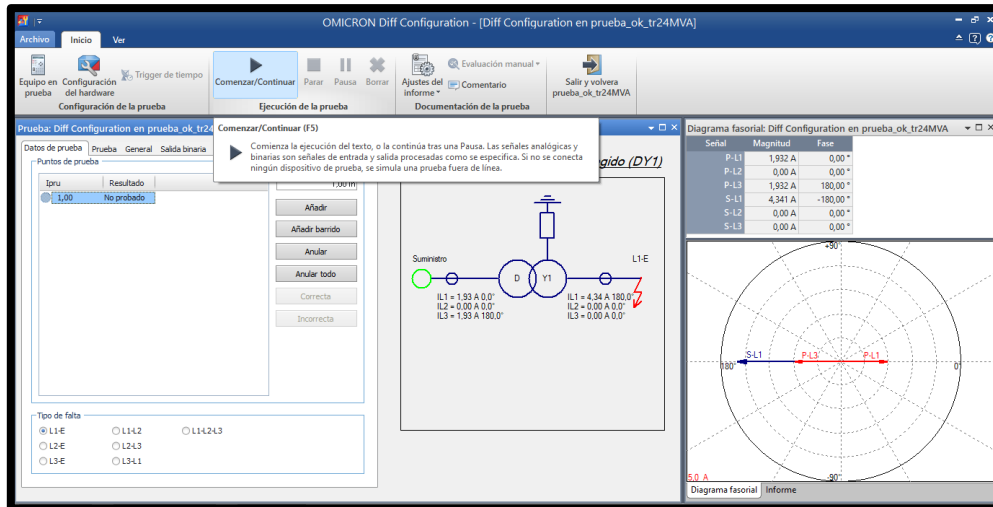


FIGURA 114 VENTANA PRINCIPAL DEL MÓDULO DE PRUEBA DIFF CONFIGURATION - INICIO DE LA PRUEBA.  
FUENTE: LOS AUTORES.

**Paso 4:** La maleta Omicron comienza a inyectar la corriente, esta prueba diff configuration es manual por lo que tenemos que revisar el rele y las corrientes diferenciales que esta midiendo.

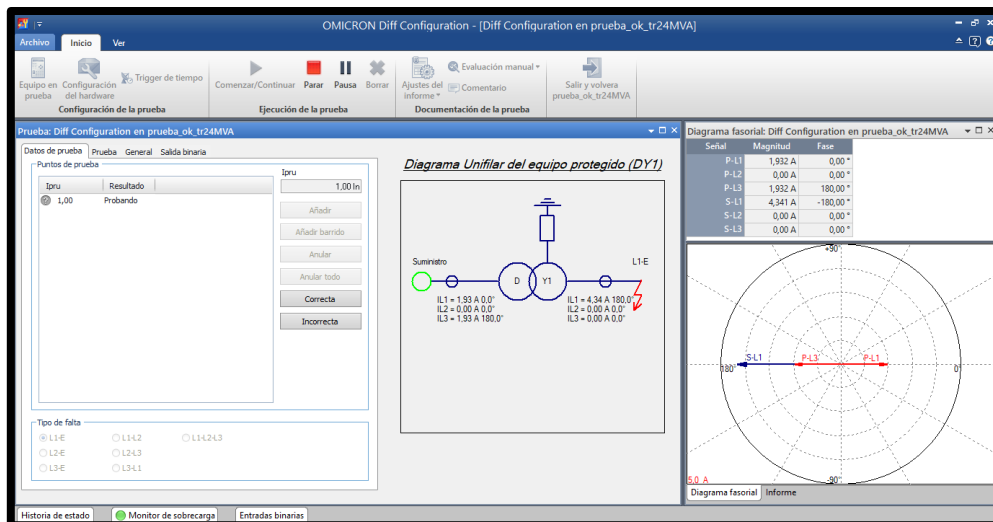


FIGURA 115 VENTANA PRINCIPAL DEL MÓDULO DE PRUEBA DIFF CONFIGURATION - PRUEBA EN DESARROLLO.  
FUENTE: LOS AUTORES.

**Paso 5:** Damos clic en la pestaña prueba en donde vamos a ubicar las corrientes medidas en el relé, tanto para Idiff y para Ipol.

**Nota:** La ejecución de esta prueba es correcta si el relé no opera, ya que, al ser una falla externa a la zona de protección diferencial, este no debería operar.

En caso de que el relé opere, la simulación se marcará como incorrecta, lo cual indicaría que el relé está mal configurado o conectado.

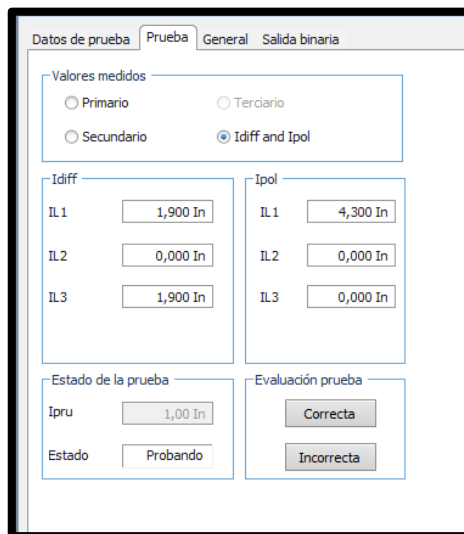


FIGURA 116 VENTANA PRUEBA DEL MÓDULO DIFF CONFIGURATION – INGRESO DE CORRIENTES MEDIDAS POR EL RELÉ. FUENTE: LOS AUTORES.

**Paso 6:** Una vez que ubicamos las respectivas corrientes para Idiff y para Ipol y todo sigue funcionando con normalidad, vamos a marcar como correcta la prueba.

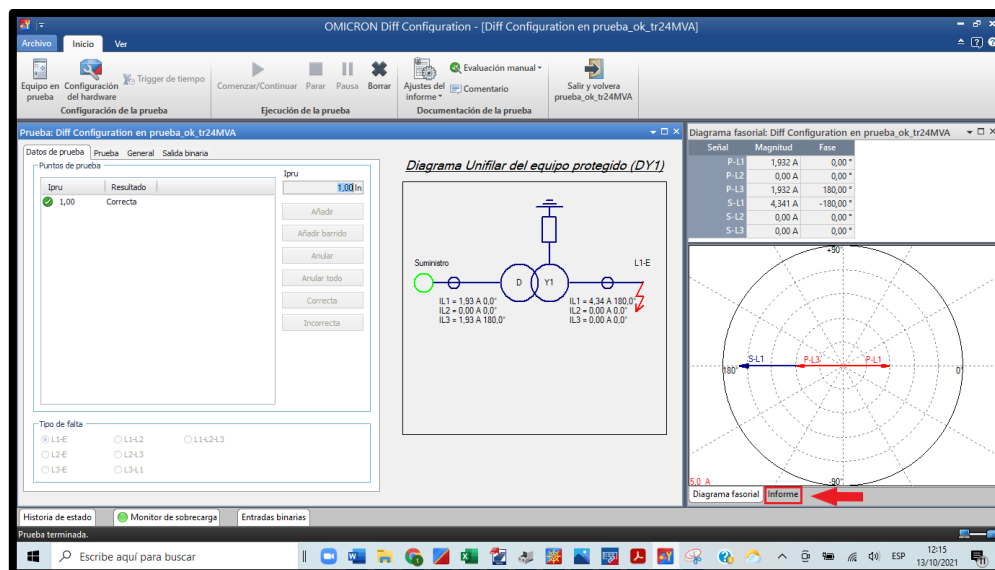


FIGURA 117 OPCION INFORME PARA VER EL RESULTADO DE LA PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES.

**Paso 7:** Damos clic en informe ubicado en la parte inferior derecha de la pantalla como se muestra en la 117, se mostrara el informe de la prueba y el estado de la misma.

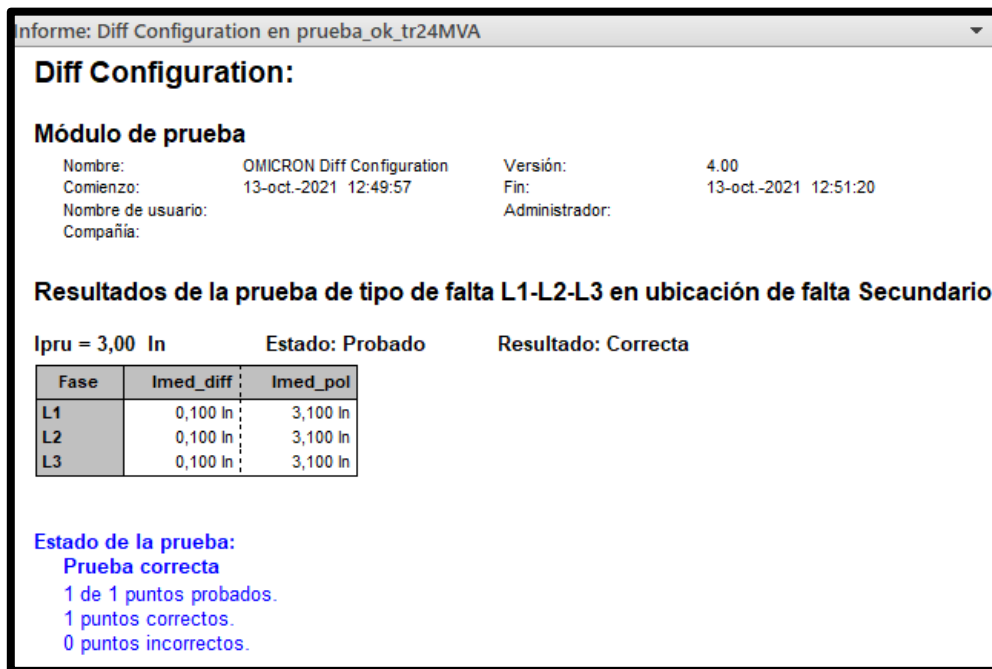


FIGURA 118 INFORME DE LA PRUEBA DEL MÓDULO DIFF CONFIGURATION. FUENTE: LOS AUTORES.

#### 4.4.7.4 Recomendaciones

- Seguir los pasos detalladamente para la configuración de los dispositivos
- Realizar de manera correcta las conexiones entre el relé y la maleta de inyección especificados en el capítulo 3.



## **4.5 Practica V**

### **4.5.1 Tema**

Prueba de módulo Diff Operating Characteristic.

### **Objetivo General**

- Comprobar la correcta labor de la curva característica en la protección diferencial del relé SEL-387E.

### **4.5.2 Objetivos específicos**

- Comprobar el correcto funcionamiento de la curva característica ante fallas trifásicas simuladas mediante el equipo de inyección de corriente Omicron CMC 356.
- Comprobar el correcto funcionamiento de la curva característica ante fallas externas a la zona de protección diferencial, simuladas mediante el equipo de inyección de corriente Omicron CMC 356.

### **4.5.3 Duración**

1 hora.

### **4.5.4 Recursos utilizados**

- Computador
- Omicron CMC 356
- Relé SEL 387E
- Software Test Universe
- Software AcSELerator QuickSet
- Cables tipo banana
- Cable USB serial SEL

### **4.5.5 Marco teórico**

#### **Módulo de prueba Diff Operating Characteristic.**

Este módulo prueba la correcta operación de la protección diferencial ante fallas internas en la zona protegida. Las corrientes que se inyectan en el relé se miden desde los pares de valores de corriente diferencial y corriente de polarización especificados en el grafico

Idiff/Ipol. Esto se concierne de manera directa con la manera en que los fabricantes detallan habitualmente la característica de operación. La ejecución buena del relé, trabajo o no trabajo, se valúa mediante su equiparación con la característica detallada.

Los valores situados por arriba de la curva característica de operación harán que el relé opere, y por el contrario es decir los valores por debajo de la característica no provocaran el disparo del relé.

#### 4.5.6 Marco procedimental

Ingresamos al módulo OMICRON Diff Operation Characteristic, aparecerá la ventana donde se muestra en la figura 119, donde se procederá a realizar las pruebas, las cuales son las siguientes:

Operación normal

Falla externa barra 13.8 KV.

Falla interna trifásica de lado de baja 13.8 KV.

Falla interna trifásica de lado de alta 69 KV.

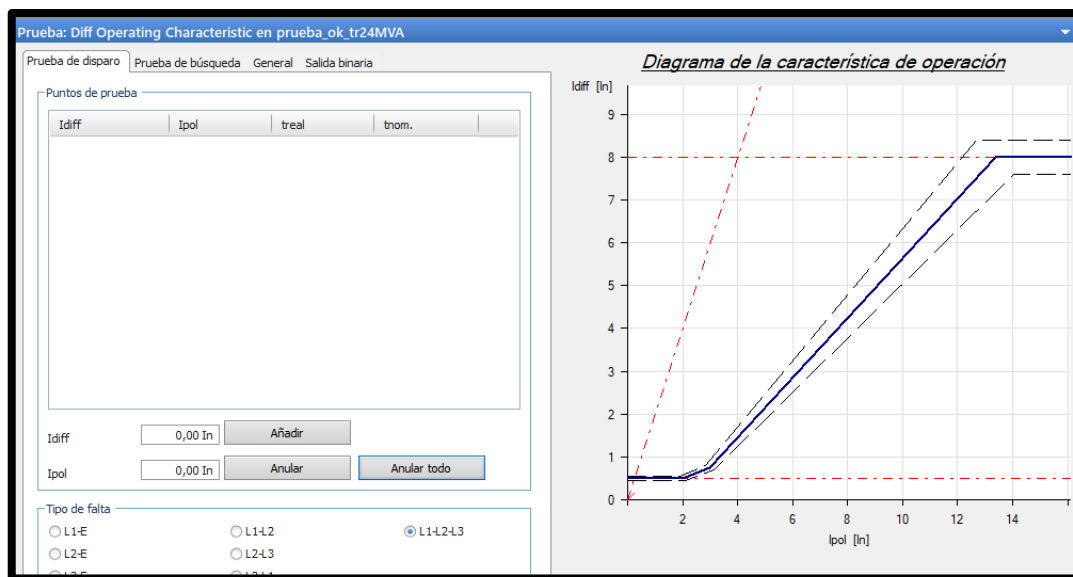


FIGURA 119 VENTANA PRINCIPAL DEL MODULO DE PRUEBA DIFF OPERATING CHARACTERISTIC. FUENTE: LOS AUTORES.

