



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE
PROTECCIONES PARA SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA (SEP)
APLICADO A SISTEMAS DE TRANSMISIÓN”

AUTORES

Kevin Xavier Cruz Rodríguez

Christian Marcelo Morales Cisneros

DIRECTOR: Ing. Msc. Roy Freddy Santana Jara

GUAYAQUIL

2016

CERTIFICADOS DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Kevin Xavier Cruz Rodríguez y Christian Marcelo Morales Cisneros autorizamos a la **Universidad Politécnica Salesiana** la publicación total o parcial de este trabajo de titulación y su reproducción sin fines de lucro.

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

Guayaquil, noviembre, 30, 2016

f)_____

Autor: Kevin Cruz

Cédula: 2000075479

f)_____

Autor: Christian Morales

Cédula: 1714332101

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

Nosotros, KEVIN XAVIER CRUZ RODRÍGUEZ con documento de identificación N° 2000075479 y CHRISTIAN MARCELO MORALES CISNEROS con documento de identificación N° 1719304311, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado titulado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE PROTECCIONES PARA SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA (SEP) APLICADO A SISTEMAS DE TRANSMISIÓN”, mismo que hemos desarrollado para optar por el título de INGENIERO ELÉCTRICO, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la universidad facultada para ejercer plenamente los derechos antes cedidos.

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

Guayaquil, noviembre, 30, 2016

f) _____

Autor: Kevin Cruz

Cédula: 2000075479

f) _____

Autor: Christian Morales

Cédula: 1714332101

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN SUSCRITO POR EL TUTOR

Yo, ROY FREDDY SANTANA JARA, director del proyecto de Titulación denominado “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MÓDULO DIDÁCTICO DE PROTECCIONES PARA SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA (SEP) APLICADO A SISTEMAS DE TRANSMISIÓN”, realizado por los estudiantes, Kevin Xavier Cruz Rodríguez y Christian Marcelo Morales Cisneros, certifico que ha sido orientado y revisado durante su desarrollo, por cuanto se aprueba la presentación del mismo ante las autoridades pertinentes.

Guayaquil, noviembre, 30, 2016

f).....

Roy Freddy Santana Jara

Ing. Msc.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de tesis a las tres mujeres de mi vida:

A mi esposa, mi motor de felicidad y ánimo constante, este es sólo un paso más de nuestro andar.

A mi amorosa madre, que dedicó y sigue dedicando su vida para hacer de mí una persona segura, con fortaleza para enfrentar los retos y con gratitud hacia las personas que amo.

Finalmente, a mi Bitá, que fue un ángel en la tierra y por siempre será una fuente de refugio y amor incondicional.

Christian Morales

Este trabajo lo dedico a:

Mis padres Eduardo Cruz y María Elena Rodríguez, por su apoyo incondicional y sabiduría que me supieron impartir hasta convertirme en un profesional.

Mis hermanos y a toda mi familia, que de una u otra forma me apoyaron y estuvieron conmigo en este proceso.

Agradezco a Dios, por permitirme terminar esta etapa de mi vida, tan fundamental y esencial en el ser humano.

Kevin Cruz

AGRADECIMIENTOS

En un mundo que nos exige ser cada vez más eficientes y competitivos, agradecemos a la Universidad Politécnica Salesiana, por permitirnos incursionar en tecnologías innovadoras y eficaces para el control de los Sistemas Eléctricos de Potencia, aumentando nuestros conocimientos y nuestra visión tecnológica.

Agradecemos a los maestros encargados de los laboratorios y al personal administrativo, por brindarnos la apertura en sus instalaciones, en especial al Ing. Ervin Solano por su valioso aporte teórico y práctico.

Agradecemos a nuestro director de tesis, Ing. Roy Santana, por guiar el desarrollo de la tesis, aportando su elevado conocimiento en sistemas de potencia, exigiéndonos un estudio completo y una investigación profunda en cada tema, haciendo de este un proyecto innovador y fiable.

Christian Morales, Kevin Cruz

RESUMEN

Debido a la creciente demanda energética del país, el gobierno, dentro del plan del buen vivir, plantea un cambio en la matriz energética, debiendo adoptar técnicas que permitan transportar energía eléctrica de manera segura y confiable hacia los centros de distribución.

La Universidad Politécnica Salesiana, ha dotado de los principales equipos para la realización de tres módulos didácticos para: generación, transmisión y distribución, para la concepción completa de un SEP.

El objetivo es diseñar y construir un módulo didáctico aplicado a Sistemas de Transmisión para evaluar la correcta coordinación de protecciones y equipos de monitoreo y control en estado estable y condiciones de falla.

Se empleará principios eléctricos, normas y ecuaciones referentes al tema, para el diseño, el programa ETAP para simular el circuito y el software LOGO Soft, para programar el PLC.

Se dejará el módulo operativo para funcionar de manera independiente y en coordinación con los módulos de Generación y Distribución y se entregará un manual de prácticas de laboratorio para el uso del módulo de Protecciones aplicado a Sistemas de Transmisión, mediante la ejecución de prácticas de laboratorio.

Palabras clave: DEMANDA ENERGÉTICA, MATRIZ ENERGÉTICA, SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA, SISTEMA DE TRANSMISIÓN, ETAP.

ABSTRACT

Due to the growing energy demand of the country, the government, in the “Plan del Buen Vivir”, poses a change in the energy matrix, must adopt techniques to transport electricity safely and reliably to distribution centers manner.

The “Universidad Politécnica Salesiana”, has provided key equipment for the realization of three training modules for generation, transmission and distribution, for the full conception of a SEP.

The goal is to design and build a training module Transmission Systems applied to evaluate the proper coordination of protections and monitoring and control equipment at steady state and fault conditions.

Electrical principles, rules and equations will be used for the design, the ETAP program to simulate the circuit and the LOGO Soft software to program the PLC.

The module can operate independently and in coordination with the Generation and Distribution modules and laboratory practice manual will be given for using the Protection module applied to transmission systems by implementing practices.

Keywords: ENERGY DEMAND, ENERGY MATRIX, POWER SYSTEM, TRANSMISSION SYSTEM, ETAP.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Pág

1. EL PROBLEMA.....	3
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2. ANTECEDENTES	3
1.3. IMPORTANCIA Y ALCANCES.....	4
1.4. DELIMITACIÓN	4
1.5. OBJETIVOS	5
1.5.1. OBJETIVO GENERAL.....	5
1.5.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	5
1.6. MARCO METODOLÓGICO	5
1.6.1. RECOLECCIÓN DE DATOS Y FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	5
1.6.2. INVESTIGACIÓN TEÓRICA PRÁCTICA	5
1.6.3. INSTRUMENTACIÓN.....	6
2. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA.....	7
2.1.1. SISTEMA ENMALLADO.....	7
2.1.2. SISTEMA RADIAL.....	8
2.1.3. SISTEMA DE POTENCIA INTERCONECTADO	8
2.2. CONFIABILIDAD DE UN SEP	9
2.3. MODELADO DE UN SEP.....	11
2.3.1. MODELO DE LÍNEA DE TRANSMISIÓN	12
2.3.2. MODELO DE LAS CARGAS.....	14
2.4. SISTEMA DE TRANSMISIÓN	14
2.4.1. MATERIALES UTILIZADOS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	15
2.4.2. ELEMENTOS PRINCIPALES EN UNA LÍNEA AÉREA DE TRANSMISIÓN	16
2.4.2.1. AISLADORES	16
2.4.2.2. APOYOS	17
2.4.2.3. PARARRAYOS	17
2.4.2.4. CABLES O HILOS DE GUARDA	17
2.4.2.5. SISTEMA DE TIERRAS.....	17
2.4.2.6. CONDUCTORES.....	17
2.4.3. AISLAMIENTO EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREAS	18
2.4.3.1. EL AIRE EN EL AISLAMIENTO DE LÍNEAS	18
2.4.3.2. AISLADORES DE LÍNEA	18
2.4.4. HERRAJES PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	20
2.4.5. CONFIGURACIÓN DE LOS APOYOS PARA LÍNEAS AÉREAS	21
2.5. COMPONENTES SIMÉTRICAS DE UNA LÍNEA DE TRANSMISIÓN	21
2.5.1. RESISTENCIA.....	22
2.5.2. INDUCTANCIA DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	23
2.5.3. CAPACITANCIA DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	25
2.6. DETERMINACIÓN DEL AISLAMIENTO	26
2.6.1. LONGITUD DE LA CADENA DE AISLADORES	26
2.6.2. FACTOR DE CORRECCIÓN POR DENSIDAD DE AIRE (KDA):	28
2.6.3. FACTOR DE CORRECCIÓN POR HUMEDAD (KH):.....	29
2.7. DISTANCIA DE FUGA	30
2.8. FALLAS DE CORTOCIRCUITO	32
2.8.1. TIPOS DE FALLA DE CORTOCIRCUITO.....	33
2.8.1.1. CORTOCIRCUITOS TRIFÁSICOS SIMÉTRICOS	33

2.8.1.2.	CORTOCIRCUITOS ASIMÉTRICOS.....	34
2.8.2.	CORRIENTES DE FALLA	35
2.8.3.	INTENSIDAD DE CORTOCIRCUITO	36
2.9.	CONFIGURACIÓN DE CONEXIÓN DE BARRAS E INTERRUPTORES.....	38
2.9.1.	CONFIGURACIÓN DE BARRA SIMPLE.....	38
2.9.2.	CONFIGURACIÓN BARRA SIMPLE PARTIDA	39
2.9.3.	CONFIGURACIÓN BARRA SIMPLE CON BYPASS.....	39
2.9.4.	JUEGO DE BARRAS CON TRANSFERENCIA	40
2.9.5.	CONFIGURACIÓN DOBLE BARRA.....	41
2.9.6.	CONFIGURACIÓN DE ANILLO	42
2.10.	RELÉ DE DISTANCIA SEL 421	42
2.10.1.	REGISTRO DE EVENTOS	43
2.10.2.	FRECUENCIA DE MUESTREO	44
2.10.3.	COMUNICACIONES	44
2.10.4.	PROTECCIÓN DE FALLAS DEL INTERRUPTOR	44
2.10.5.	PÉRDIDA DE TENSIÓN.....	44
2.10.6.	SISTEMA DEL RELÉ 421.....	45
2.11.	RELÉ DE SOBRE CORRIENTE SEL 751.....	45
2.11.1.	PRINCIPALES FUNCIONES DE PROTECCIÓN Y CONTROL	46
2.11.2.	BENEFICIOS	47
2.11.3.	ELEMENTOS DE PROTECCIÓN DE POTENCIAL	48
2.11.4.	ARC-FLASH DE PROTECCIÓN.....	48
2.12.	FLUJO DE POTENCIA EN ETAP	48
3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODULO DE TRANSMISIÓN.....	50
3.1.	DISEÑO DEL MÓDULO.....	50
3.1.1.	DISEÑO MECÁNICO DEL MÓDULO	51
3.1.2.	LÍNEAS DE TRANSMISIÓN.....	58
3.2.	SELECCIÓN DEL CONDUCTOR PARA LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN TEÓRICA	59
3.3.	MODELADO PARA LA LÍNEA CORTA	61
3.3.1.	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DEL CONDUCTOR LÍNEA CORTA	61
3.3.2.	CÁLCULO DE LA INDUCTANCIA LÍNEA CORTA	62
3.3.3.	CÁLCULO DE LA REACTANCIA INDUCTIVA LÍNEA CORTA	63
3.4.	MODELADO PARA LA LÍNEA MEDIA.....	64
3.4.1.	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DEL CONDUCTOR LÍNEA MEDIA.....	64
3.4.2.	CÁLCULO DE LA INDUCTANCIA LÍNEA MEDIA.....	64
3.4.3.	CÁLCULO DE LA REACTANCIA INDUCTIVA LÍNEA MEDIA.....	64
3.4.4.	CÁLCULO DE LA CAPACITANCIA DE LÍNEA MEDIA	65
3.4.5.	CÁLCULO DE LA REACTANCIA CAPACITIVA DE LÍNEA MEDIA	65
3.5.	MODELADO PARA LAS LÍNEAS LARGAS	66
3.5.1.	CÁLCULO DE LA RESISTENCIA DEL CONDUCTOR LÍNEA LARGA	66
3.5.2.	CÁLCULO DE LA INDUCTANCIA LÍNEA LARGA	66
3.5.3.	CÁLCULO DE LA REACTANCIA INDUCTIVA LÍNEA LARGA	67
3.5.4.	CÁLCULO DE LA CAPACITANCIA DE LÍNEA LARGA	67
3.5.5.	CÁLCULO DE LA REACTANCIA CAPACITIVA DE LÍNEA LARGA.....	68
3.6.	CÁLCULO DE LA CORRIENTE NOMINAL	68
3.6.1.	CÁLCULO DE INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE	69
3.7.	DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL	70
3.7.1.	ANÁLISIS DEL DISEÑO DE CONTROL	71
3.7.2.	LÓGICA DE CONTROL EN EL PLC	73
3.7.2.1.	ENTRADAS.....	73
3.7.2.2.	SALIDAS	73
3.8.	CONFIGURACIÓN DEL RELÉ SEL 751	76

3.8.1.	CARACTERÍSTICAS DE PARAMETRIZACIÓN DEL RELÉ SEL 751.....	77
3.8.2.	PASOS PARA CONFIGURAR EL RELÉ SEL 751	78
3.9.	CONFIGURACIÓN DEL RELÉ SEL 421	82
3.9.1.	PRINCIPIO DE OPERACIÓN DE LA PROTECCIÓN DE DISTANCIA.....	82
3.9.2.	ZONAS DE PROTECCIÓN.....	83
3.9.2.1.	AJUSTES DE LA ZONA 1	84
3.9.2.2.	AJUSTES DE LA ZONA 2	84
3.9.2.3.	AJUSTES DE LA ZONA 4	85
3.9.2.4.	AJUSTE DE ALCANCE HACIA ATRÁS Y DE OTRAS ZONAS	85
3.9.3.	RELEVADOR TIPO MHO DEL SEL 421	85
3.9.4.	IMPEDANCIA APARENTE “VISTA” POR UN RELEVADOR DE DISTANCIA	87
3.9.4.1.	IMPEDANCIA VISTA POR RELEVADORES DE DISTANCIA ANTE DIFERENTES TIPOS DE FALLAS	87
3.9.5.	PROTECCIÓN DE DISTANCIA (21).....	87
3.10.	CURVAS CARACTERÍSTICAS	89
3.10.1.	CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN SEL 751 SEGÚN NORMATIVA ANSI.....	89
3.10.2.	CURVAS DE LOS ELEMENTOS DEL TABLERO	94
3.10.3.	CURVAS DE LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES.....	94
3.10.3.1.	CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL 50/51	94
4.	PRÁCTICAS.....	98
4.1.	PRÁCTICA 1, INTRODUCCIÓN AL MÓDULO DE TRANSMISIÓN.....	98
4.1.1.	DATOS INFORMATIVOS.....	98
4.1.2.	DATOS DE LA PRÁCTICA.....	98
4.1.3.	OBJETIVO GENERAL	98
4.1.4.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	98
4.1.5.	MARCO TEÓRICO.....	99
4.1.6.	MARCO PROCEDIMENTAL.....	100
4.1.7.	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	104
4.1.8.	RECURSOS UTILIZADOS (EQUIPOS, ACCESORIOS Y MATERIALES CONSUMIBLES).....	105
4.1.9.	REGISTRO DE RESULTADOS	105
4.1.10.	BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA	106
4.1.11.	CRONOGRAMA / CALENDARIO	106
4.2.	PRÁCTICA 2, LÍNEAS CORTAS, MEDIAS Y LARGAS.....	107
4.2.1.	DATOS INFORMATIVOS.....	107
4.2.2.	DATOS DE LA PRÁCTICA.....	107
4.2.3.	OBJETIVO GENERAL	107
4.2.4.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	107
4.2.5.	MARCO TEÓRICO.....	107
4.2.5.1.	LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	107
4.2.5.2.	FACTORES ELÉCTRICOS EN LA SELECCIÓN DEL TIPO DE CONDUCTOR	108
4.2.6.	MARCO PROCEDIMENTAL.....	108
4.2.6.1.	CONEXIÓN DE CARGA INDUCTIVA A LA LÍNEA CORTA	108
4.2.6.2.	CONEXIÓN DE PROTECCIONES 50-51	108
4.2.6.3.	PASOS PARA INICIAR LAS MANIOBRAS DE LA PRÁCTICA	109
4.2.7.	RECURSOS UTILIZADOS.....	111
4.2.8.	REGISTRO DE RESULTADOS	112
4.2.9.	CRONOGRAMA / CALENDARIO.....	113
4.3.	PRÁCTICA 3, CONEXIÓN BARRA SIMPLE Y BARRA SIMPLE CON BYPASS.....	114
4.3.1.	DATOS INFORMATIVOS.....	114
4.3.2.	DATOS DE LA PRÁCTICA.....	114
4.3.3.	OBJETIVO GENERAL	114
4.3.4.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	114

4.3.5.	MARCO TEÓRICO.....	114
4.3.5.1.	MANIOBRAS	114
4.3.5.2.	SECCIONADORES DE POTENCIA	115
4.3.5.3.	INTERRUPTORES DE POTENCIA	115
4.3.5.4.	BARRA SIMPLE.....	115
4.3.5.5.	BARRA SIMPLE CON BY PASS.....	115
4.3.6.	MARCO PROCEDIMENTAL.....	116
4.3.7.	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	116
4.3.7.1.	CONEXIÓN DE CIRCUITO DE FUERZA DE BARRA SIMPLE	116
4.3.7.2.	PASOS PARA INICIAR LAS MANIOBRAS DE LA PRÁCTICA	117
4.3.7.3.	DESCONEXIÓN DE CIRCUITO DE FUERZA DE BARRA SIMPLE.....	118
4.3.7.4.	CONEXIÓN DE CIRCUITO DE FUERZA DE BARRA SIMPLE CON BYPASS	119
4.3.8.	CONEXIÓN DE BYPASS A L1	120
4.3.9.	RECURSOS UTILIZADOS (EQUIPOS, ACCESORIOS Y MATERIALES CONSUMIBLES).....	120
4.3.10.	REGISTRO DE RESULTADOS	120
4.3.11.	CRONOGRAMA / CALENDARIO	123
4.4.	PRÁCTICA 4, CONEXIÓN BARRA DOBLE	123
4.4.1.	DATOS INFORMATIVOS.....	123
4.4.2.	DATOS DE LA PRÁCTICA.....	123
4.4.3.	OBJETIVO GENERAL	123
4.4.4.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	123
4.4.5.	MARCO TEÓRICO.....	124
4.4.5.1.	BARRA DOBLE	124
4.4.5.2.	MANIOBRAS	124
4.4.6.	MARCO PROCEDIMENTAL.....	124
4.4.6.1.	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	125
4.4.6.2.	CONEXIÓN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	126
4.4.6.3.	CONEXIÓN SECCIONADORES – EQUIPO DE PROTECCIÓN	126
4.4.6.4.	CONEXIÓN EQUIPO DE PROTECCIÓN – DOBLE BARRA	126
4.4.6.5.	CONEXIÓN DOBLE BARRA - EQUIPO DE PROTECCIÓN	126
4.4.6.6.	CONEXIÓN EQUIPO DE PROTECCIÓN	126
4.4.6.7.	CONEXIÓN DE TRANSFERENCIA DE BARRAS	127
4.4.6.8.	ENERGIZACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL Y FUERZA.....	127
4.4.6.9.	ENERGIZACIÓN LÍNEA 1	127
4.4.6.10.	ENERGIZACIÓN DE LA CARGA MEDIANTE LÍNEA 1 - BARRA A	127
4.4.6.11.	MANTENIMIENTO DE BARRAS Y SECCIONADORES, MEDIANTE TRANSFERENCIA DE BARRAS, MANTENIENDO LÍNEA 1	127
4.4.7.	RECURSOS UTILIZADOS (EQUIPOS, ACCESORIOS Y MATERIALES CONSUMIBLES).....	128
4.4.8.	REGISTRO DE RESULTADOS	128
4.4.9.	BIBLIOGRAFÍA UTILIZADA.....	130
4.4.10.	CRONOGRAMA / CALENDARIO	130
4.5.	PRÁCTICA 5, CONEXIÓN BARRA DE TRANSFERENCIA.....	130
4.5.1.	DATOS INFORMATIVOS.....	130
4.5.2.	DATOS DE LA PRÁCTICA.....	130
4.5.3.	OBJETIVO GENERAL	130
4.5.4.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	130
4.5.5.	MARCO TEÓRICO.....	131
4.5.5.1.	BARRA DE TRANSFERENCIA	131
4.5.5.2.	MANIOBRAS	131
4.5.5.3.	MANTENIMIENTO	131
4.5.6.	MARCO PROCEDIMENTAL.....	132
4.5.6.1.	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	133
4.5.6.2.	CONEXIÓN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	133

4.5.6.3.	CONEXIÓN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN -SECCIONADORES	133
4.5.6.4.	CONEXIÓN SECCIONADORES – EQUIPO DE PROTECCIÓN	133
4.5.6.5.	CONEXIÓN EQUIPO DE PROTECCIÓN – DOBLE BARRA	133
4.5.6.6.	CONEXIÓN EQUIPO DE PROTECCIÓN	134
4.5.6.7.	CONEXIÓN HACIA LA CARGA	134
4.5.6.8.	CONEXIÓN DE TRANSFERENCIA DE BARRAS	134
4.5.6.9.	ENERGIZACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL Y FUERZA.....	134
4.5.6.10.	ENERGIZACIÓN LÍNEA 1	134
4.5.6.11.	ENERGIZACIÓN DE LA CARGA MEDIANTE LÍNEA 1 - BARRA A.....	134
4.5.6.12.	MANTENIMIENTO DE BARRAS Y SECCIONADORES, MEDIANTE TRANSFERENCIA DE BARRAS	135
4.5.6.13.	RESTABLECER BARRA A COMO PRINCIPAL, SIN DESENERGIZAR CARGA	135
4.5.7.	RECURSOS UTILIZADOS.....	136
4.5.8.	REGISTRO DE RESULTADOS	136
4.5.9.	CRONOGRAMA / CALENDARIO.....	137
4.6.	PRÁCTICA 6, CONEXIÓN ANILLO	138
4.6.1.	DATOS INFORMATIVOS.....	138
4.6.2.	DATOS DE LA PRÁCTICA.....	138
4.6.3.	OBJETIVO GENERAL	138
4.6.4.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	138
4.6.5.	MARCO TEÓRICO.....	138
4.6.5.1.	MANIOBRAS	139
4.6.5.2.	CONFIGURACIÓN ANILLO.....	139
4.6.5.3.	AISLADORES ELÉCTRICOS.....	139
4.6.6.	MARCO PROCEDIMENTAL.....	139
4.6.6.1.	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	141
4.6.6.2.	CONEXIÓN PROTECCIONES - LÍNEAS DE TRANSMISIÓN	141
4.6.6.3.	CONEXIÓN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN -SECCIONADORES	141
4.6.6.4.	CONEXIÓN SECCIONADORES – EQUIPO DE PROTECCIÓN	141
4.6.6.5.	CONEXIÓN HACIA LA CARGA	141
4.6.6.6.	ENERGIZACIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL Y FUERZA.....	142
4.6.6.7.	ENERGIZACIÓN LÍNEA 1	142
4.6.6.8.	ENERGIZACIÓN LÍNEA 2	142
4.6.6.9.	ENERGIZACIÓN DE LA CARGA CON LA CONEXIÓN DE LA LÍNEA 1	142
4.6.6.10.	MANIOBRA PARA CONEXIÓN DE LA LÍNEA 2 Y FORMAR EL ANILLO	142
4.6.6.11.	MANTENIMIENTO DE SECCIONADORES DESENERGIZANDO LÍNEA 1.....	142
4.6.6.12.	MANTENIMIENTO DE SECCIONADORES DESENERGIZANDO LÍNEA 2.....	143
4.6.7.	RECURSOS UTILIZADOS (EQUIPOS, ACCESORIOS Y MATERIALES).....	143
4.6.8.	REGISTRO DE RESULTADOS	143
4.6.9.	CRONOGRAMA / CALENDARIO.....	145
4.7.	PRÁCTICA 7, SIMULACIÓN DE FALLAS MONOFÁSICAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN MEDIANTE EL RELÉ SEL-751	145
4.7.1.	DATOS INFORMATIVOS.....	145
4.7.2.	DATOS DE LA PRÁCTICA.....	145
4.7.3.	OBJETIVO GENERAL	145
4.7.4.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	145
4.7.5.	MARCO TEÓRICO.....	146
4.7.5.1.	AISLADORES ELÉCTRICOS.....	146
4.7.5.2.	CONEXIONES	146
4.7.6.	MARCO PROCEDIMENTAL.....	146
4.7.6.1.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN CORTA (100KM) AL 20%	146
4.7.6.2.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN MEDIA (150KM) AL 20%	149
4.7.6.3.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN LARGA (500KM) AL 20%.....	152

4.7.7.	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	155
4.7.7.1.	CONEXIÓN DE LA ETAPA DE PROTECCIÓN-LÍNEA-BREAKER.....	155
4.7.7.2.	AJUSTES DEL RELÉ SEL-751 PARA LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN CORTA (100KM).....	156
4.7.7.3.	CONEXIÓN DEL RELÉ SEL-751	156
4.7.7.4.	ENERGIZAR LÍNEA 1.....	157
4.7.8.	RECURSOS UTILIZADOS (EQUIPOS, ACCESORIOS Y MATERIALES CONSUMIBLES).....	157
4.7.9.	REGISTRO DE RESULTADOS	157
4.7.10.	CRONOGRAMA / CALENDARIO	158
4.8.	PRÁCTICA 8, SIMULACIÓN DE FALLAS EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN MEDIANTE EL RELÉ SEL-421	159
4.8.1.	DATOS INFORMATIVOS.....	159
4.8.2.	DATOS DE LA PRÁCTICA.....	159
4.8.3.	OBJETIVO GENERAL	159
4.8.4.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	159
4.8.5.	MARCO TEÓRICO.....	159
4.8.5.1.	CONEXIONES	160
4.8.6.	MARCO PROCEDIMENTAL.....	160
4.8.6.1.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN CORTA (100KM).....	160
4.8.6.2.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN MEDIA (150KM)	162
4.8.6.3.	LÍNEA DE TRANSMISIÓN LARGA (500KM).....	163
4.8.7.	CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO	165
4.8.7.1.	CONEXIÓN DE LA ETAPA DE PROTECCIÓN-LÍNEA-BREAKER.....	165
4.8.7.2.	AJUSTES DEL RELÉ SEL-421 PARA LA LÍNEA DE TRANSMISIÓN 100KM.....	165
4.8.7.3.	CONEXIÓN DEL RELÉ SEL-421	167
4.8.7.4.	FALLAS MONOFÁSICAS A TIERRA EN LA LÍNEA CORTA AL 80 %	167
4.8.7.5.	FALLAS BIFÁSICAS A TIERRA EN LA LÍNEA CORTA AL 80 %	167
4.8.7.6.	FALLAS TRIFÁSICAS A TIERRA EN LA LÍNEA CORTA AL 80 %	167
4.8.7.7.	FALLAS MONOFÁSICAS A TIERRA EN LA LÍNEA CORTA AL 100 %	167
4.8.7.8.	FALLAS BIFÁSICAS A TIERRA EN LA LÍNEA CORTA AL 100 %	168
4.8.7.9.	FALLAS TRIFÁSICAS A TIERRA EN LA LÍNEA CORTA AL 100 %	168
4.8.7.10.	ENERGIZAR LÍNEA 1.....	168
4.8.8.	RECURSOS UTILIZADOS (EQUIPOS, ACCESORIOS Y MATERIALES).....	168
4.8.9.	REGISTRO DE RESULTADOS	168
4.8.10.	CRONOGRAMA / CALENDARIO	170
5.	CONCLUSIONES	171
6.	RECOMENDACIONES.....	172
7.	BIBLIOGRAFÍA	173
8.	LINCOGRAFÍA	173

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 ESTRUCTURA DE UN SEP [2].....	7
FIGURA 2 REPRESENTACIÓN DE UN SEP ELEMENTAL [8].	7
FIGURA 3 REPRESENTACIÓN DE UN SISTEMA ENMALLADO [8].....	7
FIGURA 4 REPRESENTACIÓN DE UNA RED INTERCONECTADA O ENMALLADA [8].	8
FIGURA 5 REPRESENTACIÓN DE UN SISTEMA RADIAL [8].....	8
FIGURA 6 REPRESENTACIÓN DE UN SISTEMA DE POTENCIA INTERCONECTADO [8].	9
FIGURA 7 COMPONENTES DE LA GARANTÍA DE FUNCIONAMIENTO [4].....	10
FIGURA 8 DIAGRAMA UNIFILAR DE LA RED [3].....	10
FIGURA 9 SISTEMA CON CONFIABILIDAD DEL 99,99 % [1].	11
FIGURA 10 SIMBOLOGÍA DE UN SISTEMA DE POTENCIA, NORMA ANSI E IEC [3].	12
FIGURA 11 DIAGRAMA UNIFILAR DE UN SEP TÍPICO, NORMA ANSI [3].	12
FIGURA 12 MODELO PARA LÍNEA DE TRANSMISIÓN CORTA [3].....	13
FIGURA 13 EQUIVALENTE PARA LÍNEA DE TRANSMISIÓN MEDIA [3].	13
FIGURA 14 MODELO DE CARGA ESTÁTICA, A) PARALELO, B) SERIE [3].	14
FIGURA 15 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA [8].	15
FIGURA 16 DISEÑO PARA CONDUCTORES Y POSTES [8].	18
FIGURA 17 AISLADOR DE DISCO STANDARD, AISLADOR DE DISCO PARA NIEBLAS [8]. ..	19
FIGURA 18 AISLADOR DE BARRA LARGA SINTÉTICO [8].	19
FIGURA 19 AISLADOR DE TIPO POSTE [8].	19
FIGURA 20 PRINCIPALES HERRAJES DE SUJECCIÓN [8].....	20
FIGURA 21 APOYOS PARA LÍNEAS AÉREAS [8].	21
FIGURA 22 CIRCUITO EQUIVALENTE [7].	23
FIGURA 23 INDUCTANCIA EN UN CONDUCTOR [7].	23
FIGURA 24 PUNTOS EXTERNOS DE UN CONDUCTOR [8].....	24
FIGURA 25 DIAMETROS Y DISTANCIA ENTRE CONDUCTORES [8].	24
FIGURA 26 RADIO GEOMETRICO [8].	24
FIGURA 27 RADIO GEOMETRICO, DISTRUBUCION TRIANGULO [8].....	25
FIGURA 28 CAPACITANCIA ENTRE CONDUCTORES Y CONDUCTORES-TIERRA [8].	26
FIGURA 29 FACTOR DE CORRECCIÓN POR HUMEDAD EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD ABSOLUTA [8].	29
FIGURA 30 HUMEDAD ABSOLUTA DEL AIRE EN FUNCIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE BULBO SECO, BULBO HÚMEDO Y DE LA HUMEDAD RELATIVA [8].	30
FIGURA 31 PORCENTAJE DE FALLAS MÁS FRECUENTES [13].....	32
FIGURA 32 PROBABILIDAD DE FALLA EN ELEMENTOS DEL SEP [13].	32
FIGURA 33 CAUSAS DE LAS FALLAS [13].	33
FIGURA 34 TIPOS DE CORTOCIRCUITO [13].....	33
FIGURA 35 CORTOCIRCUITOS TRIFASICOS SIMETRICOS [13].....	34
FIGURA 36 VARIACION EN EL TIEMPO DE LA CORRIENTE DURANTE LA FALLA [13]. ..	34
FIGURA 37 CORTOCIRCUITOS ASIMETRICOS [13].	34
FIGURA 38 DIAGRAMA DE FALLAS [12].	35
FIGURA 39 COMPONENTES DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO [12].	35
FIGURA 40 CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO [12].	36
FIGURA 41 CIRCUITO EQUIVALENTE DE FALLA [12].....	36
FIGURA 42 FALLA ALEJADA DE LA FUENTE [12].	37
FIGURA 43 FALLA CERCANA A LA FUENTE [12].....	37
FIGURA 44 CONFIGURACIÓN DE BARRA SIMPLE, FUENTE: ETAP.	38
FIGURA 45 CONFIGURACIÓN BARRA SIMPLE PARTIDA, FUENTE: ETAP.	39
FIGURA 46 CONFIGURACIÓN BARRA SIMPLE CON BYPASS, FUENTE: ETAP.	40

FIGURA 47 JUEGO DE BARRAS CON TRANSFERENCIA, FUENTE: ETAP.....	40
FIGURA 48 CONFIGURACIÓN DOBLE BARRA, FUENTE: ETAP.....	41
FIGURA 49 CONFIGURACIÓN DE ANILLO, FUENTE: ETAP.....	42
FIGURA 50 RELE DE PROTECCION SEL 421 [6].	43
FIGURA 51 DIAGRAMA DE FUNCIONES PRINCIPALES DEL SEL 421 [6].....	43
FIGURA 52 SISTEMA FUNCIONAL DEL SEL 421 [6].	45
FIGURA 53 COMUNICACIÓN INTEGRAL [6].....	45
FIGURA 54 RELE DE SOBRE CORRIENTE SEL 751 [7].....	46
FIGURA 55 DIAGRAMA FUNCIONAL SEL 751 [7].....	47
FIGURA 56 SIMULACIÓN DE FALLA TRIFÁSICA A 600 Y 138KV, FUENTE: ETAP.....	49
FIGURA 57 FLUJO DE POTENCIA CON DOS LÍNEAS ALIMENTANDO LA CARGA, FUENTE: ETAP.	49
FIGURA 58 DISEÑO FINAL DEL MÓDULO DE PROTECCIONES DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, FUENTE: LOS AUTORES.	50
FIGURA 59 FABRICACIÓN DE LA MESA Y BASES DEL TABLERO, FUENTE: LOS AUTORES.	51
FIGURA 60 INICIO DEL CALADO DE LAS PERFORACIONES EN EL TABLERO, FUENTE: LOS AUTORES.....	51
FIGURA 61 PRUEBA DE CALADO EN EL TABLERO, FUENTE: LOS AUTORES.....	52
FIGURA 62 ESTRUCTURA PREPARADA CON ANTI CORROSIVO, FUENTE: LOS AUTORES.	52
FIGURA 63 BASE DE MESA DE TRABAJO PINTADA, FUENTE: LOS AUTORES.....	53
FIGURA 64 MESA DE TRABAJO TERMINADA, FUENTE: LOS AUTORES.	53
FIGURA 65 TABLERO FINAL PINTADO, FUENTE: LOS AUTORES.....	54
FIGURA 66 CENTRADO Y PEGADO DE VINIL EN EL TABLERO, FUENTE: LOS AUTORES. 54	
FIGURA 67 TABLERO FIJO Y VINIL ADHERIDO, FUENTE: LOS AUTORES.....	54
FIGURA 68 COLOCANDO LOS ELEMENTOS EN EL TABLERO, FUENTE: LOS AUTORES. ..	55
FIGURA 69 TABLERO CON LOS ELEMENTOS MONTADOS, FUENTE: LOS AUTORES.	55
FIGURA 70 CABLEADO DE RELÉS DE PROTECCIÓN, FUENTE: LOS AUTORES.	56
FIGURA 71 CABLEADO DE LOS EQUIPOS DE FUERZA Y CONTROL, FUENTE: LOS AUTORES.....	56
FIGURA 72 CABLEADO DEL SISTEMA DE CONTROL, FUENTE: LOS AUTORES.	57
FIGURA 73 FINALIZACIÓN DE CABLEADO DE FUERZA Y CONTROL, FUENTE: LOS AUTORES.....	57
FIGURA 74 VISTA POSTERIOR DEL MODULO, FUENTE: LOS AUTORES.....	58
FIGURA 75 EQUIVALENTE DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, FUENTE: LOS AUTORES. 58	
FIGURA 76 CIRCUITO EQUIVALENTE LINEA CORTA [1].....	63
FIGURA 77 DIAGRAMA DE CONTROL Y FUERZA SIMULADO EN CADE, FUENTE: LOS AUTORES.....	72
FIGURA 78 ESTRUCTURA DEL PLC LOGO 8 [14].....	73
FIGURA 79 DIAGRAMA DE CONEXIÓN DE UN INTERRUPTOR [14].....	74
FIGURA 80 LÓGICA DE SALIDA LOCAL Y TRIP, FUENTE: LOS AUTORES.	74
FIGURA 81 LÓGICA DE SALIDA REMOTO Y TRIP, FUENTE: LOS AUTORES.....	75
FIGURA 82 SIMULACIÓN DE SELECTOR LOCAL, FUENTE: LOS AUTORES.....	75
FIGURA 83 SIMULACIÓN DE FALLA, FUENTE: LOS AUTORES.	76
FIGURA 84 MENÚ SET/SHOW RELÉ 751, FUENTE: LOS AUTORES.....	78
FIGURA 85 SUBMENU GLOBAL, FUENTE: LOS AUTORES.	78
FIGURA 86 SELECCIÓN DE GRUPO 1, FUENTE: LOS AUTORES.....	78
FIGURA 87 MENÚ CONFIG SETTINGS, FUENTE: LOS AUTORES.....	79
FIGURA 88 CONFIGURACIÓN DE TIEMPO PROTECCIÓN 51 DE FASE, FUENTE: LOS AUTORES.....	79
FIGURA 89 CONFIGURACIÓN DE CORRIENTE EN PROTECCIÓN 51N, FUENTE: LOS AUTORES.....	79

FIGURA 90 CONFIGURACIÓN DE DISPARO 51GT, FUENTE: LOS AUTORES.....	80
FIGURA 91 MENÚ RESIDUAL TOC, FUENTE: LOS AUTORES.....	80
FIGURA 92 TIEMPO DE DISPARO 51G, FUENTE: LOS AUTORES.	80
FIGURA 93 CONFIGURACIÓN 51G, FUENTE: LOS AUTORES.	81
FIGURA 94 SELECCIÓN CURVA C2, FUENTE: LOS AUTORES.....	81
FIGURA 95 CONFIGURACIÓN 51P, FUENTE: LOS AUTORES.....	81
FIGURA 96 IMPEDANCIA ANTE UNA FALLA EN EL PUNTO F [9].....	82
FIGURA 97 CARACTERÍSTICA GENERAL DE UN RELEVADOR SEL 421 DE LOS ELEMENTOS MHO [9].....	86
FIGURA 98 DIAGRAMA UNIFILAR DE UN SISTEMA TRIFÁSICO [9].....	87
FIGURA 99 ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE UN RELEVADOR DE DISTANCIA [9].	88
FIGURA 100 REPRESENTACIÓN DE LA LÍNEA (PLANO R-X) [9].	88
FIGURA 101 ZONA DE OPERACIÓN DE LA PROTECCIÓN A DISTANCIA [9].	89
FIGURA 102 ZONAS DE OPERACIÓN DEL RELEVADOR DE DISTANCIA [9].	89
FIGURA 103 CURVAS U1, U2, U3 Y U4 ACORDE A NORMATIVA ANSI [10].....	91
FIGURA 104 CURVA U5 ACORDE A NORMATIVA ANSI [10].	92
FIGURA 105 CURVA C1 ACORDE A LA NORMATIVA IEC [10].	92
FIGURA 106 CURVAS C2 Y C3 ACORDE A NORMATIVA IEC [10].	93
FIGURA 107 CURVAS C4 Y C5 ACORDE A NORMATIVA IEC [10].	93
FIGURA 108 CURVA DE PROTECCIÓN DE BREAKER DE CAJA MOLDEADA 3VL [10].	94
FIGURA 109 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL 50/51, LÍNEA 100KM AL 20%, FUENTE: LOS AUTORES.	94
FIGURA 110 AJUSTE DE PARAMETROS DE RELE PARA LINEA 100KM, FUENTE: LOS AUTORES.....	95
FIGURA 111 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL 50/51, LÍNEA 150KM AL 20%, FUENTE: LOS AUTORES.	95
FIGURA 112 AJUSTE DE PARAMETROS DE RELE PARA 150KM, FUENTE: LOS AUTORES.	96
FIGURA 113 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL 50/51, LÍNEA 500KM AL 20%, FUENTE: LOS AUTORES.	96
FIGURA 114 AJUSTE DE PARAMETROS DE RELE PARA LINEA 500KM, FUENTE: LOS AUTORES.....	97
FIGURA 115 UBICACIÓN BREAKER QUE HABILITA EL CONTROL, FUENTE: LOS AUTORES.....	100
FIGURA 116 BLOQUE DIAGRAMA DE PROTECCIÓN, FUENTE: LOS AUTORES.	100
FIGURA 117 BLOQUE DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, FUENTE: LOS AUTORES.....	101
FIGURA 118 BLOQUES QUE CONFORMAN EL PATIO DE MANIOBRAS, FUENTE: LOS AUTORES.....	102
FIGURA 119 RELES DE PROTECCIONES, FUENTE: LOS AUTORES.	102
FIGURA 120 BLOQUE DE CONTROL DE INTERRUPTORES, FUENTE: LOS AUTORES.	103
FIGURA 121 PLC LOGO, FUENTE: LOS AUTORES.....	103
FIGURA 122 BLOQUE DE SALIDA DEL MÓDULO DE TRANSMISIÓN, FUENTE: LOS AUTORES.....	103
FIGURA 123 SELECCIÓN DEL TIPO DE CABLE, FUENTE: LOS AUTORES.....	104
FIGURA 124 CONFIGURACION DE CONDUCTORES, FUENTE: LOS AUTORES.....	105
FIGURA 125 REGLAS DE ORO PARA EL TRABAJO ELÉCTRICO, FUENTE: ALBERTO MARTÍNEZ.....	108
FIGURA 126 CONEXIÓN LÍNEA CORTA EN L1, FUENTE: LOS AUTORES.....	109
FIGURA 127 DIAGRAMA UNIFILAR LÍNEA CORTA, FUENTE: LOS AUTORES.....	109
FIGURA 128 CONEXIÓN LÍNEA MEDIA EN L1, FUENTE: LOS AUTORES.	110
FIGURA 129 DIAGRAMA UNIFILAR LÍNEA MEDIA, FUENTE: LOS AUTORES.	110
FIGURA 130 CONEXIÓN LÍNEA LARGA EN L1, FUENTE: LOS AUTORES.....	111
FIGURA 131 DIAGRAMA UNIFILAR LÍNEA LARGA, FUENTE: LOS AUTORES.	111

FIGURA 132 REGLAS DE ORO PARA EL TRABAJO ELÉCTRICO, FUENTE: ALBERTO MARTÍNEZ.....	116
FIGURA 133 DIAGRAMA BARRA SIMPLE EN L1, FUENTE: LOS AUTORES.	117
FIGURA 134 DIAGRAMA UNIFILAR BARRA SIMPLE, FUENTE: LOS AUTORES.	117
FIGURA 135 DIAGRAMA BARRA SIMPLE CON BYPASS, FUENTE: LOS AUTORES.....	119
FIGURA 136 DIAGRAMA UNIFILAR BARRA SIMPLE CON BYPASS, FUENTE: LOS AUTORES.....	119
FIGURA 137 DIAGRAMA ELECTRICO BARRA DOBLE, FUENTE: LOS AUTORES.	125
FIGURA 138 DIAGRAMA UNIFILAR BARRA DOBLE, FUENTE: LOS AUTORES.	125
FIGURA 139 DIAGRAMA ELÉCTRICO BARRA DE TRANSFERENCIA, FUENTE: LOS AUTORES.....	132
FIGURA 140 DIAGRAMA UNIFILAR BARRA DE TRANSFERENCIA, FUENTE: LOS AUTORES.....	132
FIGURA 141 DIAGRAMA ELÉCTRICO CONFIGURACION ANILLO, FUENTE: LOS AUTORES.....	140
FIGURA 142 DIAGRAMA UNIFILAR CONFIGURACION ANILLO, FUENTE: LOS AUTORES.	140
FIGURA 143 CONFIGURACION RELE SEL 751, FUENTE: LOS AUTORES.....	147
FIGURA 144 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL 50/51, LÍNEA 100KM AL 20%, FUENTE: LOS AUTORES.	148
FIGURA 145 CONEXIONADO LINEA CORTA, FUENTE: LOS AUTORES.....	148
FIGURA 146 DIAGRAMA UNIFILAR LINEA CORTA, FUENTE: LOS AUTORES.....	149
FIGURA 147 CONFIGURACION RELE SEL 751, FUENTE: LOS AUTORES.....	150
FIGURA 148 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL 50/51 LÍNEA 150KM AL 20%, FUENTE: LOS AUTORES.	151
FIGURA 149 CONEXIONADO LINEA MEDIA, FUENTE: LOS AUTORES.	151
FIGURA 150 DIAGRAMA UNIFILAR LINEA MEDIA, FUENTE: LOS AUTORES.	152
FIGURA 151 CONFIGURACION RELE SEL 751, FUENTE: LOS AUTORES.....	153
FIGURA 152 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL 50/51 LÍNEA 500KM AL 20%, FUENTE: LOS AUTORES.	154
FIGURA 153 CONEXIONADO LINEA LARGA, FUENTE: LOS AUTORES.	154
FIGURA 154 DIAGRAMA UNIFILAR LINEA LARGA, FUENTE: LOS AUTORES.....	155
FIGURA 155 CONEXIONADO LINEA CORTA, FUENTE: LOS AUTORES.	161
FIGURA 156 DIAGRAMA UNIFILAR LINEA CORTA, FUENTE: LOS AUTORES.....	161
FIGURA 157 CONEXIONADO LINEA MEDIA, FUENTE: LOS AUTORES.	162
FIGURA 158 DIAGRAMA UNIFILAR LINEA MEDIA, FUENTE: LOS AUTORES.	163
FIGURA 159 CONEXIONADO LINEA LARGA, FUENTE: LOS AUTORES.	164
FIGURA 160 DIAGRAMA UNIFILAR LINEA LARGA, FUENTE: LOS AUTORES.....	164

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1 USOS DE LOS MATERIALES EN LA TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA [8].....	16
TABLA 2 FACTORES KN, KM Y KR, PARA CONFIGURACIONES DE ENTRE-HIERRO [8]... ..	27
TABLA 3 AISLAMIENTO POR IMPULSO TIPO RAYO Y TIPO MANIOBRA, DISTANCIAS MÍNIMAS ENTRE FASES, PARA DIFERENTES NIVELES DE TENSIÓN DE SUBTRANSMISIÓN [8].....	28
TABLA 4 FACTORES DE CORRECCIÓN POR PRESIÓN ATMOSFÉRICA A DISTINTAS ALTITUDES [8].....	31
TABLA 5 NUMERO MAXIMO DE EVENTOS A ALMACENAR EN SEL 421 [6].	44
TABLA 6 CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE CONDUCTORES ASTM [11].	60
TABLA 7 CARACTERISTICS ELECTRICAS DE CONDUCTORES DE ALUMINIO CON ALMA DE ACERO ACSR [11].....	60
TABLA 8 POTENCIAS MAXIMAS DE TRANSFERENCIA DEL SNT, LINEAS DE TRANSMISION, FUENTE: CELEC.	61
TABLA 9 DENSIDAD DE CORRIENTE MAXIMA [1].	69
TABLA 10 CARACTERISTICAS ELECTRICAS DEL CABLE FLICKER, LOS AUTORES.....	70
TABLA 11 CARACTERÍSTICAS DE RANGOS DE AJUSTE DE RELÉ SEL 751 [5].....	77
TABLA 12 ECUACIONES ASOCIADAS A LAS CURVAS DE LA NORMATIVA ANSI [10].....	90
TABLA 13 ECUACIONES ASOCIADAS A LA NORMATIVA IEC [10].....	90
TABLA 14 REGISTRO DE RESULTADOS PRACTICA 1, LOS AUTORES.	106
TABLA 15 REGISTRO LINEA CORTA, LOS AUTORES.	112
TABLA 16 REGISTRO LINEA MEDIA. , LOS AUTORES.....	112
TABLA 17 REGISTRO LINEA LARGA, LOS AUTORES.....	113
TABLA 18 REGISTRO BARRA SIMPLE CON BYPASS, LOS AUTORES.....	121
TABLA 19 REGISTRO BARRA SIMPLE, LOS AUTORES.....	122
TABLA 20 REGISTRO DE FLUJO DE POTENCIA DE CONEXIÓN BARRA DOBLE CON BANCO DE PRUEBAS, LOS AUTORES.....	129
TABLA 21 REGISTRO DE FLUJO DE POTENCIA DE CONEXIÓN BARRA DE TRANSFERENCIA, LOS AUTORES.	137
TABLA 22 REGISTRO DE FLUJO DE POTENCIA DE CONEXIÓN ANILLO CON BANCO DE PRUEBAS, LOS AUTORES.....	144
TABLA 23 REGISTRO DE FLUJO USANDO BANCO DE PRUEBAS ANTES DE LA FALLA, LOS AUTORES.....	157
TABLA 24 REGISTRO DE FLUJO USANDO BANCO DE PRUEBAS DESPUÉS DE LA FALLA, LOS AUTORES.	158
TABLA 25 REGISTRO DE FLUJO CON BANCO DE PRUEBAS DURANTE FALLA 80%, LOS AUTORES.....	169
TABLA 26 REGISTRO DE FLUJO CON BANCO DE PRUEBAS DESPUÉS DE FALLA 80%, LOS AUTORES.....	169
TABLA 27 REGISTRO DE FLUJO CON BANCO DE PRUEBAS DURANTE FALLA 100%, LOS AUTORES.....	169
TABLA 28 REGISTRO DE FLUJO CON BANCO DE PRUEBAS DESPUÉS DE FALLA 100%, LOS AUTORES.....	169

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
ECUACIÓN 1. RESISTENCIA EFECTIVA DE UN CONDUCTOR	22
ECUACIÓN 2. RESISTENCIA DE CORRIENTE DIRECTA	22
ECUACIÓN 3. CAPACITANCIA	25
ECUACIÓN 4. LONGITUD DE LA CADENA DE AISLADORES	26
ECUACIÓN 5. FACTOR DE CORRECCIÓN POR DENSIDAD DE AIRE	28
ECUACIÓN 6. FACTOR DE CORRECCIÓN POR HUMEDAD	29
ECUACIÓN 7. DISTANCIA DE FUGA	30
ECUACIÓN 8. NÚMERO DE LOS AISLADORES	31
ECUACIÓN 9. IMPEDANCIA	36
ECUACIÓN 10. RESISTENCIA DEL CONDUCTOR	62
ECUACIÓN 11. DISTANCIA MEDIA GEOMÉTRICA DMG	62
ECUACIÓN 12. RADIO MEDIO GEOMÉTRICO RMG	63
ECUACIÓN 13. INDUCTANCIA DE LÍNEA	63
ECUACIÓN 14. REACTANCIA INDUCTIVA	64
ECUACIÓN 15. CAPACITANCIA DE LÍNEA	66
ECUACIÓN 16. REACTANCIA CAPACITIVA	66
ECUACIÓN 17. POTENCIA NOMINAL	69
ECUACIÓN 18. CORRIENTE NOMINAL	69
ECUACIÓN 19. INTENSIDAD MÁXIMA ADMISIBLE	70
ECUACIÓN 20. IMPEDANCIA MEDIDA POR LOS RELEVADORES DE DISTANCIA	83
ECUACIÓN 21. IMPEDANCIA MEDIDA EN LOS PRIMARIOS	84
ECUACIÓN 22. LA RELACIÓN ENTRE ZR Y ZP	84
ECUACIÓN 23. CONDICIÓN DE OPERACIÓN DEL RELEVADOR MHO	87

ABREVIATURAS

ANSI	Instituto Nacional Americano de Normalización
Bar	Bares
DMG	Distancia Media Geométrica
Fig	Figura
Gr	Gramos
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
ISA	Industry Standard Architecture
Kg	Kilogramo
kV	kilo vatios
Lb	Libra
Lt	Litro
mm	Milímetro
PLC	Controlador Lógico Programable
Plg	Pulgadas
Ref	Referencia
RMG	Radio Medio Geométrico
SCADA	Adquisición de datos y supervisión de control
SEP	Sistema Eléctrico de Potencia
UL	Underwriters Laboratories
UPS	Uninterruptible Power System
VAR	Volta amperios reactivos

SIMBOLOGÍA

°C	Grados Centígrados
A	Área de la sección transversal del conductor
C	Capacitancia de línea
f	Frecuencia del sistema
L	Inductancia de línea
p	Resistividad del conductor
q	Carga
TC	Medidor de corriente
Xc	Reactancia capacitiva
XL	Reactancia inductiva

INTRODUCCIÓN

El tema de la presente Tesis es “Diseño y construcción de un módulo didáctico de protecciones para sistemas eléctricos de potencia (SEP) aplicado a sistemas de transmisión”. Se analizarán los principios técnicos, conceptos y elementos que intervienen en un SEP para poder transmitir energía eléctrica. Se realizarán simulaciones y cálculos empleando softwares como: ETAP, para simulación y diseño del circuito de fuerza, y para los circuitos de control los programas Logo Soft y Cade Simu, tanto para programación como simulación.

