



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA

**ESTUDIO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE UN RELÉ DE
PROTECCIÓN DE DISTANCIA MARCA SIEMENS, MODELO
7SA522, ASOCIADO A LA LÍNEA A 115 kV BUENA VISTA -
TRUJILLO, EXTREMO S/E BUENA VISTA.**

Br. Ramón Alí Rosales Araujo

MERIDA, MAYO, 2022



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA

**ESTUDIO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE UN RELÉ DE
PROTECCIÓN DE DISTANCIA MARCA SIEMENS, MODELO
7SA522, ASOCIADO A LA LÍNEA A 115 kV BUENA VISTA -
TRUJILLO, EXTREMO S/E BUENA VISTA.**

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero
Electricista

Br. Ramón Alí Rosales Araujo
Tutor académico: Ing. MSc. Oscar Blanco
Tutor Industrial: Ing. Néstor Manzanilla

MERIDA, MAYO, 2022



UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA

**ESTUDIO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE UN RELÉ DE
PROTECCIÓN DE DISTANCIA MARCA SIEMENS, MODELO 7SA522,
ASOCIADO A LA LÍNEA A 115 KV BUENA VISTA - TRUJILLO,
EXTREMO S/E BUENA VISTA.**

Br. Ramón Alí Rosales Araujo

Trabajo de Grado, presentado en cumplimiento parcial de los requisitos exigidos para optar al título de Ingeniero Electricista, aprobada en nombre de la Universidad de Los Andes por el siguiente Jurado.

Dra. Marisol Dávila

Ing. Francisco Araujo

MSc. Oscar Blanco

DEDICATORIA

Primeramente, a Dios.

A mi hermosa madre Yanira Araujo, sin tu apoyo no hubiese sido posible este grandísimo logro.

A mi abuela Isabel, gracias por cuidarme y protegerme siempre, elegiría tenerte como abuela mil veces más.

A mis hermanos Michelle y José, que esto sea un ejemplo para ustedes de que las cosas se cumplen con disciplina y esfuerzo, de corazón deseo que ustedes sean mejor que yo en todo lo que se propongan.

A mi tía Jackeline y mis primas Victoria, Isabela y Claudia.

A Miguel Berrios gracias por el apoyo que me brindaste siempre.

Y a mis amigos que se han convertido en hermanos de vida, gracias.

“Nuestra recompensa se encuentra en el esfuerzo y no en el resultado, un esfuerzo total es una victoria completa.”

MAHATMA GANDHI

AGRADECIMIENTOS

A la ilustre y excelentísima Universidad de Los Andes, por permitirme formarme profesionalmente dentro de sus aulas, que grata experiencia y que orgullo ser un ulandino.

A todos los profesores de la escuela de electricidad de la facultad de ingeniería, ustedes son la base de un país aportando sus conocimientos al estudiantado que tendrá las riendas del país en un futuro cercano.

Al profesor Ing. MSc. Oscar Blanco por prestarme su apoyo incondicional a la hora de realizar el presente trabajo de grado, gracias y que nuestro Dios le multiplique en salud y bendiciones.

A CORPOELEC por brindarme la oportunidad de formar parte de su equipo de trabajo.

Al Ing. Néstor Manzanilla por brindarme su apoyo como tutor industrial.

Al equipo de protecciones, Ing. Wilmer Terán, Ing. Greismar Hurtado, Técnico Eduardo Briceño, Técnico Eduardo Vergara, Técnico Javier Albarrán, Técnico Manuel Graterol, gracias por la paciencia y las enseñanzas.

A mis compañeros de estudio por estar presentes siempre, afrontando juntos las asignaciones de cada materia.

A todas y cada una de las personas que formaron parte de mi día a día en este trayecto académico, gracias por el apoyo y gracias por creer en mí siempre.

Y como agradecimiento especial, al profesor Ing. Nelson Ballester por en vida creer y confiar tanto en mí, aquí en este plano terrenal continuaremos con su misión dando lo mejor y demostrando que somos lo mejor como profesionales y como personas, no se muere quien se va, se muere quien se olvida.

Br. Ramón Alí Rosales Araujo. Estudio, instalación y pruebas de un relé de protección de distancia marca SIEMENS modelo 7SA522, asociado a la línea a 115 kV Buena Vista - Trujillo, extremo S/E Buena Vista. Universidad de Los Andes. Tutor(es): Ing. MSc. Oscar Blanco. Mayo, 2022.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo principal la instalación de un relé de protección de distancia marca SIEMENS 7SA522 para la línea de transmisión a 115 kV Buena Vista - Trujillo, con extremo en la S/E Buena Vista. Los sistemas de protección son muy importantes en los sistemas de potencia, y en las líneas de transmisión aún más, en este sentido, la gerencia de transmisión región Los Andes de CORPOELEC ha venido realizando un plan de sustitución de relés de protección en estado de obsolescencia por relés de nueva gama. Para la mencionada línea, se tiene instalado un relé de protección BBC LZ92 que presenta un alto grado de deterioro y no presente una adecuada confiabilidad, por lo que se necesita reemplazarlo por otro equipo que permita garantizar la correcta operatividad del servicio eléctrico interconectado a esta línea de transmisión. Para la instalación del relé se realizaron los cálculos de ajuste respectivos para cada función de protección en el relé, se ingresaron los ajustes al relé a través del software DIGSI. Las pruebas se realizaron mediante el equipo de inyección OMICRON CMC 356, creando previamente las plantillas en el software *Test Universe*, verificando las condiciones de operatividad y la funcionalidad del equipo de protección.

Descriptores: Sistemas de potencia, Protecciones Eléctricas, Subestaciones Eléctricas.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
INTRODUCCION.....	1
CAPITULO I.....	4
EL PROBLEMA: INSTALACION DE UN RELÉ DE PROTECCION DE DISTANCIA 7SA522.....	4
1.1 ANTECEDENTES.....	4
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
1.3 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION.....	7
1.4 OBJETIVOS.....	8
1.4.1 Objetivo General.....	8
1.4.2 Objetivos Específicos.....	8
1.5 METODOLOGIA.....	8
1.6 ALCANCE.....	9
1.7 LIMITACIONES.....	9
CAPITULO II.....	10

PROTECCION DE UNA LINEA DE TRANSMISION A 115 kV UTILIZANDO RELÉ DE DISTANCIA SIEMENS 7SA522.....	10
2.1 SISTEMA DE POTENCIA	10
2.2 SUBESTACION ELECTRICA.....	12
2.2.1 Configuraciones de las subestaciones eléctricas	12
2.2.1.1 Simple barra.....	12
2.2.1.2 Doble barra	12
2.2.1.3 Interruptor y medio.....	12
2.3 SISTEMAS DE PROTECCION	13
2.3.1 Transformadores de medida	13
2.3.1.1 Transformadores de potencial (TP)	14
2.3.1.2 Transformadores de corriente (TC)	14
2.3.2 Relé.....	14
2.3.2.1 Propiedades de un sistema de protección con relé	15
2.3.3 Interruptor	16
2.4 PROTECCION DE LAS LINEAS DE TRANSMISION	17
2.5 TECNICAS PARA LA PROTECCION DE LINEAS DE TRANSMISION	17
2.6 PLANO DE IMPEDANCIAS (R-X).....	19
2.7 PROTECCION DE DISTANCIA	21
2.7.1 Relé de distancia.....	21
2.7.2 Ventajas de los relés de distancia	21
2.7.3 Ubicación de la falla utilizando un relé de distancia	22
2.7.4 Clasificación de los relés de distancia	23
2.8 AJUSTES DE LAS ZONAS DE PROTECCION	26
2.9 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA MEDICION DE LA IMPEDANCIA	28

2.9.1 Resistencia de falla	28
2.9.2 Factor de compensación Ko	30
2.9.3 Oscilaciones de potencia	31
2.10 RESPALDO A LA PROTECCIÓN DE DISTANCIA	31
2.10.1 Protección con relé direccional.....	31
2.10.2 Función de cierre contra falla (50HS)	32
2.11 TELEPROTECCIONES.....	32
2.11.1 Transferencia de disparo por subalcance (PUTT) con aceleración Z1B	33
2.11.2 Transferencia de disparo directo por subalcance (DUTT)	34
2.3.11 Transferencia de disparo permisivo con sobrealcance (POTT).....	35
CAPITULO III	37
DESCRIPCION GENERAL Y CONFIGURACION DEL RELÉ DE DISTANCIA 7SA522	37
3.1 CARACTERISTICAS DEL RELÉ	37
3.1.1 Panel frontal.....	37
3.1.2 Entradas analógicas	38
3.1.3 Microprocesador	40
3.1.4 Entradas y salidas binarias.....	40
3.1.5 Alimentación	40
3.2 FUNCIONES DE PROTECCION	40
3.2.1 Función distancia (ANSI 21).....	41
3.2.2 Función sobrecorriente a tierra (ANSI 67N)	42
3.2.3 Función oscilación de potencia (ANSI 68).....	42
3.3 TRANSMISION DE DATOS DE PROTECCION DIGITAL.....	43
3.4 LOCALIZACION DE FALLAS	43

3.5 AVISOS Y VALORES DE MEDIDA	44
3.6 REGISTRO DE VALORES DE PERTURBACION	44
3.7 FUNCIONES DE SUPERVISION	44
3.8 DIGSI, SOFTWARE PARA LA CONFIGURACION DEL RELÉ SIEMENS 7SA522	45
CAPITULO IV	53
INSTALACION DEL TABLERO DE PROTECCIONES	53
4.1 LEVANTAMIENTO DE LA INGENIERIA	53
4.2 PUESTA EN SERVICIO DEL relé DE PROTECCION ITINERANTE	55
4.3 INSTALACION DEL TABLERO PRINCIPAL DE PROTECCION	56
CAPÍTULO V.....	59
CÁLCULOS Y AJUSTES DEL RELÉ SIEMENS MODELO 7SA522	59
5.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA	59
5.2 DATOS REQUERIDOS PARA LOS AJUSTES DEL RELÉ	60
5.2.1 Línea de transmisión protegida.....	60
5.2.2 Línea de transmisión adyacente.....	60
5.3 CRITERIOS DE AJUSTES.....	61
5.4.1 Protección de distancia (Función 21)	62
5.4.2 Alcances resistivos	64
5.4.3 Función sobrecorriente direccional a tierra (67N).....	65
5.4.4 Función de cierre contra falla (50HS)	66
5.4.5 Factor de compensación homopolar (K_0)	66
5.5 CONFIGURACION EN EL SOFTWARE DIGSI V4.84.....	66
5.5.1 Configuración del dispositivo.....	66
5.5.2 Power System Data 1.....	67

5.5.3 Setting Group A.....	68
5.5.4 Oscilografía de faltas	75
CAPITULO VI	76
PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD DEL RELE SIEMENS 7SA522.....	76
6.1 OMICRON CMC 356	76
6.2 TEST MODULES, CONTROL CENTER Y SETUP EN LA OMICRON CMC 35677	
6.3 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DE LA OMICRON CMC 356.....	80
6.3.1 Equipo de prueba.....	81
6.4 SEÑALIZACION DE INYECCION DEL EQUIPO OMICRON CMC 356 EN LA PC	86
6.5 PRUEBAS AL RELÉ.....	87
6.5.1 Prueba para función distancia (21)	88
6.5.2 Prueba de sobrecorriente direccional a tierra (67N).....	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	101
CONCLUSIONES.....	101
RECOMENDACIONES	103
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	105
ANEXOS	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla

5.1. Parámetros línea de transmisión a proteger.....	60
5.2 Criterios de ajuste para línea de transmisión a proteger (Distancia 21).....	62
5.3 Alcances de las zonas de protección de distancia (Función 21).....	63
5.4 Funciones habilitadas o deshabilitadas en el relé de protección.....	66
5.5. Ajustes para los transformadores, Línea de transmisión y Interruptores en el relé de protección.....	67
5.6. Power system data 2.....	68
5.7. Ajuste general de la función de distancia en el relé 7SA522.....	70
5.8. Ajustes de las zonas de protección en el relé.....	71
5.9. Ajustes de la función oscilación de potencia (Función 68).....	72
5.10. Ajustes de la función cierre sobre falta (Función 50HS).....	72
5.11. Ajustes de la función sobrecorriente a tierra (Función 67N).....	72
5.12 Ajuste del localizador de falla.....	75
5.13 Ajuste para el registro de fallas (Oscilografía).....	75
6.1. Resultados de prueba monofásica lazo L1-E.....	91
6.2. Resultados de prueba monofásica lazo L2-E.....	92
6.3. Resultados de prueba monofásica lazo L3-E.....	92
6.4. Resultados de prueba bifásicalazo L1-L2.....	92
6.5. Resultados de prueba bifásicalazo L2-L3.....	92
6.6. Resultados de prueba bifásicalazo L3-L1.....	92
6.7. Resultados de prueba trifásicalazo L1-L2-L3.....	93
6.8. Resultados de la prueba al relé para función 67N.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura

2.1 Sistema eléctrico de potencia (Generación, Transmisión, Distribución).....	11
2.2 Esquema básico de un sistema de protección.....	13
2.3 Representación de una impedancia en el plano R-X.....	19
2.4 Diagrama fasorial Voltaje-Corriente.....	20
2.5 Representación de un sistema de potencia en el plano R-X.....	21
2.6 Determinación de la falla con un relé de distancia.....	22
2.7 Característica tipo impedancia. a) Comparador de magnitud. b) Comparador de fase.....	24
2.8 Característica de operación de un relé Mho.....	24
2.9 Característica de un relé tipo reactancia.....	25
2.10. Característica de un relé tipo cuadrilateral.....	26
2.11. Alcance de las zonas de protección a distancia.....	27
2.12. Efecto de la resistencia de falla en relé de distancia.....	30
2.13. Esquema de transferencia de disparo permisivo por subalcance (PUTT).....	34
2.14. Esquema de transferencia de disparo directo por subalcance (DUTT).....	35
2.15. Esquema de transferencia de disparo permisivo con sobrealcance (POTT).....	36
3.1 Panel frontal del relé SIEMENS 7SA522.....	38
3.2 Estructura de hardware del relé SIEMENS 7SA522.....	39
3.3 Inicio Software DIGSI.....	45
3.4. Para crea nuevo proyecto en DIGSI.....	46
3.5. Nombre del proyecto DIGSI.....	46
3.6. Carpeta que tendrá el icono del relé 7SA522.....	47
3.7. Ventana para crear el dispositivo SIPROTEC.....	47
3.8. Dispositivo SIPROTEC 7SA522.....	48

3.9 Abreviación MLFB del dispositivo.....	48
3.10. Icono del relé 7SA522 en DIGSI.....	49
3.11. Conexión directa con el equipo SIPROTEC.....	50
3.12. Conexión sin línea con el equipo SIPROTEC.....	50
3.13. Configuración del relé 7SA522.....	51
3.14. Sección de parámetros en el relé 7SA522.....	51
4.1. Portada del grupo de planos para la puesta en servicio del tablero de protecciones...	54
4.2. Zona Interna del tablero de protección SIEMENS 7SA522.....	57
5.1. Bosquejo circuito 115 kV conexión S/E Buena-Vista-S/E Trujillo.....	59
5.2. Esquema de protección para la línea S/E Buena Vista – S/E Trujillo.....	60
5.3. Diagrama de impedancias a proteger.....	61
5.4. Zonas de protección DIGSI.....	63
5.5. Configuración doble terna.....	64
6.1. Hardware del equipo de inyección OMICRON CMC 356.....	77
6.2. Ventana inicial del OMICRON <i>Test Universe</i>	78
6.3. Ventana de asociación para equipo de prueba.....	80
6.4. Equipo de prueba y configuración de prueba de <i>hardware</i>	81
6.5. Ventana de dispositivo para ajuste.....	81
6.6. Configuración del hardware para la unidad OMICRON.....	82
6.7. Configuración en las salidas de corriente y voltaje del equipo OMICRON.....	83
6.8 Configuración Salidas Analógicas.....	84
6.9. Configuración Entradas Binarias/Analógicas del equipo de prueba OMICRON CMC356.....	85
6.10. Configuración Salidas Binarias del equipo de prueba OMICRON CMC 356.....	85
6.11. Señalización conexión incorrecta PC- OMICRON.....	86
6.12. Señalización Conexión Correcta PC- OMICRON.....	86
6.13. Señalización de inyección en curso OMICRON-Relé.....	86
6.14. Ajustes de valores nominales de la OMICRON CMC 356.....	87
6.15. Modulo para configuración de prueba de distancia.....	88
6.16. Ajustes para el módulo de distancia.....	89
6.17. Ajustes de las zonas de protección para prueba del relé.....	90

6.18. Zonas de protección configuradas en Test Universe 3.00.....	90
6.19. Puntos para prueba en las zonas de protección de función distancia.....	91
6.20. Ventana de Inicio Modulo de sobrecorriente.....	93
6.21. Ajustes de parámetros para prueba de función sobrecorriente direccional a tierra.....	94
6.22. Selección del tipo de elemento de sobrecorriente a configurar.....	95
6.23. Ajustes de parámetro función sobrecorriente direccional a tierra.....	96
6.24. Configuración de la zona de operación del relé de sobrecorriente direccional a tierra...	97
6.25. Ventana de ajuste de barrido para prueba de sobrecorriente direccional a tierra (67N)..	97
6.26. Puntos de prueba para cada tipo de falta monofásica de la función 67N.....	98

www.bdigital.ula.ve

INTRODUCCION

En los últimos años la sociedad ha sido objeto de grandes cambios, la tecnología ha causado un vuelco en las actividades cotidianas de la civilización, la necesidad de mejorar procesos y optimizarlos ha dado paso a que la innovación sea fundamental para tal propósito, y con ello que a los servicios se les exija mayor calidad. La industria eléctrica es esencial para los avances y es que en ella recae la responsabilidad de suministrar la energía eléctrica que cuenta con infinidad de usos desde encender un bombillo de un hogar, hasta aplicaciones en sistemas industriales, sencillamente cumple con una función social que está directamente relacionada con el avance de los países.

El recurso de la electricidad está presente en áreas residenciales en donde se desarrollan actividades cotidianas necesarias para el día a día de las personas, en las áreas comerciales en donde inciden equipos como motores ya sea para climatizar o utilizar en ascensores o escaleras mecánicas y en sectores industriales con usos variados pero intensivos del recurso.

Si se considera el recurso de la electricidad como un bien de consumo vital, se debe entender que para que este llegue a destino, es necesario que exista un proceso de generación y transporte de la electricidad, las líneas de transmisión que se encargan del transporte desde las unidades generadoras hasta los consumidores, por estar expuestas a la intemperie existen riesgos que pueden afectarlas tales como descargas atmosféricas, deslizamientos de terrenos, daños en aislamiento, entre otros.

El recurso de la electricidad consta esencialmente de 4 etapas; generación, transmisión, distribución y finalmente abastecimiento al usuario final, para todas estas etapas se depende de las subestaciones en donde se encuentran la mayoría de los componentes de un sistema eléctrico de potencia como transformadores de potencia, transformadores de medida, sistemas de protección, en esencia las subestaciones funcionan como puntos de interconexión y en donde se modifican parámetros tanto de tensión como de corriente.

La prestación de un servicio eléctrico de calidad está relacionada con un mínimo de interrupciones a lo largo del tiempo, se debe velar por que exista entonces un sistema de protección para todos los componentes del sistema de potencia, para ello la exigencia de un buen diseño, un óptimo montaje y que se opere de buena manera a partir de personal capacitado es necesario para contar con un sistema eléctrico seguro y confiable

CORPOELEC (Corporación Eléctrica Nacional) con la finalidad de prestar un mejor servicio eléctrico, pretende continuar con la actualización de relés de protección en las líneas de transmisión en el sistema sur occidental abarcando de esta forma los estados Mérida, Táchira, Trujillo, Barinas y alto de Apure. Los relés a instalarse presentan características idóneas para los nuevos y futuros requerimiento del sistema de potencia, es por ello que el presente proyecto tiene como finalidad, instalar un relé de protección de distancia marca SIEMENS modelo 7SA522 asociado a la línea de 115 kV S/E Buena Vista- S/E Trujillo, en extremo S/E Buena Vista estado Trujillo.

El proyecto en cuestión se estructura de la siguiente manera para un mejor entendimiento del lector:

Capítulo I. Se expondrán las causas que motivaron la realización del proyecto, los objetivos que se pretenden alcanzar, así como también, la metodología a utilizar.

Capítulo II. Se plasman las bases teóricas sobre la protección en una línea de transmisión usando relés de distancia, así como todos los conceptos pertinentes para entender el proyecto realizado.

Capítulo III. Se resumen de las funcionalidades del relé de protección SIEMENS 7SA522, software utilizado para la configuración, así como sus ajustes.

Capitulo IV. Se describe la instalación del tablero de protecciones en la sala de relé de la subestación Buena Vista.

Capítulo V. Se expone, la puesta en marcha del relé, así los cálculos, ajustes y configuración del mismo.

Capítulo VI. Se describe la unidad de prueba OMICRON CMC 356, breve resumen de las pruebas realizadas al relé de protección, presentación de los resultados.

Finalmente se presentan las conclusiones y recomendaciones generadas a partir del trabajo elaborado.

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO I

EL PROBLEMA: INSTALACION DE UN RELÉ DE PROTECCION DE DISTANCIA 7SA522

1.1 ANTECEDENTES

El trabajo de grado titulado “Instalación de un relé de protección de distancia marca SIEMENS modelo 7SA612, asociado a la línea a 230 kV S/E Buena Vista-S/E Vigía II, extremo S/E Vigía II “ recalca la necesidad de una continua mejora en un sistema de protecciones para dar mejor respaldo al sistema eléctrico en general y así aumentar la confiabilidad del mismo, atribuyendo la necesidad de instalar un tablero de protecciones marca SIEMENS 7SA612 en la S/E VIGIA II- Mérida en la línea Buena Vista – Vigía II extremo Vigía II a tensión de trabajo de 230 kV, a partir de estudios realizados que mostraban deterioro y deficiencias en el tablero anterior, cumpliendo a cabalidad su vida útil. El proyecto factible ameritó obtención de datos de campo entre ellos estudios de las características de la línea, adaptación de la configuración del equipo a los parámetros de la subestación además de una investigación documental para las bases teóricas que respaldarían todo el procedimiento, así como ajustes y cálculos, finalmente se recalca que el proyecto fue realizado en unión del sector industrial, Corporación Eléctrica Nacional (CORPOELEC) y la Universidad de Los Andes (ULA) [1].

El trabajo de grado titulado “Evaluar la coordinación de protección para una red eléctrica de 115 kV perteneciente al noreste del estado Carabobo del sistema eléctrico nacional”, expone la necesaria evaluación en las coordinaciones de las protecciones para líneas de transmisión a 115 kV las cuales conforman parte del sistema eléctrico nacional en el estado Carabobo el cual abarca las 17 subestaciones, 18 líneas de transmisión que comprenden distancias desde 17 km

hasta 600 m conformando una red anillada, es necesario para el estudio de la coordinación analizar el desempeño de las protecciones para cada una de las líneas en 115 kV , a partir de simulaciones dadas por el software DigSILENT *Power Factory*, realizando una base de datos a partir de modelos de los diferentes componentes del sistema para posterior estudios en simulación, evaluando el comportamiento de los relés ante fallas monofásicas y trifásicas en la red anillada, finalmente una vez obtenido los resultados se formularon una serie de propuestas y recomendaciones para el ajuste y coordinación de las protecciones de distancia[2].

En el trabajo de grado titulado “Instructivo para la comprensión y utilización de la unidad relé protección de distancia SIPROTEC 4 modelo 7SA522 de SIEMENS, para el curso de protecciones eléctrica de la escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo” se desarrolla un instructivo para la comprensión y utilización de la unidad relé protección de distancia SIPROTEC 4 MODELO 7SA522 de SIEMENS, el cual se desarrolló como material de apoyo para el curso de protecciones de la Escuela de Ingeniería Eléctrica en la Universidad de Carabobo (UC), entre sus objetivos especificar la teoría e información básica necesaria de los equipos SIPROTEC 4, desarrollado bajo investigación de campo tipo descriptiva en la modalidad de proyecto factible, buscando brindar soluciones a los estudiantes del departamento sistemas de potencia[3].

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La electricidad represento un antes y un después en el desenvolvimiento de la cotidianidad humana, la presencia de este recurso resultó en un vuelco en las actividades desarrolladas hasta ese entonces por la civilización. Con el pasar del tiempo este recurso fue convirtiéndose en una necesidad para el ser humano siendo imperante para el avance tecnológico el cual se puede apreciar en el presente. Desde algo tan básico como encender un simple bombillo en un cuarto, hasta una actividad tan compleja como la puesta en órbita de satélites se tiene presencia del recurso. Por ello el manejo de este recurso debe estar en manos de personal capacitado el cual junto a los recursos necesarios se encarguen de diseñar, instalar y manejar de manera adecuada estos sistemas encargados de la generación, transmisión distribución y comercialización de la energía eléctrica.

Un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP) está conformado por diversos elementos fundamentales para la operación del mismo. La continuidad y por lo tanto la calidad del servicio de energía eléctrica en los SEP se pueden ver afectados por muchos factores, entre ellos las fallas, las cuales son perturbaciones o actuaciones anómalas que tiene la capacidad de repercutir en el funcionamiento normal del resto del sistema. Los sistemas de protección tienen como función aislar de la red todo elemento sometido a una condición anormal de servicio y de ahí salvaguardar personal y a los mismos equipos [4].

En Venezuela el Sistema Eléctrico Nacional (SEN) ha presentado deficiencias en los últimos años por actuaciones erróneas de equipos antiguos y obsoletos que ponen en riesgo la estabilidad del sistema. En el estado Trujillo se encuentran operando equipos de protecciones que han cumplido con su tiempo de funcionalidad, por ende, a pesar de ser muy robustos, ya cumplieron con su vida útil, y presentan fallas que ameritan su sustitución para mejorar el sistema a partir de equipos que estén a la altura de los requerimientos actuales en el sector eléctrico.

La gerencia de transmisión en la región andina se encuentra ejecutando un plan de sustitución de relés que han cumplido con su vida útil en las subestaciones, se suma la falta de personal técnico capacitado para la atención de las incidencias que ocurren en la región siendo imperante mejorar el sistema de protecciones a partir de la sustitución de equipos antiguos y que cumplieron con su tiempo de vida por equipos nuevos y con mejores prestaciones.

En resumen a lo descrito previamente, la necesidad del presente proyecto recae en instalar un tablero de protección de distancia, marca SIEMENS, modelo 7SA522 en la línea de transmisión Buena Vista-Trujillo del estado Trujillo a 115 kV. La línea de transmisión en estudio, actualmente transporta energía en la dirección Buena Vista-Trujillo, a la S/E Trujillo converge también otra línea de transmisión Valera II -Trujillo a 115 kV, siendo de gran importancia para el abastecimiento eléctrico del estado Trujillo, denotando así la importancia de la correcta puesta en marcha del esquema de protección asociada a la línea ya mencionada.

Finalmente, el desarrollo del presente trabajo lleva a realizarse la siguiente pregunta ¿La instalación del relé de protección SIEMENS 7SA522 traerá un mejoramiento de la confiabilidad en la línea de transmisión Buena Vista-Trujillo?

1.3 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

Los sistemas de protección representan parte vital de un sistema de potencia, aquí se encuentran componentes dispuestos para realizar operaciones ya sea de desconexión en caso de alguna anomalía o de conexión luego de que se superara una falla o condición anormal en el sistema, una condición anormal nace de perturbaciones naturales como una descarga atmosférica o perturbaciones por operaciones erróneas humanas, entonces se necesita de dispositivos aptos para el monitoreo constante de los parámetros eléctricos con los cuales puedan estos tomar decisiones.

A través de la Gerencia de Transmisión Región Los Andes, CORPOELEC está en la necesidad de realizar una actualización en el esquema de protección asociado a la línea de 115 kV Buena Vista-Trujillo, la cual cuenta en la actualidad con un dispositivo de protección BBC LZ92 electrónico en el extremo Buena Vista, el cual presenta deterioro por el tiempo en servicio que es de aproximadamente 30 años, siendo un dispositivo obsoleto si se compara con los equipos actuales de protección.

CORPOELEC tiene en reserva dispositivos de protección de distancia SIEMENS 7SA522 aptos para sustituir al dispositivo ante mencionado relacionado a la línea en estudio, contando con tecnología numérica el dispositivo 7SA522 tiene como principal la función de distancia (ANSI 21), cuenta con funciones adicionales como tele protección por distancia, fallo de interruptor, sobre intensidad, faltas a tierra de alta resistencia entre otras. El dispositivo cuenta con alta selectividad en cuanto faltas a tierra de alta resistencia se refiere, un apartado en el que el LZ92 presenta deficiencia, entrega la distancia en kilómetros cuando ocurre una falla en cualquier punto de la línea de transmisión, esta es también otra ventaja con respecto al LZ92, aporta oscilografía y registro de las faltas que se presentan para un análisis posterior de las mismas por parte del personal.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

- ❖ Realizar el estudio, instalación y pruebas de un relé de protección de distancia, marca SIEMENS, modelo 7SA522, asociado a la línea a 115 kV Buena Vista – Trujillo, en el extremo S/E Buena Vista.

1.4.2 Objetivos Específicos

- ❖ Estudiar el Manual del Relé multifuncional 7SA522, con la finalidad de conocer el principio de operación de cada una de las funciones incluidas.
- ❖ Analizar las características de la línea a 115 kV Buena Vista – Trujillo.
- ❖ Estudiar los planos de conexión del relé de protección de distancia para su posterior instalación en S/E Buena Vista.
- ❖ Realizar el cálculo y configuración de los ajustes para la detección de fallas en el relé de protección de distancia.
- ❖ Ejecutar pruebas con el equipo de inyección OMICRON para verificar la funcionalidad del dispositivo de protección.

1.5 METODOLOGIA

El presente proyecto se define como proyecto factible debido a las características que se presentan en el mismo un diseño, entre investigación tipo documental e investigación de campo [5], tiene como finalidad la puesta en marcha de un esquema de protección con tecnología numérica tal es el caso del antes mencionado relé SIEMENS 7SA522, CORPOELEC en su gerencia de transmisión los andes tiene la necesidad de innovar y mejorar el sistema, el presente texto le atañe la solución del problema en la obsolescencia del esquema de protección asociado a la línea Buena Vista- Trujillo extremo Buena Vista a 115 kV.

Se procedió al estudio del dispositivo de protección 7SA522 a partir de su manual,-se estudió las características de la línea para, posterior a esto, realizar los cálculos y ajustes necesarios

adicional también un informe técnico detallando lo realizado, luego a partir del programa DIGSI versión 4.84 se configuran los ajustes al relé de protección de distancia 7SA522. Se diseñan las plantillas de prueba de distancia (ANSI 21) y de faltas a tierra de alta impedancia (ANSI 67N) para el relé utilizando el programa *Test Universe* el cual asocia a él la unidad de prueba e inyección OMICRON CMC 356 este dispositivo tiene la capacidad de simular condiciones de falla en la línea de transmisión, y es este el requerido para inyectar tensiones y corrientes al relé y percatarse de un buen funcionamiento del equipo en estudio.

1.6 ALCANCE

La sumatoria de los objetivos en la presente investigación tiene la finalidad de la puesta en servicio del esquema de protección para la línea a 115 kV (SIEMENS 7SA522) con trayecto desde Buena Vista – Trujillo (Trujillo) presentando ventajas con respecto al esquema ya presente (BBC LZ97), la línea en estudio tiene gran importancia en el aporte de energía al estado Trujillo, siendo imperante la necesidad de actualizar e innovar en equipos para mejorar el sistema eléctrico en cuanto a confiabilidad y estabilidad a la hora de transportar energía. Con el dispositivo de protección se tendrá mayor selectividad y rapidez a la hora de cualquier falla que se presente en la línea de transmisión además de también servir como protección de respaldo ante elementos adyacentes a la misma.

1.7 LIMITACIONES

- ❖ El transporte hacia la subestación.
- ❖ No se cuenta con sistemas de telecomunicación en el estado Trujillo por ello los ajustes en los esquemas de teleprotección de distancia, sobrecorriente direccional a tierra de alta impedancia fueron configurados en el relé sin ser posible la activación de los mismos por el problema ya expuesto.

CAPITULO II

PROTECCION DE UNA LINEA DE TRANSMISION A 115 kV UTILIZANDO RELÉ DE DISTANCIA SIEMENS 7SA522.

La energía eléctrica forma parte esencial de los avances tecnológicos presentes en la sociedad hasta la actualidad, sin embargo se presentan diferentes obstáculos a los cuales hacer frente para el uso de tal recurso, la energía eléctrica no se puede almacenar es decir se debe utilizar al momento de que es generada para ello se hace uso de las líneas de transmisión las cuales por estar en la intemperie representan el elemento de un sistema de potencia expuesto a más fallas, entonces se hace necesario la aplicación de técnicas y protocolos de protección que permitan garantizar la operatividad y continuidad del servicio eléctrico.