Los resultados de corrientes de las pruebas mencionadas se consiguen de simulaciones mediante el software DigSILENT PowerFactory 2020.

**Operación normal con falla externa en barra de 13.8KV a los 0.03 s.**

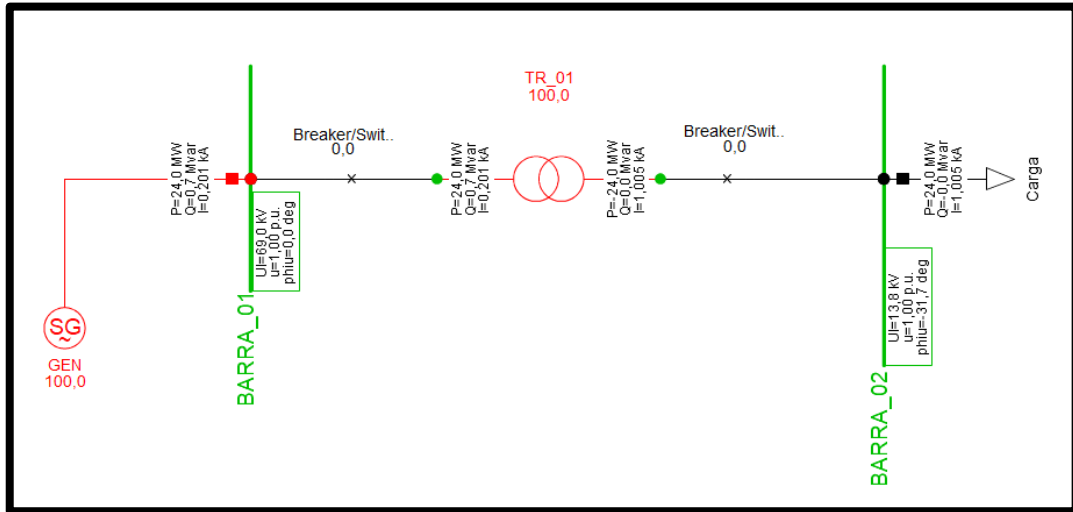


FIGURA 120 DIAGRAMA UNIFILAR - FLUJO DE CARGA – OPERACIÓN NORMAL - DIGSILENT. FUENTE: LOS AUTORES.

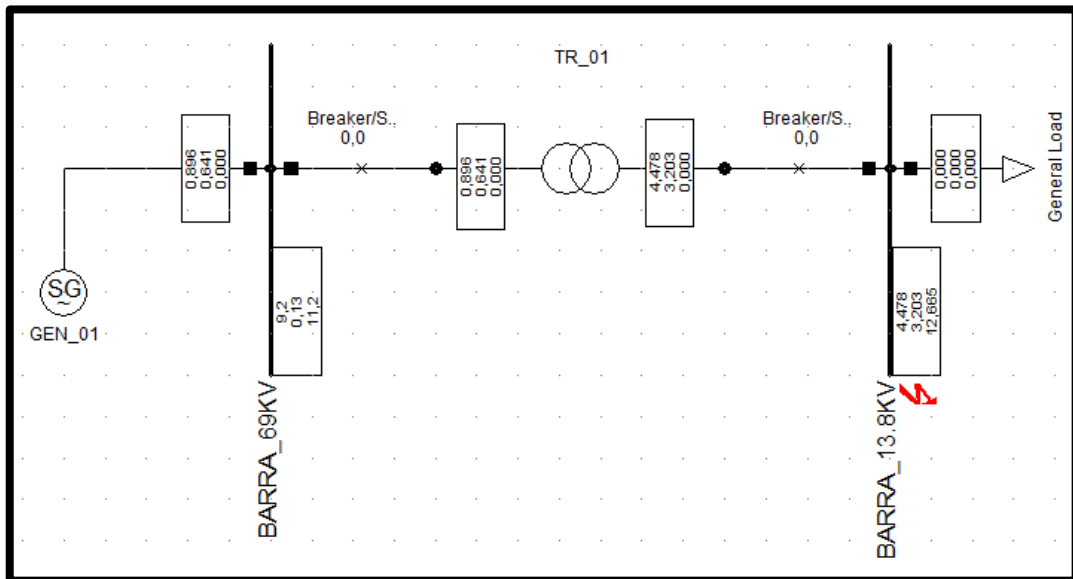


FIGURA 121 DIAGRAMA UNIFILAR – FALLA EXTERNA EN BARRA 13.8 KV. FUENTE: LOS AUTORES.

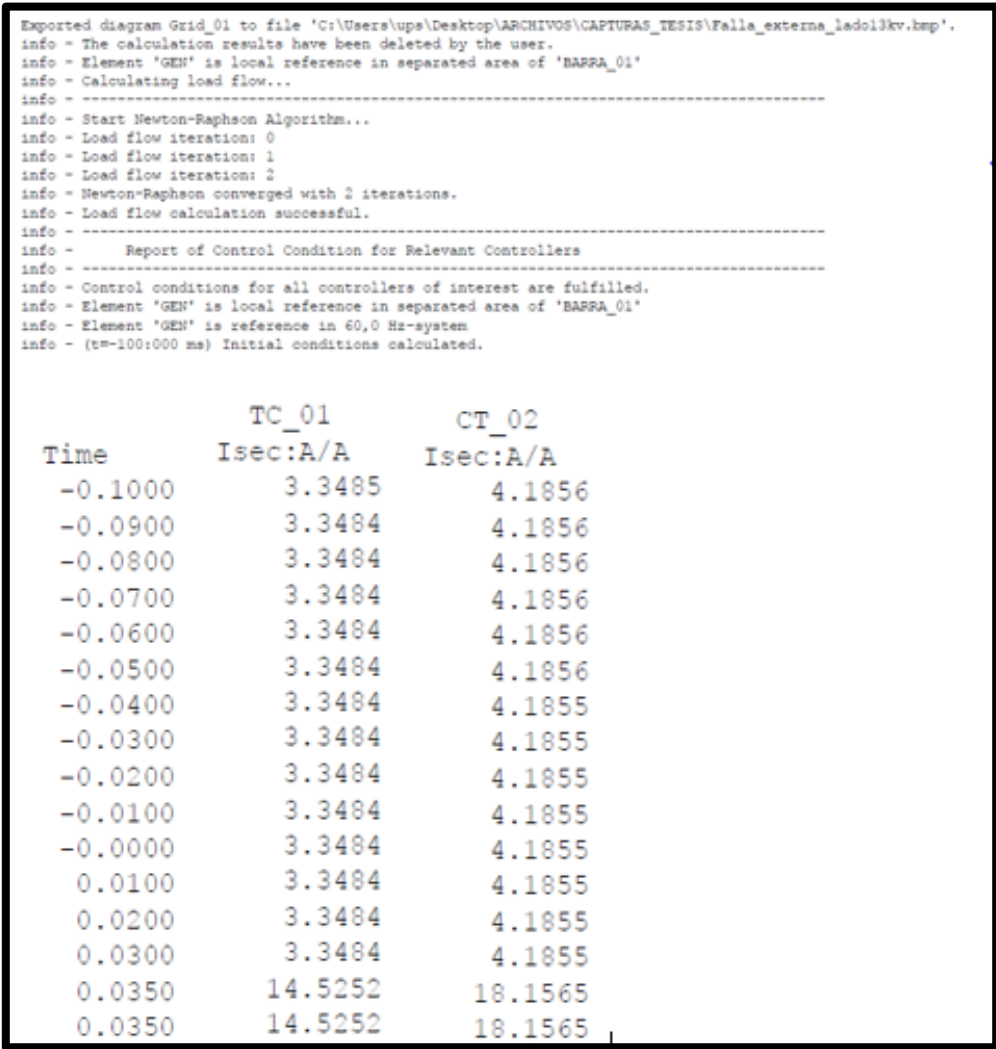


FIGURA 122 DATOS DE CORRIENTES MEDIDAS POR LOS TCS - SOFTWARE DIGSILENT. FUENTE: LOS AUTORES.

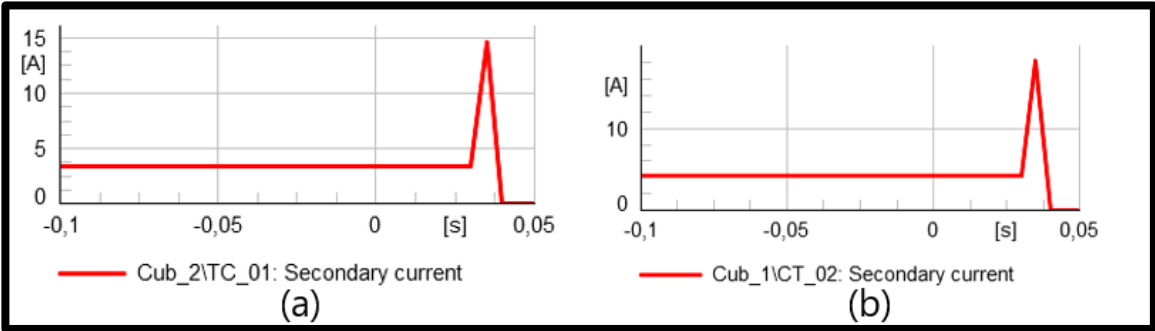


FIGURA 123 DIAGRAMA DE CORRIENTES ANTE FALLA EXTERNA EN DIGSILENT. FUENTE: LOS AUTORES.

## Falla interna trifásica de lado de baja 13.8 KV

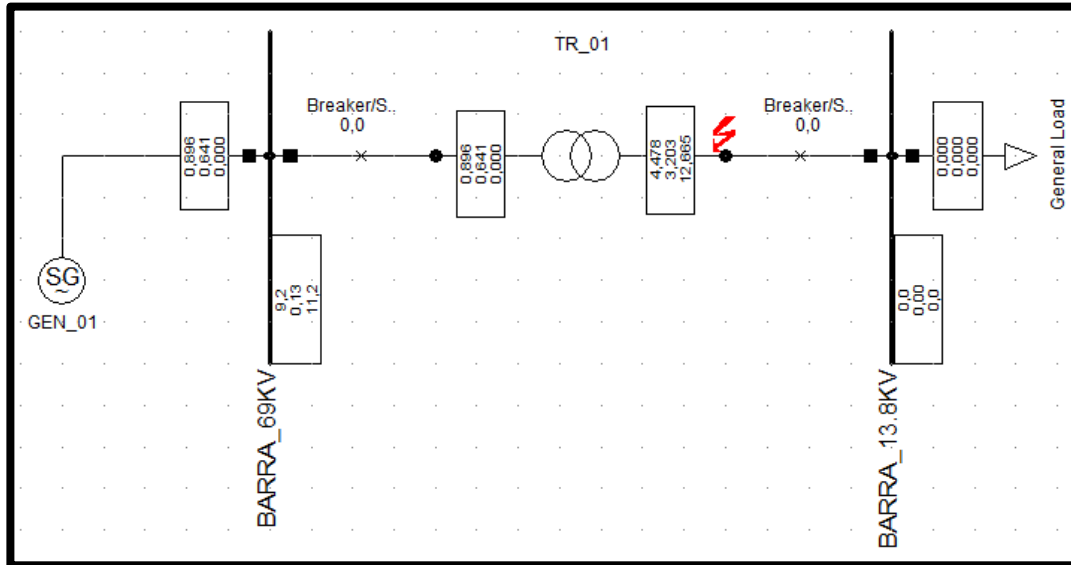


FIGURA 124 DIAGRAMA UNIFILAR – FALLA INTERNA EN BARRA 13.8 KV. FUENTE: LOS AUTORES.

```

info - Report of Control Condition for Relevant Controllers
info - -----
info - Control conditions for all controllers of interest are fulfilled.
info - Element 'GEN' is local reference in separated area of 'BARRA_01'
info - Element 'GEN' is reference in 60,0 Hz-system
info - (t=-100:000 ms) Initial conditions calculated.

```

Time	TC_01	CT_02
	Isec:A/A	Isec:A/A
-0.1000	3.3485	4.1856
-0.0900	3.3484	4.1856
-0.0800	3.3484	4.1856
-0.0700	3.3484	4.1856
-0.0600	3.3484	4.1856
-0.0500	3.3484	4.1856
-0.0400	3.3484	4.1855
-0.0300	3.3484	4.1855
-0.0200	3.3484	4.1855
-0.0100	3.3484	4.1855
-0.0000	3.3484	4.1855
0.0100	3.3484	4.1855
0.0200	3.3484	4.1855
0.0250	14.5252	0.0000
0.0250	14.5252	0.0000

FIGURA 125 DATOS DE FALLA INTERNA TRIFASICA DE LADO DE BAJA. FUENTE: LOS AUTORES.

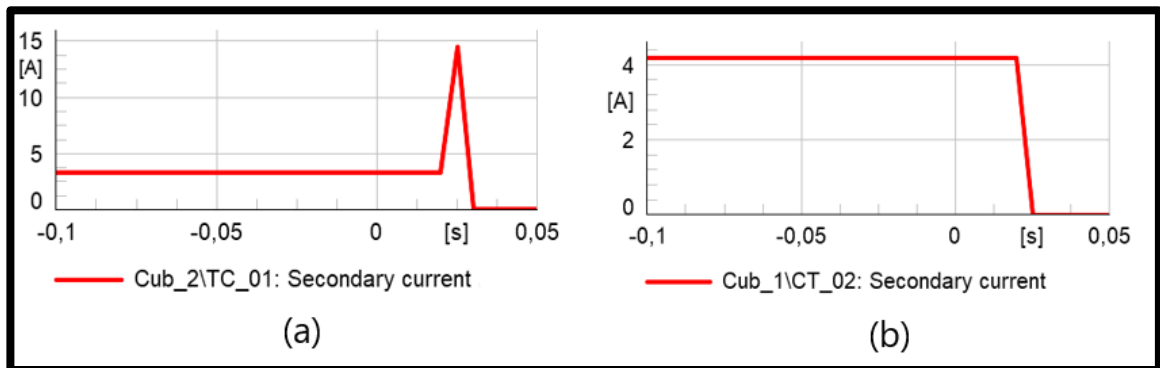


FIGURA 126 DIAGRAMA DE CORRIENTES EN LA FALLA INTERNA TRIFASICA DE LADO DE BAJA. FUENTE: LOS AUTORES.