Se estudian los equipos utilizados más importantes, especialmente los Relés de Protecciones. Finalmente se realizarán las pruebas de coordinación de protecciones, maniobras de cierre y apertura, entre otras, para realizar distintos tipos de prácticas de laboratorio que simulen el comportamiento real de la transmisión de un SEP.

Debido a la creciente demanda energética en el país, el gobierno nacional a través del Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, está empeñado en realizar un cambio en la matriz energética con el fin de satisfacer la demanda de manera óptima y sustentable, por medio de una diversidad de proyectos energéticos para aumentar la capacidad de generación, reduciendo el costo de la energía y el uso de derivados de petróleo.

Para cumplir con la meta de abastecer satisfactoriamente la demanda es necesario adoptar técnicas que permitan transportar la energía eléctrica de manera segura y confiable, desde los centros de generación hacia los centros de distribución.

La Universidad Politécnica Salesiana, en la carrera de Ingeniería Eléctrica dota al estudiante de una visión clara y práctica de los conceptos, a fin de acercarlo a la realidad del ámbito profesional. Con este fin, la Universidad ha provisto los equipos más importantes para realizar módulos didácticos de Generación, Transmisión y Distribución, permitiendo obtener una concepción real y completa de todo el proceso de un Sistema Eléctrico de Potencia (SEP).

Objetivo general: Diseñar y construir un módulo didáctico de protecciones y SEP aplicado a Sistemas de Transmisión con el propósito de poder evaluar la correcta coordinación de protecciones y equipos de monitoreo y control en estado estable y condiciones de falla.

Objetivos específicos:

- Diseñar y construir el módulo didáctico de pruebas para la Transmisión de un SEP.
- Simular la fase de Transmisión de un SEP en redes de transmisión en estado estable y en condiciones de falla, y las diferentes configuraciones de barras.
- Crear un módulo de Transmisión que pueda funcionar de manera independiente y a la vez en interconexión y coordinación con los módulos de Generación y Distribución, completando así una visión holística de lo que es un SEP.
- Analizar el flujo de potencia del sistema de transmisión, a través de la coordinación y ajustes de los relés de protección, analizando los problemas que se derivan por la mala coordinación de protecciones y los diferentes fallos en estado transitorio y permanente que pueden ocurrir por una mala coordinación.
- Elaborar un manual de prácticas de laboratorio para el uso del módulo de Protecciones y SEP aplicado a Sistemas de Transmisión.

Metodología utilizada:

Se emplearán varias técnicas de investigación y herramientas que faciliten el desarrollo del proyecto y proporcionen datos confiables para el diseño y construcción del módulo. Para recopilar la información se emplearán fuentes bibliográficas en relación a: matriz energética, sistemas eléctricos de potencia, sistemas de transmisión, coordinación de protecciones, normas eléctricas, hojas de datos de los equipos y módulos, entre otras. Se empleará los principios eléctricos, enunciados, normas y ecuaciones, para realizar el diseño del circuito de transmisión y simularlo en el programa ETAP, en el cual se observará el comportamiento de todos los elementos. Para el sistema de control se empleará el software LOGO Soft V 8.0, para programación del PLC y simulación del mismo. Una vez establecidos los parámetros de potencia y control, se procederá al montaje y conexionado de todos los equipos en el tablero, se parametrizará los relés de protecciones, se realizarán mediciones de parámetros eléctricos, posteriormente se realizarán pruebas referentes a coordinación de protecciones, maniobras de cierre y apertura. Finalmente se elaborarán las guías para las prácticas de laboratorio.

CAPÍTULO 1

1. EL PROBLEMA

1.1. Descripción del Problema

Debido a la creciente demanda energética en el país, el gobierno nacional a través del Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, dentro del plan del buen vivir, está empeñado en realizar un cambio en la matriz energética con el fin de satisfacer la demanda por medio de una diversidad de proyectos energéticos, primando la protección ambiental y sostenibilidad en los mismos.

El cambio de la matriz consiste en aumentar de manera óptima y sustentable las fuentes primarias de energía, donde han despuntado una serie de proyectos hidroeléctricos para además de aumentar la capacidad de generación, también se logre reducir el costo de la energía y uso de derivados de petróleo.

Para cumplir con la meta de abastecer satisfactoriamente la demanda, es necesario adoptar técnicas que permitan transportar la energía eléctrica de manera segura y confiable, desde los centros de generación hacia los centros de distribución.

Por la riqueza hídrica de nuestro país los proyectos de centrales hidroeléctricas priman, pero por su ubicación geográfica, es necesario el empleo de líneas de transmisión de alta tensión con capacidad para transportar grandes cantidades de energía a través de largas distancias.

1.2. Antecedentes

Con el objetivo de complementar la formación integral de los futuros ingenieros eléctricos en potencia, se crea este módulo didáctico, orientado a la transmisión y protección en un SEP, que a la vez es parte de un proyecto más ambicioso y de mayor escala, cuyo objetivo es emular de forma más real todo lo que ocurre en un SEP, brindando así un apoyo a los docentes Salesianos para complementar sus cátedras teóricas con el conocimiento práctico, conocedores de que la práctica inicia con el ejercicio profesional, se pone a disposición este trabajo de investigación dando ventajas a los profesionales en formación quienes podrán enfrentar el inicio de su carrera profesional ya no sólo con el conocimiento teórico recibido en las aulas, sino también con la experimentación basada en modelos a escala de situaciones reales con las que se encontrarán en el entorno laboral.

1.3. Importancia y Alcances

La Universidad Politécnica Salesiana, en la carrera de Ingeniería Eléctrica dota al estudiante de una visión clara y práctica de los conceptos, a fin de acercarlos a la realidad del ámbito profesional.

Con este fin la Universidad ha provisto los equipos más importantes para realizar módulos didácticos de Generación, Transmisión y Distribución, permitiendo obtener una concepción real y completa de todo el proceso de un Sistema Eléctrico de Potencia, mediante un análisis más profundo que el razonamiento que se obtiene en una clase teórica, un análisis que necesariamente debe realizarse en un laboratorio, con el uso de protecciones que garanticen el correcto funcionamiento del sistema y a su vez permitan tener la seguridad y confiabilidad necesarias para este tipo de proyectos que son imprescindibles en la formación profesional de ingenieros eléctricos de Potencia.

1.4. Delimitación

En la presente Tesis se diseñará y construirá un módulo didáctico de prueba para un Sistema de Transmisión de un SEP.

Se realizará la simulación de la Transmisión de un SEP en estado estable y en condiciones de falla y las diferentes configuraciones de barras.

El módulo estará operativo para funcionar de manera independiente y a la vez en interconexión y coordinación con los módulos de Generación y Distribución.

Se configurará y parametrizará los relés de protección, la coordinación de protecciones y se realizará el control de Local y Remoto a través de contactos y la implementación de un PLC.

Se entregará un manual de prácticas de laboratorio para el uso del módulo de Protecciones y SEP aplicado a Sistemas de Transmisión, mediante la ejecución de diversas prácticas de laboratorio.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Diseñar y construir un módulo didáctico de protecciones y SEP aplicado a Sistemas de Transmisión con el propósito de poder evaluar la correcta coordinación de protecciones y equipos de monitoreo y control en estado estable y condiciones de falla.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Diseñar y construir el módulo didáctico de pruebas para la fase de Transmisión de un SEP.
- Simular la fase de Transmisión de un SEP en redes de transmisión en estado estable y en condiciones de falla.
- Simular las diferentes configuraciones de barras en el módulo didáctico de pruebas.
- Crear un módulo de pruebas que pueda ser analizado de manera independiente y la vez en interconexión y coordinación con los módulos de Generación y Distribución, completando de esta manera una visión holística de lo que es un SEP.
- Analizar el flujo de potencia del sistema eléctrico de transmisión.
- Elaborar un manual de prácticas de laboratorio para el uso del módulo de Protecciones y SEP aplicado a Sistemas de Transmisión.

1.6. Marco Metodológico

Para cumplir los objetivos del proyecto, se emplearán varias técnicas y herramientas de investigación que faciliten el desarrollo del proyecto y proporcionen datos confiables para el diseño y la construcción del módulo SEP, tales como: recolección de datos y fuentes bibliográficas, investigación teórica-práctica e instrumentación.

1.6.1. Recolección de datos y fuentes bibliográficas

Para recopilar la información necesaria se emplearán varias fuentes bibliográficas en relación a: matriz energética, sistemas eléctricos de potencia, sistemas de transmisión, coordinación de protecciones, normas eléctricas, hojas de datos de los equipos y módulos, entre otras.

1.6.2. Investigación teórica práctica

Se empleará los datos teóricos obtenidos, como: principios eléctricos, enunciados, leyes, normas y ecuaciones, para posteriormente realizar el diseño del circuito de transmisión y simularlo en el programa ETAP, en el cual podemos conocer el flujo de potencia y emular una serie de fallas en diversos puntos del circuito, además nos permite reflejar los valores reales y los valores simulados. Para el sistema de control se empleará el software LOGO V 8.0, para programación, simulación y monitoreo del PLC. Para la programación y configuración de los relés de protección SEL 421 y SEL 751 se utilizará el programa AcSELeRetor Quickset. Una vez establecidos los parámetros de potencia y control, se procederá al montaje y conexión de todos los equipos en el tablero, se energizará el sistema y se realizarán mediciones de parámetros eléctricos, finalmente se realizarán las pruebas referentes a coordinación de protecciones, maniobras de cierre y apertura.

1.6.3. Instrumentación

Para la realización de las mediciones se empleará: multímetro, pinza amperimétrica y tres analizadores de red, estos últimos distribuidos de la siguiente manera: dos al ingreso de cada línea y uno independiente que permitirá la medición en cualquier punto del flujo.

CAPITULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema eléctrico de potencia

Un sistema eléctrico de potencia es una red formada por unidades generadoras eléctricas, cargas, líneas de transmisión de potencia y equipo asociado, conectado eléctrica o mecánicamente a la red. La red eléctrica de potencia se encarga de generar, transmitir y distribuir la energía eléctrica hasta los consumidores finales [2].

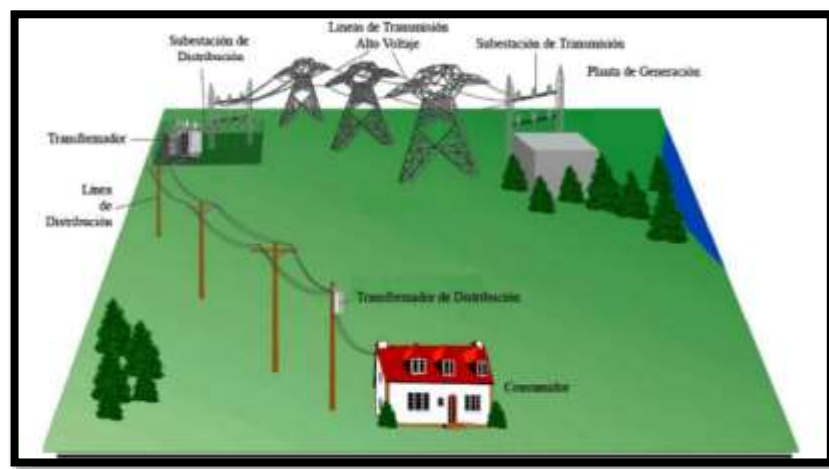


FIGURA 1 ESTRUCTURA DE UN SEP [2].

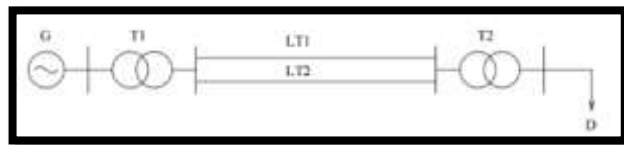


FIGURA 2 REPRESENTACIÓN DE UN SEP ELEMENTAL [8].

2.1.1. Sistema enmallado

Un sistema es enmallado si los nodos están conectados a través de varios caminos.

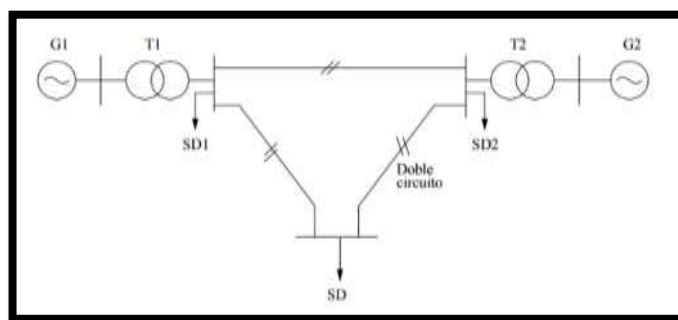


FIGURA 3 REPRESENTACIÓN DE UN SISTEMA ENMALLADO [8].

Entre las ventajas del sistema enmallado se tienen:

- Alta confiabilidad en la alimentación de los usuarios
- Gran fortaleza eléctrica a las posibles contingencias
- Disponibilidad de recursos propios

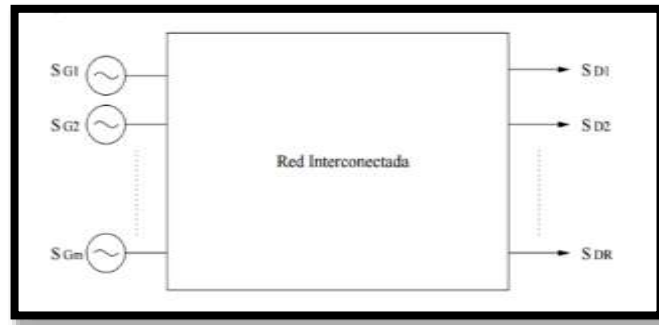


FIGURA 4 REPRESENTACIÓN DE UNA RED INTERCONECTADA O ENMALLADA [8].

2.1.2. Sistema radial

Corresponde a un sistema en el cual todos los nodos están conectados a través de un único camino. Este tipo de estructura de red se emplea generalmente en sistemas de distribución por su facilidad operativa.

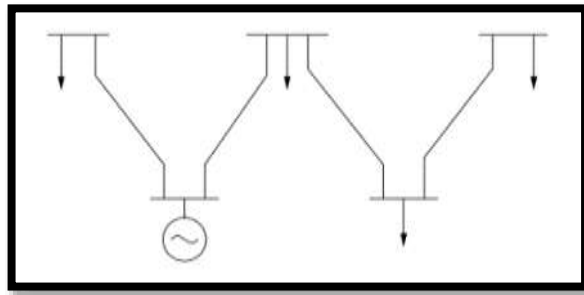


FIGURA 5 REPRESENTACIÓN DE UN SISTEMA RADIAL [8].

2.1.3. Sistema de potencia interconectado

Corresponde a la unión de dos sistemas que pueden operar independientemente a través de líneas de interconexión.

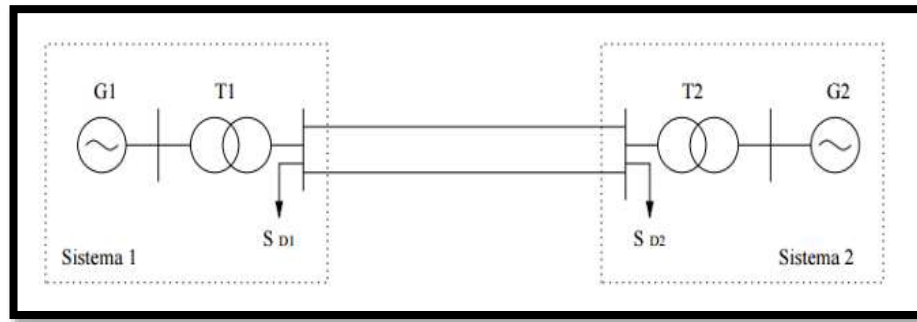


FIGURA 6 REPRESENTACIÓN DE UN SISTEMA DE POTENCIA INTERCONECTADO [8].

De forma más general se pueden interconectar áreas grandes a través de líneas de interconexión, que bien pueden ser países o sistemas de gran tamaño con mucha generación y demanda.

Entre las ventajas de la interconexión entre áreas se tienen:

- Uso racional a lo largo del tiempo de toda la energía primaria existente en el sistema integrado.
- Intercambio de energía de regiones con superávit a regiones deficitarias.
- Utilización óptima de recursos de potencia reactiva.
- Uso apropiado de recursos de transmisión y distribución.
- Utilización óptima de las plantas de generación.

2.2. Confiabilidad de un SEP

La confiabilidad de los sistemas eléctricos puede afectar positiva o negativamente la productividad y seguridad de procesos y personas en una planta. Por ello la disponibilidad del fluido eléctrico se ha vuelto un tema de vital importancia para las compañías.

La confiabilidad, es la probabilidad de que un equipo o un sistema cumplan con su misión específica bajo condiciones de uso determinadas en un periodo determinado.

El nivel de confiabilidad requerido por un sistema debe ser establecido de acuerdo con la criticidad de las cargas del mismo y debe basarse en estudios que contemplen las necesidades o características del proceso en términos de disponibilidad, seguridad, mantenimiento y fiabilidad [4].

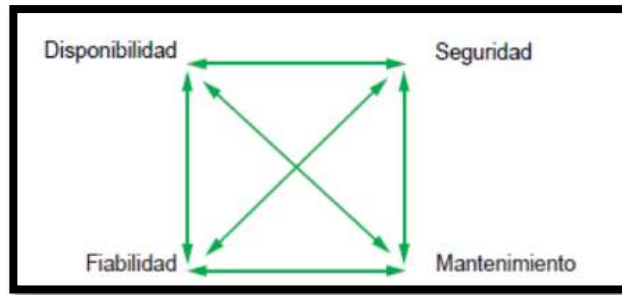


FIGURA 7 COMPONENTES DE LA GARANTÍA DE FUNCIONAMIENTO [4].

Las cargas de un sistema se deben clasificar de acuerdo con su sensibilidad a la pérdida de continuidad de servicio:

- Cargas que aceptan paradas prolongadas de una o más horas (No prioritarias).
- Cargas que aceptan paradas por varios minutos (Prioritarias).
- Cargas que deben alimentarse de nuevo en cuestión de segundos (Esenciales).
- Cargas que no aceptan ninguna interrupción (Vitales).

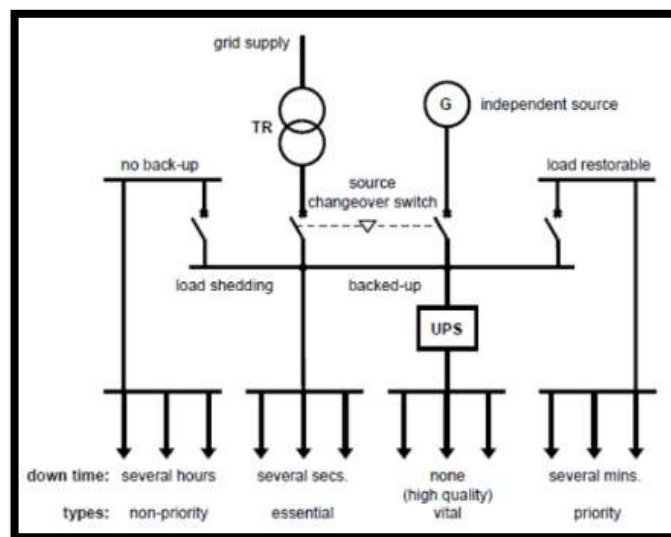


FIGURA 8 DIAGRAMA UNIFILAR DE LA RED [3].

La confiabilidad de un sistema está ligada a su aptitud para mantener la continuidad de servicio en caso de falla de alguno de los componentes que lo conforman. Depende directamente de la fiabilidad de los equipos instalados en él y del tiempo de reparación de los mismos en caso de falla. Un sistema confiable debe garantizar la seguridad de las personas y de los procesos críticos ante cualquier eventualidad.

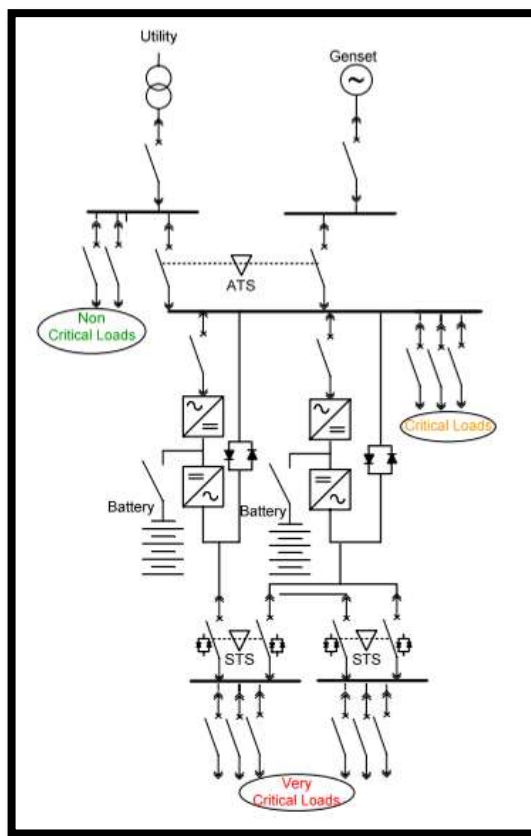


FIGURA 9 SISTEMA CON CONFIABILIDAD DEL 99,99 % [1].

Existen hoy regulaciones locales vigentes y de obligatorio cumplimiento que inciden en los niveles de confiabilidad de los sistemas eléctricos:

- Para sitios con alta concentración de personas es obligatorio un estudio de protección contra rayos (basado en la NTC 4552).
- Dentro del diseño de proyectos es obligatorio el estudio de coordinación de protecciones y en algunos casos el de aislamiento.
- Se exige el uso de UPS, tableros de aislamiento y sistemas de puesta tierra con neutro aislados en las áreas críticas de los hospitales para privilegiar la continuidad de servicio y la vida de las personas.

2.3. Modelado de un SEP

Los símbolos de los elementos eléctricos empleados en los diagramas unifilares, se encuentran normalizados, de manera que se permita la interpretación fiel en cualquier momento. Pueden existir varias interpretaciones según el país o la empresa en que se realice el estudio, de esta manera tenemos:

- Estándares Americanos: ANSI, IEEE, ISA, UL.
- Estándares Mundiales: IEC.

	<i>Norma IEC</i>	<i>Norma ANSI</i>
Transformador de dos devanados		
Transformador de tres devanados		
Reactor		
Impedancia		
Sistema exterior		
Generador		
Motor de inducción		
Motor de síncronico		
Carga		
Fusible		
Interruptor de potencia		

FIGURA 10 SIMBOLOGÍA DE UN SISTEMA DE POTENCIA, NORMA ANSI E IEC [3].

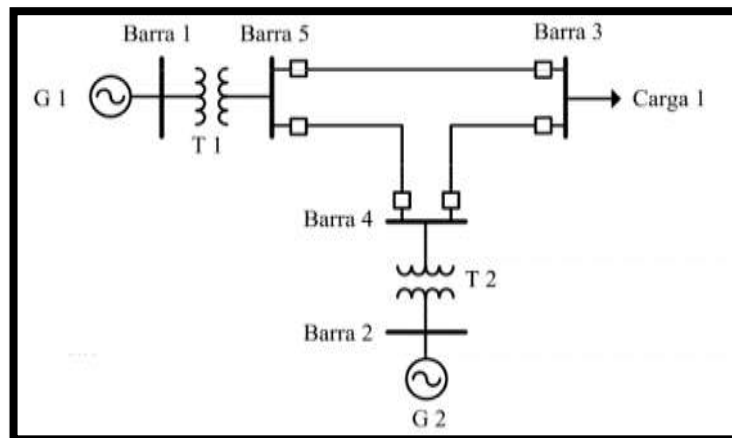


FIGURA 11 DIAGRAMA UNIFILAR DE UN SEP TÍPICO, NORMA ANSI [3].

2.3.1. Modelo de Línea de Transmisión

Los elementos de mayor extensión dentro de los sistemas de potencia son las líneas de transmisión y es importante conocer su modelo equivalente para simular su

comportamiento en cualquier situación dentro del SEP.

Las líneas de transmisión normalmente funcionan con cargas trifásicas equilibradas, aunque no estén dispuestos sus conductores equilateralmente e incluso sin transposición, la influencia de la asimetría es pequeña y se pueden considerar como elementos trifásicos equilibrados [3].

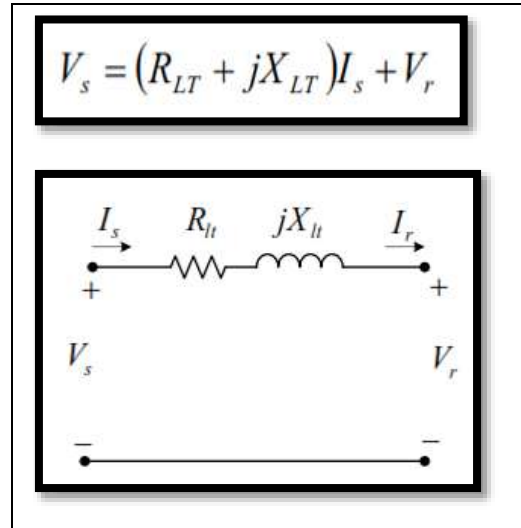


FIGURA 12 MODELO PARA LÍNEA DE TRANSMISIÓN CORTA [3]

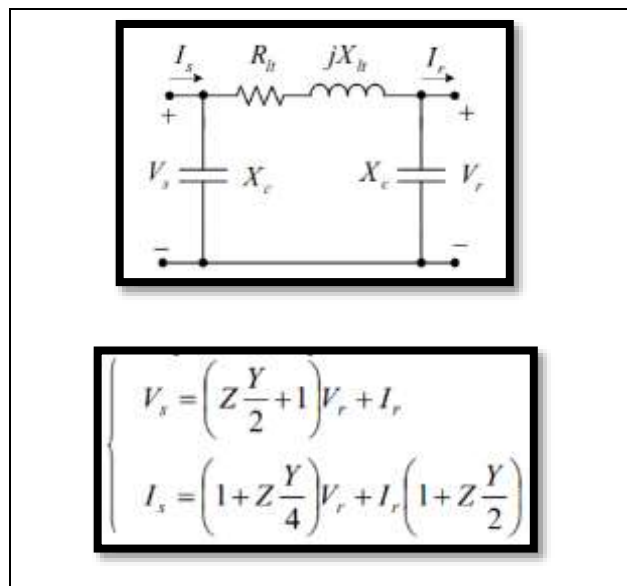


FIGURA 13 EQUIVALENTE PARA LÍNEA DE TRANSMISIÓN MEDIA [3].

2.3.2. Modelo de las cargas

Las cargas son elementos empleados frecuentemente en la representación de un sistema de potencia, por lo general se presentan como elementos que consumen potencia activa y reactiva.

Las cargas son clasificadas en estáticas y dinámicas, en atención a su comportamiento ante un cortocircuito, de esta forma, las cargas estáticas tienen un comportamiento tal que ante un cortocircuito no pueden entregar corriente, son elementos que consumen potencia activa y reactiva [3]. Sin embargo, en un sistema de potencia real, las cargas son de naturaleza dinámica, muy variantes en la escala del tiempo, por lo que no se ha logrado establecer aun un modelamiento que muestre su comportamiento real.

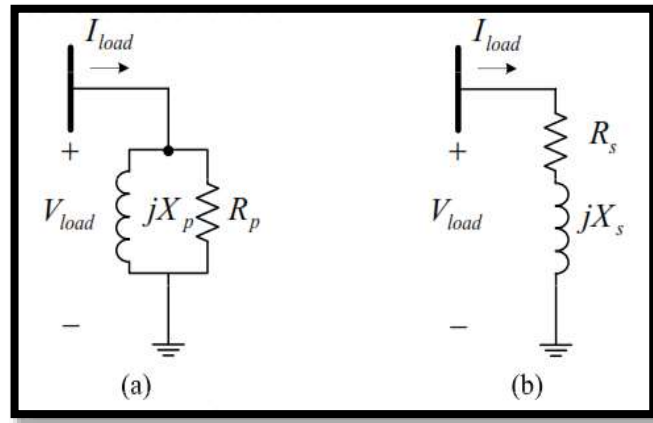


FIGURA 14 MODELO DE CARGA ESTÁTICA, A) PARALELO, B) SERIE [3].

2.4. Sistema de transmisión

Las líneas de transmisión son un conjunto de dispositivos para transportar o guiar la energía eléctrica desde una fuente de generación a los centros de consumo.

Después del proceso de generación, la energía creada se tiene que acondicionar para que durante el transporte hacia los centros de consumo se tenga el mínimo de pérdidas y para eso está el proceso de elevación de voltaje [8].



FIGURA 15 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA [8].

Al transmitir la energía se lo hace a alta tensión y una corriente baja para que existan menores pérdidas en el conductor, la resistencia varia con respecto a la longitud y como las líneas son largas las pérdidas de electricidad por calentamiento serían muy grandes.

La energía eléctrica llega a los centros de distribución y estos se encargan de enviar a los centros de consumo, los cuales reciben la electricidad ya acondicionada de acuerdo al voltaje permisible de a sus instalaciones (110V, 127V, 220V, etc.).

2.4.1. Materiales utilizados en líneas de transmisión

Existen varios materiales que son utilizados en las líneas de transmisión de acuerdo a las necesidades de la línea. Por ejemplo, el cobre duro es utilizado en las líneas aéreas donde se requiere más propiedades mecánicas de tensión, si se pone cobre suave la línea tenderá a pandearse debido a la gravedad y a su propio peso. Y en líneas subterráneas se utiliza el cobre suave, debido a que si utilizamos el cobre duro le quitaría la flexibilidad, que éstas requieren para su instalación y manejo [8].

TABLA 1 USOS DE LOS MATERIALES EN LA TRANSMISIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA [8].

Material	Aplicaciones	Tipo de poste	Herrajes
Aluminio	Se utiliza en distancias de 30 a 40mts.	Postes de Madera, estructuras pequeñas, concreto y hormigón	De 15000Lbs
Cobre	Se utiliza en distancias de 60 a 80 mts.	Postes de Madera, estructuras pequeñas, concreto y hormigón	De 15000Lbs
ACSR	Se usa en distancias de 100 a 120 mts.	Postes de Madera, acero y estructuras metálicas pequeñas	De 25 a 35KLbs
Cobre Hueco Aluminio Hueco	Se usa en distancias de 4 a 20 mts	Aisladores Soporte	De 3 ½ y 5 ½

En resumen, los materiales más utilizados son:

- Cobre duro (en líneas aéreas)
- Cobre suave (en líneas subterráneas)
- Aluminio o aleación
- Aluminio y acero ACSR

En las líneas de subtransmisión los más utilizados son:

- 266.8 KCM ACSR 26/7
- 477 KCM ACSR 26/7
- 795 KCM ACSR de 26/7
- 1113 KCM ACSR de 54/19

En las líneas de transmisión las más utilizadas son:

- 795 KCM ACSR de 26/7
- 1113 KCM ACSR de 54/19

2.4.2. Elementos principales en una línea aérea de transmisión

Entre los principales elementos de una línea de transmisión están: aisladores, postes de madera, cemento, acero, seccionadores, cuchillas e interruptores, conductores, banco de capacitores, entre otros.

2.4.2.1. Aisladores

Sirven para sujetar los conductores y mantenerlos aislados de tierra.

2.4.2.2. Apoyos

Para soportar los conductores mediante una cadena de aislamiento, manteniéndolos a una altura necesaria sobre el suelo y colaborando con la sujeción de todos los componentes.

2.4.2.3. Pararrayos

Son equipos eléctricos diseñados para drenar a tierra los sobre voltajes producidos por medios climáticos o fallas en el sistema.

2.4.2.4. Cables o hilos de guarda

Es el elemento que va en la parte superior de los postes y estructuras que sirven para subir al punto de referencia a tierra o arriba de los conductores de transmisión de energía. Sirven para proteger los conductores de sobretensiones temporales, ocasionadas por descargas atmosféricas.

2.4.2.5. Sistema de tierras

Están compuestas por un cable longitudinal continuo, principalmente de cobre y sirve para igualar las diferencias equipotenciales de los campos eléctricos, así como por el apoyo de la varilla de tierra y sus conductores ayudan a drenar cualquier falla que se llegue a presentar en los cables de potencia.

2.4.2.6. Conductores

Sirven para transportar la energía eléctrica, para poder seleccionar los conductores adecuados se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Tensión de línea
- Clima de la zona
- Nivel del voltaje
- Altura deseada
- Altura del objeto más alto

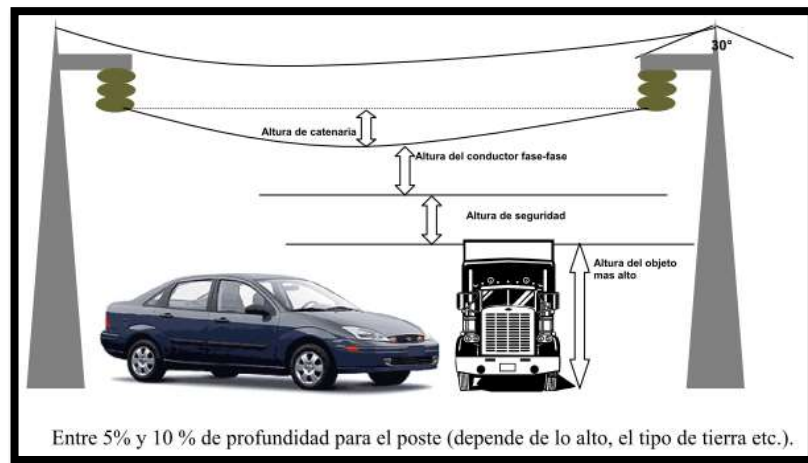


FIGURA 16 DISEÑO PARA CONDUCTORES Y POSTES [8].

2.4.3. Aislamiento en líneas de transmisión aéreas

Los sistemas de aislamiento en líneas de transmisión comprenden principalmente dos elementos: el aire y los elementos aisladores. Al ubicarse las líneas de transmisión al aire libre y cubrir, en muchos casos, cientos de kilómetros se hace necesario considerar diversos factores para un buen desempeño del aislamiento, tomando en cuenta los espaciamientos mínimos línea-estructura, línea-tierra y entre fases, el grado de contaminación del entorno, la cantidad de elementos aisladores a considerar y la correcta selección de estos.

2.4.3.1. El aire en el aislamiento de líneas

El aire es sin lugar a dudas el más usado de los aislantes para líneas de transmisión de energía. Los factores que pueden influir a la rigidez dieléctrica del aire son: densidad del aire, altura sobre el nivel del mar, humedad y presencia de partículas contaminantes. Este último factor adquiere gran importancia en el diseño y manutención de los elementos aisladores.

2.4.3.2. Aisladores de línea

En las líneas de transmisión se distinguen básicamente tres tipos de aisladores: Suspensión, Barra larga, Poste.

Los aisladores de suspensión o disco, son los más empleados en las líneas de transmisión, se fabrican de vidrio o porcelana uniéndose varios elementos para

conformar cadenas de aisladores de acuerdo al nivel de tensión de la línea y el grado de contaminación del entorno.

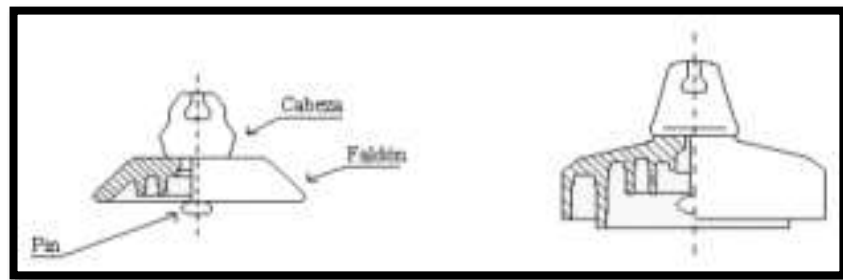


FIGURA 17 AISLADOR DE DISCO STANDARD, AISLADOR DE DISCO PARA NIEBLAS [8].

Los aisladores de barra larga constituyen elementos de una sola pieza y se fabrican de porcelana o de materiales sintéticos. Estos aisladores requieren menos manutención que los del tipo disco, no obstante, su costo es más elevado.



FIGURA 18 AISLADOR DE BARRA LARGA SINTÉTICO [8].

Los aisladores de tipo poste se fabrican con porcelana o materiales sintéticos. Se utilizan poco en líneas de transmisión y para tensiones por sobre 230 kV. Su principal aplicación está en aparatos de subestaciones.

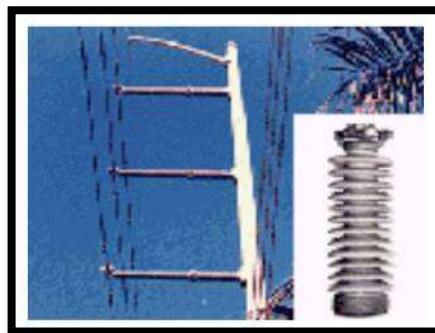


FIGURA 19 AISLADOR DE TIPO POSTE [8].

Desde el punto de vista de condiciones ambientales los aisladores se fabrican de dos tipos: Normales y para ambiente contaminante (tipo niebla).

2.4.4. Herrajes para Líneas de Transmisión

Entre los principales elementos de sujeción se tiene:

- Cadenas de suspensión
- Cadenas de anclaje
- Remates de compresión
- Grapas de suspensión
- Yugos
- Horquillas
- Grilletes



FIGURA 20 PRINCIPALES HERRAJES DE SUJECIÓN [8].

2.4.5. Configuración de los apoyos para líneas aéreas

Para la configuración de los apoyos, resulta de suma importancia las separaciones mínimas entre los conductores y entre estos y el apoyo. Se debe tener en cuenta distintos factores como las condiciones del terreno, condiciones geográficas, etc.[8].

Las líneas aéreas se instalan con uno o dos conductores por fase, lo que obliga al montaje de una o más crucetas, dando lugar a distintas configuraciones de apoyos.

Las configuraciones típicas para circuitos Simples son:

- H, Configuración en horizontal de los conductores.
- T, Configuración en T de los conductores.
- TB, Configuración en tresbolillo.
- B, Configuración en bóveda.

Las configuraciones para circuitos Dobles son:

- E, Configuración en hexágono.
- R, Configuración rectangular.

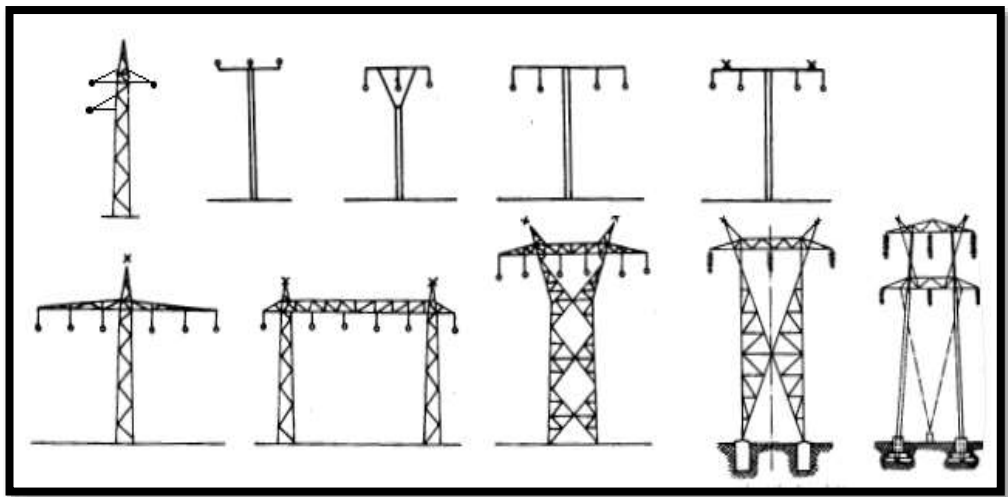


FIGURA 21 APOYOS PARA LÍNEAS AÉREAS [8].

2.5. Componentes simétricas de una línea de transmisión

Una línea de transmisión eléctrica tiene cuatro parámetros de afectan su funcionamiento dentro del sistema de potencia: resistencia, inductancia, capacitancia

y conductancia. La conductancia se presenta entre conductores o entre conductores y tierra, toma en cuenta las corrientes de fuga en los aisladores de líneas aéreas y a través del aislamiento de los cables, generalmente no se considera la conductancia entre conductores de una línea aérea porque la fuga en los aisladores llega a ser despreciable.

La inductancia del circuito relaciona el voltaje inducido por el flujo variable con la razón de cambio de la corriente.

La capacitancia que se presenta entre los conductores se define como su carga por unidad de diferencia de potencial entre ellos.

La resistencia y la inductancia uniformemente distribuidas a lo largo de la línea, constituyen la impedancia serie.

La conductancia y la capacitancia que se presentan entre conductores de una línea monofásica o desde un conductor al neutro de una línea trifásica constituyen la admitancia en paralelo o de dispersión.

Aunque la resistencia, inductancia y capacitancia están distribuidas, el circuito equivalente de una línea de hace con parámetros concentrados.

2.5.1. Resistencia

La resistencia de los conductores de las líneas de transmisión es la causa más importante de pérdida de potencia en ellas.

La resistencia efectiva de un conductor es:

$$R = \frac{\text{Pérdida de potencia del conductor}}{I^2} \quad (1)$$

La resistencia de corriente directa está dada por:

$$R_0 = \frac{\rho L}{A} \quad (2)$$

Donde:

ρ , resistividad del conductor

L, longitud

A, área de la sección transversal

2.5.2. Inductancia de las líneas de transmisión

La inductancia se define como la oposición de un elemento conductor (una bobina) a cambios en la corriente que circula a través de ella. También se puede definir como la relación que hay entre el flujo magnético (Φ) y la corriente y que fluye a través de una bobina. La inductancia se crea por la interacción de los campos magnéticos de los conductores de la línea, en relación al Radio Medio Geométrico (RMG) y la Distancia Media Geométrica (DMG) [8].

La inductancia de una línea se calcula como enlaces de flujo por amperios. Si la permeabilidad es constante, la corriente sinusoidal produce flujos que varían sinusoidalmente en fase con la corriente.

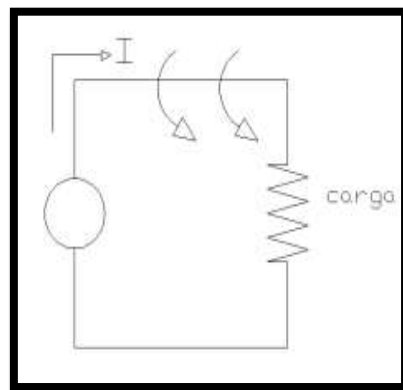


FIGURA 22 CIRCUITO EQUIVALENTE [7].

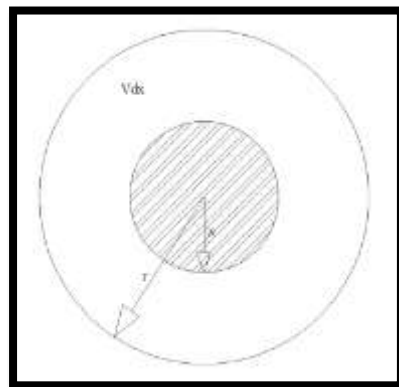


FIGURA 23 INDUCTANCIA EN UN CONDUCTOR [7].

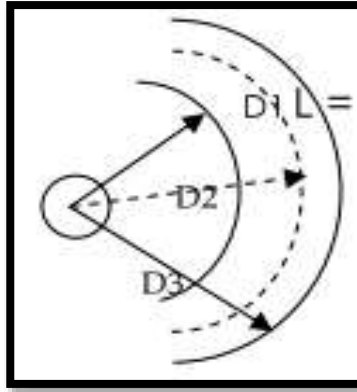


FIGURA 24 PUNTOS EXTERNOS DE UN CONDUCTOR [8].

El radio medio geométrico es $\gamma = 0.7788r = e^{-1/4}$.

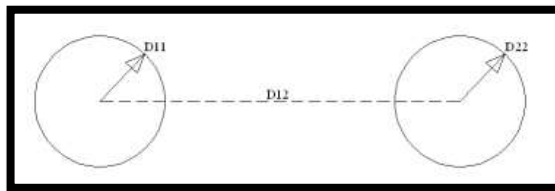
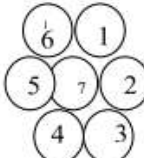
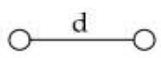


FIGURA 25 DIÁMETROS Y DISTANCIA ENTRE CONDUCTORES [8].



$$RMG = n^2 \sqrt[n]{\begin{matrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} & D_{14} & D_{15} & D_{16} & D_{17} \\ D_{21} & D_{22} & D_{23} & D_{24} & D_{25} & D_{26} & D_{27} \\ D_{31} & D_{32} & D_{33} & D_{34} & D_{35} & D_{36} & D_{37} \\ \vdots & & & & & & \\ D_{71} & D_{72} & D_{73} & D_{74} & D_{75} & D_{76} & D_{77} \end{matrix}}$$



$$RMGe = \sqrt{(RMG)(D)} = \sqrt[4]{D_{11} D_{22} D_{21} D_{12}}$$



$$RMGe = \sqrt{RMG * d^2}$$



$$RMGe = 1.09 \sqrt[4]{RMG * d^3}$$

FIGURA 26 RADIO GEOMÉTRICO [8].

Donde: $D_{11} = \gamma$; $D_{21} = d$

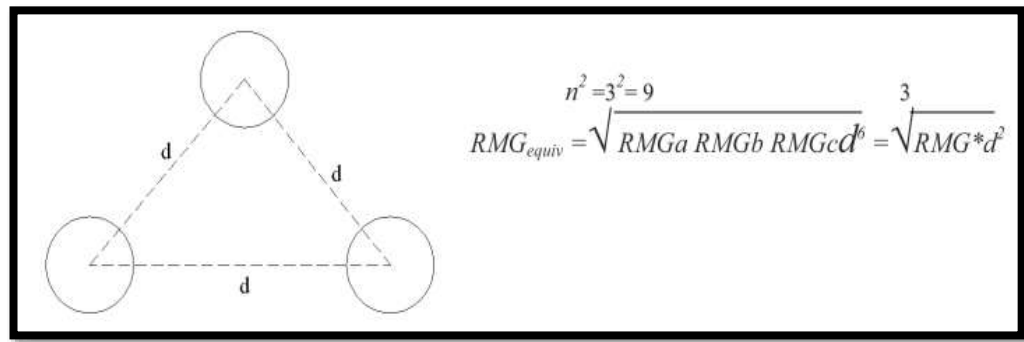


FIGURA 27 RADIO GEOMÉTRICO, DISTRIBUCIÓN TRIÁNGULO [8].

2.5.3. Capacitancia de las líneas de transmisión

La capacitancia de una Línea de Transmisión es el resultado de la diferencia de potencia entre los conductores y origina que ellos se carguen de la misma forma que las placas de un capacitor cuando hay una diferencia de potencial entre ellas. La capacitancia entre conductores es la carga por unidad de longitud. La capacitancia entre conductores paralelos es una constante que depende del tamaño y espaciamiento entre ellos.

La capacitancia es el resultado de la diferencia de potencial entre los conductores que origina que estos se carguen de la misma forma que las placas de un capacitor cuando hay una diferencia de potencial entre ellos.

$$C = q/V_{a-b} = \pi K / \ln(D/r) \quad (3)$$

Donde:

q, carga

V_{a-b} = diferencia de potencial

$K = 8.85 \times 10^{-12}$ = permeabilidad del aire

$X_c = 1/2\pi f C$

$X_c = 1/2\pi f C = 1/2\pi \cdot 2 \cdot f \cdot 8.85 [\ln(DMG/RMG)]$

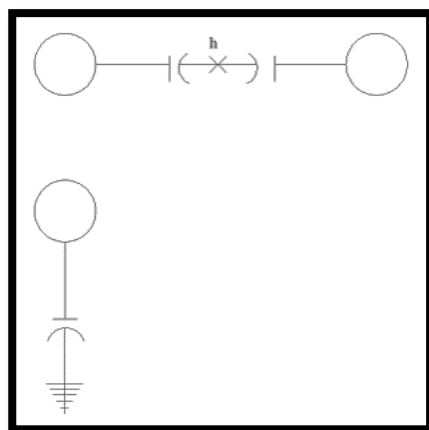


FIGURA 28 CAPACITANCIA ENTRE CONDUCTORES Y CONDUCTORES-TIERRA [8].

2.6. Determinación del aislamiento

La longitud de una cadena de aisladores se debe diseñar para soportar los voltajes a los que son sometidos, para ello es necesario observar dos conceptos: Distancia de Fuga de los aisladores en función de los niveles y tipo de contaminación, y Longitud de la Cadena de Aisladores que está dada por el voltaje de arco en aire entre conductores y estructura.

2.6.1. Longitud de la cadena de aisladores

Esta longitud se calcula con base al voltaje de arco en aire entre el conductor y la estructura, el cual depende de la geometría de las puntas en donde se presente dicho arco, de forma empírica se ha obtenido el voltaje de arco en aire de algunos cuerpos geométricos utilizados como electrodos de referencia.

Con este criterio se tiene:

$$d = TCF/Kco \quad (4)$$

Donde:

TCF, tensión crítica de flameo a las condiciones del lugar donde se localiza la línea.

Kco, factor de electrodo en aire, Kr corregido por la densidad de aire y humedad.

Debido a las diferentes altitudes en las que operan las líneas de subtransmisión se hace necesaria la corrección del Kr proporcionado en la tabla de la especificación, éste es calculado a partir de los siguientes valores:

Temperatura (To): 20 °C

Presión (bo): 1013 mbar (760 mm de Hg)

Humedad Absoluta (ho): 11 gramos de agua por metro cúbico

TABLA 2 FACTORES KN, KM Y KR, PARA CONFIGURACIONES DE ENTRE-HIERRO [8].

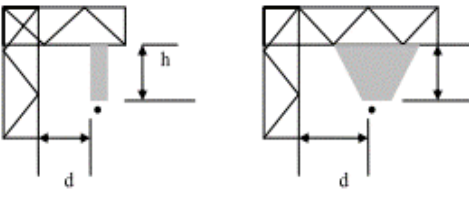
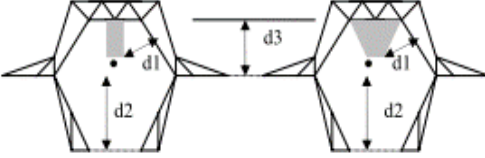
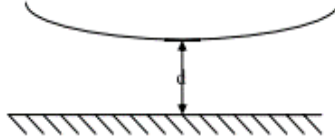
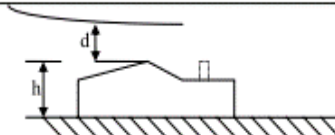
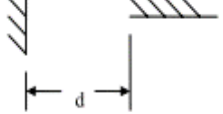
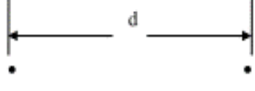
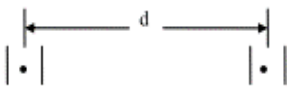
CONFIGURACIÓN DE ENTRE-HIERRO	DIAGRAMA	Kn	Km	Kr
FASE - TORRE		1.40	1.25	550
FASE - VENTANA DE TORRE		1.30	1.20	550
CONDUCTOR - SUELO		1.30	1.10	550
CONDUCTOR - OBJETO		1.45	1.35	550
VARILLA - PLANO		1.20	1.00	480
CONDUCTO - CONDUCTOR		1.65	1.50	550
ENTRE ANILLOS (EQUIPOTENCIALES) DE CONDUCTORES		-	1.60	550

TABLA 3 AISLAMIENTO POR IMPULSO TIPO RAYO Y TIPO MANIOBRA, DISTANCIAS MÍNIMAS ENTRE FASES, PARA DIFERENTES NIVELES DE TENSIÓN DE SUBTRANSMISIÓN [8].