2.1 SISTEMA DE POTENCIA

La función de un sistema de potencia es la de convertir energía naturalmente disponible a energía eléctrica, transportándola hacia los centros de consumo [6]. Un sistema eléctrico de potencia es una red conformada por un conjunto de componentes, cuya función es: generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica a los usuarios como se muestra en la figura 2.1, bajo ciertas exigencias de continuidad de servicio, regulación de tensión y control de frecuencia [7].

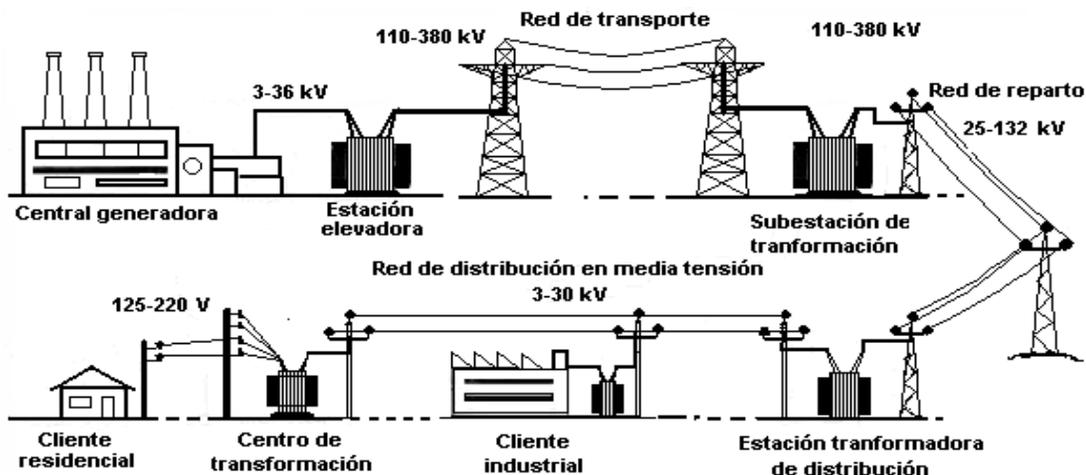


Figura 2.1 Sistema Eléctrico de Potencia (Generación, Transmisión, Distribución). [8]

En [7] se explica que, la continuidad hace alusión al hecho de que el SEP debe garantizar que la energía generada sea suministrada de forma ininterrumpida a los centros de consumo. Debido a que la energía eléctrica no puede ser almacenada en forma significativa, una interrupción del suministro tiene consecuencias directas e inmediatas sobre los procesos que se desarrollan a partir de su distribución. La propiedad de calidad se refiere a que la energía suministrada debe garantizar que los equipos conectados a la red van a operar en las condiciones para las que han sido diseñados.

Por lo tanto, la continuidad y calidad de servicio que suministra una empresa de servicio eléctrico, se ve afectada por las fallas, las cuales al afectar al SEP, suscitan valores fuera de los rangos normales de operación de las magnitudes de voltaje, corriente y frecuencia, así como también son capaces de generar perturbaciones enormes que deben ser aplacadas, de lo contrario, serían peligrosas para su funcionamiento, afectando su estabilidad y provocando la desconexión del mismo, perdiendo así la continuidad que debe garantizar éste. Es por ello que las protecciones eléctricas son una parte fundamental del SEP, ya que por razones técnicas y económicas es imposible evitar que se produzcan fallas, la alternativa es diseñar un sistema de protección que rápidamente detecte condiciones anormales de funcionamiento y realizar las acciones correctivas apropiadas [7].

2.2 SUBESTACION ELECTRICA

Conjunto de equipos eléctricos destinados a dirigir el flujo de energía eléctrica, en un punto de la red, en el cual convergen, generalmente línea, transformadores y generadores [4].

2.2.1 Configuraciones de las subestaciones eléctricas

Existen multitud de configuraciones para las subestaciones entre las más importantes se tienen:

2.2.1.1 Simple barra

Subestación compuesta por un único juego de barras, si se produce falta en barras se pierde la totalidad de la instalación. Necesita poco mantenimiento de los componentes, se suele implementar si se tiene una red mallada y se quiere partir una línea con entrada y salida de la subestación y que este alimente generalmente a uno o dos transformadores. Es la solución más económica [4].

2.2.1.2 Doble barra

Para garantizar la continuidad y seguridad del servicio se implementa comúnmente esta configuración. Todas las posiciones (líneas y transformadores) se pueden pasar de una barra a la otra, en caso de avería en una de las barras la otra barra puede garantizar la continuidad en el servicio [4].

2.2.1.3 Interruptor y medio

Esta dispone de dos barras y tres interruptores por cada dos líneas de transmisión. Todas las posiciones que entran o salen de la subestación se pueden acometer a ambas barras. En caso de una falla en una barra el servicio estaría garantizado por la segunda barra. Normalmente se emplea esta configuración en red de transporte de muy alta tensión ya que ofrece garantías aún mayores en cuanto a continuidad del suministro y flexibilidad en comparación a la configuración doble barra [4].

2.3 SISTEMAS DE PROTECCION

Un sistema de protección eléctrica está constituido por un conjunto de elementos y/o dispositivos que protegen el sistema eléctrico de potencia contra posibles fallas eléctricas, para asegurar su normal funcionamiento y evitar daños a los operarios o a los equipos, o pérdidas de estos [2].

La función de la protección por relés es aislar rápidamente cualquier elemento conectado al sistema eléctrico de potencia que funcione de manera anormal. El propósito de los relés es limitar en la medida de lo posible algún daño grave al equipo protegido, para minimizar el peligro para las personas, para evitar sobretensiones en otros equipos y, sobre todo, para aislar la falla al equipo conectado al sistema eléctrico de potencia tan rápidamente como sea posible para que la integridad y la estabilidad del sistema no se vean afectadas [9]. Debido a que una falla puede ocurrir en cualquiera de los componentes de un sistema de potencia, el elemento que se encuentra más expuesto a fallas son las líneas de transmisión debido a que se encuentran a la intemperie, y estas son sometidas a acciones exteriores que se escapan de cualquier tipo de control [4]. En la figura 2.2 se muestra un esquema básico de un sistema de protección.

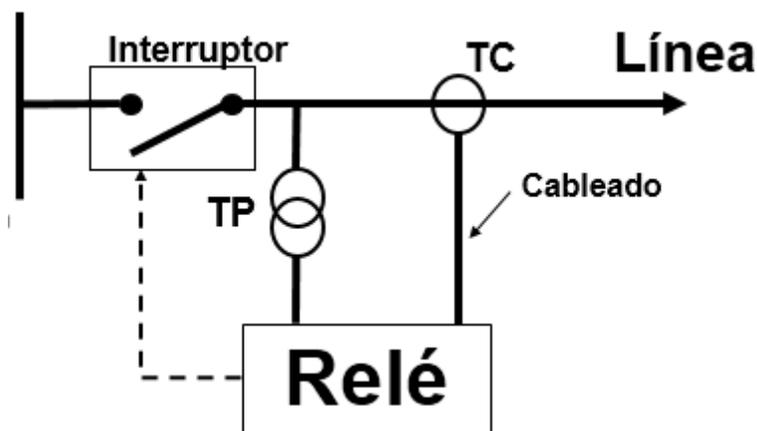


Figura 2.2 Esquema básico de un sistema de protección. [1].

2.3.1 Transformadores de medida

Son los encargados de transformar las tensiones y corrientes en el primario de los sistemas de potencia para alimentar los instrumentos de protección y medición. Deben aislar el sistema de

alta tensión de los instrumentos de medición y protección, además de permitir el uso de voltajes y corrientes normalizados en el secundario [1].

2.3.1.1 Transformadores de potencial (TP)

Tienen por finalidad proporcionar a los relés de protección una onda de tensión igual a la que está presente en el sistema de potencia, pero de un valor reducido en su magnitud con una proporción fijada de antemano, para aplicación de media tensión se podrá usar transformadores de tensión del tipo inductivos, pero en alta y muy alta tensión se usarán transformadores de tensión capacitivo [10].

La tensión nominal en el secundario generalmente es 110 V, 115 V o 120 V [7].

2.3.1.2 Transformadores de corriente (TC)

El devanado primario del TC se conecta en serie con el circuito de potencia de alta tensión, puesto que la impedancia del devanado es despreciable con respecto a la del sistema de potencia donde está instalado y teniendo en cuenta la carga que se conecta al secundario. Los TC usados para medida son diferentes a los TC usados para protección, tanto en su clase de precisión, como en la carga del secundario. Los TC de medida deben trabajar lo más exactamente posible bajo condiciones normales de operación. Los TC de protección debe operar correctamente entre márgenes muy amplios de carga, desde corrientes mínimas hasta valores varias veces mayores que la corriente nominal, por consiguiente, los TC pueden llegar a saturarse por las altas corrientes causadas por las fallas cercanas; para evitar esto, debe ponerse cuidado para asegurar que bajo condiciones de falla críticas los TC operen en la porción lineal de la curva de magnetización [10].

En general la magnitud de corriente por el secundario en los transformadores de corriente es de 1 A o 5 A [1].

2.3.2 Relé

Como se ha comentado con anterioridad los relés cumplen funciones tales como proteger los elementos del SEP entre estos aíslan fallas, eliminan disparos innecesarios y en general proporcionan información del sistema para una buena administración del mismo.

El elemento al cual llega la señal del relé cuando ocurre una falla, es la bobina de disparo de los interruptores, es decir, tienen la capacidad de desconectar los elementos del sistema eléctrico de potencia. Además, soportar momentáneamente las corrientes de cortocircuitos que circulan por ellos y la interrumpen [1].

En general, en todas las protecciones eléctricas a base de relé, se deben tener fuentes auxiliares de tensión en corriente directa (banco de baterías) para el funcionamiento de las protecciones. Dado que, si ocurre una falla que dejase a la subestación sin electricidad, dejaría a los equipos de protección fuera de servicio y esto implicaría graves consecuencias.

Las funciones de protección se designan por códigos numéricos según la norma ANSI, entre los más importantes se tienen: 21, relé de distancia; 27, relé de bajo voltaje (subtensión); 32, relé direccional de potencia; 50, relé instantáneo de sobrecorriente; 51, relé temporizado de sobrecorriente; 52, interruptor de potencia; 59, relé de sobrevoltaje o sobretensión; 67, relé direccional de sobrecorriente; 68, oscilación de potencia; 79, relé de recierre; 87, relé diferencial [11].

2.3.2.1 Propiedades de un sistema de protección con relé

Para que un sistema de protección opere de manera eficaz debe de cumplir ciertos parámetros, los cuales permiten un mejor funcionamiento en el sistema.

- ❖ Sensibilidad, un sistema de protección debe ser lo suficientemente sensible como para operar en las condiciones de falla mínima que se puedan dar en la parte del sistema que tenga encomendada [11] [1] [12].
- ❖ Selectividad, propiedad por la cual los relés deben distinguir entre fallas en su zona de protección y fallas externas. Es evidente que los relés deben operar únicamente cuando ha ocurrido una falla dentro de su zona de protección [11] [1] [12].
- ❖ Rapidez, tras haber detectado una falla, esta debe ser despejada lo más rápido posible. Cuanto menos tiempo se tarde en aislar la falla, menos se extenderán sus efectos y menores daños y alteraciones se producirán en el sistema [11] [1] [12].

- ❖ Confiabilidad, un relé se dice confiable si se puede estar seguro de su operación cuando las circunstancias lo requieran. Esto quiere decir que el relé debe estar en buenas condiciones de servicio 24 horas al día [11].

En términos de protección, la confiabilidad está dada por dos elementos [12]:

- Dependabilidad: Habilidad de un esquema de protección para operar cuando se requiere.
- Seguridad: Habilidad de los esquemas de protección para nunca operar en forma incorrecta.

2.3.3 Interruptor

Los interruptores tienen por finalidad cerrar los circuitos estableciendo la correspondiente corriente, conducir todas las posibles corrientes que puedan circular por dicho circuito (de carga o de falla) e interrumpir las mismas, para cumplir con su propósito en función de la aplicación específica en el SEP [10].

Los interruptores deben cumplir con los siguientes requisitos funcionales [10]:

- ❖ Cerrar e interrumpir las corrientes de carga nominal del sistema a cualquier factor de potencia.
- ❖ Cerrar e interrumpir las corrientes de las líneas en vacío sin reencendido de arco.
- ❖ Cerrar e interrumpir las corrientes de maniobra de los bancos de capacitores.
- ❖ Cerrar e interrumpir las corrientes que se produzcan sobre una falla trifásica en sus terminales.
- ❖ Cerrar e interrumpir pequeñas corrientes inductivas sin provocar sobretensiones inadmisibles en el sistema eléctrico.
- ❖ Cerrar e interrumpir las corrientes de una falla kilométrica.
- ❖ Cerrar e interrumpir las corrientes en oposición de fases.

2.4 PROTECCION DE LAS LINEAS DE TRANSMISION

Las líneas de transmisión son de total relevancia dentro de un sistema de potencia, ya que sin ellas no sería posible la transferencia de energía eléctrica desde los centros de generación hasta los clientes finales. Se desea transportar la mayor cantidad de energía a través de grandes distancias minimizando las pérdidas [1].

Desde el punto de la clasificación de las protecciones eléctricas en los sistemas eléctricos de potencia, podemos acotar que existen las siguientes:

Protección principal, (primaria y secundaria) que constituyen la primera línea de defensa en una zona de protección y deben tener una actuación lo más rápida posible (instantánea) [13]. La finalidad es proteger a los principales componentes del SEP, ordenando la apertura de la menor cantidad de interruptores [1].

Protección de respaldo local, constituyen la segunda instancia de actuación de la protección y deberán tener un retraso en el tiempo, de manera de permitir la actuación de la protección principal en primera instancia. Estas protecciones son las siguientes [13]:

A. La protección de falla de interruptor que detecta que no ha operado correctamente el interruptor que debe interrumpir la corriente de falla; y por tanto, procede con la apertura de los interruptores vecinos para aislar la falla.

B. La protección de respaldo, la cual detecta la falla y actúa en segunda instancia cuando no ha actuado la protección principal.

Protección de respaldo remoto, si la falla no es despejada por los interruptores correspondientes al respaldo local o simplemente no se dispone del mismo, se da orden de apertura a los interruptores ubicados en los extremos opuestos por los esquemas de protección de las subestaciones remotas [1].

2.5 TECNICAS PARA LA PROTECCION DE LINEAS DE TRANSMISION

Para la protección a líneas de transmisión se usan diferentes técnicas tales como:

- ❖ Protección de sobrecorriente, en esta se monitorea constantemente la línea en protección, más concisamente la corriente que fluye a través de esta, si se observa un aumento anormal en este parámetro el relé de sobrecorriente dará orden de apertura al disyuntor asociado [11]. Se proceden a configurar de dos formas Sobrecorriente temporizado (ANSI 51) y sobrecorriente instantáneo (ANSI 50), cabe destacar que esta protección es aplicada en su mayoría a redes radiales en donde la potencia viaja en un solo sentido, las encontramos en redes de distribución y subtransmisión [1].
- ❖ Protección direccional, este tipo de relé toman en cuenta la dirección en la cual se encuentra la falla es decir el sentido en el que fluye la corriente. Por lo que cierran sus contactos solamente cuando la energía circula en un sentido determinado [14]. Necesitan conectarse a dos fuentes de alimentación de corriente alterna por lo menos, la señal de referencia se denomina la **cantidad de polarización** y la señal a la cual se le está midiendo la dirección se denomina **cantidad de operación** [11]. Los relés direccionales (ANSI 67) son ampliamente utilizados en redes nodales por la influencia de diferentes zonas de generación las cuales hacen que de acuerdo a la situación la potencia pueda fluir en una dirección o en otra por la línea.
- ❖ Protección de distancia, aquí se hace uso de relés que miden voltaje y corriente, y la relación de ambos se expresa en términos de impedancia, La impedancia medida es proporcional a la distancia entre el punto de medición y el punto de falla [14] [11]. Un relevador de distancia tiene la capacidad de descubrir una falla dentro de una predeterminada distancia a lo largo de una línea de transmisión, cada línea de energía tiene una resistencia y reactivo por kilómetro relacionado con su diseño y construcción entonces su impedancia total será una función de su longitud o distancia [9].
- ❖ Protección diferencial, en esta se realiza comparación continua de dos o más magnitudes (la corriente, el voltaje, la potencia, la frecuencia, la potencia, o una combinación de la corriente y el ángulo de fase, o la combinación de la corriente y el voltaje). Las condiciones de falla que causen un cambio en esos valores comparados con referencia una de la otra y la corriente “diferencial” resultante pueden ser utilizadas para operar el relevador [14].
- ❖ Protección por tele protección, su principio de funcionamiento se basa en el intercambio de información entre los extremos de la línea a través de un canal de comunicación [1].

- ❖ Existen dos métodos básicos que utilizan señales de mando: dar mando de disparo (permisivo o directo) o dar mando de no disparo (bloqueo). En los esquemas permisivos las señales de disparo son enviadas desde un extremo por la protección que detecta la falla al extremo receptor, para que dicho extremo confirme la presencia de la falla, el disparo depende de la operación de la protección en ese extremo. Debe quedar claro que para que un disparo sea ordenado en un esquema permisivo, una señal de disparo debe recibirse de los terminales remotos de la línea. En los esquemas de bloqueo, en el caso de una falla externa, el extremo que ve la falla hacia atrás envía una señal de bloqueo con el fin de bloquear el disparo en el extremo remoto [15].

2.6 PLANO DE IMPEDANCIAS (R-X)

Para comprender de mejor manera el funcionamiento de las protecciones de distancia se requiere poder representar en forma gráfica las características de operación de sus unidades de medida, tales representaciones requieren la utilización de planos complejos adecuados tales como el plano R-X [16].

Está compuesto por un par de ejes ortogonales, se lleva en la abscisa, la resistencia R y en la ordenada, la reactancia X de modo que cada punto del plano así formado representa una impedancia que queda determinada por su distancia al origen (modulo Z) y por el ángulo φ que forma con la abscisa, tal como se muestra en la figura 2.3 [16].

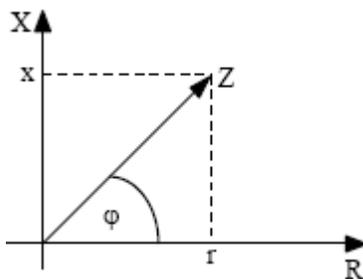


Figura 2.3 Representación de una impedancia en el plano R-X. [15].

En la figura 2.4 se muestra el diagrama fasorial voltaje – corriente, donde se ha situado a la corriente como fasor de corriente, es decir en el eje horizontal, con el fasor voltaje desfasado un ángulo φ [16].

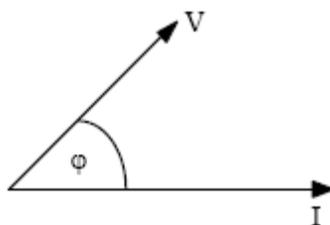


Figura 2.4 Diagrama Fasorial Voltaje-Corriente. [15].

Si se considera la resistencia R , la reactancia X y la impedancia Z como operadores complejos y la corriente y el voltaje como fasores, se puede ver que hay compatibilidad de modo que se cumplen en forma correcta todas las relaciones fasoriales.

$$Z = Z \angle \varphi \quad (2.1)$$

$$V = V \angle \varphi \quad (2.2)$$

$$I = I \angle 0^\circ \quad (2.3)$$

$$V = ZI \angle (\varphi + 0^\circ) = ZI \angle \varphi \quad (2.4)$$

Si se comparan las figuras 2.3 y 2.4 se puede observar que el ángulo φ representa exactamente lo mismo en todas ellas. El diagrama R-X permite superponer en un mismo gráfico los parámetros R , X , Z de las líneas, máquinas, transformadores y demás componentes, así como los valores de voltaje, corriente y ángulo de cualquier punto de sistema, de acuerdo con las relaciones siguientes [16]:

$$R = \frac{V}{I} \cos \varphi = Z * \cos \varphi \quad (2.5)$$

$$x = \frac{V}{I} \sen \varphi = Z * \sen \varphi \quad (2.6)$$

En la figura 2.5, se observa como representar en el plano R-X las impedancias de un sistema de potencia vistas por el relé de protección en la barra B y protege a la línea de transmisión

BC. Todas las impedancias a la derecha de la barra B, son positivas, y a la izquierda de la barra, son negativas [1].

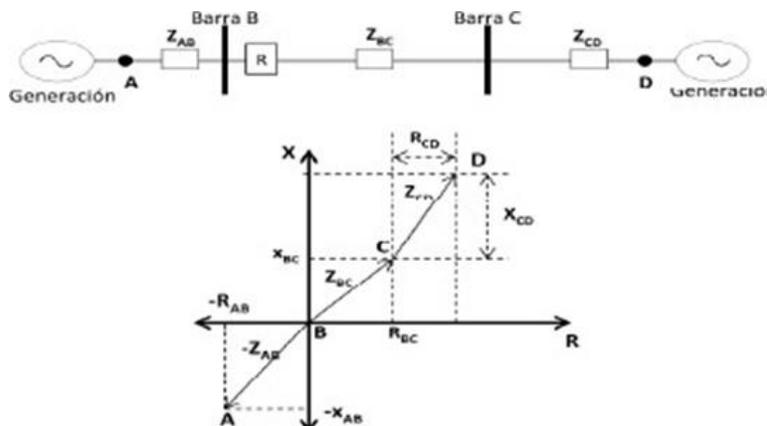


Figura 2.5 Representación de un sistema de potencia en el plano R-X. [1].

2.7 PROTECCION DE DISTANCIA

2.7.1 Relé de distancia

Se mencionó la relación que tiene una falla en una línea de transmisión con su impedancia característica, es por ello que el principio de funcionamiento en estos dispositivos se realiza cuantificando la impedancia en todo momento a partir de la corriente y el voltaje en donde se establecen ajustes de modo que cuando la impedancia medida por el relé presente valores que no se ajusten al funcionamiento normal del mismo este pueda decidir si operar, en qué dirección y en qué zona. Siendo este el más utilizado en cuanto a líneas de transmisión se refiere [2].

Estos relés se instalan en líneas de transmisión con tensiones elevadas, mayores a 69 kV donde se necesitan tiempos instantáneos de despeje de falla y/o protección de respaldo a equipos en el extremo remoto [1].

2.7.2 Ventajas de los relés de distancia

En las líneas de transmisión, los niveles de corriente de fallas son altos, por lo cual si una falla no es despejada rápidamente, puede causar inestabilidad al sistema de potencia así como daños al personal o al equipamiento [9].

Las ventajas de la protección con relés de distancia son [9]:

- ❖ La impedancia de zona tiene un alcance de impedancia fijo.
- ❖ Gran cobertura de disparo instantáneo con seguridad.
- ❖ Gran sensibilidad.
- ❖ Facilidad en los cálculos de ajustes y coordinación.
- ❖ Mayor impedancia de la carga.
- ❖ No son afectados por los cambios en la configuración del sistema de potencia.

2.7.3 Ubicación de la falla utilizando un relé de distancia

En la figura 2.6 se muestra un diagrama básico de un sistema de potencia con un relé de protección de distancia en la barra B, encargado de proteger la línea BC. Este permite observar el principio básico del relé ante una falla [1].

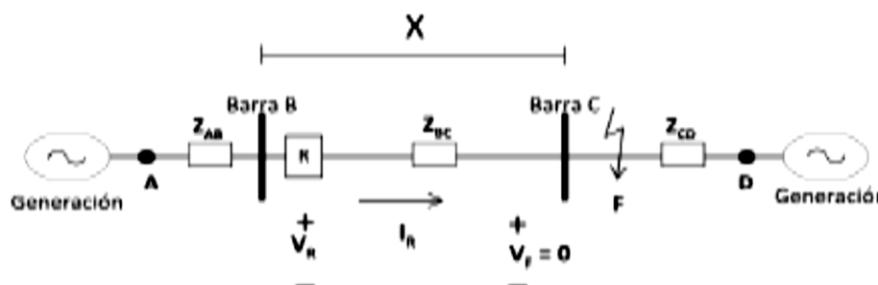


Figura 2.6 Determinación de la falla con un relé de distancia [4].

Si ocurre una falla en la barra C, se tiene:

$$V_R = Z_{BC} * I_R \quad (2.7)$$

$$Z_{BC} = z * X \quad (2.8)$$

$$V_F = 0 \quad (2.9)$$

z es un valor constante, por lo tanto, sustituyendo (2.7) en (2.8) y despejando se obtiene:

$$X = \frac{V_R}{I_R} * \frac{1}{z} \quad (2.10)$$

Donde

V_F : Voltaje en el punto de falla

V_R : Voltaje medido en el punto de ubicación del relé

I_R : Corriente medida en el punto de ubicación del relé

Z_{BC} : Impedancia de la línea protegida expresada en ohm (Ω)

z : Impedancia por unidad de longitud de la línea protegida expresada en Ω/Km

X : Distancia desde el punto de ubicación del relé hasta la falla expresada en Km

En los sistemas radiales cuando se da el caso de una falla en una línea de transmisión, la impedancia medida por el relé de distancia es proporcional a la distancia donde ocurre dicha falla, puesto que la energía viaja en un solo sentido. En sistemas mallados, no siempre se cumple esto debido a que en estos existen diferentes fuentes de generación, que hacen que otras líneas con corrientes elevadas contribuyan a la falla [1].

2.7.4 Clasificación de los relés de distancia

Impedancia, está basada en el principio de comparar ya sea la amplitud o la fase de la impedancia de falla (Z_F) contra una impedancia de referencia (Z_r). A partir de los fasores de la corriente de falla (I_f) y del voltaje de falla (V_f), se calcula la impedancia de falla ($Z_f=V_f/I_f$) vista por el relé [17].

El comparador de amplitud, compara la magnitud de la impedancia de falla contra la magnitud de la impedancia de referencia, la cual principalmente es un porcentaje de la impedancia total de la línea a proteger ($Z_f=\%Z_L$), junto con alguna compensación de esta. Cuando la magnitud de Z_f es menor que la de Z_r , figura 2.7a, el relevador manda la señal de disparo [17].

El comparador de fase, compara el ángulo (α) formado por el fasor de la impedancia de referencia menos la impedancia de falla ($-Z_f$), contra el fasor formado por la impedancia de referencia más la impedancia de falla (Z_f+Z_r). Si el ángulo entre estos dos fasores llega a ser menor de 90° y mayor de -90° , el relé manda la señal de disparo, figura 2.7b [17].

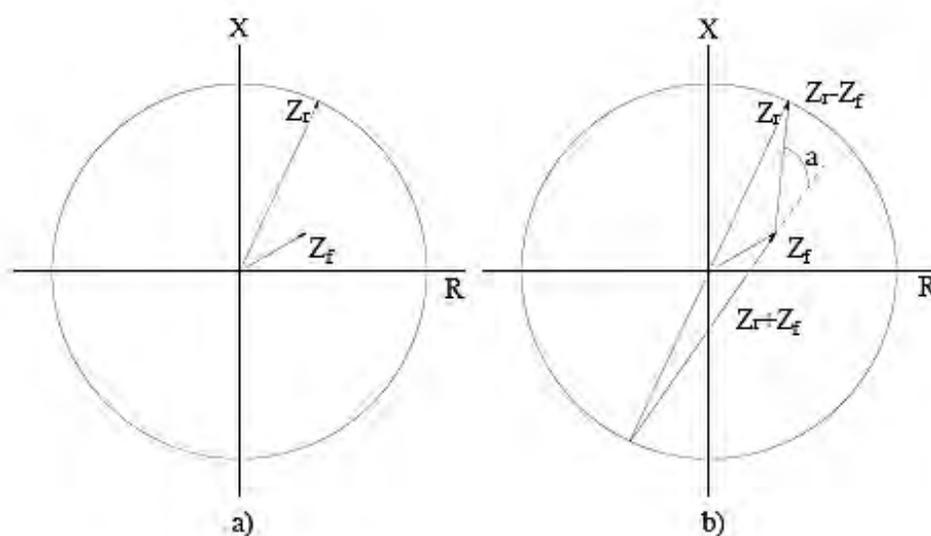


Figura 2.7 Característica tipo impedancia. a) Comparador de magnitud. b) Comparador de fase [17].

Admitancia o Mho, Es inherentemente direccional. La característica del relé, es un círculo que pasa por el origen, y cuyo centro se encuentra ubicado sobre la línea de impedancia característica, el relé opera para cualquier valor de falla que se encuentre dentro del círculo, tal como se muestra en la figura 2.8 [18].

Es bastante utilizado en la industria eléctrica por su sencillez y eficacia.

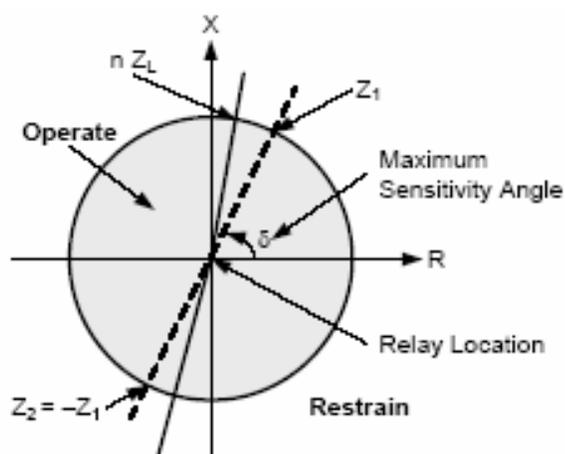


Figura 2.8 Característica de operación de un relé Mho. [18].

Reactancia, la característica de este relé es una línea paralela al eje real del plano complejo, como se muestra en la figura 2.9, su condición de operación está dada por la inecuación 2.11.

$$X_r \leq X_{ar} \quad (2.11)$$

Dónde:

X_r = Es la reactancia vista por el relé.

X_{ar} = Es la reactancia de arranque, parámetro de ajuste.

Estos relés solo verifican la componente reactiva de la impedancia de falla, y no son afectados por la resistencia de falla, lo que los hace recomendables para la protección de líneas cortas y la protección contra cortocircuitos a tierra, en los que la resistencia de falla puede tener valores muy elevados [9].

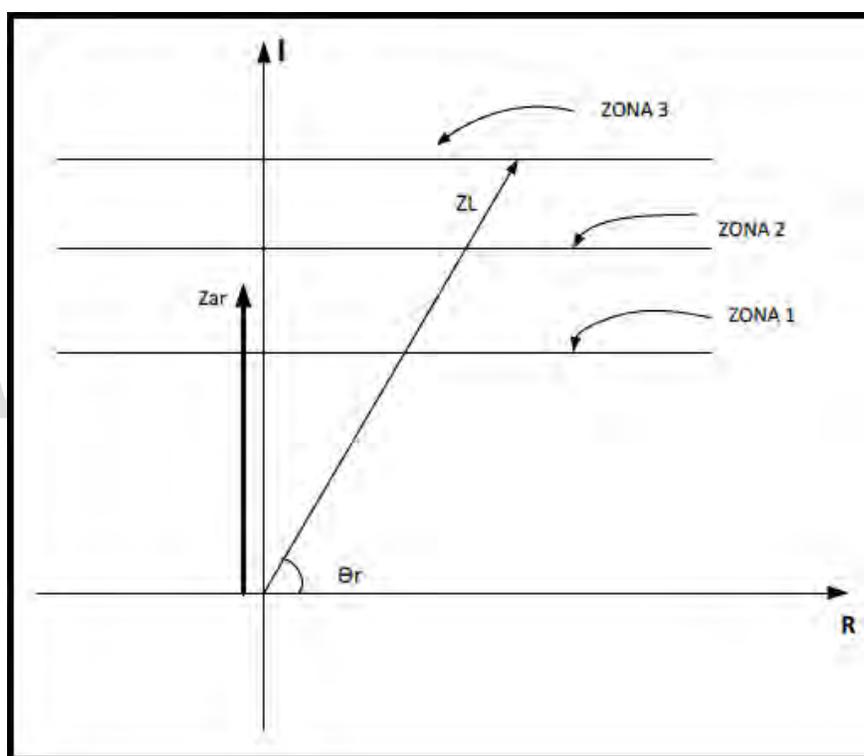


Figura 2.9 Característica de un relé tipo reactancia. [8].

Cuadrilateral, su característica se muestra en la figura 2.10, el segmento superior se asemeja al relé tipo reactancia, dicho segmento ajusta el alcance reactivo. Los segmentos de la izquierda y de la derecha, evitan la operación incorrecta por cargas severas o por oscilaciones de potencia. El lado inferior asegura la direccionalidad del mismo y la operación del relé. Algo muy importante de esta característica, es que permite ajustar cada lado de forma independiente. Su operación viene dada por la inecuación 2.12 [4].

$$Z_F \sin(\varphi_{sim}) < X_{ajus} \quad (2.12)$$

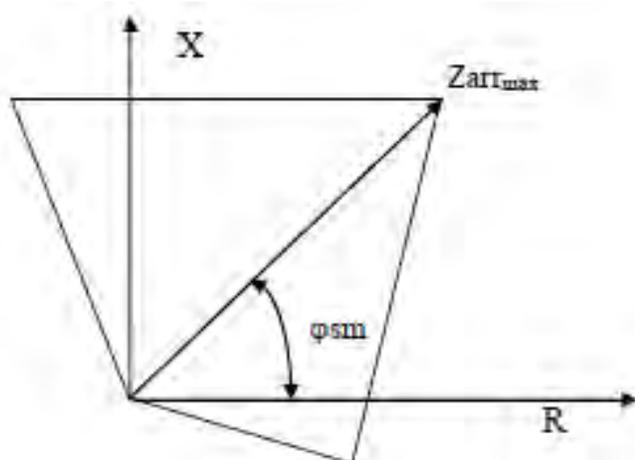


Figura 2.10. Característica de un relé tipo cuadrilateral. [1].