# Falla interna trifásica de lado de alta 69 KV

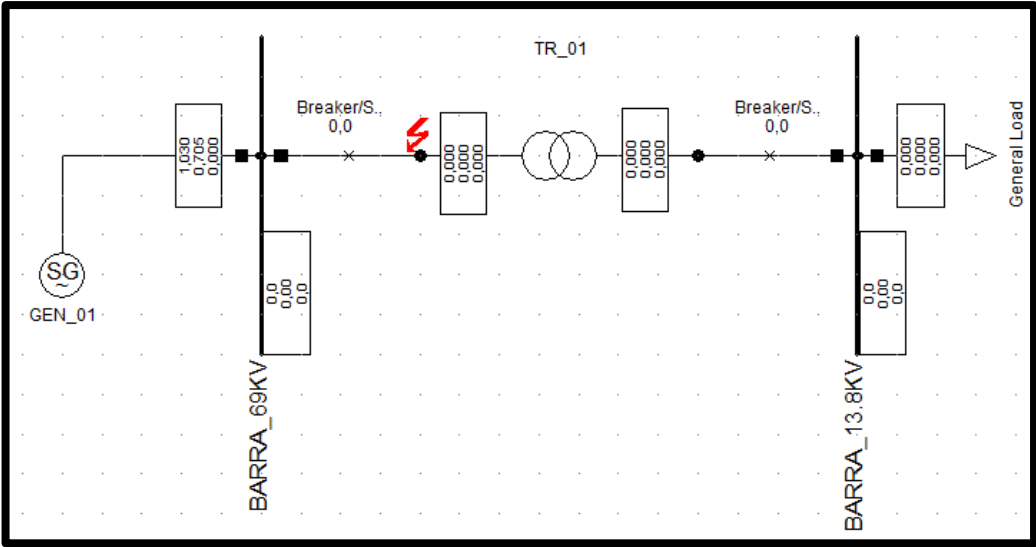


FIGURA 127 DIAGRAMA UNIFILAR – FALLA INTERNA EN BARRA 69 KV. FUENTE: LOS AUTORES.

```

info -      Report of Control Condition for Relevant Controllers
info - -----
info - Control conditions for all controllers of interest are fulfilled.
info - Element 'GEN' is local reference in separated area of 'BARRA_01'
info - Element 'GEN' is reference in 60,0 Hz-system
info - (t=-100:000 ms) Initial conditions calculated.

Time          TC_01          CT_02
Isec:A/A      Isec:A/A      Isec:A/A
-0.1000      3.3485        4.1856
-0.0900      3.3484        4.1856
-0.0800      3.3484        4.1856
-0.0700      3.3484        4.1856
-0.0600      3.3484        4.1856
-0.0500      3.3484        4.1856
-0.0400      3.3484        4.1855
-0.0300      3.3484        4.1855
-0.0200      3.3484        4.1855
-0.0100      3.3484        4.1855
-0.0000      3.3484        4.1855
0.0100       3.3484        4.1855
0.0200       3.3484        4.1855
0.0250      16.6320        0.0000
0.0250      16.6320        0.0000

```

FIGURA 128 DATOS DE PRUEBA DE FALLA INTERNA TRIFASICA DE LADO DE ALTA EN DIGSILENT. FUENTE: LOS AUTORES.

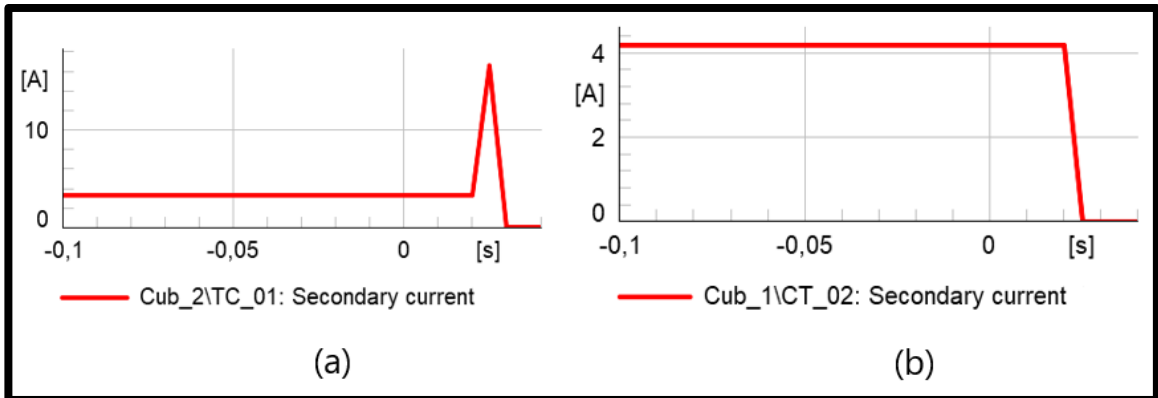


FIGURA 129 DIAGRAMA DE CORRIENTES EN LA FALLA INTERNA TRIFASICA DE LADO DE ALTA. FUENTE: LOS AUTORES.

Los valores obtenidos mediante las simulaciones en el programa DigSILENT están dados en amperios secundarios. Con estos valores se procede a sacar los valores por unidad.



I_prim_69 KV	$I_{prim\ 69KV} = \frac{24MVA}{\sqrt{3} * 69KV}$
I_prim_13.8 KV	$I_{prim\ 13.8KV} = \frac{24MVA}{\sqrt{3} * 13.8KV}$
I_lado 69 KV (pu)	$I_{pu} = \frac{I_{sec}}{I_{pri\ 69KV} * 5/300}$
I_lado 13.8 KV (pu)	$I_{pu} = \frac{I_{sec}}{I_{pri\ 13.8KV} * 5/1200}$

$I_{pol} = ( I1  +  I2 )/2$
$I_{diff} = (I1 + I2)$

TABLA 3 DATOS DE CORRIENTES PARA PRUEBAS. FUENTE: LOS AUTORES.

DESCRIPCION	I1_SEC_69 KV	I2_SEC_13.8KV	I1_PU_69K V	I2_PU_13.8 KV	IPOL = ( I1 + I2 )/2	IDIFF= (I1-I2)
OPERACIÓN NORMAL	3,35	4,19	1,001	1,000	1,00	0,00
FALLA_3F_EXTERNA_BAR RA_13,8KV	14,5252	18,16	4,340	4,340	4,34	0,00
FALLA_INTERNA_3F_LAD O_BAJA_13,8KV	14,5252	0	4,340	0,000	2,17	4,34
FALLA_INTERNA3F_LADO _ALTA_69KV	16,632	0	4,969	0,000	2,49	4,97

Con los valores por unidad obtenidos podremos calcular los puntos de prueba a usar en el modulo de prueba Omicron.

Los puntos para probar en el módulo son los puntos Idiff e Ipol establecidos en la tabla 3, considerando el tipo de falla será en el modo L1-L2-L3.

Prueba: Diff Operating Characteristic en prueba\_ok\_tr24MVA

Prueba de disparo | Prueba de búsqueda | General | Salida binaria

Puntos de prueba

Idiff	Ipol	treal	tnom.
<input type="radio"/> 0,00 In	1,00 In	No probado	N/D
<input type="radio"/> 0,00 In	4,34 In	No probado	N/D
<input type="radio"/> 4,34 In	2,17 In	No probado	0,03 s
<input type="radio"/> 4,97 In	2,49 In	No probado	0,03 s

Idiff:

Ipol:

Tipo de falta

L1-E                       L1-L2                       L1-L2-L3  
 L2-E                       L2-L3

FIGURA 130 INGRESO DE PUNTOS PRUEBA DIFF CONFIGURATION. FUENTE: LOS AUTORES.

Una vez introducidos los puntos de pruebas daremos inicio a la prueba.

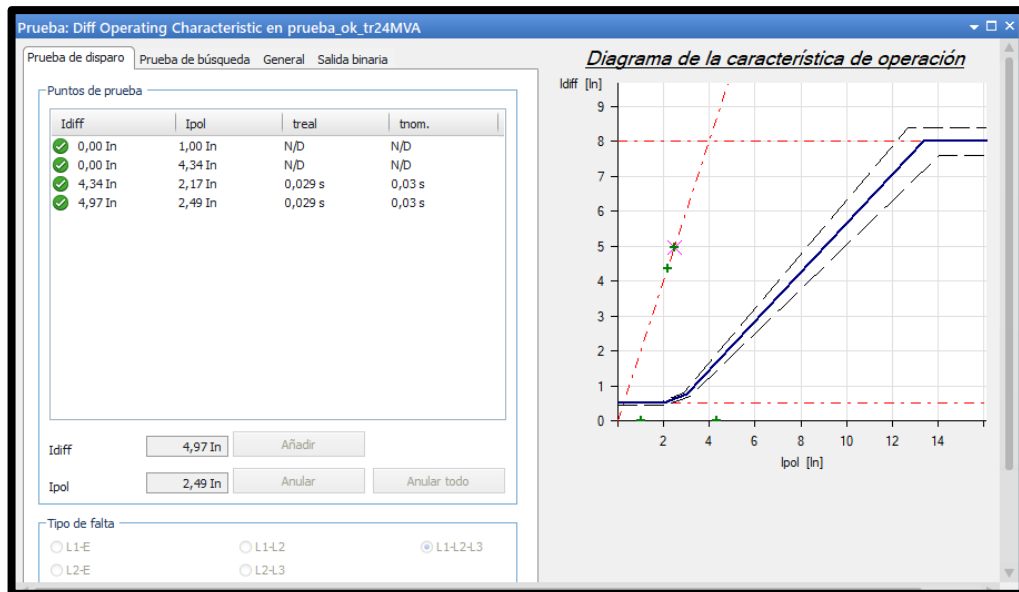


FIGURA 131 VENTANA DE PRUEBA DE DISPARO. FUENTE: LOS AUTORES.

Podemos observar que los punto han sido probados de manera exitosa, por lo cual podemos deducir que el relé está operando de manera correcta, esto lo podemos corroborar con el informe que nos proporciona el módulo de prueba como se observa en la figura 132.

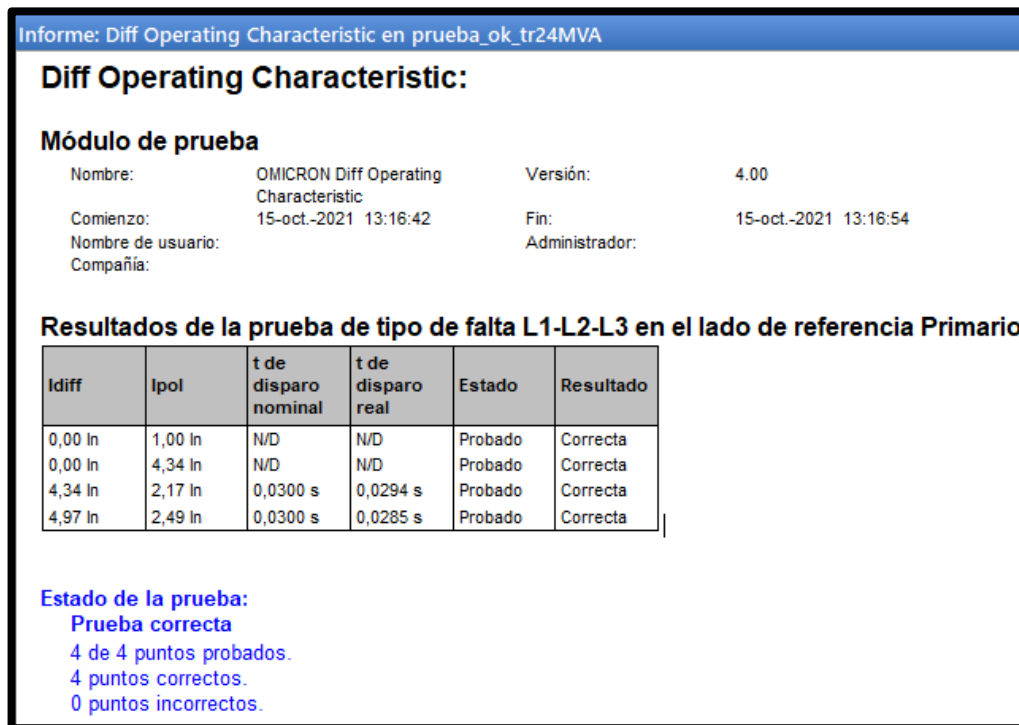


FIGURA 132 RESULTADO DE PRUEBA DE DIFF OPERATING CHARACTERISTIC. FUENTE: LOS AUTORES.

#### 4.5.7 **Recomendaciones**

- Es muy importante tener claro el concepto de protección diferencial, para saber cuándo la protección debe actuar y dar un análisis correcto a la prueba.
- Se recomienda que el valor mínimo de operación (O87P) del relé se establezca en 0.3 como lo recomienda el manual del fabricante.

## **4.6 Practica VI**

### **4.6.1 Tema**

Prueba de módulo Diff Trip Time Characteristic.

### **Objetivo General**

- Comprobar el correcto funcionamiento del tiempo de disparo en la protección diferencial del relé SEL-387E.

### **4.6.2 Objetivos específicos**

- Comprobar el efectivo funcionamiento del tiempo de disparo ante fallas simuladas mediante el equipo de inyección de corriente Omicron CMC 356.

### **4.6.3 Duración**

1 hora.