TENSIÓN NOMINAL kV	TENSIÓN MÁXIMA kV	NBAI FASE- TIERRA kV	NBAM FASE- TIERRA kV	NBAI FASE- FASE kV	NBAM FASE- FASE kV	DISTANCIA FASE- TIERRA mm	DISTANCIA FASE- FASE mm
4.4	4.4	75	-	75	-	120	120
6.9	7.2	95	-	95	-	160	160
13.8	15.5	110	-	110	-	220	220
24	26.4	150	-	150	-	320	320
34.5	38	200	-	200	-	480	480
69	72.5	350	-	350	-	630	630
115	123	450 550	-	450 550	-	900 1100	900 1100
138	145	450 550 650 550	-	550 650 650 650	-	1100 1300 1100	1100 1300 1300
161	170	650 750	-	650 750	-	1300 1500	1500

Las características eléctricas del soporte, calculadas a condiciones normalizadas se deterioran con la presión atmosférica y ésta disminuye con el aumento de la altitud y la temperatura, al aumentar la humedad las tensiones de soporte aumentan hasta antes de que se condense la humedad en la superficie del conductor, por lo tanto, deben considerarse los siguientes factores de corrección:

2.6.2. Factor de corrección por densidad de aire (Kda):

$$K_{da} = (b/b_0) * ((273+T_0)/(273+T)) \quad (5)$$

Donde:

- T, Temperatura ambiente en grados centígrados
- B, Presión barométrica en mbar
- T₀, Temperatura ambiente de condiciones estándar (20 °C)
- b₀, Presión barométrica en condiciones estándar (1013 mbar)

Con el valor de la altitud y/o presión atmosférica, se puede obtener el valor del factor de corrección K_{da}.

2.6.3. Factor de corrección por humedad (K_h):

Este factor depende de la humedad absoluta del sitio en gr/m³, predeterminadas ya en tablas.

Conocidos la temperatura del bulbo húmedo del lugar y la humedad relativa del aire más críticas de las regiones por donde cruza la línea y teniendo el valor de humedad absoluta, obtenemos el valor de K_h considerando los factores de corrección por humedad y por densidad de aire se puede obtener con la relación:

$$K_{co} = K_r (K_{da} / K_h) \quad (6)$$

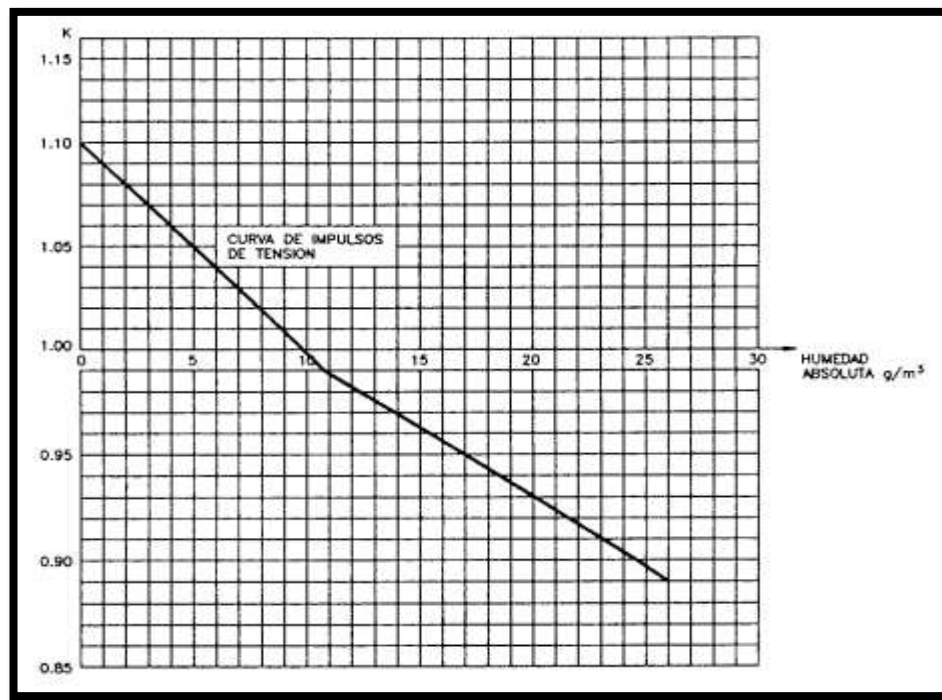


FIGURA 29 FACTOR DE CORRECCIÓN POR HUMEDAD EN FUNCIÓN DE LA HUMEDAD ABSOLUTA [8].

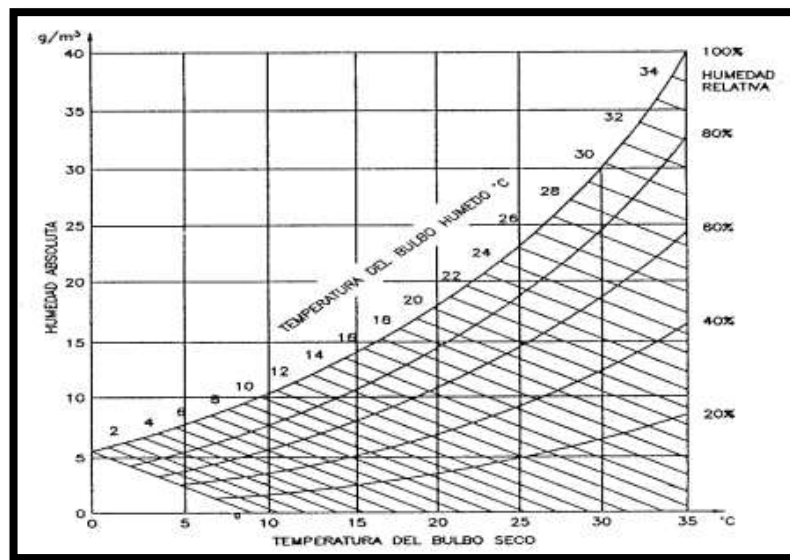


FIGURA 30 HUMEDAD ABSOLUTA DEL AIRE EN FUNCIÓN DE LAS TEMPERATURAS DE BULBO SECO, BULBO HÚMEDO Y DE LA HUMEDAD RELATIVA [8].

2.7. Distancia de fuga

La distancia de fuga de un aislador se define como la distancia más corta, o la suma de distancias más cortas a lo largo del contorno de la superficie externa del material aislante, la relación entre esta distancia y el voltaje máximo de fase a fase o de fase a tierra determina las distancias específicas de fuga entre fases o fase a tierra, respectivamente [8]. El cálculo del número de aisladores partiendo de la distancia de fuga para un voltaje máximo, está dada por la fórmula:

$$D_{ftc} = D_{fmn} V_m k \quad (7)$$

Donde:

D ftc, Distancia de fuga total de la cadena de aisladores en mm.

D fm, Distancia de fuga mínima nominal en mm/kV tomada de la especificación CFE-L0000-06.

Vm, Voltaje máximo del sistema en KV, proporcionado en la especificación CFE-L0000-06.

k, Factor de corrección por diámetro de los aisladores y que puede ser:

k = 1,0 para aisladores de suspensión o tipo cadena y para aisladores tipo poste con diámetro menor a 300 mm.

$k = 1,10$ para aisladores tipo poste con diámetro mayor que 300 mm y menor o igual que 500 mm.

$k = 1,20$ para aisladores tipo poste pero con diámetro mayor que 500 mm.

Para el cálculo de estas distancias se toma un factor de 1.05 veces la distancia de fase a tierra, por los herrajes que llevan las cadenas y en su caso los aisladores tipo poste.

El número de los aisladores (NA) está determinado por la siguiente expresión:

$$NA = \frac{(1.05 * (DISTANCIA DE FUGA TOTAL))}{(DISTANCIA DE FUGA DEL AISLADOR SELECCIONADO)} \quad (8)$$

TABLA 4 FACTORES DE CORRECCIÓN POR PRESIÓN ATMOSFÉRICA A DISTINTAS ALTITUDES [8].

ALTITUD EN METROS	PRESIÓN		FACTOR DE CORRECCIÓN Kda	ALTITUD EN METROS	PRESIÓN		FACTOR DE CORRECCIÓN Kda
	mbar	mm Hg			mbar	mm Hg	
0	1013	760	1.00	2500	747	560	0.737
100	1001	751	0.988	2600	739	554	0.728
200	989	742	0.976	2700	728	546	0.718
300	977	733	0.965	2800	720	540	0.710
400	968	726	0.954	2900	708	531	0.698
500	955	716	0.942	3000	701	526	0.692
600	943	707	0.931	3100	692	519	0.683
700	932	699	0.919	3200	683	512	0.674
800	921	691	0.908	3300	675	506	0.665
900	909	682	0.897	3400	665	499	0.656
1000	905	679	0.893	3500	656	492	0.647
1100	888	666	0.876	3600	648	486	0.639
1200	877	658	0.866	3700	639	479	0.629
1300	867	650	0.855	3800	629	472	0.621
1400	856	642	0.845	3900	621	466	0.613
1500	845	634	0.834	4000	613	460	0.605
1600	836	627	0.824	4100	605	454	0.597
1700	825	619	0.814	4200	597	448	0.590
1800	815	611	0.804	4300	591	443	0.583
1900	805	604	0.794	4400	584	438	0.576
2000	795	596	0.784	4500	577	433	0.569
2100	785	589	0.774	4600	571	428	0.562
2200	775	581	0.765	4700	563	422	0.555
2300	765	574	0.756	4800	556	417	0.549
2400	756	567	0.746	4900	549	412	0.542

2.8. Fallas de cortocircuito

En general las corrientes de cortocircuito alcanzan magnitudes mucho mayores que los valores nominales de los generadores, transformadores y líneas. Si se permite que estas corrientes circulen por un período prolongado pueden causar un serio daño térmico al equipo y problemas de estabilidad de funcionamiento en el SEP. El cortocircuito más severo es el trifásico que a más de dar valores elevados de corriente, reduce a cero la capacidad de transmisión de una línea, lo sigue el cortocircuito bifásico y finalmente el monofásico.

Sin embargo, el más frecuente es el monofásico (80% de los casos) y el menos frecuente es el trifásico (5% de los casos) [13]. En muchas oportunidades las corrientes de cortocircuito se auto extinguen y se restablece la aislación. Debido a este hecho, se utilizan en la práctica interruptores que reconectan automáticamente la línea dañada, una, dos o más veces para probar si la falla se ha eliminado. Sólo en el caso de que la falla persista, el interruptor desconecta la línea en forma definitiva.



FIGURA 31 PORCENTAJE DE FALLAS MÁS FRECUENTES [13].



FIGURA 32 PROBABILIDAD DE FALLA EN ELEMENTOS DEL SEP [13].



FIGURA 33 CAUSAS DE LAS FALLAS [13].

2.8.1. Tipos de falla de cortocircuito

Los tipos de fallas de cortocircuito son simétricas y asimétricas.

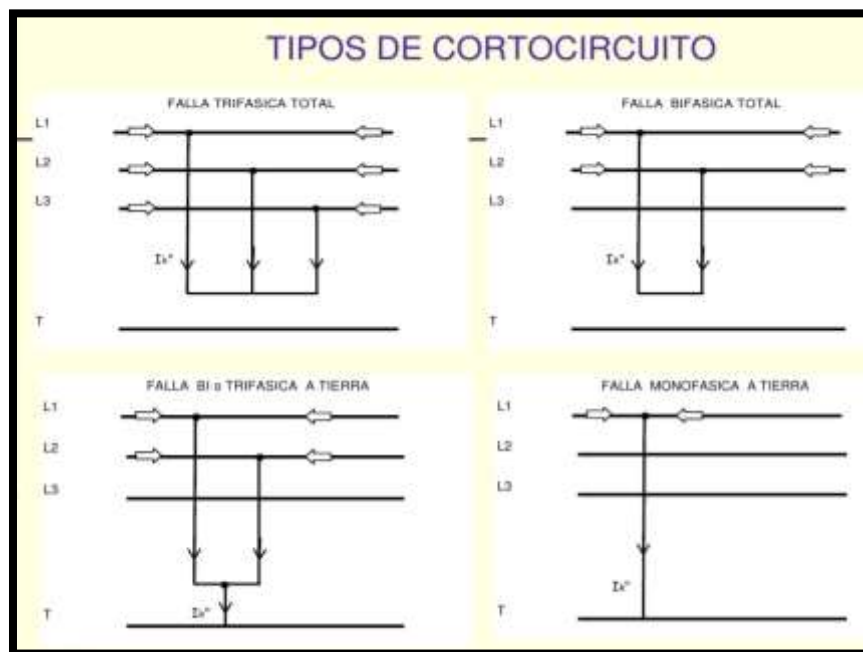


FIGURA 34 TIPOS DE CORTOCIRCUITO [13].

2.8.1.1. Cortocircuitos trifásicos simétricos

Involucran las tres fases y llevan al sistema a un nuevo punto de operación con corrientes elevadas pero el sistema continúa siendo simétrico balanceado.

- Falla entre fases, llamadas también fallas trifásicas en donde las fases a, b y c se conectan entre sí.

- Falla entre fases y tierra, llamada también fallas trifásicas con neutro en donde las fases a, b y c y la tierra se conectan entre sí.

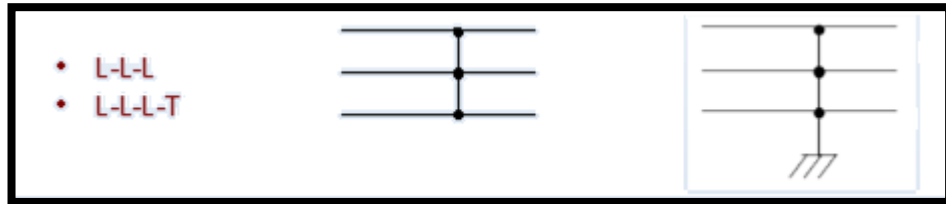


FIGURA 35 CORTOCIRCUITOS TRIFÁSICOS SIMÉTRICOS [13].



FIGURA 36 VARIACIÓN EN EL TIEMPO DE LA CORRRIENTE DURANTE LA FALLA [13].

2.8.1.2. Cortocircuitos asimétricos

Involucran una, dos o tres fases y llevan al sistema a un nuevo punto de operación con corrientes elevadas, pero con un sistema desbalanceado.

- Fallas de una fase a tierra, llamada falla monofásica, puede ser: fase a y tierra, fase b y tierra, fase c y tierra.
- Fallas entre dos fases, llamada falla bifásica, puede ser: Fase a y b, fase b y c, fase c y a.
- Fallas de dos fases a tierra, llamado fallas bifásicas a tierra, puede ser: fase a y b con tierra, fase b y c con tierra, fase c y a con tierra.

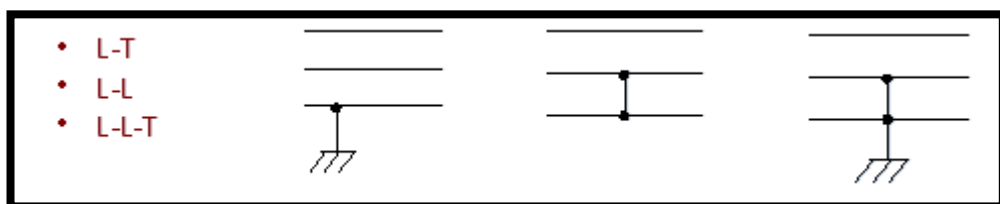


FIGURA 37 CORTOCIRCUITOS ASIMÉTRICOS [13].

2.8.2. Corrientes de falla

Las fallas que existen por cortocircuito son: trifásico simétrico, aislado o a tierra, bifásico aislado (cortocircuito entre 2 líneas), bifásico a tierra (entre dos líneas y el conjunto a tierra) y monofásico (una línea conectada a tierra).

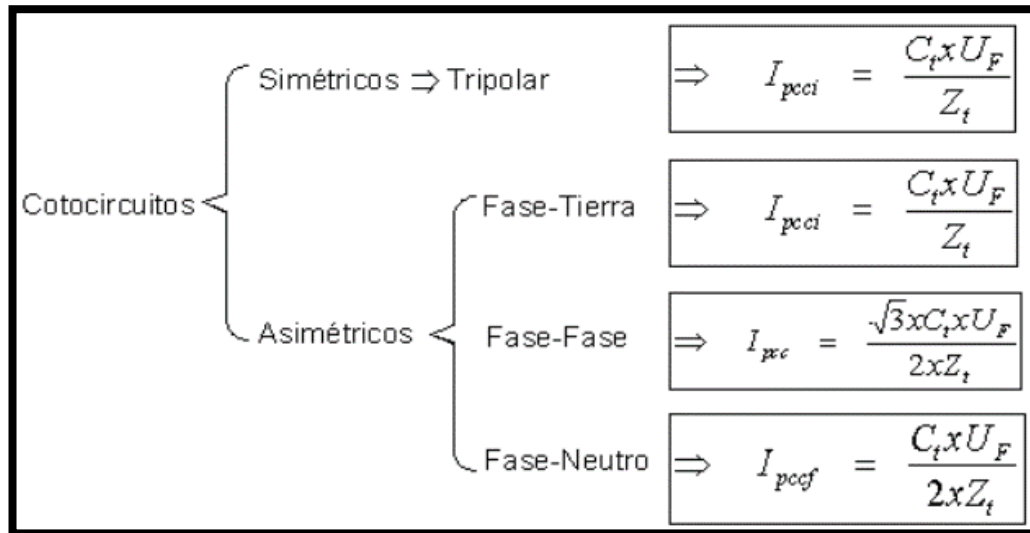


FIGURA 38 DIAGRAMA DE FALLAS [12].

La intensidad del cortocircuito tiene dos componentes: alterna (I_a) y continua (I_c).

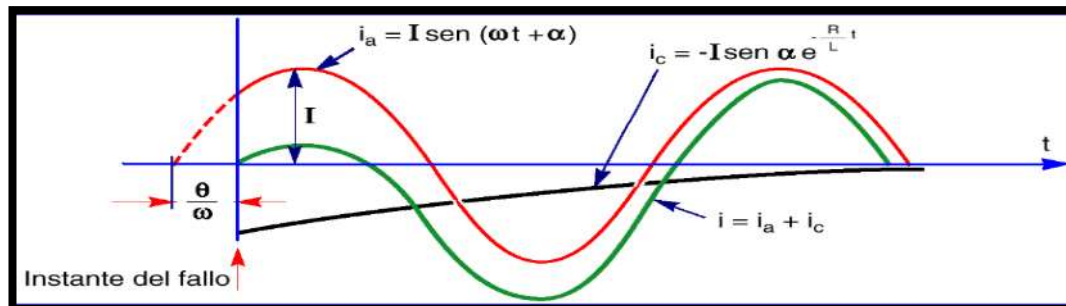


FIGURA 39 COMPONENTES DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO [12].

Su valor inicial depende en que parte de la onda de tensión ocurre el cortocircuito y su amortiguamiento es tanto más rápido cuanto mayor es la relación R/L .

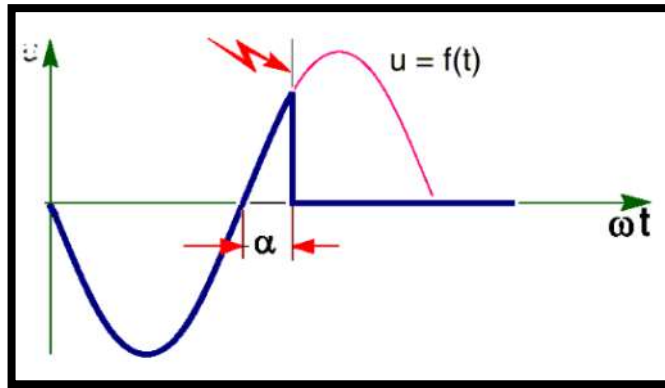


FIGURA 40 CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO [12].

Circuito Equivalente: Una red simplificada se reduce a una fuente de tensión alterna constante, un interruptor, una impedancia Z_{cc} , que representa todas las impedancias situadas aguas arriba del interruptor, y una impedancia Z_s de la carga.

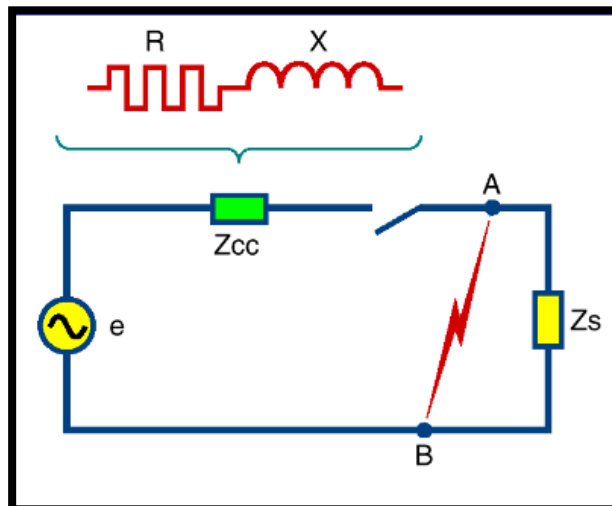


FIGURA 41 CIRCUITO EQUIVALENTE DE FALLA [12].

2.8.3. Intensidad de cortocircuito

Cuando se produce un defecto de impedancia despreciable entre los puntos A y B, aparece una intensidad de cortocircuito muy elevada, limitada únicamente por la impedancia Z_{cc} . La intensidad I_{cc} se establece siguiendo un régimen transitorio en función de las reactancias X y de las resistencias R que son las componentes de la impedancia Z_{cc} .

$$Z_{cc} = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (9)$$

La I_{cc} máxima sirve para determinar:

- El poder de corte de los interruptores automáticos.
- El poder de cierre de los dispositivos de maniobra.
- Las necesidades electromagnéticas de conductores y componentes.

La I_{cc} mínima sirve para:

- Elegir la curva de disparo de los interruptores automáticos.
- Protección a los conductores involucrados dentro de sus características de fábrica.
- Protección al personal que se sustenta en la operación de interruptores o de fusibles.



FIGURA 42 FALLA ALEJADA DE LA FUENTE [12].



FIGURA 43 FALLA CERCANA A LA FUENTE [12].

2.9. Configuración de conexión de barras e interruptores

En una subestación es vital que todos sus equipos estén coordinados y respondan acorde a cualquier requerimiento o eventualidad, por lo cual se hace necesaria garantizar la seguridad del sistema por medio de dispositivos automáticos de control y protección, con el fin de redistribuir el flujo de energía a través de rutas alternativas.

Los arreglos que se ha seleccionada para este módulo son:

- Configuración de barra simple
- Configuración barra simple partida
- Configuración barra simple con bypass
- Juego de barras con transferencia
- Configuración doble barra
- Configuración de anillo

2.9.1. Configuración de barra simple

Por su simplicidad, este arreglo es el más económico, pero posee dos inconvenientes:

- No es posible realizar el mantenimiento o ampliación de la subestación sin interrumpir el servicio.
- En condiciones normales de operación, todas las líneas y transformadores están conectados a un solo juego de barras.

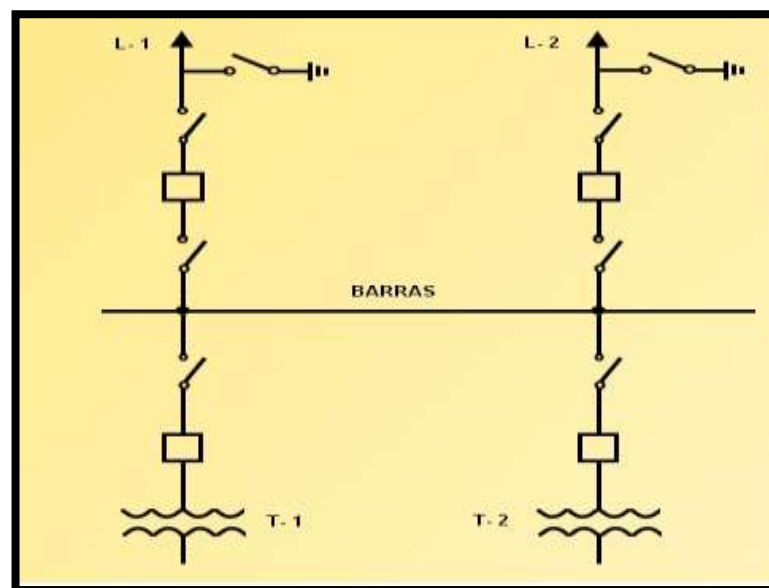


FIGURA 44 CONFIGURACIÓN DE BARRA SIMPLE, FUENTE: ETAP.

2.9.2. Configuración barra simple partida

Tiene las mismas limitantes de una configuración de barra simple, pero tiene la ventaja de que, si se presenta alguna falla, puede seguir funcionando la mitad de la subestación. Esta configuración implica un seccionador más, pero hace más confiable el sistema.

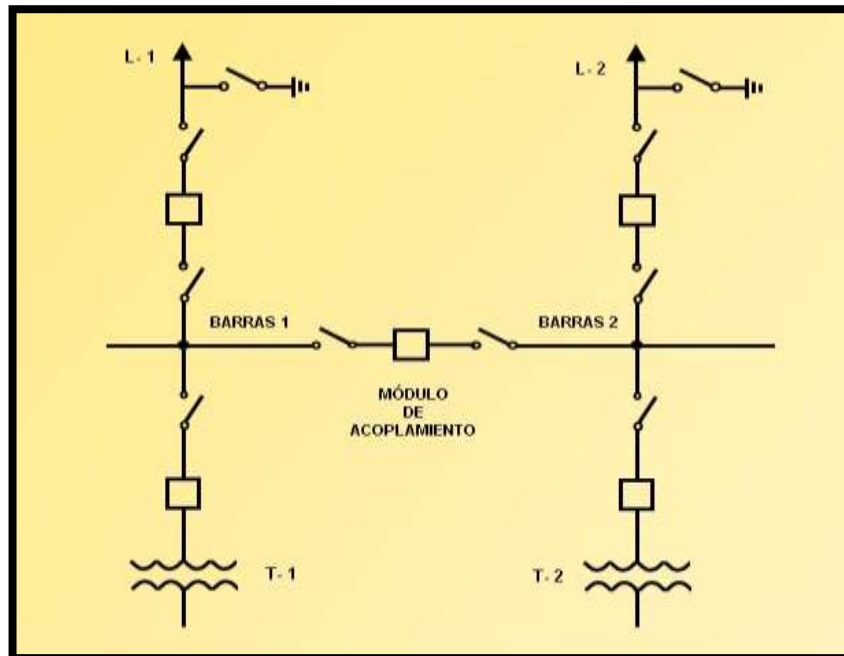


FIGURA 45 CONFIGURACIÓN BARRA SIMPLE PARTIDA, FUENTE: ETAP.

2.9.3. Configuración barra simple con bypass

En todos los circuitos conectados a una única barra, pero en paralelo con cada módulo, se instala un seccionador llamado Bypass, cuya misión consiste en aislar los tramos del circuito de forma visible, para que se pueda intervenir o dar mantenimiento en los mismos sin peligro.

Esta configuración permite operaciones de mantenimiento sin interrumpir el servicio.

El único inconveniente es que mientras esté activado el bypass, la instalación queda sin protecciones y en caso de perturbaciones se dispararán los interruptores correspondientes.

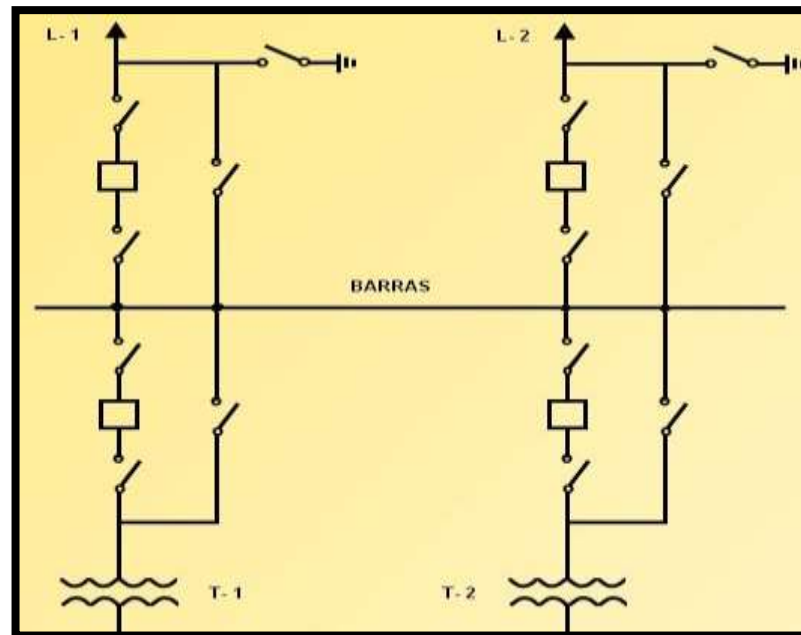


FIGURA 46 CONFIGURACIÓN BARRA SIMPLE CON BYPASS, FUENTE: ETAP.

2.9.4. Juego de barras con transferencia

Esta es una variante del doble juego de barras; la llamada barra de transferencia, se usa únicamente como auxiliar, cuando se realiza el mantenimiento en el interruptor de línea, de manera que el interruptor se puede desconectar en ambos extremos, mientras la línea o el alimentador permanece con servicio.

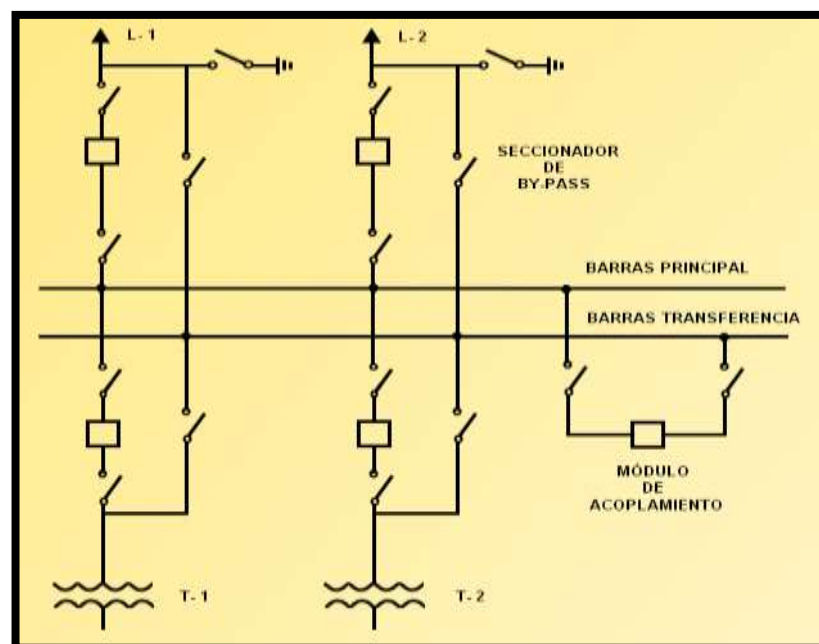


FIGURA 47 JUEGO DE BARRAS CON TRANSFERENCIA, FUENTE: ETAP.

2.9.5. Configuración doble barra

Se usan dos juegos de barras idénticas, uno se puede usar como respaldo del otro, con esto se garantiza que no exista interrupción del servicio, en el caso de que falle uno de los juegos de barras.

Los principales beneficios de esta configuración son:

- Se puede independizar el suministro de cargas, de manera que cada carga, se puede alimentar de cada juego de barras.
- Se puede dar mantenimiento por separado a cada juego de barras, sin embargo, los interruptores no están disponibles para mantenimiento sin que se desconecte la barra correspondiente.
- La flexibilidad en operación normal, se puede considerar como buena.
- El costo adicional de esta configuración es aceptable cuando la continuidad en el suministro de la carga debe ser ininterrumpido.

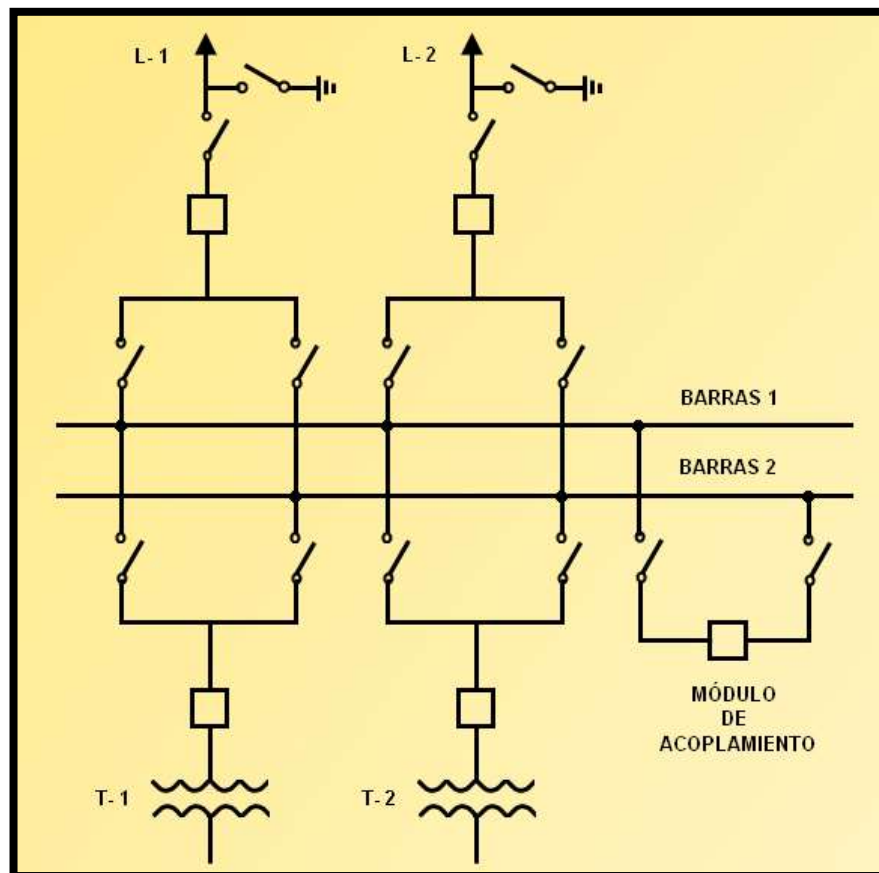


FIGURA 48 CONFIGURACIÓN DOBLE BARRA, FUENTE: ETAP.

2.9.6. Configuración de anillo

La barra colectora es un anillo conformado por interruptores. Para aislar un circuito se requiere la apertura de los dos interruptores. Para aislar un circuito por un período largo, se debe abrir el seccionador de la línea para cerrar los interruptores asociados a dicho circuito y así dar continuidad al anillo. Es económica, segura y confiable si todos sus interruptores están cerrados. En caso de falla en un circuito, mientras se hace mantenimiento en otro, el anillo puede quedar dividido y presentar falta de servicio para alguna de las partes, o perderse la seguridad en el sistema. Desde el punto de vista de la flexibilidad la subestación es similar a una barra sencilla. Para efectos de distribución de corrientes, los circuitos conectados al anillo se deben distribuir de tal manera que las fuentes de energía se alternen con las cargas.

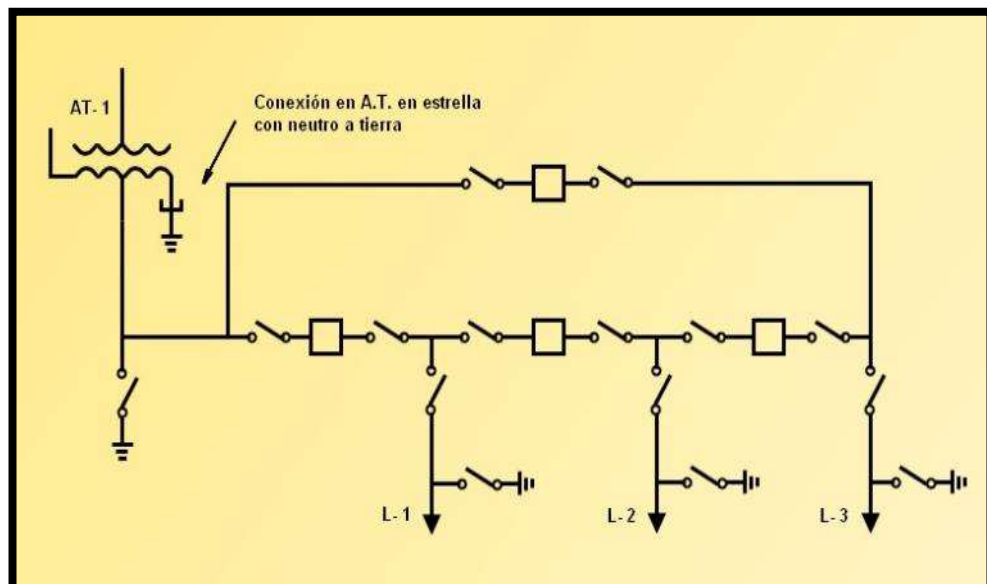


FIGURA 49 CONFIGURACIÓN DE ANILLO, FUENTE: ETAP.

2.10. Relé de Distancia SEL 421

El SEL 421 es un relé multifuncional tripolar para líneas de transmisión diseñado para cualquier tensión.

Entre sus características principales están: elemento de protección principal de distancia de fase y neutro, elemento de protección de respaldo local de 67/67N bajo esquemas pilotos, función de recierre, función de lógica de detección (CCTV), entre otras [6].



FIGURA 50 RELE DE PROTECCION SEL 421 [6].

En la figura 51 se muestra un diagrama de las principales funciones del SEL 421.

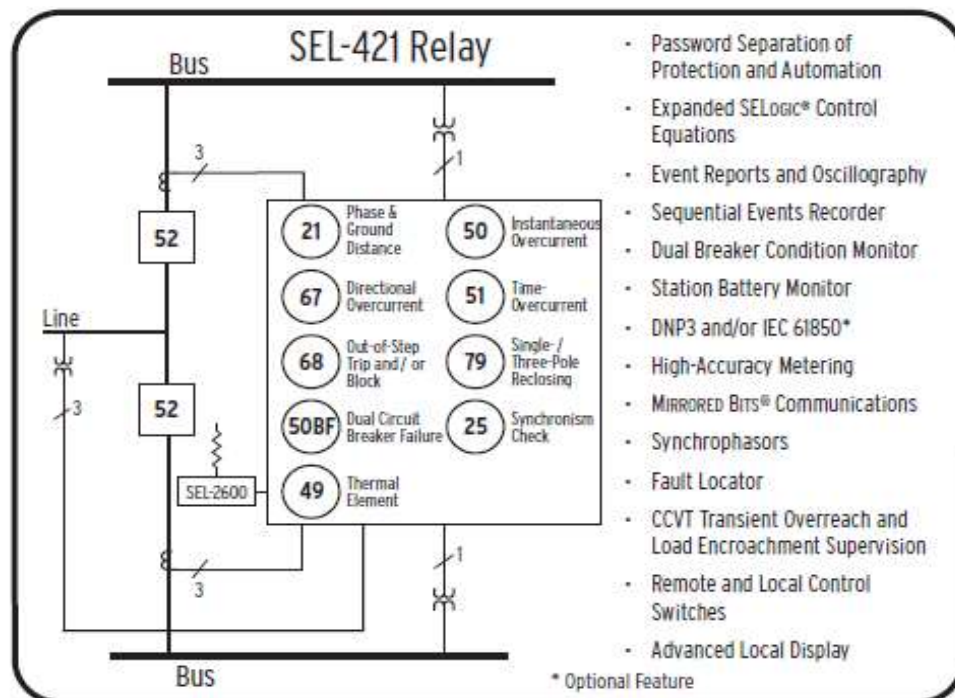


FIGURA 51 DIAGRAMA DE FUNCIONES PRINCIPALES DEL SEL 421 [6].

El Relé SEL-421 posee funciones importantes como: Identificador de falla, Localizador de falla, Interfaz de usuario.

2.10.1. Registro de eventos

Cuenta con varias modulaciones de frecuencia de captura de datos, entre 8 y 1 kHz. El tiempo de duración se puede ajustar entre 0,25 – 5 segundos. El número máximo de eventos que se pueden almacenar varía con respecto al tiempo y frecuencia ajustada. Esto se puede apreciar con mayor detalle en la Tabla 5.

TABLA 5 NÚMERO MÁXIMO DE EVENTOS A ALMACENAR EN SEL 421 [6].

Tamaño del reporte (s)	Máximo número de reportes a almacenar			
	8 kHz	4 kHz	2 kHz	1 kHz
0.25	18-20	25-27	31-33	36-39
0.50	11	16	18-20	23-25
1.0	6	8	11	15
2.0	3	4	6	8
3.0	N/A	3	4	5
4.0	N/A	N/A	3	4
5.0	N/A	N/A	N/A	3

2.10.2. Frecuencia de muestreo

El SEL 421 cuenta con una amplia frecuencia de muestreo, unas 133 veces por ciclo, por lo que el hardware del SEL 421 debe ser más rápido y potente, al disminuir los tiempos entre muestras, disminuye directamente el tiempo de ejecución de todo el algoritmo de protección.

2.10.3. Comunicaciones

Puertos para monitoreo: 2 puertos RS232, 10 Base T, 10 Base F.

Puertos para comunicación entre relés: 2 puertos RS232.

2.10.4. Protección de Fallas del Interruptor

Incorporado en el SEL-421 se encuentra un interruptor que tiene todas las funciones de las fallas. En la actualidad se controla individualmente con dos interruptores. La lógica de un tripolar permite la flexibilidad de la operación. Tiene un restablecimiento de 8/5 ciclos que reduce los tiempos de coordinación, mejoramiento en la estabilidad del sistema.

2.10.5. Pérdida de Tensión

El SEL-421 incluye la lógica para detectar una pérdida de tensión de voltaje causada por fallas como fusibles quemados, lo que puede ocasionar un funcionamiento incorrecto en la Operación de Elementos.

Otra funcionabilidad son los ajustes simples que configuran la lógica de las pérdidas de potencial a bloquear o enviar a tierra y la fase direccional de elementos bajo estas condiciones. Este principio acciona más rápido que los elementos de disparo.

2.10.6. Sistema del Relé 421

El SEL-421 tiene protección, automatización y control del dispositivo, este dispositivo puede actuar como un integrador de una estación de protecciones completa, en el control y la vigilancia del sistema. Cada relé puede vincularse a un proceso de comunicaciones que integra cada unidad de protección general como se muestra en la Fig. 52. Los diferentes SEL también se pueden conectar a la red de comunicación teniendo cuatro puertos, serie que se utilizan en la conexión a un procesador de comunicación, terminal ASCII, transceptor de fibra óptica o PC.

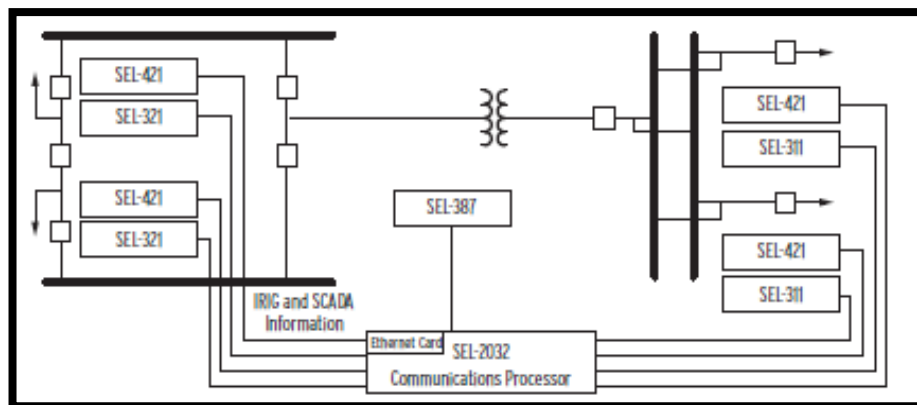


FIGURA 52 SISTEMA FUNCIONAL DEL SEL 421 [6].

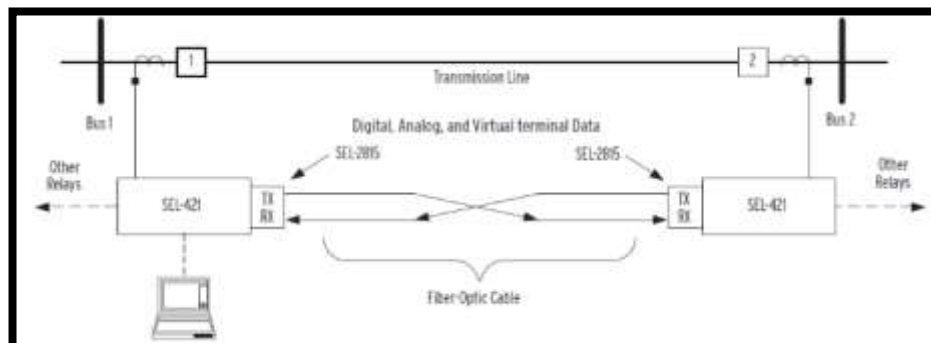


FIGURA 53 COMUNICACIÓN INTEGRAL [6].

2.11. Relé de Sobre Corriente SEL 751

Este relé SEL 751 brinda protección contra sobre corrientes, sobre voltajes, bajos voltajes y frecuencia.



FIGURA 54 RELE DE SOBRE CORRIENTE SEL 751 [7].

2.11.1. Principales funciones de protección y control

- Elementos de sobre corriente en las fases, neutro, residual y secuencia negativa
- Corrientes y voltajes producidos por alta y baja frecuencia
- Fallo del disyuntor o contacto
- Control de reconexión automático
- Detección de arco eléctrico
- Protección de Arco Eléctrico
- Factor de potencia
- Taza de cambio de frecuencia
- Pérdida de una fase
- Medición de sobre corriente residual
- Características estándar de protección
- Detecciones de Fallas de Altas Impedancias
- Comprobación de Sincronismo y de baterías DC de la estación de control
- Medición y Monitoreo
- Localización de daños

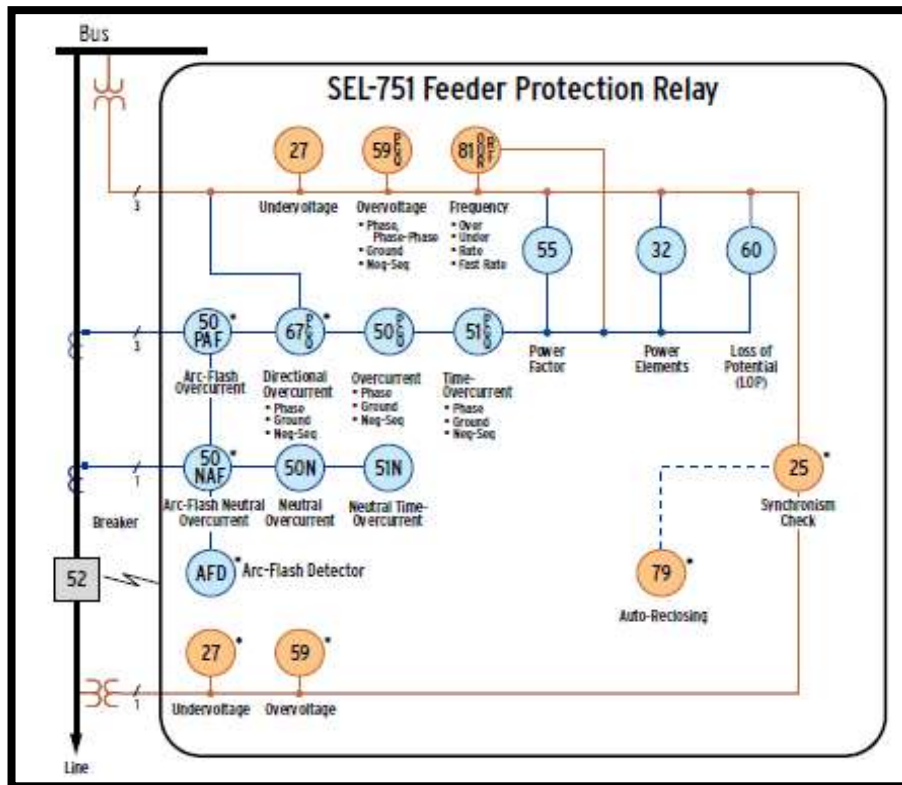


FIGURA 55 DIAGRAMA FUNCIONAL SEL 751 [7].

2.11.2. Beneficios

Entre los principales beneficios del Relé SEL 751 se puede mencionar los siguientes:

- Protección de las líneas y los equipos con una amplia gama de elementos de protección de sobre corrientes, elementos de baja y sobre frecuencia, elementos de sobretensión y mínima tensión y la protección de falla. Implementación de la desconexión de la carga y otros esquemas de control para la protección del sistema.
- Permite reducir o eliminar los daños causados por eventos de arco eléctrico con, cuatro canales opcionales de fibra óptica de arco eléctrico, entradas de detector y elementos de protección.
- Reducir las fallas mediante la ubicación de la avería y estimando el tiempo de reparación basada en la impedancia de fase.
- Toma de decisiones de despacho de carga, basadas en mediciones reales fasoriales en tiempo real de todo el sistema de energía. Utilizando sincrofasores

para determinar los márgenes de estabilidad reales con hojas de cálculos estándares, programas gráficos, o de gestión de datos de sistemas.

2.11.3. Elementos de Protección de Potencial

El SEL-751 proporciona dos elementos de potencia para detectar potencia real (vatios) o potencia reactiva (VAR) positivo o negativo con los niveles de flujo del sistema. Cada elemento de potencia tiene un ajuste de retardo de tiempo definido.

2.11.4. Arc-Flash de Protección

En un cortocircuito de arco o una falla a tierra en baja o media tensión se puede causar graves daños tanto en equipos y personas. También pueden causar un tiempo de inactividad prolongado y costoso. La mejor manera de minimizar el impacto de estos eventos es reducir los tiempos de disparo del interruptor de detección y de circuito.

La protección convencional puede necesitar varios ciclos para detectar, dando como resultado fallo de sobre intensidad y disparar el interruptor. En algunos casos, puede que no haya suficiente corriente para detectar una sobre corriente. El disparo se puede retrasar cientos de milisegundos por razones de sensibilidad y selectividad en algunas aplicaciones.

La protección basada en la detección de arco eléctrico (AFD) puede actuar sobre el interruptor de circuito en unos pocos milisegundos (2-5 ms), ésta rápida respuesta puede limitar la energía de arco eléctrico evitando así lesiones al personal y daño a los equipos.

2.12. FLUJO DE POTENCIA EN ETAP

ETAP es una herramienta integrada, diseñada y desarrollada para ingenieros que se desempeñen en las diversas disciplinas de los sistemas de potencia. Es una herramienta modular, con un paquete base al que se le suman módulos de acuerdo a las necesidades de cada cliente. El ETAP ofrece una suite integrada de cálculos eléctricos, como: arco eléctrico, flujo de carga, cortocircuito, estabilidad transitoria, selectividad de protecciones, capacidad de cables, corriente continua y más, según el requerimiento.

ETAP es la solución más completa para el diseño, simulación, operación, control, optimización y automatización de sistemas de potencia de generación, transmisión, distribución e industria.

Es por estas razones, se optó por usar este programa para simular el flujo de potencia del sistema de transmisión y poder además simular fallas trifásicas que nos permitan determinar la cantidad de amperios que circularían en una línea real teórica de 138KV y con la tensión máxima real para la que se diseñó este módulo de 600V lo que nos permitirá más adelante determinar la cantidad de vueltas que debemos dar a los TC para que los relés de protección puedan ver un valor mayor al que realmente circula por el módulo, tal como lo harían en una falla real en un nivel de tensión elevado.

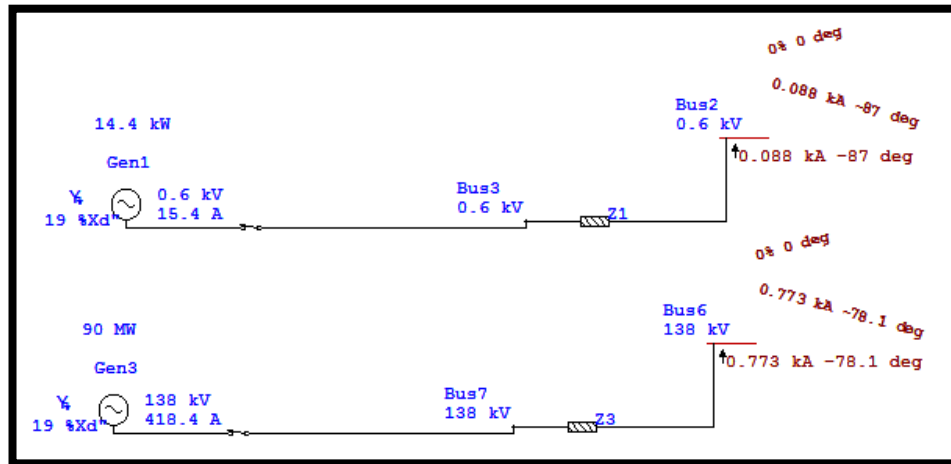


FIGURA 56 SIMULACIÓN DE FALLA TRIFÁSICA A 600 Y 138KV, FUENTE: ETAP.