2.8 AJUSTES DE LAS ZONAS DE PROTECCION

Para permitir una correcta coordinación y selectividad de las protecciones de un sistema de potencia, la línea a proteger mediante relé de distancia suele dividirse en zonas de operación [1].

Los ajustes correspondientes a cada zona, no dependen solamente de la línea a la cual se le brindará la protección, sino también de las líneas adyacentes a la misma, puesto que el ajuste de algunas de las zonas del relé cubre una parte o la totalidad de las líneas adyacentes [1]. En la Figura 2.11, se presenta un ejemplo de los alcances de la protección de distancia con tres zonas hacia adelante y una de reversa, con características mho y cuadrilateral.

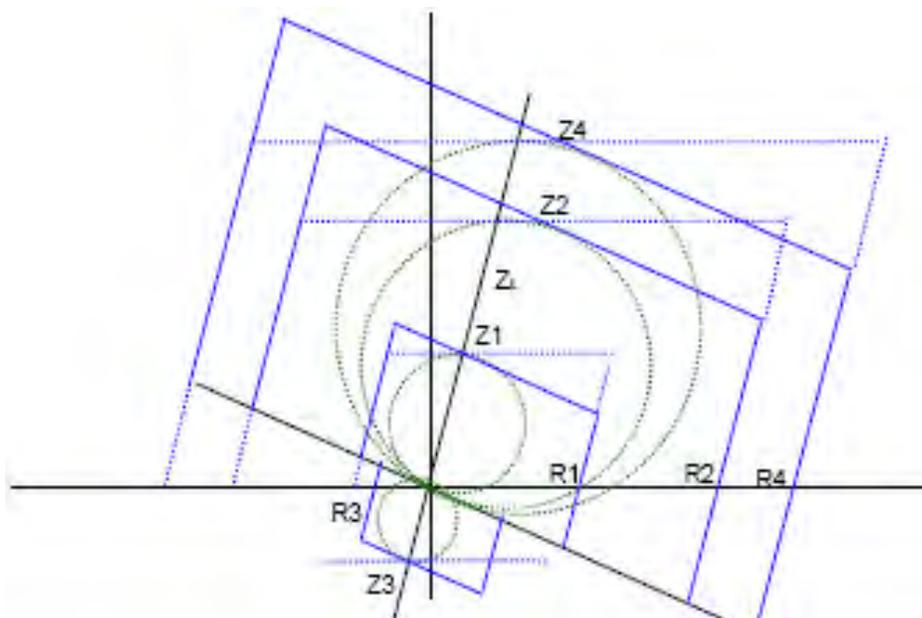


Figura 2.11. Alcance de las zonas de protección a distancia [1].

En [13] se indica que todo relé tipo cuadrilateral en su configuración debe presentar tres zonas hacia adelante ($Z1$, $Z2$, $Z4$) una zona hacia atrás ($Z3$) y una zona global ($Z5$). Para los ajustes se debe definir para cada zona y los valores del alcance de la resistencia y la reactancia (R , X), tanto para el ajuste entre fases ($Z1$) como para el ajuste entre fase y tierra ($Z1N$). Así mismo, se deben definir los tiempos de operación de cada zona ($t1$, $t2$, $t3$, $t4$, $t5$). CORPOELEC presenta los ajustes típicos y criterios usados en las líneas de transmisión.

- ❖ *Zona 1*, es de operación instantánea y su función es el despeje rápido de fallas a lo largo de la línea. Se ajusta en el 80% de la impedancia de la línea para evitar operaciones no selectivas por las imperfecciones en el cálculo de los parámetros, errores de los transformadores de medida y condiciones dinámicas del sistema que podrían ocasionar sobre-alcance.
- ❖ *Primera zona extendida (Z1B)*, tendrá un alcance equivalente a la segunda zona tanto resistivo como reactivo. Su finalidad es operar como zona de tele protección en conjunto con el extremo opuesto. Su tiempo de operación es instantáneo.
- ❖ *Zona 2*, protege el resto de la línea y brinda respaldo a la línea más corta en el extremo remoto. Esto quiere decir, 100% de la línea a proteger + 20% de la siguiente línea más

corta en el extremo remoto, actúa con retardo y el tiempo típico de ajuste es $t_{op} = 0,4$ segundos.

- ❖ *Zona 3*, se ajusta en dirección reversa y su propósito es complementar la operación de la lógica por tele protección. Se ajusta de manera de cubrir en exceso ($>20\%$) la porción de la línea alcanzada por la zona en sobre-alcance del extremo opuesto de la línea, tanto en el alcance reactivo como en el resistivo. Su retardo de operación es infinito, con el fin de no ejecutar orden de disparo.
- ❖ *Zona 4*, protege el 100% de la línea + 70% de la línea adyacente. Su dirección es hacia adelante y su $t_{op} = 1,2$ segundos.
- ❖ *Zona 5*, garantiza un arranque en la protección de distancia conforme a la falla. Su alcance es del 100% de la línea a proteger + 50% de la impedancia de la línea más larga en el extremo remoto. El $t_{op} = 3$ segundos. Su dirección es hacia adelante.

2.9 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA MEDICION DE LA IMPEDANCIA

2.9.1 Resistencia de falla

Al producirse una falla no siempre se tiene un cortocircuito franco, sino que el fenómeno se suele presentar con una resistencia de falla que tiene los siguientes componentes [13]:

- ❖ La Resistencia del arco que se produce por la falla, el cual se forma en el aire y tiene una longitud según la distancia del aislamiento correspondiente.
- ❖ La Resistencia de puesta a tierra del punto donde se produce la falla, la cual corresponde al camino de retorno por tierra hasta la fuente.

Dicha resistencia debe considerarse en los ajustes de las protecciones, puesto que, de no ser así, es posible que se produzcan disparos erróneos [19].

La resistencia se determina con base en el tipo de falla, es decir, para las fallas de fase-fase se plantea una ecuación diferente con respecto a las fallas fase-tierra [19].

Si la falla corresponde a un cortocircuito entre dos fases, la resistencia de falla será [13]:

$$R_{falla} = R_{arco2f} \quad (2.17)$$

Si la falla corresponde a un cortocircuito entre una fase y tierra

$$R_{falla} = R_{arco1f} + R_{PAT} \quad (2.18)$$

Donde

R_{falla} = Resistencia de falla

R_{arco1f} = Resistencia del arco fase-tierra

R_{arco2f} = Resistencia del arco fase-fase

R_{PAT} = Resistencia de puesta a tierra en el punto de falla

El valor de la resistencia del arco ha sido modelado de diversas maneras y no hay un consenso sobre su estimación. La fórmula de mayor aceptación es la de Warrington que es la siguiente:

$$R_{arco} = \frac{8750 * (S + 3 * v * t)}{I^{1.4}} \quad (2.19)$$

Donde

S= Distancia de aislamiento fase-fase o fase- tierra, según sea el caso (pies)

I= Corriente de cortocircuito (amperios)

v= Velocidad del viento (millas/hora)

t= Tiempo de duración del cortocircuito (segundos)

En la figura 2.12 se muestra el efecto que tiene la resistencia de falla en los distintos tipos de relé de distancia. Se observa que en el relé de impedancia y mho, se ven afectados en gran porcentaje por el desplazamiento de la resistencia, mientras que en el de reactancia y cuadrilateral no se ven perjudicados por dicho factor [1].

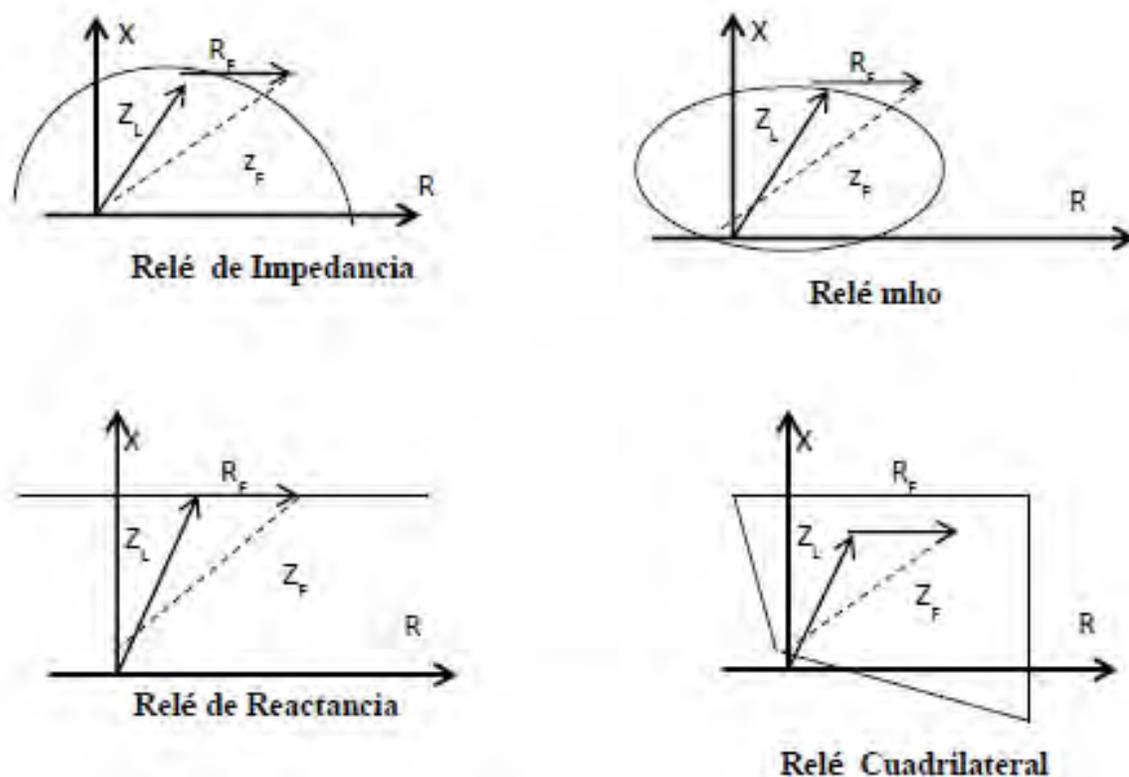


Figura 2.12. Efecto de la resistencia de falla en relé de distancia [4].

2.9.2 Factor de compensación K_0

Este factor de compensación contribuye a la correcta detección de fallas monofásicas a tierra por parte de la protección de distancia [19]. Es un factor con el cual los elementos de distancia para fallas a tierra se pueden ajustar en base a la impedancia de secuencia positiva de la línea de transmisión, el mismo se calcula a partir de la siguiente expresión [17]:

$$K_0 = \frac{Z_0 + Z_1}{3Z_1} \quad (2.20)$$

Z_0 = Impedancia de secuencia cero de la línea a proteger

Z_1 = Impedancia de secuencia positiva de la línea a proteger

El ajuste del factor puede ser realizado en relés modernos mediante un software como variables en magnitud y ángulo. Mientras que en relés más antiguos se ajusta a través de perillas [4].

2.9.3 Oscilaciones de potencia

Para el caso de líneas muy largas y/o relés muy sensibles, es posible que la última zona de operación del relé se acerque a la zona de impedancia de carga. Esto se hace crítico cuando ocurren oscilaciones de potencia, es decir, flujos de potencia transitorias debido al cambio en los ángulos de generación relativos del sistema, causado por un cambio en la configuración de la transmisión o la generación debido a fenómenos transitorios entre las máquinas sincrónicas [19].

De allí que, durante una oscilación de potencia pueden operar tanto la zona 1, que generalmente es instantánea, como las zonas utilizadas en los esquemas de tele protección. Por esta razón, los esquemas de protección de distancia usados en transmisión disponen de un elemento de bloqueo contra oscilaciones de potencia [19].

Los relés pueden utilizar diferentes principios de detección de oscilaciones de potencia, pero todos ellos involucran el reconocer que el movimiento de la impedancia medida en relación a las características de medición del relé se da a una velocidad que significativamente menor a la velocidad de cambio que ocurre en condiciones de falla. Es por ello que al ser detectado dicho fenómeno los elementos de operación del relé deben ser bloqueados [19].

2.10 RESPALDO A LA PROTECCIÓN DE DISTANCIA

2.10.1 Protección con relé direccional

Estos relés están capacitados para distinguir el flujo de corriente de una dirección a la otra en un circuito de corriente alterna (CA) reconociendo las diferencias en el ángulo de fase entre la corriente y la magnitud de polarización. La capacidad de distinguir entre el flujo de corriente de una dirección a la otra depende de la selección de magnitud de polarización y del ángulo de torque máximo [9].

Cuando ocurren fallas a tierra de alta impedancia debido a, caída de un conductor de fase sobre un terreno de alta resistividad, contacto con vegetación, entre otros; la protección de distancia se ve limitada en su alcance para ver dichas fallas. Por tal motivo, se implementan

como respaldo la función de sobrecorriente direccional a tierra (67N) independiente una de la otra [1].

Para obtener la dirección de falla es decir si la corriente es hacia la línea (dirección de disparo) o hacia la barra local (dirección de bloqueo) debe el relé cuantificar la magnitud de operación que en este caso es la corriente por el neutro de la línea, es decir [1]:

$$I_N = I_A + I_B + I_C = 3I_0 \quad (2.21)$$

Y la cantidad de polarización en este caso el voltaje por el neutro:

$$V_N = V_A + V_B + V_C = 3V_0 \quad (2.22)$$

Se debe acotar que debido a que los sistemas de potencia son altamente inductivos es decir la corriente atrasa al voltaje, para que la corriente caiga en zona de operación del relé, el voltaje de polarización debe atrasar entonces a la corriente de operación, debe cumplirse entonces [11]:

$$V_P = V_N = -3V_0 \quad (2.23)$$

Los relés direccionales de sobrecorriente generalmente están constituidos por dos unidades, una muy rápida que determina la dirección (67) y que constituye el relé direccional propiamente dicho, y otra que mide la magnitud de la corriente (51), se requiere que estas dos unidades operen para energizar el contactor de disparo, en este caso se dice que el relé de sobrecorriente esta direccionalmente supervisado [11].

2.10.2 Función de cierre contra falla (50HS)

Si al momento de cierre del interruptor de potencia, el relé detecta falla en la línea de transmisión, la protección actuará de manera instantánea despejando la anomalía [20].

2.11 TELEPROTECCIONES

Para lograr disparos instantáneos en ambos extremos de la línea se utilizan relés de distancia donde se habilitan esquemas de tele protección. Los esquemas de tele protección interconectan los relés de distancia en ambos extremos de la línea mediante canales de comunicación, para

poder identificar si la falla es dentro del equipo protegido y operar en forma instantánea para fallas en toda la longitud de la línea [9].

En los sistemas de teleprotección existen dos métodos básicos que utilizan señales de mando; dar mando de disparo (permisivo o directo) o dar mando de no disparo (bloqueo). En los esquemas permisivos, las señales de disparo son enviadas desde un extremo por la protección que detecta la falla al extremo receptor, para que dicho extremo confirme la existencia de la falla, el disparo depende de la operación de la protección en este extremo [15].

En los esquemas de bloqueo, en el caso de una falla externa, el extremo que ve la falla hacia atrás envía una señal de bloqueo con el fin de bloquear el disparo en el extremo remoto [15].

Existen varios canales de comunicación utilizados en los sistemas de protección los cuales pueden ser: hilo piloto, radio, onda portadora, microondas, fibra óptica, entre otros [1].

2.11.1 Transferencia de disparo por subalcance (PUTT) con aceleración Z1B

Una falla en la primera zona (Z1) es transmitida al extremo opuesto de la línea mediante una señalización de disparo transferido. La señalización recibida causa el disparo, si la falla ha sido detectada dentro de la zona de sobrealcance (Z1B) en la dirección parametrizada [20].

Presenta limitaciones para detectar fallas de alta impedancia, que es de suma importancia en líneas largas [1], se tiene la opción de combinar el esquema PUTT con la función 67N, ella detecta cualquier desbalance entre fases y neutro, desbalance que la función distancia no detecta. En la figura 2.13 se plasma una representación del mismo.

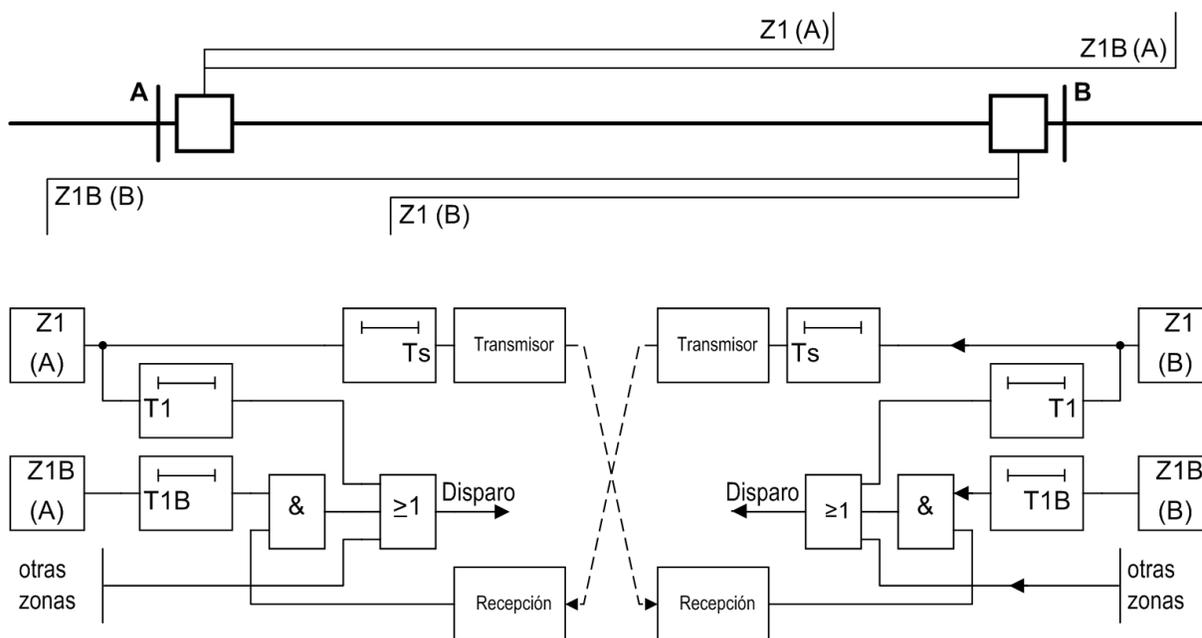


Figura 2.13. Esquema de transferencia de disparo permisivo por subalcance (PUTT). [20].

2.11.2 Transferencia de disparo directo por subalcance (DUTT)

Estos relés o relevadores de cada terminal de la línea protegida captan una corriente de falla que entra en la línea. Sus zonas de operación deben solaparse, pero no sobre-alcantar ninguna de las terminales remotas. La operación de los relés de cualquier terminal inicia tanto la apertura del interruptor automático local como la transmisión de una señal remota y continúa de desconexión con objeto de efectuar la operación instantánea de todos los interruptores automáticos remotos [2].

En este esquema, las protecciones de distancia tanto de fase como de tierra se ajustan en la manera convencional: la primera zona con un alcance que cubre entre 85% a 90% de la línea protegida. Al tener lugar una falla situada en el 10% a 15% cercano a un extremo, operará la primera zona respectiva. Esta da orden de apertura a su respectivo interruptor y envía a través de un equipo de onda portadora, una señal de transferencia de apertura al interruptor remoto. Al ser recibida la señal en ese terminal, y sin que medie otro control adicional, producirá la apertura del interruptor [2].

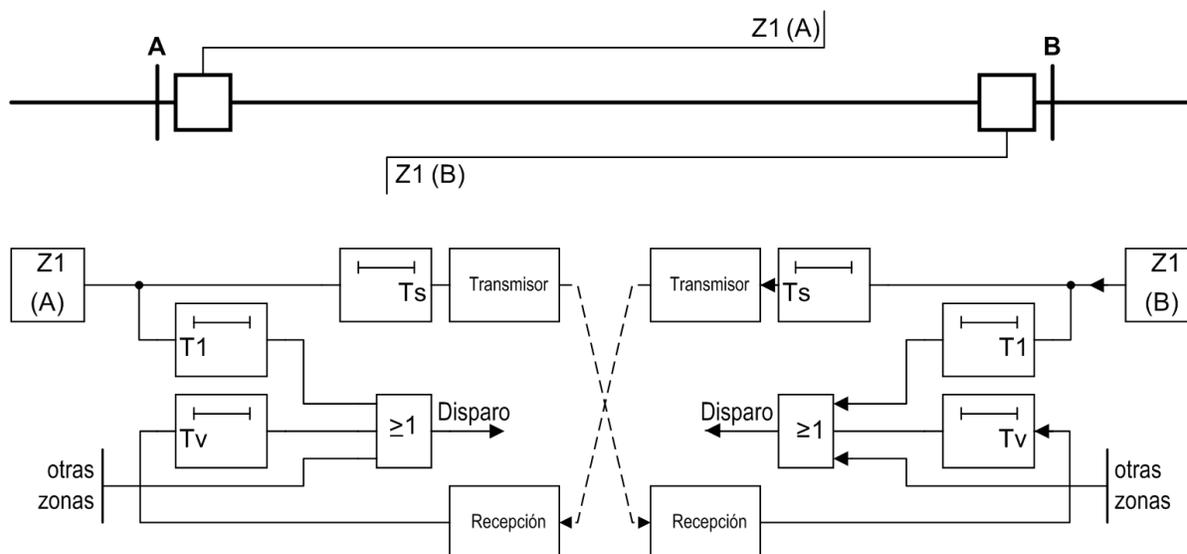


Figura 2.14. Esquema de transferencia de disparo directo por subalcance (DUTT). [20].

2.3.11 Transferencia de disparo permisivo con sobrealcance (POTT)

Los relés de cada terminal de la línea protegida captan la circulación de falla en la línea con sus zonas de operación que sobre-alcancen todas las terminales remotas, se quiere que tanto la operación de los relés de falla local como la señal de transferencia de desconexión de todas las terminales remotas abran cualquier interruptor automático [2].

Este esquema emplea principalmente un elemento direccional, tanto para fallas entre fases como a tierra, con un alcance que cubre más allá del 100% de la línea protegida. Al trabajar este elemento direccional realiza dos funciones: envía señales de transferencia al extremo remoto y habilita localmente el circuito de apertura del interruptor, el que se completa al recibirse señal de transferencia desde el otro terminal [2].

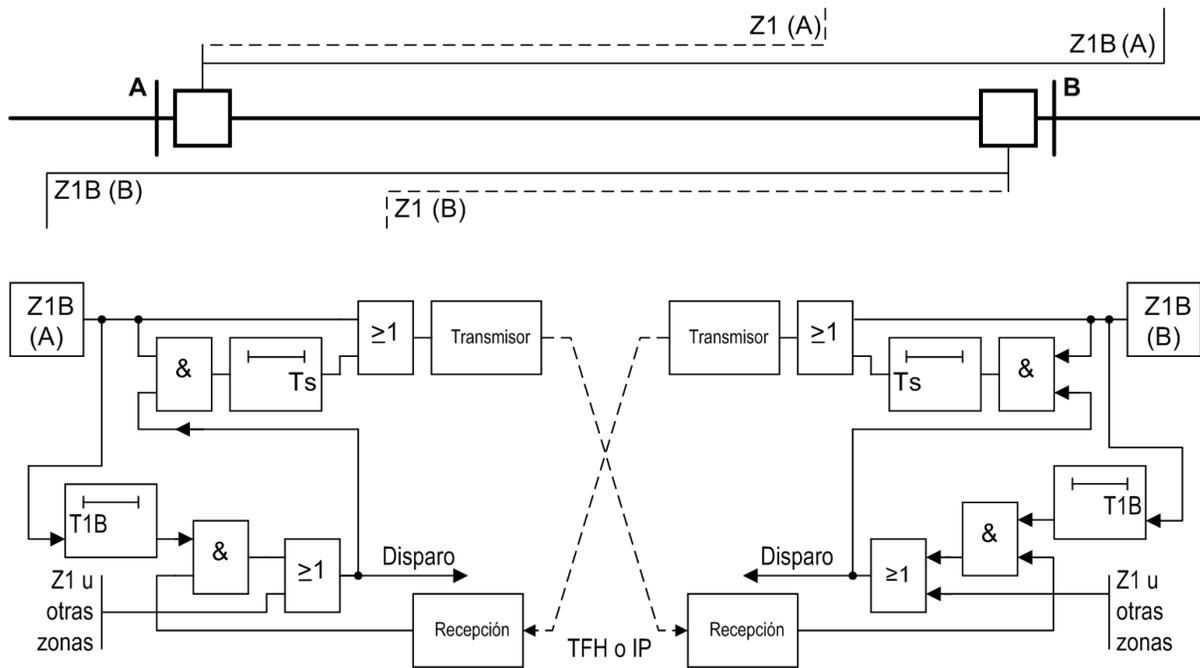


Figura 2.15. Esquema de transferencia de disparo permisivo con sobrealcance (POTT). [20].

www.bdigital.ula.ve

CAPITULO III

DESCRIPCION GENERAL Y CONFIGURACION DEL RELÉ DE DISTANCIA 7SA522

El equipo 7SA522 es un relé rápido y selectivo, que se usa tanto para líneas aéreas como para líneas subterráneas, está conformado por un sistema microprocesador de alta potencia, este relé numérico proporciona un procesamiento completamente digital en todas las funciones del equipo, desde la adquisición de valores de medida proveniente de los transformadores de medida hasta la salida de orden a los interruptores. El mismo cuenta con todas las funciones que son requeridas para proteger líneas de transmisión y por lo tanto es aplicable en forma universal. Se puede implementar en redes radiales, de anillo o malladas para cualquier nivel de tensión. Por otra parte, se puede utilizar para la protección reserva de transformadores, generadores, motores y barras para cualquier nivel de tensión.

3.1 CARACTERISTICAS DEL RELÉ

3.1.1 Panel frontal

Cuenta con 14 elementos ópticos (LED) y una pantalla de indicación (LCD) como se muestra en la figura 3.1, donde se entrega al personal información sobre el funcionamiento del equipo, señalizando los eventos, estados y valores de medida. Las teclas integradas numéricas y funcionales (menú, esc, enter y los cuatro botones de navegación; arriba, abajo, izquierda, derecha) en combinación con la pantalla de indicación posibilita la comunicación con el equipo localmente. Por medio de estas teclas se puede verificar y modificar todos los parámetros de configuración, ajuste, avisos de servicio, avisos de perturbación del equipo.

Cuenta con una interface de operación serie con el cual se puede efectuar comunicación por medio de un ordenador personal utilizando el software de configuración y análisis DIGSI los

cuales pueden interconectarse mediante un cable rs232. También cuenta en la parte posterior con una interface de servicio serie el cual cumple con las mismas características que el de operación, pero este es el adecuado si se quiere trabajar con un ordenador personal fijo para un constante monitoreo de los parámetros en el equipo.

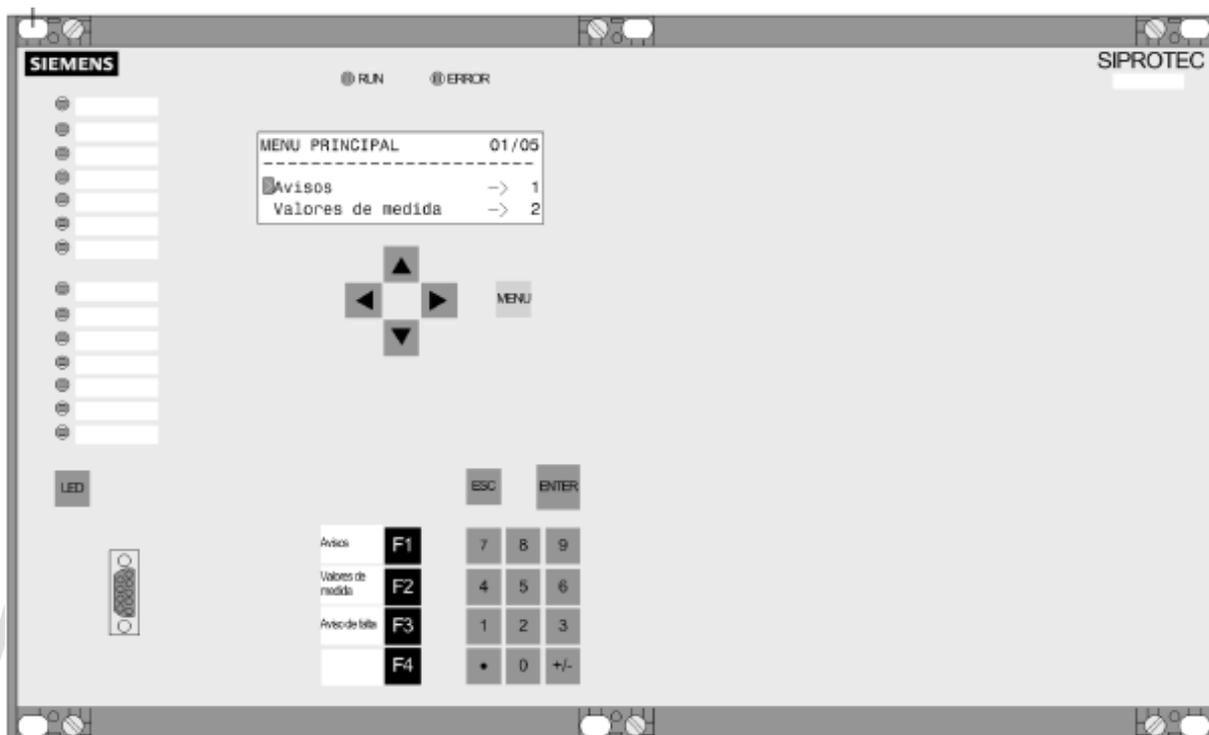


Figura 3.1 Panel Frontal del relé SIEMENS 7SA522. [20].

En la figura 3.2 se muestra la estructura de hardware de la protección de distancia 7SA522.

3.1.2 Entradas analógicas

Las entradas de medida transforman las corrientes y las tensiones procedentes de los transformadores de medición y las adaptan al nivel de procesamiento interno del equipo.

El mismo dispone de 4 entradas de corriente y 4 para tensión. Se tiene previsto tres entradas para la corriente de fase y la otra entrada (I4) puede ser adaptada como entrada para la corriente a tierra (neutro de los transformadores de corriente), puede ser implementada como entrada de corriente a tierra de una línea paralela (compensación de línea paralela) o podría ser implementada como entrada de corriente del neutro de un transformador de potencia (determinación direccional de faltas a tierra).

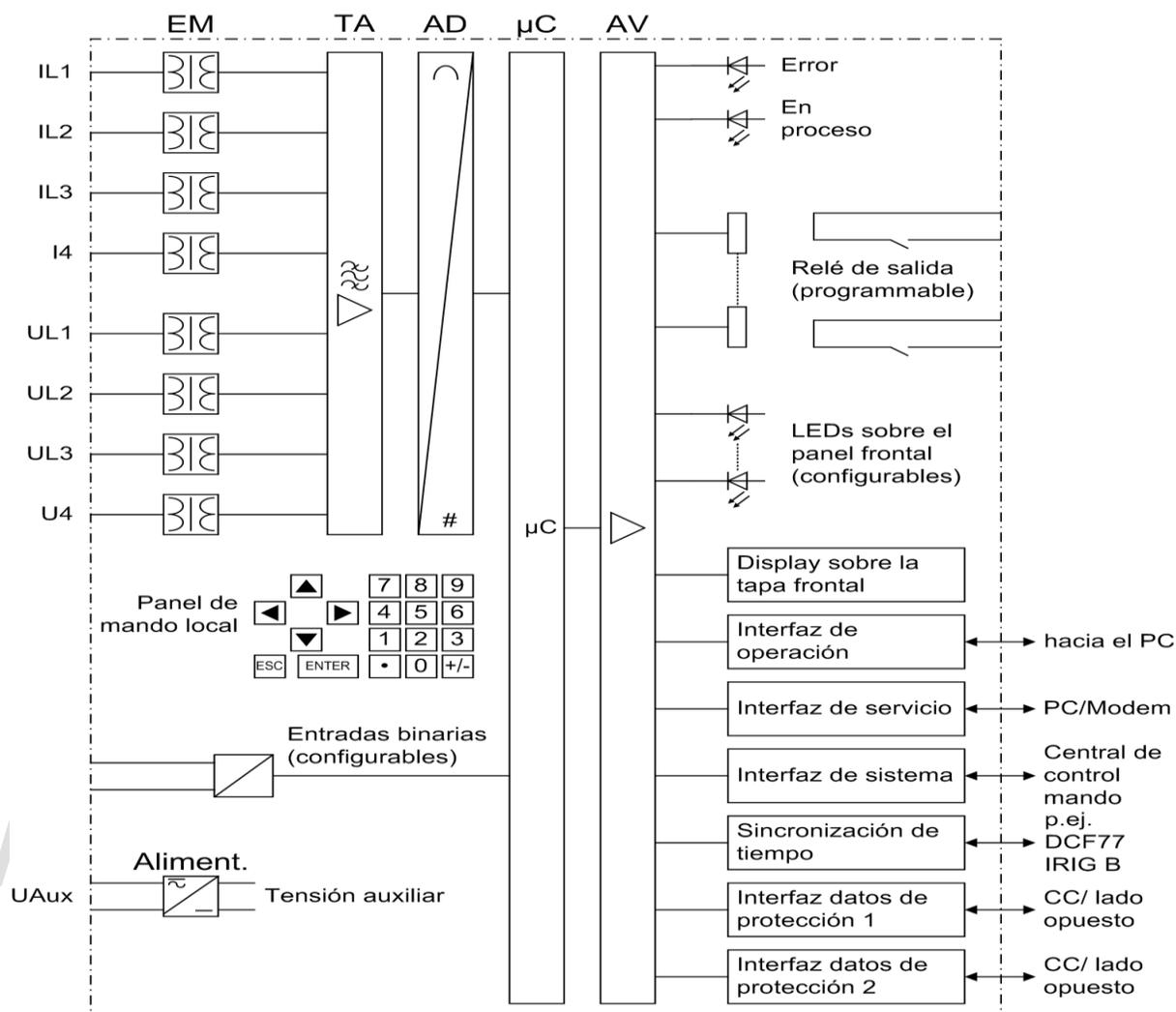


Figura 3.2 Estructura de hardware del relé SIEMENS 7SA522. [20].