### **4.6.4 Recursos utilizados**

- Computador
- Omicron CMC 356
- Relé SEL 387E
- Software Test Universe
- Software AcSELeRator QuickSet
- Cables tipo banana
- Cable USB Serial SEL

### **4.6.5 Marco teórico**

#### **Módulo de prueba Diff Trip Time Characteristic.**

En este módulo de prueba el sometimiento del tiempo de disparo los mide en las corrientes diferenciales establecidas y la magnitud de la corriente diferencial, los puntos que se prueban se los establece en el esquema de la característica de tiempo de disparo y los valores se dimensionan equiparando con esta particularidad.

#### 4.6.6 Marco procedimental

Ingresamos al módulo OMICRON Diff Trip Time Characteristic. Aparecerá la ventana que se muestra en la figura 133 en donde se procederá a realizar las pruebas, las cuales son las siguientes:

- Prueba de tiempo de disparo ante una falla monofásica.
- Prueba de tiempo de disparo ante una falla bifásica.
- Prueba de tiempo de disparo ante una falla trifásica.

#### Prueba de tiempo de disparo ante una falla monofásica.

**Paso 1:** Seleccionamos el tipo de falla a realizar, en este caso la falla línea-neutro.

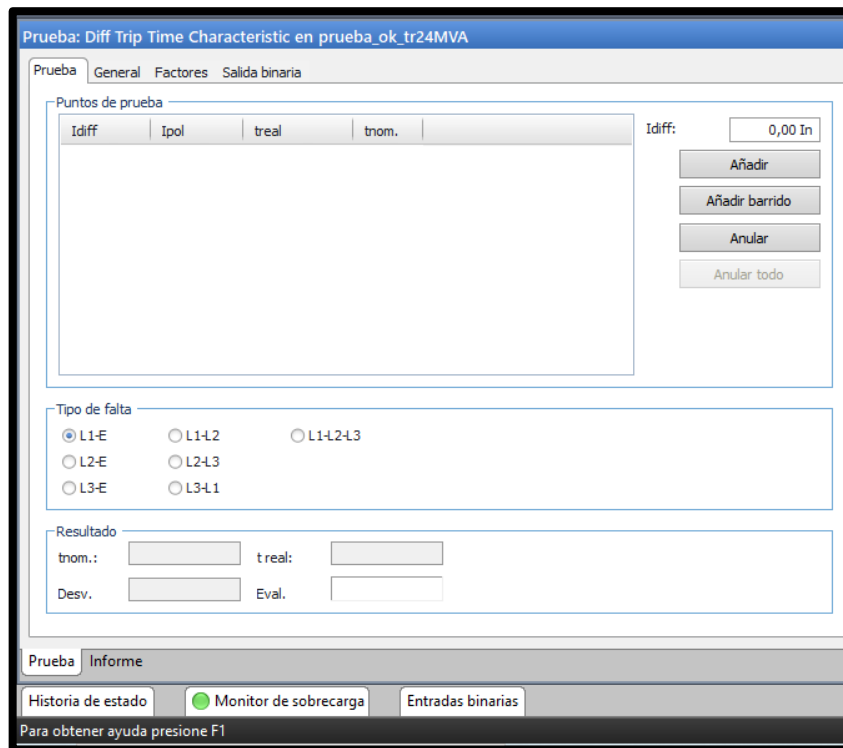


FIGURA 133 VENTANA DEL MÓDULO DE PRUEBA DIFF TRIP TIME CHARACTERISTIC. FUENTE: LOS AUTORES.

**Paso 2:** Una vez dentro del módulo, desde la pestaña de prueba, vamos a dar clic en Añadir barrido.

**Paso 3:** Añadimos un barrido con valor inicial de corriente diferencial de 1 In, como valor final 8 In y un tamaño del paso de 1 In, el cual se va a ver reflejado en el momento de la prueba, finalmente damos clic en añadir a tabla.

**Añadir barrido** [X]

Datos de barrido de Idiff

Valor inicial:

Valor final:

Tamaño del paso:

Número de:

Añadir a tabla

Cancelar

Ayuda

FIGURA 134 VENTANA INGRESO DE PARÁMETROS DE BARRIDO DE LA PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES.

**Paso 4:** Ya establecidos los puntos a analizar, procedemos a iniciar la prueba.

Prueba: Diff Trip Time Characteristic en prueba\_ok\_tr24MVA

Prueba | General | Factores | Salida binaria

Puntos de prueba

Idiff	Ipol	treal	tnom.
<input checked="" type="radio"/> 1,00	1,00	No probado	0,030
<input type="radio"/> 2,00	2,00	No probado	0,030
<input type="radio"/> 3,00	3,00	No probado	0,030
<input type="radio"/> 4,00	4,00	No probado	0,030
<input type="radio"/> 5,00	5,00	No probado	0,030
<input type="radio"/> 6,00	6,00	No probado	0,030
<input type="radio"/> 7,00	7,00	No probado	0,030
<input type="radio"/> 8,00	8,00	No probado	0,030

Idiff:

Añadir

Añadir barrido

Anular

Anular todo

Tipo de falta

L1-E     L1-L2     L1-L2-L3

L2-E     L2-L3

L3-E     L3-L1

Resultado

tnom.:     t real:

Desv.:     Eval.:

FIGURA 135 VENTANA DE PRUEBA – PUNTOS DE BARRIDO INGRESADOS. FUENTE: LOS AUTORES.

**Paso 5:** Completada la prueba, se puede observar que el relé ha operado de forma satisfactoria.

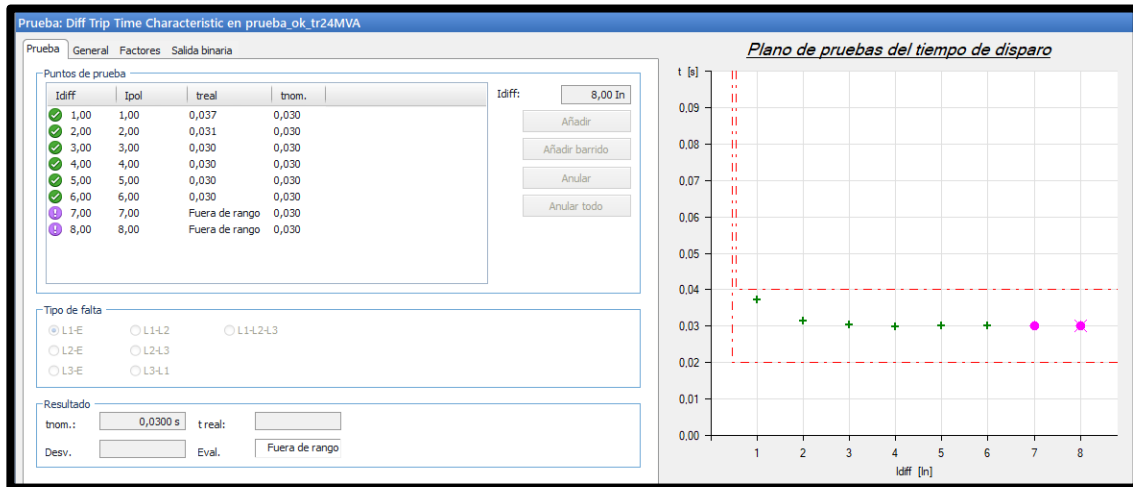


FIGURA 136 VENTANA DE PRUEBA – RESULTADO DE LA PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES.

**Nota:** Los valores que se muestran en color lila son puntos de prueba establecidos que están fuera del rango de corriente que puede suministrar la maleta de inyección en la configuración de hardware seleccionada, la cual es de 32 amperios máximo.

**Paso 6:** Finalmente obtenemos el informe de la prueba de tiempo línea-neutro.

Informe: Diff Trip Time Characteristic en prueba\_ok\_tr24MVA

Idiff	Ipol	t de disparo nominal	t de disparo real	Desv (rel)	Desv (abs)	Estado	Resultado
1,00 In	1,00 In	0,0300 s	0,0371 s	23,67 %	0,0071 s	Probado	Correcta
2,00 In	2,00 In	0,0300 s	0,0313 s	4,33 %	0,0013 s	Probado	Correcta
3,00 In	3,00 In	0,0300 s	0,0303 s	1,00 %	0,0003 s	Probado	Correcta
4,00 In	4,00 In	0,0300 s	0,0297 s	1,00 %	-0,0003 s	Probado	Correcta
5,00 In	5,00 In	0,0300 s	0,0300 s	0,00 %	0,0000 s	Probado	Correcta
6,00 In	6,00 In	0,0300 s	0,0302 s	0,67 %	0,0002 s	Probado	Correcta
7,00 In	7,00 In	0,0300 s	N/D	0,00 %	0,0000 s	Fuera de rango	n/a
8,00 In	8,00 In	0,0300 s	N/D	0,00 %	0,0000 s	Fuera de rango	n/a

**Estado:**  
8 de 8 puntos probados.  
8 puntos correctos.  
0 puntos incorrectos.

**Evaluación general: Prueba correcta**

FIGURA 137 INFORME DE LA PRUEBA DIFF TRIP TIME CHARACTERISTIC. FUENTE: LOS AUTORES.



## Prueba de tiempo de disparo antes fallas bifásicas.

**Paso 1:** Añadimos un barrido de igual manera como lo hicimos con la falla monofásica, con valor inicial 1 In, valor final 6 In y un tamaño del paso de 1 In, procediendo a añadir a tabla, procedemos a dar inicio a la prueba.

Idiff	Ipol	treal	tnom.
1,00	1,00	No probado	0,030
2,00	2,00	No probado	0,030
3,00	3,00	No probado	0,030
4,00	4,00	No probado	0,030
5,00	5,00	No probado	0,030
6,00	6,00	No probado	0,030

FIGURA 138 PRUEBA DEL TIEMPO LINEA A LINEA. FUENTE: LOS AUTORES.

**Paso 2:** En esta prueba podemos observar que en todos los puntos el relé funciona de manera correcta en un tiempo esperado, por lo que la prueba es correcta, lo que se comprueba con el informe resultante que nos proporciona el módulo de prueba que podemos observar en la figura 140.

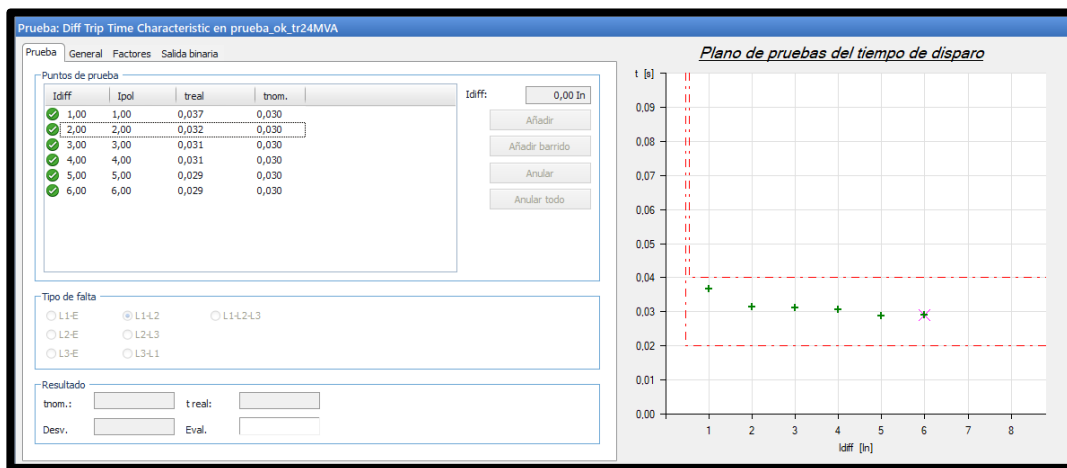


FIGURA 139 PRUEBA LINEA A LINEA FINALIZADA CON EXITO. FUENTE: LOS AUTORES.

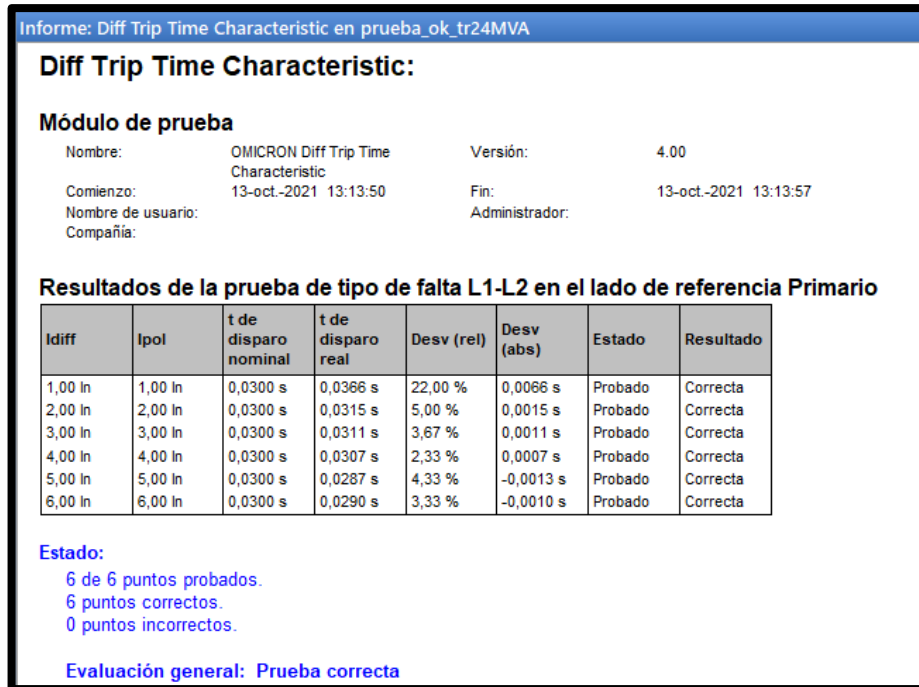


FIGURA 140 INFORME DE PRUEBA L-L DEL MÓDULO DIFF TRIP TME CHARACTERISTIC. FUENTE: LOS AUTORES.

### Prueba de tiempo de disparo antes fallas trifásicas.

**Paso 1:** Añadimos barrido con valor inicial 1 In, valor final 6 In y un tamaño del paso de 1 In, finalmente damos clic a añadir a tabla.