También para poder dimensionar los elementos del módulo fue necesario simular el diagrama unifilar con los valores reales que se utilizaran.

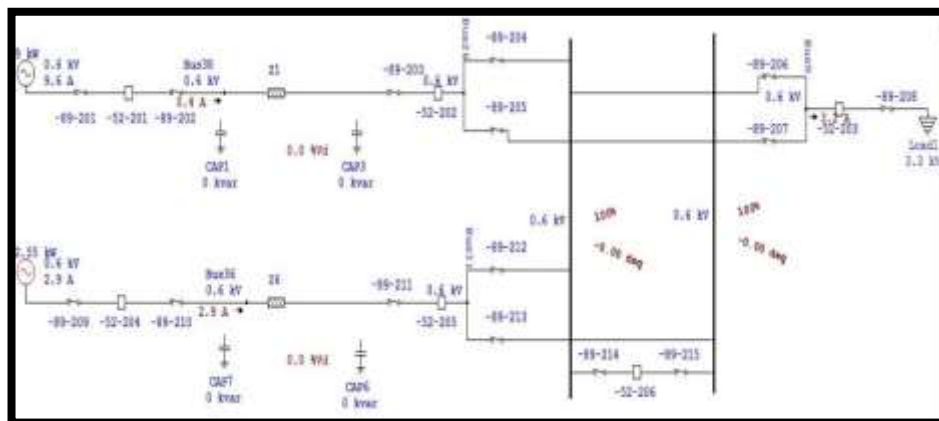


FIGURA 57 FLUJO DE POTENCIA CON DOS LÍNEAS ALIMENTANDO LA CARGA, FUENTE: ETAP.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL MODULO DE TRANSMISIÓN

3.1. Diseño del módulo

Para poder realizar un adecuado montaje de todos los elementos en el tablero, se realizó previamente su diseño tanto eléctrico como mecánico, para no tener novedades durante el montaje y la puesta en funcionamiento.

En el diseño eléctrico, se realizó una serie de cálculos, definiendo las características de cada elemento, el calibre de los cables, los equipos de protección, control y accionamiento, y los planos de fuerza y control del sistema de transmisión.

En el diseño mecánico, se elaboró planos dimensionando todos los elementos a escala real, tomando en cuenta que todos sean de fácil acceso tanto para cablearlos como para manipularlos, que estén colocados de manera lógica y de fácil entendimiento, y que cumplan con todos los requerimientos para nuestro sistema de transmisión.

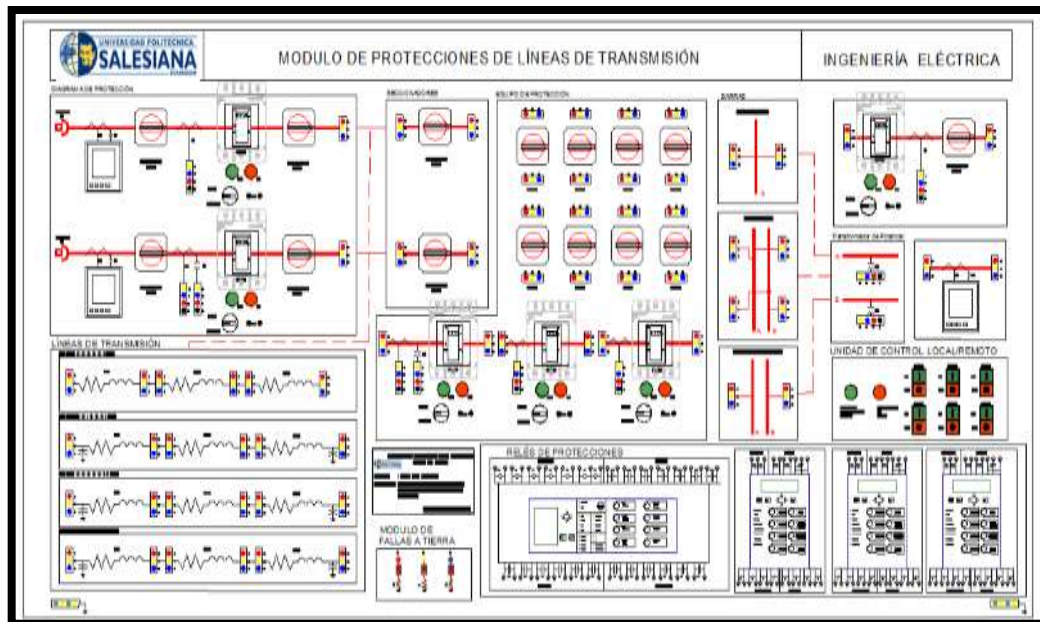


FIGURA 58 DISEÑO FINAL DEL MÓDULO DE PROTECCIONES DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, FUENTE: LOS AUTORES.

3.1.1. Diseño mecánico del módulo

Una vez aprobado el diseño final, inició el proceso de fabricación del módulo de transmisión comenzando con el trabajo metal mecánico para elaborar el tablero y la mesa del módulo.



FIGURA 59 FABRICACIÓN DE LA MESA Y BASES DEL TABLERO, FUENTE: LOS AUTORES.

Las perforaciones se hicieron a medida utilizando un vinil impreso a escala real para usarlo como muestra, además el tablero se soldó al marco para evitar usar pernos cabeza de coco y mejorar así la presentación final.



FIGURA 60 INICIO DEL CALADO DE LAS PERFORACIONES EN EL TABLERO, FUENTE: LOS AUTORES.

Una vez terminadas las perforaciones se comprobó que los elementos calcen en las mismas.



FIGURA 61 PRUEBA DE CALADO EN EL TABLERO, FUENTE: LOS AUTORES.

Se preparó la estructura, colocando masilla a toda la estructura y colocando un fondo anticorrosivo previo a la pintura final.



FIGURA 62 ESTRUCTURA PREPARADA CON ANTI CORROSIVO, FUENTE: LOS AUTORES.

Para el acabado de la mesa y base de la estructura del tablero se eligió un color negro mate.



FIGURA 63 BASE DE MESA DE TRABAJO PINTADA, FUENTE: LOS AUTORES.

El tablero se sujeta a la mesa de trabajo con pernos cabeza de coco galvanizados por la parte trasera cada uno con arandelas, tuercas de presión y tuerca de seguridad, y toda la mesa tiene un tablero de plywood, el mismo que está forrado de cuerina color negro y lleva un marco de aluminio en su alrededor.



FIGURA 64 MESA DE TRABAJO TERMINADA, FUENTE: LOS AUTORES.



FIGURA 65 TABLERO FINAL PINTADO, FUENTE: LOS AUTORES.



FIGURA 66 CENTRADO Y PEGADO DE VINIL EN EL TABLERO, FUENTE: LOS AUTORES.

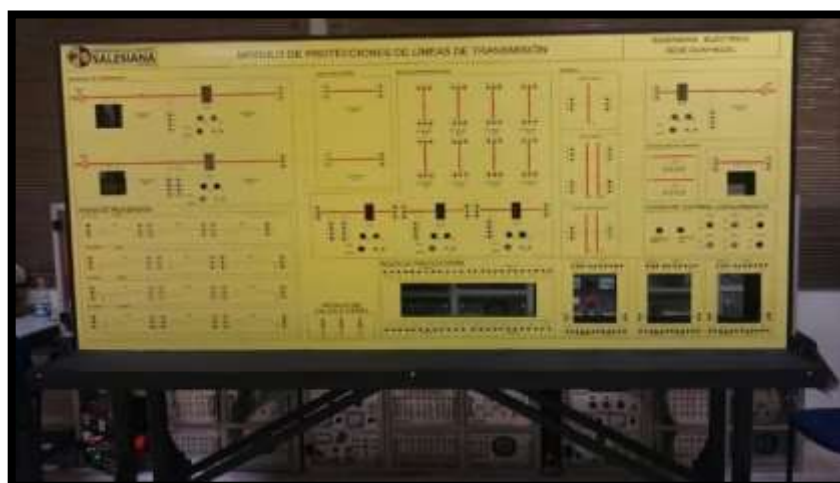


FIGURA 67 TABLERO FIJO Y VINIL ADHERIDO, FUENTE: LOS AUTORES.



FIGURA 68 COLOCANDO LOS ELEMENTOS EN EL TABLERO, FUENTE: LOS AUTORES.



FIGURA 69 TABLERO CON LOS ELEMENTOS MONTADOS, FUENTE: LOS AUTORES.

Una vez montados los equipos, se procede a iniciar la fase de cableado de fuerza y de control, y montar los equipos que se ubican en la parte trasera del módulo.

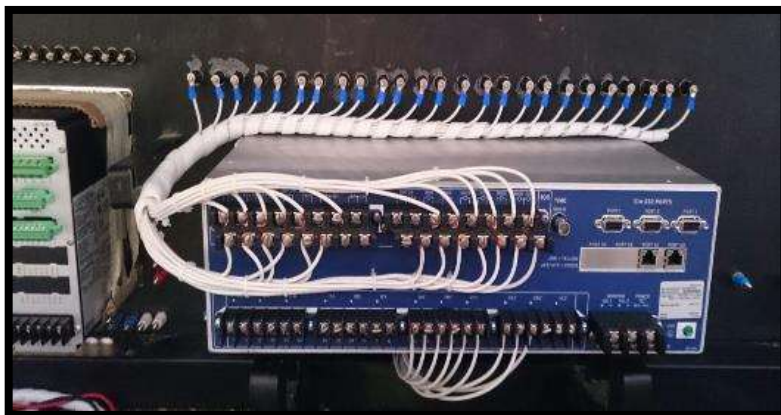


FIGURA 70 CABLEADO DE RELÉS DE PROTECCIÓN, FUENTE: LOS AUTORES.



FIGURA 71 CABLEADO DE LOS EQUIPOS DE FUERZA Y CONTROL, FUENTE: LOS AUTORES.



FIGURA 72 CABLEADO DEL SISTEMA DE CONTROL, FUENTE: LOS AUTORES.



FIGURA 73 FINALIZACIÓN DE CABLEADO DE FUERZA Y CONTROL, FUENTE: LOS AUTORES.



FIGURA 74 VISTA POSTERIOR DEL MÓDULO, FUENTE: LOS AUTORES.

3.1.2. Líneas de Transmisión

El diseño incluye cuatro líneas de transmisión, una corta de 100km, una media de 150km y dos largas de 500km cada una, todas ellas con una capacidad de carga del 80%, 100% y 120%. El potencial que conducirán es de 13KV como máximo, el conductor que se ha seleccionado para simular las líneas de transmisión es el Flicker ACSR de aluminio con alma de acero.

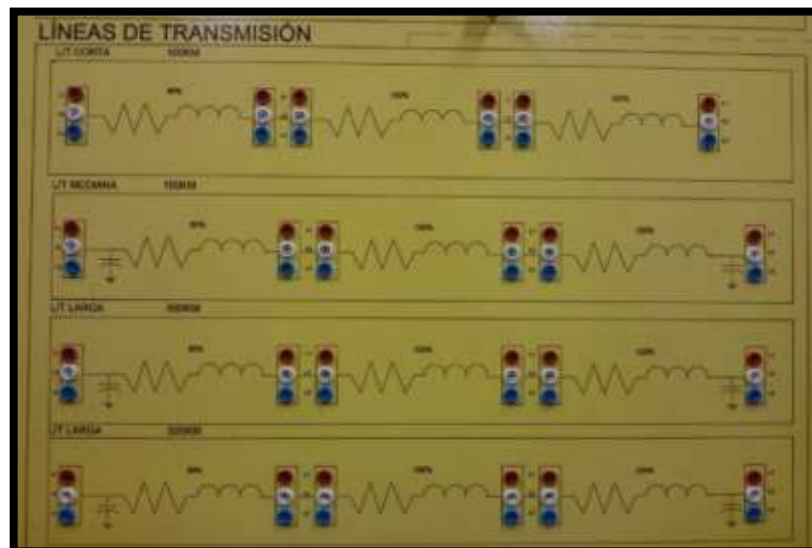


FIGURA 75 EQUIVALENTE DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, FUENTE: LOS AUTORES.

Los parámetros de una Línea de Transmisión son: la resistencia, inductancia, capacitancia y conductancia, las cuales son magnitudes típicas en una Línea de Transmisión. Los parámetros de las líneas sirven para definirlos eléctricamente, estableciendo así su comportamiento dentro de los sistemas eléctricos de potencia. Por ejemplo, para el cálculo de la caída de tensión se usan dichos parámetros.

Resistencia: Se denomina resistencia a la propiedad que posee un material para oponerse a la circulación de corriente eléctrica.

Inductancia: se define como la oposición de un elemento conductor (una bobina) a cambios en la corriente que circula a través de ella. También se puede definir como la relación que hay entre el flujo magnético (Φ) y la corriente y que fluye a través de una bobina. La inductancia se crea por la interacción de los campos magnéticos de los conductores de la línea, en relación al Radio Medio Geométrico (RMG) y la Distancia Media Geométrica (DMG).

Capacitancia y Reactancia Capacitiva: La capacitancia de una Línea de Transmisión es el resultado de la diferencia de potencia entre los conductores y origina que ellos se carguen de la misma forma que las placas de un capacitor cuando hay una diferencia de potencial entre ellas. La capacitancia entre conductores es la carga por unidad de longitud. La capacitancia entre conductores paralelos es una constante que depende del tamaño y espaciamiento entre ellos. El efecto de la capacitancia puede ser pequeño y muchas veces se desprecia en las líneas de potencia que tienen menos de 80 km (50 millas) de largo. Para líneas de alto voltaje más largas, la capacitancia crece en importancia.

3.2. Selección del Conductor para la Línea de Transmisión Teórica

La dimensión del conductor está dada por la capacidad de transporte, debe soportar la intensidad máxima admisible.

Para la selección del conductor es necesario revisar los datos constructivos y eléctricos de los conductores, para el potencial de transmisión deseado de 138KV, para este caso se emplean las Tablas 6 y 7.

TABLA 6 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE CONDUCTORES ASTM [11].

ASTM CONDUCTOR SIZES - METRIC UNITS																
Code Word	Nominal Size		Stranding (Al/Stl)	Diameter (mm) Individual Wires			Complete Cable	Weight ¹ (kg/km)			Content %		Rated Strength ² kg	Resistance ³ ohms/km		Current Rating ⁴ (Amps)
	(AWG or KCM)	(mm ²)		Al	Stl	Steel Core		Al	Stl	Total	Al	Stl		DC @ 20 °C	AC @ 75 °C	
Turkey	6	13.30	6/1	1.679	1.679	1.68	5.04	36.4	17.2	53.7	67.90	32.10	540	2.10	2.64	105
Swan	4	21.15	6/1	2.118	2.118	2.12	6.36	58.0	27.4	85.4	67.90	32.10	844	1.32	1.69	140
Swanate	4	21.15	7/1	1.961	2.614	2.61	6.54	58.0	41.7	99.7	58.13	41.87	1070	1.31	1.70	140
Sparrow	2	33.63	6/1	2.672	2.672	2.67	8.02	92.3	43.6	135.9	67.90	32.10	1293	.832	1.09	184
Sparate	2	33.63	7/1	2.474	3.299	3.30	8.25	92.3	66.5	158.8	58.13	41.87	1651	.823	1.11	184
Robin	1	42.41	6/1	3.000	3.000	3.00	9.00	116.3	55.0	171.4	67.90	32.10	1615	.660	.878	212
Raven	1/0	53.51	6/1	3.371	3.371	3.37	10.11	146.9	69.4	216.2	67.90	32.10	1987	.523	.711	242
Quail	2/0	67.44	6/1	3.782	3.782	3.78	11.35	184.9	87.4	272.3	67.90	32.10	2404	.415	.579	276
Pigeon	3/0	85.03	6/1	4.247	4.247	4.25	12.47	233.1	110.2	343.3	67.90	32.10	3003	.329	.474	315
Penguin	4/0	107.22	6/1	4.770	4.770	4.77	14.31	294.1	139.0	433.1	67.90	32.10	3787	.261	.390	357
Waxwing	266.8	135.19	18/1	3.091	3.091	3.09	15.46	372.4	58.4	430.7	86.45	13.55	3121	.211	.259	449
Partridge	266.8	135.19	26/7	2.573	2.002	6.00	16.30	374.5	172.0	546.5	68.53	31.47	5126	.209	.255	457
Ostrich	300.0	152.01	26/7	2.728	2.121	6.36	17.27	421.0	193.1	614.0	68.53	31.47	5761	.186	.227	492
Merlin	336.4	170.46	18/1	3.472	3.472	3.47	17.36	469.8	73.6	543.5	86.45	13.55	3937	.167	.205	519
Linnet	336.4	170.46	26/7	2.891	2.248	6.74	18.29	471.8	216.4	688.2	68.53	31.47	6396	.166	.203	529
Oriole	336.4	170.46	30/7	2.690	2.690	8.07	18.83	473.4	310.9	784.3	60.35	39.65	7847	.165	.201	535
Chickadee	297.5	201.42	18/1	3.774	3.774	3.77	18.87	555.2	87.0	642.2	86.45	13.55	4509	.142	.174	576
Brant	397.5	201.42	24/7	3.269	2.179	6.54	19.61	558.0	203.9	761.9	73.23	26.77	6622	.141	.172	584
Ibis	397.5	201.42	26/7	3.139	2.441	7.32	19.88	557.5	255.7	813.3	68.53	31.47	7394	.140	.172	587
Lark	397.5	201.42	30/7	2.924	2.924	8.77	20.46	559.2	367.2	926.5	60.35	39.65	9208	.139	.170	594
Pelican	477.0	241.70	18/1	4.135	4.135	4.14	20.68	666.4	104.4	770.8	86.45	13.55	5352	.118	.144	646
Flicker	477.0	241.70	24/7	3.581	2.388	7.16	21.49	669.8	244.7	914.9	73.23	26.77	7802	.117	.144	655
Hawk	477.0	241.70	26/7	3.442	2.677	8.02	21.78	669.1	307.1	976.1	68.53	31.47	8845	.117	.143	659
Hen	477.0	241.70	30/7	3.203	3.203	9.61	22.42	671.2	440.8	1112.0	60.35	39.65	10795	.116	.142	666
Osprey	556.5	281.98	18/1	4.465	4.465	4.47	22.33	777.1	121.8	898.8	86.45	13.55	6214	.101	.124	711

TABLA 7 CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS DE CONDUCTORES DE ALUMINIO CON ALMA DE ACERO ACSR [11].

CARACTERISTICAS ELECTRICAS DE CONDUCTORES DE ALUMINIO CON ALMA DE ACERO (ACSR)										
PALABRA CLAVE	Area de aluminio, cmil	Trenzado Al / St	Capas de aluminio	Diametro exterior en pulgadas	Resistencia			RMG Dr, pies	Reactancia por conductor a 1 pie de espaciamento 60Hz	
					De, 20 grados centigrados, Ω/ 1000 pies	CA, 60 Hz			x inductiva, Ω/milla	x capacitiva, MΩ * milla
						20 grados centigrados Ω/milla	50 grados centigrado s Ω/milla			
WARWING	266.800	18/1	2	0,6090	0,0646	0,3488	0,3831	0,0198	0,4760	0,1090
PARTRIDGE	266.800	26/7	2	0,6420	0,0640	0,3452	0,3792	0,2170	0,4650	0,1074
OSTRICH	300.000	26/7	2	0,6800	0,0569	0,3070	0,3372	0,0229	0,4580	0,1027
MERLIN	336.400	18/1	2	0,6840	0,0512	0,2767	0,3037	0,0222	0,4620	0,1055
LINNET	336.400	26/7	2	0,7210	0,0507	0,2737	0,3006	0,0243	0,4510	0,1040
ORIOLE	336.400	30/7	2	0,7410	0,0504	0,2719	0,2987	0,0255	0,4450	0,1032
CHIKADEE	397.500	18/1	2	0,7420	0,0433	0,2342	0,2572	0,0241	0,4520	0,1031
IBIE	397.500	26/7	2	0,7830	0,0430	0,2323	0,2551	0,0264	0,4410	0,1015
PELICAN	477.000	18/1	2	0,8140	0,0361	0,1957	0,2148	0,0264	0,4410	0,1004
FLICKER	477.000	24/7	2	0,8460	0,0359	0,1943	0,2134	0,0284	0,4320	0,0992
HAWK	477.000	26/7	2	0,8580	0,0357	0,1931	0,2120	0,0289	0,4300	0,0988
HEN	477.000	30/7	2	0,8830	0,0355	0,1919	0,2107	0,0304	0,4240	0,0980
OSPREY	556.500	18/1	2	0,8790	0,0309	0,1679	0,1843	0,0284	0,4320	0,0981
PARAKEED	556.500	24/7	2	0,9140	0,0308	0,1669	0,1832	0,0306	0,4230	0,0969
DOVE	556.500	26/7	2	0,9270	0,0307	0,1663	0,1826	0,0314	0,4200	0,0965

La Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC, en su Sistema Interconectado para el transporte de energía eléctrica, emplea el conductor ACSR Flicker, para tramos como: Trinitaria-Salitral, Pascuales-Policentro, Pascuales-Salitral, Santa Rosa-Conocoto, Conocoto-Vicentina, Vicentina-Pomasqui, Pomasqui-Ibarra, Ibarra-Tulcán, Tulcán-Panamericana, Pucará-Ambato, entre otros, cuya transmisión de energía eléctrica se realiza a un Potencial de 138KV.

A continuación, la Tabla 8 muestra algunos de los tramos de transmisión y su tipo de conductor empleado según los requerimientos eléctricos.

TABLA 8 REPORTE DE POTENCIAS MÁXIMAS DE TRANSFERENCIA DEL SNT, LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, FUENTE: CELEC.

N°	LÍNEA DE TRANSMISIÓN	VOLTAJE (KV)	TIPO		CAPACIDAD				N° Circuitos	LONGITUD (km)
			Calibre	Tipo	CONTINUA (1)		EMERGENCIA (2)			
					[A]	[MVA]	[A]	[MVA]		
46	Baños - Agoyas	138	636	ACSR Roak	699	165.9	778	196	2	1.9
47	Tena - Prantico de Chelina	138	306	ACAR	377	90.0	473	113	1	139
48	Cuenca - Yanacocha	138	397.5	ACSR Baset	418	108.9	506	141	1	135.8
49	Yanacocha - Loja	138	397.5	ACSR Baset	418	108.9	506	141	1	13.6
50	Cuenca - Loja	138	806	ACAR	865	112.9	819	148	1	134.2
51	Yanacocha - Cumbalito	138	296.8	ACSR Partridge	377	90.1	468	110	1	51.7
52	Santa Rosa - Conocoto	138	477	ACSR Flicker	469	112.9	608	160	1	90.7
53	Conocoto - Vicentina	138	477	ACSR Flicker	469	112.9	608	160	1	7.8
54	Vicentina - Pomasqui	138	477	ACSR Flicker	469	112.9	608	160	2	20.7
55	Pomasqui - Ibarra	138	477	ACSR Flicker	469	112.9	608	160	2	80.5
56	Guapigallo - Vicentina	138	477	ACSR Flicker	469	112.9	608	160	2	7
57	Mulid - Vicentina	138	477	ACSR Flicker	469	112.9	608	160	1	74
58	Pucará - Ambato	138	477	ACSR Flicker	469	112.9	608	160	1	25.74

3.3. Modelado para la Línea Corta

La línea de transmisión corta es de 100km de longitud, empleando el conductor Flicker ACSR.

3.3.1. Cálculo de la resistencia del conductor línea corta

Utilizando el conductor Flicker ACSR, a una temperatura de 20°C, para 60Hz, la resistencia resulta de la siguiente ecuación:

$$Ro = 0.1943 \frac{\Omega}{\text{milla}} \times \frac{1\text{milla}}{1.60934\text{km}} \times 100\text{km} \quad (10)$$

$$Ro = 12.07\Omega$$

Donde:

Ro: Resistencia eléctrica del conductor

3.3.2. Cálculo de la inductancia línea corta

Para el cálculo de la inductancia de línea se emplearán las siguientes ecuaciones:

$$DMG = \sqrt[3]{Dab \cdot Dac \cdot Dbc} \quad (11)$$

$$RMG = \sqrt[n]{r * d} \quad (12)$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \times \ln \left(\frac{DMG}{RMG} \right) [H/m] \quad (13)$$

Donde:

DMG: Distancia media geométrica entre conductores

RMG: Radio medio geométrico del conductor

L: Inductancia de línea

Desarrollo:

$$DMG = \sqrt[3]{Dab \cdot Dac \cdot Dbc} \quad (11)$$

$$DMG = \sqrt[3]{3 \times 3 \times 6}$$

$$DMG = 3.77 \text{ m}$$

$$RMG = \sqrt[n]{r * d} \quad (12)$$

$$RMG = \sqrt[1]{r * 1} = r$$

$$RMG = 0.8460 \text{ in} \times \frac{0.0254\text{m}}{1 \text{ in}}$$

$$RMG = 0.02148 \text{ m}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \times \ln \left(\frac{DMG}{RMG} \right) [H/m] \quad (13)$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \times \ln \left(\frac{3.77}{0.02148} \right) [H/m]$$

$$L = 1.0335 \times 10^{-6} [H/m]$$

$$L = 1.0335 \times 10^{-6} \left[\frac{H}{m} \right] \times \frac{1000m}{1km} \times 100km = \mathbf{103mH}$$

3.3.3. Cálculo de la reactancia inductiva línea corta

Para el cálculo de la reactancia inductiva del conductor se emplea la siguiente ecuación:

$$XL = 2\pi fL \quad (14)$$

Donde:

XL: Reactancia inductiva

f: Frecuencia del sistema

Desarrollo:

$$XL = 2\pi(60)(1.0335 \times 10^{-6}) = 389,62 \times 10^{-6} \left[\frac{H}{m} \right]$$

$$XL = 389.62 \times 10^{-6} \left[\frac{H}{m} \right] \times \frac{1000m}{1km} \times 100km = 38.96\Omega$$

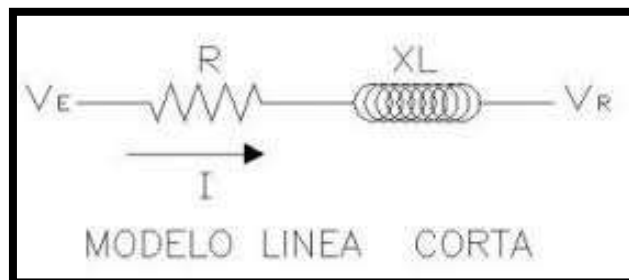


FIGURA 76 CIRCUITO EQUIVALENTE LÍNEA CORTA [1]

3.4. Modelado para la Línea Media

La línea de transmisión media es de 150km de longitud, empleando el conductor Flicker ACSR.

3.4.1. Cálculo de la resistencia del conductor línea media

Utilizando el conductor Flicker ACSR, a una temperatura de 20°C, para 60Hz, la resistencia resulta de la siguiente ecuación:

$$R_o = 0.1943 \frac{\Omega}{\text{milla}} \times \frac{1\text{milla}}{1.60934\text{km}} \times 150\text{km} \quad (10)$$

$$R_o = 18.10\Omega$$

3.4.2. Cálculo de la inductancia línea media

Para el cálculo de la inductancia de línea se emplearán las siguientes ecuaciones:

$$DMG = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{ac} \cdot D_{bc}} \quad (11)$$

$$DMG = \sqrt[3]{3 \times 3 \times 6}$$

$$DMG = 3.77 \text{ m}$$

$$RMG = 0.8460 \text{ in} \times \frac{0.0254\text{m}}{1 \text{ in}} \quad (12)$$

$$RMG = 0.02148 \text{ m}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \times \ln\left(\frac{DMG}{RMG}\right) [H/m] \quad (13)$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \times \ln\left(\frac{3.77}{0.02148}\right) [H/m]$$

$$L = 1.0335 \times 10^{-6} [H/m]$$

$$L = 1.0335 \times 10^{-6} \left[\frac{H}{m}\right] \times \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \times 150\text{km} = 155\text{mH}$$

3.4.3. Cálculo de la reactancia inductiva línea media

Para el cálculo de la reactancia inductiva del conductor se emplea la siguiente ecuación:

$$XL = 2\pi fL \quad (14)$$

$$XL = 2\pi(60)(1.0335 \times 10^{-6}) = 389.62 \times 10^{-6} \left[\frac{H}{m} \right]$$

$$XL = 389.62 \times 10^{-6} \left[\frac{H}{m} \right] \times \frac{1000m}{1km} \times 150km = 58.44\Omega$$

3.4.4. Cálculo de la capacitancia de línea media

Para encontrar las capacitancias de las líneas, se considera las distancias de separación entre conductores de 3 metros, con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{2\pi \cdot \epsilon_o}{\ln \frac{DMG}{RMG}} \left[F/km \right] \quad (15)$$

Donde:

C: capacitancia de línea

$$\epsilon_o, \text{ fuerza electromotriz} = 8.85 \times 10^{-9} \left[F/km \right]$$

Desarrollo:

$$C = \frac{2\pi \cdot \epsilon_o}{\ln \frac{DMG}{RMG}} \left[F/km \right]$$

$$C = \frac{2\pi \cdot 8.85 \times 10^{-9}}{\ln \frac{3.77}{0.02148}} \left[F/km \right]$$

$$C = 10.76 \times 10^{-9} F/m$$

$$C = 10.76 \times 10^{-9} \frac{F}{m} \times \frac{1000m}{1km} \times 150km = 1.61 \times 10^{-3} F/km$$

3.4.5. Cálculo de la reactancia capacitiva de línea media

Para el cálculo de la reactancia capacitiva se emplea la siguiente ecuación:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad (16)$$

Donde:

Xc: Reactancia capacitiva

$$Xc = \frac{1}{2\pi * 60 * 10.76 \times 10^{-9}}$$

$$Xc = 246.52 \times 10^3 * \ln \frac{DMG}{RMG} = 153645.5 [\Omega.m]$$

$$Xc = 246.52 \times 10^3 * \ln \frac{3.77}{0.02148} = 1273943.38 [\Omega.m]$$

$$Xc = 1273943.38 [\Omega.m] \times \frac{1km}{1000m} = 1273.94 [\Omega.km]$$

$$Xc = 1273.94 [\Omega.km] * 150km = 191091.507 \Omega.en 150km$$

3.5. Modelado para las Líneas Largas

Las líneas de transmisión largas son de 500km de longitud, empleando el conductor Flicker ACSR.

3.5.1. Cálculo de la resistencia del conductor línea larga

Utilizando el conductor Flicker ACSR, a una temperatura de 20°C, para 60Hz, la resistencia resulta de la siguiente ecuación:

$$Ro = 0.1943 \frac{\Omega}{milla} \times \frac{1milla}{1.60934km} \times 500km \quad (10)$$

$$Ro = 60.36\Omega$$

3.5.2. Cálculo de la inductancia línea larga

Para el cálculo de la inductancia de línea se emplearán las siguientes ecuaciones:

$$DMG = \sqrt[3]{Dab.Dac.Dbc} \quad (11)$$

$$DMG = \sqrt[3]{3 \times 3 \times 6}$$

$$DMG = 3.77 m$$

$$RMG = 0.8460 \text{ in} \times \frac{0.0254\text{m}}{1 \text{ in}} \quad (12)$$

$$RMG = 0.02148 \text{ m}$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \times \ln \left(\frac{DMG}{RMG} \right) [H/m] \quad (13)$$

$$L = 2 \times 10^{-7} \times \ln \left(\frac{3.77}{0.02148} \right) [H/m]$$

$$L = 1.0335 \times 10^{-6} [H/m]$$

$$L = 1.0335 \times 10^{-6} \left[\frac{H}{m} \right] \times \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \times 500\text{km} = \mathbf{516.75\text{mH}}$$

3.5.3. Cálculo de la reactancia inductiva línea larga

Para el cálculo de la reactancia inductiva del conductor se emplea la siguiente ecuación:

$$XL = 2\pi fL \quad (14)$$

$$XL = 2\pi(60)(1.0335 \times 10^{-6}) = 389.62 \times 10^{-6} \left[\frac{H}{m} \right]$$

$$XL = 389.62 \times 10^{-6} \left[\frac{H}{m} \right] \times \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \times 500\text{km} = 194.81\Omega$$

3.5.4. Cálculo de la capacitancia de línea larga

Para encontrar las capacitancias de las líneas, se considera las distancias de separación entre conductores de 3 metros, con la ecuación 15:

$$C = \frac{2\pi \cdot \epsilon_o}{\ln \frac{DMG}{RMG}} \left[F/km \right] \quad (15)$$

$$C = \frac{2\pi \cdot 8.85 \times 10^{-9}}{\ln \frac{3.77}{0.02148}} \left[F/km \right]$$

$$C = 10.76 \times 10^{-9} F/m$$

$$C = 10.76 \times 10^{-9} \frac{F}{m} \times \frac{1000\text{m}}{1\text{km}} \times 500\text{km} = \mathbf{5.38 \times 10^{-3} F \text{ en } 500 \text{ km}}$$

3.5.5. Cálculo de la reactancia capacitiva de línea larga

Para el cálculo de la reactancia capacitiva se emplea la ecuación 16:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \quad (16)$$

$$X_c = \frac{1}{2\pi * 60 * 10.76 \times 10^{-9}}$$

$$X_c = 246.52 \times 10^3 * \ln \frac{DMG}{RMG} = 153645.5 [\Omega.m]$$

$$X_c = 246.52 \times 10^3 * \ln \frac{3.77}{0.02148} = 1273943.38 [\Omega.m]$$

$$X_c = 1273.94 [\Omega.km] * 500km = 636970 \Omega. \text{ en } 500km$$

3.6. Cálculo de la corriente nominal

Para la intensidad nominal del sistema se considerará un 20% de posible sobrecarga en los transformadores y se empleará la ecuación 17.

$$S_n = \sqrt{3} * U_n * I_n \quad (17)$$

Despejando:

$$I_n = \frac{1,2 * S_n}{\sqrt{3} * U_n} \quad (18)$$

Donde:

S_n: Potencia de transmisión de la línea

U_n: Tensión de la línea

I_n: Corriente nominal de transmisión del conductor

$$I_n = \frac{1,2 * (3KVA)}{\sqrt{3} * 600 V} = 3.46A$$

$$I_n = 3,46A$$

3.6.1. Cálculo de intensidad máxima admisible

Para calcular la máxima corriente que puede circular por el conductor se emplea la ecuación 19.

$$I_{m\acute{a}x\ adm} = p * S * C \quad (19)$$

Donde:

p: densidad de corriente máxima en A/mm²

S: sección del conductor en mm²

C: coeficiente de reducción

Según el Reglamento de Líneas Eléctricas de Alta Tensión, Art. 22, la densidad de corriente máxima en régimen permanente no debe sobrepasar los valores recogidos en la Tabla 9, para el conductor Flicker de 241mm², el valor aproximado es de 2,3A/mm² para conductores de aluminio.

TABLA 9 DENSIDAD DE CORRIENTE MAXIMA [1].

Sección nominal mm ²	Densidad de corriente - A/mm ²		
	Cobre	Aluminio	Aleación de aluminio
10	8,75	-	-
15	7,60	6,00	5,60
25	6,35	5,00	4,65
35	5,75	4,55	4,25
50	5,10	4,00	3,70
70	4,50	3,55	3,30
95	4,05	3,20	3,00
125	3,70	2,90	2,70
160	3,40	2,70	2,50
200	3,20	2,50	2,30
250	2,90	2,30	2,15
300	2,75	2,15	2,00
400	2,50	1,95	1,80
500	2,30	1,80	1,70
600	2,10	1,65	1,55

Para cables de aleaciones de aluminio con alma de acero, el coeficiente de reducción será según su composición: 0,902 para la composición 30 + 7; 0,926 para las composiciones 6+1 y 26 + 7; 0,941 para la composición 54 + 7 [1].

Dado que la composición del Flicker es 24+7 (aluminio y acero), se tomará el valor de 0,926.

Se obtuvo que para la sección del conductor elegido 477 AWG, la densidad de corriente máxima permitida es de $I_{\max adm} = 807.2A$.

Por otro lado, empleando el coeficiente de reducción obtenido, la intensidad máxima admisible por el conductor elegido es:

$$I_{\max adm} = 1,867 \cdot 455,10 \cdot 0,95 = 807,2 A > I_n = 378 A$$

$$I_{\max adm} = p \cdot S \cdot C$$

$$I_{\max adm} = 2,3A/mm^2 \cdot 241,7mm^2 \cdot 0,926$$

$$I_{\max adm} = 514,77 A > I_n = 378A$$

De esta manera se comprueba que el conductor Flicker es eléctricamente apto para la transmisión de 138KV para una Potencia teórica de 130KVA, ya que la intensidad de corriente permitida es mucho mayor a la prevista, tomando en cuenta además la posibilidad de un aumento de la potencia generada por la central que se quiere conectar a red.

El cable que se ha seleccionado para transmitir 138KV posee los siguientes datos eléctricos:

TABLA 10 CARACTERISTICAS ELECTRICAS DEL CABLE FLICKER, LOS AUTORES.

ACSR	Voltaje	Calibre	Area	Diámetro exterior	Trenzado Al + Stl	Corriente
FLICKER	138	477 ACSR	241,7 mm ²	0,846 plg	24/7	515A

3.7. Diseño del sistema de control

Una de las partes esenciales para la operación del módulo de transmisión es la parte de control, donde debemos asegurarnos que además de realizar un sistema que nos brinde seguridad y confiabilidad, también es necesario que podamos cumplir con las premisas o condicionamientos de control establecidos para este proyecto, las cuales son:

- Si el selector de un interruptor está en LOCAL, se habilita el bloque de UNIDAD DE CONTROL LOCAL/REMOTO y la botonera perteneciente al mismo interruptor lo que permitirá abrir o cerrar dicho interruptor.
- Si el selector de un interruptor está en REMOTO, se deshabilita del bloque de UNIDAD DE CONTROL LOCAL/REMOTO la botonera perteneciente al mismo interruptor.
- Si el interruptor está ABIERTO y el selector cambia de local a remoto o viceversa, el interruptor seguirá en su estado ABIERTO.
- Si el interruptor está CERRADO y el selector cambia de local a remoto o viceversa, el interruptor seguirá en su estado CERRADO.
- Únicamente si todos los selectores de todos los interruptores están en REMOTO, se encenderá la luz piloto verde TODOS EN REMOTO.
- Si al menos un selector de un interruptor se encuentra en posición REMOTO, entonces únicamente se encenderá la luz piloto roja INTERRUPTOR EN LOCAL.
- Si el contacto de TRIP de algún interruptor se dispara el interruptor se abrirá.
- No es posible utilizar los botones de encendido y apagado de ningún interruptor si el selector está en Remoto.
- Solo para los interruptores que se encuentran en las entradas de alimentación trifásica, y para que el pulsador de encendido de la UNIDAD DE CONTROL LOCAL REMOTO pueda cerrar el interruptor, primero deben estar cerrados los seccionadores aguas arriba y aguas debajo de ese interruptor.
- Solo puede funcionar la opción de LOCAL o REMOTO, pero no las dos a la vez.

3.7.1. Análisis del diseño de control

Como preparación inicial se optó por diseñar y simular el sistema de control en CADE SIMU, utilizando la lógica de contactos, con el fin de evaluar la cantidad de relés conmutados que se podrían utilizar para el control de los 6 interruptores que tiene el módulo; en caso de implementar una solución con control industrial y de manera paralela, se analizó también la posibilidad de utilizar un controlador lógico programable PLC de gama baja, a fin de poder evaluar cuál de las dos alternativas de control es la mejor para el módulo. Ver Fig. 77.

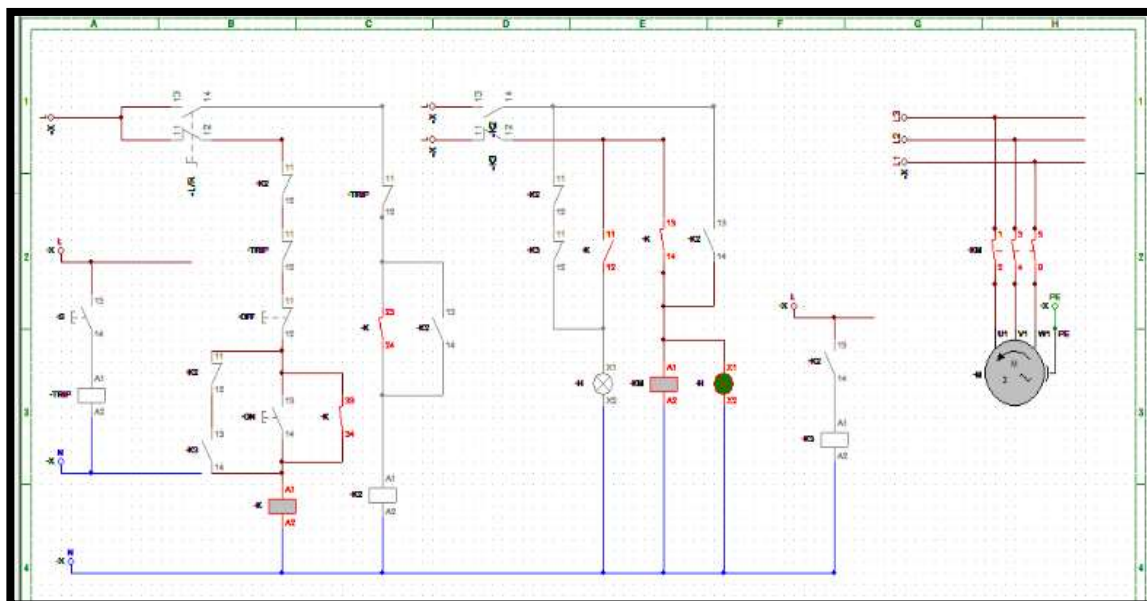


FIGURA 77 DIAGRAMA DE CONTROL Y FUERZA SIMULADO EN CADE, FUENTE: LOS AUTORES.

Una vez realizado este análisis de funcionamiento de la lógica de control y previa valoración costo-beneficio de ambas alternativas se optó por implementar el control utilizando un PLC, ya que además de lograr realizar el mismo trabajo que se lograría al usar varios relés y contactores, nos brinda una mayor versatilidad y seguridad, ya que nos permite crear muchos elementos e inter bloqueos digitales.

Después de analizar las diversas marcas del mercado se decidió utilizar un PLC Logo 8 de Siemens con dos módulos de expansión lo que nos da un total de 24 entradas digitales y 20 salidas tipo relé, por las prestaciones que nos brinda este dispositivo versus las de otras marcas de la misma gama.

El utilizar un PLC tan compacto ofrece la oportunidad de optimizar el espacio físico detrás del módulo y centralizar el cableado de control.

El PLC seleccionado nos otorgara mayor versatilidad en el diseño del control, además de que nos permite realizar un pequeño y limitado sistema de monitoreo a tiempo real, como un extra al alcance original de este proyecto.

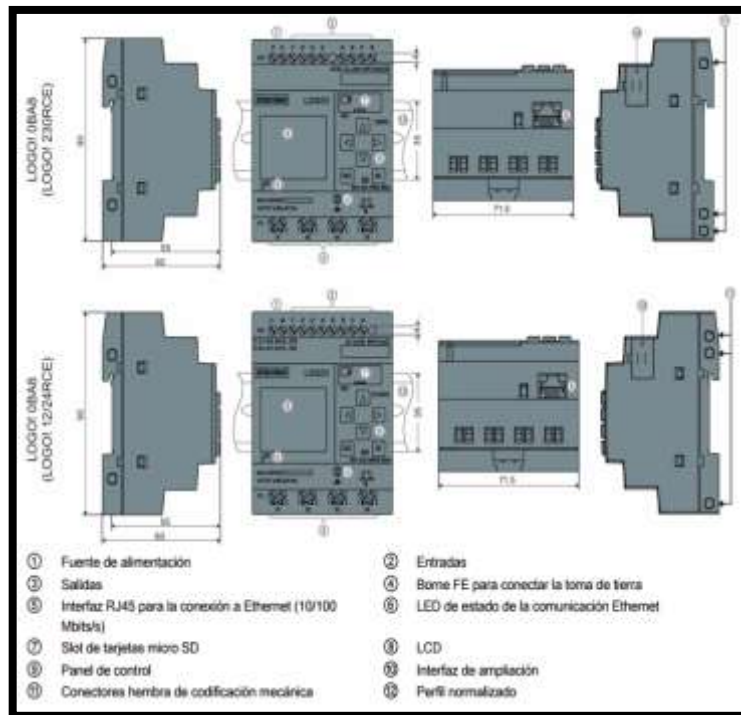


FIGURA 78 ESTRUCTURA DEL PLC LOGO 8 [14].

3.7.2. Lógica de control en el PLC

Para establecer el funcionamiento de la lógica de control fue necesario primero definir cuáles serían nuestras señales de entrada y salida, las mismas que son:

3.7.2.1. ENTRADAS

- Selector en posición LOCAL.
- Selector en posición REMOTO.
- Contacto de estado del interruptor.
- Contacto seco del TRIP.

3.7.2.2. SALIDAS

- Local
- Remoto
- Luz piloto todos en remoto
- Luz piloto interruptor en local

[illegible]

The screenshot displays the 'Editor de diagramas' (Diagram Editor) interface. The title bar shows the file name 'programa logo tesis 6 reles.ild'. The toolbar at the top contains various symbols for creating and editing ladder logic, including coils, contacts, and logic gates. The main workspace shows a ladder logic diagram with the following components and connections:

- Top Rail:** A common rail for the first set of logic.
- Logic Rung 1:** Contains a normally open contact labeled 'I4 (TRIP -52 201)' in series with a coil labeled 'T001 trip1'. A green text label 'Ram = off 03:30s+' is positioned below this rung.
- Logic Rung 2:** Contains a normally open contact labeled 'T001 trip1' in series with a coil labeled 'S14000'. A green text label 'Prio = 30', 'Qui = off', 'Test1: enabled', and 'Test2: disabled' is positioned below this rung.
- Logic Rung 3:** Contains a normally open contact labeled 'I2 (REMOTO -52 201)' in series with a coil labeled 'I1(LOCAL -52 201)'. A green text label 'LOCAL 1' is positioned below this rung.
- Logic Rung 4:** Contains a normally open contact labeled 'I2 (REMOTO -52 201)' in series with a coil labeled 'I1(LOCAL -52 201)'. A green text label 'RELE AUTO ENCLAVADOR SALIDA Q1' is positioned below this rung.
- Logic Rung 5:** Contains a normally open contact labeled 'T001 trip1' in series with a coil labeled 'S14000'. A green text label 'Ram = on' is positioned below this rung.
- Logic Rung 6:** Contains a normally open contact labeled 'T001 trip1' in series with a coil labeled 'T005 TEMP LOCAL 1'. A green text label 'Ram = off 03:00s+' is positioned below this rung.
- Logic Rung 7:** Contains a normally open contact labeled 'LOCAL 1' in series with a coil labeled 'Q1 (LOCAL -52 201)'. A green text label 'RELE AUTO ENCLAVADOR SALIDA Q1' is positioned below this rung.

74

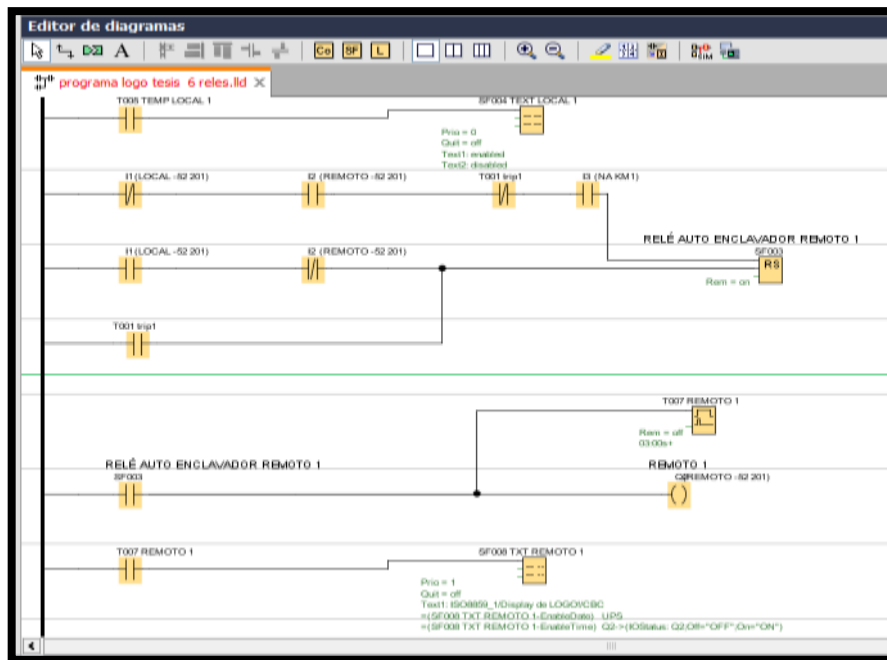


FIGURA 81 LÓGICA DE SALIDA REMOTO Y TRIP, FUENTE: LOS AUTORES.

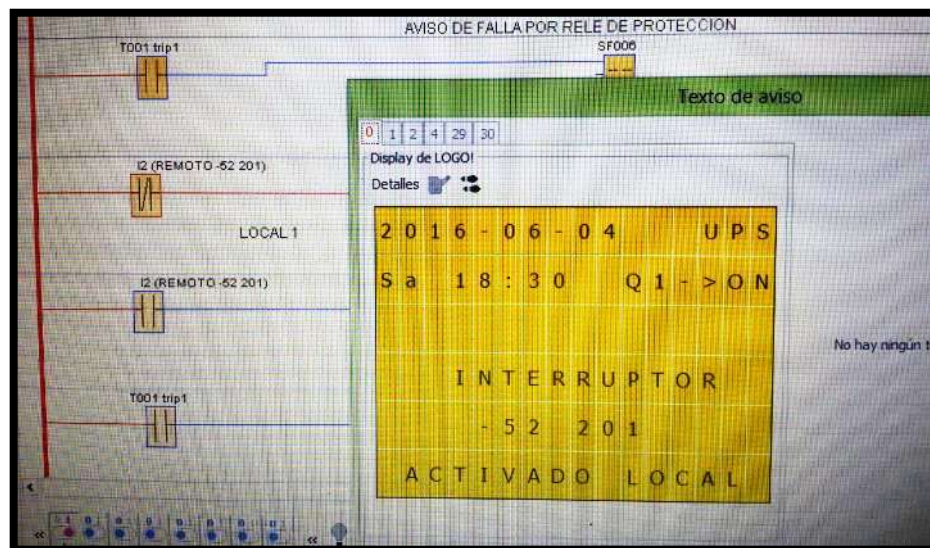


FIGURA 82 SIMULACIÓN DE SELECTOR LOCAL, FUENTE: LOS AUTORES.

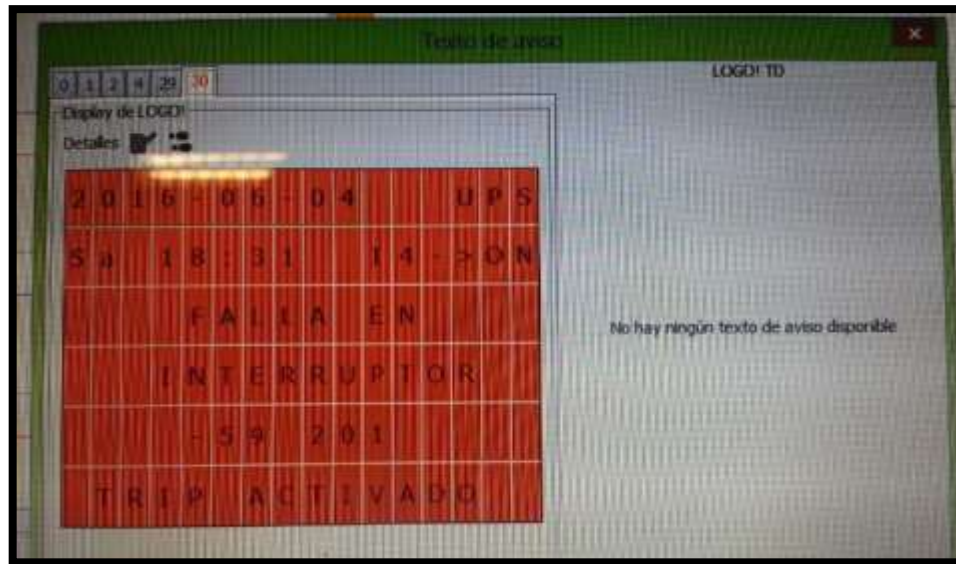


FIGURA 83 SIMULACIÓN DE FALLA, FUENTE: LOS AUTORES.