Para cada tensión de fase a tierra está prevista una entrada de tensión, la última entrada (U4) podría ser utilizada para la tensión de secuencia cero (tensión e-n), para la tensión complementaria de control de sincronismo y cierre o para la tensión de libre aplicación UX (como protección de sobretensión).

El dispositivo cuenta con una estructura para el procesamiento el cual tiene con un grupo de amplificadores de entrada EA (entradas analógicas), estos proporcionan a las magnitudes de entrada analógicas una terminación de alta impedancia y contiene filtros que están optimizados para la elaboración de valores de medida en cuanto al ancho de banda y la velocidad de procesamiento. El relé cuenta entre su estructura para la transferencia de datos hacia el microprocesador con convertidores analógicos/digitales y componentes de memoria.

3.1.3 Microprocesador

Cuenta con uno de 32 bit de alta potencia, con la función de filtrar y adaptar los valores medidos, por ello supervisa constantemente los parámetros eléctricos del elemento en protección, supervisa las condiciones de arranque para cada función de protección, tiene entre sus funciones tomar decisiones en cuanto a órdenes de disparo y cierre, controla los valores límites y los tiempos transcurridos, es capaz de procesar las señales para las funciones lógicas, importante también la capacidad del dispositivo para memorizar los avisos y datos durante una falla para posterior análisis de las perturbaciones por parte de los profesionales en el área.

3.1.4 Entradas y salidas binarias

El relé posee 29 entradas binarias y 32 salidas binarias. Es a través de las mismas donde se transmiten las señales binarias de entrada y salida desde y hacia el microprocesador. A partir de estos módulos, el relé recibe información acerca de la instalación en cuestión, por ejemplo, posición remota o de otras unidades como mandos de bloqueo. Otras salidas, incluyen la orden de disparo dirigida a los equipos de maniobra y los avisos para señalización remota de eventos y estados.

3.1.5 Alimentación

El dispositivo está alimentado por una fuente con la potencia necesaria para los diferentes niveles de tensión. Puede ser alimentado por corriente alterna o corriente continua. En caso de interrupción en el suministro eléctrico que puede ocurrir en la subestación, son absorbidas por un condensador acumulador. En cuanto a rangos tenemos que la parte continua va desde 19 V hasta 300 V, por otra parte, la alimentación alterna tiene un rango de 92 V a 132 V.

3.2 FUNCIONES DE PROTECCION

El equipo cuenta en su catálogo con diferentes funciones para configuración, sin embargo, como ya se ha mencionado la principal función del equipo es distancia, mediante la cual el equipo precisa la distancia a la falla mediante procedimientos pertinentes. También es de importancia recalcar que diferentes procedimientos de detección de fallas permiten una amplia

adaptación a las condiciones de red y a los requerimientos del usuario. El 7SA522 cuenta con funciones adicionales las cuales complementan a la de distancia (21 ANSI).

En CORPOELEC se maneja a niveles de tensión iguales o superiores a 115 kV la protección a distancia sin embargo, como complemento de esta es usual utilizar la función de cortocircuito a tierra de alta impedancia, la cual puede ser configurada direccional o no direccional. Además de que si existiese el caso en donde el interruptor cierra con una falla presente en la línea, la cual pueda estar situada en cualquier punto sobre ella, es posible realizar un disparo inmediato.

Entre las funciones complementarias se encuentran, detección de penduleo, tele protección de la protección de distancia, acoplamiento externo, desconexión rápida, disparo por fuente débil, protección sobrecorriente de tiempo, protección de fallas a tierra de alta resistencia, tele protección de fallas a tierra, reenganche automático (RE), modo de función del RE, control de sincronismo para el reenganche, protección de frecuencia, protección de tensión, localizador de fallas, protección de fallo del interruptor, supervisión del circuito de disparo.

3.2.1 Función distancia (ANSI 21)

Esta función tiene como finalidad determinar la distancia de la puesta del relé hacia el sitio de falla, la cual se calcula a partir de la impedancia que observa el equipo, con esto se delimita la protección de la línea en diferentes zonas, considerando solamente los valores de la impedancia de falla. Debido a que la impedancia depende de la magnitud de la corriente y el voltaje, de sus conexiones, del tipo de falla y de la impedancia propia de arco; además de ello debe considerarse la configuración de la red. En donde todos los factores ya expuestos representan factores importantes que pueden modificar en gran manera los valores medidos de distancia.

En el equipo 7SA522 se presenta la función de distancia con un cúmulo de características entre ellas:

- ❖ Ofrece protección para todos los tipos de cortocircuito en sistemas con neutro puestos a tierra.
- ❖ Característica de disparo cuadrilateral o mho.

- ❖ Contiene diferentes procedimientos de arranque que posibilitan la adaptación a las diferentes condiciones de la red.
- ❖ Posee una alta sensibilidad en el caso de un sistema muy poco cargado y presenta estabilidad extrema contra cambios bruscos de carga y oscilaciones de potencia.
- ❖ Se adapta de forma óptima a las condiciones de la línea mediante la característica de disparo poligonal con ajuste separado a lo largo del eje X y del eje R.
- ❖ Se pueden configurar hasta 6 zonas de operación de distancia, seleccionables hacia adelante hacia atrás o sin direccionalidad.
- ❖ Dispone de nueve escalones de tiempo para las zonas.
- ❖ Bastante rápido, el tiempo de disparo mínimo para 60 Hz es de 15 ms.
- ❖ Posee un detector de saturación del transformador de corriente, lo que asegura un rápido disparo y una exactitud en la medición de grandes distancias.

3.2.2 Función sobrecorriente a tierra (ANSI 67N)

Existen casos en donde ocurre una falla de alta impedancia, esto usualmente en redes con puestas a tierra, y es aquí donde no reacciona el arranque por protección de distancia debido a que se establecen impedancias de cortocircuito que aparecen fuera de la característica de arranque de la misma. El equipo permite seleccionar curvas de tiempo definido o inverso, en donde son seleccionables características estándares entre ANSI y IEEE. Se permite ajustar que sea direccional (hacia adelante o hacia atrás) o no direccional. Para la dirección de la corriente se permite seleccionar entre tensión homopolar o tensión de secuencia negativa (V_0 , V_2), con magnitudes del sistema homopolar (I_0 , V_0), con intensidad homopolar e intensidad del neutro del transformador (I_0 , I_Y) o con potencia homopolar ($3I_0$, $3V_0$).

3.2.3 Función oscilación de potencia (ANSI 68)

La necesidad de respaldar la función distancia en el equipo para evitar disparos erróneos que pudiesen existir por oscilaciones de potencia las cuales se presentan luego de procesos dinámicos como variaciones bruscas de carga, cortocircuitos, interrupciones breves, puede ocurrir que los generadores deban adaptarse a las condiciones del sistema que serían

desfavorables las cuales fuesen ocasionadas por los fenómenos dinámicos ya expuestos. Durante las oscilaciones de potencia es común que surjan altas intensidades y bajas tensiones lo que significaría aparentemente bajas impedancias, y es aquí donde se podría producir disparos erróneos.

Para la detección de este fenómeno lo que se hace es medir la velocidad de variación del vector de impedancia, desde la zona de carga hasta la zona de arranque del relé. La función permite la detección de oscilaciones de potencia hasta una frecuencia de oscilación de 10 Hz. Esta función respalda a la función distancia y prevé disparos erróneos por los cambios de potencia.

3.2.4 Función desconexión rápida para alta intensidad (ANSI 50HS)

La presente es un respaldo a la función distancia la cual permite realizar un disparo rápido del interruptor a lo largo de toda la línea a proteger, en caso de que el interruptor cierre y en simultaneo se detecten condiciones de falla.

3.3 TRANSMISION DE DATOS DE PROTECCION DIGITAL

La necesidad de que la protección sea lo más fiable y veloz posible ante cualquier falla que se presente en la línea de transmisión da entrada a las funciones de teleprotección, las mismas hacen de complemento para las funciones de distancia y faltas a tierra de alta resistencia, los datos de estas pueden ser compartidas por las interfaces para datos de protección utilizando vías de comunicación digital. Estas interfaces pueden ser utilizadas para compartir mandos binarios u otros tipos similares de información, apropiada para líneas de transmisión con dos o tres extremos. El equipo 7SA522 cuenta con esquemas de transferencia de disparo.

3.4 LOCALIZACION DE FALLAS

Cuando el dispositivo ordena un disparo o se da una reposición de arranque, con las magnitudes de medida memorizadas el relé calcula la distancia a la falla, ya sea en ohm, kilómetros o millas, o en porcentaje de la longitud de la línea.

3.5 AVISOS Y VALORES DE MEDIDA

El relé cuenta con avisos de operación los cuales entregan información acerca del estado de la subestación y del mismo equipo, se pueden visualizar las magnitudes medidas y valores determinados mediante cálculo durante el funcionamiento y pueden ser transmitidos mediante interfaces serie.

Para ello el equipo cuenta con un determinado número de leds configurables que se muestran en el panel frontal para visualizar los avisos, además puede llevarse a salidas binarias para un procesamiento externo y también pueden vincularse a funciones lógicas definibles por el usuario y ser transmitidas mediante el interfaz serie.

3.6 REGISTRO DE VALORES DE PERTURBACION

Para perturbaciones en la red, el relé cuenta con un registro de eventos y cambios de estado en los registros de perturbación. Los valores durante un fallo o perturbación quedan memorizados para un posterior análisis de los mismos.

Es configurable el periodo durante el cual el relé memoriza las perturbaciones o fallos que afectan el sistema, para un máximo de 5 segundos. Es una característica importante la capacidad de registro del equipo, en 15 segundos es capaz de registrar hasta 8 perturbaciones, el registro es automático no se debe dar ninguna confirmación así también como la actualización de los mismos. Para la configuración del registro no solo es necesario un arranque por protección también mediante entradas binarias es posible y por el interfaz serie que este posee. Mediante el interfaz serie y el interfaz de operación se pueden transferir los datos de los valores de la perturbación analizarlos en un PC mediante el software de análisis y parametrización DIGSI® y el software de análisis grafico SIGRA®.

3.7 FUNCIONES DE SUPERVISION

- ❖ Posibilidad de supervisar el circuito de disparo.
- ❖ Control de los circuitos secundarios de los transformadores de corriente y de potencial, mediante verificación de suma y simetría.

- ❖ Supervisión de los circuitos internos de medida, la tensión auxiliar de alimentación, así como el hardware y el software, con el resultado de una mayor fiabilidad.
- ❖ Verifica constantemente la impedancia de carga, la dirección de la medida además de la secuencia de fases.
- ❖ Supervisión de la transmisión de señales en el tramo de comunicación digital.

3.8 DIGSI, SOFTWARE PARA LA CONFIGURACION DEL RELÉ SIEMENS 7SA522

Es una herramienta utilizada por la empresa SIEMENS para configuración de todo su catálogo de relés de protecciones eléctricas. Permite parametrizar, poner en marcha y operar los equipos a partir de su interfaz de usuario moderna e intuitiva, contiene instrucciones de fácil entendimiento. Para conectarse desde el equipo a la PC, se realiza una conexión desde el puerto serie del equipo de protección hacia la PC, lo cual da facilidad para trabajar. Para continuar se abordará en detalla la manera para crear un proyecto en el software DIGSI.

La primera pantalla al seleccionar DIGSI desde el escritorio del computador es mostrado en la figura 3.3.



Figura 3.3 Inicio Software DIGSI.

En la parte superior se puede apreciar la opción Archivo la cual despliega una barra de menú en donde se puede dar entrada a la creación de nuevo proyecto, abrir proyectos ya existentes y borrar proyectos como se muestra en la figura 3.4.

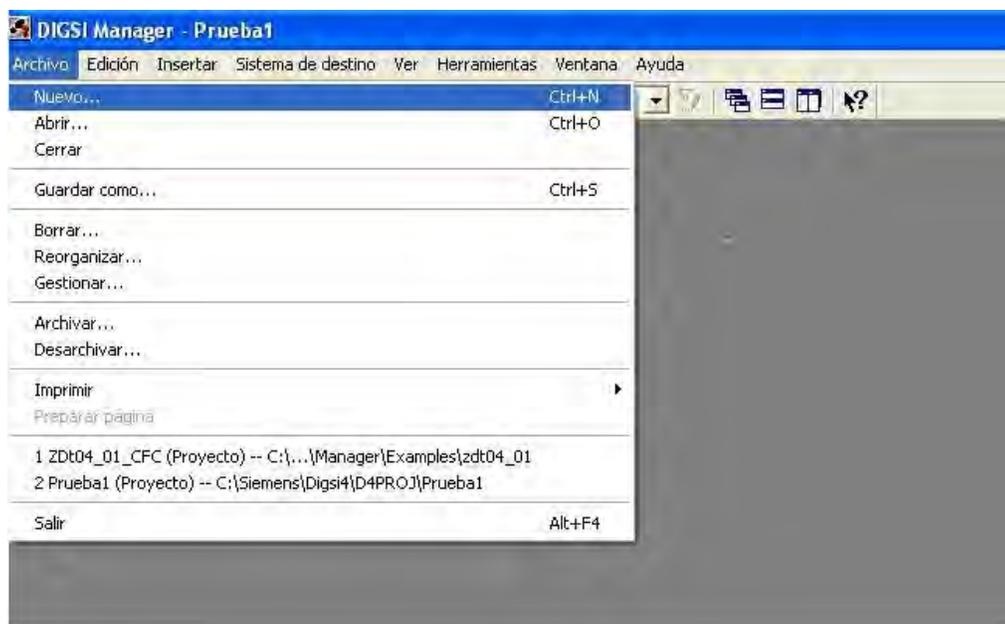


Figura 3.4. Para crea nuevo proyecto en DIGSI.

Al darle clic en nuevo, aparece una ventana como se muestra en la figura 3.5 con el título, nuevo proyecto, lo necesario es colocarle el nombre al proyecto y darle clic en aceptar. Agregado a esto muestra la dirección donde quedara guardado el proyecto en el computador.

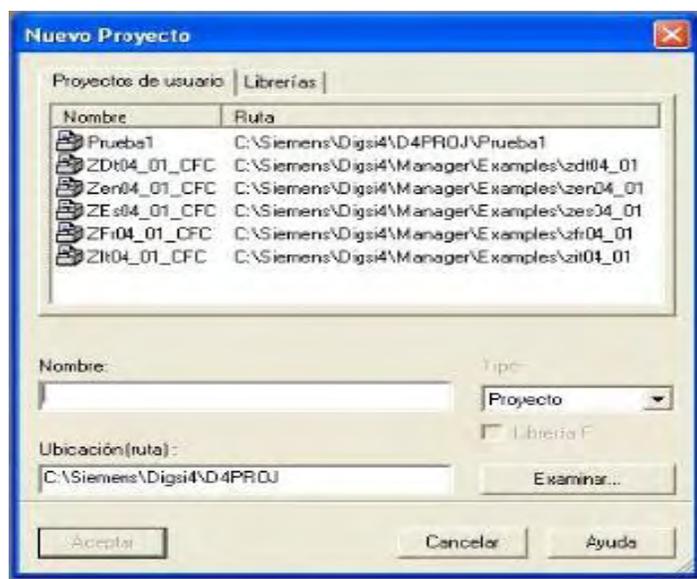


Figura 3.5. Nombre del proyecto DIGSI.

Posteriormente en la figura 3.6 se muestra que una vez creado el proyecto aparece una carpeta en donde se creará el icono que nos permitirá configurar el relé de protección junto a sus ajustes y funciones de protección requeridas.



Figura 3.6. Carpeta que tendrá el icono del relé 7SA522.

Luego se debe hacer doble clic en la carpeta. Dentro de la carpeta haciendo clic derecho sobre la pantalla en blanco, aparecerá el cuadro de texto mostrado en la figura 3.7. Se procede a dar clic a la opción insertar nuevo objeto, luego se despliega otra barra, marcamos la opción equipo SIPROTEC.

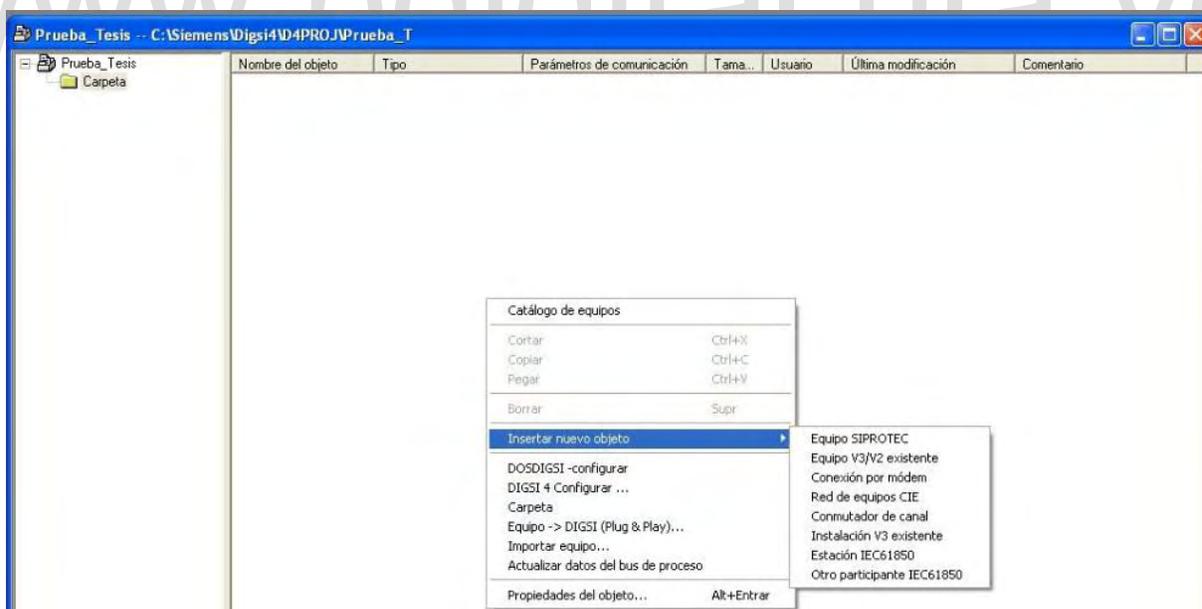


Figura 3.7. Ventana para crear el dispositivo SIPROTEC.

Haciendo clic en equipo SIPROTEC, se despliega un cuadro de texto donde se tendrá el catálogo de dispositivos de protección SIEMENS, se busca el 7SA522, luego se muestra lo plasmado en la figura 3.8. Haciendo un paréntesis debemos tener en cuenta la versión de

firmware que posee el equipo de protección, esto se hace alimentando el equipo, se busca en panel frontal la versión que tiene el equipo y así se verifica la que se debe seleccionar y se evitan inconvenientes al momento de transmitirle información al relé desde el software.

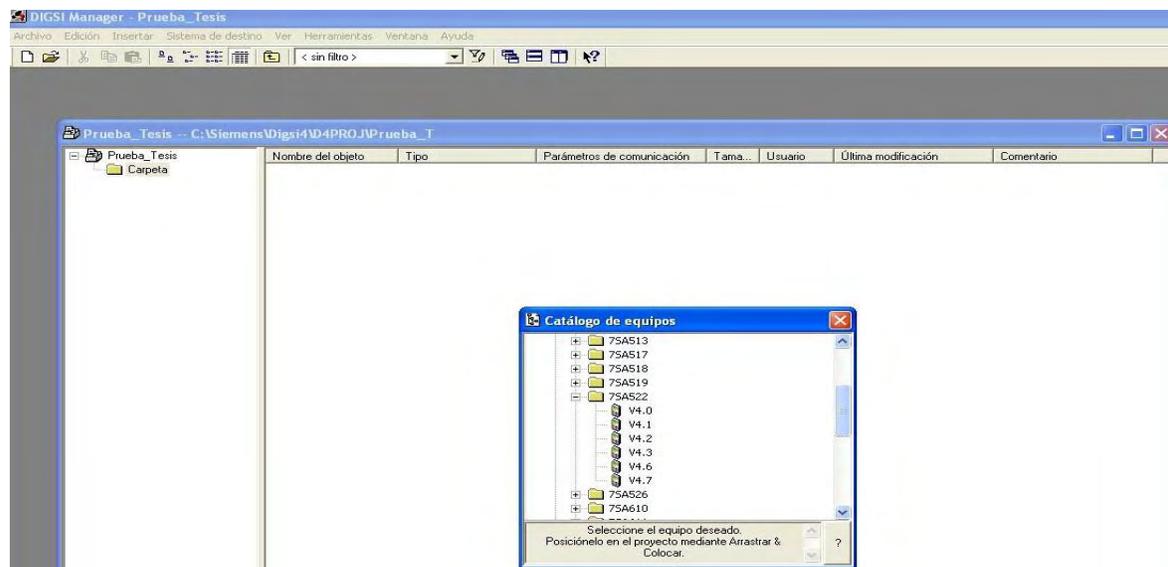


Figura 3.8. Dispositivo SIPROTEC 7SA522.

Ya verificando el firmware respectivo del equipo a montar, se procede a seleccionar la versión pertinente, se arrastra con el mouse hacia la pantalla en blanca, luego de ello se mostrará en la pantalla lo plasmado en la figura 3.9.

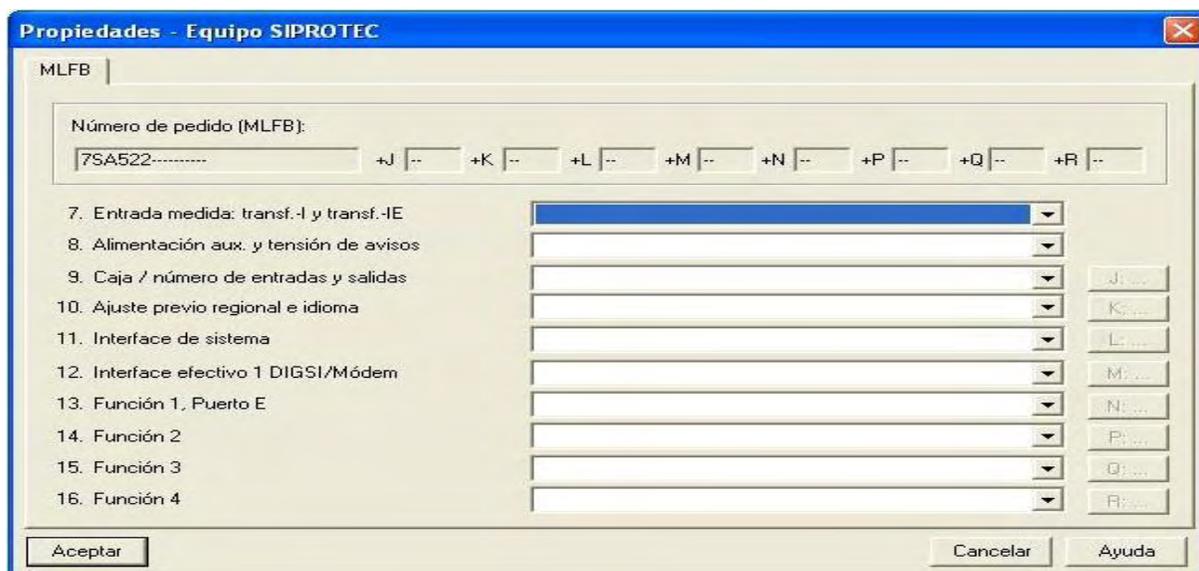


Figura 3.9 Abreviación MLFB del dispositivo.

La abreviación MLFB significa “Denominación de producto legible a máquina”, este apartado entrega la información y características del equipo a utilizar, conforma el número de pedido, en él se encuentra el tipo y versión del equipo, la corriente de los transformadores tanto de corriente como de potencial (fase y tierra), tensión de alimentación, tamaño de la carcasa (necesario para prever el alojamiento del equipo), el número de entradas y salidas binarias, ajustes de fábrica según la región, funciones previstas, ajustes de idioma, funciones de protección entre otras.

Al completar el MLFB se da clic en aceptar, aparece en la pantalla lo mostrado en la figura 3.10, en donde aparece el icono del dispositivo SIPROTEC a utilizar con el código del mismo y la versión utilizada con anterioridad.

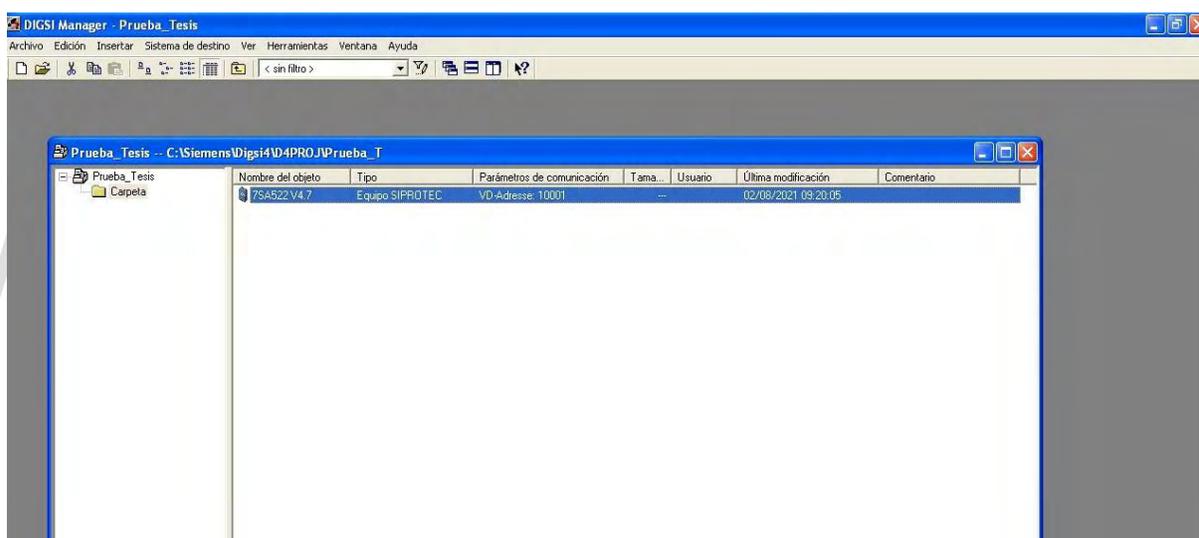


Figura 3.10. Icono del relé 7SA522 en DIGSI.

Haciendo clic sobre el icono del relé, aparece en pantalla lo mostrado en las figuras 3.11 y 3.12. El programa DIGSI permite realizar la parametrización y ajustes necesarios del equipo de manera directa con el equipo en una conexión en conjunto a un cable RS232, pero también permite realizarlo de manera *offline* o sin conexión, aquí la configuración es realizada sin conectarse al equipo para cuando sea posible transferir la información y parámetros ya guardados con anterioridad, luego seleccionamos la opción aceptar.

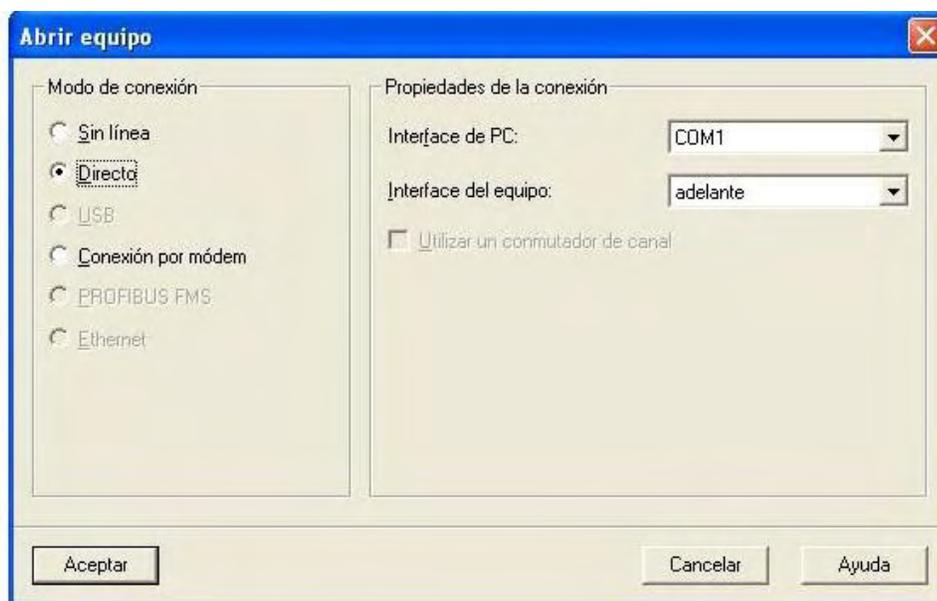


Figura 3.11. Conexión directa con el equipo SIPROTEC.

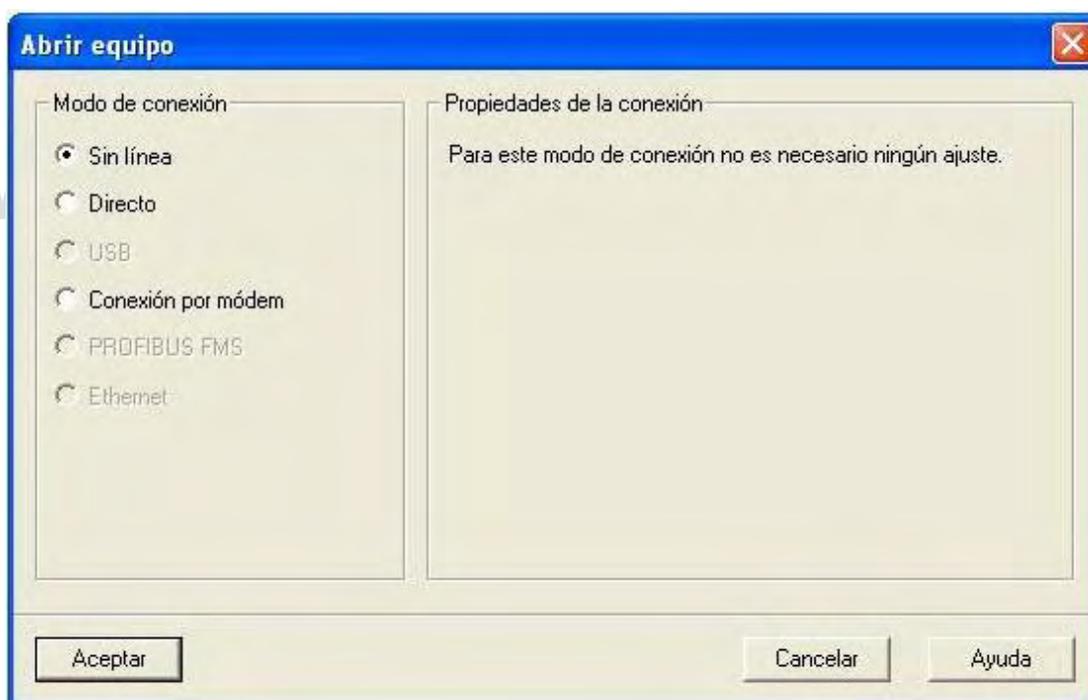


Figura 3.12. Conexión sin línea con el equipo SIPROTEC.

Luego de configurar el tipo de conexión que se realizará desde el computador hacia el equipo se da clic en aceptar, aparecerá en pantalla lo mostrado en la figura 3.13. En donde se encuentran opciones para configuración de parámetros, avisos, valores de medida y perturbografías.