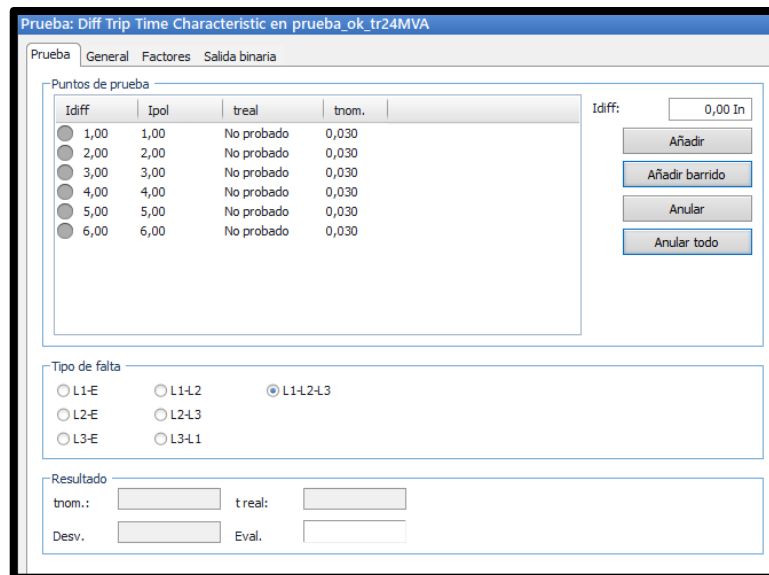


FIGURA 141 VENTANA DE PRUEBA – MUESTRA DE PUNTOS DE PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES.

**Paso 2:** En esta prueba, se concluye que el relé funciona de manera correcta en todos los puntos establecidos.

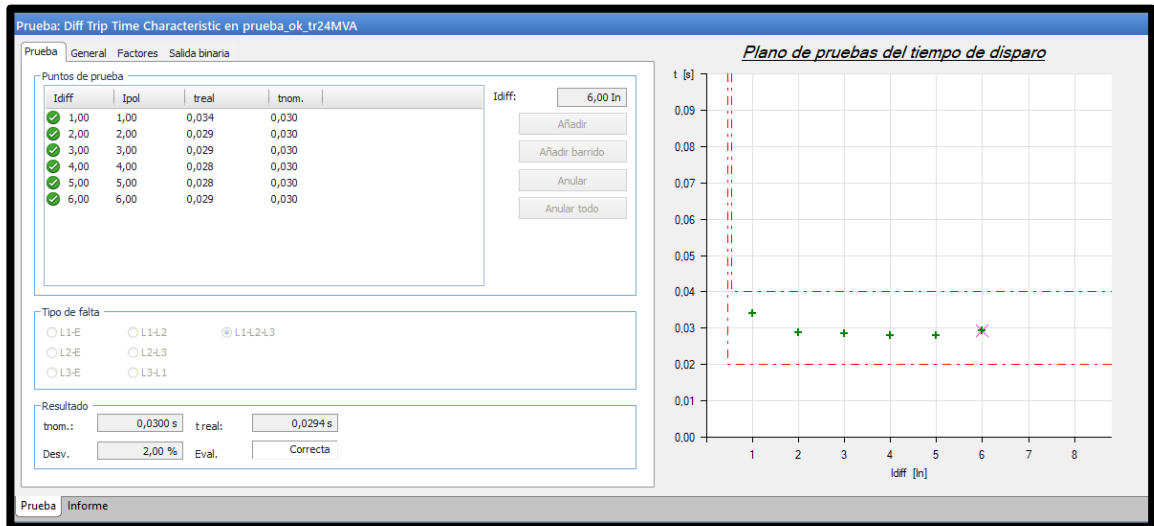


FIGURA 142 VENTANA DE PRUEBA – ESTADO DE PUNTOS PROBADOS. FUENTE: LOS AUTORES.

**Paso 3:** Obtenemos el informe con los resultados logrados en esta prueba finalizada.

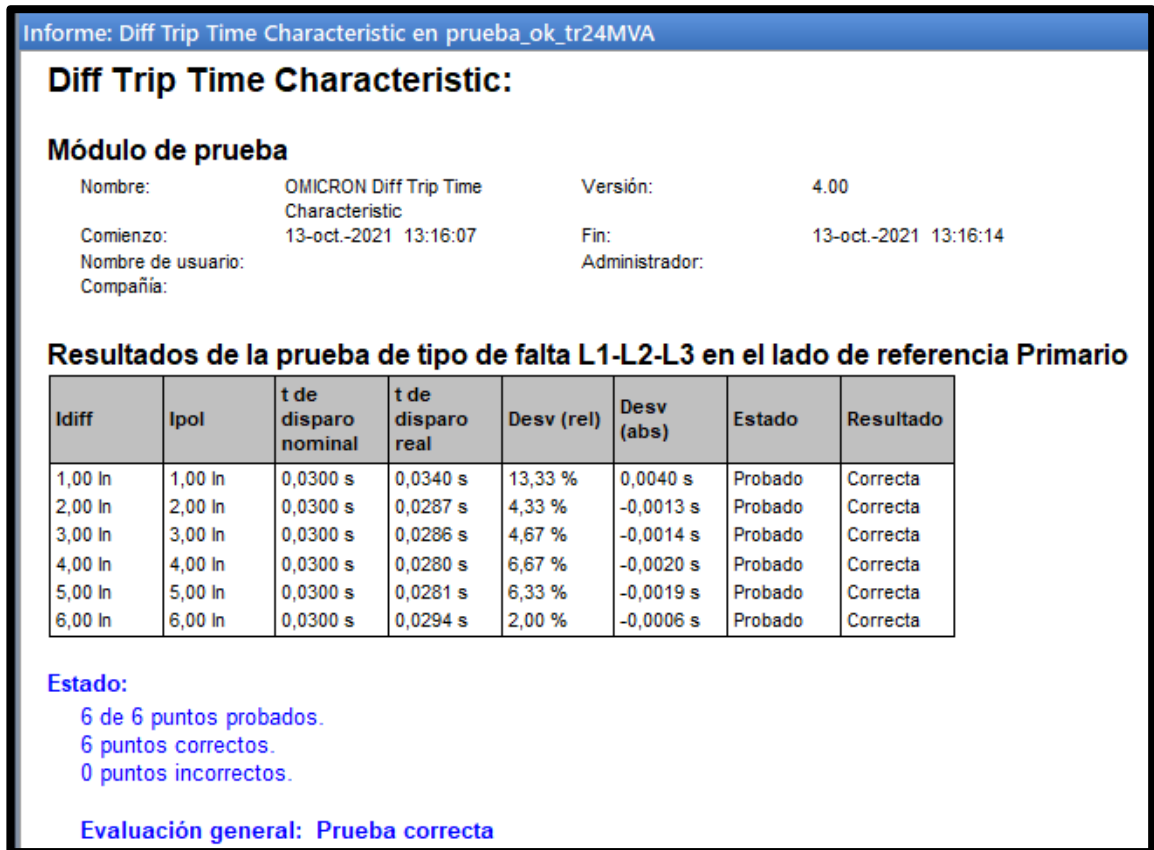


FIGURA 143 INFORME DE LA PRUEBA DE FALLA TRIFASICA. FUENTE: LOS AUTORES.

Se concluye que la práctica es correcta en todos los puntos probados, ya que los tiempos de operación son próximos al tiempo esperado.

#### 4.6.7 **Recomendaciones**

Tener en cuenta que la corriente máxima que puede suministrar el equipo Omicron CMC 356 es de 32 A máximo en la configuración que se muestra para la prueba.

## **4.7 Practica VII**

### **4.7.1 Tema**

Prueba de módulo Diff 2nd y 5th Harmonic Restraint.

### **Objetivo General**

- Comprobar el correcto funcionamiento de los armónicos en la protección diferencial del relé SEL-387E.

### **4.7.2 Objetivos específicos**

- Comprobar el efectivo funcionamiento del segundo y quinto armónico ante fallas simuladas mediante el equipo de inyección de corriente Omicron CMC 356.

### **4.7.3 Duración**

1 hora.

### **4.7.4 Recursos utilizados**

- Computador
- Omicron CMC 356
- Relé SEL 387E
- Software Test Universe
- Software AcSELerator QuickSet
- Cables tipo banana
- Cable USB Serial SEL

### **4.7.5 Marco teórico**

#### **Módulo de prueba Diff Harmonic Restraint.**

Este módulo de prueba opera bloqueando la determinación de fuerza para un transformador por corriente y saturación del TC de un relé diferencial. Definiendo los puntos para probar en un diagrama de característica que restringe armónicos diseñados en corrientes de prueba. La diferencia de condiciones de corrientes de energización del transformador, se la pueda mostrar en el desplazamiento de la fase entre las ondas fundamentales y armónicos.

## **Falsas corrientes diferenciales**

### **Corriente de magnetización Inrush**

Al momento de energizar un transformador origina un gran flujo transitorio de corriente Inrush, los valores de esta corriente alcanzan magnitudes a partir de 6 a 12 veces la corriente nominal del transformador. La corriente puede provocar un falso disparo de la protección diferencial llevando su flujo por un solo devanado del transformador y el relé debe percibir este dato como una corriente diferencial [19, p. 50].

Las corrientes de magnetización tienen un alto grado de corriente con respecto al segundo armónico sobre corrientes de falla. La corriente de segundo armónico llega a ser utilizada para determinar el fenómeno de inrush para así prevenir operaciones erróneas del relé.

### **Sobreexcitación**

La cantidad de flujo a la interna de un transformador es equitativa a la tensión puesta al transformador e inversamente correspondiente a la frecuencia de la tensión establecida.[17].

Las condiciones de sobretensión o de nivel bajo de frecuencia llegan a originar magnitudes de flujo que rebosan el núcleo del transformador. Un claro ejemplo se da cuando se desconecta una carga inesperadamente de un transformador, esto provoca que las tensiones en los terminales aumenten y causen un aumento para corriente de excitación del transformador. Esta corriente de excitación es fluida por un solo arrollamiento del transformador y se muestra como una corriente diferencial que consigue disparar al relé de protección. Esto se prioriza por tener un gran porcentaje de corrientes de 3ª y 5ª armónica.

#### **4.7.6 Marco procedimental**

Para prueba de armónicos, estas deber realizarse de manera independiente, las pruebas a realizar son las siguientes:

- Diff 2nd Harmonic Restraint.
- Diff 5th Harmonic Restraint.

### Diff 2nd Harmonic Restraint

Ingresamos al módulo OMICRON Diff 2nd Harmonic Restraint. Aparecerá la ventana que se muestra en la figura 144 en donde ingresamos los puntos de prueba, en este caso puntos cercanos al porcentaje seteado para la restricción del segundo armónico el cual es del 15%, la ejecución de esta prueba se la realiza en modo L1-L2-L3.

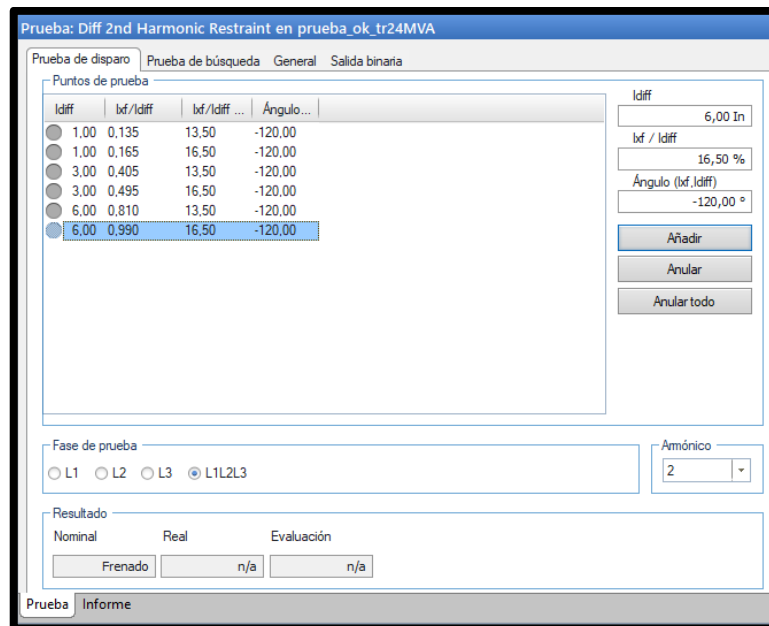


FIGURA 144 VENTANA DE PUNTOS DE PRUEBA PARA DIFF 2ND HARMONIC RESTRAINT. FUENTE: LOS AUTORES.

Ya ingresado los puntos de prueba, damos clic en comenzar prueba.

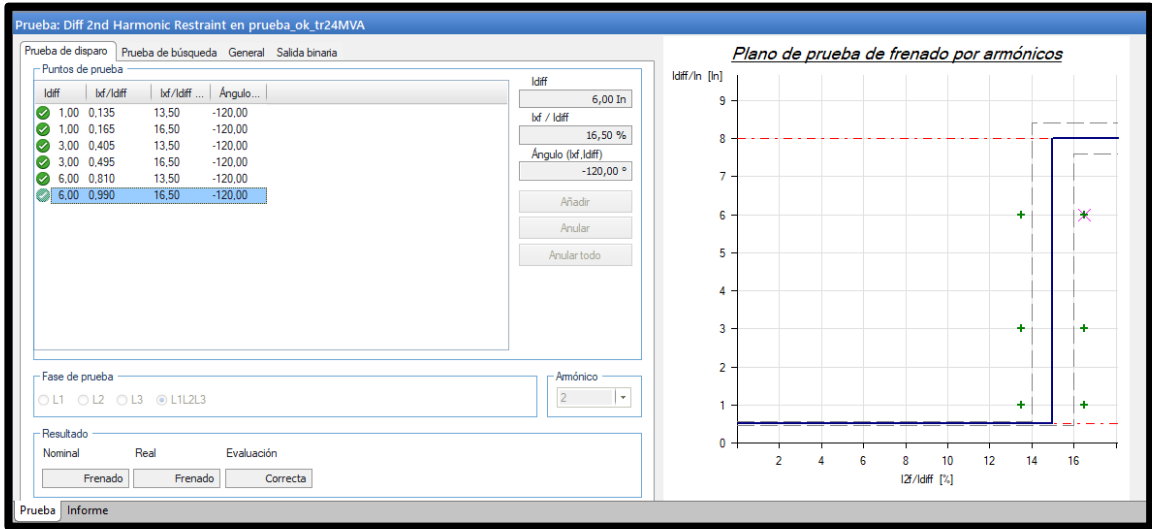


FIGURA 145 VENTANA DE PRUEBA DISPARO. FUENTE: LOS AUTORES.