3.8. Configuración del relé SEL 751

El relé de protección 751 de marca SEL, nos brinda varias opciones de protección y control tales como:

- Corrientes y voltajes producidos en alta y baja frecuencia
- Fallo del Disyuntor
- Elementos de sobrecorriente en las fases, neutro, tierra o residual y secuencia negativa (50P/50N/50G/50Q)
- Pérdida de fase
- Factor de Potencia
- Detección de Arco Eléctrico
- Control de reconexión automático
- Sobre y bajo voltaje (59,59G, 59Q, 27)
- Medición de parámetros
- Disparo del disyuntor

3.8.1. Características de Parametrización del Relé SEL 751

TABLA 11 CARACTERÍSTICAS DE RANGOS DE AJUSTE DE RELÉ SEL 751 [5].

CARACTERÍSTICAS	
SOBRE CORRIENTE INSTANTÁNEA/ TIEMPO DEFINIDO (50 P, 50G, 50N, 50Q)	
Rango de Ajuste Pick up	
5A	0,5 - 100 A, pasos de 0,01 A
1A	0,1-20 A, pasos de 0,01 A
50mA	5-100mA, pasos de 0,1 mA
Precisión	5% de ajuste $\pm 0,02$ In secundario
Tiempo de retardo	0,00-5,00s, pasos de 0,01 s
Tiempo de puesta en trabajo/reposición	1,5 ciclos
Arc-Flash Sobre corriente instantáneo	
Rango de Ajuste Pick up	
5A	0,50 - 100.00 A, pasos de 0,01 A
1A	0,10-20.00 A, pasos de 0,01 A
Precisión	0 a +10% de ajuste $\pm 0,02$ In secundario
Tiempo de puesta en trabajo/reposición	2-5 ms/l ciclos
Sobre corriente tiempo inverso (51P, 51G, 51N, 51Q)	
Rango de Ajuste Pick up	
5A	0,50– 16.00A, pasos de 0,01 A
1A	0,10-3.20 A, pasos de 0,01 A
50m	5-160.0 mA, pasos de 0,1 mA
2.5mA	0.13-2.00 mA, pasos de 0.01 mA
Precisión	5% de ajuste $\pm 0,02$ In secundario
Tiempo de retardo	
U.S.	0.50-15.00 ,pasos de 0.01s
IEC	0.05-1.00, pasos de 0.01s

3.8.2. Pasos para configurar el relé SEL 751

Para ingresar al menú de configuración se debe presionar las flechas arriba o abajo y buscamos la opción SET/SHOW y pulsamos la tecla ENTER.



FIGURA 84 MENÚ SET/SHOW RELÉ 751, FUENTE: LOS AUTORES.

Luego ingresamos al sub menú GLOBAL dando ENTER, y dentro de este escogemos la opción GROUP.



FIGURA 85 SUBMENU GLOBAL, FUENTE: LOS AUTORES.

Luego escogemos el grupo 1 y le damos un ENTER ya que este grupo será el que vamos a configurar, aunque cabe recalcar que se pueden configurar varios grupos para manejar diversos escenarios.



FIGURA 86 SELECCIÓN DE GRUPO 1, FUENTE: LOS AUTORES.

Utilizando las flechas de desplazamiento hacia arriba y abajo buscamos la opción CONFIG SETTINGS y pulsamos la tecla ENTER.



FIGURA 87 MENÚ CONFIG SETTINGS, FUENTE: LOS AUTORES.

Dentro de este menú vamos a configurar el tiempo de disparo de la protección 51 en la fase 1 buscamos en el menú la opción 51P1TD y pulsamos la tecla ENTER y configuramos el tiempo de disparo de la protección, en este caso será de 0.1 segundos Ver figura 88.



FIGURA 88 CONFIGURACIÓN DE TIEMPO PROTECCIÓN 51 DE FASE, FUENTE: LOS AUTORES.

Luego configuramos el valor de corriente a la que se disparará el TRIP del relé en la protección 51N la misma que no será un parámetro fijo ya que depende de factores como la carga y tensión de entrada que se vaya a utilizar, por lo que dependerá de la situación en la que se emplee el módulo en este caso será de 1.3-A. Ver figura 89



FIGURA 89 CONFIGURACIÓN DE CORRIENTE EN PROTECCIÓN 51N, FUENTE: LOS AUTORES.

Configuramos el tiempo de disparo de protección 51G en 0.01 segundos, para que reaccione antes que los mismos disyuntores del módulo.



FIGURA 90 CONFIGURACIÓN DE DISPARO 51GT, FUENTE: LOS AUTORES.

Apertamos el botón de ESC para regresar y con las flechas seleccionamos el sub menú RESIDUAL TOC.



FIGURA 91 MENÚ RESIDUAL TOC, FUENTE: LOS AUTORES.

Configuramos el tiempo de disparo de la protección 51G



FIGURA 92 TIEMPO DE DISPARO 51G, FUENTE: LOS AUTORES.

Para realizar este ajuste tenemos que tener en cuenta que el mismo corresponde al 20% de la corriente a plena carga del lado de baja del TP.



FIGURA 93 CONFIGURACIÓN 51G, FUENTE: LOS AUTORES.

Escogemos un tipo de curva de protección en este caso escogeremos la Curva muy inversa C2 acorde a la normativa IEC.



FIGURA 94 SELECCIÓN CURVA C2, FUENTE: LOS AUTORES.

Vamos a configurar el tiempo de la protección 51P en 0.1 segundos.



FIGURA 95 CONFIGURACIÓN 51P, FUENTE: LOS AUTORES.

3.9. Configuración del relé SEL 421

3.9.1. Principio de operación de la protección de distancia

El principio de operación de la protección de distancia por medio de un relevador se muestra en la Fig. 96. Si se considera que el relevador está ubicado en el punto K y que sus bobinas reciben las señales de V_r , que es la tensión proporcional al producido por la falla VF y de la corriente de falla I_r , que es proporcional a la corriente I_F . La ecuación 20 representa la impedancia medida o "vista" por los relevadores de distancia (Z_r). Durante los cortocircuitos trifásicos, la impedancia medida Z_r coincide con la impedancia de la sección de la línea comprendida entre el punto de la ubicación del relevador y del cortocircuito, esto se cumple si no existen contribuciones de corriente en la sección protegida por el relevador [9].

$$Z_r = \frac{V_r}{I_r} \quad (20)$$

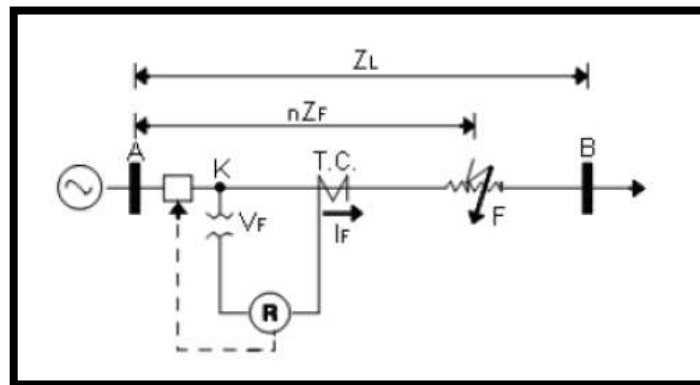


FIGURA 96 IMPEDANCIA ANTE UNA FALLA EN EL PUNTO F [9].

En un sistema radial, la relación de tensión-corriente que mide un relevador de distancia ante una falla, es proporcional a la distancia física que existe entre la localización del relevador y el punto de falla. En un sistema anillado, no siempre se cumple que la relación de tensión-corriente, proporcione la distancia física aproximada al punto de falla, esto es debido a la contribución de corriente de otras líneas que inciden en nodos ubicados entre el relevador y la falla; en estos casos la referencia del punto donde ocurrió la falla, proporciona la información de la zona donde operó el relevador [9].

En la tarea de llevar a cabo la coordinación de la operación de relevadores se busca que primero operen los relevadores que estén más cerca de la falla eléctricamente, que aquéllos más alejados, lográndose obtener así la selectividad en la protección, que consiste en aislar la mínima sección posible de la red ante una falla [9].

Los relevadores de distancia se conectan en los secundarios de los transformadores de corriente y de potencial, la impedancia Z_r medida o "vista" por los relevadores se conoce como impedancia secundaria. La impedancia medida en los primarios de estos aparatos se conoce como impedancia primaria (Z_p), dada por la ecuación [9]:

$$Z_p = \frac{V_p}{I_p} \quad (21)$$

Donde:

V_p ; Tensión aplicada en el lado de alta tensión del transformador de potencial.

I_p ; Corriente a través del devanado primario del transformador de corriente.

La relación entre Z_r y Z_p está dada por:

$$Z_r = \frac{V_r}{I_r} = \frac{\frac{V_p}{RTP}}{\frac{I_p}{RTC}} = \frac{RTC}{RTP} \frac{V_p}{I_p} = \frac{RTC}{RTP} Z_p \quad (22)$$

Donde:

RTC; Relación de transformación del transformador de corriente.

RTP; Relación de transformación del transformador de potencial.

3.9.2. Zonas de protección

La selección adecuada del alcance y los tiempos de disparo para las distintas zonas de protección, permiten una coordinación correcta entre los relevadores de distancia en un sistema de potencia. La protección de distancia básica considera a la zona 1 instantánea, y una o más zonas con retraso. Los relevadores a distancia digitales y numéricos pueden llegar a tener hasta 5 zonas, algunas para detectar condiciones de falla hacia atrás [9].

3.9.2.1. Ajustes de la zona 1

Los relevadores electromecánicos/estáticos usualmente tienen un alcance hasta de un 80% de la impedancia de la línea protegida para la protección de la zona 1. Para los relevadores de distancia micro procesados el ajuste es del 80% y hasta un 85%. Resultando un margen de seguridad del 15 al 20% para asegurar riesgos de sobre alcance de la zona 1, debido a errores en los transformadores de corriente y de tensión por medición, la falta de exactitud en la impedancia de la línea dados para el ajuste; de lo contrario podría causar una pérdida de selectividad con operaciones rápidas, para fallas en líneas adyacentes al nodo remoto [9].

3.9.2.2. Ajustes de la zona 2

Para asegurar la cobertura total de la línea con tolerancia para errores de fuente, el ajuste de la zona 2 debe ser al menos del 120% de la impedancia de la línea protegida. En muchas aplicaciones, una práctica común es ajustar la zona 2 igual a la sección de la línea protegida zona 1 más un 50% de la línea adyacente más corta [9].

Cuando esto es posible, se asegura que la efectividad máxima resultante de parámetros de la zona 2 no alcanzará más allá de la zona efectiva de la zona 1 que protege la línea adyacente, esto evita la necesidad de incrementar el tiempo de operación de la zona 2 [9].

El disparo de la zona 2 debe ser con un retardo de tiempo para asegurar la coordinación con los relevadores primarios que protegen las líneas adyacentes, normalmente se ajusta a 300 ms o 18 a 20 ciclos [9].

Para completar la cobertura de una sección de línea, esta es realizada con una liberación rápida de fallas presentadas en el primer tramo del 80-85% de la línea y algo más lento para fallas en el resto de la línea o como respaldo para fallas que se presentan al inicio de las líneas adyacentes al nodo remoto [9].

3.9.2.3. Ajustes de la zona 4

La zona 4 provee la protección de respaldo remota para todas las fallas en las líneas adyacentes al nodo remoto, con un retardo de tiempo para discriminar con la protección de la zona involucrada, más el tiempo de apertura del interruptor de la línea adyacente. La zona 3 deberá ser ajustada en al menos 1,2 veces la impedancia presentada al relevador para una falla en el extremo remoto de las líneas adyacentes. En un sistema interconectado el efecto “infeed” de la corriente de falla en el nodo remoto causará que la impedancia presentada al relevador, sea mucho mayor que la impedancia actual a la falla y debe ser tomado en cuenta cuando se ajusta la zona 4. En algunos sistemas las variaciones de “infeed” en el nodo remoto pueden inhibir la aplicación de la protección remota de la zona 4, sin embargo, en sistemas radiales con alimentación en un solo extremo estas dificultades no se presentan [9].

3.9.2.4. Ajuste de alcance hacia atrás y de otras zonas

Los relevadores digitales o micro procesados pueden tener zonas de alcance adicionales que pueden ser utilizados para funciones de protección. Por ejemplo, puede ser que las tres primeras zonas sean ajustadas como se mencionó anteriormente, la zona 3 y 5 podrían ser usadas como protección de respaldo para el bus local, mediante el alcance hacia atrás, con un ajuste del orden de 25% del alcance de la zona 1. Alternativamente, una de las zonas de protección hacia delante (típicamente la zona 3) puede ser ajustada con un pequeño desfase hacia atrás con respecto al origen del plano complejo R/X, además de su configuración hacia adelante [9].

3.9.3. Relevador tipo mho del SEL 421

Por medio de una corriente de polarización, puede sacarse del centro un círculo característico del relevador mho, de tal manera que éste encierre el origen del diagrama R-X o bien que el origen esté fuera del círculo [9].

La característica de un relevador tipo mho es una circunferencia que cruza por el origen de coordenadas. Este tipo de relevador no responde a fallas que se presentan en las líneas situadas detrás del relevador, estos relevadores son considerados direccionales, porque

solo operan ante fallas que se presentan en la dirección de disparo del relevador [9]. La condición de operación está dada por la ecuación 23.

$$Z_r < Z_{ar\ max} \cos(\theta_r - \theta_{sm}) \quad (23)$$

Donde:

Z_r ; Impedancia que detecta el relevador

$Z_{ar\ max}$; Impedancia máxima de alcance

θ_r ; Angulo de la impedancia de falla que detecta el relevador

θ_{sm} ; Angulo de sensibilidad máxima.

Los parámetros de ajuste del relevador son el diámetro de la circunferencia $Z_{ar\ max}$ y el ángulo de máxima sensibilidad θ_{sm} .

Estos relevadores se recomiendan para la protección de líneas largas de 110 y 220kV y su característica puede desplazarse con respecto al origen de coordenadas, de tal manera que éste encierre el origen del diagrama R-X o bien que el origen esté fuera del círculo, mediante una corriente de polarización como lo indica la Fig. 97.

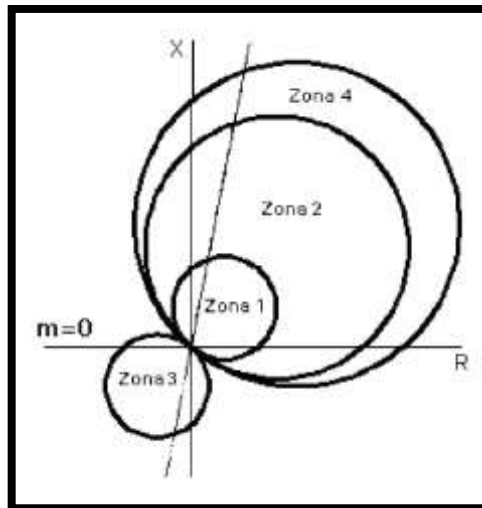


FIGURA 97 CARACTERÍSTICA GENERAL DE UN RELEVADOR SEL 421 DE LOS ELEMENTOS MHO [9].

3.9.4. Impedancia aparente “vista” por un relevador de distancia

En general la relación tensión/corriente que miden los relevadores de distancia es conocida como impedancia aparente “vista” por el relevador [9].

3.9.4.1. Impedancia vista por relevadores de distancia ante diferentes tipos de fallas

En la figura 98 se muestra un diagrama unifilar de un sistema trifásico, se considera que el relevador "Rab" es una protección de distancia para proteger la línea B2-B3.

La estimación de la impedancia de falla vista por los relevadores de distancia, se obtiene considerando que existen tres unidades de relevadores que protegen fallas entre fases alimentadas por la diferencia de tensiones y corrientes; y otras tres unidades de relevadores que protegen las fallas de fase a tierra alimentadas por la tensión de fase y la corriente compensada correspondiente [9].

Cabe mencionar que estas seis unidades de relevadores, se encuentran físicamente dentro de un solo equipo.

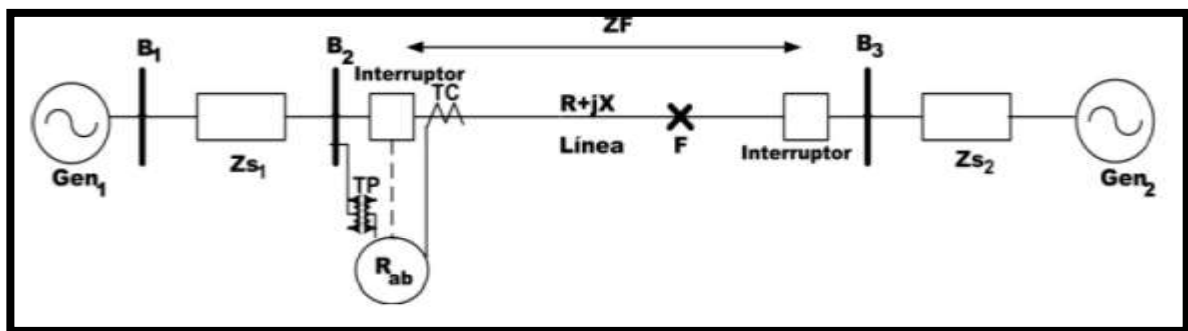


FIGURA 98 DIAGRAMA UNIFILAR DE UN SISTEMA TRIFÁSICO [9].

3.9.5. Protección de distancia (21)

El relevador de distancia calcula el cociente entre la tensión y la corriente, en su ubicación en el sistema de potencia. En las líneas de transmisión la longitud de la misma es proporcional a la impedancia. El esquema de protección de un relevador de distancia se muestra en la Fig. 99, se instalan donde se precisan tiempos instantáneos de despeje de las fallas [9].

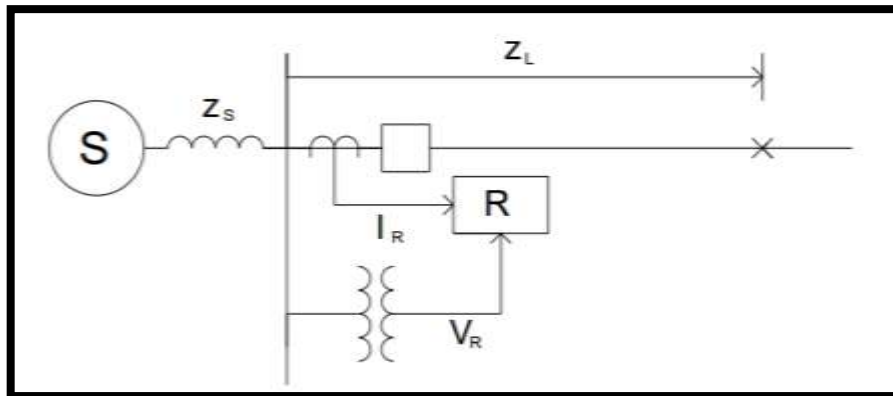


FIGURA 99 ESQUEMA DE PROTECCIÓN DE UN RELEVADOR DE DISTANCIA [9].

Ventajas de los relevadores de distancia sobre los relevadores de sobrecorriente:

- Mayor zona de operación instantánea
- Mayor sensibilidad
- Más fáciles de ajustar y coordinar
- No son afectados por los cambios en la configuración del sistema de potencia

La representación de la línea protegida por la protección de un relevador de distancia en un plano R-X es como se muestra en la Fig. 100.

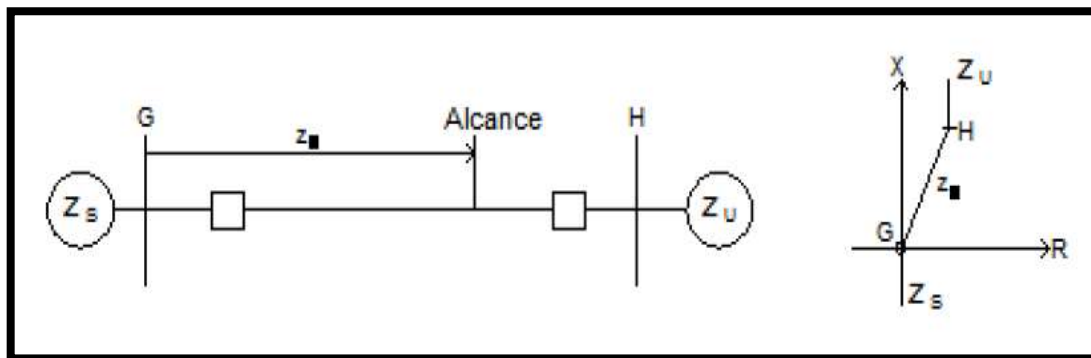


FIGURA 100 REPRESENTACIÓN DE LA LÍNEA (PLANO R-X) [9].

La zona de operación de la protección a distancia en un plano R-X se puede ver en la Fig. 101.

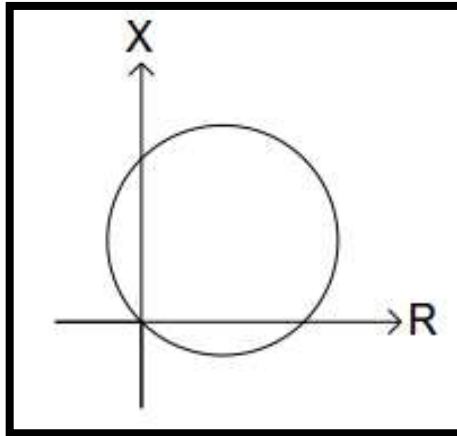


FIGURA 101 ZONA DE OPERACIÓN DE LA PROTECCIÓN A DISTANCIA [9].

El esquema básico comprende 3 zonas de operación:

- Zona 1: 80% de la línea, $t=0$ ms.
- Zona 2: 120% de la línea, $t=0.3 - 0.6$ s.
- Zona 3: Más del 120% de la línea, $t>1$ s.

La representación de estas zonas en una línea se puede ver en la Fig. 102.

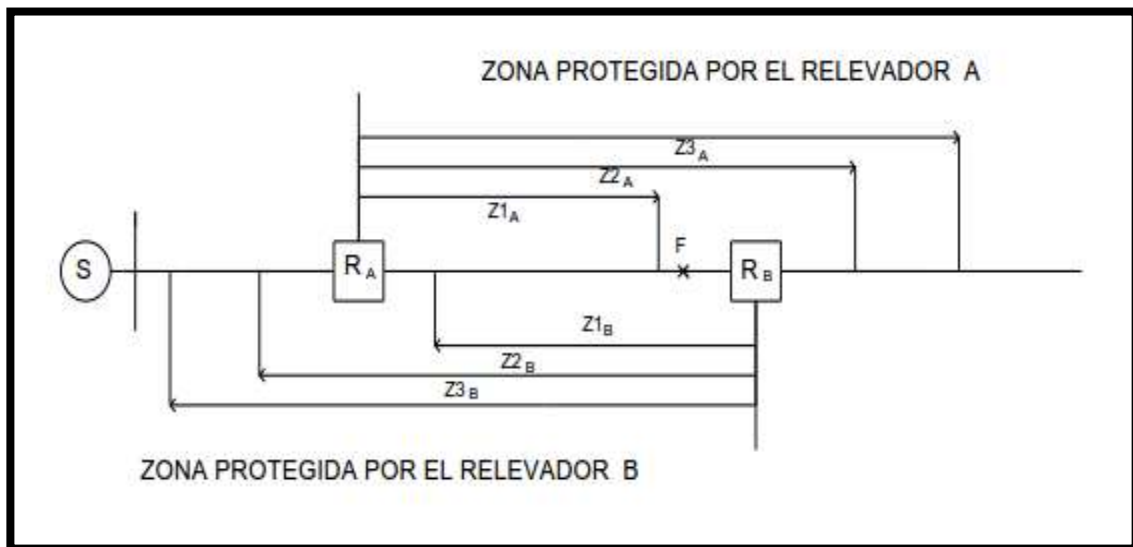


FIGURA 102 ZONAS DE OPERACIÓN DEL RELEVADOR DE DISTANCIA [9].

3.10. Curvas características

3.10.1. Curvas características de protección SEL 751 según normativa ANSI

TABLA 12 ECUACIONES ASOCIADAS A LAS CURVAS DE LA NORMATIVA ANSI [10].

Table 4.13 Equations Associated With U.S. Curves		
Curve Type	Operating Time	Reset Time
U1 (Moderately Inverse)	$t_p = TD \cdot \left(0.0226 + \frac{0.0104}{M^{0.02} - 1} \right)$	$t_r = TD \cdot \left(\frac{1.08}{1 - M^2} \right)$
U2 (Inverse)	$t_p = TD \cdot \left(0.180 + \frac{5.95}{M^2 - 1} \right)$	$t_r = TD \cdot \left(\frac{5.95}{1 - M^2} \right)$
U3 (Very Inverse)	$t_p = TD \cdot \left(0.0963 + \frac{3.88}{M^2 - 1} \right)$	$t_r = TD \cdot \left(\frac{3.88}{1 - M^2} \right)$
U4 (Extremely Inverse)	$t_p = TD \cdot \left(0.0352 + \frac{5.67}{M^2 - 1} \right)$	$t_r = TD \cdot \left(\frac{5.67}{1 - M^2} \right)$
U5 (Short-Time Inverse)	$t_p = TD \cdot \left(0.00262 + \frac{0.00342}{M^{0.02} - 1} \right)$	$t_r = TD \cdot \left(\frac{0.323}{1 - M^2} \right)$
where: t_p = operating time in seconds t_r = electromechanical induction—disk emulation reset time in seconds (if you select electromechanical reset se TD = time-dial setting M = applied multiples of pickup current [for operating time (t_p), $M > 1$; for reset time (t_r), $M \leq 1$]		

TABLA 13 ECUACIONES ASOCIADAS A LA NORMATIVA IEC [10].

Table 4.14 Equations Associated With IEC Curves		
Curve Type	Operating Time	Reset Time
C1 (Standard Inverse)	$t_p = TD \cdot \left(\frac{0.14}{M^{0.02} - 1} \right)$	$t_r = TD \cdot \left(\frac{13.5}{1 - M^2} \right)$
C2 (Very Inverse)	$t_p = TD \cdot \left(\frac{13.5}{M - 1} \right)$	$t_r = TD \cdot \left(\frac{47.3}{1 - M^2} \right)$
C3 (Extremely Inverse)	$t_p = TD \cdot \left(\frac{80}{M^2 - 1} \right)$	$t_r = TD \cdot \left(\frac{80}{1 - M^2} \right)$
C4 (Long-Time Inverse)	$t_p = TD \cdot \left(\frac{120}{M - 1} \right)$	$t_r = TD \cdot \left(\frac{120}{1 - M} \right)$
C5 (Short-Time Inverse)	$t_p = TD \cdot \left(\frac{0.05}{M^{0.04} - 1} \right)$	$t_r = TD \cdot \left(\frac{4.85}{1 - M^2} \right)$
where: t_p = operating time in seconds t_r = electromechanical induction—disk emulation reset time in seconds (if you select electromechanical reset se TD = time-dial setting M = applied multiples of pickup current [for operating time (t_p), $M > 1$; for reset time (t_r), $M \leq 1$]		

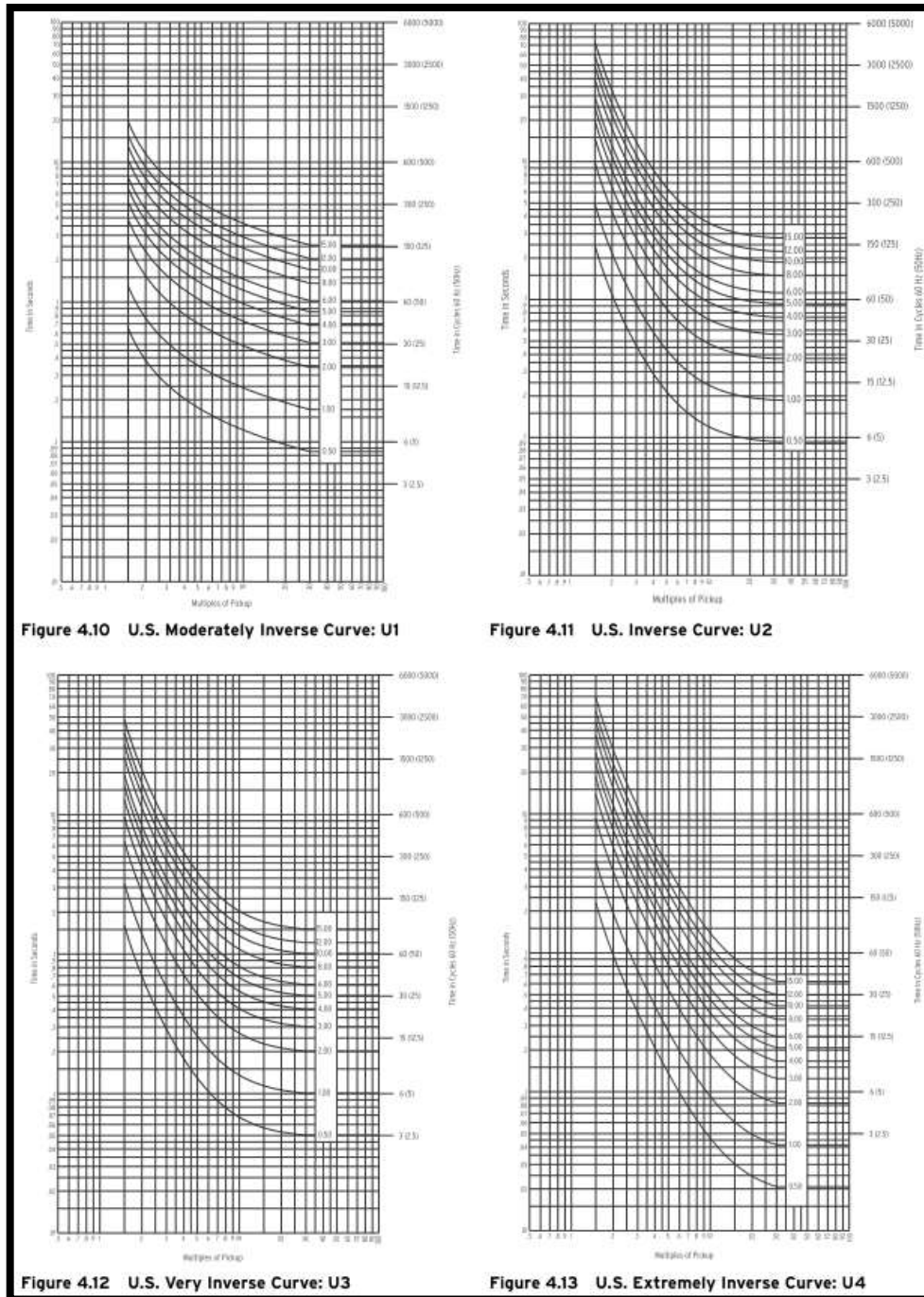


FIGURA 103 CURVAS U1, U2, U3 Y U4 ACORDE A NORMATIVA ANSI [10].

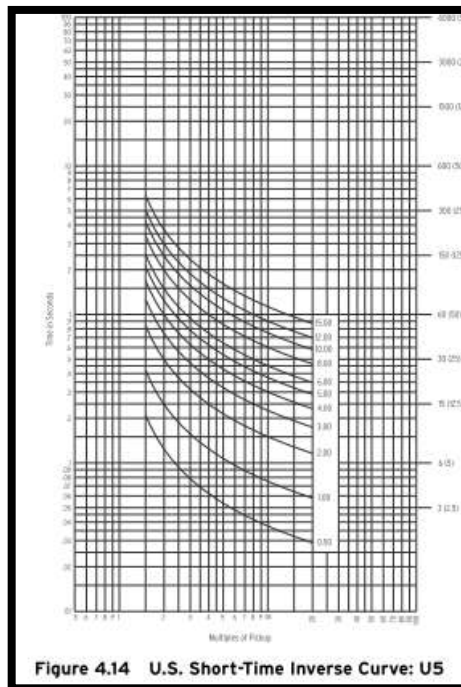


FIGURA 104 CURVA U5 ACORDE A NORMATIVA ANSI [10].

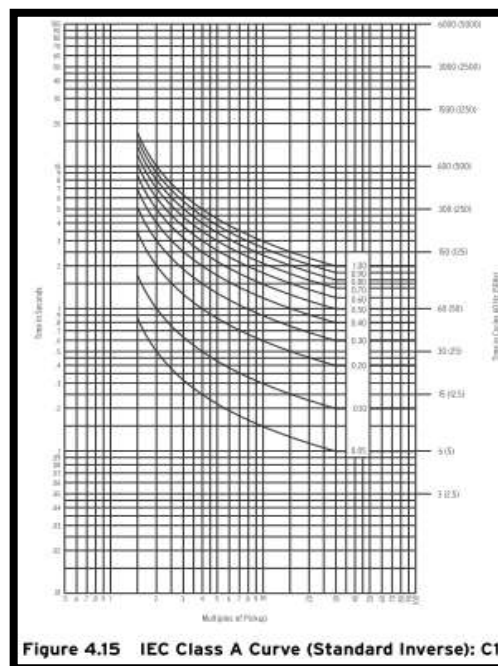


FIGURA 105 CURVA C1 ACORDE A LA NORMATIVA IEC [10].

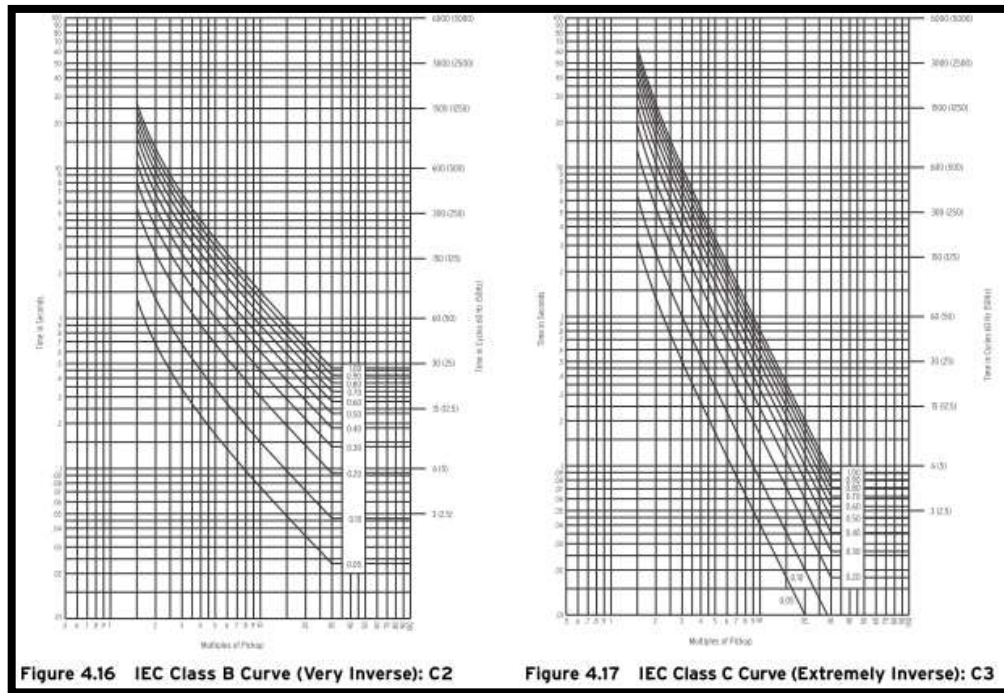


FIGURA 106 CURVAS C2 Y C3 ACORDE A NORMATIVA IEC [10].

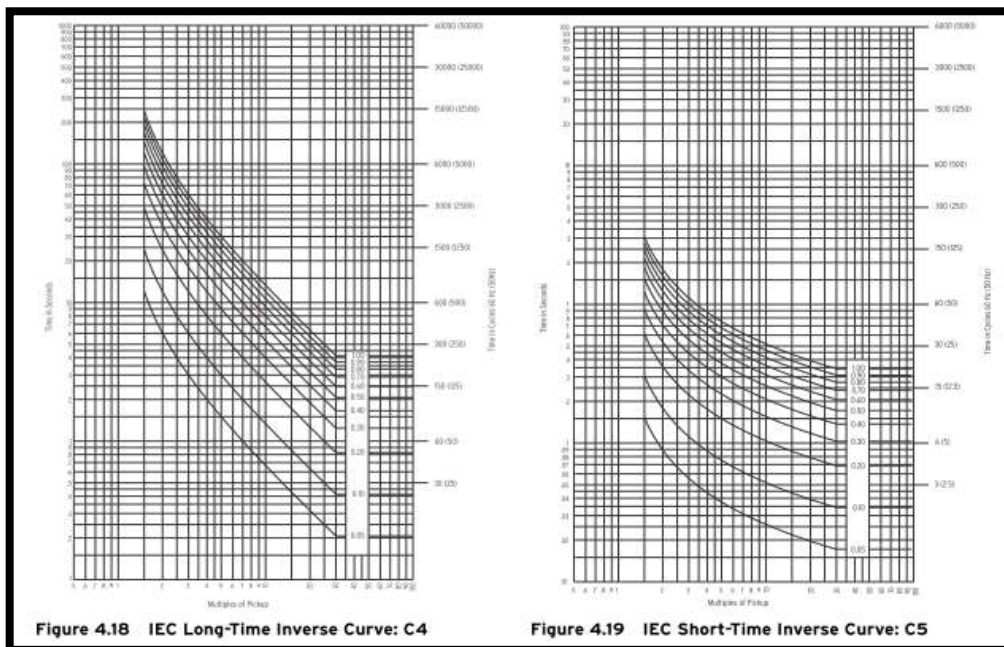


FIGURA 107 CURVAS C4 Y C5 ACORDE A NORMATIVA IEC [10].

3.10.2. Curvas de los elementos del tablero

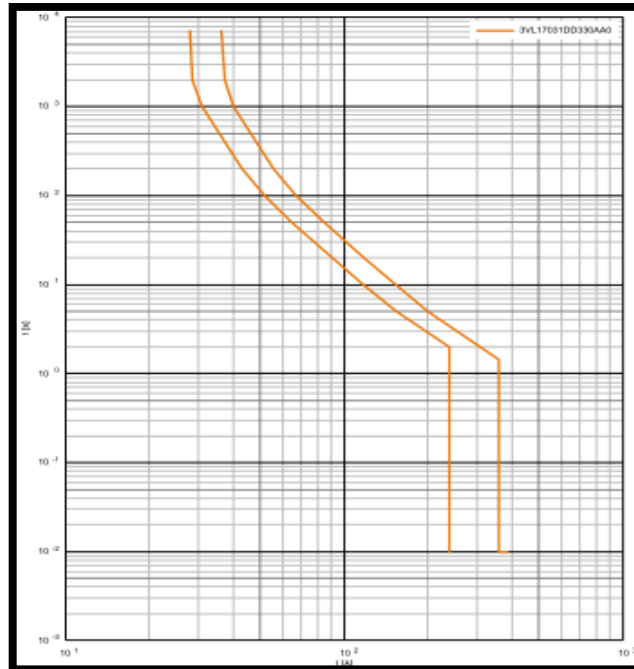


FIGURA 108 CURVA DE PROTECCIÓN DE BREAKER DE CAJA MOLDEADA 3VL [10].

3.10.3. Curvas de la Coordinación de Protecciones

3.10.3.1. Curvas Características de Protección del 50/51

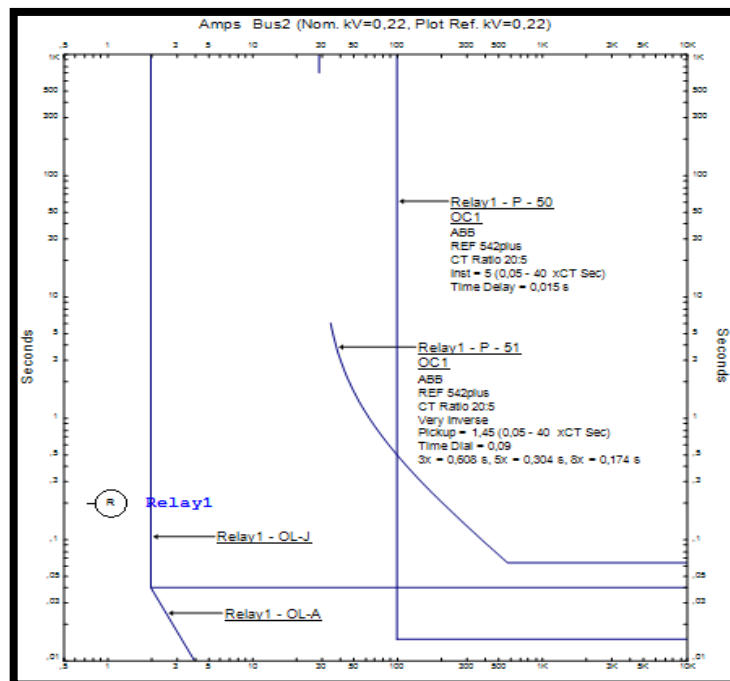


FIGURA 109 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL 50/51, LÍNEA 100KM AL 20%, FUENTE: LOS AUTORES.

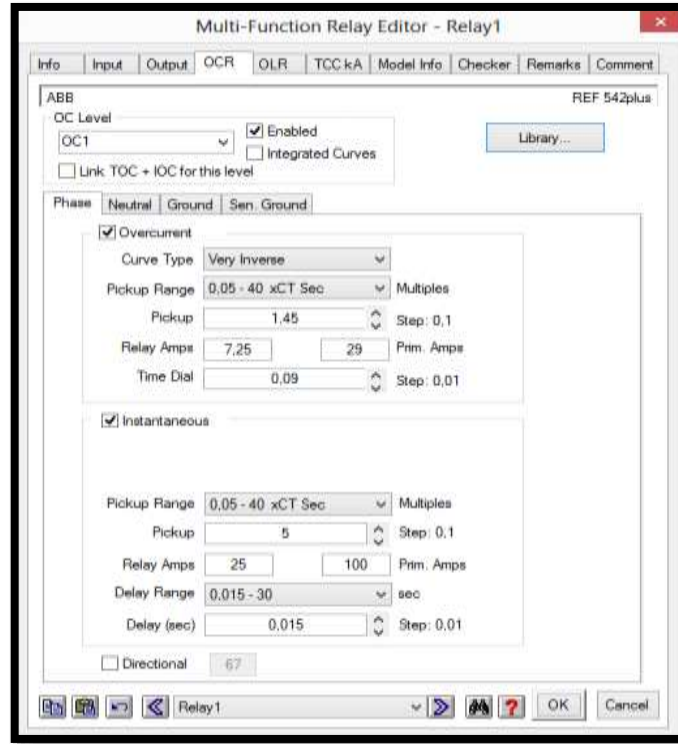


FIGURA 110 AJUSTE DE PARAMETROS DE RELÉ PARA LÍNEA 100KM, FUENTE: LOS AUTORES.

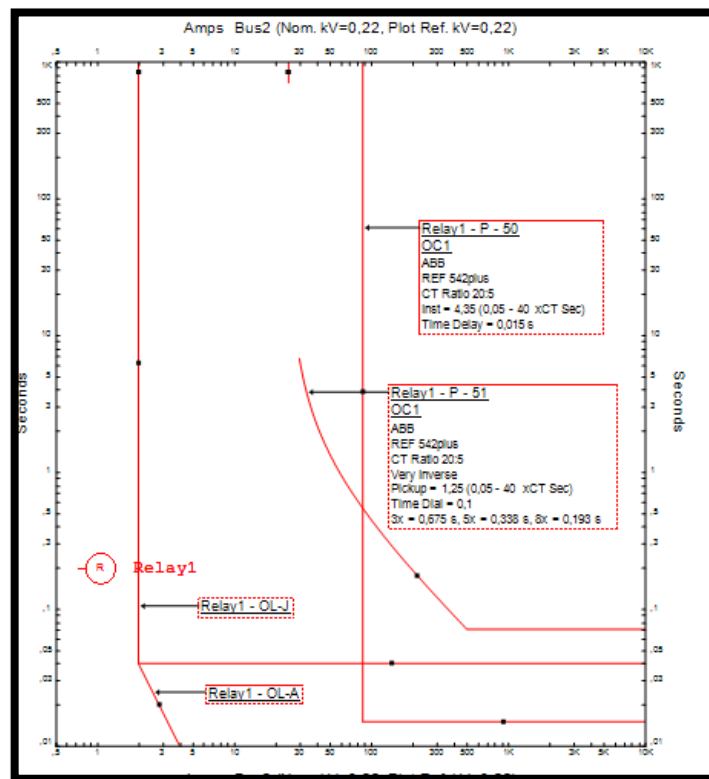


FIGURA 111 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL 50/51, LÍNEA 150KM AL 20%, FUENTE: LOS AUTORES.

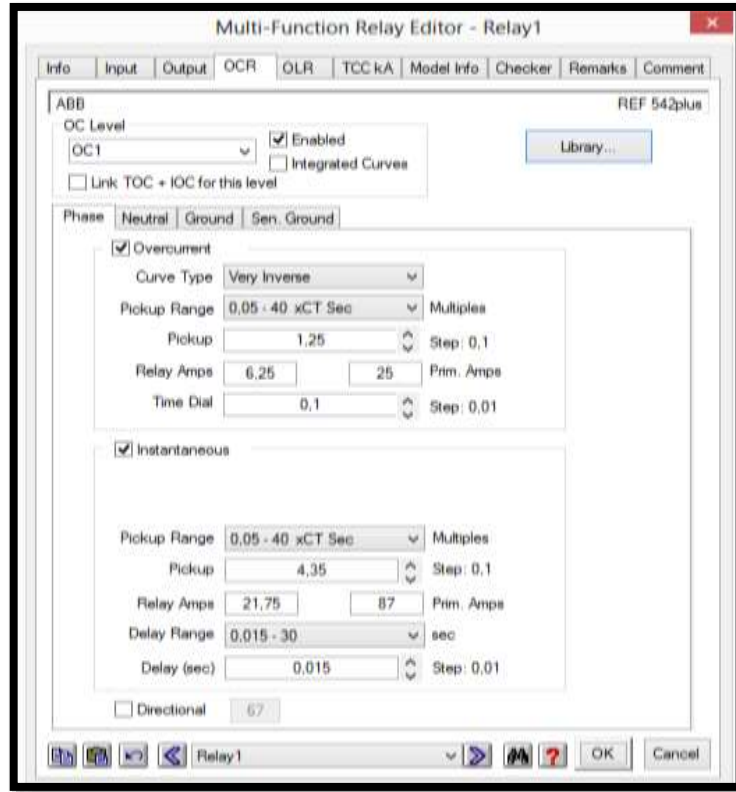


FIGURA 112 AJUSTE DE PARAMETROS DE RELÉ PARA 150KM, FUENTE: LOS AUTORES.

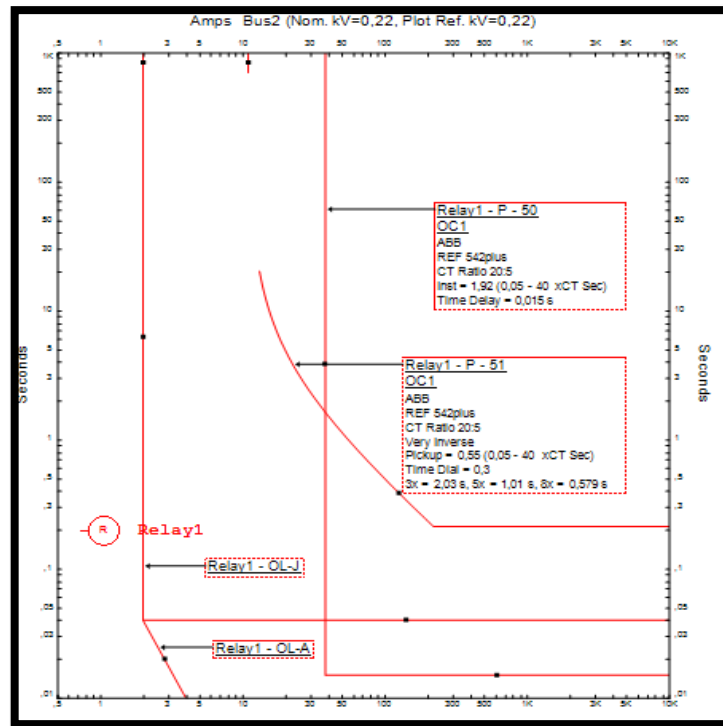


FIGURA 113 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL 50/51, LÍNEA 500KM AL 20%, FUENTE: LOS AUTORES.

Multi-Function Relay Editor - Relay1

Info Input Output **OCR** OLR TCC kA Model Info Checker Remarks Comment

ABB REF 542plus

OC Level: OC1 ☒ Enabled ☐ Integrated Curves [Library...](#)

☐ Link TOC + IOC for this level

Phase: Neutral Ground Sen. Ground

☒ Overcurrent

Curve Type: Very Inverse

Pickup Range: 0,05 - 40 xCT Sec Multiples

Pickup: 0,55 Step: 0,1

Relay Amps: 2,75 11 Prim. Amps

Time Dial: 0,3 Step: 0,01

☒ Instantaneous

Pickup Range: 0,05 - 40 xCT Sec Multiples

Pickup: 1,92 Step: 0,1

Relay Amps: 9,6 38,4 Prim. Amps

Delay Range: 0,015 - 30 sec

Delay (sec): 0,015 Step: 0,01

☐ Directional 67

Relay1 OK Cancel

FIGURA 114 AJUSTE DE PARAMETROS DE RELÉ PARA LÍNEA 500KM, FUENTE: LOS AUTORES.

CAPÍTULO 4

4. PRÁCTICAS

Este capítulo muestra ocho prácticas a realizarse en el módulo didáctico de Sistemas de Transmisión, el módulo está acondicionado para trabajar de forma independiente y en coordinación con los módulos de Generación y Distribución, las prácticas están realizadas para no depender de los otros módulos y se realicen en el módulo de transmisión de manera independiente.

Se recomienda leer por completo la práctica antes de comenzar el conexionado y seguir el procedimiento el pie de la letra, consultando con el maestro encargado cualquier duda.

4.1. PRÁCTICA 1, Introducción al módulo de transmisión

4.1.1. Datos informativos

- Materia: Protecciones/SEP
- Práctica: N° 1
- Número de estudiantes: 20 (2 ESTUDIANTES POR MÓDULO)
- Nombre del docente: Ing. Roy Santana
- Tiempo estimado: 2 Horas

4.1.2. Datos de la práctica

- Tema: Introducción al módulo de transmisión

4.1.3. Objetivo general

- Reconocer cada uno de los componentes que forman el módulo de protecciones de líneas de transmisión y entender su funcionamiento y formas de conexión para futuras prácticas.

4.1.4. Objetivos específicos

- Determinar cada uno de los componentes de fuerza, protección y control que intervienen en el módulo.
- Conocer cuáles son las formas de conexión de las líneas largas, medias y cortas.

- Comprender la idea de diseño de las líneas de transmisión segmentadas al 80%, 100% y 120% de impedancia.
- Analizar el flujo de potencia del módulo.
- Conocer la forma de conexión de los TC`s y TP`s en los relés.

4.1.5. Marco teórico

Para que la energía eléctrica llegue al usuario final desde su etapa de generación, primero debe pasar por una serie de transformaciones a diversos niveles de tensión, pero para poder llevar esta energía a lugares demasiado alejados de su origen es necesario establecer un sistema de transmisión que permita llevar el suministro eléctrico a diferentes distancias desde el origen con el mínimo de pérdidas.

En este proceso intervienen sub estaciones y patios de maniobras en donde un ingeniero eléctrico debe saber operar correctamente la conexión y desconexión de los elementos de potencia que intervengan en cualquier configuración de barra a fin de sin desenergizar la carga poder realizar mantenimientos preventivos o correctivos.

De igual manera debe saber configurar y operar con los diversos tipos de relés de protección a fin de asegurar la seguridad y confiabilidad del sistema de transmisión, es por eso que este se creó este módulo didáctico de protecciones en un sistema de transmisión a fin de familiarizar al estudiante con los trabajos a los que se enfrentaran en el ámbito laboral

En esta primera práctica se verán las ideas de diseño con las que se creó este módulo de transmisión, a fin de entender la distribución y flujo de potencia del módulo.