Figura 3.13. Configuración del relé 7SA522.

En esta sección tomaremos en cuenta la opción de parámetros, si se selecciona con doble clic aparece en pantalla lo mostrado en la figura 3.14. Importante acotar que los valores de ajustes que sean necesarios introducir, se pueden hacer tanto con valores primarios como secundarios, con un clic en la barra de herramientas se hace el cambio entre dichos valores.

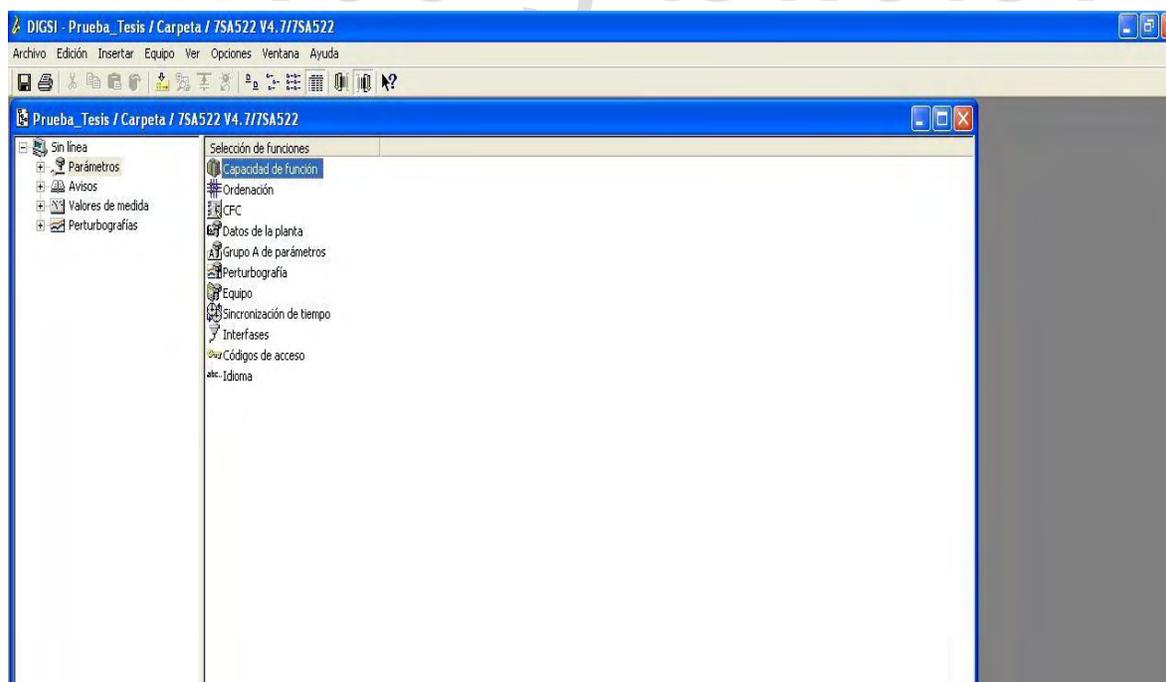


Figura 3.14. Sección de parámetros en el relé 7SA522.

Una de las secciones más importantes de la parametrización del relé SIPROTEC en donde se presentan diferentes secciones de configuración, en la opción capacidad de función es donde se da la posibilidad de habilitar o deshabilitar las funciones o modificar la funcionalidad conjunta de las mismas que contiene el equipo, solo las que se requieren para la puesta en funcionamiento del equipo serán habilitadas, se destaca que las funciones de mando pueden ser adaptadas a las condiciones de la instalación.

En la opción de ordenación, se muestra la configuración completa del equipo. En esta parte se pueden configurar tanto las entradas como las salidas binarias, además de la posibilidad de la configuración de los LED presentes en el equipo, el cambio es posible con un solo clic.

Son necesarios valores como datos nominales de la instalación y de los transformadores de medida, la conexión y polaridad de las magnitudes de medida, inclusive si es necesario características del interruptor de potencia, el equipo los requiere para adaptar las funciones a estos datos según la aplicación. En la opción CFC se tiene un conjunto de parámetros de función que están asignados en conjunto al equipo, es decir no tiene relación a una función específica de protección, control o supervisión.

En la opción Grupo A de parámetros, se configuran cada una de las funciones de protección habilitadas con anterioridad, cada una presenta una serie de ajustes que de acuerdo a las necesidades de la instalación y datos como cálculos realizados son ajustados.

CAPITULO IV INSTALACION DEL TABLERO DE PROTECCIONES

Para la instalación en la subestación del tablero de protecciones se ameritó una serie de acciones, necesarias comprendidas en tres pasos descritos a continuación

4.1 LEVANTAMIENTO DE LA INGENIERIA

Para realizar la ingeniería de la puesta en servicio en la subestación Buena Vista, elementos como los planos de la subestación se hicieron imperantes, el equipo encargado del montaje estructuro en etapas el desarrollo requerido para la obtención de los ajustes necesarios para el tablero de protecciones, recopilación, estudio y análisis todo ello a partir de los distintos planos de la subestación que se vinculan a la línea en estudio, entre los puntos de conexión más relevantes se pueden extraer los puntos de conexión referente a disparos, corrientes, voltajes, supervisión de circuito de disparo, cierre y apertura del disyuntor, bloqueos de las diferentes funciones entre otras.

El tablero de protección SIEMENS 7SA522 trae consigo un lote de planos internos en donde se entrega al usuario final la caracterización de los relé y en general del tablero de protección, características tanto de *software* como de *hardware*, configuración de fábrica como las conexiones a disparos, corrientes, voltajes ya previamente desarrolladas por la empresa responsable y diseñadora de estos equipos, hasta los puntos de reservas que son diseñados para que el usuario final si fuese necesario realice alguna conexión con la cual el relé pueda obtener o entregar información del sistema que sea útil para realizar operaciones desde el relé o a partir de algún otro equipo que esté vinculado al tablero de protecciones, recordando que

se cuenta con un microprocesador de alta potencia apto para toma decisiones que conlleven a ejecutar algún tipo de operaciones.

Si fuese necesario existe la opción de cambiar la programación interna de los relés de protección, esta acción es rara vez aplicada, por la razón de que normalmente el usuario final exige a la empresa las características y funciones que desean para que esta diseñe los equipos y evitar precisamente el arduo trabajo que conllevaría realizar un cambio de programación.

La finalidad entonces fue a partir de los planos internos de la subestación y los planos que trae consigo el tablero de protecciones 7SA522 la obtención de los puntos de conexión necesarios para la puesta en marcha del nuevo tablero. Todo esto a cargo del equipo de ingeniería presto en CORPOELEC para tal fin, que a partir del estudio necesario y de un tiempo pertinente obtuvieron los planos finales de interconexión tablero-subestación.

SIEMENS		CORPOELEC CORPORACION ELECTRICA NACIONAL		CADAEE CORPORACION ELECTRICA NACIONAL	
Diagramas Esquemáticos					
Para					
Cliente					
COMPANIA ANONIMA DE ADMINISTRACION Y FOMENTO ELECTRICO					
Usuario					
CADAEE					
Instalación					
PROCURA DE EQUIPOS MAYORES 400kV, 230kV Y 115kV PARA SUBESTACIONES DEL SISTEMA ELECTRICO NACIONAL					
Parte de la Instalación					
PROTECCION SALIDA DE LINEA INTERCONEXION 115kV, S/E INTERCONEXION, NODAL III DIAGRAMAS DE CIRCUITO, LOTE 38					
Original firmado en folder del proyecto					
Rev.	Nota	Fecha	Nombre	Apellido	V. INICIAL
AI	S. OLIVERA	15.01.12	JOC	Diego	J. OLIVERA
BI	S. FERRERA	16.01.12	JOC	Diego	J. FERRERA
Folio Número					
3000204673					
Fecha de Emisión					
14.01.12					
Documento del Cliente No.					
(3)065076-B1003-447					
Organización de la Documentación					
A / -HDI / AI					
Documento de Fabricación No.					
(3)065076-B1003-AA-447-B1					

Figura 4.1. Portada del grupo de planos para la puesta en servicio del tablero de protecciones.

La figura 4.1 muestra la portada del grupo de planos del tablero de protección que va a servicio siendo esta el SIEMENS 7SA522, en donde se describe que el equipo está especialmente dirigido a líneas de transmisión nodales con interconexión a 115 Kv y que no se

obvia también la capacidad del equipo para trabajar a tensiones superiores de 115 kV como 230 kV o 400 Kv.

4.2 PUESTA EN SERVICIO DEL relé DE PROTECCION ITINERANTE

Una línea de transmisión representa parte importante en cualquier sistema de potencia, es la que transporta la energía y cumple un rol esencial, los sistemas de protección en líneas de transmisión deben ser selectivos, veloces y confiables, la protección debe darse las 24 horas los 365 días del año.

Es por ello que CORPOELEC en su plan de renovación de equipos de protección a partir de la división de Protección, Control y Mantenimiento insta a la necesidad de salvaguardar el sistema eléctrico siempre dando paso a que en la necesidad de sustituir equipos de protección el componente a proteger no quede fuera de la seguridad del sistema de protección, en el caso del presente texto una línea de transmisión de energía.

La protección itinerante es en esencia un respaldo de seguridad externo al componente en el que se está realizando la sustitución de su protección principal, dicho de otra forma la línea de transmisión en estudio (Buena Vista- Trujillo) con el fin de ser monitoreada las 24 horas del día, se necesita que al realizar las maniobras de desmontaje del viejo tablero y montaje del nuevo tablero siga siendo protegida por el sistema de manera que si existiese una falla en la línea que ponga en riesgo el componente y la estabilidad del sistema se mitigue de manera rápida, para ello es propicio la instalación de un tablero itinerante para salvaguardar la línea de transmisión el tiempo que se amerite para las maniobras de desinstalación e instalación.

El tablero itinerante físicamente similar al tablero final consta de un relé SIEMENS 7SA612 el cual en su catálogo de funciones contiene similitudes a las del 7SA522 con algunas diferencias por tratarse de un modelo diferente, sin embargo las funciones a implementar para la protección de la línea son las mismas en ambos modelos por ende no existe problema alguno ni inconveniente para su puesta en marcha.

Se opta por respaldar la seguridad de la línea de transmisión con el tablero de protección SIEMENS 7SA612 ajustado y probado previamente para su funcionamiento como reemplazo temporal mientras se ejecutan las maniobras pertinentes para el tablero de protección final.

4.3 INSTALACION DEL TABLERO PRINCIPAL DE PROTECCION

En sala de relés para tensión 115 kV, en la S/E Buena Vista se encuentran los dispositivos prestos para la protección de todas las líneas de interconexión que llegan a la subestación ya mencionada.

El tablero de protección BBC LZ92 antiguo dispositivo de protección para la línea en estudio procede a desinstalarte, para ello se inicia con la desconexión total del cableado que va desde la subestación al tablero de protecciones en moños de cables previamente identificados para posterior uso. El tablero presenta una fijación metálica en el lugar donde se hace necesario herramientas especiales así como la cuadrilla de subestaciones para la remoción.

Una vez desinstalado el antiguo tablero y retirado de la sala de relés el nuevo tablero es puesto en sitio fijado y se vela por que los moños de cables con los cuales se conectara a la subestación estén todos bien identificados y ya puestos internamente en el tablero para que los técnicos especialistas junto a la ingeniería ya previamente realizada realicen las conexiones a las borneras del tablero relacionados directamente a los relés tanto el principal como el redundante, en todas estas acciones que conllevan un tiempo la protección itinerante ha de estar en servicio custodiando la línea de transmisión.

El tablero de protecciones final en sitio preverá mayor confiabilidad y robustez al sistema con su tecnología numérica. En la figura 4.2 se muestra la parte interna del tablero de protecciones junto a ello se describen las partes más importantes del mismo como la zona de bornes tanto del tablero como de los relés, de interruptores de protección en el tablero, y los cables que vienen desde el exterior en moños previamente identificados.

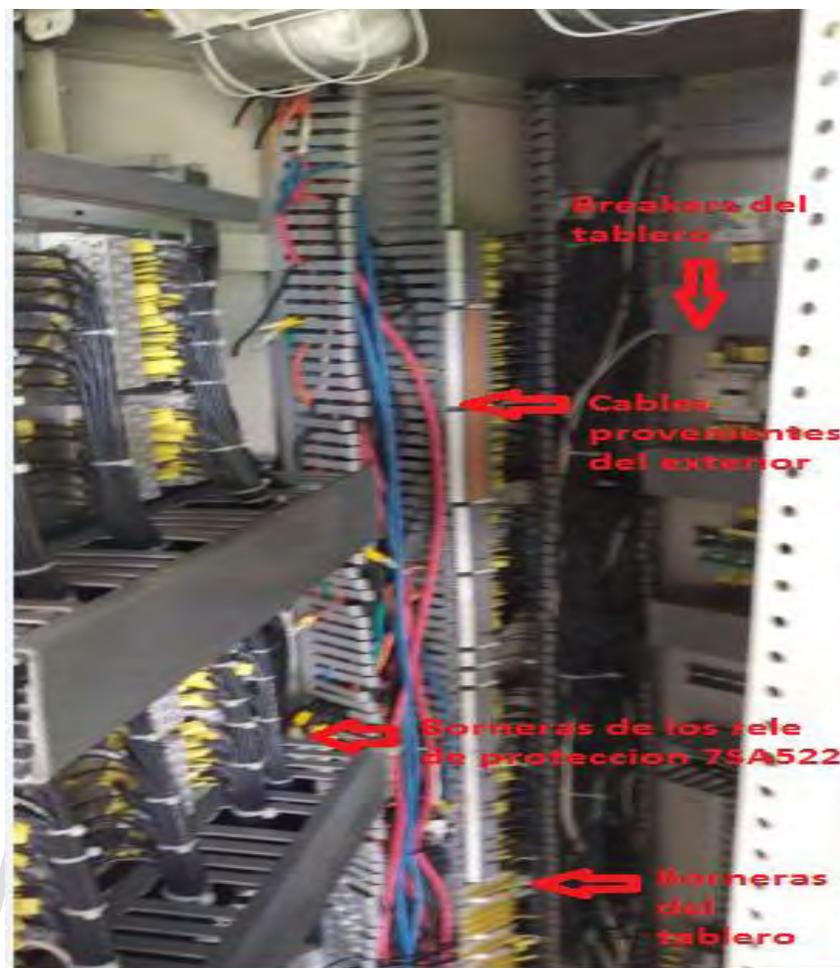


Figura 4.2. Zona Interna del tablero de protección SIEMENS 7SA522. Fuente: Autor.

Para la finalización de la instalación se requiere la conexión del cableado externo al tablero de protecciones con ello los técnicos en el área se rigieron por los planos ya editados en ingeniería se conectan por estudio y conclusión del equipo de la División de Protección calefacción, iluminación, tomacorriente, cierres y disparo del interruptor, alimentación auxiliar en protección secundaria o redundante, iluminación de emergencia, interruptor indisponible o resorte descargado y/o bajo nivel de gas SF6, circuito de disparo 1, disparo por falla de interruptor, circuito de disparo 2, señales de disparo falla interruptor, señales a controlador de tramo

El montaje del tablero de protecciones resulta de una serie de procedimientos que engranan finalmente la puesta en marcha del mismo. Desde el levantamiento de ingeniería donde se necesitó del equipo de ingenieros de protecciones para el estudio y selección de los puntos de

conexión a partir de los planos existentes de la línea a 115 kV en estudio y los planos que por fabrica se tienen en el tablero SIEMENS, pasando por el montaje provisional de un tablero de protecciones denominado protección itinerante que cumple con la misión de proteger la línea de transmisión mientras se desinstala el viejo tablero de protección LZ92 y se cablea el tablero final de protección 7SA522, la itinerante se configura de tal forma que pueda manejar las funciones 21 y 67N a la línea de transmisión se cablean los disparos las conexiones a TC y TP y demás incisos importantes para una protección provisional pero completa, como paso final se lleva a cabo el montaje del tablero que resguardara la línea de transmisión en donde se realizan las conexiones pertinentes subestación-relé.

www.bdigital.ula.ve

CAPÍTULO V

CÁLCULOS Y AJUSTES DEL RELÉ SIEMENS MODELO 7SA522

En el presente capítulo se muestran los cálculos y ajustes necesarios para la instalación del relé 7SA522 en la línea a 115 kV S/E Buena Vista- S/E Trujillo extremo S/E Buena Vista. Agregando también los ajustes necesarios en el relé a partir del software DIGSI 4.84.

5.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA

En la figura 5.1 se plasma un bosquejo de lo que representa el circuito a 115 kV a proteger en donde se tiene la S/E Buena Vista conectada a partir de una línea de transmisión con la S/E Trujillo ambas en el estado Trujillo. En la sección de anexos se mostrarán con más detalles los diagramas unifilares de ambas subestaciones.

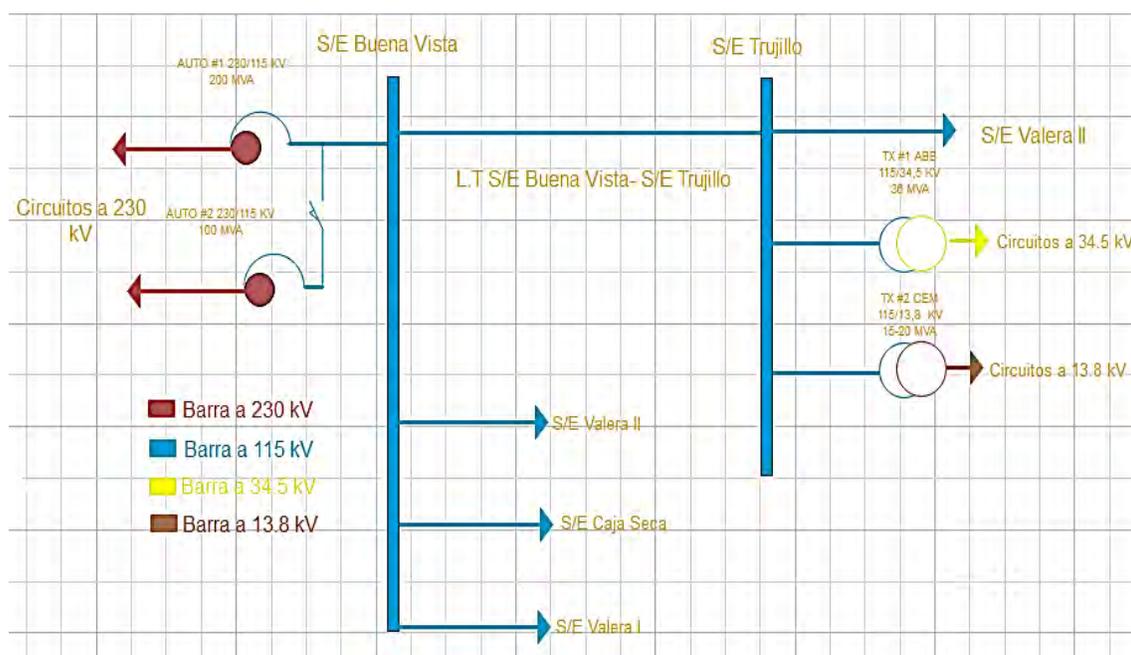


Figura 5.1. Bosquejo circuito 115 kV conexión S/E Buena-Vista-S/E Trujillo. Fuente: Autor.

5.2 DATOS REQUERIDOS PARA LOS AJUSTES DEL RELÉ

5.2.1 Línea de transmisión protegida

Para la línea de transmisión en estudio S/E Buena-Vista-S/E Trujillo los parámetros se muestran en la tabla 5.1, la cual cuenta con un conductor por fase a una tensión de 115 kV, conductor ACAR 350 MCM (515 A).

Tabla 5.1. Parámetros línea de transmisión a proteger. Fuente: Autor.

Parámetro	Valor	Unidad
Longitud de la línea	55,4	Km
Impedancia Sec. Positiva	9,5288+j28,6196	Ω -p
Impedancia Sec. Cero	27,700+j89,0943	Ω -p
Voltaje nominal	115	kV
Corriente nominal	500	A
Máxima corriente de carga	600	A
Relación transformador de corriente	500/1	
Relación transformador de tensión	115000/110	



Figura 5.2. Esquema de protección para la línea S/E Buena Vista – S/E Trujillo. Fuente: Autor.

5.2.2 Línea de transmisión adyacente

❖ Línea S/E Trujillo- S/E Valera II a 115 kV (ACAR 500 MCM); L= 25,02 km:

$$Z1=0,1232+j0,5018 \Omega\text{-p/km}$$

$$Z0=0,4512+j1,5934 \Omega\text{-p/km}$$

$$Z_{1p} = (0,1232 + j0,5018) \Omega/\text{km} * 25,02 \text{ km} = 3,0824 + j12,5550 \Omega$$

$$Z_{0p} = (0,4512 + j1,5934) \Omega/\text{km} * 25,02 \text{ km} = 11,2890 + j39,8668 \Omega$$

❖ Transformadores en S/E Trujillo:

$$Z = 11,41\% \quad \text{Tx N}^\circ 1 \text{ a } 115/34,5 \text{ kV, } 36 \text{ MVA}$$

$$Z = 10,3\% \quad \text{Tx N}^\circ 2 \text{ a } 115/13,8 \text{ kV, } 30 \text{ MVA}$$

$$Z_{Tx N^\circ 1} = 0,1141 * \frac{115 \text{ kV}^2}{36 \text{ MVA}} = 41,9159 \Omega - p$$

$$Z_{Tx N^\circ 2} = 0,1003 * \frac{115 \text{ kV}^2}{30 \text{ MVA}} = 44,2155 \Omega - p$$

Se muestran los parámetros de la línea de transmisión a proteger junto con su línea adyacente y reactancias de los transformadores en la figura 5.3.

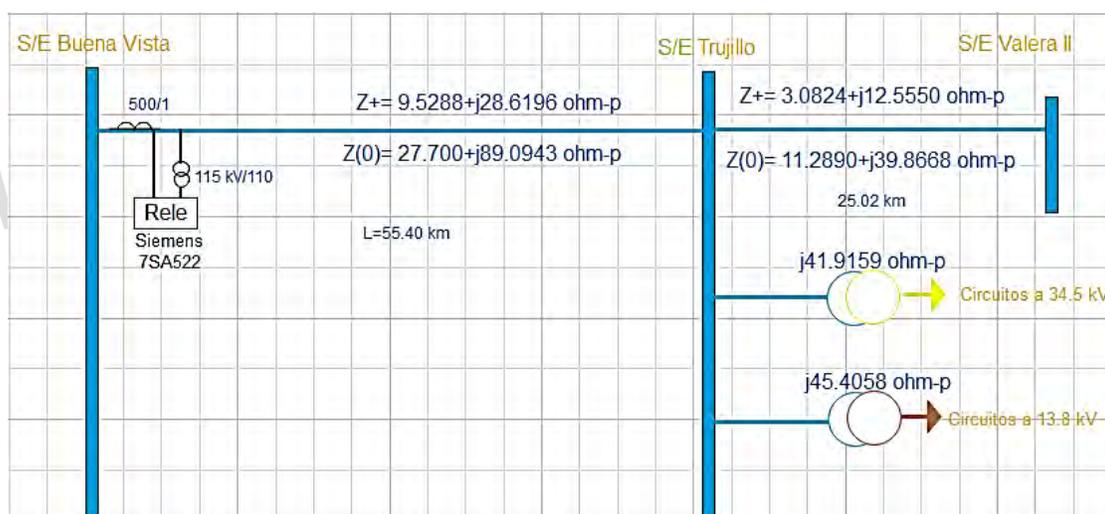


Figura 5.3. Diagrama de impedancias a proteger. Fuente: Autor.

5.3 CRITERIOS DE AJUSTES

Se muestra primeramente la ecuación para transformar valores primarios a valores secundarios de los componentes que se protegerán, antes de mostrar los criterios recomendados por CORPOELEC para el ajuste del relé de protección.

$$U_z = \frac{RTP}{RTC} = \frac{\frac{115000}{110}}{\frac{500}{1}} = 2,0909$$

$$Z_{sec} = \frac{Z_{prim}(\Omega-p)}{U_z} \quad (5.1)$$

Donde

Uz: Relación de transformación de impedancia

RTP: Relación de transformación de tensión

RTC: Relación de transformación de corriente

5.4.1 Protección de distancia (Función 21)

Tabla 5.2 Criterios de ajuste para la protección de distancia (Función 21). Fuente: Autor.

AJUSTE		TIEMPO DE OPERACIÓN	DE
Zona 1	$Z_{1(+)} = 80\% Z_L$	0 s	(5.2)
Zona 2	$Z_{2(+)} = 120\% Z_L$	0,4 s	(5.3)
Zona 3	$Z_{3(+)} = Z_1 + 50\% T_{XN^1}$	1,2 s	(5.4)
Zona 4	$Z_{4(+)} = Z_1 + 80\% T_{XN^1}$	3 s	(5.5)

❖ Zona 1

- $Z_{1(+)}p = 0,8 * (9,5288 + j28,6196) = 7,6230 + j22,8956 \Omega$
- $Z_{1(+)}s = 3,6458 + j10,9501 \Omega$

❖ Zona 2

- $Z_{2(+)}p = 1,2 * (9,5288 + j28,6196) = 11,4345 + j34,3435 \Omega$
- $Z_{2(+)}s = 5,4687 + j16,4252 \Omega$

❖ Zona 3

- $Z_{3(+)}p = 9,5288 + j28,6196 + 0,5 * (j41,9159) = 9,5288 + j49,5775$
- $Z_{3(+)}s = 4,5572 + j23,7111 \Omega$

❖ Zona 4

$$Z_{4(+)}p = 9,5288 + j28,6196 + 0,8 * (j41,9159) = 9,5288 + j62,1523$$

$$Z_{4(+)}s = 4,5572 + j29,7251 \Omega$$

❖ Alcances de cada una de las zonas de protección de distancia (Función 21)

Tabla 5.3 Alcances de las zonas de protección de distancia (Función 21). Fuente: Autor.

Zona 1	80% Z_L Buena Vista- Trujillo
Zona 2	120% Z_L Buena Vista- Trujillo $Z_L+45,59\% Z_L$ Trujillo-Valera II $Z_L+13,65\% T_{X_n^{\circ 1}}$ $Z_L+12,60\% T_{X_n^{\circ 2}}$
Zona 3	173,22% Z_L Buena Vista- Trujillo $Z_L+167\% Z_L$ Trujillo-Valera II $Z_L+50\% T_{X_n^{\circ 1}}$ $Z_L+46,15\% T_{X_n^{\circ 2}}$
Zona 4	217% Z_L Buena Vista- Trujillo $Z_L+167\% Z_L$ Trujillo-Valera II $Z_L+80\% T_{X_n^{\circ 1}}$ $Z_L+73,85\% T_{X_n^{\circ 2}}$

Se plasma un bosquejo que facilita el *software* DIGSI luego ajustados los parámetros, Figura 5.4.

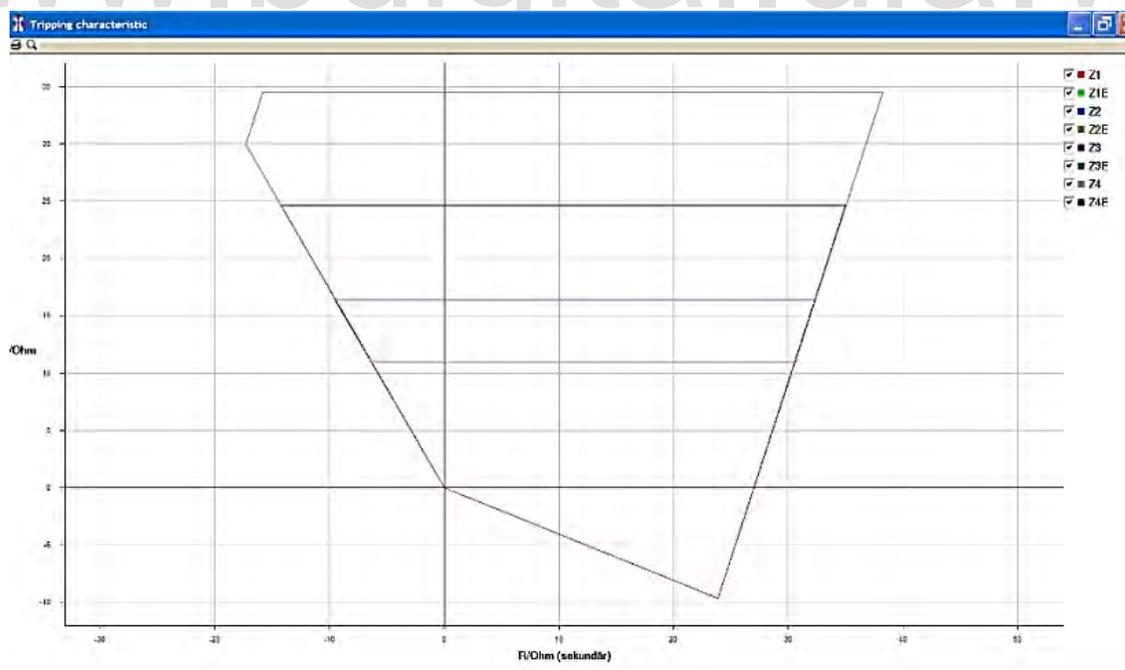


Figura 5.4. Zonas de protección DIGSI. Fuente: Autor.

5.4.2 Alcances resistivos

La corriente nominal de la línea en protección es de 500 A en donde se tiene un conductor por fase (ACAR 350 MCM-515 A) sin embargo por motivos de seguridad se toma para los cálculos el valor de 375 A por el transformador de corriente que se aloja en el extremo remoto de la línea en protección, sería dañino permitir circulación de 500 A por la línea cuando el TC está diseñado para un rango menor, el tendido de la línea consta de una doble terna en donde viajan dos líneas simultáneamente Buena Vista-Valera I y Buena Vista-Trujillo ambas a 115 kV a una distancia de Buena Vista se deriva la terna Buena Vista-Valera I y se encuentra con la siguiente terna Trujillo-Valera II, finalmente la configuración que presenta el tendido de Buena Vista-Trujillo comprende tanto en la S/E Buena Vista como en la S/E Trujillo configuración doble terna, una terna para cada línea, como ejemplo se muestra a continuación en la figura 5.5.

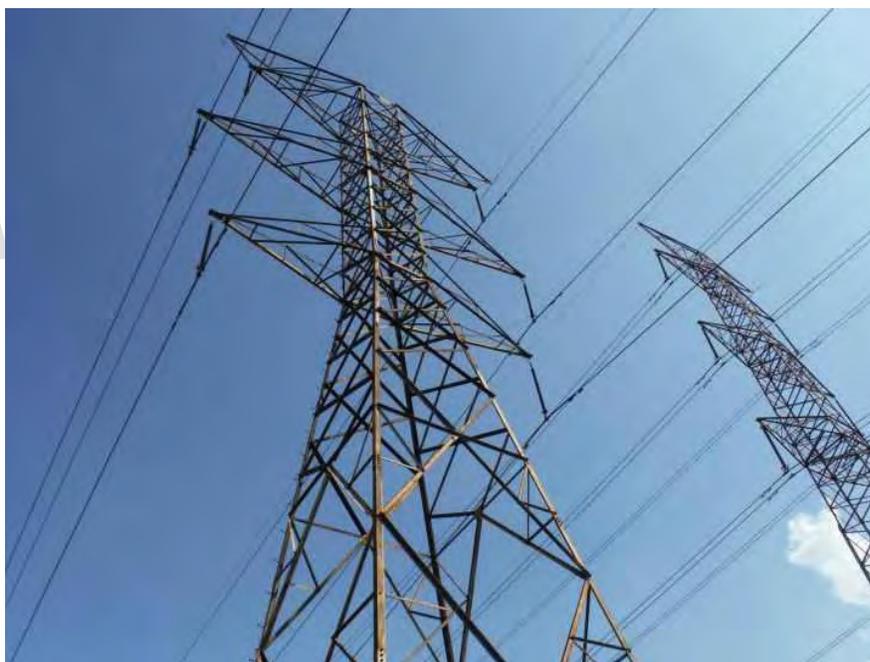


Figura 5.5. Configuración doble terna. Fuente: CORPOELEC.