Se puede ver que la practica resultado de manera correcta lo cual se verifica mediante el informe que nos brinda el módulo de prueba.



FIGURA 146 INFORME DE LA PRUEBA DIFF 2ND HARMONIC RESTRAINT. FUENTE: LOS AUTORES.



## Diff 5th Harmonic Restraint

Ingresamos al módulo OMICRON Diff 5nd Harmonic Restraint. Aparecerá la ventana que se muestra en la figura 147 en donde ingresamos los puntos de prueba, en este caso puntos cercanos al porcentaje seteado para la restricción del segundo armónico el cual es del 35%, también seleccionamos el armónico número 5, la ejecución de esta prueba se la realiza en modo L1-L2-L3.

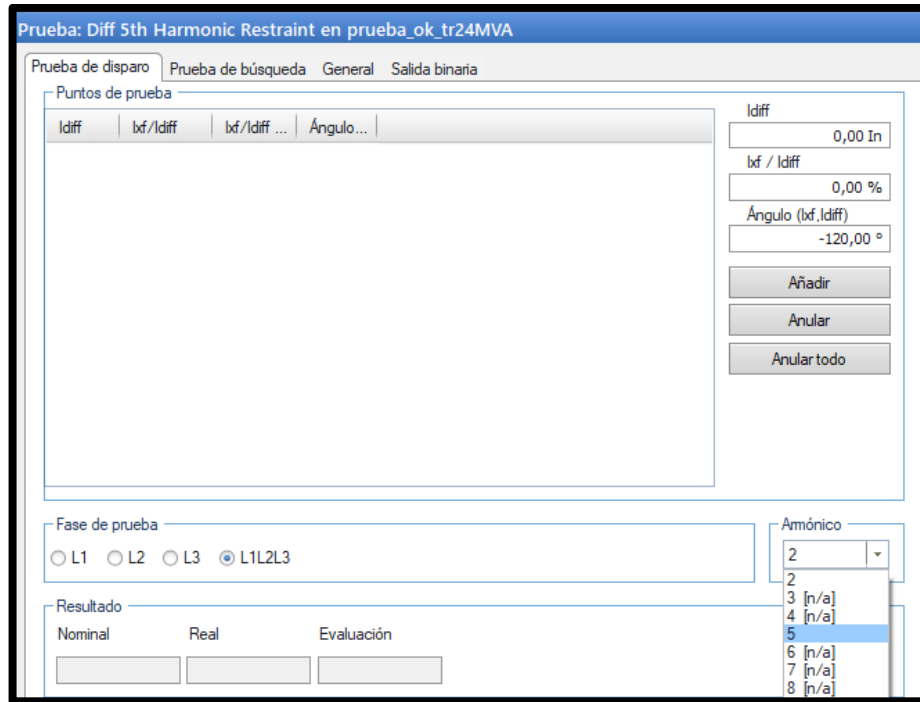


FIGURA 147 VENTANA PRUEBA DE DISPARO - SELECCIÓN DE QUINTO ARMONICO PARA PRUEBA DISPARO TRIFASICO. FUENTE: LOS AUTORES.

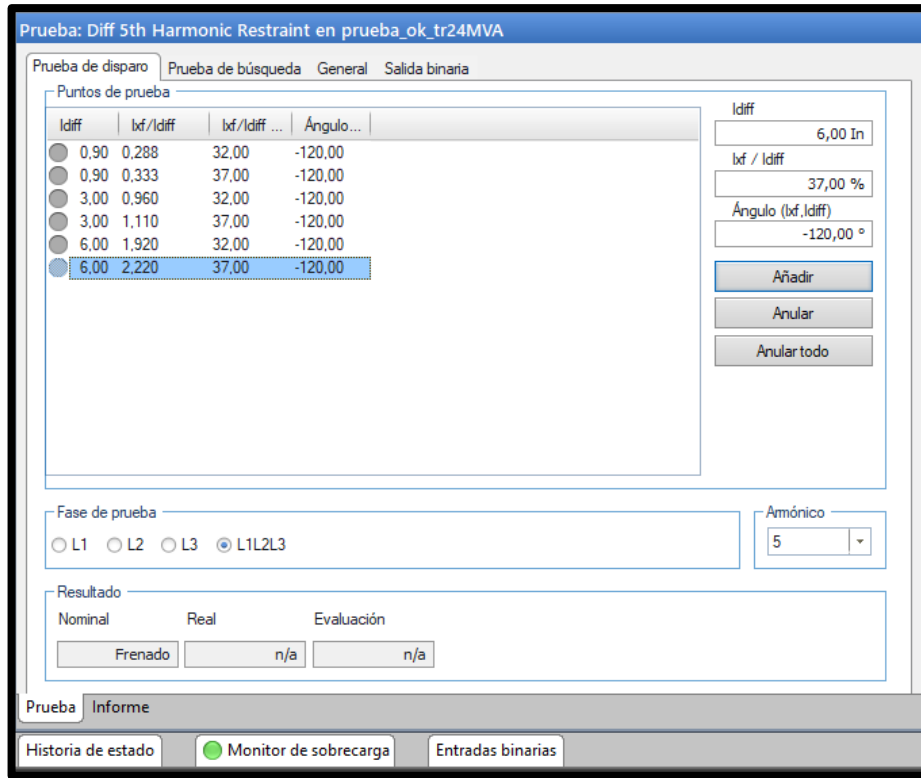


FIGURA 148 VENTANA DE PUNTOS A ANALIZAR EN PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES.

Ya ingresado los puntos de prueba, damos clic en comenzar prueba.

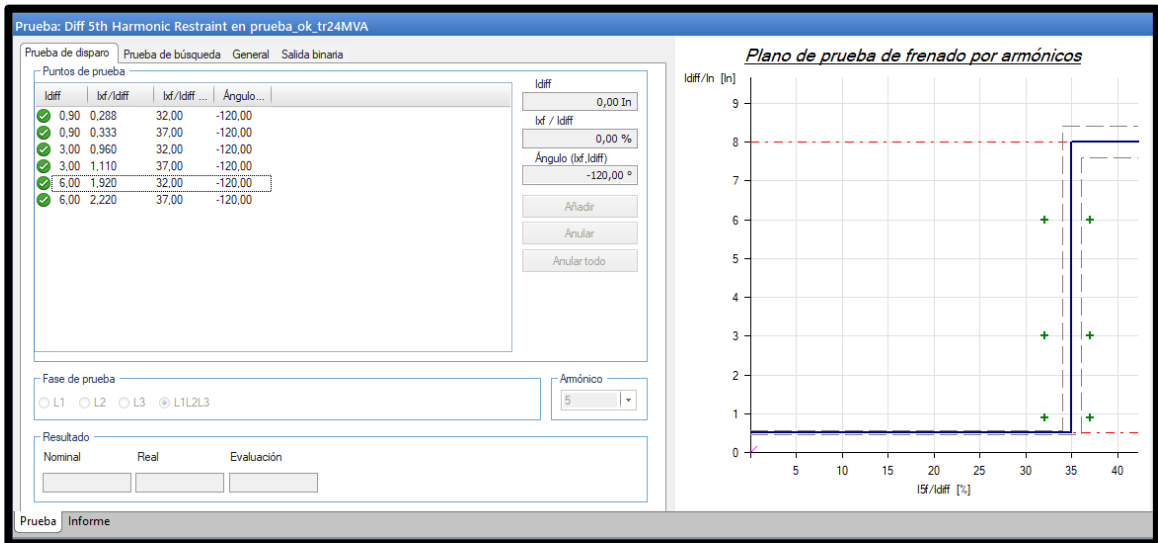


FIGURA 149 VENTANA DE PRUEBA DE DISPARO – RESULTADO DE PRUEBA. FUENTE: LOS AUTORES.

Se puede ver que la practica resultado de manera correcta lo cual se verifica mediante el informe que nos brinda el módulo de prueba.

### Diff 5th Harmonic Restraint:

#### Módulo de prueba

Nombre: OMICRON Diff Harmonic Restraint Versión: 4.00  
 Comienzo: 13-oct.-2021 13:43:36 Fin: 13-oct.-2021 13:43:51  
 Nombre de usuario: Administrador  
 Compañía:

#### Resultados de la prueba para fase de prueba L1-L2-L3 en el lado de referencia Primario para 5. Armónico

Idiff	Ixf/Idiff	Ángulo (Ixf,Idiff)	Disparo	Estado	Resultado
0,90 Vln	32,00 %	-120,0 °	Sí	Probado	Correcta
0,90 Vln	37,00 %	-120,0 °	No	Probado	Correcta
3,00 Vln	32,00 %	-120,0 °	Sí	Probado	Correcta
3,00 Vln	37,00 %	-120,0 °	No	Probado	Correcta
6,00 Vln	32,00 %	-120,0 °	Sí	Probado	Correcta
6,00 Vln	37,00 %	-120,0 °	No	Probado	Correcta

#### Estado:

6 de 6 puntos probados.  
 6 puntos correctos.  
 0 puntos incorrectos.

**Evaluación general: Prueba correcta**

FIGURA 150 RESULTADO DE LA PRUEBA DEL DIFF 5TH HARMONIC RESTRAINT. FUENTE: LOS AUTORES.

#### 4.7.7 Recomendaciones

- Recordar el límite máximo de corriente que puede suministrar el equipo Omicron CMC 356.
- Es de importancia tener bien clara la teoría para un efectivo análisis de las pruebas realizadas.
- Se recomienda establecer el 15% de restricción para el segundo armónico y del 35% para el 5to armónico.

## CAPÍTULO 5

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

La protección diferencial de transformadores es muy importante en la actualidad puesto que los transformadores son el elemento principal dentro de una subestación, esta protección nos permite proteger ante fallas internas y a la vez alargar la vida útil del transformador, de este modo se garantiza que ante fallas el sistema eléctrico no se vea afectado.

El relé SEL-387E es un dispositivo de protección diferencial, capaz de proteger transformadores de una manera satisfactoria ante corrientes diferenciales que puedan provocar el daño a transformadores, este dispositivo ha sido probado por medio la máquina de inyección de corriente Omicron la cual es un equipo de prueba para relés de protección efectivo y capaz de generar fallas para las pruebas efectuadas.

Para un correcto arreglo de la protección diferencial del relé SEL-387E es ineludible seguir las recomendaciones del fabricante, de esta manera se ajustarán de manera correcta los parámetros fundamentales de la protección diferencial que son, la corriente mínima de operación, la corriente de restricción, el porcentaje de operación de las pendientes 1 y 2, porcentaje de bloqueo de 2do y 5to armónico.

La operación del relé está definida por la curva de operación, los valores que se sitúen por arriba de esta curva de operación serán consideradas fallos en donde la actuación del relé se hará de forma inmediata, la zona que se encuentra debajo de la curva de operación es una zona de no operación del relé.

El texto de prácticas hecho de manera detallada explica específicamente la configuración de los parámetros de protección diferencial para el correcto funcionamiento del relé SEL-387E, así como la parametrización para realizar las pruebas mediante el equipo de Omicron.

El estudio de la protección diferencial es esencial en la formación de un Ingeniero eléctrico de potencia, ya que las empresas distribuidas requieren de profesionales capacitados en el

área de protecciones para de esta manera poder suministrar energía de calidad y un servicio confiable. Por este motivo las practicas elaboradas serán de utilidad para la instrucción de futuros profesionales de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Politécnica Salesiana.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

Después de haber realizado las prácticas de protección diferencial se recomienda la verificación de los cables antes de dar inicio a cada práctica, esto como medida de protección de los practicantes.

También se recomienda seguir a detalle las practicas que detallan el paso a paso esto para evitar cualquier imprevisto. Los softwares utilizados los podrán instalar por medio de discos que se encuentran en el laboratorio de protecciones eléctricas.

Tener en cuenta que la salida de corriente máxima trifásica de la maleta Omicron es de 32 amperios ya que en ciertas pruebas no se podrán evaluar ciertos valores de corrientes que superen este límite.

Se recomienda revisar la correcta medición de corrientes tanto en magnitudes y ángulos del relé SEL 387E

Se recomienda revisar que el relé este realizando de manera correcta la medición de las corrientes tanto en magnitud como en ángulo.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

- [1 PLH, 2 Julio 2014. [En línea]. Available:  
] [https://www.academia.edu/30170361/conceptos\\_basicos\\_de\\_los\\_sistemas\\_electricos\\_de\\_potencia](https://www.academia.edu/30170361/conceptos_basicos_de_los_sistemas_electricos_de_potencia).
- [2 M. d. E. y. E. Renovable. [En línea]. Available:  
] <https://www.celec.gob.ec/hidroagoyan/images/PME%202016-2025.pdf>.
- [3 I. Matulic, «Scielo.org.bo,» Junio 2003. [En línea]. Available:  
] [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892003000100005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892003000100005&script=sci_arttext).
- [4 Fundacionendesa, «Fundacionendesa.org,» Agosto 2019. [En línea]. Available:  
] <https://www.fundacionendesa.org/es/recursos/a201908-transporte-de-electricidad>.
- [5 J. A. Yebra Morron, Sistemas Eléctricos de Distribución, Mexico, D.F: REVERTÉ,  
] 2019.
- [6 J. E. Astudillo Calle y W. S. Pinos Narváez, Actualización Y Coordinación De Las  
] Funciones De Protección De Las Centrales Saucay , Saymirín , El Descanso y Ocaña,  
Cuenca: Universidad de Cuenca, 2016.
- [7 F. Barberan y M. Suárez, Diseño Y Construcción De Un Módulo Didáctico De  
] Protección De Redes De Distribución En Sistemas Eléctricos De Potencia, Guayaquil:  
Universidad Politécnica Salesiana, 2017.
- [8 B. d. METZ-NOBLAT, F. DUMES y G. THOMASSET, Cálculo de corrientes de  
] cortocircuito, España: Schneider Electric España S.A., 2000.
- [9 M. F. Tituaña De LA Vega, ANÁLISIS DE INESTABILIDAD DE TENSION EN EL  
] SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA USANDO EL ANÁLISIS MODAL, Quito:  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA, 2016.