Se quiere que se comprenda las formas de conectar las líneas de transmisión y los relés de protección de manera general, su uso y operación se verán a detalle en prácticas futuras, pero es necesario por ahora comprender la conexión general para evitar fallos que comprometan la integridad del módulo por malas conexiones o por no conectar correctamente los relés de protección

4.1.6. Marco procedimental

Sin conectar ninguna de las clavijas de alimentación de fuerza de las líneas L1 o L2, procedemos a conectar únicamente el breaker de control ubicado entre la clavija de salida y el mini PLC LOGO 8 en la parte posterior del módulo.



FIGURA 115 UBICACIÓN BREAKER QUE HABILITA EL CONTROL, FUENTE: LOS AUTORES.

Identificar el bloque de Diagrama de protección en donde se encuentran las entradas de las líneas L1 y L2 y todos los elementos que intervienen en estas dos líneas.

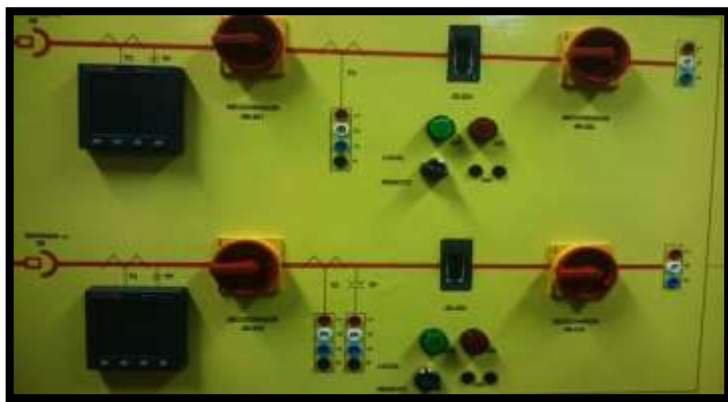


FIGURA 116 BLOQUE DIAGRAMA DE PROTECCIÓN, FUENTE: LOS AUTORES.

En este bloque tenemos las dos entradas del módulo de transmisión, en donde las clavijas de entrada alimentan la línea 1 y la línea 2.

Además, que para cumplir con una de las premisas de control el interruptor solo puede activarse en modo LOCAL si los seccionadores aguas arriba y aguas abajo del interruptor se encuentran cerrados.

Identificar el bloque de líneas de Transmisión, y las 4 líneas que intervienen en el módulo.

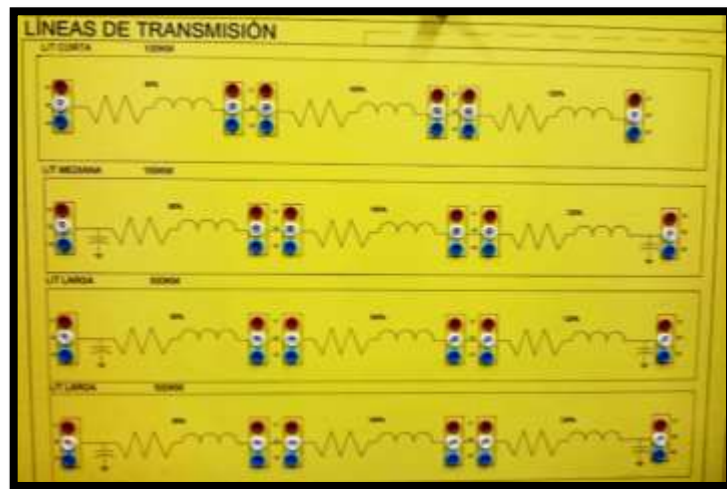


FIGURA 117 BLOQUE DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN, FUENTE: LOS AUTORES.

En este bloque las 4 líneas fueron diseñadas en secciones de 80%, 100% y 120% con el objetivo de que en las prácticas siguientes referentes a uso del relé de protección 421 se puedan realizar fallas en las tres zonas de protección por impedancia.

Es por esta razón que para obtener el 100% de una línea se deberá conectar en serie los segmentos de 80% y 100%, teniendo mucho cuidado de no intercambiar las fases porque esto ocasionaría un corto circuito.

Identificar los bloques que conforman el patio de maniobras y todos sus componentes

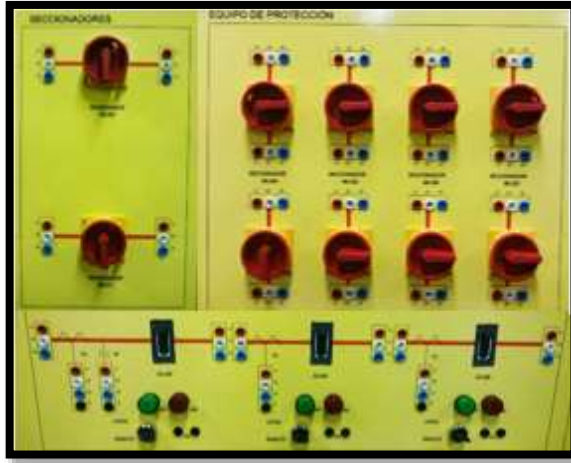


FIGURA 118 BLOQUES QUE CONFORMAN EL PATIO DE MANIOBRAS, FUENTE: LOS AUTORES.

Este bloque está formado esencialmente de seccionadores e interruptores los mismos que nos permitirán en las siguientes prácticas junto a las barras, establecer las diferentes configuraciones que se encuentran en los patios de maniobras.

Identificar el bloque de relés de protección, los tipos de relés que cuenta el módulo.



FIGURA 119 RELES DE PROTECCIONES, FUENTE: LOS AUTORES.

Este módulo manejará básicamente dos tipos de relés de protección el relé SEL 421 y SEL 751 para efectuar las prácticas de protección de distancia y sobrecorriente respectivamente.

Internamente están hechas las conexiones en estrella y debidos aterrizamientos tanto para las señales de tensión como para las de corriente, por lo que a la hora de conectar un TC o un TP a un relé, solo se debe formar una conexión estrella en las borneras de voltaje o corriente de los relés.

Identificar el bloque de control de interruptores, y los componentes que intervienen para el control, al frente y detrás del módulo.



FIGURA 120 BLOQUE DE CONTROL DE INTERRUPTORES, FUENTE: LOS AUTORES.



FIGURA 121 PLC LOGO, FUENTE: LOS AUTORES.

Las botoneras de la unidad de control local/remoto solo se habilitarán cuando los selectores de los interruptores estén en local, lo que permitirá cerrar o abrir los interruptores.

Identificar el bloque de salida del módulo de transmisión.

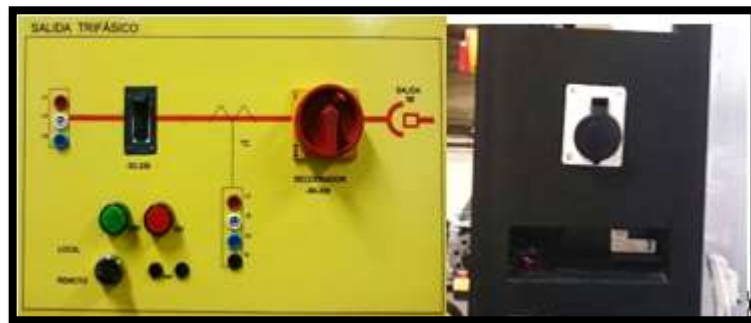


FIGURA 122 BLOQUE DE SALIDA DEL MÓDULO DE TRANSMISIÓN, FUENTE: LOS AUTORES.

Establecer cuáles son las entradas y las salidas de cada elemento que interviene en el módulo.

4.1.7. Condiciones de Funcionamiento

En esta primera práctica solo se reconocerá cada uno de los elementos que conforman el tablero de transmisión y se analizará la lógica de diseño con la que se creó el tablero, por lo que no serán necesarios cables ya que no se elaborará ningún tipo de conexión.

Sin embargo, se entregarán los parámetros del cable y de la configuración de la torre de transmisión a fin de que el estudiante calcule las resistencias, reactancias capacitiva e inductiva de los diferentes tipos de líneas cortas, medias y largas que se utilizan en el módulo a fin de que en la práctica 2 se revisen estos valores calculados versus los valores reales de los componentes. El tipo de conductor elegido es un conductor FLICKER:

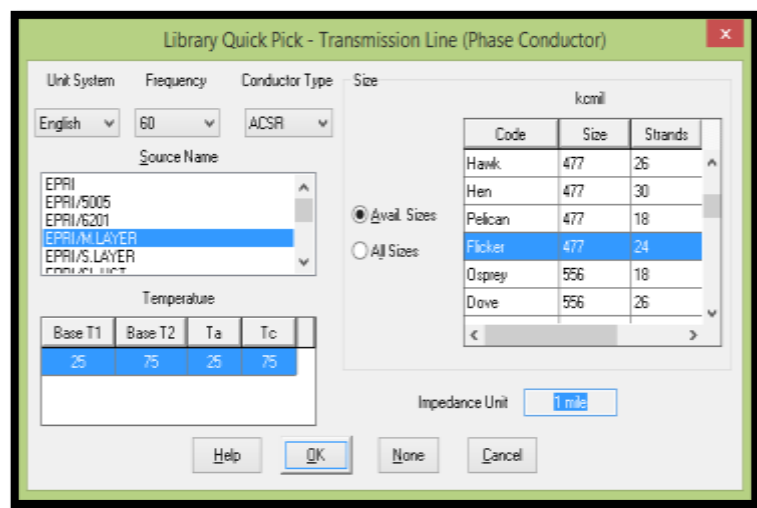


FIGURA 123 SELECCIÓN DEL TIPO DE CABLE, FUENTE: LOS AUTORES.

La configuración de conductores en la torre de transmisión será la siguiente:

- Altura de la torre de 50 metros
- Un solo conductor por fase
- Separaciones entre conductores AB 3 metros, BC 3 metros y CA 6 metros:

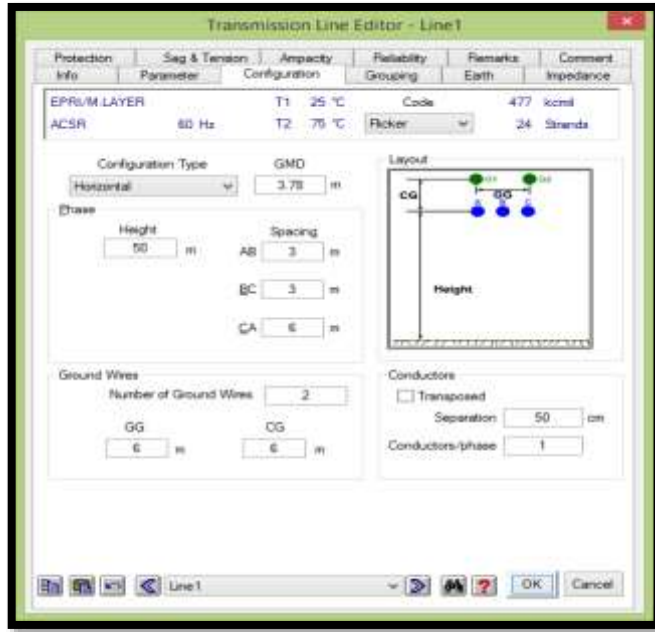


FIGURA 124 CONFIGURACIÓN DE CONDUCTORES, FUENTE: LOS AUTORES.

Calcular para distancias de líneas de 100Km, 150Km y 500Km:

- La resistencia de las líneas de transmisión.
- La capacitancia de las líneas de transmisión.
- La reactancia capacitiva de las líneas de transmisión.
- La inductancia de las líneas de transmisión.
- La reactancia inductiva de las líneas de transmisión.
- El radio medio geométrico.

4.1.8. Recursos utilizados (Equipos, accesorios y materiales consumibles)

- Módulo de protecciones de líneas de transmisión.

4.1.9. Registro de resultados

- Tablas para resultados

TABLA 14 REGISTRO DE RESULTADOS PRACTICA 1, LOS AUTORES.

Registro Práctica No. 1: Valores del modelo real de las líneas de transmisión.							
PARAMETROS CALCULADOS	DISTANCIA			PARAMETROS REALES	DISTANCIA		
	100 Km	150 Km	500 Km		100 Km	150 Km	500 Km
Resistencia				Resistencia			
Capacitancia				Capacitancia			
Reactancia Capacitiva				Reactancia Capacitiva			
Inductancia				Inductancia			
Reactancia Inductiva				Reactancia Inductiva			
Radio medio geométrico				Radio medio geométrico			

- Cálculos relacionados.
- Cuestionario
 - ¿Qué elementos del módulo son nuevos para usted?
 - ¿Qué elementos del módulo los reconoce y en que aplicaciones los ha usado antes?
 - ¿Qué entiende por un SEP?
 - ¿Cuál es su concepto personal de un sistema de protección?
- Observaciones, comentarios, conclusiones.

4.1.10. Bibliografía utilizada

- Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistema de potencia. México: Mc. Graw Hill.

4.1.11. Cronograma / calendario

- De acuerdo a la planificación de cada docente.

4.2. PRÁCTICA 2, Líneas cortas, medias y largas

4.2.1. Datos informativos

- Materia: Protecciones/SEP
- Práctica: N° 2
- Número de estudiantes: 20 (2 ESTUDIANTES POR MÓDULO)
- Nombre del docente: Ing. Roy Santana
- Tiempo estimado: 2 Horas

4.2.2. Datos de la práctica

- Tema: Líneas cortas, medias y largas

4.2.3. Objetivo general

- Evaluar las diferencias al conectar una carga inductiva de una resistiva en las diferentes líneas de transmisión.

4.2.4. Objetivos específicos

- Registrar parámetros de entrada y de salida al usar una carga inductiva en líneas cortas, medias y larga.
- Registrar parámetros de entrada y de salida al usar una carga resistiva en líneas cortas, medias y larga.
- Determinar las diferencias entre las cargas en cada tipo de línea de transmisión.

4.2.5. Marco teórico

4.2.5.1. Líneas de Transmisión

Una línea de transmisión son estructuras de conductores o semiconductores que se utilizan para transportar la potencia eléctrica desde las unidades de generación a las sub estaciones que finalmente los llevaran a los consumidores, dependiendo de qué tan distante puede estar la generadora de una sub estación se pueden clasificar 3 tipos de líneas básicas que son:

- Líneas cortas. – Para distancias de menos de 80 Km
- Líneas medias. – Para distancias de entre 80km a 240Km
- Líneas Largas. - Para distancias de mayores a 240 Km

Al transmitir la energía se tienen elevados niveles de tensión, pero bajo nivel de corriente con el objetivo de disminuir las pérdidas por calentamiento en el conductor.

4.2.5.2. Factores eléctricos en la selección del tipo de conductor

Algunos de los factores eléctricos a considerar en la selección del tipo de conductor en líneas de Transmisión desde el punto de vista eléctrico son:

- Límite de pérdidas por efecto corona.
- Máxima caída de tensión permisibles
- Capacidad de conducción de corriente.
- Factor económico.
- Límite térmico permisible.

4.2.6. Marco procedimental

Repasar las reglas básicas de seguridad mencionadas en la práctica uno (las 5 reglas de oro para el trabajo eléctrico).



FIGURA 125 REGLAS DE ORO PARA EL TRABAJO ELÉCTRICO, FUENTE: ALBERTO MARTÍNEZ.

Revisar el diagrama de conexión antes de conectar, en caso de alguna duda consultar al encargado del laboratorio, antes de conectar o energizar el equipo.

4.2.6.1. Conexión de carga inductiva a la línea corta

- Seguir el instructivo de conexión de líneas de transmisión y escoger la línea corta al 100% para la línea L1.
- Conectar a la salida de la línea corta al 100% a un motor trifásico de 220VAC.

4.2.6.2. Conexión de protecciones 50-51

Para los siguientes literales regirse al instructivo de conexión del Relé SEL 751.

- Configurar el Relé SEL 751, número uno.

- Conectar el TC del inicio de la línea L1 al primer Relé de protección SEL 751.

4.2.6.3. Pasos para iniciar las maniobras de la práctica

- Asegurarse que todos los seccionadores se encuentren apagados.
- Conectar la alimentación del sistema de control del módulo.
- Asegurarse que todos los interruptores que intervienen en la conexión se encuentren abiertos con su luz piloto verde encendida y su selector en local.
- Conectar la alimentación trifásica de la línea L1 del módulo de protecciones.
- Cerrar el seccionador -89 201, luego el seccionador -89 202 y finalmente desde la unidad de control cerrar el interruptor -52 201, con lo que se llevará la alimentación de la entrada de la línea L1 a la línea corta al 100%.

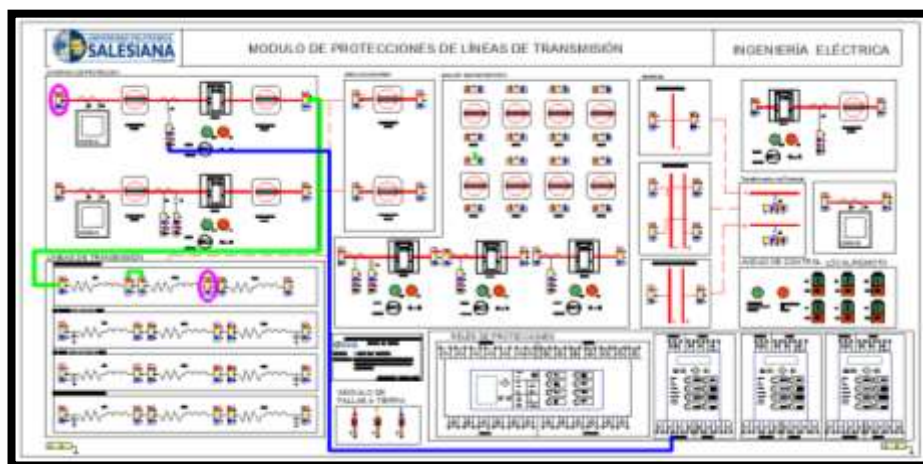


FIGURA 126 CONEXIÓN LÍNEA CORTA EN L1, FUENTE: LOS AUTORES.

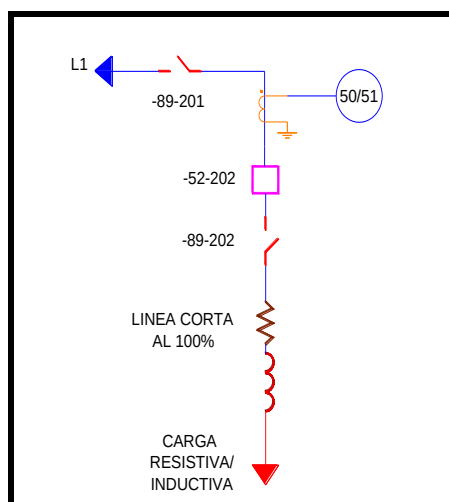


FIGURA 127 DIAGRAMA UNIFILAR LÍNEA CORTA, FUENTE: LOS AUTORES.

- Para controlar el encendido del motor desde el bloque de control activamos el interruptor -52 201.

- Tomar las mediciones de parámetros en el medidor de entrada de la línea L1
- Utilizando el medidor de barras o una pinza amperimétrica tomar las mediciones de parámetros en la carga.
- Apagar el motor desde el bloque de control apagando el interruptor -52 201.
- Reemplazar la carga con una carga netamente resistiva con 90 Ohms por fase y repetir las mediciones.
- Al terminar de tomar los datos proceder a apagar el interruptor -52 201 desde el bloque de control, luego abrimos los seccionadores -89 201 y -89 202, con el fin de quitar la alimentación del sistema de fuerza.
- Repetir los pasos desde el paso A hasta el paso K conectando las mismas cargas inductivas y resistivas a la línea media al 100%.

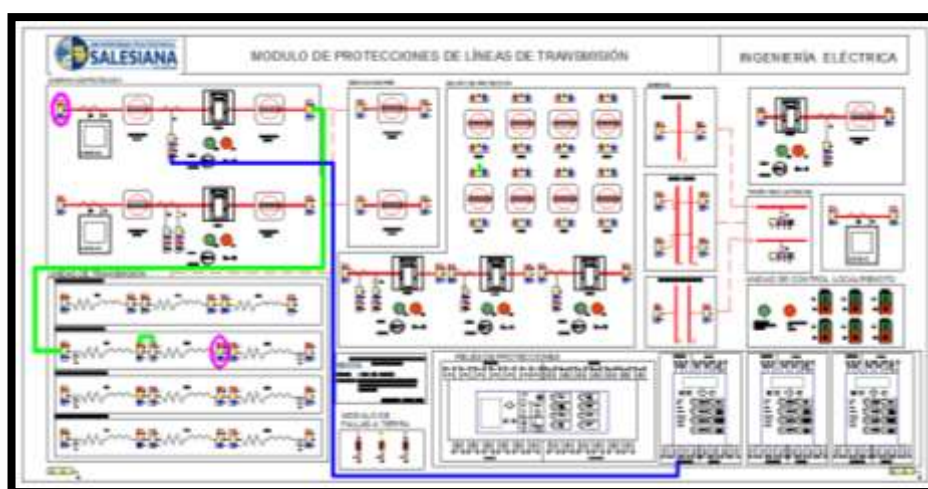


FIGURA 128 CONEXIÓN LÍNEA MEDIA EN L1, FUENTE: LOS AUTORES.

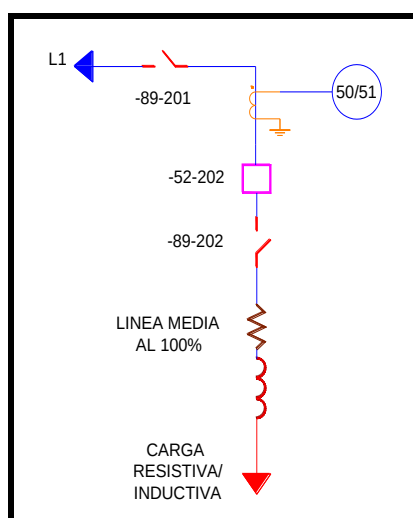


FIGURA 129 DIAGRAMA UNIFILAR LÍNEA MEDIA, FUENTE: LOS AUTORES.

- Repetir los pasos desde el paso a hasta el paso K conectando las mismas cargas inductivas y resistivas a la línea larga al 100%.

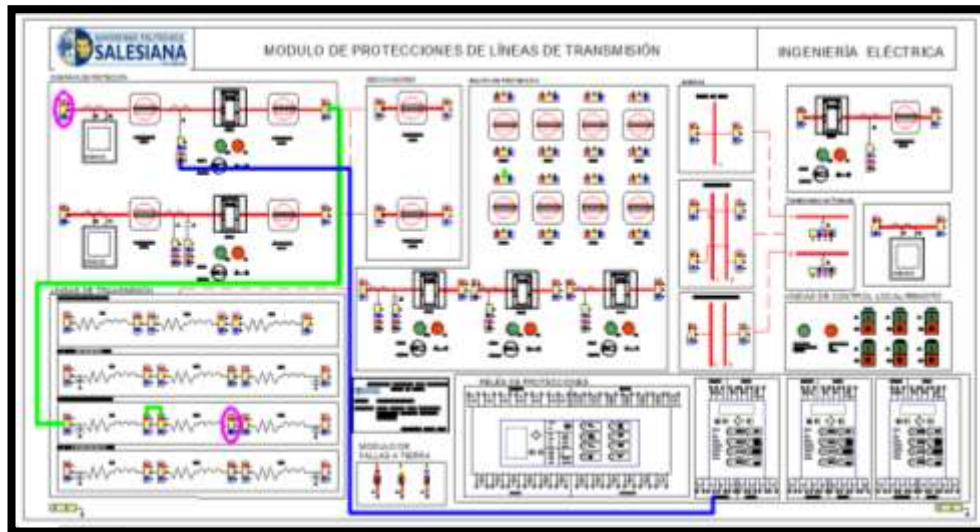


FIGURA 130 CONEXIÓN LÍNEA LARGA EN L1, FUENTE: LOS AUTORES.

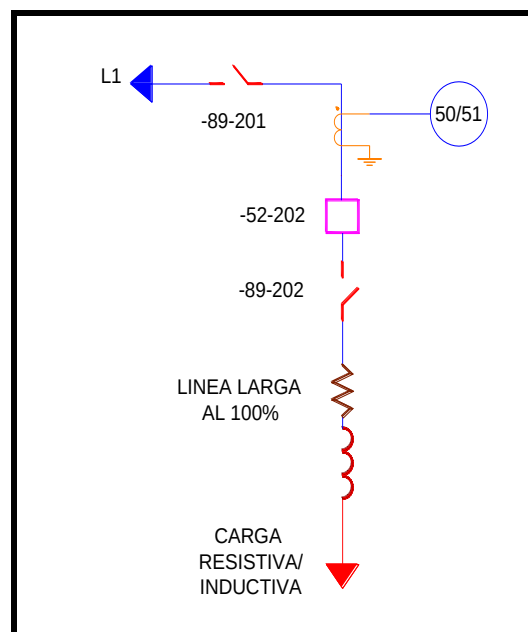


FIGURA 131 DIAGRAMA UNIFILAR LÍNEA LARGA, FUENTE: LOS AUTORES.

4.2.7. Recursos utilizados

- Módulo de protecciones de líneas de transmisión.
- Equipos de medición, voltímetro, amperímetro.
- Cables del laboratorio de pruebas.
- Alimentación de 240/600 VAC.
- Motor trifásico

4.2.8. Registro de resultados

- Tablas: Línea Corta, Línea Media, Línea Larga

TABLA 15 REGISTRO LÍNEA CORTA, LOS AUTORES.

Registro Práctica No. 2: Flujo de Potencia en Línea Corta con carga Inductiva.						
NOMBRE	VOLTAJE			AMPERAJE		
	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1	L2	L3
Línea al 80%						
Línea al 100%						
Línea al 120%						
Registro Práctica No. 2: Flujo de Potencia en Línea Corta con carga Resistiva.						
NOMBRE	VOLTAJE			AMPERAJE		
	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1	L2	L3
Línea al 80%						
Línea al 100%						
Línea al 120%						

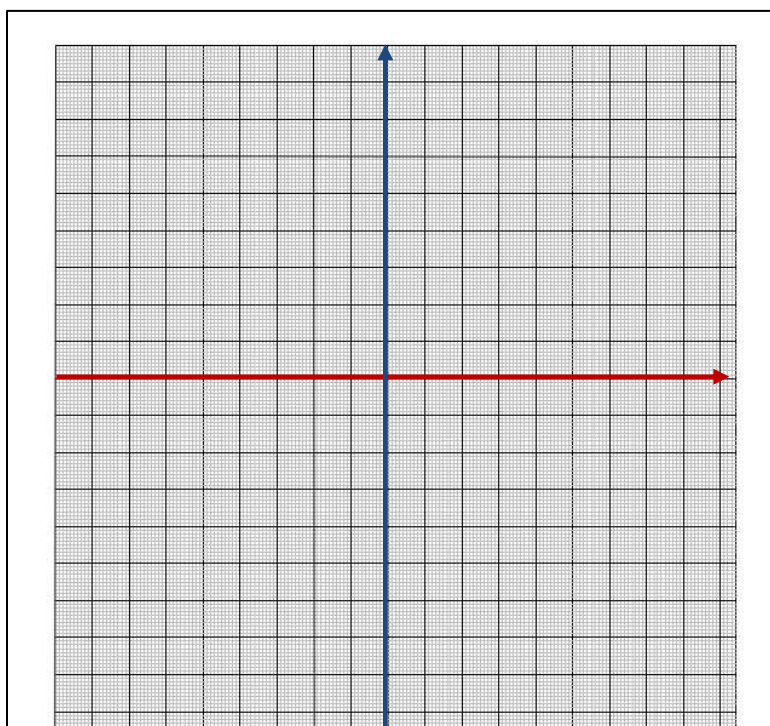
TABLA 16 REGISTRO LÍNEA MEDIA, LOS AUTORES.

Registro Práctica No. 2: Flujo de Potencia en Línea Media con carga Inductiva.						
NOMBRE	VOLTAJE			AMPERAJE		
	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1	L2	L3
Línea al 80%						
Línea al 100%						
Línea al 120%						
Registro Práctica No. 2: Flujo de Potencia en Línea Media con carga Resistiva.						
NOMBRE	VOLTAJE			AMPERAJE		
	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1	L2	L3
Línea al 80%						
Línea al 100%						
Línea al 120%						

TABLA 17 REGISTRO LÍNEA LARGA, LOS AUTORES.

Registro Práctica No. 2: Flujo de Potencia en Línea Media con carga Inductiva.						
NOMBRE	VOLTAJE			AMPERAJE		
	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1	L2	L3
Línea al 80%						
Línea al 100%						
Línea al 120%						
Registro Práctica No. 2: Flujo de Potencia en Línea Media con carga Resistiva.						
NOMBRE	VOLTAJE			AMPERAJE		
	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1	L2	L3
Línea al 80%						
Línea al 100%						
Línea al 120%						

- Graficar los fasores de voltajes y corrientes



- Conclusiones y Recomendaciones

4.2.9. Cronograma / calendario

De acuerdo a la planificación de cada docente.

4.3. PRÁCTICA 3, Conexión barra simple y barra simple con Bypass

4.3.1. Datos informativos

- Materia: Protecciones/SEP
- Práctica: N° 3
- Número de estudiantes: 20 (2 ESTUDIANTES POR MÓDULO)
- Nombre del docente: Ing. Roy Santana
- Tiempo estimado: 2 Horas

4.3.2. Datos de la práctica

- Tema: Patio de maniobras conexión barra simple y barra simple con Bypass

4.3.3. Objetivo general

- Familiarizar al estudiante con la conexión de barras en un patio de maniobras y los pasos que se deben dar para conectar las líneas y las cargas.

4.3.4. Objetivos específicos

- Conectar el módulo de protecciones en configuración barra simple.
- Conectar el módulo de protecciones en configuración barra simple con by pass.
- Determinar las diferencias entre ambas configuraciones de barras ventajas y desventajas de cada configuración.

4.3.5. Marco teórico

Para comprender las diferentes configuraciones que existen en un patio de maniobras y las ventajas y desventajas de cada una de las configuraciones, es necesario primero familiarizar al estudiante con los elementos que intervienen en una maniobra y algunas de las definiciones básicas que intervendrán en esta práctica.

4.3.5.1. Maniobras

El objetivo principal de una maniobra es controlar adecuadamente el flujo de potencia con la finalidad de conectar o desconectar seccionadores e interruptores, para aislar sectores que intervienen en el flujo en el que son necesarios sus desconexiones, así se

puede ejecutar mantenimientos en los diferentes elementos o derivar el flujo para alimentarlo desde alguna otra línea en caso de alguna falla en alguna generadora.

4.3.5.2. Seccionadores de Potencia

El seccionador es un elemento de protección corte y aislamiento en una sub estación eléctrica.

El seccionador es un aparato de maniobra que debe maniobrar en vacío, aunque tiene la capacidad de soportar corrientes nominales, sobre corrientes o corrientes de corto circuito en un corto periodo de tiempo, no tiene capacidad de corte cuando circula corriente.

4.3.5.3. Interruptores de Potencia

Al igual que el seccionador es un elemento de protección corte y aislamiento, pero a diferencia de los seccionadores estos elementos si pueden operar con carga, ya que son aparatos de corte con procedimiento de extinción de arco.

Los interruptores según su accionamiento pueden clasificarse en:

- Cuchillas giratorias
- Cuchillas deslizantes
- Columnas giratorias
- De pantógrafo
- Semi pantógrafo o tipo rodilla

4.3.5.4. Barra Simple

Una de las configuraciones más simple y económica, usado principalmente en instalaciones de pequeña potencia, pero con un gran inconveniente, no permite hacer mantenimientos en la barra principal o ampliar la subestación sin cortar el suministro eléctrico.

4.3.5.5. Barra Simple con By Pass

Es básicamente una mejora de la configuración de barra simple, agregando un seccionador en cada derivación con el objetivo de evitar inconvenientes en las maniobras de mantenimiento.

4.3.6. Marco procedimental

Repasar las reglas básicas de seguridad mencionadas en la práctica uno (las 5 reglas de oro para el trabajo eléctrico).



FIGURA 132 REGLAS DE ORO PARA EL TRABAJO ELÉCTRICO, FUENTE: ALBERTO MARTÍNEZ.

Revisar y analizar los diagramas unifilares de la práctica a conectar, en caso de alguna duda en las conexiones consulte al encargado del laboratorio, antes de conectar o energizar el equipo.

4.3.7. Condiciones de funcionamiento

- Verificar que todos los seccionadores trifásicos estén en apertura (OFF) antes de realizar las maniobras.
- Verificar con multímetro que el módulo no esté energizado, antes de proceder al conexionado.
- La transferencia de Barras debe encontrarse en estado inicial dando operatividad a la Barra A.

4.3.7.1. Conexión de circuito de fuerza de barra simple

- Conectar la salida del seccionador -89 202 con el inicio de la línea de 100 km.
- Puentear el segmento de 80% y el de 100% de la línea de 100 km, cuidando de no mezclar las fases.
- Conectar la salida del 100% de la línea de 100 km, al inicio del seccionador -89 211.
- Conectar la salida del seccionador -89 211 con el inicio del interruptor -52 202.
- Conectar la salida del interruptor -52 202 al inicio del seccionador -89 204.
- Conectar la salida del seccionador -89 204 con el inicio de la barra A en el bloque de barra simple.
- Conectar la salida de la barra A en el bloque de barra simple al inicio del seccionador -89 212.

- Conectar la salida del seccionador -89 212 con el inicio del interruptor -52 204.
- Conectar la salida del interruptor -52 204 al inicio del seccionador -89 213.
- Conectar la salida del seccionador -89 213 a una carga trifásica, se recomienda usar un motor trifásico a 220VAC, si el módulo se usara de manera independiente.

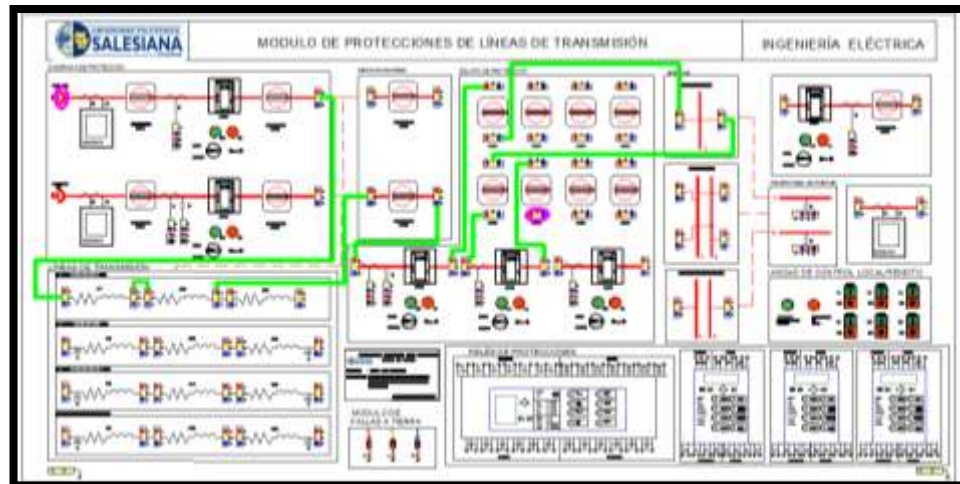


FIGURA 133 DIAGRAMA BARRA SIMPLE EN L1, FUENTE: LOS AUTORES.

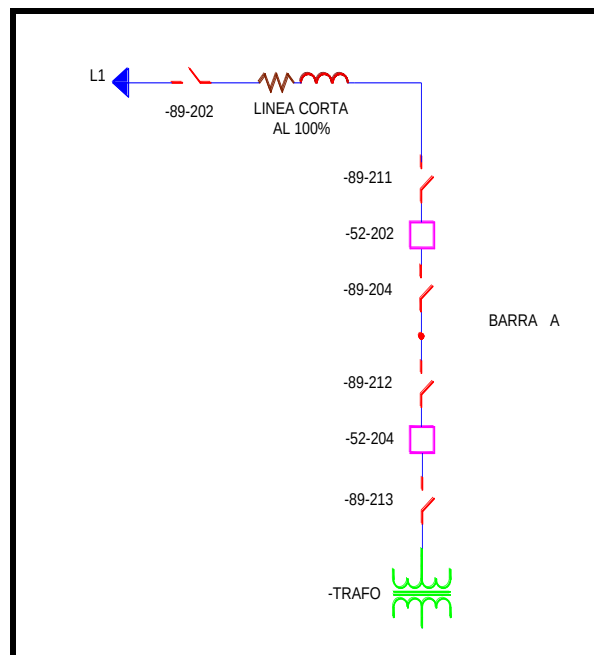


FIGURA 134 DIAGRAMA UNIFILAR BARRA SIMPLE, FUENTE: LOS AUTORES.

4.3.7.2. Pasos para iniciar las maniobras de la práctica

- Asegurarse que todos los seccionadores se encuentren apagados.
- Conectar la alimentación del sistema de control del módulo.
- Asegurarse que todos los interruptores que intervienen en la conexión se encuentren abiertos con su luz piloto verde encendida y su selector en local.

- Conectar la alimentación trifásica de la línea L1 del módulo de protecciones de líneas de transmisión.
- Cerrar el seccionador -89 201, luego el seccionador -89 202 y finalmente desde la unidad de control cerrar el interruptor -52 201, con lo que se llevará la alimentación de la entrada de la línea L1 a la línea corta de 100KM al 100%.
- Para efectuar la maniobra de conexión de la Línea L1 a la barra A, procederemos a cerrar el seccionador -89 211, luego cerramos el seccionador -89 204 y desde la unidad de control cerrar el interruptor -52 202.
- Finalmente, para proceder con la maniobra de conexión de la carga a la barra A procederemos cerrar el seccionador -89 212, luego cerramos el seccionador -89 213 y desde la unidad de control cerrar el interruptor -52 204 con lo que obtendremos que la carga trifásica se energice.
- Tomar las mediciones de parámetros en el medidor de entrada de la línea L1
- Utilizando el medidor de barras tomar las mediciones de parámetros en la barra simple A.
- Utilizando el medidor de barras o una pinza amperimetrica, tomar las mediciones de parámetros en la salida del seccionador -89 213.
- Analice si, ¿Es posible poner fuera uno de los seccionadores o de los interruptores para ejecutar un mantenimiento o recambio del mismo sin que la carga se des energice?

4.3.7.3. Desconexión de circuito de fuerza de barra simple

- Procederemos con la maniobra de desconexión de la carga a la barra A, y también con la desconexión de la línea L1 antes de realizar la conexión del circuito de fuerza de barra simple con bypass, para lo cual primero debemos des energizar el interruptor -52 204 desde la unidad de control abriendo el interruptor, con lo que obtendremos que la carga trifásica se des energice, luego abriremos el seccionador -89 212, y posteriormente abrimos el seccionador -89 213.
- Procederemos con la maniobra de desconexión de la línea a la barra A, para lo cual primero debemos des energizar el interruptor -52 202 desde la unidad de control abriendo el interruptor, con lo que obtendremos que la barra se des energice, luego abriremos el seccionador -89 211, y posteriormente abrimos el seccionador -89 204.

- Desde la unidad de control procederemos a abrir el interruptor -52 201, lo que terminará de desconectar todo el sistema.

4.3.7.4. Conexión de circuito de fuerza de barra simple con bypass

- Revisar y analizar el diagrama unifilar de la práctica a conectar, en caso de alguna duda en las conexiones consulte al encargado del laboratorio, antes de conectar o energizar el equipo.

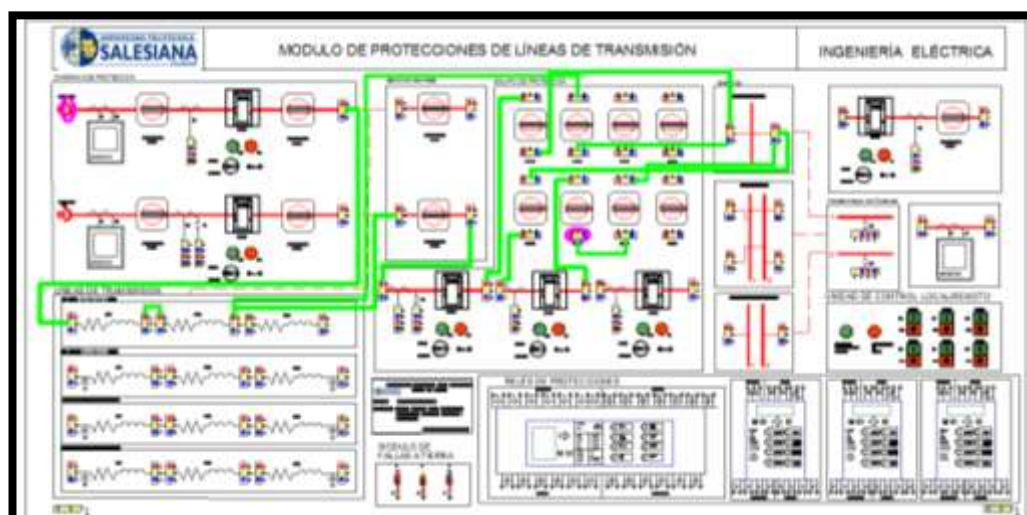


FIGURA 135 DIAGRAMA BARRA SIMPLE CON BYPASS, FUENTE: LOS AUTORES.

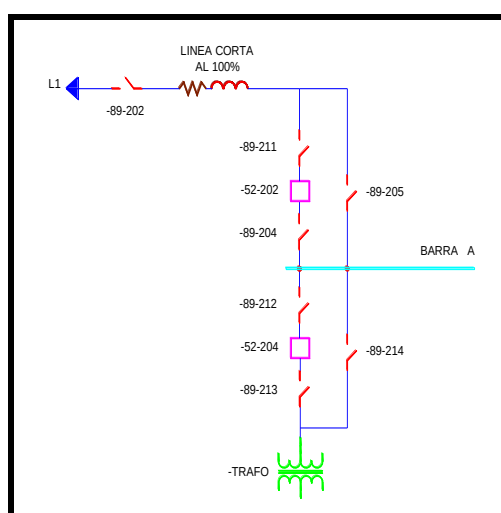


FIGURA 136 DIAGRAMA UNIFILAR BARRA SIMPLE CON BYPASS, FUENTE: LOS AUTORES.

- Sin desconectar la configuración de barra simple procederemos a conectar el bypass tanto para la conexión de la línea L1 con la barra A, como con el bypass que conecta la salida de la barra A con la carga, para lo cual debemos:

- Conectar la salida del 100% de la línea de 100 km al inicio del seccionador -89 205 y la salida del seccionador -89 205 con la entrada de la barra simple A.
- Conectamos el inicio del seccionador -89 214 a la salida de la barra simple A y la salida del seccionador -89 214 la conectamos a la salida del seccionador -89 213 donde tenemos conectada la carga.
- Repetimos los pasos de la sección “Pasos para iniciar las maniobras de la práctica” para que la carga se energice.

4.3.8. Conexión de bypass a L1

- Para realizar la maniobra de conexión del bypass para la alimentación a la línea L1, procedemos a cerrar el seccionador -89 205.
- Luego podemos desconectar el seccionador -52 202, y posteriormente el seccionador -89 211 y luego el seccionador -89 204
- ¿Qué paso con la carga?
- Para realizar la maniobra de conexión del bypass entre la carga y la barra, procedemos a cerrar el seccionador -89 214.
- Luego podemos desconectar el seccionador -52 204, y posteriormente el seccionador -89 212 y luego el seccionador -89 2013
- ¿Qué paso con la carga?
- Establecer sus conclusiones y recomendaciones, para las maniobras de barra simple y barra simple con bypass realizadas.

4.3.9. Recursos utilizados (Equipos, accesorios y materiales consumibles)

- Módulo de protecciones de líneas de transmisión.
- Equipos de medición, voltímetro, amperímetro.
- Cables del laboratorio de pruebas.
- Alimentación de 240/600 VAC.
- Motor trifásico

4.3.10. Registro de resultados

- Tablas: Barra Simple con by pass

TABLA 18 REGISTRO BARRA SIMPLE CON BYPASS, LOS AUTORES.

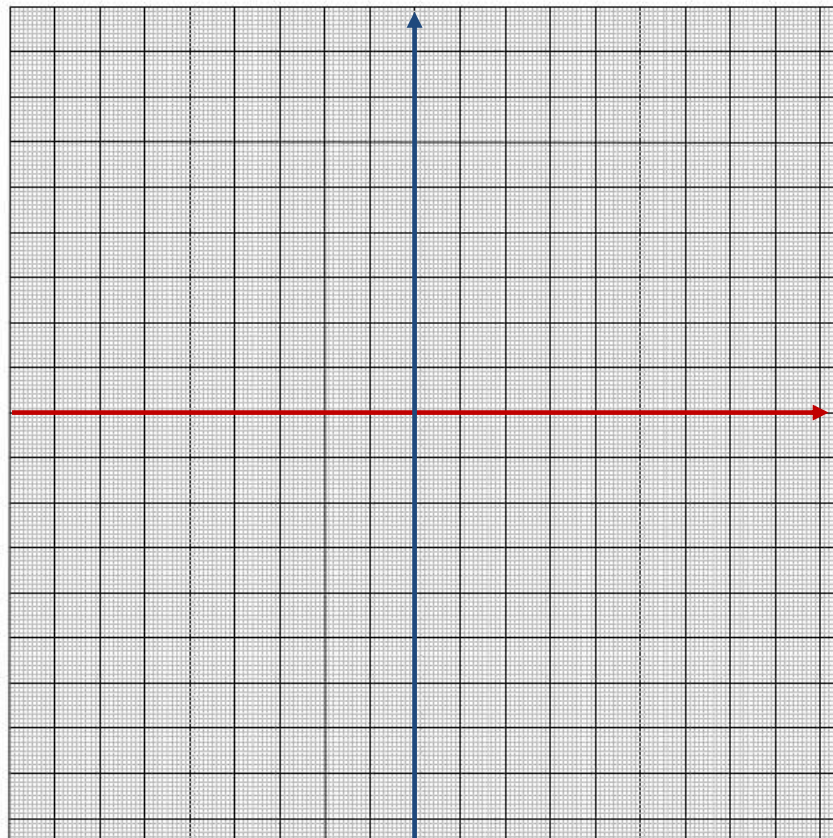
REGISTRO PRÁCTICA NO. 5: FLUJO DE POTENCIA EN CONEXIÓN DE BARRA SIMPLE CON BYPASS							
ANTES DEL BYPASS							
NOMBRE	VOLTAJE				AMPERAJE		
	NOMINAL	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1	L2	L3
MEDIDOR L1							
BARRA A							
CARGA							
SALIDA -52 202							
SALIDA -52 204							
SALIDA -89 205							
SALIDA -89 214							
DESPUES DEL BYPASS							
Registro Práctica No. 5: Flujo de Potencia en conexión de barra SIMPLE CON BYPASS							
NOMBRE	VOLTAJE				AMPERAJE		
	NOMINAL	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1	L2	L3
MEDIDOR L1							
BARRA A							
CARGA							
SALIDA -52 202							
SALIDA -52 204							
SALIDA -89 205							
SALIDA -89 214							

- Tablas: Barra Simple

TABLA 19 REGISTRO BARRA SIMPLE, LOS AUTORES.

REGISTRO PRÁCTICA NO. 5: FLUJO DE POTENCIA EN CONEXIÓN DE BARRA SIMPLE							
NOMBRE	VOLTAJE				AMPERAJE		
	NOMINAL	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1	L2	L3
MEDIDOR L1							
BARRA A							
CARGA							
SALIDA -52 202							
SALIDA -52 204							

- Graficar los fasores de voltajes y corrientes



- Cuestionario de preguntas
¿Qué ventajas y desventajas pudo notar de la configuración de barra simple?
¿Qué ventajas y desventajas pudo notar de la configuración de barra simple con bypass?
- Conclusiones y Recomendaciones

4.3.11. Cronograma / calendario

- De acuerdo a la planificación de cada docente.

4.4. PRÁCTICA 4, Conexión barra doble

4.4.1. Datos informativos

- Materia: Protecciones/SEP
- Práctica: N° 4
- Número de estudiantes: 20 (2 ESTUDIANTES POR MÓDULO)
- Nombre del docente: Ing. Roy Santana
- Tiempo estimado: 2 Horas

4.4.2. Datos de la práctica

- Tema: Patio de maniobras conexión barra doble

4.4.3. Objetivo general

- Dar a conocer al estudiante la configuración de barra Doble, mediante los accionamientos respectivos en el patio de maniobras, familiarizándose con los pasos de conexión de los diferentes elementos para dicha configuración.

4.4.4. Objetivos específicos

- Conectar el módulo de protecciones en configuración de Barra Doble.
- Conocer a detalle los accionamientos y maniobras para futuras fallas del sistema o mantenimientos preventivos.
- Conocer los beneficios que tiene la conexión barra doble ante una falla eléctrica.
- Analizar el flujo de tensión y corriente que tiene la conexión de barra doble.

4.4.5. Marco teórico

Para la configuración de barra doble, intervienen varios elementos que hacen que el sistema sea confiable, tales como: seccionadores trifásico, disyuntores, barras, cargas: resistivas, inductivas y/o capacitivas. Dando suministro eléctrico de forma ininterrumpida al sistema. Por lo que se hace necesario conocer a cabalidad las maniobras a ejecutar durante las pruebas de esta configuración.

4.4.5.1. Barra Doble

Esta configuración es flexible y confiable, pues permite separar circuitos en cada una de las barras. Es posible hacer mantenimiento en las barras sin suspender el servicio. Dada su flexibilidad, se puede usar el acople como seccionador de barras, permitiendo así conectar a una y otra barra circuitos provenientes de una misma fuente sin necesidad de hacer cruce de las líneas. Sin embargo, no es segura cuando se presentan fallas en barras e interruptores.

4.4.5.2. Maniobras

Las maniobras son las acciones que debemos realizar para poder prevenir fallas o daños en el personal y los equipos, o realizar mantenimiento a sus equipos de protección o barras, mediante el accionamiento de los equipos de protección, de esta forma se puede ejecutar el mantenimiento de los elementos, sin dejar desenergizada la carga, mediante la derivación de flujo de corriente.

4.4.6. Marco procedimental

- Revisar el diagrama de conexiones de la práctica de barra doble, cualquier duda se la debe consultar al encargado del laboratorio, antes de conectar o energizar los equipos.
- Seguir paso a paso el diagrama de conexiones, para interconectar todos los equipos vinculados con la configuración de barra doble.
- Energizar el Módulo de Pruebas, tanto el circuito de control como el de fuerza.

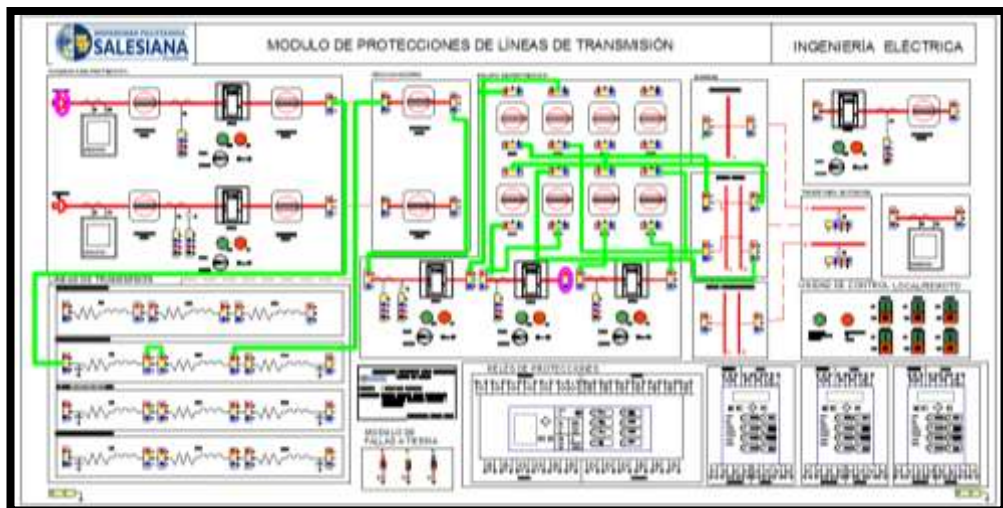


FIGURA 137 DIAGRAMA ELÉCTRICO BARRA DOBLE, FUENTE: LOS AUTORES.