Para el cálculo de la resistencia mínima de carga, se hace uso de la ecuación 5.6, en esta se toma en cuenta la intensidad máxima de corriente que puede transportar la línea en su funcionamiento normal así como el voltaje mínimo de servicio. CORPOELEC recomienda utilizar el 120% de la corriente nominal y el 85% del voltaje como mínimo.

$$Z_{minCarga} = \frac{V_L}{\sqrt{3} * I_{mcc}} \quad (5.6)$$

Donde,

I_{mcc} : Corriente máxima de carga

$$V_L = 0,85 * (115000) = 97750 \text{ V}$$

$$I_{mcc} = 1,2 (375) = 450 \text{ A}$$

$$Z_{minCargap} = \frac{97750 \text{ V}}{\sqrt{3} * 450} = 12,4133 \Omega - p = 59,9805 \Omega - s$$

$$Z_{minCargas} = 59,9805 \Omega - s$$

Para el ajuste de los alcances resistivos en los lazos tanto fase-fase como fase-tierra, se tiene como criterio en CORPOELEC, seleccionar un único valor para todas las zonas en la protección de distancia, aquí se permite la coordinación de protecciones a través de los tiempos de disparo de cada zona y se logra la selectividad adecuada por medio de la impedancia de línea vista por el relé hasta el lugar de falla de alta impedancia. Los valores se obtienen a partir de las siguientes inecuaciones:

Ajuste del alcance resistivo para cada zona (Falla Fase-Fase):

$$R_F \leq R_{ZFF} \leq 0,45 * Z_{minCarga} \quad (5.7)$$

Ajuste del alcance resistivo para cada zona (Falla Fase-Tierra):

$$R_F \leq R_{ZFE} \leq 0,45 * Z_{minCarga} \quad (5.8)$$

Lazo Fase-Fase

$$R_{ZFFp} = 0,45 * 125,4133 = 56,4359 \Omega$$

$$R_{ZFFs} = 26,99 \Omega$$

Lazo Fase-Tierra

$$R_{ZFFp} = 0,45 * 125,4133 = 56,4359 \Omega$$

$$R_{ZFFs} = 26,99 \Omega$$

5.4.3 Función sobrecorriente direccional a tierra (67N)

Existen diferentes formas de que las funciones de sobrecorriente actúen según la característica de disparo de tiempo (instantáneo, tiempo definido, tiempo inverso). Como función de respaldo a la función de distancia se utiliza por tiempo definido (1,25 segundos). Para la operación de la presente función es necesaria una corriente de arranque, por criterio CORPOELEC utiliza el 12% de la corriente máxima que puede circular por la línea de transmisión en protección, se procede a calcular mediante la expresión (5.9)

$$I_{N(Arranque)} = \frac{12\% \cdot I_{maxCARGA}}{RTC} \quad (5.9)$$

$$I_{N(Arranque)} = \frac{12\% \cdot 375 A}{500/1} = 0,09 A$$

5.4.4 Función de cierre contra falla (50HS)

Al momento de cierre si existiese una falla el relé debe dar orden de disparo a un mínimo de corriente estipulada por CORPOELEC, se recomienda 120% de la corriente de máxima carga que circula por la línea.

$$I_{SOTF} = \frac{120\% I_{maxCarga}}{RTC} \quad (5.10)$$

$$I_{SOTF} = \frac{1,2 \cdot 375 A}{500/1} = 0,9 A$$

5.4.5 Factor de compensación homopolar (K_0)

Se calcula mediante la expresión 5.10

$$K_0 = \frac{1}{3} \left(\frac{Z_0}{Z_1} - 1 \right) \quad (5.11)$$

$$K_0 = \frac{1}{3} \left(\frac{27,700 + j89,0943}{9,5288 + j28,6196} - 1 \right) = 0,6977 \angle 1,6907$$

5.5 CONFIGURACION EN EL SOFTWARE DIGSI V4.84

5.5.1 Configuración del dispositivo

Tabla 5.4 Funciones Habilitadas o deshabilitadas en el relé de protección.

<i>FunctionalScope</i>		
<i>Availablefunctions</i>		
<i>No.</i>	<i>Function</i>	<i>Scope</i>
0103	<i>SettingGroupChangeOption</i>	Disabled
0110	<i>TripMode</i>	3 Pole Only
0114	<i>21 Distance Pickup Program</i>	Z<Quadrilateral
0119	<i>AdditionalThresholdIph>(Z1)</i>	Disabled
0120	<i>68 Power Swing Detection</i>	Enabled
0121	<i>85-21 Pilot Protection for Distance Prot.</i>	POTT
0122	<i>DTT Direct Transfer TRIP</i>	Disabled
0124	<i>50HS Instantaneous SOTF</i>	Enabled

Tabla 5.4 Funciones Habilitadas o deshabilitadas en el relé de protección. (Continuación)

0125	<i>Weak Infeed (Trip and/or Echo)</i>	<i>Disabled</i>
0126	<i>50(N)/51(N) BackupOvercurrent</i>	<i>Disabled</i>
0131	<i>50N/51N GroundOvercurrent</i>	<i>Definite Time</i>
0132	<i>85-67N Pilot</i>	<i>Disabled</i>
0133	<i>79-Auto RecloseFunction</i>	<i>Disabled</i>
0134	<i>Auto-reclose Control Mode</i>	<i>Trip and Time Action</i>
0135	<i>25 Synchronism and VoltageCheck</i>	<i>Disabled</i>
0136	<i>81 Over/UnderFrecuencyProtection</i>	<i>Disabled</i>
0137	<i>27, 59 Under/OvervoltageProtection</i>	<i>Disabled</i>
0138	<i>FaultLocator</i>	<i>Enabled</i>
0139	<i>50BF BreakerFailureProtection</i>	<i>Disabled</i>
0140	<i>74TC TripCircuitSupervision</i>	<i>Disabled</i>
0142	<i>49 ThermalOverloadProtection</i>	<i>Disabled</i>

5.5.2 Power System Data 1

Tabla 5.5. Ajustes para los transformadores, Línea de transmisión e Interruptores en el relé de protección.

Transformers		
No.	Settings	Value
0201	<i>CT Starpoint</i>	<i>Towards Line</i>
0203	<i>RatedPrimaryVoltage</i>	<i>115 kV</i>
0204	<i>Rated Secondary Voltage (Ph-Ph)</i>	<i>110 V</i>
0205	<i>CT Rated Primary Current</i>	<i>500 A</i>
0206	<i>CT Rated Secondary Current</i>	<i>1 A</i>
0210	<i>U4 Voltage Transformer is</i>	<i>Not Connected</i>
0211	<i>Matching Ratio Phase-VT To Open-Delta-VT</i>	<i>1,73</i>
0215	<i>Matching ratio Usy1/Usy2</i>	<i>1,00</i>

Tabla 5.5. Ajustes para los transformadores, Línea de transmisión e Interruptores en el relé de protección. (Continuación)

0220	<i>I4 Current Transformer is</i>	<i>Neutral Current (Of the Protected line)</i>
0221	<i>Matching ratio I4/Iph for CT's</i>	1,00
Power System		
No	Setting	Value
0207	<i>System Starpoint</i>	Solid Earthed
0230	<i>Rated Frecuency</i>	60 Hz
0235	<i>Phase Sequence</i>	L1 L2 L3
0236	<i>Distance Measurement Unit</i>	Km
0237	<i>Setting Format for zero seq. comp. format</i>	Zero Seq.comp.factor K0 and Angle (K0)
Breaker		
No	Setting	Value
0240A	<i>Minimum TRIP Command Duration</i>	0,10 s
0241 A	<i>Maximun Close Command Duration</i>	0,10 s
0242	<i>Dead Time for CB Test Autoreclosure</i>	0,10 s

5.5.3 Setting Group A

❖ Power System Data 2

Tabla 5.6. Power System Data 2.

Power System		
No.	Settings	Value
1103	<i>Measurement: Full Scale Voltage (100%)</i>	115 kV
1104	<i>Measurement: Full Scale Current (100%)</i>	375 A
1105	<i>Line Angle</i>	72°

Tabla 5.6. Power System Data 2. (Continuación)

1211	Angle of inclination, distance charact.	72°
1107	P,Q operational measured values sing	Not Reversed
1111	Line Length	55,4 km
1120	Zero seq. comp. factor K0 for zone Z1	0,6977
1121	Zero seq. comp. Angle for zone Z1	1,69°
1122	Zero seq. comp. factor K0, higher zones>Z1	0,6977
1123	Zero seq. comp. Angle, higher zones>Z1	1,69°
Line Status		
No.	Settings	Value
1130A	Pole Open Current Threshold	0,05 A
1131A	Pole Open Voltaje Threshold	30 V
1132A	Seal-in Time after ALL closures	0,05 s
1133A	Minimal time for line open before SOTF	0,25 s
1134	Recognition of line closures with	Manual Close BI only
1135	RESET of Trip Command	With pole open current Threshold only
1136	Open pole detector	With measurement (U/I,trip,pickup,CBaux)
1140A	CT Saturation Threshold	20,0 A
1150A	Seal-in Time after MANUAL closures	0,30 s
1151	Manual CLOSE COMMAND generation	NO

❖ Distance protection, general settings

Tabla 5.7. Ajuste general de la función de distancia en el relé 7SA522.

General		
No.	Settings	Value
1201	Distance protection	ON
1202	Phase Current threshold for dist. Meas.	0,10 A
1211	Angle of inclination, distance charact	72°
1208	Series compensated line	NO
1232	Instantaneous trip after SwitchOnToFault	Inactive
1241	R load, minimum load impedance (ph-e)	56,44 Ω
1242	PHI load, maximum load angle (ph-e)	30°
1243	R load, minimum load impedance (ph-ph)	56,44 Ω
1244	PHI load, maximum load angle (ph-ph)	30°
1357	Z1B enabled before 1 st AR (int. or ext)	NO
Earth faults		
No.	Settings	Value
1203	3I0 Threshold for neutral current pickup	0,10 A
1204	3U0 Threshold zero seq.Voltage pickup	1 V
1207A	3I0>pickup-stabilisation (3I0>/Iphmax)	0,10
1209A	Criterion of earth fault recognition	3I0>OR 3U0>
1221A	Loop Selection with 2Ph-E faults	Blocking leading ph-e loop
Time Delays		
No.	Settings	Value
1305	T1-1phase, delay for single phase faults	0,00 s
1306	T1-multi-ph, delay for multi-phase faults	0,00 s
1315	T2-1 phase, delay for single phase faults	0,40 s
1316	T2 multi-ph, delay for multi phase faults	0,40 s
1325	T3 delay	1,20 s
1335	T4 delay	3,00 s
1345	T5 delay	∞ s

Tabla 5.7. Ajuste general de la función de distancia en el relé 7SA522. (Continuación).

1365	<i>T6 delay</i>	∞ s
1355	<i>T1B-1 phase, delay for single ph.faults</i>	∞ s
1356	<i>T1B-multi-ph, delay for multi ph. Faults</i>	∞ s

❖ Distance zones (quadrilateral)

Tabla 5.8. Ajustes de las zonas de protección en el relé.

Zone Z1		
No.	Settings	Value
1301	<i>Operating Mode Z1</i>	<i>Forward</i>
1302	<i>R(Z1) Resistance for ph-ph faults</i>	26,99 Ω
1303	<i>X(Z1) Reactance</i>	10,9501 Ω
1304	<i>RE(Z1) Resistance for ph-e faults</i>	26,99 Ω
1305	<i>T1-1phas, delay for single phase faults</i>	0,00 s
1306	<i>T1-multi-ph, delay for multi phase faults</i>	0,00 s
1307	<i>Zone Reduction Angle (load compensation)</i>	5°
Zone Z2		
No.	Settings	Value
1311	<i>Operating Mode Z2</i>	<i>Forward</i>
1312	<i>R(Z2) Resistance for ph-ph faults</i>	26,99 Ω
1313	<i>X(Z2) Reactance</i>	16,4252 Ω
1314	<i>RE(Z2) Resistance for ph-e faults</i>	26,99 Ω
1315	<i>T2-1phase delay for single phase faults</i>	0,40 s
1316	<i>T2multi-ph delay for multi phase faults</i>	0,40 s
Zone 3		
1321	<i>Operating Mode Z3</i>	Forward
1322	<i>R(Z3) Resistance for ph-ph faults</i>	26,99 Ω
1323	<i>X(Z3) Reactance</i>	23,7111 Ω

Tabla 5.8. Ajustes de las zonas de protección en el relé. (Continuación)

1324	<i>RE(Z3) Resistance for ph-e faults</i>	26,99 Ω
1325	<i>T3 delay</i>	1,20 s
Zone 4		
1331	<i>Operating Mode Z4</i>	Forward
1332	<i>R(Z4) Resistance for ph-ph faults</i>	26,99 Ω
1333	<i>X(Z4) Reactance</i>	29,7251 Ω
1334	<i>RE(Z4) Resistance for ph-e faults</i>	26,99 Ω
1335	<i>T4 delay</i>	3,00 s

❖ Power Swing

Tabla 5.9. Ajustes de la función Oscilación de potencia (Función 68)

No.	Settings	Value
2002	<i>Power Swing Operating mode</i>	All zones blocked
2006	<i>Power Swing trip</i>	NO

❖ Instantaneous High Speed SOFT Overcurrent

Tabla 5.10. Ajustes de la función cierre sobre falta (Función 50HS)

No.	Settings	Value
2401	<i>Inst. High Speed SOTF-O/C is</i>	ON
2404	<i>I>>> Pickup</i>	0,90 A

❖ Earth Fault overcurrent

Tabla 5.11. Ajustes de la función sobrecorriente a tierra (Función 67N)

General		
No.	Settings	Value
3101	<i>Earth Fault Overcurrent function</i>	ON
3102	<i>Block E/F for distance protection</i>	NO

Tabla 5.11. Ajustes de la función sobrecorriente a tierra (Función 67N). (Continuación)

3174	<i>Block E/F for distance protection Pickup</i>	<i>In zone Z1</i>
3104A	<i>Stabilisation Slope with Iphase</i>	<i>10%</i>
3105	<i>3I0-min threshold for teleport. Schemes</i>	<i>0,50 A</i>
3170	<i>2nd harmonic ratio for inrush restraint</i>	<i>15%</i>
3171	<i>Max current, overriding inrush restraint</i>	<i>7,50 A</i>
3172	<i>Instantaneous mode after SwitchOnToFault</i>	<i>With Pickup and direction</i>
3173	<i>Trip time delay after SOTF</i>	<i>0,00 s</i>
3I0>>>		
No.	Settings	Value
3110	<i>Operating Mode</i>	<i>Inactive</i>
3111	<i>3I0>>> Pickup</i>	<i>4,00 A</i>
3112	<i>T 3I0>>> time delay</i>	<i>0,30 s</i>
3113	<i>Instantaneous trip via Teleprot/BI</i>	<i>NO</i>
3114	<i>Instantaneous trip after SwitchOnToFault</i>	<i>NO</i>
3115	<i>Inrush Blocking</i>	<i>NO</i>
3I0>>		
No.	Settings	Value
3120	<i>Operating Mode</i>	<i>Inactive</i>
3121	<i>3I0>>Pickup</i>	<i>2,00 A</i>
3122	<i>T 3I0>> time delay</i>	<i>0,60 s</i>
3123	<i>Instantaneous trip via Teleprot/BI</i>	<i>NO</i>
3124	<i>Instantaneous trip after SwitchOnToFault</i>	<i>NO</i>
3125	<i>Inrush Blocking</i>	<i>NO</i>
3I0>		
No.	Settings	Value
3130	<i>Operating Mode</i>	<i>Inactive</i>
3131	<i>3I0>Pickup</i>	<i>1,00 A</i>
3132	<i>T 3I0> time delay</i>	<i>0,90 s</i>

Tabla 5.11. Ajustes de la función sobrecorriente a tierra (Función 67N). (Continuación)

3133	<i>Instantaneous trip via Teleprot/BI</i>	NO
3134	<i>Instantaneous trip after SwitchOnToFault</i>	NO
3135	<i>Inrush Blocking</i>	NO
3I0 Def. Time		
No.	Settings	Value
3140	<i>Operating mode</i>	Forward
3141	<i>3I0p Pickup</i>	0,09 A
3147	<i>Additional time delay</i>	1,25 s
3148	<i>Instantaneous trip via Teleprot/BI</i>	NO
3149	<i>Instantaneous trip after SwitchOnToFault</i>	NO
3150	<i>Inrush Blocking</i>	NO
Direction		
No.	Settings	Value
3160	<i>Polarization</i>	With V0+IY(dual polarized)
3162A	<i>ALPHA, lower angle for forward direction</i>	338°
3163A	<i>BETA, upper angle for forward direction</i>	122°
3164	<i>Min. Zero seq, voltaje 3U0forpolarizing</i>	0,5 V
3166	<i>Min. negseq, polarizing voltaje 3V2</i>	0,5 V (default value)
3167	<i>Min. negseq, polarizing current 3I2</i>	0,05 A (default value)
3168	<i>Compensation angle PHI comp. for Sr</i>	255° (default value)
3169	<i>Forward direction power Threshold</i>	0,3 VA (default value)
3186A	<i>3U0 min for forward direction</i>	0,0 V
3187A	<i>Reactance X of series capacitor</i>	0,00 Ω

❖ *Fault Locator*

Tabla 5.12 Ajuste del localizador de falla.

<i>No.</i>	<i>Settings</i>	<i>Value</i>
3802	<i>Start fault locator with</i>	TRIP
3806	<i>Load compensation</i>	YES

5.5.4 Oscilografía de faltas

Tabla 5.13 Ajuste para el registro de fallas (Oscilografía).

<i>No.</i>	<i>Settings</i>	<i>Value</i>
0402A	<i>Waveform capture</i>	<i>Save with pickup</i>
0403A	<i>Scope of Waveform Data</i>	Fault Event
0410	<i>Max. length of Waveform Capture record</i>	2,00 s
0411	<i>Capture Waveform Prior to trigger</i>	0,25 s
0412	<i>Capture Waveform after event</i>	0,10 s
0415	<i>Capture time via Binary Input</i>	0,50 s

Los cálculos y ajustes realizados para el relé de protección ameritan de información de la línea de transmisión en estudio como su configuración, distancia, capacidad nominal de la línea, relaciones de transformación en los transformadores tanto de corriente como de tensión parámetros de impedancia de secuencia positiva, secuencia cero, a partir de estos parámetros se ajustan las zonas de protección para la función de distancia, de la misma forma la función de sobrecorriente direccional a tierra, el factor K_0 para una correcta determinación de fallas a tierra, teniendo en cuenta los criterios de la corporación y realizando los cálculos pertinente se necesita entonces configurar el relé mediante su *software* DIGSI en donde se registran los cálculos realizados así como parámetros básicos de la subestación, es imperante asegurar que se plasmen correctamente los datos para un correcto funcionamiento del relé.

CAPITULO VI

PRUEBAS DE FUNCIONALIDAD DEL RELE SIEMENS 7SA522

Antes de la instalación en la subestación del gabinete donde residirá el relé SIEMENS 7SA522 a instalar se amerita realizar pruebas de funcionalidad al mismo de modo que con ellas se garantice un óptimo estado del relé. Para ello se tiene un equipo de inyección OMICRON CMC 356, con el cual se simulan fallas o anomalías al relé y así verificar que el relé tiene una respuesta selectiva, rápida y segura.

6.1 OMICRON CMC 356

El OMICRON CMC 356 es un equipo de inyección compuesto por elementos electrónicos el cual se opera a través de una PC con software licenciado (OMICRON *Test Universe*) esta cuenta con una gran gama de funciones de prueba con las cuales se pueden simular cualquier tipo de fallas que se presentan en los SEP.

En la figura 6.1 se muestra el *hardware* del equipo en donde se detalla que el mismo cuenta con una salida para alimentación en continua, salidas de tensión, salidas de corriente, el *socket* combinado en donde se tienen en simultaneo inyección de corriente y voltaje debidamente, entradas configurables y salidas binarias.



Figura 6.1. Hardware del equipo de inyección OMICRON CMC 356.

6.2 TEST MODULES, CONTROL CENTER Y SETUP EN LA OMICRON CMC 356

Una vez instalado el *software* “OMICRON Test Universe” en la PC, la figura 6.2 muestra la primera ventana que se observa al abrirlo por primera vez.

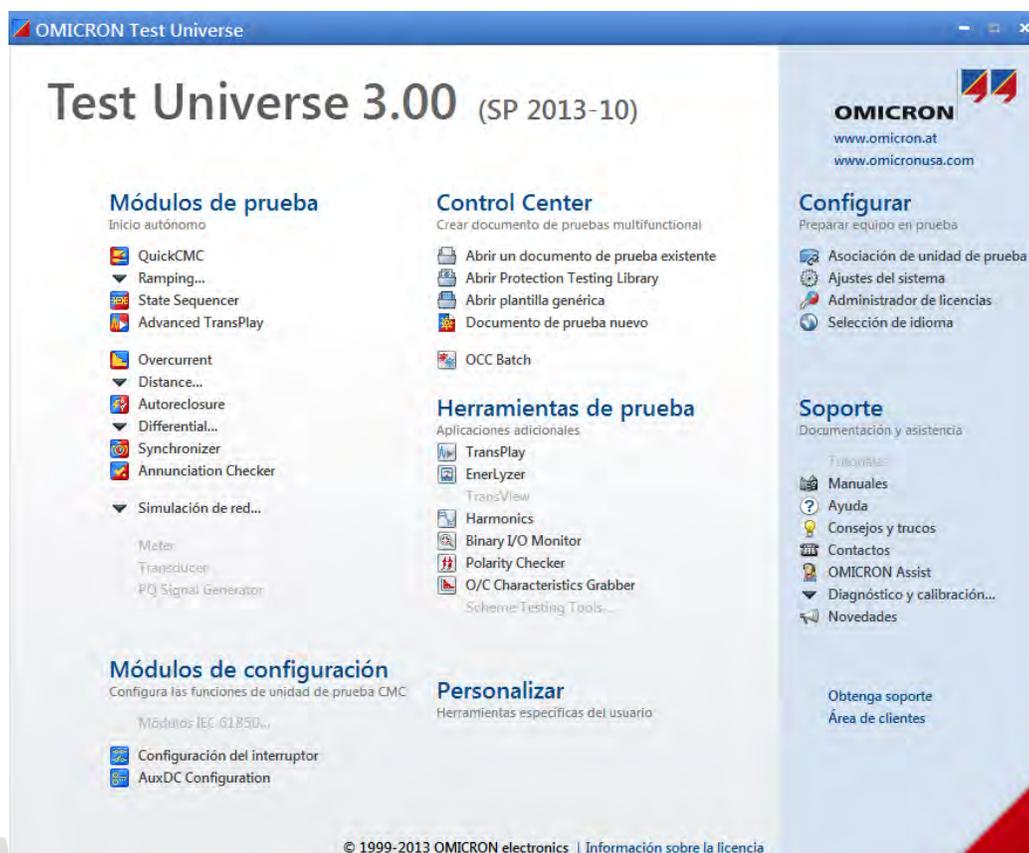


Figura 6.2. Ventana inicial del OMICRON Test Universe.

Se presenta un catálogo amplio de opciones para revisión en el OMICRON *Test Universe*, la parte a resaltar es la zona de módulos de prueba en donde se centra las diferentes opciones para inyección y pruebas entre las que se tienen:

QuickCMC, es el módulo más básico en donde se pueden inyectar corrientes y voltajes al equipo de manera sencilla permite verificar en el relé la correcta lectura del mismo para magnitudes de voltaje, corriente, potencia, en este módulo es posible inyectar valores nominales o de falla al relé, presenta un interfaz bastante intuitivo para el manejo del módulo.

Ramping, ideal para probar los umbrales de arranque de las protecciones, permite determinar los umbrales de magnitud, fase y frecuencia mediante definiciones de rampas. Con este módulo, se pueden realizar rampas tanto de voltaje como de corriente.

StateSequencer, permite definir una secuencia de estados y emitirlos a través de una unidad de prueba CMC a un equipo en prueba en tiempo real. Puede utilizarse para determinar los

tiempos de disparo u otras medidas de tiempo con evaluación automática. Se utiliza normalmente para probar la función de recierre.

AdvancedTransplay, se usa para importar, editar y emitir datos transitorios a un equipo en prueba. Estos datos transitorios se han creado a partir de eventos de faltas reales o simuladas anticipadamente y están disponibles en un archivo de datos. El campo de aplicación principal se observa en la reproducción de la aparición de una falta real. Las apariciones de faltas grabadas con el registrador de falta integrado del dispositivo de protección se transmiten al PC y se guardan en el formato de archivo correspondiente.

Overcurrent, permite probar manual o automáticamente relés direccionales y no direccionales con características de tiempo definido y tiempo inverso, además, pueden probarse funciones de determinación de la dirección de faltas a tierra de estado uniforme, prueba los tiempos de funcionamiento de los elementos de disparo considerando las tolerancias del dispositivo.

Distance, modulo apropiado para probar relés de distancia, ofrece la funcionalidad para definir y realizar pruebas de los relés de distancia por medio de evaluaciones de los elementos de impedancia usando definiciones de disparo simple en el plano de impedancias Z con representación en pantalla de la característica gráfica.

Autoreclosure, prueba la función de recierre automático de los relés de protección. Este módulo de prueba configura automáticamente las condiciones de la prueba para la secuencia exitosa y fallida.

Differential, permite realizar pruebas monofásicas a relés diferenciales. Módulo ideal para probar transformadores, generadores, barras y motores.

Synchronizer, es el módulo dispuesto a realizar sincronización entre un equipo (generador) y la red eléctrica, en este la red eléctrica sería el elemento 1 la cual se fija su frecuencia y amplitud, y el elemento 2 que es el generador se controla en frecuencia y amplitud.

El *software* implementa funciones individuales para realizar pruebas convencionales de forma manual o automática. Sin embargo, las posibilidades de automatización que ofrece OMICRON van más allá y es donde se presenta *Control Center* el cual es un módulo en donde de forma

sencilla pueden crearse, mantenerse y distribuirse planes de pruebas completos, es decir prueba todas las funciones de un equipo en prueba con un solo con un solo plan de prueba, que se define como documento de *Control Center* (documento.occ).

En la primera ventana del *software*, se muestra también la sección de asociación de unidad de prueba, es el módulo donde se realiza la conexión con el equipo de pruebas recordando que la misma puede hacerse a partir de un cable ethernet o USB.

En la sección Ajustes de sistema es posible editar valores que viene por *default* en el equipo tales como valores nominales, límites de corriente de inyección y tensión a inyectar, nombre de las fases entre otros.

El administrador de licencias, de vital importancia para operar totalmente todas las funciones del *software*, la licencia la encontramos en el CD ROM.

6.3 PRINCIPIOS DE OPERACIÓN DE LA OMICRON CMC 356

Luego de instalado el programa y cargado la licencia desde el CD ROM, se requiere asociar el equipo con la PC. Se energiza la unidad OMICRON y se conecta (Ethernet o USB) a la PC. En la sección de asociación de unidad de prueba damos clic y se mostrara la ventana de la figura 6.3.



Figura 6.3. Ventana de asociación para equipo de prueba.

En la parte superior izquierda de la figura 6.3 se tiene la opción de Asociar es ahí que una vez conectado el equipo de prueba se dará clic para realizar la conexión efectiva y posterior operación del mismo.

Entonces el equipo está listo para realizar inyecciones de corriente y tensión al relé y ya con las funciones, también habilitados cada uno de los módulos de prueba del equipo OMICRON.

Para iniciar con las pruebas en el relé de distancia SIEMENS 7SA522, se muestra en la figura 6.4 el modulo dispuesto para la ejecución de la prueba, ya sea prueba por distancia (ANSI 21) o prueba por sobrecorriente direccional a tierra (ANSI 67N).



Figura 6.4. Equipo de prueba y configuración de prueba de *hardware*.

6.3.1 Equipo de prueba

Encontramos en esta sección el bloque configurable RIO (*Relay Interface by Omicron*) al hacer clic sobre este apartado, procede a desplegarse un menú con la opción Dispositivo en donde se ajustan parámetros tales como frecuencia, tensiones y corriente tanto primarios como secundarios entre otros. Se plasma en la figura 6.5.

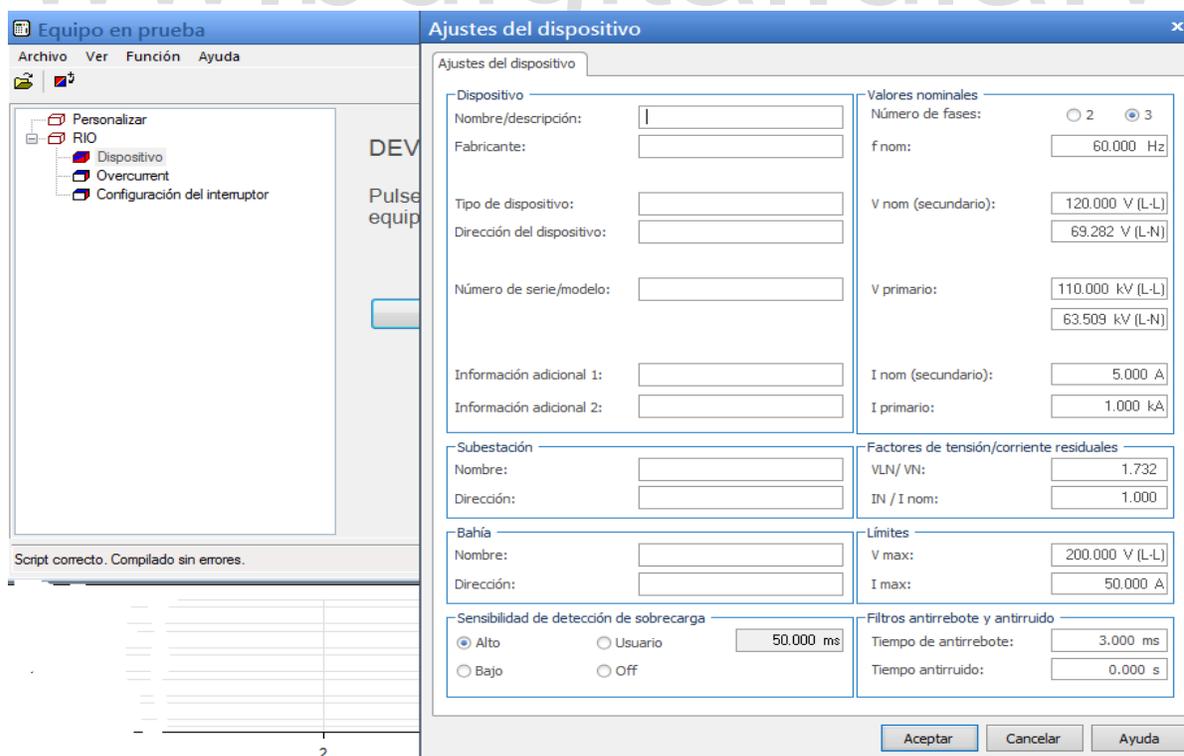


Figura 6.5. Ventana de dispositivo para ajuste.

En ajustes de dispositivos esta la información respecto al equipo como el nombre la fabricación, número de serie, nombre de la subestación donde se instalara, además de tener un recuadro de sensibilidad de detección de sobrecarga en donde se ajusta el tiempo para desconexión de salidas de corrientes o voltaje ya sea por alta impedancia en las salidas o por baja impedancia en las de voltaje.

En valores nominales se ajustan parámetros como la frecuencia el número de fases que se implementaran y valores tanto de corriente como de voltaje en primario y secundario esto para los instrumentos de medición como transformador de corriente y transformador de tensión.

En RIO también se configuran los módulos de prueba tanto de distancia como de sobrecorriente direccional a tierra para relés de distancia se refiere dichos ajustes se muestran más adelante.

6.3.2 Configuración del Hardware

En la parte superior izquierda de la figura 6.4 se muestra la sección Configuración del hardware al darle clic a esta se abre una ventana mostrada en la figura 6.6.

The screenshot shows the 'Configuración del Hardware' window for an OMICRON unit. The window has a blue title bar and a close button. It contains several sections:

- General Tab:**
 - Unidad(es) de prueba:** A dropdown menu showing 'CMC356 (?????)' and a 'Detalles...' button.
 - Salidas de tensión:** 4x300V, 85VA @ 85V, 1Aef
 - Salidas de corriente:** 6x32A, 430VA @ 25A, 25Vef
 - Aux. DC:** 115.0V
- Amplificador(es) / Salidas de bajo nivel / Simulación de sensor:**
 - Checkbox: Amplificadores múltiples / Salidas de bajo nivel
 - Dropdown: <ninguno> with a 'Detalles...' button.
 - Fields for 'Salidas de tensión' and 'Salidas de corriente' are empty.
- Entradas/salidas virtuales:**
 - Grupos de entradas: <ninguno>
 - Grupos de salidas: <ninguno> with a 'Detalles...' button.
- Aviso 'Controlar el cableado':**
 - Checkbox: Mostrar mensaje para verificación del cableado
- Dispositivos de prueba conectados:**
 - Buttons: 'Buscar...', 'Calibración'
- Configuración del hardware:**
 - Buttons: 'Importar...', 'Exportar...'
- Bottom Bar:**
 - Buttons: 'Aceptar', 'Cancelar', 'Aplicar', 'Ayuda'

Figura 6.6. Configuración del hardware para la unidad OMICRON.

Primeramente, el equipo OMICRON debe estar asociado para que no exista problema al realizar los respectivos ajustes, en Detalles al darle clic se muestra una ventana como en la figura 6.7, para ajustes de las salidas de voltaje y corriente existen diferentes combinaciones en estas, dependerá también de la magnitud necesaria a inyectar la configuración de las salidas.