- [1 S. j. Chapman, Máquinas Eléctricas, Quinta ed., Mexico: Mc Graw Hill, 2012.  
0]
- [1 Vasile, «Vasile.com.ar,» [En línea]. Available: <http://vasile.com.ar/wp-content/uploads/2021/01/vasile-transfo-pot-3.jpg>. [Último acceso: 21 06 2021].
- [1 G. E. Harper, Protección de instalaciones eléctricas industriales y comerciales,  
2] Mexico: Limusa, S.A, 2011.
- [1 A. A. Naranjo Yépez, M. A. Feraud López y R. J. Villacrés Salazar, Diseño y  
3] construcción de un módulo para protección diferencial de transformadores,  
Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana , 2016.
- [1 J. C. Romero Escobar, Diseño de subestaciones eléctricas, Bogotá: Escuela  
4] Colombiana de Ingeniería, 2014.
- [1 P. Concha, «Patricioconcha.ubb.cl,» [En línea]. Available:  
5] <http://patricioconcha.ubb.cl/410113/accionamientos/razon%20trifa.htm>.
- [1 S. G. Becerra Sotalin , Construcción de módulo didáctico de protección diferencial de  
6] transformadores para el laboratorio de protecciones eléctricas de la Universidad  
Politécnica Salesiana Campo Sur, Quito: Universidad Politécnica Salesiana del  
Ecuador Sede Quito, 2020.
- [1 J. Lewis Blackburn y T. J. Domin, Protective Relaying Principles and Applications,  
7] New york: CRC Press, 2014.
- [1 S. Ramírez Castaño, Protección de Sistemas Eléctricos, Manizales: Universidad  
8] Nacional de Colombia, 2003.
- [1 R. Gonzales Bernal, Cálculo de ajustes y programación de un esquema de protección  
9] digital para un transformador de 230/23 KV, vol. 32, Universitaria, Cd.Mx:  
Universidad Nacional Autónoma de Méxco, 2016, pp. 131-145.



[2 Schweitzer Engineering Laboratories, Inc, «Grupoteimexico.com.mx,» [En línea].  
0] Available:

[https://grupoteimexico.com.mx/detalle\\_producto.php?id\\_producto=211&producto=TRANSFORMADOR\\_DE\\_POTENCIAL\\_INDUCTIVO,\\_MODELO\\_UTE-123,\\_REL\\_69000:115](https://grupoteimexico.com.mx/detalle_producto.php?id_producto=211&producto=TRANSFORMADOR_DE_POTENCIAL_INDUCTIVO,_MODELO_UTE-123,_REL_69000:115).

[2 «Solulectric,» 2021. [En línea]. Available:

1] <http://www.solulectric.com.ve/2018/07/09/interruptores-de-potencia-de-alta-tension-de-siemens/>.

[2 G. S. Arguello Martinez y C. A. Carchipulla Martinez, INGENIERÍA DE DISEÑO  
2] PARA LA UTILIZACIÓN DE LOS RELÉS MULTIFUNCIÓN DE LA CENTRAL  
MAZAR EN LAS UNIDADES DE LA CENTRAL MOLINO PERTENECIENTES  
A CELEC EP. HIDROPAUTE, Cuenca: UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2015.

[2 IEEE, IEEE Standard for Electrical Power System Device Function Numbers,  
3] Acronyms, and Contact Designations, 2008.

[2 J. L. Córdova Pazmiño y W. O. Farinango Quilca, ESTUDIO DE AJUSTE Y  
4] COORDINACIÓN DE PROTECCIONES CON RELÉS DIGITALES (IED) DEL  
SISTEMA ELÉCTRICO QUITO EN NIVELES DE VOLTAJE DE 138 KV Y 46 KV,  
vol. 24, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2008, pp. 1140-1147.

[2 Schweitzer Engineering Laboratories, Inc, SEL-387E RELÉ DE PROTECCIÓN  
5] DIFERENCIAL DE CORRIENTE Y PROTECCIÓN DE VOLTAJE, Pulllman, 2004,  
pp. 10-13.

[2 SEL, «selinc.com,» [En línea]. Available: <https://selinc.com/products/387E/>.

6]

[2 Schweitzer Engineering Laboratories, Inc, «SEL-387E Current Differential and  
7] Voltage Relay,» 2019. [En línea]. Available: [https://cms-cdn.selinc.com/assets/Literature/Product%20Literature/Data%20Sheets/387E\\_DS\\_20190809.pdf?v=20190912-144841](https://cms-cdn.selinc.com/assets/Literature/Product%20Literature/Data%20Sheets/387E_DS_20190809.pdf?v=20190912-144841).

[2 Schweitzer Engineering Laboratories, Inc, «selinc.com,» [En línea]. Available:  
8] <https://selinc.com/products/5030/>.

[2 Omicronenergy, «Omicronenergy.com,» [En línea]. Available:  
9] <https://www.omicronenergy.com/es/productos/cmc-356/>.

[3 Omicronenergy, «Omicronenergy.com,» [En línea]. Available:  
0] <https://www.omicronenergy.com/es/productos/test-universe/>.

[3 O. ELECTRONICS, CMC 356 User Manual, Omicron electronics.  
1]

[3 «Directindustry.es,» 2021. [En línea]. Available:  
2] <https://www.directindustry.es/prod/abb-ag/product-70728-583125.html>.

[3 J. A. Y. Morón, Sistemas eléctricos de distribución, Barcelona, España: Editorial  
3] reverté, S.A., 2009.

## 7 ANEXOS

### Anexo 1: Características técnica del relé SEL-387E.

# SEL-387E Relay

## Current Differential and Voltage Protection Relay

### Specifications

<b>Power Supply</b> Rated: 125/250 Vdc or Vac Range: 85–350 Vdc or 85–264 Vac Burden: <25 W Interruption: 45 ms at 125 Vdc Ripple: 100%	<b>AC Current Input</b> 5 A Nominal: 15 A continuous, 500 A for 1 s, linear to 100 A symmetrical, 1250 A for 1 cycle Burden: 0.27 VA at 5 A, 2.51 VA at 15 A 1 A Nominal: 3 A continuous, 100 A for 1 s, linear to 20 A symmetrical, 250 A for 1 cycle Burden: 0.13 VA at 1 A, 1.31 VA at 3 A
<b>Frequency and Rotation</b> System Frequency: 50 or 60 Hz Phase Rotation: ABC or ACB Frequency Tracking: 40.1–65.0 Hz <b>Note:</b> $V_A$ required for frequency tracking	<b>AC Voltage Inputs</b> Three-Phase, Four-Wire Connection: 300 $V_{L-N}$ Continuous: 300 V (connect any voltage from 0 to 300 Vac) 600 V for 10 s Burden: 0.03 VA at 67 V; 0.06 VA at 120 V; 0.8 VA at 300 V

### Communications — Overview

The SEL-387E Relay provides:

- Communications with EIA-232 and EIA-485 serial ports
- Communications with Ethernet ports (ordering option)

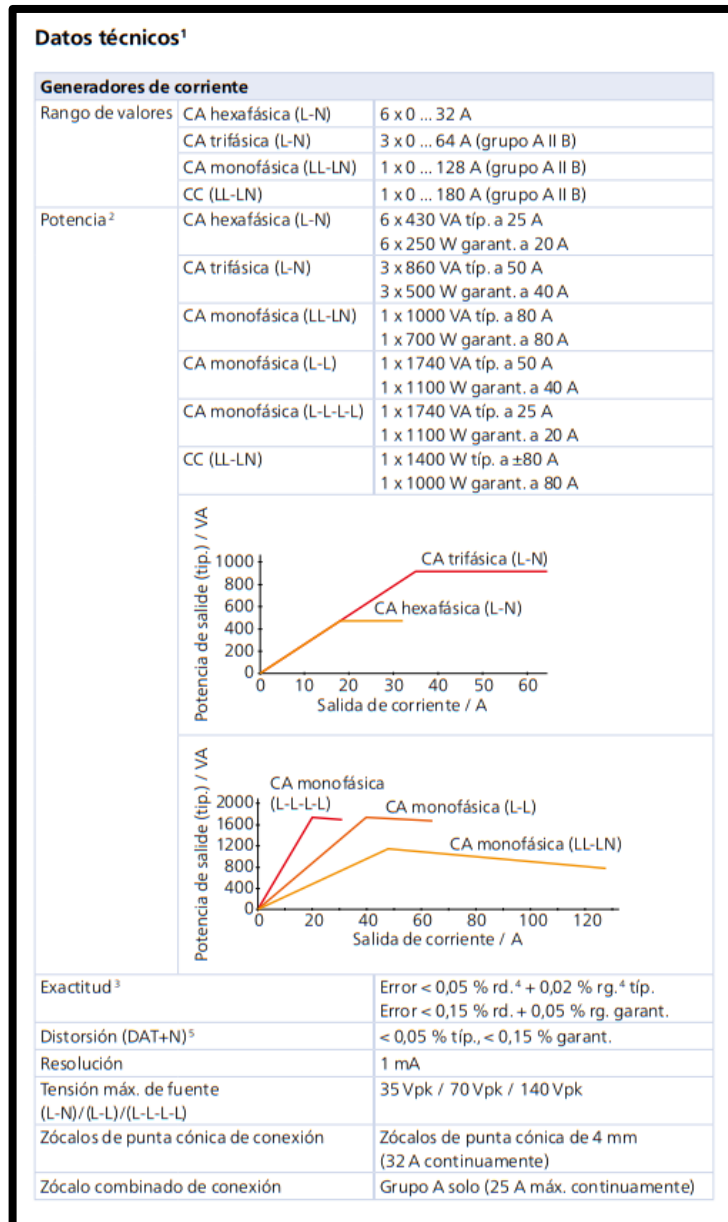
A communications interface and protocol are required for communicating with the relay. A communications interface is the physical connection on a device. Serial ports that conform to the EIA-232 standard (often called RS-232) use DB-9 or DB-25 connectors as the physical interface, whereas Ethernet ports use RJ45, ST, or LC connectors as the physical interface. Once a physical connection has been established, use a communications protocol to interact with the relay. A communications protocol is a language used to perform operations and collect data.

### Ethernet Interfaces

<b>Physical Layer Options</b>	The SEL-387E provides optional dual failover Ethernet ports with two physical layer options. Both ports (Port 5 and Port 6) are configured with Port 5 settings. The physical layer options are the following: <ul style="list-style-type: none"><li>➤ Two 10/100BASE-T ports that support 10/100 Mbps rates on RJ45 connectors</li><li>➤ Two 100BASE-FX ports that support 100 Mbps rates on LC connectors</li></ul>
-------------------------------	---

FIGURA 151 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE RELÉ SEL-387-E.

**Anexo 2:** Características técnicas del equipo de inyección de corriente Omicron CMC  
356.



Generadores de tensión		
Rango de valores	CA tetrafásica (L-N)	4 x 0 ... 300 V (VL4(t) calculada automáticamente: VL4 = (VL1+VL2+VL3)*c o programable libremente)
	CA trifásica (L-N)	3 x 0 ... 300 V
	CA monofásica (L-L)	1 x 0 ... 600 V
	CC (L-N)	4 x 0 ... ±300 V
Potencia	CA trifásica (L-N)	3 x 100 VA típ. a 100 ... 300 V 3 x 85 VA garant. a 85 ... 300 V
	CA tetrafásica (L-N)	4 x 75 VA típ. a 100 ... 300 V 4 x 50 VA garant. a 85 ... 300 V
	CA monofásica (L-N)	1 x 200 VA típ. a 100 ... 300 V 1 x 150 VA garant. a 75 ... 300 V
	CA monofásica (L-L)	1 x 275 VA típ. a 200 ... 600 V 1 x 250 VA garant. a 200 ... 600 V
	CC (L-N)	1 x 420 W típ. a ±300 V 1 x 360 W garant. a 300 V
Exactitud	Error < 0,03 % rd. <sup>4</sup> + 0,01 % rg. <sup>4</sup> típ. a 0 ... 300 V Error < 0,08 % rd. + 0,02 % rg. garant. a 0 ... 300 V	
Distorsión (DAT+N) <sup>5</sup>	0,015 % típ., < 0,05 % garant.	
Rangos	150 V / 300 V	
Resolución	5 mV / 10 mV en el rango de 150 V / 300 V	
Conexión	Zócalos de punta cónica de 4 mm / zócalo combinado (1,2,3,N)	