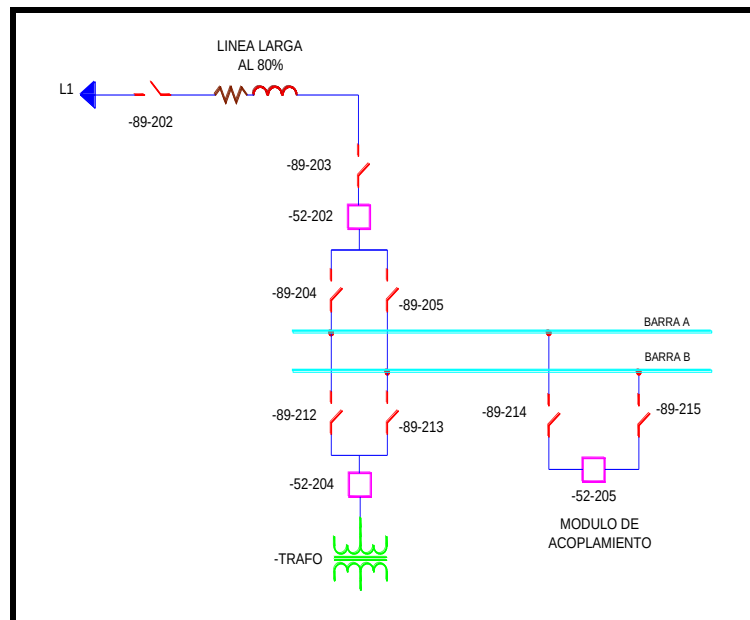


FIGURA 138 DIAGRAMA UNIFILAR BARRA DOBLE, FUENTE: LOS AUTORES.

- Tomar las mediciones de los parámetros nominales (voltaje y corriente) que se muestran en los medidores o bien se podría tomar directamente con multímetro o pinza amperimétrica, anotar todos los datos en la tabla de registro.
- Establecer recomendaciones, observaciones y conclusiones de la práctica al finalizar la misma.

4.4.6.1. Condiciones de funcionamiento

- Verificar que todos los seccionadores trifásicos estén en apertura (OFF) antes de realizar las maniobras.
- Verificar con multímetro que el módulo no esté energizado, antes de proceder al conexionado.
- La transferencia de Barras debe encontrarse en estado inicial dando operatividad a la Barra A.

4.4.6.2. Conexión Líneas de Transmisión

- Conectar la salida del seccionador (-89-202) a la entrada de la línea de transmisión seleccionada, que podrá ser: línea corta, media o larga, al 80 o 100% de la línea.
- Conectar los bornes de salida de la línea de transmisión seleccionada a la entrada del seccionador (-89-203).

4.4.6.3. Conexión Seccionadores – Equipo de Protección

- Conectar la salida del seccionador (-89-203), a la entrada del interruptor (-52-202).
- La salida del interruptor (-52-202) conectar hacia las entradas de los seccionadores (-89-204,-89-205) mediante un puente.

4.4.6.4. Conexión Equipo de Protección – Doble Barra

- Conectar la salida del seccionador (-89-204) a la entrada de la barra A y la salida del seccionador (-89-205) a la entrada de la barra B.

4.4.6.5. Conexión Doble Barra - Equipo de Protección

- Conectar la salida de la barra A hacia la entrada del seccionador (-89-212) y la salida de la barra B hacia la entrada del seccionador (-89-213).

4.4.6.6. Conexión Equipo de Protección

- Conectar las salidas de los seccionadores (-89-212, -89-213) hacia la entrada del interruptor (-52-204).
- La salida del interruptor (-52-204) se deberá conectar a la carga inductiva (motor).

4.4.6.7. Conexión de Transferencia de Barras

- Conectar la entrada de la Barra A hacia la entrada del seccionador (-89-214).
- Conectar la salida del seccionador (-89-214) a la entrada del interruptor (-52-205).
- Conectar la salida del interruptor (-52-205) a la salida del seccionador (-89-215).
- Conectar la entrada del seccionador (-89-215) hacia la entrada de la Barra B.

4.4.6.8. Energización del circuito de control y fuerza

- Energizar el circuito de control mediante el breaker ubicado en la parte posterior del módulo.
- Energizar el sistema de fuerza mediante las clavijas de medio voltaje ubicadas en la parte lateral del módulo.
- Como ya se indicó en el “Instructivo de Conexiones”, los seccionadores (-89-201, -89-202) y el interruptor (-52-201) que comprenden la Línea 1, se encuentran ya interconectados, así mismo los correspondientes a la Línea B, es decir los seccionadores (-89-209, -89-210) y el interruptor (-52-203).

4.4.6.9. Energización Línea 1

- Accionar los seccionadores (-89-201, -89-202), seguido del interruptor (-52-201), es importante seguir este orden jerárquico de energizar primero los seccionadores y luego los interruptores, de igual manera para desenergizar se abre primero el interruptor y luego los seccionadores.

4.4.6.10. Energización de la carga mediante Línea 1 - barra A

- Cerrar el seccionador (-89-203), seguido del (-89-204), y posteriormente el interruptor (-52-202), de esta manera ya hemos dado energía a la Barra A.
- Cerrar el seccionador (-89-212), posteriormente el interruptor (-52-204), para que de esta manera la carga se energice.
- Recopilar los datos de voltaje, corriente, potencia, incluso en las áreas desenergizadas o aisladas.

4.4.6.11. Mantenimiento de barras y seccionadores, mediante transferencia de barras, manteniendo Línea 1

La siguiente maniobra permitirá dar mantenimiento a la Barra A y a los Seccionadores (-89-204, -89-212), sin cortar el suministro a la carga:

- **Transferencia de Barras:** Accionar los Seccionadores (-89-214, -89-215), a continuación, el interruptor (-52-205), es importante seguir este orden. Ahora ambas Barras tienen energía.
- Cerrar el seccionador (-89-205) y abrir el seccionador (-89-204), a continuación, cerrar el seccionador (-89-213) y abrir el seccionador (-89-212).
- Ahora la carga está energizada por la Barra B, una vez comprobada que la carga está energizada, se procede a desactivar la Transferencia.
- **Desactivar Transferencia de Barras:** Abrir el interruptor (-52-205), a continuación, abrir los Seccionadores (-89-214, -89-215), siguiendo estrictamente este orden.
- Los Seccionadores (-89-204, -89-212) y la Barra A, ahora están desenergizados, de esta forma ya podremos dar mantenimiento a ambos seccionadores y a la Barra.
- Recopilación de datos de voltaje, corriente, potencia y verificar la tensión en las zonas aisladas.

4.4.7. Recursos utilizados (Equipos, accesorios y materiales consumibles)

- Banco de pruebas para la conexión de barra doble
- Cables de prueba
- Formato de registro de valores experimentales
- Simulación en ETAP
- Multímetro

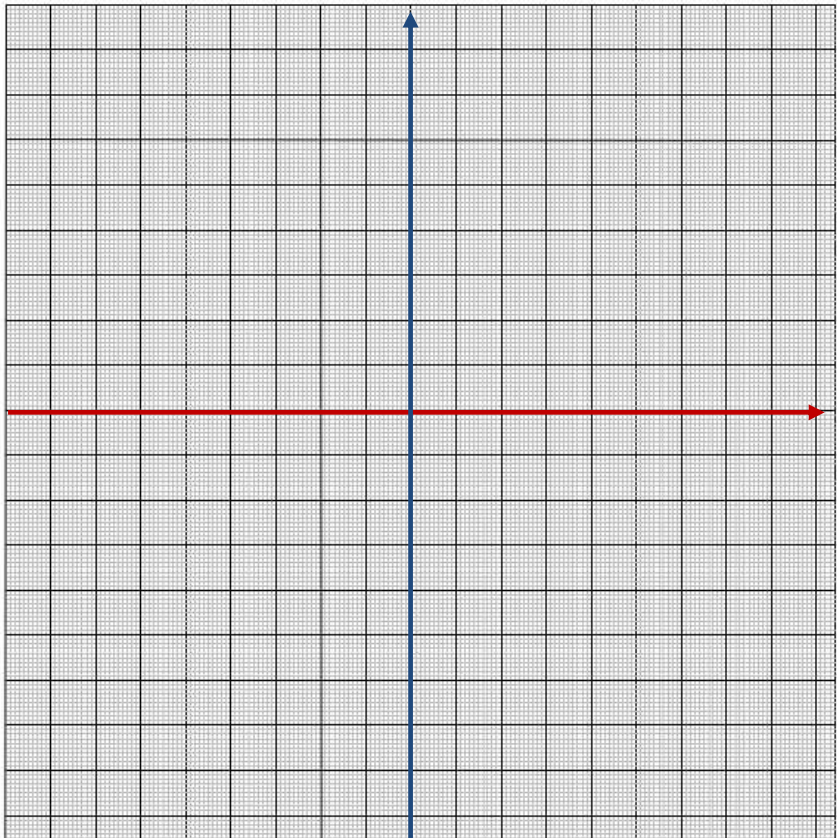
4.4.8. Registro de resultados

- Tablas: para valores de (voltaje, corriente, potencia)

TABLA 20 REGISTRO DE FLUJO DE POTENCIA DE CONEXIÓN BARRA DOBLE CON BANCO DE PRUEBAS, LOS AUTORES.

REGISTRO PRÁCTICA NO. 4: FLUJO DE POTENCIA EN CONEXIÓN DE BARRA DOBLE.							
NOMBRE	VOLTAJE				AMPERAJE		
	NOMINAL	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1	L2	L3
BARRA A							
BARRA B							
CARGA							
SALIDA -89 204							
SALIDA -89 205							
SALIDA -89 212							
SALIDA -89 213							
SALIDA -89 203							

- Graficar los fasores de voltajes y corrientes



- Cuestionario
 - ¿Bajo qué requerimientos se hace necesaria la configuración de barra doble?
 - Describa con sus palabras, ¿cómo realizar el mantenimiento de la barra A?
 - ¿Cuál es el proceso a seguir para desconectar un interruptor mediante la configuración de barra doble?
- Conclusiones y Recomendaciones

4.4.9. Bibliografía utilizada

- Grainger, J y Stevenson, W. (1996). Análisis de sistema de potencia. México: Mc. Graw Hill.

4.4.10. Cronograma / calendario

- De acuerdo a la planificación de cada docente.

4.5. PRÁCTICA 5, Conexión barra de transferencia

4.5.1. Datos informativos

- Materia: Protecciones/SEP
- Práctica: N° 5
- Número de estudiantes: 20 (2 ESTUDIANTES POR MÓDULO)
- Nombre del docente: Ing. Roy Santana
- Tiempo estimado: 2 Horas

4.5.2. Datos de la práctica

- Tema: Patio de maniobras conexión barra de transferencia

4.5.3. Objetivo general

- Fortalecer los conocimientos en los estudiantes, referente a la conexión de barra de transferencia con un patio de maniobra, conociendo las maniobras a realizar en caso de presentarse fallas en el sistema.

4.5.4. Objetivos específicos

- Interactuar con el módulo de protecciones para realizar la conexión de la configuración barra de transferencia.
- Implementar las maniobras de la conexión de Barra de transferencia para futuras fallas, aislando los equipos a dar mantenimiento.
- Conocer los diferentes tipos de mantenimiento que se puede realizar con la conexión barra transferencia con su distribución de carga.
- Analizar el flujo mediante la configuración de barra transferencia y su distribución de carga.

4.5.5. Marco teórico

Para el análisis de la conexión de barra de transferencia es necesario conocer los diferentes equipos que se involucran en esta configuración, que son: seccionadores trifásico, interruptores, barras, y cargas ya sean resistiva, inductiva o capacitiva. Las maniobras a realizar permitirán realizar el mantenimiento a todos los elementos del sistema, con la carga energizada permanentemente.

4.5.5.1. Barra de Transferencia

Esta conexión es esencial en subestaciones de estado Critico, ya que sus protecciones deben actuar en el menor tiempo posible, para evitar daños a los aparatos eléctricos, esta conexión es básica también para la distribución de cargas y la planificación de mantenimientos preventivos.

4.5.5.2. Maniobras

Las maniobras son las acciones que debemos realizar para prevenir fallas o daños en el personal y los equipos, o realizar mantenimiento a sus equipos de protección o barras, mediante el accionamiento de los equipos de protección, de esta forma se puede ejecutar el mantenimiento de los elementos, sin dejar desenergizada la carga, mediante la derivación de flujo de corriente.

4.5.5.3. Mantenimiento

El mantenimiento se define como la programación de actividades de inspección de los equipos, tanto de limpieza y calibración, como de reemplazo, permitiendo visualizar las fallas del aparato, disminuir los puntos muertos, aumentar la vida útil del aparato, disminuyendo costos de reparación.

4.5.6. Marco procedimental

- Verificar el diagrama de conexiones de la práctica de barra de transferencia, en caso de alguna duda en las conexiones consulte al encargado del laboratorio, antes de conectar o energizar los equipos.

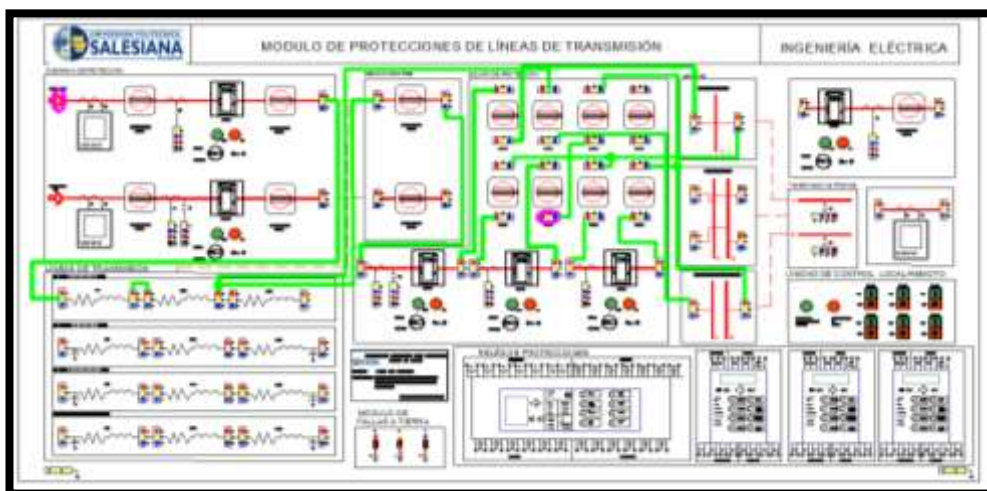


FIGURA 139 DIAGRAMA ELÉCTRICO BARRA DE TRANSFERENCIA, FUENTE: LOS AUTORES.

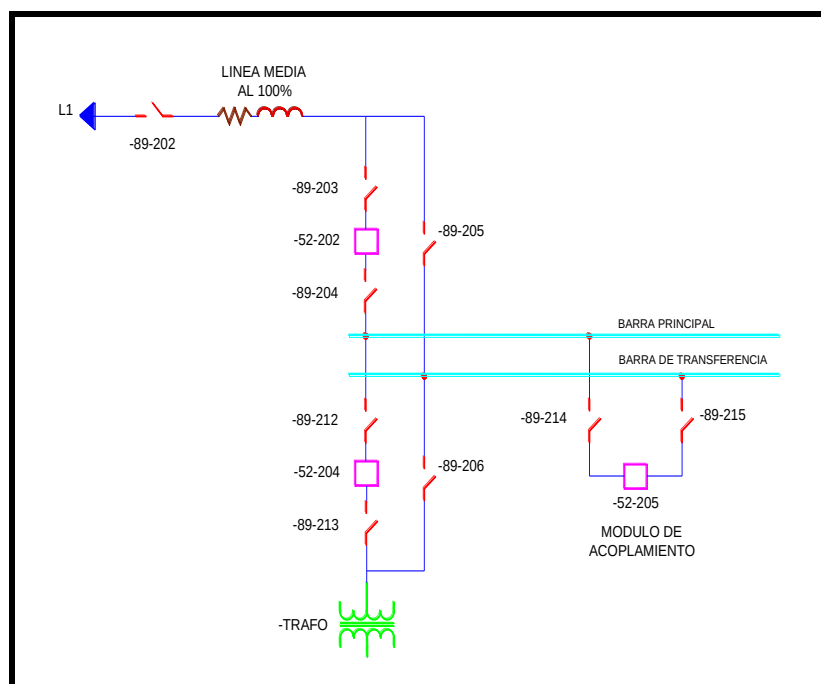


FIGURA 140 DIAGRAMA UNIFILAR BARRA DE TRANSFERENCIA, FUENTE: LOS AUTORES.

- Seguir paso a paso el diagrama de conexiones, para interconectar todos los equipos vinculados con la configuración de barra de transferencia.
- Energizar el Módulo de Pruebas, tanto el circuito de control como el de fuerza.

- Tomar las mediciones de los parámetros nominales (voltaje y corriente) que se muestran en los medidores o bien se podría tomar directamente con multímetro y pinza amperimétrica, anotar todos los datos en la tabla de registro.
- Establecer recomendaciones, observaciones y conclusiones de la práctica.

4.5.6.1. Condiciones de funcionamiento

- Verificar que todos los seccionadores trifásicos estén en apertura (OFF) antes de realizar las maniobras.
- Verificar con multímetro que el módulo no esté energizado, antes de proceder al conexionado.
- La transferencia de Barras debe encontrarse en estado inicial dando operatividad a la Barra A.

4.5.6.2. Conexión Líneas de Transmisión

- Conectar la salida del seccionador (-89-202) a la entrada de la línea de transmisión seleccionada, que podrá ser: línea corta, media o larga.

4.5.6.3. Conexión Líneas de Transmisión -Seccionadores

- Los bornes de salida de la línea de transmisión se deben conectar a la entrada de los seccionadores (-89-203, -89-205) mediante un puente.

4.5.6.4. Conexión Seccionadores – Equipo de Protección

- Conectar la salida del seccionador (-89-203), a la entrada del interruptor (-52-202).
- La salida del interruptor (-52-202) conectar a la entrada del seccionador (-89-204).

4.5.6.5. Conexión Equipo de Protección – Doble Barra

- La salida del seccionador (-89-204) conectar los bornes de entrada de Barra A.
- Conectar la salida de la Barra A hacia la entrada del seccionador (-89-212).
- La salida del seccionador (-89-205) conectar a los bornes de entrada de la Barra de Transferencia.
- Conectar la salida de la Barra de Transferencia, hacia la entrada del seccionador (-89-206).

4.5.6.6. Conexión Equipo de Protección

- Conectar la salida del seccionador (-89-212) a la entrada del interruptor (-52-204).
- Conectar la salida del interruptor (-52-204) a la entrada del seccionador (-89-213).

4.5.6.7. Conexión hacia la carga

- Conectar la salida del seccionador (-89-213) a la entrada de la Carga.
- Conectar la salida del seccionador (-89-206) a la entrada de la Carga.

4.5.6.8. Conexión de Transferencia de Barras

- Conectar la entrada de la Barra A hacia la entrada del seccionador (-89-214).
- Conectar la salida del seccionador (-89-214) a la entrada del interruptor (-52-205).
- Conectar la salida del interruptor (-52-205) a la salida del seccionador (-89-215).
- Conectar la entrada del seccionador (-89-215) hacia la entrada de la Barra.

4.5.6.9. Energización del circuito de control y fuerza

- Una vez terminando el conexionado de la práctica, energizar el circuito de control mediante el breaker ubicado en la parte posterior del módulo.
- Energizar el sistema de fuerza mediante las clavijas de medio voltaje ubicadas en la parte lateral del módulo.

4.5.6.10. Energización Línea 1

- Accionar los seccionadores (-89-201, -89-202), seguido del interruptor (-52-201), es importante seguir este orden jerárquico de energizar primero los seccionadores y luego los interruptores.

4.5.6.11. Energización de la carga mediante Línea 1 - Barra A

- Cerrar el seccionador (-89-203), seguido del (-89-204), posteriormente el interruptor (-52-202), de esta manera ya hemos dado energía a la Barra A.

- Cerrar el seccionador (-89-212), seguido del (-89-213), posteriormente el interruptor (-52-204), para que de esta manera la carga se energice.
- Recopilar los datos de voltaje, corriente, potencia, incluso en las áreas desenergizadas o aisladas.

4.5.6.12. Mantenimiento de barras y seccionadores, mediante transferencia de barras

La siguiente maniobra permitirá dar mantenimiento a la Barra A y a los Seccionadores (-89-203, -89-204, -89-212, -89-213), sin cortar el suministro a la carga:

- **Transferencia de Barras:** Accionar los Seccionadores (-89-214, -89-215), a continuación, el interruptor (-52-205), es importante seguir este orden. Ahora ambas Barras tienen energía.
- Cerrar el seccionador (-89-205) y abrir los seccionadores (-89-203, -89-204), posteriormente abrir el interruptor (-52-202).
- Cerrar el seccionador (-89-206) y abrir los seccionadores (-89-212, -89-213), posteriormente abrir el interruptor (-52-204).
- Ahora la carga está energizada por la Barra de Transferencia, una vez comprobada que la carga está energizada, se procede a desactivar la Transferencia.
- **Desactivar Transferencia de Barras:** Abrir el interruptor (-52-205), a continuación, abrir los Seccionadores (-89-214, -89-215), siguiendo estrictamente este orden.
- Los Seccionadores (-89-203, -89-204, -89-212, -89-213) y la Barra A, ahora están desenergizados, de esta forma ya podremos dar mantenimiento a los seccionadores y a la Barra.
- Recopilación de datos de voltaje, corriente, potencia y verificar la tensión en las zonas aisladas.

4.5.6.13. Restablecer barra A como principal, sin desenergizar carga

- Una vez realizado los mantenimientos respectivos, se debe reestablecer a la Barra A como principal, sin cortar el suministro hacia la carga:
- Realizar la maniobra de “Transferencia de Barras”, para que la Barra A vuelva a estar energizada.

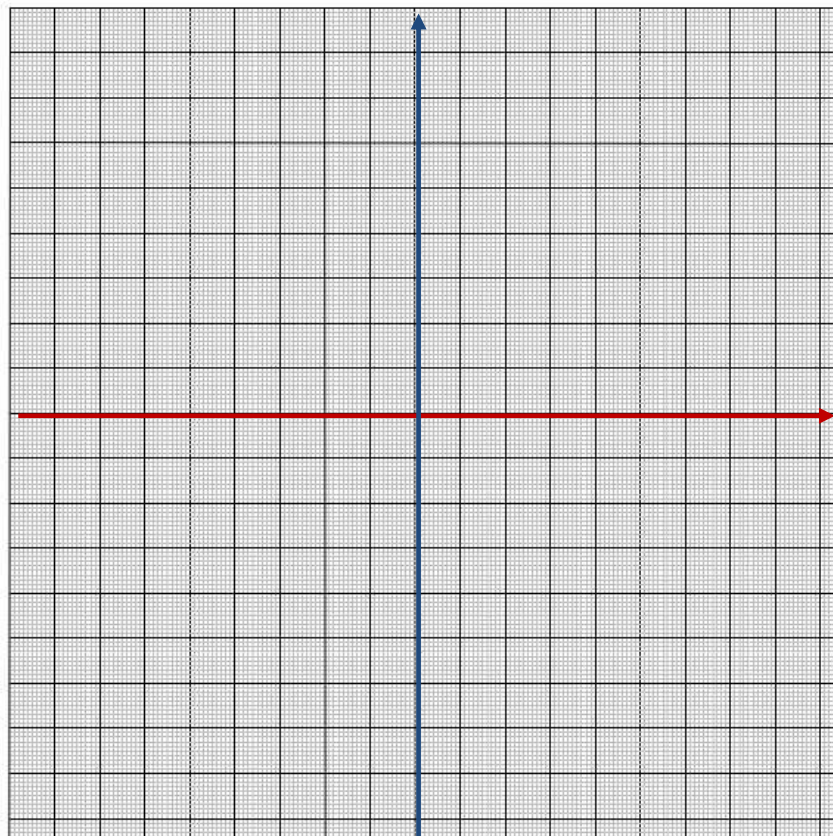
- Cerrar el interruptor (-52-202), cerrar los seccionadores (-89-203, -89-204), posteriormente abrir el seccionador (-89-205), en este estricto orden.
- Cerrar el interruptor (-52-204), cerrar los seccionadores (-89-212, -89-213), posteriormente abrir el seccionador (-89-206), en este estricto orden.
- Ahora la carga está energizada por la Barra A, una vez comprobada que la carga está energizada, se procede a desactivar la Transferencia.
- Realizar la maniobra de “Desactivar Transferencia de Barras”.

4.5.7. Recursos utilizados

- Banco de pruebas para la conexión de barra doble.
- Cables de prueba.
- Formato de registro de valores experimentales.
- Simulación en ETAP.
- Multímetro, Relé.
- Carga Trifásica.

4.5.8. Registro de resultados

- Graficar los fasores de voltajes y corrientes



- Tablas: para valores de (voltaje, corriente)

TABLA 21 REGISTRO DE FLUJO DE POTENCIA DE CONEXIÓN BARRA DE TRANSFERENCIA, LOS AUTORES.

REGISTRO PRÁCTICA NO. 5: FLUJO DE POTENCIA EN CONEXIÓN DE BARRA TRANSFERENCIA							
ANTES DEL BYPASS							
NOMBRE	VOLTAJE				AMPERAJE		
	NOMINAL	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1	L2	L3
BARRA A							
BARRA B							
CARGA							
SALIDA -52 202							
SALIDA -52 204							
SALIDA -89 205							
SALIDA -89 206							
DESPUÉS DEL BYPASS							
NOMBRE	VOLTAJE				AMPERAJE		
	NOMINAL	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1	L2	L3
BARRA A							
BARRA B							
CARGA							
SALIDA -52 202							
SALIDA -52 204							
SALIDA -89 205							
SALIDA -89 206							

- Cálculos relacionados
- Cuestionario
 - ¿Cuál es la necesidad de la configuración de barra transferencia?
 - ¿Cómo influye con la confiabilidad del sistema?
 - ¿Cómo influyen las maniobras para proteger un equipo o carga?
 - ¿Cuál es la función principal del acoplamiento de la configuración de barras?
- Conclusiones y Recomendaciones

4.5.9. Cronograma / calendario

- De acuerdo a la planificación de cada docente.

4.6. PRÁCTICA 6, Conexión en Anillo

4.6.1. Datos informativos

- Materia: Protecciones/SEP
- Práctica: N° 6
- Número de estudiantes: 20 (2 ESTUDIANTES POR MÓDULO)
- Nombre del docente: Ing. Roy Santana
- Tiempo estimado: 2 Horas

4.6.2. Datos de la práctica

- Tema: Patio de maniobras Conexión en Anillo

4.6.3. Objetivo general

- Fortalecer los conocimientos en los estudiantes, referente a la conexión en anillo, conociendo las maniobras a realizar en caso de presentarse fallas en el sistema, fundamentales cuando se cuenta con más de una fuente de alimentación.

4.6.4. Objetivos específicos

- Analizar la conexión en Anillo mediante el diagrama de conexonado en Anillo.
- Conocer las maniobras de mantenimiento posibles en esta configuración.
- Conocer los beneficios del sistema con la conexión en Anillo en una subestación.
- Analizar el flujo mediante la conexión en Anillo y su distribución de carga.

4.6.5. Marco teórico

Para el análisis de la conexión Anillo, es necesario conocer los diferentes equipos que se involucran en esta configuración, que son: seccionadores trifásico, interruptores, barras, y cargas ya sean resistiva, inductiva o capacitiva. Las maniobras a realizar permitirán realizar el mantenimiento a todos los elementos del sistema, con la carga energizada permanentemente.

4.6.5.1. Maniobras

Las maniobras son las acciones que debemos realizar para poder prevenir fallas o daños en el personal y los equipos, o realizar mantenimiento a sus equipos de protección o barras, mediante el accionamiento de los equipos de protección, de esta forma se puede ejecutar el mantenimiento de los elementos, sin dejar desenergizada la carga.

4.6.5.2. Configuración en Anillo

La barra colectora es un anillo conformado por interruptores. Para aislar un circuito se requiere la apertura de los dos interruptores. Para aislar un circuito por un período largo, se debe abrir el seccionador de la línea para cerrar los interruptores asociados a dicho circuito y así dar continuidad al anillo. Es económica, segura y confiable si todos sus interruptores están cerrados. En caso de falla en un circuito, mientras se hace mantenimiento en otro, el anillo puede quedar dividido y presentar falta de servicio para alguna de las partes, o perderse la seguridad en el sistema. Desde el punto de vista de la flexibilidad la subestación es similar a una barra sencilla. Para efectos de distribución de corrientes, los circuitos conectados al anillo se deben distribuir de tal manera que las fuentes de energía se alternen con las cargas.

4.6.5.3. Aisladores Eléctricos

El aislador eléctrico es un material con escasa capacidad de conducción de corriente eléctrica, utilizados para separar conductores eléctricos evitando futuros cortocircuitos, los materiales más utilizados para su aislamiento son el plástico y las cerámicas.

4.6.6. Marco procedimental

- Revisar el diagrama unifilar de la práctica de conexión Anillo, en caso de alguna duda en las conexiones consulte al encargado del laboratorio, antes de conectar o energizar el equipo.

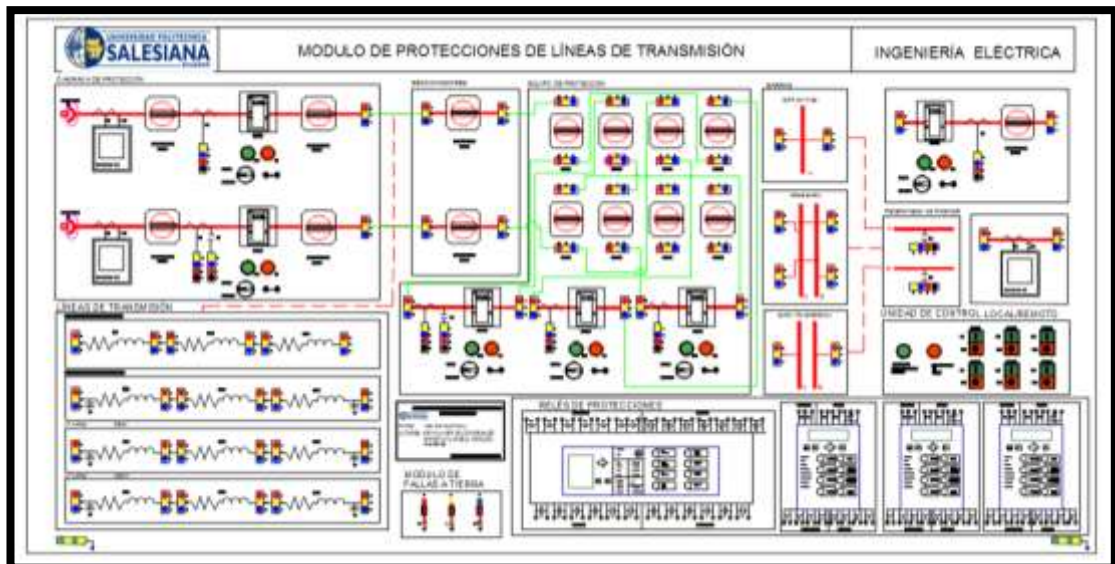


FIGURA 141 DIAGRAMA ELÉCTRICO CONFIGURACIÓN ANILLO, FUENTE: LOS AUTORES.

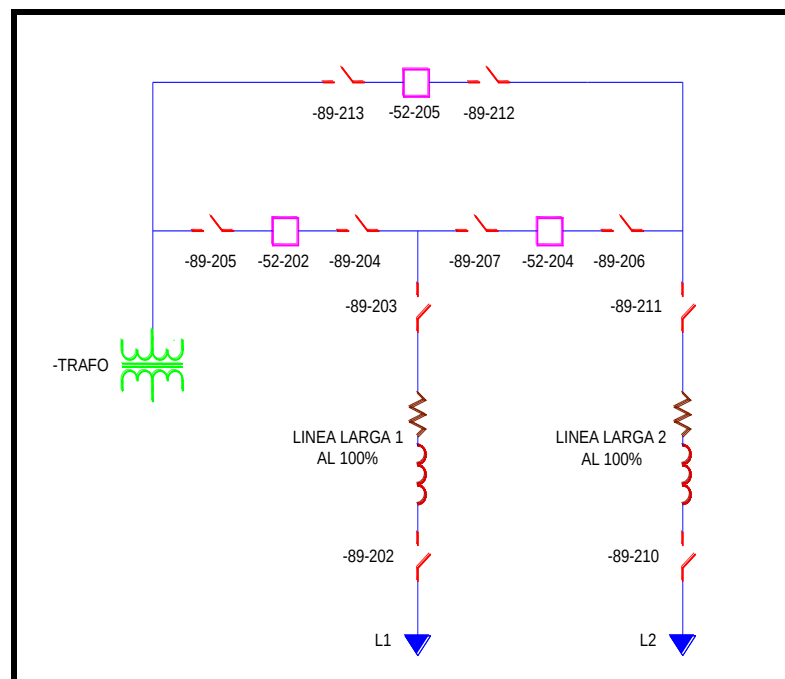


FIGURA 142 DIAGRAMA UNIFILAR CONFIGURACIÓN ANILLO, FUENTE: LOS AUTORES.

- Seguir paso a paso el diagrama de conexiones, para interconectar todos los equipos vinculados con la configuración anillo.
- Energizar el Módulo de Pruebas, tanto el circuito de control como el de fuerza.
- Tomar las mediciones adecuadas de parámetros nominales (voltaje y corriente) y anotarlas en una tabla de registro.
- Establecer recomendaciones, observaciones y conclusiones de las prácticas.

4.6.6.1. Condiciones de funcionamiento

- Verificar que todos los seccionadores trifásicos estén en apertura (OFF) antes de realizar las maniobras.
- Verificar con multímetro que el módulo no esté energizado, antes de proceder al conexionado.
- La transferencia de Barras debe encontrarse en estado inicial dando operatividad a la Barra A.

4.6.6.2. Conexión Protecciones - Líneas de Transmisión

- Dado que tenemos dos líneas largas, se las empleará para esta conexión.
- Conectar la salida del seccionador (-89-202) a la entrada de la Línea Larga 1.
- Conectar la salida del seccionador (-89-210) a la entrada de la Línea Larga 2.

4.6.6.3. Conexión Líneas de Transmisión -Seccionadores

- Conectar los bornes de salida de la Línea Larga 1 a la entrada del seccionador (-89-203), y los bornes de salida Línea Larga 2 a la entrada del seccionador (-89-211).

4.6.6.4. Conexión Seccionadores – Equipo de Protección

- Conectar salida del seccionador (-89-203) a la entrada seccionador (-89-204).
- Conectar salida del seccionador (-89-204) a entrada del interruptor (-52-202).
- Conectar salida del interruptor (-52-202) a entrada del seccionador (-89-205).
- Conectar salida del seccionador (-89-211) a la entrada seccionador (-89-206).
- Conectar salida del seccionador (-89-206) a entrada del interruptor (-52-204).
- Conectar salida del interruptor (-52-204) a entrada del seccionador (-89-207).
- Conectar salida del seccionador (-89-207) a la entrada seccionador (-89-204).
- Conectar salida del seccionador (-89-211) a la entrada seccionador (-89-212).
- Conectar salida del seccionador (-89-212) a entrada del interruptor (-52-205).
- Conectar salida del interruptor (-52-205) a entrada del seccionador (-89-213).

4.6.6.5. Conexión hacia la carga

- Conectar la salida del seccionador (-89-205) a la entrada de la carga.
- Conectar la salida del seccionador (-89-213) a la entrada de la carga.

- De esta forma quedan conectados todos los elementos de protección en configuración Anillo.

4.6.6.6. Energización del circuito de control y fuerza

- Una vez terminando el conexionado de la práctica, energizar el circuito de control mediante el breaker ubicado en la parte posterior del módulo.
- Energizar el sistema de fuerza mediante las clavijas de medio voltaje ubicadas en la parte lateral del módulo.

4.6.6.7. Energización Línea 1

- Accionar los seccionadores (-89-201, -89-202), seguido del interruptor (-52-201), es importante seguir este orden jerárquico de energizar primero los seccionadores y luego los interruptores.

4.6.6.8. Energización Línea 2

- Accionar los seccionadores (-89-209, -89-210), seguido del interruptor (-52-203).

4.6.6.9. Energización de la carga con la conexión de la Línea 1

- Cerrar los seccionadores (-89-203, -89-204), seguido del seccionador (-89-205), posteriormente cerrar el interruptor (-52-203), para que de esta manera la carga se energice por la Línea 1.

4.6.6.10. Maniobra para conexión de la Línea 2 y formar el Anillo

- Cerrar los seccionadores (-89-211, -89-212), seguido del seccionador (-89-213), posteriormente cerrar el interruptor (-52-205).
- Cerrar los seccionadores (-89-206, -89-207), posteriormente cerrar el interruptor (-52-204).
- Ahora se ha cerrado el anillo, la carga está energizada por ambas Líneas.

4.6.6.11. Mantenimiento de seccionadores desenergizando Línea 1

Con la siguiente maniobra se podrá dar mantenimiento a los seccionadores (-89-203, -89-204, -89-205), quitando la energía a la Línea 1 y manteniendo el suministro hacia la carga por la Línea 2.

- Abrir el interruptor (-52-203), posteriormente abrir los seccionadores (-89-204, -89-205), finalmente abrir el seccionador (-89-203).
- Verificar mediante multímetro la ausencia de potencial en los elementos a dar mantenimiento, antes de intervenir en ellos.
- Una vez realizado el mantenimiento se debe volver a interconectar la Línea 1: Cerrar los seccionadores (-89-203, -89-204), seguido del seccionador (-89-205), posteriormente cerrar el interruptor (-52-203).

4.6.6.12. Mantenimiento de seccionadores desenergizando Línea 2

Con la siguiente maniobra se podrá dar mantenimiento a los seccionadores (-89-211, -89-212, -89-213), quitando la energía a la Línea 2 y manteniendo el suministro hacia la carga por la Línea 1.

- Abrir el interruptor (-52-205), posteriormente abrir los seccionadores (-89-212, -89-213), finalmente abrir el seccionador (-89-211).
- Abrir el interruptor (-52-204), posteriormente abrir los seccionadores (-89-206, -89-207), esta acción para que los elementos de este ramal no queden energizados en vacío (sea o no que se los vaya a dar mantenimiento).
- Verificar mediante multímetro la ausencia de potencial en los elementos a dar mantenimiento, antes de intervenir en ellos.
- Una vez realizado el mantenimiento se debe volver a interconectar la Línea 2: Cerrar los seccionadores (-89-211, -89-212), seguido del seccionador (-89-213), posteriormente cerrar el interruptor (-52-205).

4.6.7. Recursos utilizados (Equipos, accesorios y materiales)

- Banco de pruebas para la conexión de barra doble
- Cables de prueba.
- Formato de registro de valores experimentales.
- Simulación en ETAP.
- Multímetro, Relé.
- Carga Trifásica.

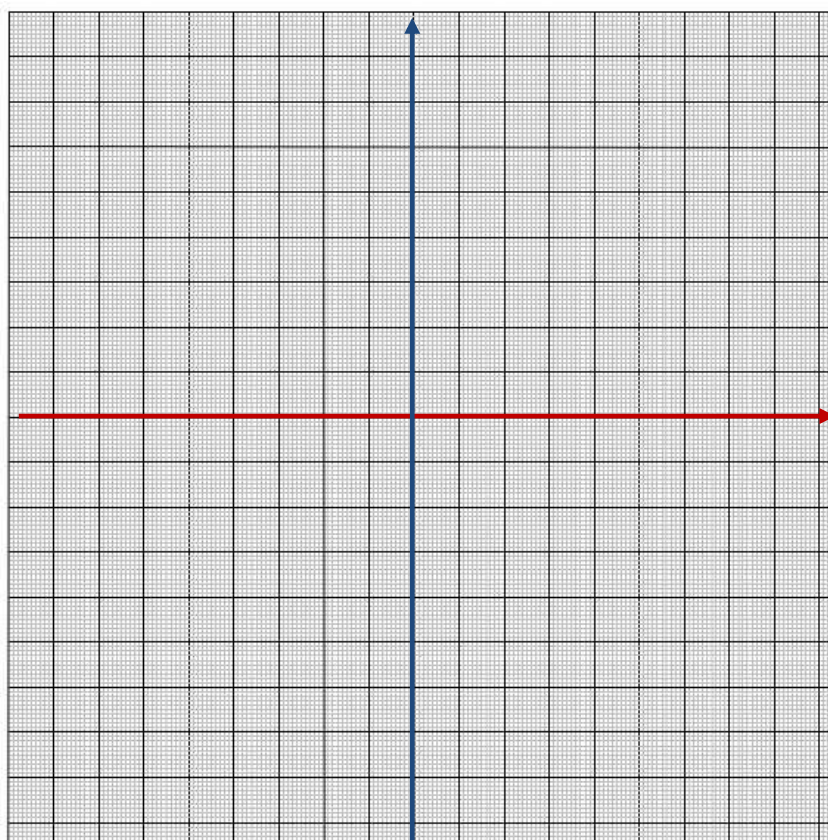
4.6.8. Registro de resultados

- Tablas: para valores de (voltaje, corriente, potencia)

TABLA 22 REGISTRO DE FLUJO DE POTENCIA DE CONEXIÓN EN ANILLO CON BANCO DE PRUEBAS, LOS AUTORES.

REGISTRO PRÁCTICA NO. 6: FLUJO DE POTENCIA EN CONEXIÓN ANILLO							
NOMBRE	VOLTAJE				AMPERAJE		
	NOMINAL	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1	L2	L3
CARGA							
SALIDA -89 203							
SALIDA -89 211							
SALIDA -89 212							
SALIDA -52 205							

- Graficar los fasores de voltajes y corrientes



- Cálculos relacionados
- Cuestionario

¿En qué parte del Sistema Nacional Interconectado usaría la conexión Anillo?

¿Qué características puede destacar de la configuración en Anillo?

¿De todas las configuraciones de patio de maniobras vistas cual posee mayores ventajas y por qué?

¿Destaque las ventajas y desventajas de la configuración en anillo?

- Conclusiones y Recomendaciones

4.6.9. Cronograma / calendario

- De acuerdo a la planificación de cada docente.

4.7. PRÁCTICA 7, Simulación de Fallas monofásicas en Líneas de Transmisión mediante el Relé SEL-751

4.7.1. Datos informativos

- Materia: Protecciones/SEP
- Práctica: N° 7
- Número de estudiantes: 20 (2 ESTUDIANTES POR MÓDULO)
- Nombre del docente: Ing. Roy Santana
- Tiempo estimado: 2 Horas

4.7.2. Datos de la práctica

- Tema: Simulación de Fallas monofásicas en Líneas de Transmisión mediante el Relé SEL-751

4.7.3. Objetivo general

Reforzar los conocimientos referentes a fallas monofásicas producidas en las Línea de Transmisión, configurando los parámetros del Relé SEL-751 y realizar la coordinación de protecciones, para sistemas de transmisión de Línea Corta y Línea Media.

4.7.4. Objetivos específicos

- Analizar las fallas monofásicas al 20% de cada Línea de Transmisión (corta, media, larga).
- Conocer los parámetros de configuración del Relé SEL-751 y su conexionado para despeje de fallas.
- Identificar los beneficios de confiabilidad que presenta el Relé SEL-751.
- Analizar los flujos de corrientes de falla: analítico, físico y del visor del Relé.

4.7.5. Marco teórico

En los Sistemas Eléctricos de Potencia es necesario tener en cuenta el flujo de corriente que necesita la carga, que sea fiable y segura, para poder abarcar estos parámetros, realizando estudios de protecciones para tener un buen servicio mediante los Relés de sobrecorriente conocidos como 50/51, estos relés son los que miden permanentemente la corriente de cada fase con la finalidad de detectar las sobrecorrientes que se pueden producir en una falla en el sistema.

Los Relés SEL-751 son utilizados para proteger cargas grandes de industrias, subestaciones, etc.; con tiempo mínimo para poder despejar la falla producida aguas abajo.

4.7.5.1. Aisladores Eléctricos

El aislador eléctrico es un material con escasa capacidad de conducción de corriente, utilizados para separar conductores eléctricos evitando futuros cortocircuitos, los materiales más utilizados para su aislamiento son el plástico y cerámicas.

4.7.5.2. Conexiones

En las conexiones que se realizan en un Relé de sobrecorriente se debe tener en cuenta que las señales deben de llegar de cada uno de sus transformadores de corriente en secundario y a su vez el negativo debe estar puenteado y aterrizado entre sí, para poder tener una buena medición y que el Relé pueda despejar la falla.

4.7.6. Marco procedimental

En los análisis de estudio de corriente de fallas el ajuste de las líneas de transmisión es el siguiente:

4.7.6.1. Línea de Transmisión Corta (100km) al 20%

$$Z_{i_{MAX}} = 4.6522 \, \Omega \quad Z_{i_{ANG}} = 72.61 \, \Omega$$

$$Z_{pu} = \frac{4.6522}{100} = 0.046522 \, pu$$

$$I_{3F} = \frac{1}{0.046522} = 21.49 \, A$$

La tensión es de acuerdo a la distancia que tiene la Línea de Transmisión.

$$I_N = \frac{220}{220\sqrt{3}} = 0.577 \text{ A}$$

$$TAP 51 = 1.43 \text{ A}$$

$$I_{3F \text{ REAL}} = I_{3F} * I_N$$

$$I_{3F \text{ REAL}} = 21.49 \times 0.577 = 12.40 \text{ A}$$

$$TAP 50 = 31 \text{ A}$$

Setting Relé 1

$$TC = 20/5$$

$$TAP 51 = 1.43 \text{ A}$$

$$TD = 0.7$$

$$\text{Curva} = VI:C2$$

$$TAP 50 = 31 \text{ A}$$

$$T = 10 \text{ ms}$$

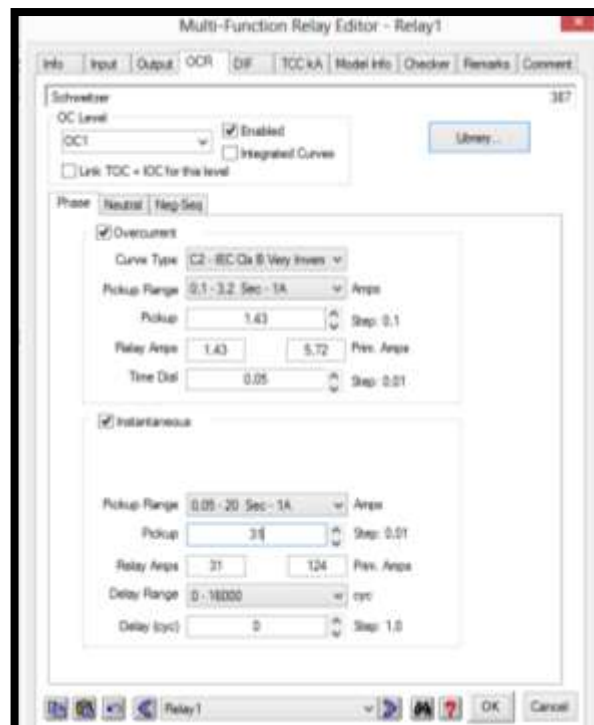


FIGURA 143 CONFIGURACIÓN RELÉ SEL 751, FUENTE: LOS AUTORES.

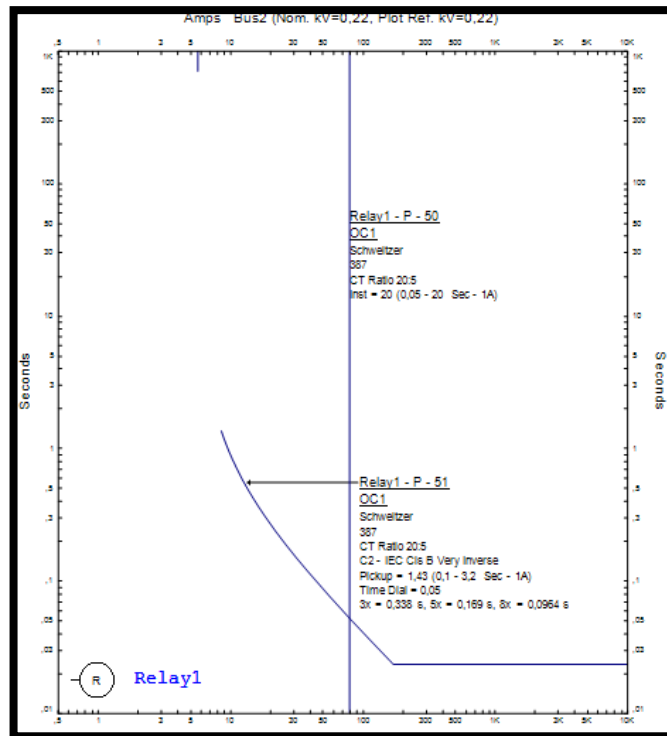


FIGURA 144 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL 50/51, LÍNEA 100KM AL 20%, FUENTE: LOS AUTORES.

- Revisar el diagrama unifilar de una línea de transmisión corta, en caso de alguna duda en las conexiones consulte al encargado del laboratorio, antes de conectar o energizar el equipo.

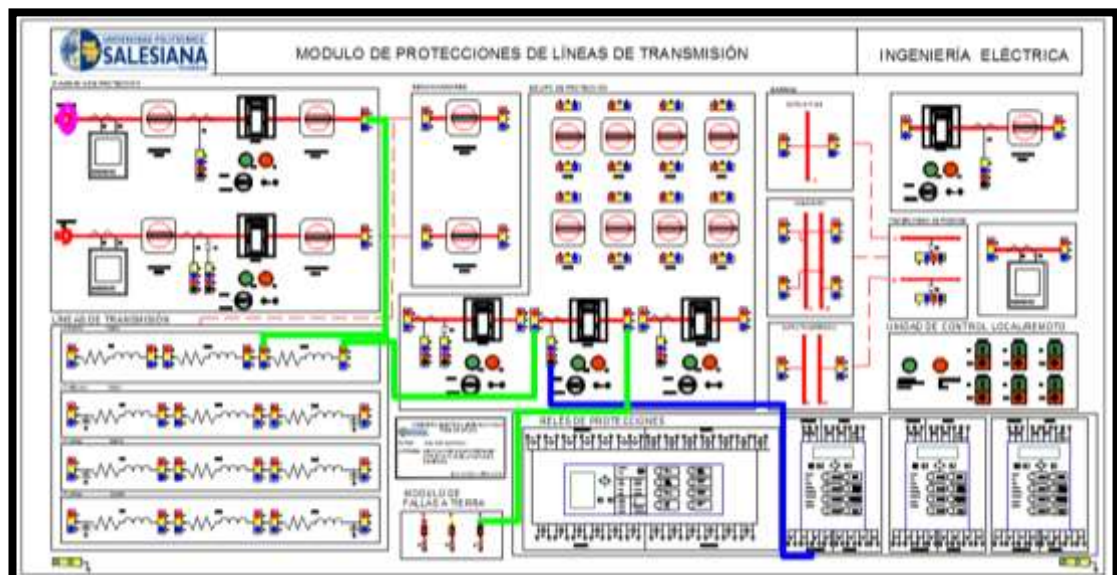


FIGURA 145 CONEXIONADO LÍNEA CORTA, FUENTE: LOS AUTORES.

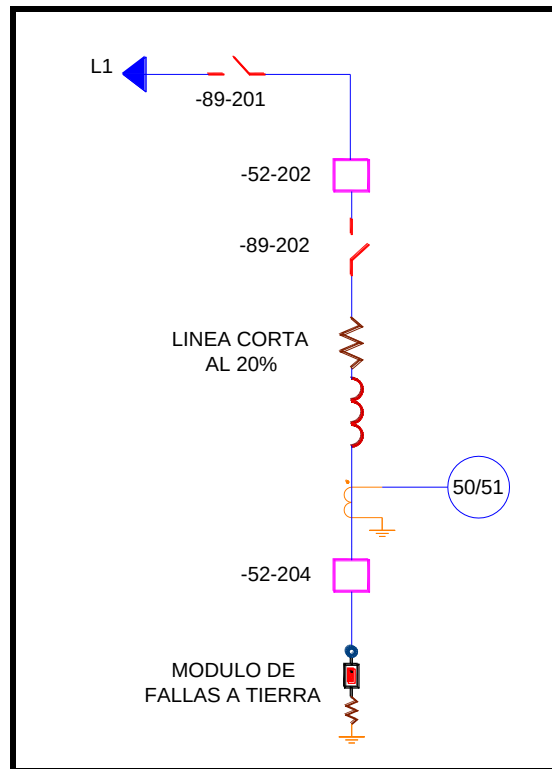


FIGURA 146 DIAGRAMA UNIFILAR LÍNEA CORTA, FUENTE: LOS AUTORES.

- Seguir paso a paso el diagrama unifilar de conexiones de una Línea corta, para poder realizar la falla monofásica respectiva.
- Energizar el Módulo, de pruebas teniendo en cuenta las conexiones de señales del Relé SEL-751, y el circuito de fuerza.
- Tomar las mediciones adecuadas de parámetros nominales (voltaje y corriente) y anotarlas en una tabla de registro.
- Establecer recomendaciones, observaciones y conclusiones de las prácticas.