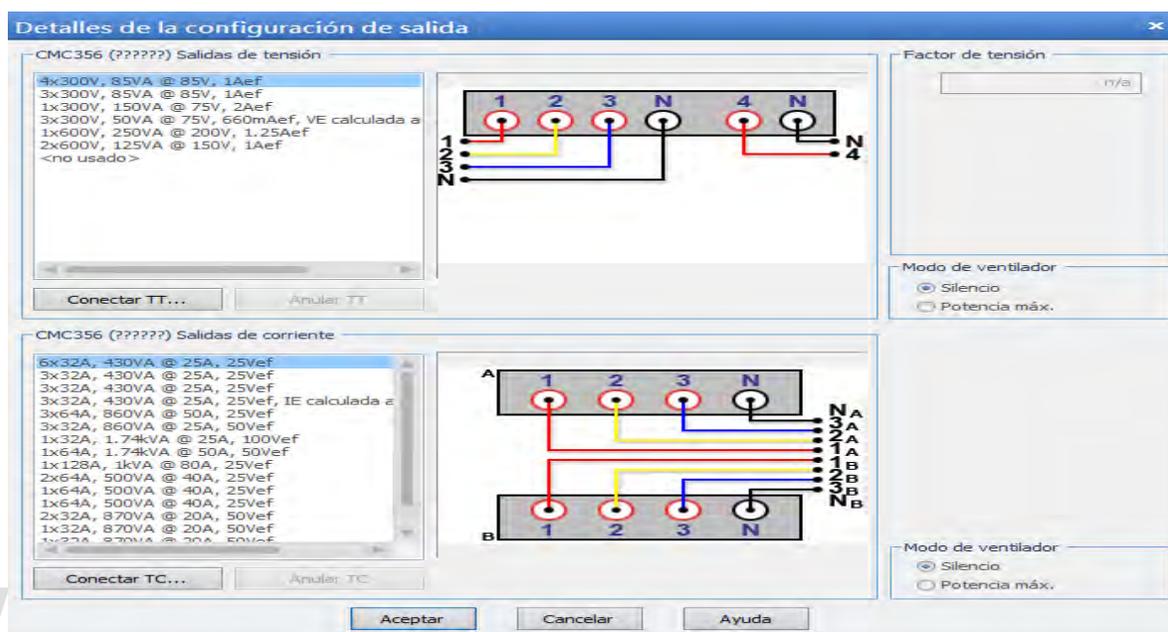


Figura 6.7. Configuración en las salidas de corriente y voltaje del equipo OMICRON.

En la figura 6.6 en la parte superior esta la sección configurable Salidas analógicas, en donde se configuran las salidas de corriente y tensión de la unidad de inyección la ventana se muestra en la figura 6.8, esto va depender de la configuración interior, es decir las salidas de corriente o voltaje que se hayan habilitado, se pueden editar los nombres de cada salida o dejar por defecto las que trae el software.

Configuración del Hardware

General Salidas analógicas Entradas binarias / analógicas Salidas binarias

Señal de salida del módulo de prueba	Etiqueta	Terminal de conexión	CMC356 V A ??????				CMC356 V B ??????		CMC356 I A ??????				CMC356 I B ??????			
			1	2	3	N	1	N	1	2	3	N	1	2	3	N
V L1-E	V L1-E		X													
V L2-E	V L2-E			X												
V L3-E	V L3-E				X											
No usado	V(2)-1						X									
IL1	IL1							X								
IL2	IL2								X							
IL3	IL3									X						
No usado	I(2)-1												X			
No usado	I(2)-2													X		
No usado	I(2)-3														X	

Figura 6.8 Configuración Salidas Analógicas.

En el apartado Entradas binarias / analógicas como se muestra en la figura 6.9 se configuran las entradas del equipo. Normalmente y por defecto se utiliza la primera entrada para captar el disparo del relé detener la inyección y realizar la medida del tiempo de actuación. Teniendo en cuenta que desde el relé debe habilitarse una salida de disparo y conectarla a la entrada del equipo de prueba, además existe la opción de configurar las entradas como contacto libre de potencial o contacto con potencial si fuese el caso debe especificarse el voltaje para que la entrada se active.

Función			CMC356 ???????													
Libre de potencial			Binario													
<input checked="" type="checkbox"/>			<input checked="" type="checkbox"/>													
Relación de las pinzas de corriente																
Tensión de umbral																
Señal de entrada del módulo de prueba	Etiqueta	Terminal de conexión	1+	1-	2+	2-	3+	3-	4+	4-	5+	5-	6+	6-	7+	7-
Disparo	Disparo		X													
Arranque	Arranque				X											
No usado	Entr.bi. 3						X									
No usado	Entr.bi. 4								X							
No usado	Entr.bi. 5										X					
No usado	Entr.bi. 6												X			
No usado	Entr.bi. 7														X	
No usado	Entr.bi. 8															
No usado	Entr.bi. 9															
No usado	Entr.bi. 10															
No usado	Entr.bi. 11															
No usado	Entr.bi. 12															

Figura 6.9. Configuración Entradas Binarias/Analógicas del equipo de prueba OMICRON CMC 356.

En la sección Salidas binarias normalmente no se utilizan para probar un relé de protección sin embargo son de utilidad si se quiere verificar los tiempos de operación de un interruptor, es posible de utilizar cuando es necesario realizar un reenganche o un sincronismo, una salida binaria entregaría un alto a una entrada binaria del mismo equipo de modo que al cumplirse las condiciones prosiga a realizar la operación, en estas pruebas normalmente se requiere que la unidad CMC active sus salidas, se muestra en la figura 6.10.

Función			CMC356 ???????													
Salidas por relé			1+	1-	2+	2-	3+	3-	4+	4-	Salidas por transistor					
											11	12	13	14	N	
Sal.bin 1	Sal.bin 1		X													
Sal.bin 2	Sal.bin 2				X											
Sal.bin 3	Sal.bin 3						X									
Sal.bin 4	Sal.bin 4								X							
No usado	Sal. bin 5										X					
No usado	Sal. bin 6											X				
No usado	Sal. bin 7												X			
No usado	Sal. bin 8													X		

Figura 6.10. Configuración Salidas Binarias del equipo de prueba OMICRON CMC 356.

6.4 SEÑALIZACION DE INYECCION DEL EQUIPO OMICRON CMC 356 EN LA PC

Anteriormente se mencionó que entre las condiciones para el uso del equipo era asociar la unidad de inyección a la PC desde el *software* la señalización de no conexión del equipo hacia la PC se visualiza en la parte inferior derecha de la ventana como se muestra en la figura 6.11.

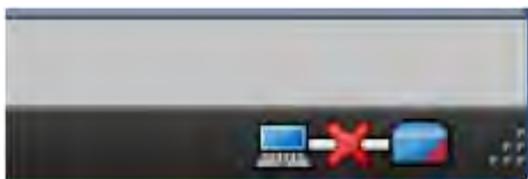


Figura 6.11. Señalización conexión incorrecta PC- OMICRON.

En caso contrario que la asociación del equipo a la PC sea correcta se muestra como en la figura 6.12, el equipo en esta instancia está listo para realizar inyección al relé.



Figura 6.12. Señalización Conexión Correcta PC- OMICRON.

En el caso que la unidad de inyección OMICRON CMC 352 este inyectando corriente y voltajes hacia el relé de protección en cualquier módulo de prueba se mostraría la señalización de la figura 6.13 en la parte inferior derecha del *software*.

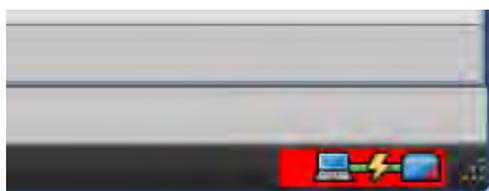


Figura 6.13. Señalización de inyección en curso OMICRON-Relé.

6.5 PRUEBAS AL RELÉ

En Ajustes de dispositivo se ajusta los valores nominales para ambas pruebas tanto prueba de distancia (21) como prueba de sobrecorriente direccional a tierra (67N) como se muestra en la figura 6.14.

Figura 6.14. Ajustes de valores nominales de la OMICRON CMC 356.

Seleccionamos 3 en número de fases en la ventana de la figura 6.14. Frecuencia nominal 60 Hz, en valores nominales para transformadores de corriente (TC) y transformadores de potencial (TP), ajustamos a la relación 500/1 A para TC y 115 kV/110 V para TP. Para factores residuales tanto de tensión como de corriente, filtros antirrebote y antirruído y demás parámetros se dejan por defecto del *software*.

6.5.1 Prueba para función distancia (21)

Se selecciona en la ventana principal del *software* OMICRON *Test Universe 3.00* el módulo para prueba de distancia, entre las opciones al darle clic al módulo se despliega *Distance* para configuración de la prueba, la ventana se muestra en la figura 6.15.

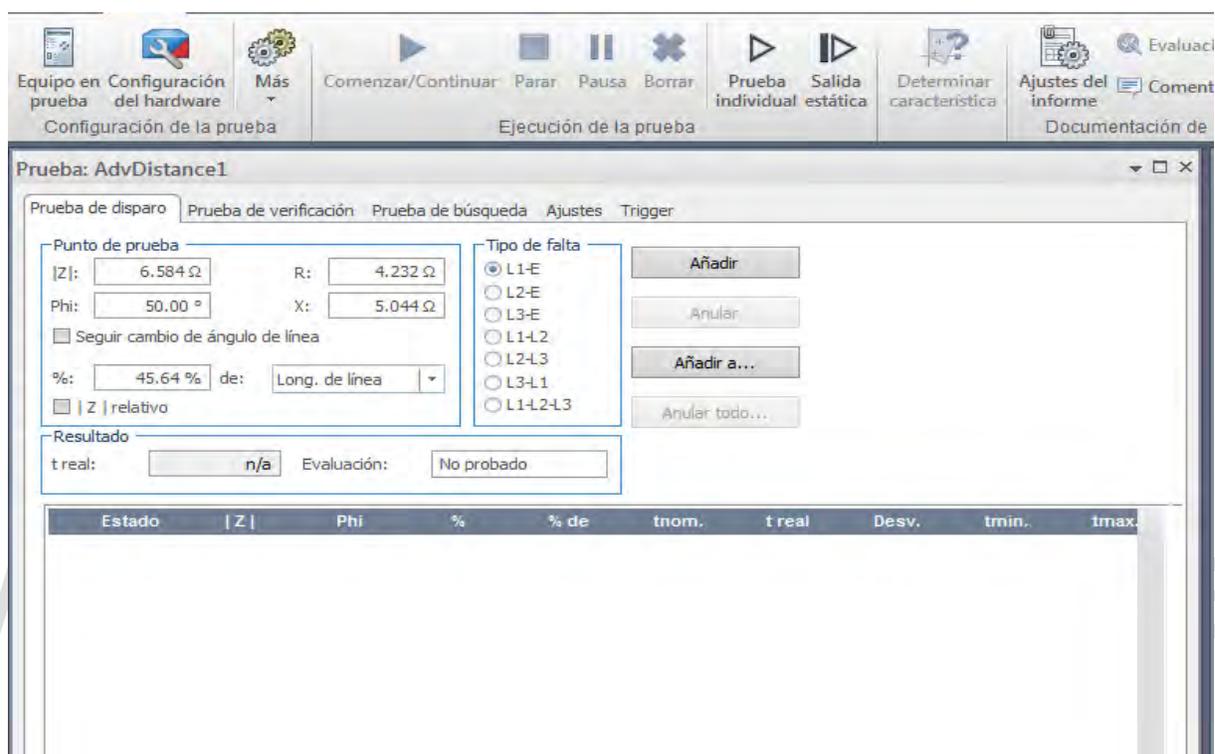


Figura 6.15. Módulo para configuración de prueba de distancia.

Se da clic en Equipo en prueba, en la sección RIO, se despliega una pequeña lista entre las opciones Dispositivo y *Distance*, la parte de dispositivo como ya se mencionó se configurará de igual forma para ambas pruebas tanto distancia como sobrecorriente, dando clic en *Distance* se abre una ventana como se muestra en la figura 6.16 para configuración de los parámetros de prueba.

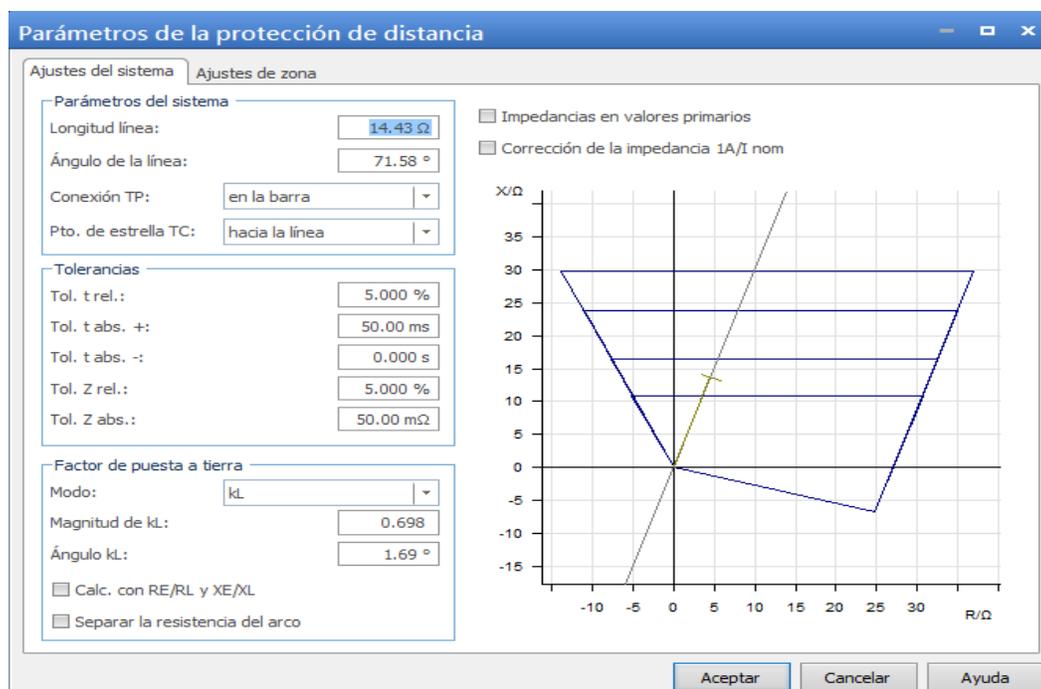


Figura 6.16. Ajustes para el módulo de distancia.

Se ajusta la longitud de la línea entendiendo que el valor que se plasmará es un valor secundario en ohmios junto a su valor de ángulo, se configura también las conexiones de los TC y los TP (en barra o hacia línea), importante el factor de puesta a tierra K_0 para que las pruebas monofásicas a tierra y bifásicas a tierra se den satisfactoriamente, el resto de parámetros se deja por defecto del módulo.

En la zona superior izquierda de la ventana en la figura 6.16 se muestra la sección Ajuste de zona, aquí se configuran las zonas de protección con los parámetros necesarios tanto de reactancia como de resistencia por zona así también como los ángulos del cuadrilátero, tal como se muestra en la figura 6.17.

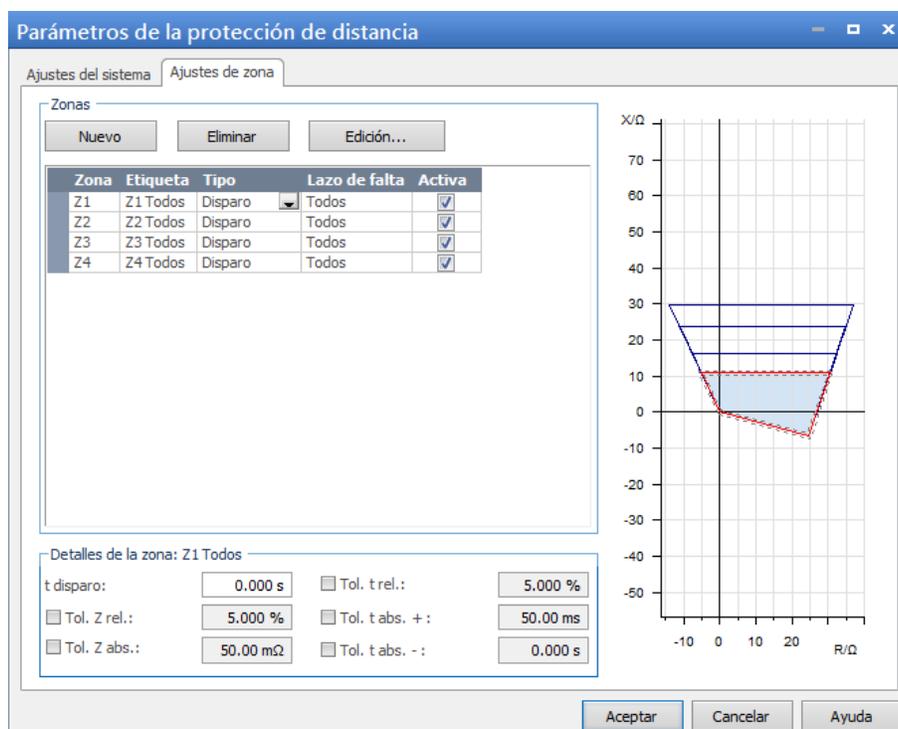


Figura 6.17. Ajustes de las zonas de protección para prueba del relé.

Con los valores dados en el capítulo anterior, se procede a crear tantas zonas como sean necesarias para la protección de la línea, para en el presente caso serán 4, damos clic 4 veces en la opción Nuevo y marcando sobre cada zona podemos ajustar el tiempo de disparo en Detalles de la zona, además en Edición se plasma los ajustes tanto de la distancia en R como en X para cada zona además de los ángulos de cada eje, siendo bastante intuitivo el ajuste. Una vez ajustadas las zonas se muestra en la figura 6.18, el cuadrilátero configurado tanto en el relé de protección como en el software *Test Universe 3.00*.

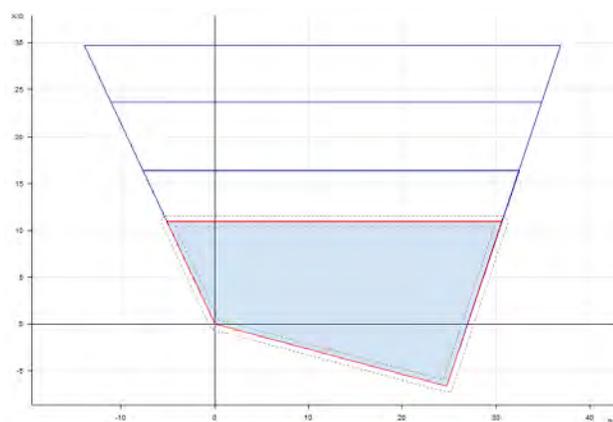


Figura 6.18. Zonas de protección configuradas en Test Universe 3.00.

Test Universe permite desde su interfaz realizar todas las pruebas a la función de distancia del relé 7SA522 en una sola inyección, infiriendo con esto que es posible probar todos los bucles de falta con un solo clic. Para iniciar se selecciona los bucles de prueba para el presente caso se tomaron en cuenta lazos monofásicos R-E, S-E, T-E, lazos bifásicos R-S, S-T, T-R, y lazo trifásico R-S-T. Para seleccionar el punto que se desea probar con un simple clic en las zonas de protección de distancia es posible, como se muestra en la figura 6.19.

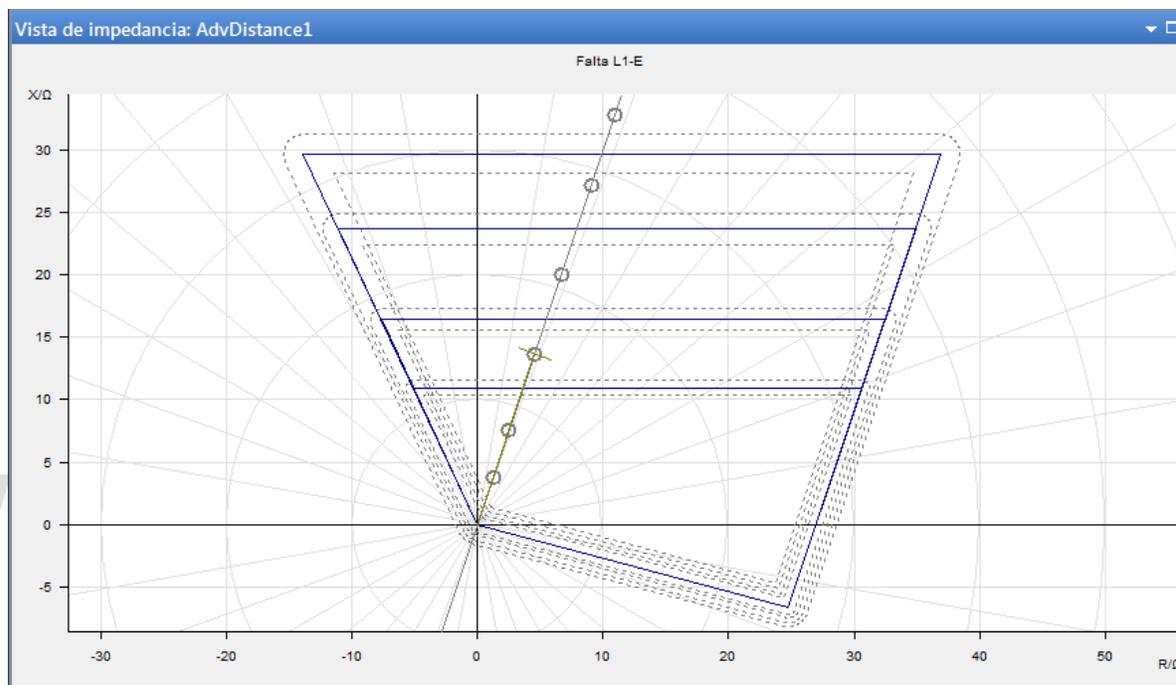


Figura 6.19. Puntos para prueba en las zonas de protección de función distancia.

A continuación, se presentan las tablas exponiendo resultados de las pruebas, en donde se verifica que el relé en cuestión opera adecuadamente, en los tiempos esperados por zona y sin producir disparos erróneos.

Tabla 6.1. Resultados de prueba monofásica lazo L1-E.

$ Z $	Phi	%	% de	$t_{nom.}$	t_{real}	Desv.	Vpru	Resultado
4,000 Ω	71,59 °	n/a		0,000 s	14,70 ms	14,70 ms	10,00 V	Correcta
8,000 Ω	71,59 °	n/a		0,000 s	15,90 ms	15,90 ms	10,00 V	Correcta
14,42 Ω	71,59 °	n/a		400,0 ms	429,8 ms	7,45 %	10,00 V	Correcta
21,14 Ω	71,59 °	n/a		1,200 s	1,231 s	2,592 %	10,00 V	Correcta
28,72 Ω	71,59 °	n/a		3,000 s	3,031 s	1,03 %	10,00 V	Correcta
34,60 Ω	71,59 °	n/a		no disparó	no disparó		10,00 V	Correcta

Tabla 6.2. Resultados de prueba monofásica lazo L2-E.

Z	Phi	%	% de	tnom.	t real	Desv.	Vpru	Resultado
9,334 Ω	25,38 °	n/a		0,000 s	14,10 ms	14,10 ms	10,00 V	Correcta
16,00 Ω	57,25 °	n/a		400,0 ms	430,1 ms	7,525 %	10,00 V	Correcta
26,64 Ω	50,00 °	n/a		1,200 s	1,231 s	2,617 %	10,00 V	Correcta
37,21 Ω	45,04 °	n/a		3,000 s	3,031 s	1,033 %	10,00 V	Correcta
40,00 Ω	54,83 °	n/a		no disparó	no disparó		10,00 V	Correcta

Tabla 6.3. Resultados de prueba monofásica lazo L3-E.

Z	Phi	%	% de	tnom.	t real	Desv.	Vpru	Resultado
23,35 Ω	11,05 °	n/a		0,000 s	31,20 ms	31,20 ms	10,00 V	Correcta
20,87 Ω	40,00 °	n/a		400,0 ms	430,6 ms	7,65 %	10,00 V	Correcta
24,00 Ω	58,23 °	n/a		1,200 s	1,232 s	2,692 %	10,00 V	Correcta
26,73 Ω	100,00 °	n/a		3,000 s	3,043 s	1,44 %	10,00 V	Correcta
37,55 Ω	60,00 °	n/a		no disparó	no disparó		10,00 V	Correcta
32,00 Ω	56,66 °	n/a		3,000 s	3,035 s	1,183 %	10,00 V	Correcta

Tabla 6.4. Resultados de prueba bifásicalazo L1-L2.

Z	Phi	%	% de	tnom.	T real	Desv.	Vpru	Resultado
8,576 Ω	62,20 °	n/a		0,000 s	15,80 ms	15,80 ms	10,00 V	Correcta
14,35 Ω	65,59 °	n/a		400,0 ms	430,7 ms	7,675 %	10,00 V	Correcta
21,54 Ω	68,20 °	n/a		1,200 s	1,231 s	2,583 %	10,00 V	Correcta
28,42 Ω	68,99 °	n/a		3,000 s	3,031 s	1,02 %	10,00 V	Correcta
31,43 Ω	58,51 °	n/a		3,000 s	3,031 s	1,043 %	10,00 V	Correcta

Tabla 6.5. Resultados de prueba bifásicalazo L2-L3.

Z	Phi	%	% de	tnom.	t real	Desv.	Vpru	Resultado
7,153 Ω	60,00 °	n/a		0,000 s	20,10 ms	20,10 ms	10,00 V	Correcta
15,28 Ω	62,97 °	n/a		400,0 ms	430,8 ms	7,7 %	10,00 V	Correcta
22,54 Ω	62,54 °	n/a		1,200 s	1,231 s	2,617 %	10,00 V	Correcta
29,41 Ω	64,43 °	n/a		3,000 s	3,031 s	1,017 %	10,00 V	Correcta

Tabla 6.6. Resultados de prueba bifásicalazo L3-L1.

Z	Phi	%	% de	tnom.	t real	Desv.	Vpru	Resultado
6,859 Ω	50,00 °	n/a		0,000 s	16,30 ms	16,30 ms	10,00 V	Correcta
16,00 Ω	60,00 °	n/a		400,0 ms	431,6 ms	7,9 %	10,00 V	Correcta
22,33 Ω	69,01 °	n/a		1,200 s	1,231 s	2,55 %	10,00 V	Correcta
28,55 Ω	69,08 °	n/a		3,000 s	3,032 s	1,057 %	10,00 V	Correcta

Tabla 6.7. Resultados de prueba trifasicalazo L1-L2-L3.

Z	Phi	%	% de	tnom.	T real	Desv.	Vpru	Resultado
7,144 Ω	60,00 °	n/a		0,000 s	16,00 ms	16,00 ms	10,00 V	Correcta
22,18 Ω	64,40 °	n/a		1,200 s	1,231 s	2,6 %	10,00 V	Correcta
14,65 Ω	62,00 °	n/a		400,0 ms	435,4 ms	8,85 %	10,00 V	Correcta
29,50 Ω	63,49 °	n/a		3,000 s	3,035 s	1,167 %	10,00 V	Correcta
10,47 Ω	62,42 °	n/a		0,000 s	30,60 ms	30,60 ms	10,00 V	Correcta

6.5.2 Prueba de sobrecorriente direccional a tierra (67N)

Se hace clic en el módulo de *Overcurrent* de la ventana de inicio de *Test Universe* mostrada en la figura 6.12. La ventana para ajuste de la función sobrecorriente se muestra en la figura 6.20.

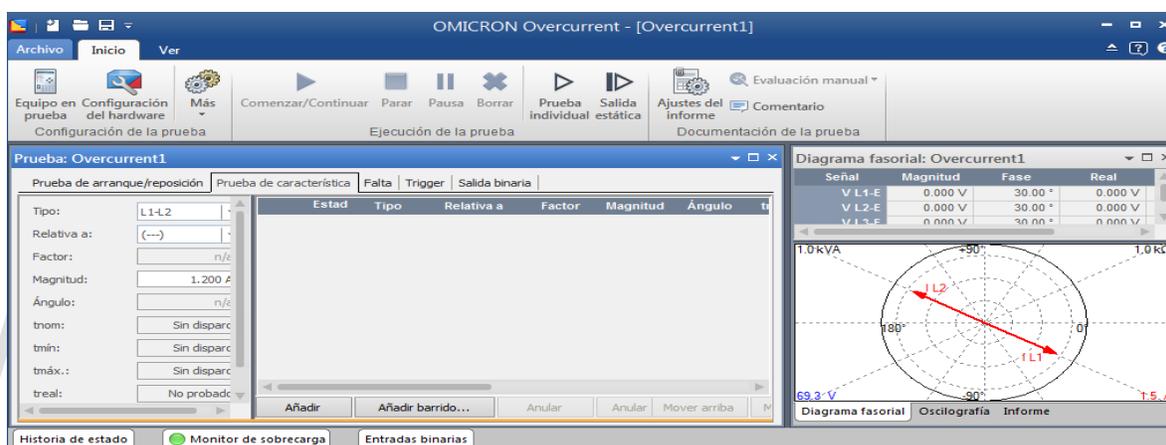


Figura 6.20. Ventana de Inicio Modulo de sobrecorriente.

De manera similar a la función de distancia, clic en Equipo de prueba se despliega un conjunto de opciones, aquí en la sección RIO se da clic en el apartado *Overcurrent* para el ajuste de la prueba para sobrecorriente direccional a tierra tal como se muestra en la figura 6.21.

Figura 6.21. Ajustes de parámetros para prueba de función sobrecorriente direccional a tierra.

En la figura anterior se muestra la sección Parámetros del relé, aquí se ajusta el comportamiento del relé, en el presente caso es direccional también se configuran la conexión del TP y conexión del punto de estrella para el TC, el TP está presente en la barra o el objeto no protegido y el punto de estrella del TC esta hacia el objeto a proteger o línea de transmisión. Las tolerancias las dejamos por defecto del *software*.

En la pestaña superior se muestra también la sección de Elementos, al dar clic aquí se muestra la ventana de la figura 6.22. Aquí se selecciona el tipo de elemento ya sea Fase, Residual, Secuencia Positiva, Secuencia Negativa, Homopolar. En el presente caso se amerita configurar Residual, una vez seleccionada se da clic en Añadir donde aparecerá la función que se configurará con datos anteriormente expuestos en el texto.

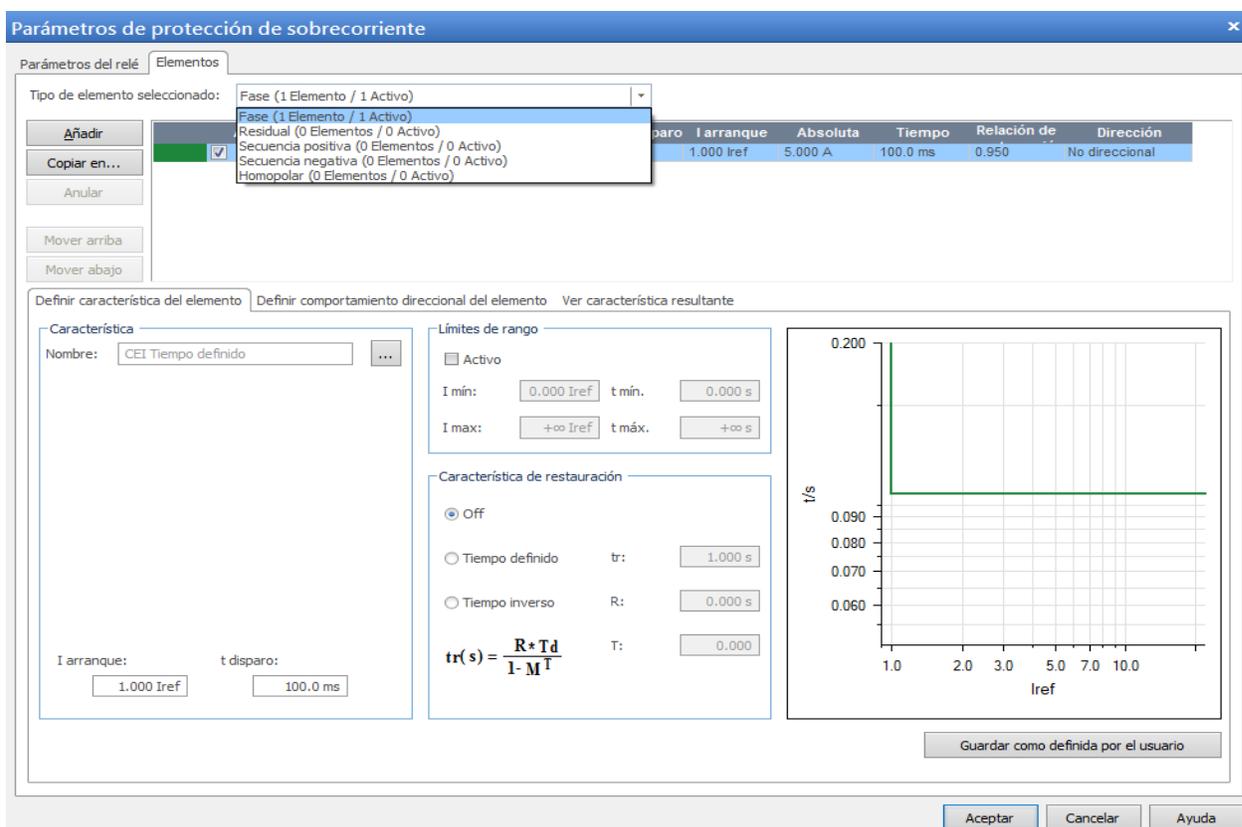


Figura 6.22. Selección del tipo de elemento de sobrecorriente a configurar.