Salidas de bajo nivel <sup>1</sup>	
Número de salidas	6 (12 con opción LLO-2)
Rango de valores	0 ... ±10 V <sub>pk</sub>
Corriente de salida máx.	1 mA
Exactitud	error < 0,025 % r.p., < 0,07 % garant. a 1 ... 10 V <sub>pk</sub>
Resolución	250 µV
Distorsión (DAT+N) <sup>2</sup>	< 0,015 % t.p., < 0,05 % garant.
Simulación de TC/TT no convencionales	lineal, Rogowski (transitorio y onda sinusoidal)
Indicación de sobrecarga	sí
Aislamiento	SBLV
Utilidad	completamente independiente de las salidas internas del amplificador
Conexión	Zócalo combinado de 16 pines (parte posterior)
Fuente de CC auxiliar	
Rangos de tensión	0 ... 264 VCC, 0,2 A / 0 ... 132 VDC, 0,4 A / 0 ... 66 VCC, 0,8 A
Potencia	máx. 50 W
Exactitud	error < 2 % t.p., < 5 % garant.
Entradas binarias	
Número	10
Criterios de trigger	Alternancia de contactos sin potencial o tensión de CC, en comparación con la tensión umbral
Características de la entrada	0 ... ±300 VCC umbral o sin potencial. Si está equipado con ELT-1 <sup>3</sup> : 0 ... ±600 VCC umbral o sin potencial
Rangos	20 V / 300 V. Si está equipado con ELT-1 <sup>3</sup> : 100 mV / 1 V / 10 V / 100 V / 600 V
Resolución del umbral	50 mV (0 ... 20 V), 500 mV (20 V ... 300 V). ELT-1 <sup>3</sup> : ±2 mV / ±20 mV / ±200 mV / ±2 V, ±20 V en rangos
Velocidad de muestreo	10 kHz (resolución 100 µs)
Exactitud de fecha y hora	±0,00015 % de rd. ±70 µs
Tiempo máx. de medición	infinito
Tiempo anti-rebote y anti-ruido	0 ... 25 ms / 0 ... 25 ms
Función de recuento	< 3 kHz con un ancho de pulso > 150 µs
Aislamiento galvánico	5 grupos aislados galvánicamente (2+2+2+2)
Tensión máx. de entrada	CAT IV / 150 V, CAT III / 300 V, inmunidad transitoria 2 kV. Si está equipado con ELT-1 <sup>3</sup> : CAT IV / 150 V, CAT III / 300 V, CAT II / 600 V (850 V <sub>pk</sub> )
Entradas de contador 100 kHz	
Número	2
Frecuencia máx. de contador	100 kHz
Ancho de pulsos	> 3 µs
Tensión de umbral	6 V
Histeresis de tensión	2 V
Tensión máx. de entrada	±30 V
Aislamiento	SBLV
Conexión	Zócalo combinado de 16 pines (parte posterior)
Trigger en caso de sobrecarga	
Generadores admitidos	Generadores de corriente
Exactitud de tiempo	error < 1 ns

<sup>1</sup> Para probar directamente relés con entradas de bajo nivel simulando señales de TC y TT no convencionales con interfaces de bajo nivel y para controlar amplificadores externos

<sup>2</sup> DAT+N: Valores a 50/60 Hz, ancho de banda de medida 20 kHz, valor nominal y carga nominal

<sup>3</sup> La opción de hardware ELT-1 convierte las 10 entradas binarias en entradas de medida de tensión CA y CC analógicas multifuncionales y añade dos entradas de medida CC (0 ... 10 V / 0 ... 20 mA) para la prueba de transductores

<sup>4</sup> Pueden utilizarse hasta tres entradas para medir valores eficaces, frecuencia y ángulo de fase sin la licencia del software Enerlyzer. Para el uso de todas las funciones se requiere licencia del software Enerlyzer

<sup>5</sup> rd. = lectura, rg. = rango

Salidas binarias, relés	
Tipo	Contactos de relé sin potencial, controlados por software
Número	4
Capacidad de interrupción CA	V <sub>máx</sub> : 300 VCA / I <sub>máx</sub> : 8 A / P <sub>máx</sub> : 2000 W
Capacidad de interrupción CC	V <sub>máx</sub> : 300 VCC / I <sub>máx</sub> : 8 A / P <sub>máx</sub> : 50 W
Salidas binarias, transistor	
Tipo	Salidas por transistor de colector abierto
Número	4
Frecuencia de actualización	10 kHz
I <sub>máx</sub>	5 mA
Conexión	Zócalo combinado de 16 pines (parte posterior)
Entrada de medición de tensión CC (con la opción ELT-1 <sup>3</sup> )	
Rango de medición	0 ... ±10 V
Exactitud	Error < 0,003 % rg. t.p., < 0,02 % garant.
Impedancia de entrada	1 MΩ
Entrada de medición de corriente CC (con la opción ELT-1 <sup>3</sup> )	
Rango de medición	0 ... ±1 mA, 0 ... ±20 mA
Exactitud	Error < 0,003 % rg. t.p., < 0,02 % garant.
Impedancia de entrada	15 Ω
Entradas de medida CA+CC analógicas (con la opción ELT-1 <sup>3</sup> )	
Tipo	Entradas de tensión analógicas CA+CC (medida de corriente con pines de corriente externas o resistencias en derivación)
Número	10
Rangos nominales de entrada (valores eficaces)	100 mV, 1 V, 10 V, 100 V, 600 V
Exactitud de la amplitud	Error < 0,06 % t.p., < 0,15 % garant.
Ancho de banda	CC ... 10 kHz
Frecuencia de muestreo	28,44 kHz, 9,48 kHz, 3,16 kHz
Impedancia de entrada	500 kΩ // 50 pF
Buffer de entradas transitorias a 28 kHz	3,5 s para 10 canales de entrada 35 s para 1 canal de entrada
Buffer de entradas transitorias a 3 kHz	31 s para 10 canales de entrada 5 min. para 1 canal de entrada
Trigger transitorio	Tensión umbral, trigger de calidad de energía: caída, elevación, armónico, frecuencia, cambio de frecuencia, corte
Funciones de medición	I (CA + CC), V (CA + CC), fase, frecuencia, potencia, armónicos transitorio, evento y registro transitorio
Indicación de sobrecarga de entrada	sí
Protección de entrada	sí
Tensión máx. de entrada	CAT IV / 150 V, CAT III / 300 V, CAT II / 600 V (850 V <sub>pk</sub> )
Aislamiento galvánico	5 grupos (2+2+2+2)
Sincronización	
Exactitud de temporización (tensión/corriente)	
Sincronización IIRIG-B con CMIRIG-B	Error < 1/5 µs t.p., < 5/20 µs garant.
Sincronización GPS con CMGPS 588	Error < 1/5 µs t.p., < 5/20 µs garant.
A tensión externa	Señal de referencia en entrada binaria 10 15 ... 70 Hz
Precision Time Protocol (PTP)	IEEE 1588-2008 IEEE C37.238-2011 (Perfil Eléctrico) IEC/IEEE 61850-9-3 (Perfil de utilidad)

Con la exclusiva funcionalidad PermaSync, las salidas analógicas y de Sampled Values están permanentemente sincronizadas con la referencia de tiempo interna del equipo CMC.

Cuando un CMC está sincronizado (IRIG-B, GPS o PTP), las magnitudes de salida se sincronizan continuamente con la referencia de tiempo externa.

Con CMIRIG-B también es posible transmitir la señal PPS interna del equipo CMC al dispositivo sometido a prueba (por ejemplo, PMU o IED activados con un flujo de datos de Sampled Values sincronizados).


IEC 61850 GOOSE		
Simulación	Asignación de salidas binarias a atributos de datos en mensajes GOOSE publicados. Número de salidas binarias virtuales: 360 Número de mensajes GOOSE por publicar: 128	
Suscripción	Asignación de atributos de datos de mensajes GOOSE suscritos a entradas binarias. Número de entradas binarias virtuales: 360 Número de mensajes GOOSE por suscribir: 128	
Rendimiento	Tipo 1A, Clase P2/3 (IEC 61850-5). Tiempo de procesamiento (de aplicación a la red o viceversa): < 1 ms	
Soporte de VLAN	Prioridad seleccionable y VLAN-ID	
IEC 61850 Sampled Values (publicación)		
Especificación	De acuerdo con la "Implementation Guideline for Digital Interface to Instrument Transformers Using IEC 61850-9-2" del ICA International Users Group ("9-2UE") y IEC 61869-9.	
Velocidades de muestreo	4000 Hz, 4800 Hz, 12 800 Hz, 15 360 Hz, 14 400 Hz	
Sincronización	El atributo de sincronización (syncInch) se ajusta cuando el CMC está en modo de funcionamiento sincronizado. El número de muestras (smpCnt) cero se alinea con la parte alta del segundo. Datos de exactitud, consulte a continuación	
Soporte de VLAN	VLAN-ID y prioridad seleccionable	
Max. número de flujos de SV	4	
Alimentación eléctrica		
Tensión nominal de entrada <sup>1</sup>	100 – 240 VCA, monofásica	
Tensión de entrada permitida	85 .. 264 VCA	
Frecuencia nominal	50/60 Hz	
Rango de frecuencias permitido	45 .. 65 Hz	
Corriente nominal	12 A a 115 V / 10 A a 230 V	
Conexión	Conector CA estándar (IEC 60320)	
Condiciones ambientales		
Temperatura de funcionamiento <sup>2</sup>	0 .. +50 °C	
Temperatura de almacenamiento	-25 .. +70 °C	
Rango de humedad	Humedad relativa de 5 .. 95 %, sin condensación	
Vibraciones	IEC 60068-2-6 (20 m/s <sup>2</sup> a 10 .. 150 Hz)	
Golpes	IEC 60068-2-27 (15 g/11 ms semisinusoidal)	
Confiabilidad del equipo		
El producto cumple la directiva de compatibilidad electromagnética (EMC) (conforme con CE).		
Emisión EMC	Internacional / Europa	IEC/EN 61326-1/EN 55032/CISPR 32 (Clase A), IEC/EN 61000-3-2/3
	Norteamérica	47 CFR 15 Subparte B (Clase A) de FCC
Inmunidad EMC	Internacional / Europa	IEC/EN 61326-1, IEC/EN 61000-6-5, IEC/EN 61000-6-4
	El producto cumple la directiva de baja tensión (conforme con CE).	
Seguridad	Internacional / Europa	IEC/EN 61010-1, IEC/EN 61010-2-030
	Norteamérica	UL 61010-1, UL 61010-2-030, CAN/CSA-C22.2 N° 61010-1, CAN/CSA-C22.2 N° 61010-2-030
	Ensayos mecánicos	
Internacional / Europa	IEC 60068-2-6 (20 m/s <sup>2</sup> a 10 .. 150 Hz), IEC 60068-2-27 (15 g/11 ms semisinusoidal)	
Otros		
Peso	16,8 kg	
Dimensiones (An. x Al. x F sin asa)	450 x 145 x 390 mm	
Conexión del PC	Dos puertos Ethernet PoE <sup>1</sup> : <ul style="list-style-type: none"> <li>10/100/1000 Base-TX</li> <li>Compatible con IEEE 802.3af</li> <li>Capacidad de puertos limitada a un dispositivo con alimentación de clase 1 (3,84 W) y uno de clase 2 (6,49 W)</li> </ul> Puertos USB: <ul style="list-style-type: none"> <li>Puerto USB Tipo B (PC)</li> <li>Puerto USB Tipo A (adaptador Wi-Fi para control inalámbrico)</li> </ul>	
Indicación de las señales (LED)	> 42 V para salidas de tensión y corriente ALUX DC	
Conexión a tierra (tierra)	Zócalo de punta cónica de 4 mm (parte posterior)	
Diagnóstico del hardware	Autodiagnóstico en cada puesta en marcha	
Grupos separados galvanicamente	Los siguientes grupos están aislados galvanicamente entre sí: red, salida del amplificador de tensión, grupo de amplificadores de corriente A/B, fuente de CC auxiliar, entrada binaria analógica	
Protección	Todas las salidas de corriente y tensión son totalmente a prueba de sobrecargas y cortocircuitos, y están protegidas frente a la sobretemperatura y las señales externas transitorias de alta tensión	
Certificaciones		
		
Producto desarrollado y fabricado conforme a un sistema con certificación ISO 9001		

FIGURA 152 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL EQUIPO OMICRON CMC 356.

**Anexo 3:** Especificaciones mínimas requeridas para instalar el software QuickSet.

<b>Specifications</b>	
<b>QuickSet Minimum System Requirements</b>	
<b>Supported Operating Systems</b>	Microsoft Windows® 7 (32- and 64-bit) Microsoft Windows 8 (32- and 64-bit) Microsoft Windows 10 (32- and 64-bit) Microsoft Windows Server® 2008 Microsoft Windows Server 2012 Microsoft Windows Server 2016
<b>Processor Speed</b>	1 GHz or faster
<b>RAM</b>	1 GB RAM (32-bit) or 2 GB RAM (64-bit)
<b>Disk Space</b>	1.5 GB (all options) or 3 GB if Microsoft .NET Framework is installed
<b>Printer</b>	Default printer installed for printing settings
<b>Monitor</b>	VGA 1024 x 768 or higher resolution monitor
<b>Other Peripherals</b>	Mouse or other pointing device
<b>Installation</b>	Administrative privileges required for installation
<b>Communications</b>	Serial or Ethernet connection to allow communication with SEL devices
<b>Language Support</b>	Simplified Chinese, English, French, Portuguese, Russian, Spanish, and Turkish
<b>Required Third-Party Software</b>	Microsoft .NET Framework 4.51 and Microsoft Access Database Engine 2016


 **SCHWEITZER ENGINEERING LABORATORIES**

FIGURA 153 ESPECIFICACIONES MINIMAS REQUERIDAS PARA INSTALACION DE QUICKSET.



## Anexo 4: Especificaciones mínimas requeridas para instalar el software Test Universe.

### Requirements

This file lists the operating system and PC hardware requirements necessary to run the contents of the OMICRON DVD.

**The DVD typically contains:**

- OMICRON *Test Universe* 3.20
- OMICRON Tutorials

### 1 Requirements for OMICRON Test Universe

List of operating system and PC hardware requirements necessary to run *Test Universe* 3.20.

**Operating system**

*Test Universe* 3.20 is tested to be compliant to the following versions of Microsoft Windows:

- Windows 7 (32 bit/x86 and 64 bit)
- Windows 8/8.1 (32 bit/x86 and 64 bit)
- Windows 10 (32 bit/x86 and 64 bit)

**Recommended minimum hardware requirements for computer hardware**

- 1.5 GHz Pentium 4
- 2 GB RAM (Windows 7, 8 and 10)
- 1024 x 768 pixels or higher-resolution video adapter and monitor
- 1.5 GB of available hard disk space
- DVD drive
- Ethernet NIC<sup>1</sup> for network-compatible CMC test sets.
- USB 2.0 port for CMC test sets with USB connector.
- For CMC test sets with parallel port interface either a parallel printer port is needed or a USB port in combination with a *CMUSB-P* converter.

**Note:** The use of a parallel printer port works with Windows 7 (32 bit/x86), only.

FIGURA 154 ESPECIFICACIONES MINIMAS REQUERIDAS PARA INSTALACIÓN DE TEST UNIVERSE.