4.7.6.2. Línea de Transmisión Media (150km) al 20%

$$Z_{i_{MAX}} = 6.979 \, \Omega$$

$$Z_{i_{ANG}} = 72.61 \, \Omega$$

$$Z_{pu} = \frac{6.979}{100} = 0.06979 \, pu$$

$$I_{3F} = \frac{1}{0.06979} = 14.328 \, A$$

La tensión es de acuerdo a la distancia que tiene la Línea de Transmisión.

$$I_N = \frac{210}{220\sqrt{3}} = 0.55 \, A$$

$$TAP\ 51 = 1.37\ A$$

$$I_{3F\ REAL} = I_{3F} * I_N$$

$$I_{3F\ REAL} = 14.328 \times 0.555 = 7.876\ A$$

$$TAP\ 50 = 19.69\ A$$

Setting Relé 1

$$TC = 20/5$$

$$TAP\ 51 = 1.37\ A$$

$$TD = 0.7$$

$$Curva = VI:C2$$

$$TAP\ 50 = 19.69\ A$$

$$T = 10ms$$

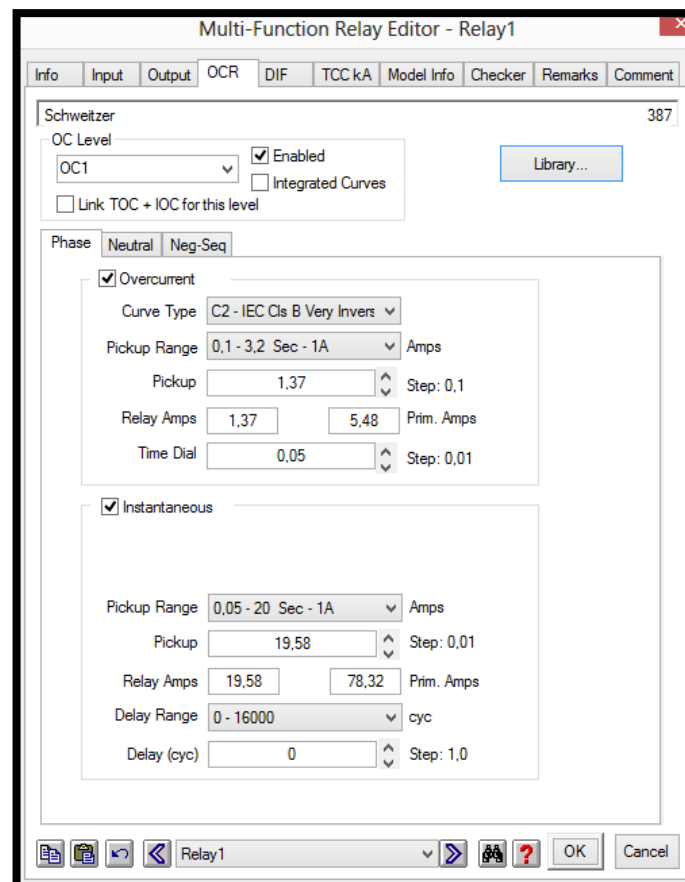


FIGURA 147 CONFIGURACIÓN RELÉ SEL 751, FUENTE: LOS AUTORES.

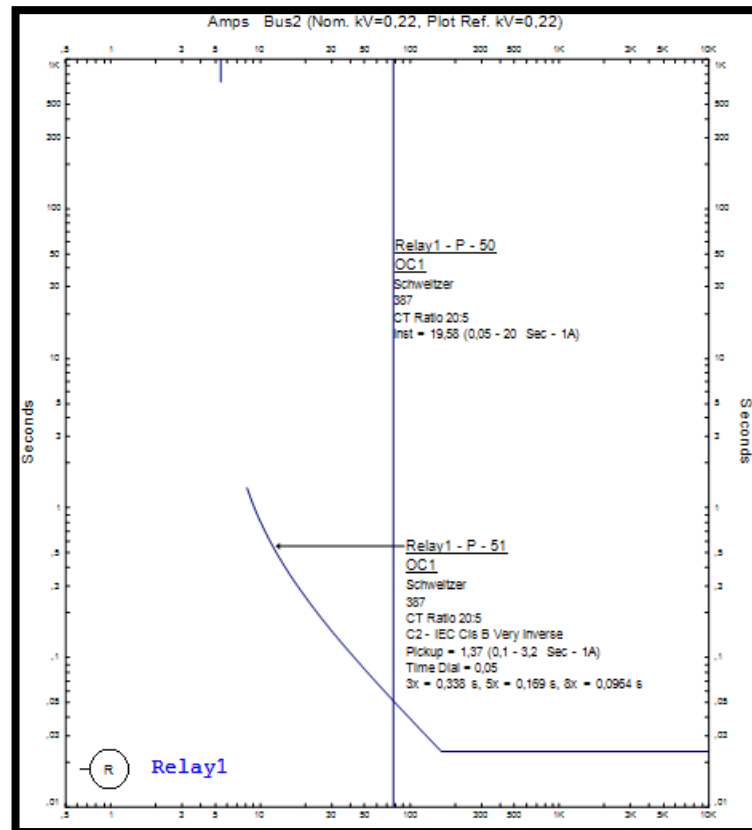


FIGURA 148 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL 50/51 LÍNEA 150KM AL 20%, FUENTE: LOS AUTORES.

- Revisar el diagrama unifilar de una línea de transmisión media al 20%, en caso de alguna duda en las conexiones consulte al encargado del laboratorio, antes de conectar o energizar el equipo.

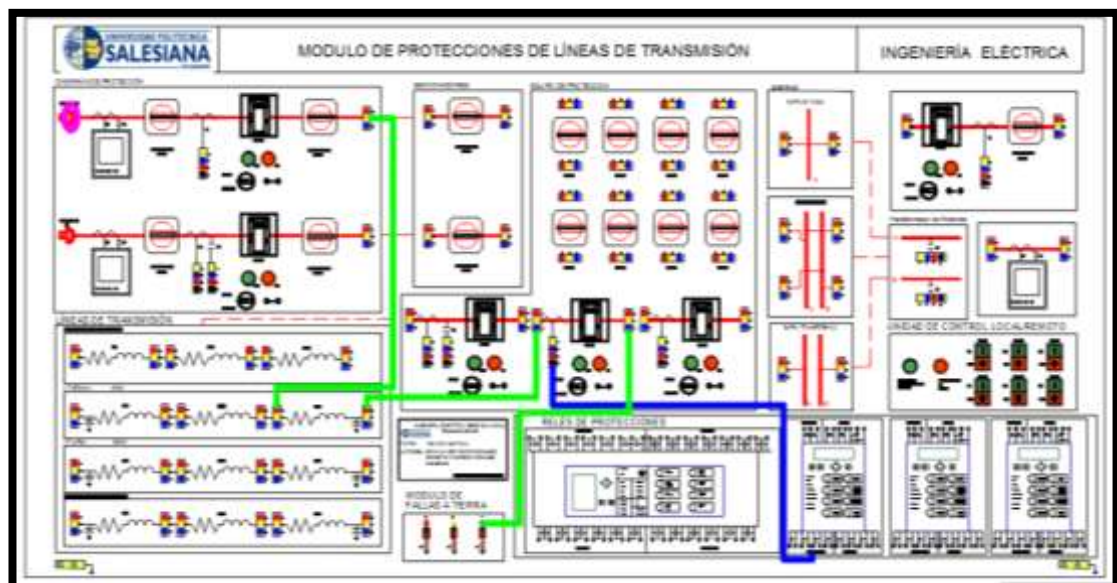


FIGURA 149 CONEXIONADO LÍNEA MEDIA, FUENTE: LOS AUTORES.

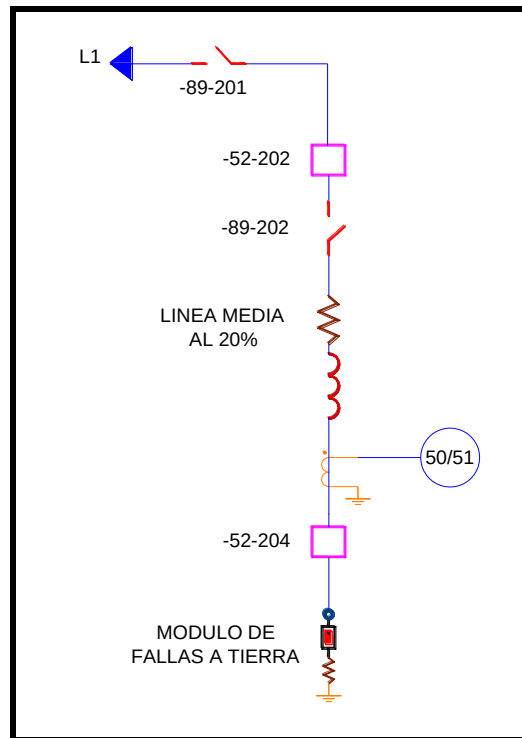


FIGURA 150 DIAGRAMA UNIFILAR LÍNEA MEDIA, FUENTE: LOS AUTORES.

- Seguir paso a paso el diagrama unifilar de conexiones de una Línea Media, para poder realizar la falla monofásica respectiva.
- Energizar el Módulo, de pruebas teniendo en cuenta las conexiones de señales del Relé SEL-751, y el circuito de fuerza.
- Tomar las mediciones adecuadas de parámetros nominales (voltaje y corriente) y anotarlas en una tabla de registro.
- Establecer recomendaciones, observaciones y conclusiones de las prácticas.

4.7.6.3. Línea de Transmisión Larga (500km) al 20%

$$Z_{i_{MAX}} = 13.958 \, \Omega$$

$$Z_{i_{ANG}} = 72.61 \, \Omega$$

$$Z_{pu} = \frac{13.958}{100} = 0.13958 \, pu$$

$$I_{3F} = \frac{1}{0.13958} = 7.1643 \, A$$

La tensión es de acuerdo a la distancia que tiene la Línea de Transmisión.

$$I_N = \frac{83.83}{220\sqrt{3}} = 0.22 \, A$$

$$TAP \, 51 = 0.55 \, A$$

$$I_{3F\text{ REAL}} = I_{3F} * I_N$$

$$I_{3F\text{ REAL}} = 7.1643 \times 0.22 = 1.57 \text{ A}$$

$$\text{TAP } 50 = 3.94 \text{ A}$$

Setting Relé 1

$$\text{TC} = 20/5$$

$$\text{TAP } 51 = 0.55 \text{ A}$$

$$\text{TD} = 0.7$$

$$\text{Curva} = \text{VI:C2}$$

$$\text{TAP } 50 = 3.94 \text{ A}$$

$$T = 10\text{ms}$$

FIGURA 151 CONFIGURACIÓN RELÉ SEL 751, FUENTE: LOS AUTORES.

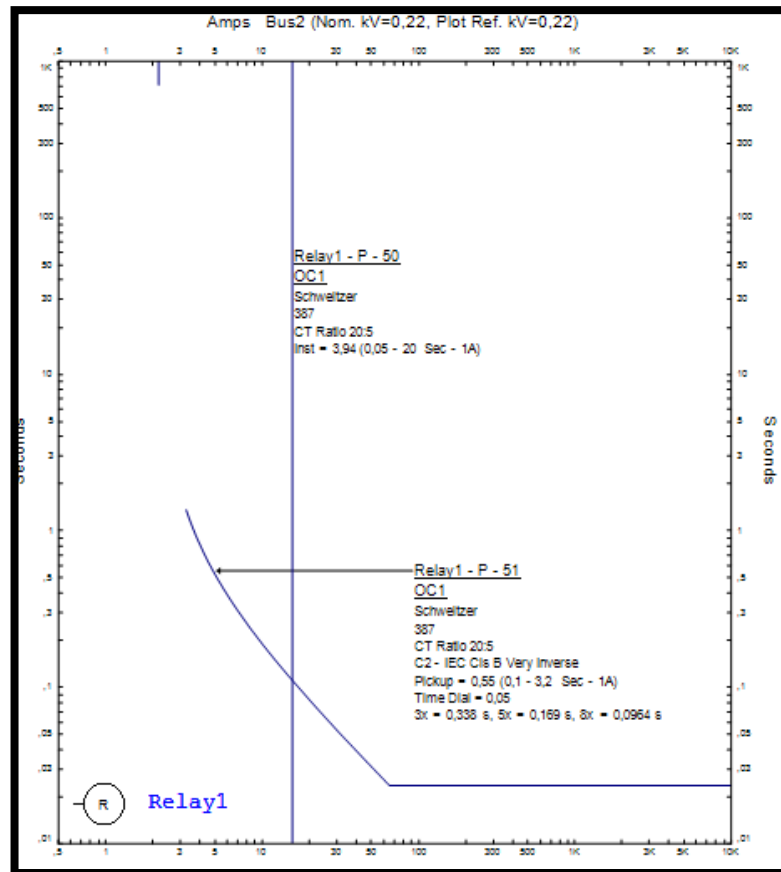


FIGURA 152 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE PROTECCIÓN DEL 50/51 LÍNEA 500KM AL 20%, FUENTE: LOS AUTORES.

- Revisar el diagrama unifilar de una línea de transmisión Larga al 20%, en caso de alguna duda en las conexiones consulte al encargado del laboratorio, antes de conectar o energizar el equipo.

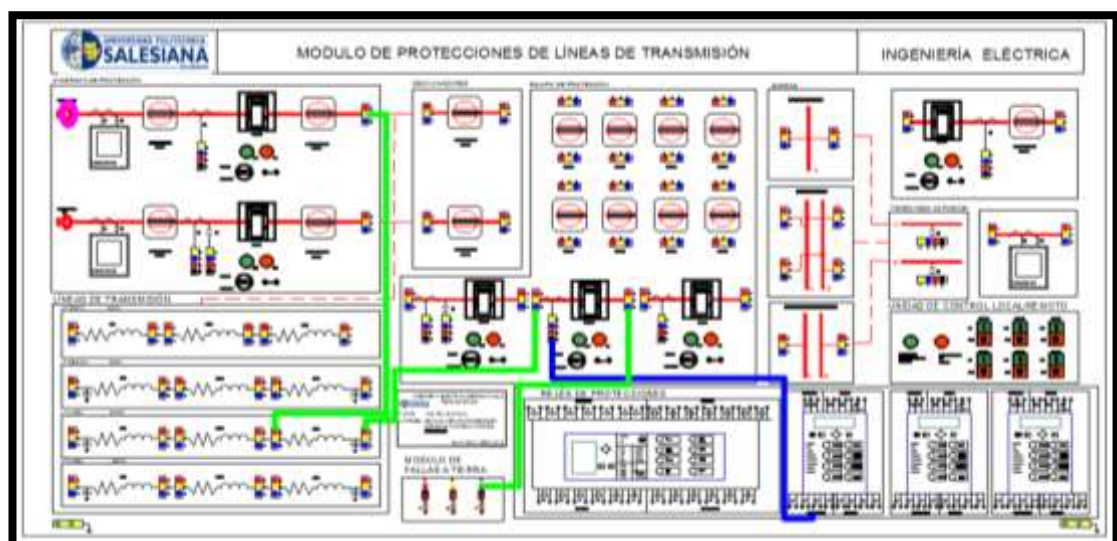


FIGURA 153 CONEXIONADO LÍNEA LARGA, FUENTE: LOS AUTORES.

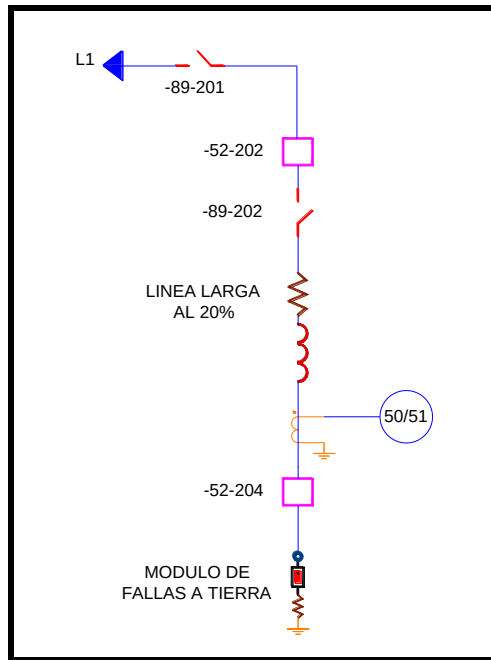


FIGURA 154 DIAGRAMA UNIFILAR LÍNEA LARGA, FUENTE: LOS AUTORES.

- Seguir paso a paso el diagrama unifilar de conexiones de una Línea Larga, para poder realizar la falla monofásica respectiva.
- Energizar el Módulo, de pruebas teniendo en cuenta las conexiones de señales del Relé SEL-751, y el circuito de fuerza.
- Tomar las mediciones adecuadas de parámetros nominales (voltaje y corriente) y anotarlas en una tabla de registro.
- Establecer recomendaciones, observaciones y conclusiones de las prácticas.

4.7.7. Condiciones de Funcionamiento

- Verificar que todos los seccionadores trifásicos estén en apertura (OFF) antes de realizar las maniobras.
- Verificar con multímetro que el módulo no esté energizado, antes de proceder al conexionado.

4.7.7.1. Conexión de la etapa de protección-línea-breaker

- Conectar en la salida del seccionador (-89-202), los bornes de entrada de la Línea Corta el segmento correspondiente al 20% final de la línea.
- Conectar los bornes de Salida de la Línea corta a la entrada de los bornes del breaker (-52-204).

- Conectar la fase A de la salida del Breaker (-52-204), al módulo de falla a tierra.

4.7.7.2. Ajustes del Relé SEL-751 para la Línea de Transmisión Corta (100km)

- En el Relé SEL-751 ingresamos manualmente al menú del Relé.
- Ingresamos a SET/SHOW-Presionamos ENT
- Ingresamos a GROUP- Presionamos ENT
- Ingresamos 1- Presionamos ENT
- Config Setting-Presionamos ENT
- En CTR ingresamos 4 - Presionamos ENT
- En PTR ingresamos 4.9 - Presionamos ENT
- EN Maximun Ph TOC - Presionamos ENT
- En 51P1P ingresamos 1.32A - Presionamos ENT
- En 51P1C ingresamos C2 (VI-curva) - Presionamos ENT
- En 51PTD ingresamos 0.7 - Presionamos ENT
- Presionamos ESC
- Neutral TOC - Presionamos ENT
- En 51N1P ingresamos 0.66A - Presionamos ENT
- En 51N1C ingresamos C2 (VI-curva) - Presionamos ENT
- En 51NTD ingresamos 0.5 - Presionamos ENT
- Presionamos ESC
- Residual TOC – Presionamos ENT
- En 51G1P ingresamos 0.66 - Presionamos ENT
- En 51G1C ingresamos C2 (VI-curva) - Presionamos ENT
- En 51GTD ingresamos 0.5 - Presionamos ENT
- Presionamos ESC
- Y se guarda el nuevo ajuste para poder ser analizados en la falla

4.7.7.3. Conexión del Relé SEL-751

- Para analizar este tipo de fallas con el Relé SEL-751 es necesario que la alimentación se realice por la primera entrada del Módulo
- Para medir el flujo en el diagrama de conexión se debe tomar las señales de los TC's 20/5 que se encuentran junto al breaker (-52-204), y conectar cada señal

de los TC's con sus mismas nomenclaturas, teniendo en cuenta su conexión negativa en estrella aterrizada para poder realizar la medición.

4.7.7.4. Energizar Línea 1

- Accionar los seccionadores (-89-201, -89-202), seguidos del interruptor (-52-201), es importante seguir este concepto para realizar una buena maniobra.

4.7.8. Recursos utilizados (Equipos, accesorios y materiales consumibles)

- Banco de pruebas, Cables de prueba
- Formato de registro de valores experimentales
- Simulación en ETAP
- Multímetro, Relé
- Carga Trifásica

4.7.9. Registro de resultados

- Tablas: Análisis de fallas Fase-Tierra, Fase-Fase-Tierra

Cada conexión de Línea debe estar registrada para saber las distintas corrientes de falla que se tiene en las diferentes líneas.

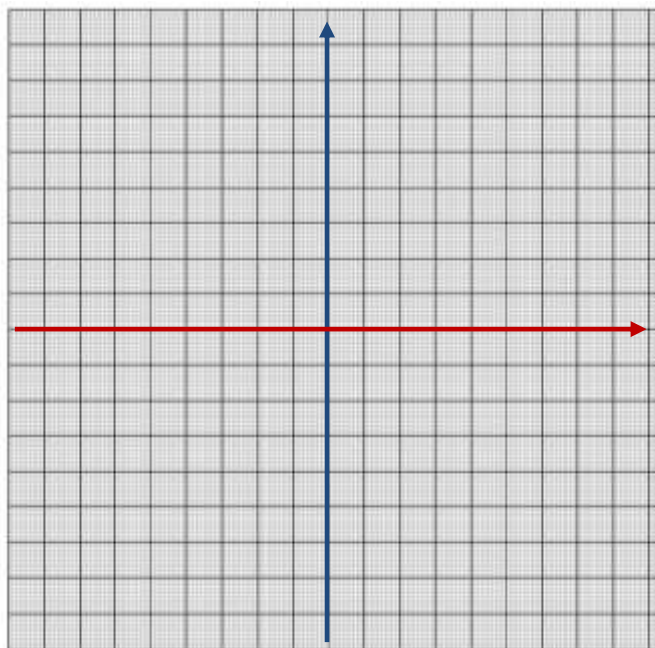
TABLA 23 REGISTRO DE FLUJO USANDO BANCO DE PRUEBAS ANTES DE LA FALLA, LOS AUTORES.

REGISTRO PRÁCTICA NO. 7: ANÁLISIS DE FLUJO CON BANCO DE PRUEBAS ANTES DE LA FALLA						
VOLTAJE						
EQUIPO	L1-N	L2-N	L3-N	L1-L2	L1-L3	L2-L3
MULTÍMETRO						
VISOR DEL RELÉ						
AMPERAJE						
EQUIPO	L1-N	L2-N	L3-N	L1-L2	L1-L3	L2-L3
MULTÍMETRO						
VISOR DEL RELÉ						

TABLA 24 REGISTRO DE FLUJO USANDO BANCO DE PRUEBAS DESPUÉS DE LA FALLA, LOS AUTORES.

REGISTRO PRÁCTICA NO. 7: ANÁLISIS DE FLUJO CON BANCO DE PRUEBAS ANTES DE LA FALLA						
VOLTAJE						
EQUIPO	L1-N	L2-N	L3-N	L1-L2	L1-L3	L2-L3
MULTÍMETRO						
VISOR DEL RELÉ						
AMPERAJE						
EQUIPO	L1-N	L2-N	L3-N	L1-L2	L1-L3	L2-L3
MULTÍMETRO						
VISOR DEL RELÉ						

- Graficar los fasores de voltajes y corrientes



- Cálculos relacionados
- Conclusiones y Recomendaciones

4.7.10. Cronograma / calendario

- De acuerdo a la planificación de cada docente.

4.8. PRÁCTICA 8, Simulación de Fallas en Líneas de Transmisión mediante el Relé SEL-421

4.8.1. Datos informativos

- Materia: Protecciones/SEP
- Práctica: N° 8
- Número de estudiantes: 20 (2 ESTUDIANTES POR MÓDULO)
- Nombre del docente: Ing. Roy Santana
- Tiempo estimado: 2 Horas

4.8.2. Datos de la práctica

- Tema: Simulación de Fallas en Líneas de Transmisión mediante Relé SEL-421

4.8.3. Objetivo general

- Reforzar los conocimientos referentes a fallas en el sistema, configurando las zonas de protección del Relé SEL-421, basándonos en la impedancia de las líneas.

4.8.4. Objetivos específicos

- Analizar las diferentes zonas a proteger de cada Línea de Transmisión (corta, media, larga), conociendo el proceso para que el Relé SEL-421 pueda verlas.
- Conocer los parámetros para realizar los ajustes y configuraciones del Relé SEL-421.
- Conocer las conexiones adecuadas que debe tener el Relé SEL-421 para que pueda despejar la falla.
- Identificar fasorialmente el flujo de corriente y voltaje de la Línea de Transmisión en la que se realiza la falla.
- Analizar los flujos de corrientes de fallas: analítico, físico, y del visor del Relé.

4.8.5. Marco teórico

En los Sistemas Eléctricos de Potencia se conoce que hay tres etapas que son: generación, transmisión y distribución, en esta ocasión nos centramos en las transmisiones de flujo de corriente y voltaje, es necesario que el sistema sea monitoreado en su totalidad, dado que abarcan grandes distancias y en su trayecto

pueden ocurrir fallas al sistema ya sean atmosférico o de la mano del hombre, tal motivo se protege estas falla con el Relé SEL-421, mediante la impedancia que tiene la Línea de Transmisión y ajustando a sus tres Zonas de Protección que tiene el Relé SEL-421.

4.8.5.1. Conexiones

En las conexiones que se realizan en un Relé de Protección de Distancia es fundamental tener en cuenta que necesitamos las señales de voltaje y corriente que tiene la Línea de Transmisión, las señales se las adquieren de los Transformadores de Corriente y Transformadores de Potencial, estas son necesarias para poder realizar la protección, las señales de corriente tienen que estar conectadas directamente a las borneras correspondientes, así como las señales de voltaje.

También es necesario que el contacto de salida (OUT 01) del Relé, deba ser conectado al trip del Breaker para que se pueda abrir cuando haya una falla.

4.8.6. Marco procedimental

A continuación, se presentan los datos de las impedancias de las Líneas de Transmisión:

4.8.6.1. Línea de Transmisión Corta (100km)

TC = 20:5

TP = 600:115

Zi: 12,4118 + j39.65

Zo: 53.9437 + j167.79

ZI MAG: 33.23

ZI ANG: 72.61

ZO MAG: 141

ZO ANG: 72.17

Curva=VI:C2

- Revisar el diagrama unifilar de una línea de transmisión corta, en caso de alguna duda en las conexiones consulte al encargado del laboratorio, antes de conectar o energizar el equipo.

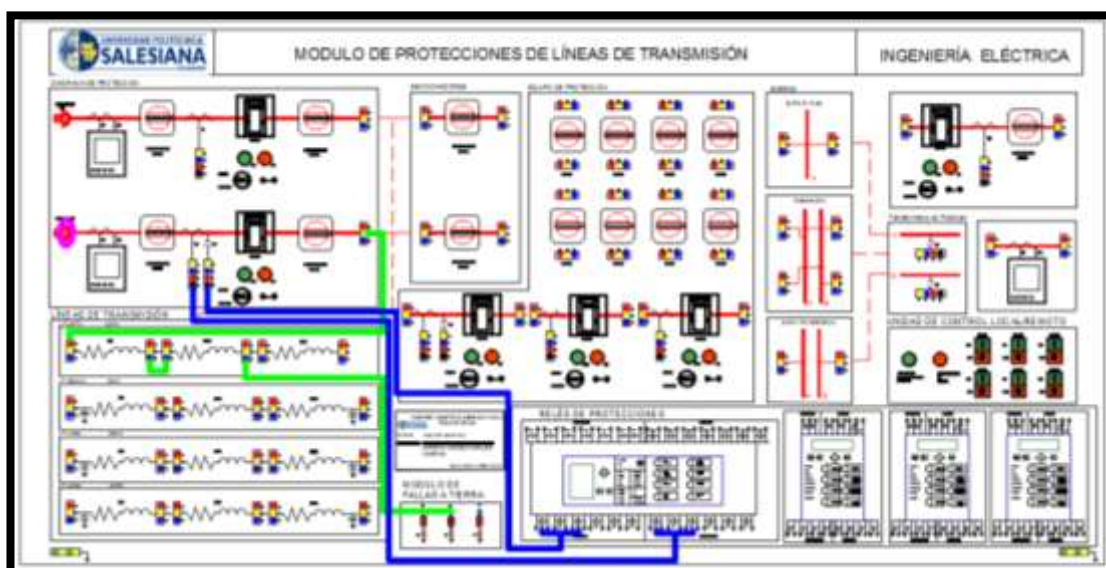


FIGURA 155 CONEXIONADO LÍNEA CORTA, FUENTE: LOS AUTORES.

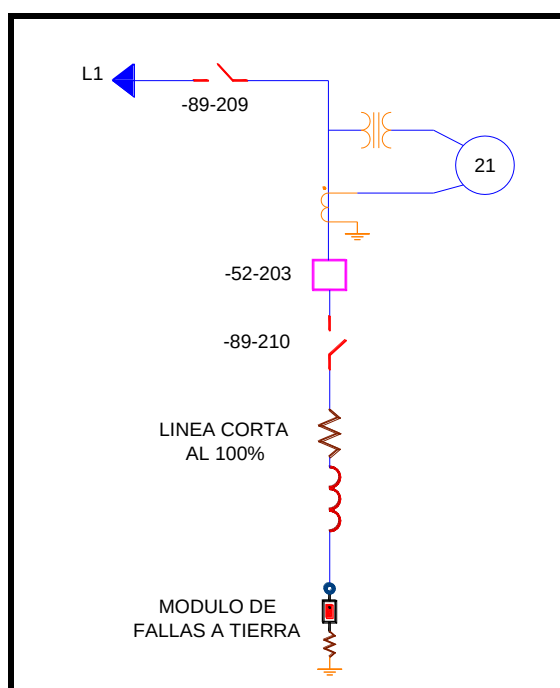


FIGURA 156 DIAGRAMA UNIFILAR LÍNEA CORTA, FUENTE: LOS AUTORES.

- Seguir paso a paso el diagrama unifilar de conexiones de una Línea Corta, para poder realizar la falla respectiva.
- Energizar el Módulo, de pruebas teniendo en cuenta las conexiones de señales del Relé SEL-421, y el circuito de fuerza.

- Tomar las mediciones adecuadas de parámetros nominales (voltaje y corriente) y anotarlas en una tabla de registro.
- Establecer recomendaciones, observaciones y conclusiones de las prácticas.

4.8.6.2. Línea de Transmisión Media (150km)

TC = 20:5

TP = 600:115

Zi: $18.6177 + j59.477$

Zo: $80.9155 + j261.69$

ZI MAG: 49.85

ZI ANG: 72.61

ZO MAG: 219.13

ZO ANG: 72.81

Curva: VI

- Revisar el diagrama unifilar de una línea de transmisión Media, en caso de alguna duda en las conexiones consulte al encargado del laboratorio, antes de conectar o energizar el equipo.

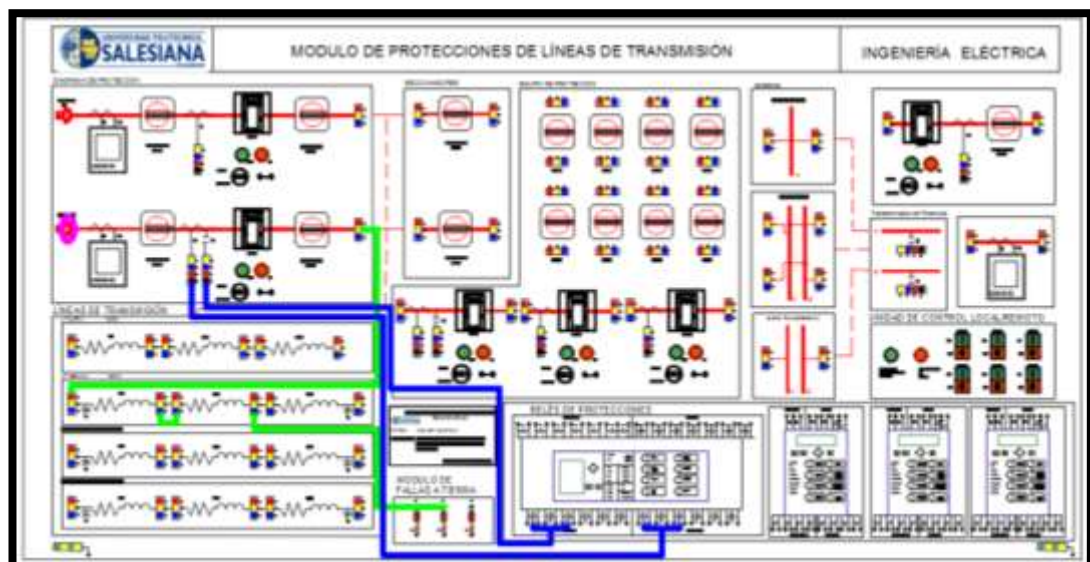


FIGURA 157 CONEXIONADO LÍNEA MEDIA, FUENTE: LOS AUTORES.

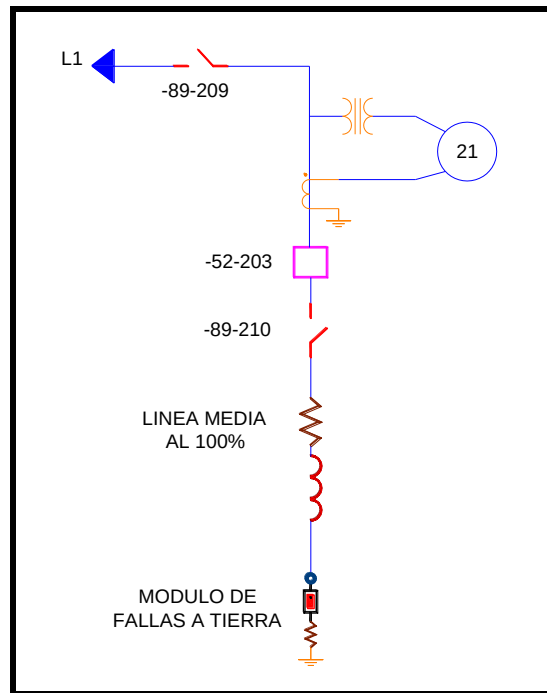


FIGURA 158 DIAGRAMA UNIFILAR LÍNEA MEDIA, FUENTE: LOS AUTORES.

- Seguir paso a paso el diagrama unifilar de conexiones de una Línea Media, para poder realizar la falla respectiva.
- Energizar el Módulo, de pruebas teniendo en cuenta las conexiones de señales del Relé SEL-421, y el circuito de fuerza.
- Tomar las mediciones adecuadas de parámetros nominales (voltaje y corriente) y anotarlas en una tabla de registro.
- Establecer recomendaciones, observaciones y conclusiones de las prácticas.

4.8.6.3. Línea de Transmisión Larga (500km)

TC = 20:5

TP = 600:115

Zi: $62.059 + j198.25$

Zo: $269.71 + j838.96$

ZI MAG: 166.1189

ZI ANG: 72.61

ZO MAG: 704.99

ZO ANG: 72.17

Curva: VI

- Revisar el diagrama unifilar de una línea de transmisión Larga, en caso de alguna duda en las conexiones consulte al encargado del laboratorio, antes de conectar o energizar el equipo.

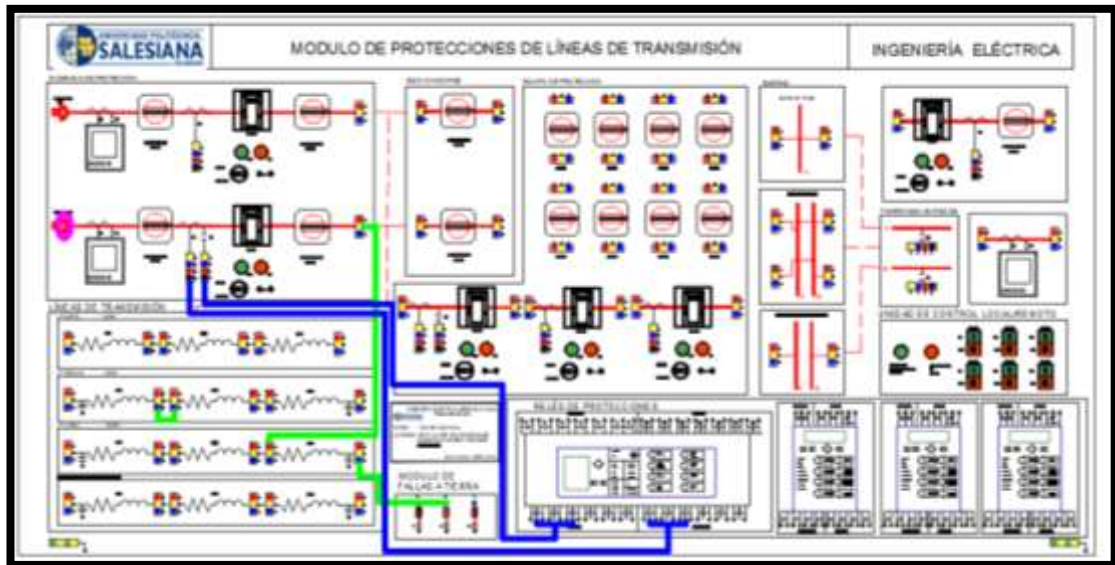


FIGURA 159 CONEXIONADO LÍNEA LARGA, FUENTE: LOS AUTORES.

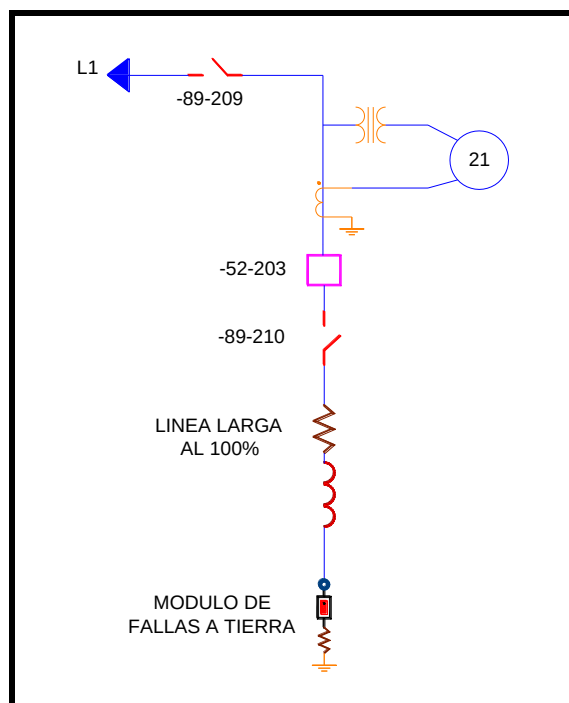


FIGURA 160 DIAGRAMA UNIFILAR LÍNEA LARGA, FUENTE: LOS AUTORES.

- Seguir paso a paso el diagrama unifilar de conexiones de una Línea Larga, para poder realizar la falla respectiva.
- Energizar el Módulo, de pruebas teniendo en cuenta las conexiones de señales del Relé SEL-421, y el circuito de fuerza.
- Tomar las mediciones adecuadas de parámetros nominales (voltaje y corriente) y anotarlas en una tabla de registro.
- Establecer recomendaciones, observaciones y conclusiones de las prácticas.

4.8.7. Condiciones de Funcionamiento

- Verificar que todos los seccionadores trifásicos estén en apertura (OFF) antes de realizar las maniobras.
- Verificar con multímetro que el módulo no esté energizado, antes de proceder al conexionado.

4.8.7.1. Conexión de la etapa de protección-línea-breaker

- En la salida del seccionador (-89-210), conectar a los bornes de Entrada de la Línea Corta al 100%.

4.8.7.2. Ajustes del Relé SEL-421 para la Línea de Transmisión 100km

- En el Relé SEL-421 ingresamos manualmente al menú del Relé.
- Ingresamos a SET/SHOW-Presionamos ENT
- Ingresamos a GROUP- Presionamos ENT
- Ingresamos 1- Presionamos ENT
- Line Setting-Presionamos ENT
- En CTRW ingresamos 4 - Presionamos ENT
- En CTRX ingresamos 4 - Presionamos ENT
- En PTRY ingresamos 5 - Presionamos ENT
- En PTRZ ingresamos 5 - Presionamos ENT
- EN VNOMY ingresamos 120 - Presionamos ENT
- EN VNOMZ ingresamos 120 - Presionamos ENT
- En ZI MAG ingresamos 33.23 - Presionamos ENT
- En ZI ANG ingresamos 72.61 - Presionamos ENT
- En ZO MAG ingresamos 141 - Presionamos ENT

- En ZO ANG ingresamos 72.17 - Presionamos ENT
- En LL line Length ingresamos 100 - Presionamos ENT
- Presionamos ESC
- Relay Configuration Enables - Presionamos ENT
- En ECVT ingresamos N - Presionamos ENT
- En ELOP ingresamos Y1 - Presionamos ENT
- En EADVS ingresamos N - Presionamos ENT
- Presionamos ESC
- MHO Phase Distance Element Reach – Presionamos ENT
- En Z1P Zone 1 Reach ingresamos 26.68 - Presionamos ENT
- En Z2P Zone 2 Reach ingresamos 39.87 - Presionamos ENT
- En Z4P Zone 4 Reach ingresamos 66 - Presionamos ENT
- Presionamos ESC
- MHO Phase Distance Element Time Reach – Presionamos ENT
- En Z1PD Zone 1 Time Reach ingresamos 0 - Presionamos ENT
- En Z2PD Zone 2 Time Reach ingresamos 18 - Presionamos ENT
- En Z4PD Zone 4 Time Reach ingresamos 30 - Presionamos ENT
- Presionamos ESC
- MHO Ground Phase Distance Element Reach – Presionamos ENT
- En Z1MG Zone 1 ingresamos 26.68 - Presionamos ENT
- En Z2MG Zone 2 ingresamos 39.87 - Presionamos ENT
- En Z4MG Zone 4 ingresamos 66 - Presionamos ENT
- Presionamos ESC
- MHO Phase Distance Element Time Reach – Presionamos ENT
- En Z1GD Zone 1 Time Reach ingresamos 0 - Presionamos ENT
- En Z2GD Zone 2 Time Reach ingresamos 18 - Presionamos ENT
- En Z4GD Zone 4 Time Reach ingresamos 30 - Presionamos ENT
- Presionamos ESC
- De esta manera se guarda el nuevo ajuste para poder ser analizados en la falla.
- **Este ajuste del Relé se lo debe hacer con los diferentes tipos de Líneas para poder realizar las pruebas correspondientes.**

4.8.7.3. Conexión del Relé SEL-421

- Para analizar este tipo de fallas con el Relé SEL-421, es necesario que la alimentación se realice por la segunda entrada del Módulo.
- Para poder medir el flujo en el diagrama de conexión debemos tomar las señales de los TC's 20:5 y TP's 600:115 que se encuentran junto al breaker (-52-203), y conexas cada señal de los TC's y TP's con sus mismas nomenclaturas, teniendo en cuenta que tiene que estar su conexión negativa en estrella aterrizada para poder realizar la medición para los TC's y los TP'S directamente en la señal al Relé.

4.8.7.4. Fallas Monofásicas a Tierra en la Línea Corta al 80 %

- Conectar L1a la Línea Corta al 80%, y ésta al módulo de falla a tierra, L1.
- Conectar L2 a la Línea Corta al 80%, y ésta al módulo de falla a tierra, L2.
- Conectar L3 a la Línea Corta al 80%, y ésta al módulo de falla a tierra, L3.

4.8.7.5. Fallas Bifásicas a Tierra en la Línea Corta al 80 %

- Conectar L1-L2 a la Línea Corta al 80%, y éstas al módulo de falla a tierra, L1-L2.
- Conectar L1-L3 a la Línea Corta al 80%, y éstas al módulo de falla a tierra, L1-L3.
- Conectar L2-L3 a la Línea Corta al 80%, y éstas al módulo de falla a tierra, L2-L3.

4.8.7.6. Fallas Trifásicas a Tierra en la Línea Corta al 80 %

- Conectar L1-L2-L3 a la Línea Corta al 80% y éstas al módulo de falla a tierra, L1-L2-L3.

4.8.7.7. Fallas Monofásicas a Tierra en la Línea Corta al 100 %

- Conectar L1 a la Línea Corta al 100%, y ésta al módulo de falla a tierra, L1.
- Conectar L2 a la Línea Corta al 100%, y ésta al módulo de falla a tierra, L2.
- Conectar L3 a la Línea Corta al 100%, y ésta al módulo de falla a tierra, L3.

4.8.7.8. Fallas Bifásicas a Tierra en la Línea Corta al 100 %

- Conectar L1-L2 a la Línea Corta al 100%, y éstas al módulo de falla a tierra, L1-L2.
- Conectar L1-L3 a la Línea Corta al 100%, y éstas al módulo de falla a tierra, L1-L3.
- Conectar L2-L3 a la Línea Corta al 100%, y éstas al módulo de falla a tierra, L2-L3.

4.8.7.9. Fallas Trifásicas a Tierra en la Línea Corta al 100 %

- Conectar L1-L2-L3 a la Línea Corta al 100%, y éstas al módulo de falla a tierra, L1-L2-L3.
- **Estas Pruebas se repiten para las Líneas de Transmisión Media y Larga.**

4.8.7.10. Energizar Línea 1

- Accionar los seccionadores (-89-209, -89-210), seguidos del interruptor (-52-203), es importante seguir este concepto para realizar una buena maniobra.
- Recolectar los datos de las fallas indicadas.

4.8.8. Recursos utilizados (Equipos, accesorios y materiales)

- Banco de pruebas, Cables de prueba
- Formato de registro de valores experimentales
- Simulación en ETAP
- Multímetro, Relé
- Carga Trifásica

4.8.9. Registro de resultados

- Tablas: Cada Conexión de Línea debe estar registrada para saber las distintas corrientes de falla que tiene en las diferentes líneas.

TABLA 25 REGISTRO DE FLUJO CON BANCO DE PRUEBAS DURANTE FALLA 80%, LOS AUTORES.

REGISTRO PRÁCTICA NO. 8: ANÁLISIS DE FLUJO, FALLA DE LÍNEA AL 80%							
	ZONA 1						
EQUIPO	L1-N	L2-N	L3-N	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1-L2-L3
MULTÍMETRO							
VISOR DEL RELÉ							

TABLA 26 REGISTRO DE FLUJO CON BANCO DE PRUEBAS DESPUÉS DE FALLA 80%, LOS AUTORES.

REGISTRO PRÁCTICA NO. 8: ANÁLISIS DE FLUJO, FALLA DE LÍNEA AL 80%							
	ZONA 1						
EQUIPO	L1-N	L2-N	L3-N	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1-L2-L3
MULTÍMETRO							
VISOR DEL RELÉ							

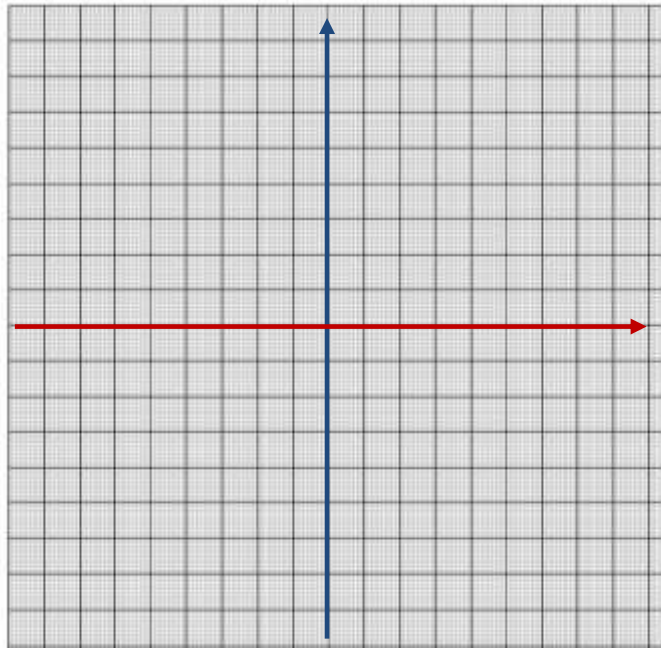
TABLA 27 REGISTRO DE FLUJO CON BANCO DE PRUEBAS DURANTE FALLA 100%, LOS AUTORES.

REGISTRO PRÁCTICA NO. 8: ANÁLISIS DE FLUJO, FALLA DE LÍNEA AL 100%							
	ZONA 1						
EQUIPO	L1-N	L2-N	L3-N	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1-L2-L3
MULTÍMETRO							
VISOR DEL RELÉ							

TABLA 28 REGISTRO DE FLUJO CON BANCO DE PRUEBAS DESPUÉS DE FALLA 100%, LOS AUTORES.

REGISTRO PRÁCTICA NO. 8: ANÁLISIS DE FLUJO, FALLA DE LÍNEA AL 100%							
	ZONA 1						
EQUIPO	L1-N	L2-N	L3-N	L1-L2	L1-L3	L2-L3	L1-L2-L3
MULTÍMETRO							
VISOR DEL RELÉ							

- Graficar los fasores de voltajes y corrientes



- Cálculos relacionados
- Conclusiones y Recomendaciones

Nota:

Para mayor información consultar el instructivo de configuración del SEL-421

4.8.10. Cronograma / calendario

- De acuerdo a la planificación de cada docente.

5. CONCLUSIONES

- Acorde a las prácticas realizadas se pudo comprobar que las caídas de voltaje en las 3 zonas de impedancias de cada línea corresponden a los porcentajes calculados en ETAP.
- La Confiabilidad de un Sistema de Transmisión depende esencialmente del correcto dimensionamiento de todos sus elementos eléctricos y el pronto accionamiento de las protecciones ante una falla.
- Empleando el programa ETAP, se puede simular cualquier circuito de transferencia y obtener los Flujos de potencia, realizar la Coordinación de protecciones y Simulación de fallas.
- Como parte de los elementos que hacen confiable a un sistema de transmisión se incluyen los relés SEL 751 y SEL 421, para integrar todas las protecciones de una estación, logrando el control y la vigilancia del sistema, pueden a la vez conectarse a una red SCADA para ser monitoreados por un operador.
- Los diagramas de impedancias deben ser construidos con cuidado, garantizando que todas las impedancias del sistema sean referidas a un mismo punto.
- Las diferentes configuraciones de barras: simples, dobles, anillo, etc., que conforman los patios de maniobra, se seleccionan según la necesidad del sistema y lo confiable que se requiere que sea, de esta manera las cargas grandes e importantes requieren de una inversión económica mayor.
- Los mantenimientos de barras y equipos de protección se realizan de manera confiable y sin interrumpir el suministro de energía a las cargas, empleando las diversas configuraciones de barras del patio de maniobras.

6. RECOMENDACIONES

- Revisar adecuadamente la conexión de cada práctica, previo a la energización del módulo.
- Para evitar contacto directo con elementos energizados, se debe emplear el multímetro o la pinza para cerciorarse de la presencia o ausencia de energía eléctrica en cada sección o elemento.
- Referente a las Normas Eléctricas del Ecuador, que se requieren para la construcción de líneas de transmisión e instalaciones eléctricas en general, es necesario conocerlas y respetarlas, dado que el desconocimiento de las leyes no exime de las responsabilidades, de no cumplirlas se es acreedor a multas o incluso que la instalación no sea energizada.
- En cuanto a las curvas de protección, para seleccionar las características tiempo versus corriente de los dispositivos de protección, se debe tomar en cuenta no sólo el nivel de incidencia de la falla, sino la ubicación de cada dispositivo de protección y su rol dentro del sistema de transmisión.

7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Arguelles, “Estudio Técnico del Diseño, Ajuste y Coordinación de las Protecciones”, Madrid, 2012.
- [2] F. González, “Introducción a los Sistemas de Potencia”, 2008.
- [3] F. González, “Representación de Sistemas de Potencia”, 2008.
- [4] H. Oseguera, A. Cañizares, “Diseño y Construcción de un Banco de Pruebas para las diferentes Líneas de Transmisión”, 2015
- [5] M. Bravo, M. Cuenca, Coordinación de las Protecciones de la Subestación en la Península de Santa Elena, Ecuador, 2014
- [6] M. Features, “SEL-421 Protection and Automation System”, 2014.
- [7] M. Features, “SEL-751 Feeder Protection Relay”, 2014.
- [8] O. Jiménez, V. Cantú, “Líneas de Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica”, 2006.
- [9] S. García, J. Jiménez, “Pruebas de Relevadores de Distancia empleando el Simulador Real Time Playback” Relé SEL-421, 2012.
- [10] Schweitzer Engineering Laboratories SEL-751A Feeder, Protection Relay Instruction Manual, 2012
- [11] W. Stevenson, J. Grainger, “Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia”, Segunda Edición, 1996.

8. LINGÜÍSTICA

- [12] C. Solís/ Instalaciones Eléctricas/ Análisis de Cortocircuitos
- [13] Monografías.com/ Análisis de cortocircuito en sistemas eléctricos de potencia.
- [14] SIEMENS, Manual LOGO! Edición 2006.