En la figura 6.23. se muestra ya seleccionado el elemento residual con el chulito de activa, se selecciona la característica de disparo en nuestro caso es IEC por tiempo definido, se configura la I de arranque la cual es el umbral de un valor análogo con el cual la protección comienza a realizar el conteo de tiempo para operar, recordando que es un valor secundario Iref (1A), el mismo anteriormente se calculó en el capítulo 4 de ajustes, 0,11 Iref el tiempo de disparo 1,25 s, en la sección Dirección, Hacia delante.

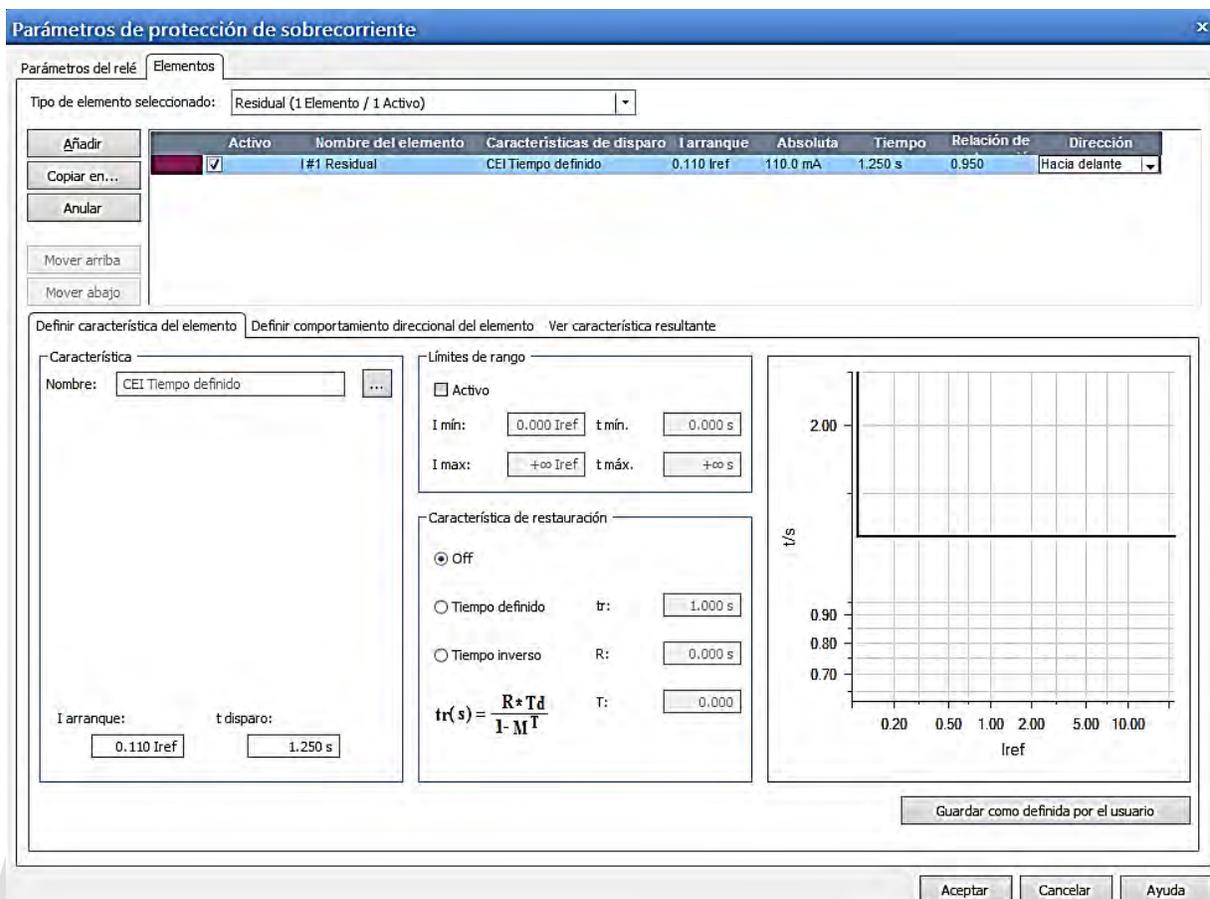


Figura 6.23. Ajustes de parámetro función sobrecorriente direccional a tierra.

En la zona de definir comportamiento direccional del elemento, tal como se muestra en la figura 6.24, se define la zona en la que opera el relé de sobrecorriente direccional a tierra, se introduce el valor en ángulo de torque máximo que es la línea de máxima sensibilidad, con esto decimos que es el ángulo máximo entre la tensión de polarización y la corriente de operación. Se utiliza un relé tipo 60°, 30° en adelanto y 150° en atraso para trazar una línea de torque cero a 90° el cual establece el límite de operación del relé direccional .

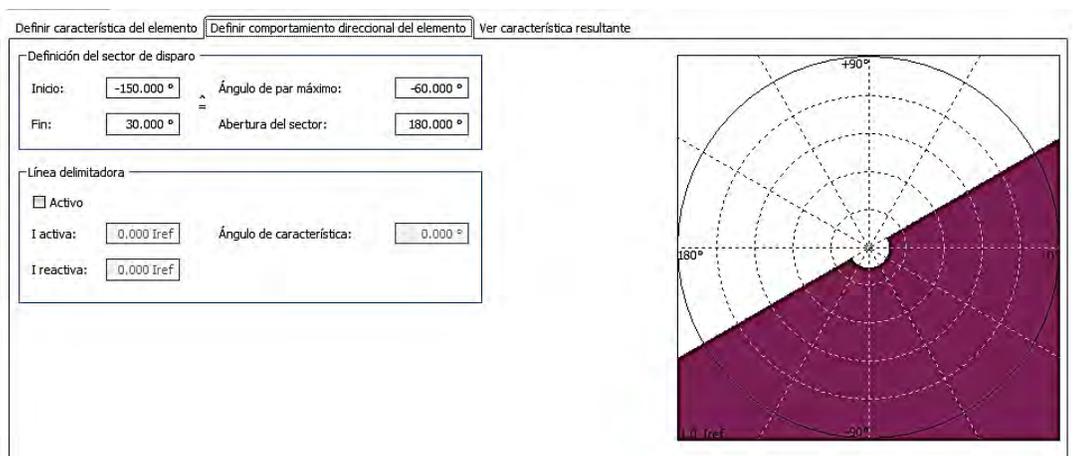


Figura 6.24. Configuración de la zona de operación del relé de sobrecorriente direccional a tierra.

Al salir de Equipo de prueba, se procede a agregar los puntos de prueba para la protección de sobrecorriente direccional a tierra, damos clic en añadir barrido, en Tipos de falta damos clic en L1-E, L2-E y L3-E como fallas monofásicas a tierra. En la opción Relativa a ocupamos seleccionar I #1 Residual, para la opción de valor inicial debemos asignar uno tal que esté por debajo de la corriente de operación, siendo 0,11 A la corriente de operación optamos por ajustar a valor inicial 0,09 A y como valor final 0,13 A. Para ajuste del ángulo como valor inicial 0° y valor final -1° que es igual a 359° , en pasos de 25° . Para un total de 90 puntos de prueba como se muestra en la figura 6.25.

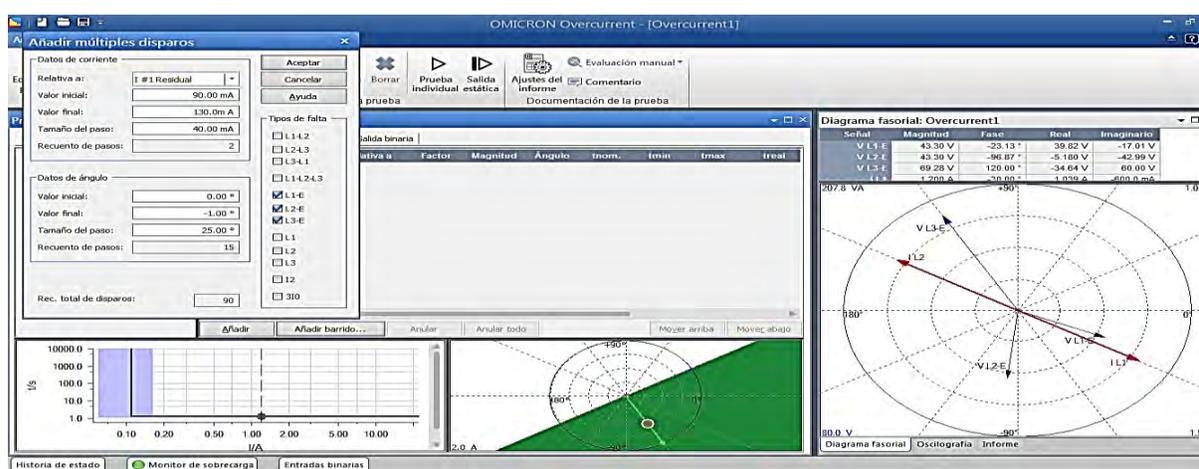


Figura 6.25. Ventana de ajuste de barrido para prueba de sobrecorriente direccional a tierra (67N).

Se muestra en la figura 6.26 los puntos de prueba asignados para cada tipo de falta monofásica

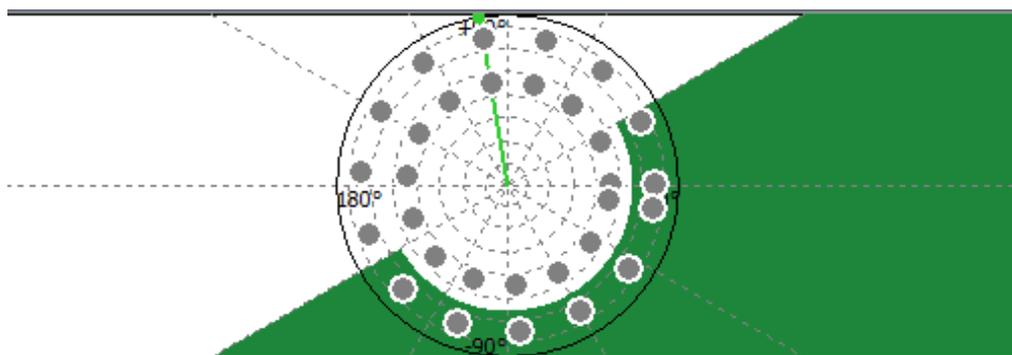


Figura 6.26. Puntos de prueba para cada tipo de falta monofásica de la función 67N.

Los resultados se muestran en la tabla 6.8 observando la operación para cada ángulo y magnitud de corriente para cada tipo de falta, dando detalles del tiempo de operación en el caso de ser necesario y cuando no, la indicación de no disparo.

Tabla 6.8. Resultados de la Prueba al relé para función 67N.

Tipo	Relativa a	Factor	Magnitud	Ángulo	tnom.	treal	Sobrecarga	Resultado
R-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	0,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	0,00 °	1,250 s	1,286 s	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	25,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	25,00 °	1,250 s	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	50,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	50,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	75,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	75,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	100,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	100,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	125,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	125,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	150,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	150,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	175,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	175,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-160,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-160,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-135,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-135,00 °	1,250 s	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-110,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-110,00 °	1,250 s	1,285 s	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-85,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-85,00 °	1,250 s	1,285 s	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-60,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-60,00 °	1,250 s	1,285 s	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-35,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-35,00 °	1,250 s	1,286 s	No	Correcta

Tabla 6.8. Resultados de la Prueba al relé para función 67N. (Continuación)

Tipo	Relativa a	Factor	Magnitud	Ángulo	tnom.	treal	Sobrecarga	Resultado
R-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-10,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
R-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-10,00 °	1,250 s	1,286 s	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	0,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	0,00 °	1,250 s	1,286 s	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	25,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	25,00 °	1,250 s	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	50,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	50,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	75,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	75,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	100,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	100,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	125,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	125,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	150,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	150,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	175,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	175,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-160,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-160,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-135,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-135,00 °	1,250 s	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-110,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-110,00 °	1,250 s	1,286 s	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-85,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-85,00 °	1,250 s	1,285 s	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-60,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-60,00 °	1,250 s	1,285 s	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-35,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-35,00 °	1,250 s	1,285 s	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-10,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
S-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-10,00 °	1,250 s	1,286 s	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	0,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	0,00 °	1,250 s	1,286 s	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	25,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	25,00 °	1,250 s	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	50,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	50,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	75,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	75,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	100,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	100,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	125,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	125,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	150,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	150,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	175,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	175,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-160,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-160,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-135,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-135,00 °	1,250 s	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-110,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-110,00 °	1,250 s	1,285 s	No	Correcta

Tabla 6.8. Resultados de la Prueba al relé para función 67N. (Continuación)

Tipo	Relativa a	Factor	Magnitud	Ángulo	tnom.	treal	Sobrecarga	Resultado
T-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-85,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-85,00 °	1,250 s	1,285 s	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-60,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-60,00 °	1,250 s	1,285 s	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-35,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-35,00 °	1,250 s	1,285 s	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	0,818	0,09 A	-10,00 °	Sin disparo	Sin disparo	No	Correcta
T-E	I #1 Residual	1,182	0,13 A	-10,00 °	1,250 s	1,286 s	No	Correcta

Verificar un óptimo funcionamiento del relé instalado es de importancia, se debe asegurar que el relé cuente con la velocidad necesaria para captar fallas así sea mínima y con ello de la orden para apertura del disyuntor y mitigar la misma, por ende la unidad de inyección OMICRON CMC 356 representa una gran herramienta para simular en el relé condiciones de falla tal que evalúen el desempeño del mismo.

Se necesita entonces datos de la subestación, de la línea y de los cálculos realizados para el ajuste de las funciones de protección tanto la principal (21) como la secundaria (67N) para proceder a ajustar la plantilla de prueba en el equipo de inyección OMICRON CMC 356. Finalmente se procede a inyectar los parámetros eléctricos desde la unidad hacia el relé tal que simule las condiciones de fallas, evaluando el funcionamiento y entregando finalmente el informe de resultados, con ellos se concluye si se tiene un buen funcionamiento o caso contrario mal funcionamiento del relé.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Los sistemas de protección representan parte esencial en un sistema eléctrico de potencia, la necesidad de proteger los componentes ante afectaciones y fallas causadas naturalmente o por errores humanos depende de estas, se debe tener un plan de inspección y mantenimiento constante de ellas para un óptimo funcionamiento de las mismas, también hay que tener en cuenta que una buena coordinación de las protecciones eléctricas nos garantiza minimizar los riesgos.

Destacando las premisas de una protección eléctrica las cuales son selectividad, confiabilidad, sensibilidad y velocidad, se debe velar por ellas para el buen funcionamiento del sistema de protección y a su vez la buena operación del SEP, de esta manera se minimizan los daños causados por fallas y alteraciones al sistema y evitar riesgos mayores tales como destrucción de componentes estando esto directamente relacionado con la suspensión del suministro eléctrico.

En el presente proyecto el norte representó el estudio ajuste e instalación de un relé de distancia SIEMENS 7SA522 de tecnología numérica y un catálogo de funciones necesarias para una correcta protección a líneas de transmisión, en este caso la línea de transmisión (S/E Buena Vista- S/E Trujillo) en el extremo Buena Vista para una tensión de trabajo de 115 kV concluyendo de manera satisfactoria la puesta en marcha del tablero de protección habiendo cumplido con los objetivos fijados y de acuerdo a la experiencia se puede decir de manera general lo siguiente:

- La responsabilidad y el deber de estudiar el manual de los equipos a implementar como primer paso, en este caso el relé 7SA522, para obtener información acerca de las

funcionalidades y características del mismo para realizar un correcto uso del equipo en cuanto a manejo y configuración se refiere, a partir de su *software* DIGSI.

- Lo importante que es para el desarrollo del proyecto conocer los parámetros de la línea de transmisión a proteger, tales como su configuración a lo largo del trayecto que conecta las dos subestaciones, su impedancia de secuencia positiva y secuencia cero para posteriores cálculos y ajustes, la distancia respectiva de la línea importante a la hora de ajustar, se menciona también el tipo de conductor así como su capacidad nominal de corriente para la cual está diseñada.
- Imperante tener los planos tanto de la subestación como del tablero de protección para el montaje del relé en el cubículo propuesto en la sala de protecciones en la subestación, se revisaron los planos de la subestación para verificar las conexiones necesarias (corriente, voltaje, disparos, alarmas, entre otros), y de manera simultánea se realizó un estudio de los planos propios de la protección para realizar la conexión subestación-rele, representando parte medular en el trayecto requerido para el montaje final, en el cual se plasma finalmente la estructura física final que pernotara en la sala de relé ya cableada y lista para su funcionamiento.
- La necesidad de realizar cálculos y ajustes, a partir de criterios de CORPOELEC para las zonas de distancia el cuadrilátero consto de cuatro zonas hacia adelante cada una con sus valores de reactancias y resistencias de acuerdo al porcentaje de línea a proteger, para la función 67N se ajustó a un valor del 12% debido a criterios de la corporación para arranque de la función con un tiempo de actuación definido por la corporación para líneas a 115 kV.

Las pruebas fueron realizadas a partir de la unidad de inyección OMICRON CMC 356 al relé 7SA522, creadas primeramente las plantillas con los ajustes y parámetros necesarios mediante el *software* *Test Universe 3.00*, la inyección se hizo para cada función por separado tanto la 21

como la 67N, obteniéndose resultados satisfactorios, verificando de esta forma el óptimo estado del relé de distancia para la puesta en marcha del mismo

El relé numérico tiene como ventaja la facilidad de implementar esquemas de comunicación dentro de la lógica de disparo, con estos canales se mejora el desempeño del relé de distancia, es decir, con más opciones que resultan en tiempos menores para liberación de fallas, se concluye que existe la necesidad de innovar y mejorar con ello las prestaciones de los equipos que maneja la corporación.

Finalmente se puede decir que los objetivos pautados para el presente proyecto fueron cumplidos a cabalidad, dejando en pleno funcionamiento y con las prestaciones requeridas por el sistema el tablero de protección SIEMENS 7SA522, aumentando de esta forma la confiabilidad en la protección de la línea de transmisión, así como un mejoramiento en el sistema eléctrico de la región como un general, ganando mayor robustez y seguridad en el transporte de energía en la región.

RECOMENDACIONES

- ❖ Se recomienda a futuros tesisistas del área leer detalladamente los manuales para entender las funcionalidades y características de los equipos a utilizar, tener precaución en las áreas con peligro eléctrico teniendo en cuenta que la seguridad física es lo primero, por ende, hacer uso de los implementos de seguridad que se requieran como cascos y botas de seguridad.
- ❖ Se recomienda hacer uso consiente del recurso de la energía eléctrica, recordando que para la generación transmisión y distribución del mismo se necesitan grandes infraestructuras con un costo de mantenimiento alto así como de personal altamente calificado para el manejo de las máquinas y equipos, en general representando todo ello como conglomerado costos muy altos monetarios además de un exhaustivo trabajo que es continuo para de esta forma contar con un sistema eléctrico estable y funcional.
- ❖ Se recomienda a la corporación proyectar la puesta en marcha de los sistemas de teleprotección para las líneas de transmisión presentes en la región andina, lo cual va estrechamente relacionado a la reinstalación de un control supervisor SCADA para el

monitoreo del sistema regional. Dando con esto paso a que nuevos tesistas puedan optar por acompañar en el desarrollo de dichos proyectos. También se recomienda seguir impartiendo la oportunidad a estudiantes a poder desenvolverse dentro de sus instalaciones, adentrándose a la vida profesional.

www.bdigital.ula.ve

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] J. Benítez Luque, «Instalación de un relé de protección de distancia marca SIEMENS modelo 7SA612, asociado a la línea a 230 kV S/E Buena Vista-S/E Vigía II, extremo S/E Vigía II,» 2019. [En Línea]. Disponible: <https://es.scribd.com/document/433753924/Tesis-JavierBenitez-LISTO>. [Ultimo acceso: 15 Junio 2021].

[2] D. Carreño, « Evaluar la coordinación de protección para una red eléctrica de 115kV perteneciente al noreste del estado Carabobo del sistema eléctrico nacional,» 2017. [En línea]. Disponible: http://190.169.30.62/bitstream/10872/20087/1/TESIS_PRE-GRADO_DOUGLAS_CARRE%C3%91O.pdf. [Ultimo acceso: 14 Junio 2021].

[3] A. Milano y L. Rodríguez, «Instructivo para la comprensión y utilización de la unidad relé protección de distancia SIPROTEC 4 modelo 7SA522 de siemens, para el curso de protecciones eléctrica de la escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Carabobo,» 2016. [En línea]. Disponible: <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/handle/123456789/5315>. [Ultimo acceso: 13 Junio 2021].

[4] (S. García Pérez «Criterios de protección y control en el diseño de las instalaciones de la red de transporte y distribución. Desarrollo de aplicación informática para la elaboración de listados de materiales de subestaciones,» 2011. [En línea]. Disponible:<https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/11802>. [Ultimo acceso: 2 Junio 2021].

[5] UPEL. (2016). Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestrias y Tesis Doctorales. [En Línea]. Disponible: https://www.academia.edu/31803770/Manual_UPEL_2016_pdf. [Ultimo acceso: 21 Noviembre 2021].

[6] J. Vaschetti, «Control en tiempo real del sistema eléctrico de potencia mediante técnicas de inteligencia artificial,» 2013. [En línea]. Disponible:

<https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/780/Tesis-Vaschetti.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Ultimo acceso: 12 Junio 2021].

[7] P. Sierra, «Propuesta para el reemplazo del sistema de protección GSX5a BBC de la unidad generadora III en planta centro,» 2016. [En línea]. Disponible:<http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/5318/sierrao.pdf?sequence=1>. [Ultimo acceso: 14 Junio 2021].

[8] «Wikipedia,» 2021. [En línea]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_suministro_el%C3%A9ctrico. [Ultimo acceso: 13 Junio 2021].

[9] O. Aguilar y O. Peralta, «Estudio de esquemas de protección de distancia con canal de comunicación para líneas de transmisión,» 2017. [En Línea]. Disponible: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/22541/1/Tesis%20Proteccion%20de%20Distancia%202021.pdf>. [Ultimo acceso: 14 Junio 2021].

[10] R. Uscamayta, « Estudio de coordinación de protección en la subestación de Totorani acorde a los nuevos cambios de la topología en alta y media tensión para el año 2021,» 2020. [En Línea]. Disponible: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/14279/Uscamayta_Guti%C3%A9rrez_Rigoberto.pdf?sequence=1&isAllowed=y. [Ultimo acceso: 17 de Junio 2021].

[11] R. Stephens y C. Romero, Protección de Sistemas de Potencia, Mérida: Universidad de Los Andes. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Potencia, 2000.

[12] P. Arozqueta Zúñiga, «Comparación de las filosofías de esquemas de protección para líneas de transmisión» 2016. [En Línea]. Disponible: <http://repositorio.tecnm.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/53/1/COMPARACION%20DE%20LAS%20FILOSOFIAS%20DE%20ESQUEMAS%20DE%20PROTECCION%20PARA%20LINEAS%20DE%20TRANSMISION.pdf>. [Ultimo acceso: 18 Junio 2021].

[13] COES SINAC, «Criterios de ajuste y coordinación de los sistemas de protección del SEIN,» 2014. [En línea]. Disponible: <http://contenido.coes.org.pe/alfrescostruts/download.do?nodeId=b957d7f4-8553-40f6-b85a-e019714e41a1>. [Último acceso: 22 Junio 2021].

[14] F. Olvera Blanco, «Relevadores de protección aplicados a las líneas de transmisión,» 1999. [En línea]. Disponible: <http://eprints.uanl.mx/6370/1/1080098235.PDF>. [Ultimo Acceso: 24 Junio 2021].

[15] K. Serrano Montano «Esquema de protección y tele protección para la línea Las Claritas-Luepa-Santa Elena,» 2007. [En línea]. Disponible: https://www.academia.edu/37078833/ESQUEMA_DE_PROTECCI%C3%93N_Y_TELEPROTECCI%C3%93N_PARA_LA_L%C3%8DNEA_LAS_CLARITAS_LUEPA_SANTA_ELENA. [Ultimo Acceso: 24 Junio 2021].

[16] J. Figueroa, «INFORMACIONCLASESIUPSM,» 2014. [En línea]. Disponible: <http://informacionclasesiupsm.webnode.com.ve/>. [Último acceso: 25 Junio 2019].

[17] P. Arozqueta, «Comparación de las filosofías de esquemas de protección para líneas de transmisión,» 2016. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.tecnm.mx:8080/jspui/bitstream/123456789/53/1/COMPARACION%20DE%20LAS%20FILOSOFIAS%20DE%20ESQUEMAS%20DE%20PROTECCION%20PARA%20LINEAS%20DE%20TRANSMISION..pdf>. [Ultimo acceso: 28 Junio 2021].

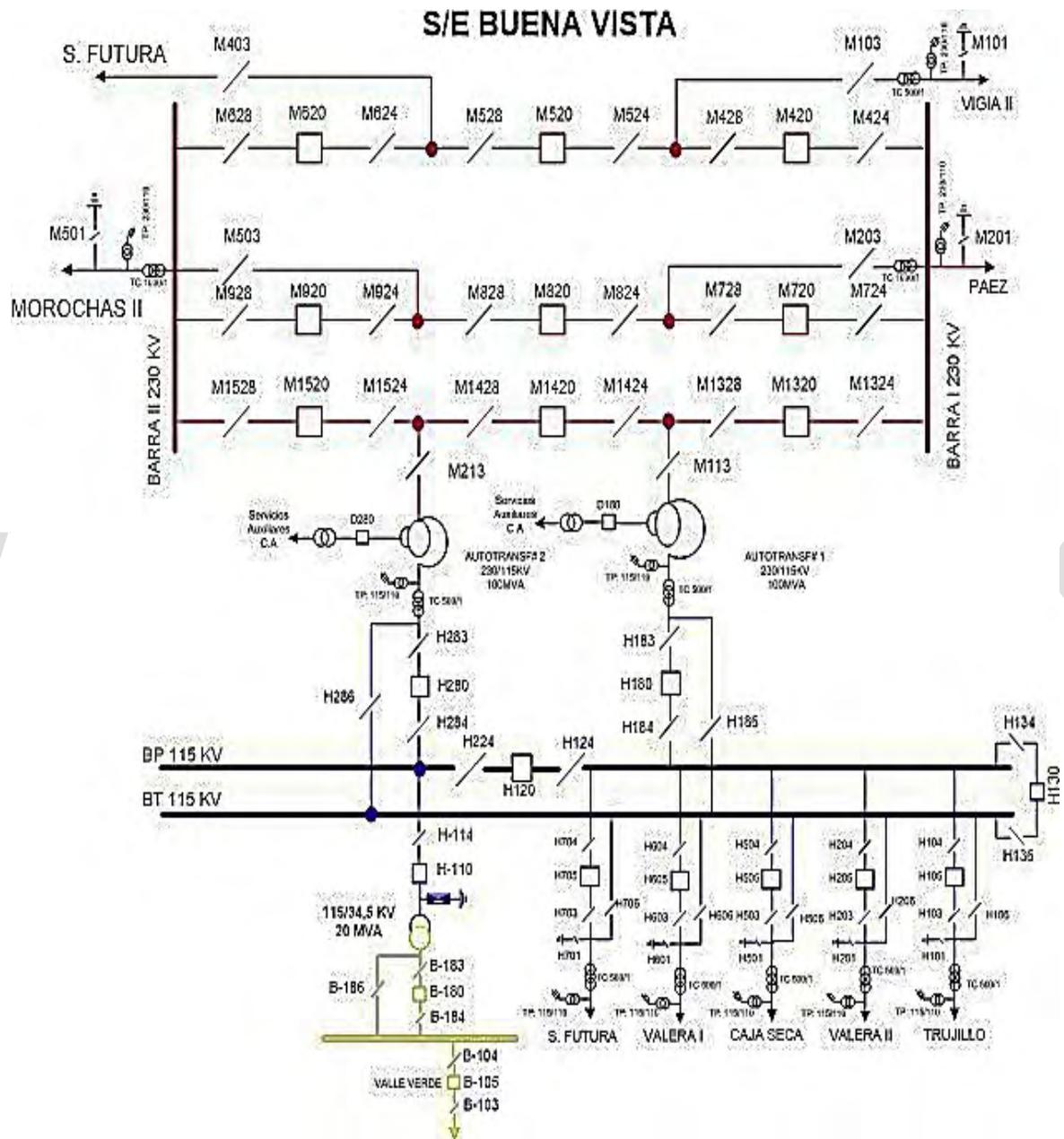
[18] X. Proaño, «Protecciones Eléctricas,» 2018. [En línea]. Disponible: https://tuxdoc.com/downloadFile/clasificacion-rele-21_pdf. [Ultimo acceso: 29 Junio 2021].

[19] M. G. Velásquez Gil, «Coordinación de protecciones de distancia asociadas a la interconexión del sistema eléctrico del estado Nueva Esparta con la red de tierra firme.,» 2012. [En línea]. Disponible: <https://es.slideshare.net/carlosdgonazalez/proteccion-de-distancia>. [Último acceso: 30 Junio 2021].

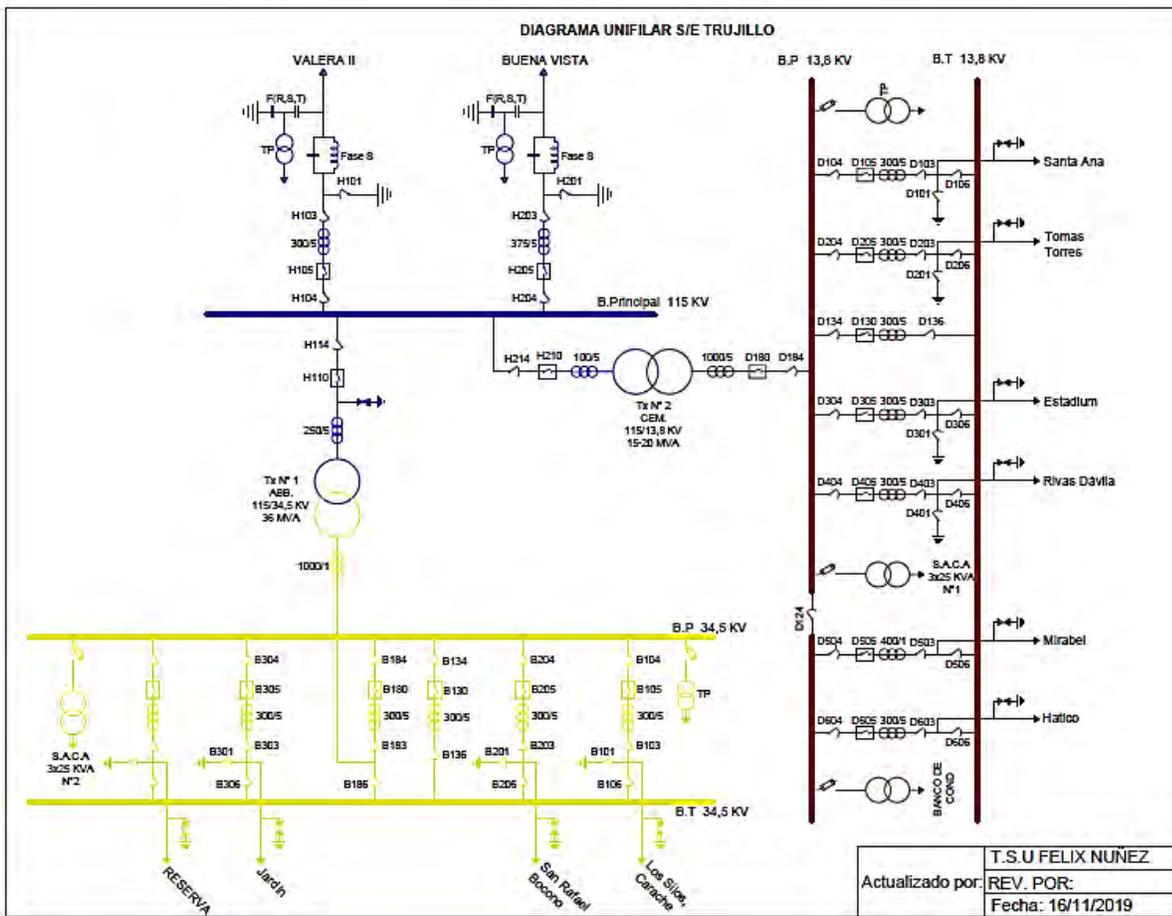
[20] SIEMENS, SIPROTEC. 7SA52 Manual, 2006.

www.bdigital.ula.ve

ANEXOS



Anexo 1. Diagrama Unifilar Subestación Buena Vista.



Anexo 2. Diagrama Unifilar Subestación Trujillo.



Anexo 3. Relé ABB LZ92.



Anexo 4. Equipo de prueba OMICRON CMC 356.



Anexo 5. Gabinete a instalar de protección de distancia 7SA52.